

VDI-Buch

Klaus H. Weber

# Engineering verfahrenstechnischer Anlagen

Praxishandbuch mit Checklisten  
und Beispielen

*2. Auflage*

VDI



Springer Vieweg

---

## **VDI-Buch**

---

Klaus H. Weber

# Engineering verfahrenstechnischer Anlagen

Praxishandbuch mit Checklisten  
und Beispielen

2., vollständig bearbeitete und aktualisierte  
Auflage 2016

Klaus H. Weber  
Dresden, Deutschland

VDI-Buch  
ISBN 978-3-662-52896-9                    ISBN 978-3-662-52897-6 (eBook)  
DOI 10.1007/978-3-662-52897-6

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnetet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg  
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014, 2016  
Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags.  
Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist Teil von Springer Nature  
Die eingetragene Gesellschaft ist Springer-Verlag GmbH Berlin Heidelberg

*Meinen lieben Eltern gewidmet*

## Vorwort zur 2. Auflage

Die 2. Auflage ist eine vollständige Überarbeitung, Aktualisierung und wesentliche Erweiterung der vorherigen Auflage, ohne die bewährte Grundstruktur und den Anspruch einer praktischen Handlungsanleitung aufzugeben.

Die neue Auflage ist gestalterisch analog und inhaltlich konform zur 4. Auflage meines Fachbuchs „Inbetriebnahme verfahrenstechnischer Anlagen“ ausgeführt.

Ein Schwerpunkt ist die Darlegung und Beachtung aktueller Rechtsvorschriften und Normen im Engineeringprozess, wie u.a.:

- die geänderten und harmonisierten EU-Richtlinien über *Druckgeräte* sowie über *Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen*,
- die *neue Betriebssicherheitsverordnung* und die um den Brand- und Explosionschutz erweiterte *Gefahrstoffverordnung*,
- die grundlegenden EU-Normen zur Vereinheitlichung der *Rohrklassen* (EN 13480), zur Konstruktion unbefeuerter *Druckbehälter* (EN 13445), zum *Korrosionsschutz* von Stahlbauten (EN ISO 12944) und zur Einbeziehung von *Stahltragwerken* in die europäischen Konformitätsbewertungsverfahren (EN 1090).

Wesentlich erweitert wurden ferner die Ausführungen zum *Explosionsschutz*, zur Abgrenzung und Vertiefung von *Risikobeurteilung* und *Gefährdungsbeurteilung* sowie zur *schutzrechtlichen Sicherung* der Ergebnisse.

Viele Hinweise von Fachkollegen, die mir insbesondere während meiner Referententätigkeit angetragen wurden, sind im Detail berücksichtigt.

Ein wesentliches Anliegen der 2. Auflage war es, die Aussagen durch noch mehr Beispiele und Bilder aus der Praxis zu belegen und deren Umsetzung durch zusätzliche Workflows, Checklisten und Dokumentenbeispiele zu unterstützen. Insgesamt wurde die Anzahl an Abbildungen, Tabellen und Beispielen um ca. 30 Prozent erhöht. Die Zahl farbiger Abbildungen wurde nahezu verdoppelt.

Allen Fachkollegen, die ich „vor Ort“ bzw. auf Fortbildungsseminaren kennenlernen konnte, möchte ich für die anregenden Gespräche und Hinweise danken.

Besonderer Dank gilt meiner Ehefrau, Dipl.-Ing. Brigitte Weber für die Gestaltung zahlreicher Abbildungen und für die Durchsicht des Manuskripts sowie meiner Tochter, Frau Dipl.-Ing. Sonja Hüttich für die Unterstützung bei der Vertiefung der Schutzrechtsthematik.

Beim Springer-Verlag bedanke ich mich für die angenehme Zusammenarbeit.

# Vorwort

Das *Engineering* beinhaltet die ganzheitliche technische Planung einer Anlage. Die gesamten Engineeringkosten machen bei Anlageninvestitionen ca. 15 bis 30 Prozent der Investitionskosten aus.

Dabei liefert das Engineering die Basis, um die Investitionsentscheidung begründet herbeizuführen sowie die Anlage wirtschaftlich und zielgerecht zu errichten, in Betrieb zu nehmen und zu betreiben. Das Engineering beeinflusst somit erheblich die Gesamtkosten des Projektes und die Wirtschaftlichkeit des späteren Betriebs.

Während des Engineering sind i. Allg. aus einer Vielzahl möglicher Varianten die besten Lösungen auszuwählen und detailliert auszustalten. Dafür ist ein effizientes Verständnis und Zusammenwirken der einzelnen Fachdisziplinen notwendig. Im Ergebnis sind zahlreiche, verschiedenartige Dokumente zu erarbeiten und zu pflegen. Für das Engineering sind gleichermaßen ein fundiertes Fachwissen und Erfahrungen notwendig.

Das vorliegende Buch strukturiert den gesamten Engineeringprozess anhand eines *Phasenmodells für die Anlagen-Projektabwicklung* in die 6 Phasen:

- *Projektvorbereitung und Grundlagenermittlung*,
- *Vorplanung (Pre-Engineering)*,
- *Entwurfsplanung (Basic Engineering)*,
- *Genehmigungsplanung (Planning for permission)*,
- *Kostenermittlung (Cost Calculation)*,
- *Ausführungsplanung (Detail Engineering)*.

Für jede Phase werden die ingenieurtechnischen Einzelaufgaben der unterschiedlichen Fachdisziplinen systematisch dargelegt und die Schnittstellen und Prozeduren betrachtet. Anhand zahlreicher Praxisbeispiele, Bilder und Checklisten werden die Aussagen veranschaulicht.

In einem einführenden Kapitel werden die grundlegenden *Managementaspekte* abgehandelt, die beim Engineering zu beachten sind. Wesentliche Aussagen zu Rechtsvorschriften und zu möglichen *Vertragsmodellen* sind im 2. Kapitel angeführt. Ein weiterer Schwerpunkt ist die umfassende Beachtung von *Gesundheit-Sicherheit-Umwelt* während des Engineering.

Das vorliegende Buch ist ein *Praxishandbuch* analog meinen Fachbüchern zur Inbetriebnahme und Dokumentation verfahrenstechnischer Anlagen. Es bündelt das Wissen und die Erfahrungen, die ich auf diesem Fachgebiet in über 40 Berufs-jahren und in zahlreichen, verschiedenartigen Anlagenprojekten im In- und Ausland sammeln konnte.

Das Buch ist für die Führungs- und Fachkräfte der unterschiedlichsten Fachdisziplinen bzw. Unternehmen als Handlungsanleitung und Nachschlagewerk gedacht. Zugleich soll es das Bemühen von Fachkollegen unterstützen, den eigenen fachlichen Horizont zu erweitern. Für den Auszubildenden ist es ein Leitfaden.

Ein Glossar mit ca. 130 Begriffsdefinitionen sowie viele weitere Begriffsdefinitionen im Text sollen zu einem verbesserten Verständnis zwischen den Fachleuten beitragen sowie Kommunikations- und Schnittstellenprobleme verringern.

Insgesamt sind im Buch 136 Abbildungen, inkl. Ablaufschemata und 88 Tabellen, inkl. Checklisten enthalten.

Das Manuskript dieses Buches ist aus den Vorträgen meines Seminars „Engineering verfahrenstechnischer Anlagen“ entstanden. Für die zahlreichen Anregungen sei den Fachkollegen gedankt.

Besonderer Dank gilt meiner Ehefrau, Dipl.-Ing. Brigitte Weber für die kritische aber konstruktive Unterstützung sowie für die Gestaltung zahlreicher Abbildungen. Bei Herrn Reinhard Jarry bedanke ich mich für die Unterstützung bei der Durchsicht des Manuskripts.

Dem Springer-Verlag sei für die angenehme Zusammenarbeit gedankt.

Dresden, April 2014

*Klaus H. Weber*

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Phasenmodell der Anlagen-Projektabwicklung</b>	<b>1</b>
1.1	Begriffsdefinitionen	1
1.2	Struktur, Aufgaben und Schnittstellen des Phasenmodells	3
1.3	Front-End-Loading bzw. Front-End-Engineering	12
1.4	Grundzüge der Projektorganisation und -abwicklung	14
1.4.1	Projektziele und Projektorganisation	15
1.4.2	Erfahrungen aus Projektabwicklungen	19
1.4.3	Ausführungen zu Verantwortung und Befugnisse sowie Pflichten und Zuständigkeiten	23
1.4.3.1	Verantwortung und Befugnisse	23
1.4.3.2	Pflichten und Zuständigkeiten	25
1.4.3.3	Übertragung von Pflichten und Verantwortung	25
1.4.4	Umsetzen der Festlegungen im Projekt	30
1.5	Konsequenzen bei pflichtwidrigen Verhalten	33
1.5.1	Schaden durch fahrlässiges bzw. vorsätzliches Handeln	33
1.5.2	Mögliche Konsequenzen bei Pflichtverletzungen	37
1.6	Planung der Engineeringarbeiten	41
1.6.1	Zuordnung zum Phasenmodell	41
1.6.2	Strukturieren des Planungsumfangs und der Fachdisziplinen	42
1.6.3	Durchführen der Detailplanung	43
1.7	Beachtung der Sicherheit bei der Projektabwicklung	47
1.7.1	Grundsätze und Begriffsdefinitionen	47
1.7.2	Strukturieren der Sicherheitsarbeit im Projekt	50
1.8	Vorbemerkungen zur Dokumentation	53
1.8.1	Lebenszyklus und Phasen der Dokumentation	53
1.8.2	Einheit von Engineering und Dokumentation	56
1.8.3	Hinweise zur Beachtung der Dokumentation im Projekt	60
1.9	Besonderheiten von Pharmaprojekten	62
1.9.1	Überblick und Spezifika	62
1.9.2	Modifizierung des Phasenmodells für Pharmaprojekte	65

1.9.3	Qualifizierung und Validierung gemäß Good Manufacturing Practice (GMP) . . . . .	67
1.9.4	Good Engineering Practice (GEP) und Dokumentation . . . . .	72
Literatur . . . . .		75
<b>2</b>	<b>Projektvorbereitung und Grundlagenermittlung . . . . .</b>	<b>79</b>
2.1	Vorbemerkungen . . . . .	79
2.2	Verfahrensentwicklung und Durchführbarkeitsstudie . . . . .	81
2.3	Planungsrelevante Rechtsvorschriften der EU und BRD . . . . .	87
2.3.1	Relevante Rechtsvorschriften der EU . . . . .	87
2.3.1.1	Übersicht zum fachspezifischen Recht der EU . . . . .	87
2.3.1.2	EU-Rechtsvorschriften für Anlagenkomponenten und Stoffe . . . . .	88
2.3.1.3	EU-Rechtsvorschriften für verfahrenstechnische Anlagen . . . . .	112
2.3.2	Relevante Gesetze und Verordnungen der BRD . . . . .	120
2.3.2.1	Übersicht zum Recht der BRD . . . . .	120
2.3.2.2	Genehmigungsrecht und Umweltrecht . . . . .	125
2.3.2.3	Produktsicherheitsrecht und Anlagensicherheitsrecht . . . . .	138
2.3.2.4	Arbeitssicherheitsrecht und Gesundheitsschutzrecht . . . . .	148
2.4	Lastenheft inklusive Dokumentation . . . . .	154
2.4.1	Definition und Aufgaben des Lastenhefts . . . . .	154
2.4.2	Inhalt des Lastenhefts . . . . .	155
2.4.3	Vorgaben zur Dokumentation im Lastenheft . . . . .	160
2.5	Vertragsmodelle für Engineeringleistungen . . . . .	164
2.5.1	Rechtsformen von Verträgen nach Bürgerlichen Gesetzbuch . . . . .	164
2.5.2	Vertragsarten im Anlagenbau . . . . .	172
2.5.3	Vertragsmodelle für Engineering und Realisierung . . . . .	178
2.5.3.1	Vertragsmodelle <u>vor</u> der Investitionsentscheidung . . . . .	178
2.5.3.2	Vertragsmodelle <u>nach</u> der Investitionsentscheidung . . . . .	180
2.5.3.3	Vertragsmodelle über alle Projektphasen . . . . .	185
2.5.4	Gewährleistung und Garantie im Anlagenvertrag . . . . .	186
2.5.4.1	Ausführungen zu GEWÄHRLEISTUNG . . . . .	187
2.5.4.2	Ausführungen zu GARANTIE . . . . .	191
Literatur . . . . .		193
<b>3</b>	<b>Vorplanung (Pre-Basic) . . . . .</b>	<b>199</b>
3.1	Aufbau der Projektorganisation . . . . .	200
3.2	Erarbeiten des Dokumentationskonzepts . . . . .	201
3.3	Erarbeiten von Lösungsalternativen und -vorschlägen . . . . .	208
3.3.1	Verfahrensauswahl und Verfahrensentwurf . . . . .	208
3.3.2	Lageplanung und Grob-Layoutplanung . . . . .	217
3.3.3	Baukonzept . . . . .	222

---

3.3.4	PLT-Konzept . . . . .	225
3.3.5	TGA-Konzept . . . . .	231
3.3.6	Logistik- und Infrastrukturkonzepte . . . . .	235
3.3.7	Beschaffungskonzept . . . . .	239
3.4	Sicherheitstechnische Grundlagenermittlung . . . . .	241
3.5	Bewertung der Lösungsvarianten, Lösungsvorschlag . . . . .	245
3.6	Ergebnisse der Vorplanung . . . . .	247
3.7	Schutzrechtliche Sicherung der Ergebnisse . . . . .	248
	Literatur . . . . .	267
<b>4</b>	<b>Entwurfsplanung (Basic Engineering) . . . . .</b>	<b>269</b>
4.1	Begriffsdefinition, Aufgaben, Trends . . . . .	269
4.2	Ausführen der Entwurfsplanung . . . . .	271
4.2.1	Verfahrensplanung (Basic Design) . . . . .	271
4.2.1.1	Fließschemaarbeit inklusive Beschreibung . . . . .	273
4.2.1.2	Massen-, Stoff- und Energiebilanzierung . . . . .	289
4.2.1.3	Festlegen der Betriebsparameter und Druckstufen . . . . .	292
4.2.1.4	Auswahl und Auslegung der Hauptausrüstungen . . . . .	294
4.2.1.5	Auslegung der Rohrleitungen . . . . .	302
4.2.1.6	Auswahl und Auslegung der Sicherheitsarmaturen gegen Drucküberschreitung . . . . .	303
4.2.2	Entwurfsplanung Rohrleitungstechnik . . . . .	308
4.2.2.1	Rohrklassen und Rohrleitungs-Kennzeichen . . . . .	309
4.2.2.2	Dichtungs- und Armaturenklassen sowie Kennzeichnung . . . . .	315
4.2.3	Werkstoffauswahl und Korrosionsschutz . . . . .	318
4.2.4	3D-Anlagenentwurfsplanung und Aufstellungsentwurf . . . . .	331
4.2.5	Entwurfsplanung Bau und Stahlbau . . . . .	335
4.2.6	Entwurfsplanung Prozessleittechnik (PLT) . . . . .	349
4.2.7	Entwurfsplanung Technische Gebäudeausrüstung (TGA) . . . . .	371
4.2.8	Logistik- und Infrastrukturentwurfsplanung . . . . .	372
4.2.9	Montage- und inbetriebnahmegerichtete Planung . . . . .	377
4.2.10	Instandhaltungsaudit und Instandhaltungskonzeption . . . . .	383
4.3	Sicherheitstechnische Entwurfsplanung, Risikobeurteilung . . . . .	386
4.3.1	Notwendigkeit und Abgrenzung von Risikobeurteilung und Gefährdungsbeurteilung . . . . .	386
4.3.2	Durchführen der Risikobeurteilung und SIL-Einstufung . . . . .	391
4.3.3	Erarbeiten des Explosionsschutzdokuments . . . . .	399
4.4	Basic-Engineering-Dokumentation, Pflichtenheft . . . . .	414
	Literatur . . . . .	420

<b>5 Genehmigungsplanung</b> (Planning for permission) . . . . .	425
5.1 Begriffsdefinitionen und Grundsätzliches . . . . .	425
5.2 Einordnung der Genehmigungsplanung in die Projektabwicklung . . . . .	427
5.3 Überblick zu Genehmigungsverfahren in der BRD . . . . .	429
5.4 Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) . . . . .	433
5.5 Genehmigungsverfahren nach BImSchG. . . . .	436
5.5.1 Einfluss des Antragstellers auf das Genehmigungsverfahren . . . . .	437
5.5.2 Genehmigungsantrag inklusive Antragsunterlagen . . . . .	441
5.5.3 Ablauf des Genehmigungsverfahrens. . . . .	443
5.5.4 Genehmigungsbescheid . . . . .	447
5.6 Nutzung und Änderung der Genehmigung . . . . .	448
Literatur. . . . .	451
<b>6 Kostenermittlung</b> (Cost Estimation) . . . . .	453
6.1 Kosten für Engineering . . . . .	455
6.2 Investitionskostenermittlung . . . . .	457
6.2.1 Vorbemerkung und Überblick . . . . .	457
6.2.2 Kapazitätsmethoden . . . . .	461
6.2.3 Zuschlagsfaktorenmethoden . . . . .	462
6.2.4 Modulmethode. . . . .	467
6.2.5 Ergänzende Bemerkungen und Folgerungen. . . . .	470
6.3 Betriebskostenermittlung . . . . .	471
6.4 Investitionsrechnung . . . . .	472
Literatur. . . . .	475
<b>7 Ausführungsplanung</b> (Detail Engineering) . . . . .	477
7.1 Begriffsdefinition und Aufgaben . . . . .	477
7.2 Ausführen der Ausführungsplanung . . . . .	478
7.2.1 Verfahrensausführungsplanung . . . . .	478
7.2.2 Spezifikation und Konstruktion der Apparate, Behälter und Maschinen . . . . .	482
7.2.3 3D-Anlagenmodell und Detail-Aufstellungsplanung . . . . .	500
7.2.4 Ausführungsplanung Bau und Stahlbau . . . . .	509
7.2.5 Ausführungsplanung Rohrleitungstechnik . . . . .	522
7.2.6 Ausführungsplanung Prozessleittechnik (PLT) . . . . .	537
7.2.7 Ausführungsplanung Technische Gebäudeausrüstung (TGA). . . . .	559
7.2.8 Logistik- und Infrastrukturausführungsplanung . . . . .	565
7.2.9 Besondere Vorgaben und Hinweise für die weitere Projekt- abwicklung . . . . .	569

7.3	Sicherheitstechnische Detailplanung . . . . .	570
7.4	Detail Engineering-Dokumentation . . . . .	572
	Literatur . . . . .	575
<b>8</b>	<b>Ausblick zu Beschaffung, Bau/Montage, Inbetriebnahme</b> . . . . .	579
8.1	Übergreifende Hinweise (Phasen 7 bis 9) . . . . .	579
8.2	Hinweise zur Beschaffungsphase (Phase 7) . . . . .	580
8.3	Hinweise zur Bau-/Montagephase (Phase 8) . . . . .	585
8.4	Hinweise zur Inbetriebnahmephase (Phase 9) . . . . .	592
	Literatur . . . . .	594
	<b>Glossar</b> . . . . .	595
	<b>Sachwortverzeichnis</b> . . . . .	607

# 1 Phasenmodell der Anlagen-Projektabwicklung

## 1.1 Begriffsdefinitionen

**Verfahrenstechnische Anlagen** sind Anlagen zur Durchführung von Stoffänderungen und Stoffumwandlungen mit Hilfe zweckgerichteter physikalischer und/oder chemischer und/oder biologischer und/oder nuklearer Wirkungsabläufe [1].

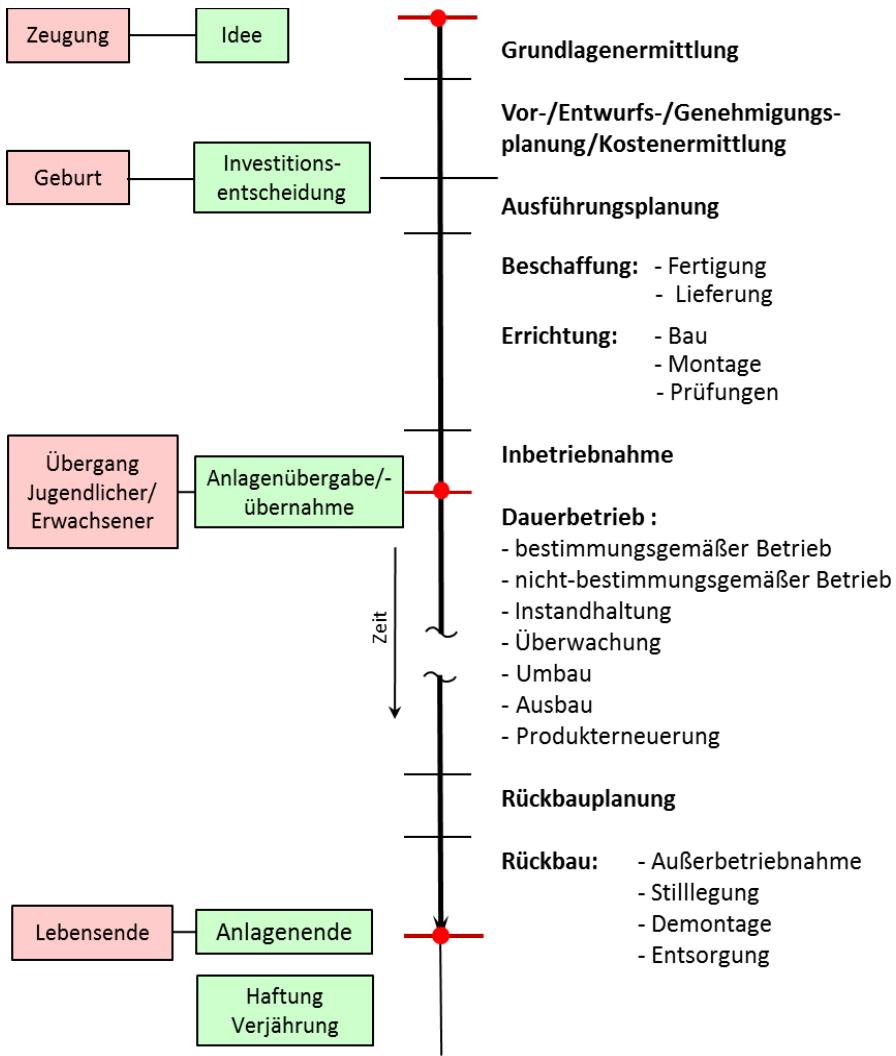
In der verfahrenstechnischen Anlage findet das **Verfahren** bzw. der verfahrenstechnische Prozess statt. Die Gesamtheit der verfahrenstechnischen Anlage und des verfahrenstechnischen Prozesses bilden das verfahrenstechnische System.

Die Wesensmerkmale der verfahrenstechnischen Anlagen, die zugleich das Engineering gravierend beeinflussen, sind insbesondere:

- die Durchführung physikalischer Stoffänderungen und chemischer oder biologischer Stoffumwandlungen in diesen Anlagen,
- eine große Komplexität und Kompliziertheit der Anlagen; dies trifft sowohl die stoffliche und energetische Verflechtung und Kopplung als auch die konstruktive Gestaltung der einzelnen Komponenten,
- der häufig anzutreffende unikate Charakter,
- die Notwendigkeit zur Anwendung von verschiedenartigen, integrativen Fachwissen während des Lebenszyklus der Anlagen,
- das Vorhandensein eines umfangreichen Rohrleitungssystems zum Transport der Stoffe innerhalb der Anlagen sowie über die Anlagengrenzen hinweg,
- der große Umfang und die Ganzheitlichkeit der Informationsverarbeitung während des Anlagenbetriebes; typisch ist die Anwendung einer hierarchisch aufgebauten Leittechnik zur Gewährleistung eines effizienten Produktionsprozesses aus der Sicht des Unternehmens,
- die Größenordnung derartiger Anlagen und ihrer Komponenten; zu nennen sind in diesem Zusammenhang u. a. die oftmals erheblichen territorialen Ausdehnungen sowie die Größe der Ausrüstungen,
- die erheblichen Auswirkungen der verfahrenstechnischen Anlagen auf die Menschen, die Wirtschaft und die Umwelt, auch über Anlagengrenzen hinaus.

Gemäß dieser Definition ist die überwiegende Mehrzahl der Anlagen, die in Projekten geplant und errichtet werden, zugleich auch eine verfahrenstechnische Anlage. Das bedeutet, dass die Ausführungen dieses Buchs auf die meisten dieser Anlagenprojekte anwendbar sind.

In der Praxis durchläuft jede Anlage und die zugehörige Dokumentation einen **Lebenszyklus** (s. Abb. 1.1), der den Zeitraum von Beginn der Anlagenplanung,

**Abb. 1.1** Lebenszyklus einer verfahrenstechnischen Anlage

über die Realisierung und den Betrieb bis zum Rückbau der Anlage beinhaltet. Analog zum normalen Leben eines Menschen, ist auch für eine erfolgreiche Anlageninvestition und die nachfolgende Anlagenbewirtschaftung der erste Abschnitt im Anlagen-Lebenszyklus von entscheidender Bedeutung. Diesen Abschnitt bildet das **Engineering** gemäß folgendem Begriffsverständnis:

**Engineering** umfasst das Erarbeiten von technologisch-technischen sowie organisatorisch-administrativen Unterlagen (Dokumenten), die für die Beschaffung, Errichtung, den bestimmungsgemäßen Betrieb und die Instandhaltung von Anlagen benötigt werden.

Die deutsche Übersetzung lautet Anlagen-Ingenieurwesen, wobei dieser Begriff wenig gebräuchlich ist und häufig durch *Anlagenplanung* ersetzt wird. Im vorliegenden Buch wird nur von Engineering gesprochen. Gemeint ist stets das Engineering verfahrenstechnischer Anlagen im vorgenannten Sinne.

Schwerpunkt beim Engineering sowie in den weiteren Ausführungen dieses Buchs ist die ganzheitliche und detaillierte technische Planung der Anlage. Dabei stehen weniger die Managementaspekte als vielmehr die praxisbezogene fachliche Systematisierung und Ausführung im Vordergrund.

Die Anlagen-Projektabwicklung erfolgt zweckmäßig entsprechend einem Phasenmodell, welches die wichtigsten Teilschritte (sog. Phasen), die zugeordneten Hauptaufgaben und Teilziele (sog. Meilensteine) sowie die Schnittstellen zwischen den Phasen abbildet. Dadurch gelingt es insbesondere den Projektlauf inhaltlich und organisatorisch-administrativ zu strukturieren und die Komplexität der Arbeitsvorgänge zu reduzieren.

An Hand des Phasenmodels lassen sich die einzelnen Aktivitäten, insbesondere die Planungsleistungen und die zu erstellenden Planungsdokumente konkret identifizieren und definieren. Damit ist u.a. die Basis für ein wirksames Projektcontrolling bezüglich Kosten, Termine und Ergebnisse inkl. Qualität gegeben.

Im Weiteren wird das Projekt-Phasenmodell, das sich bei zahlreichen, unterschiedlichen Anlagenprojekten bewährt hat, näher beschrieben.

## 1.2 Struktur, Aufgaben und Schnittstellen des Phasenmodells

In Abb. 1.2 sind die Struktur und Bestandteile des Phasenmodells für die Planung und Realisierung verfahrenstechnischer Anlagen dargestellt.

Das Phasenmodell bildet die Projekt-Hauptaktivitäten im Zeitraum von Beginn der Grundlagenermittlung bis zum Ende der Inbetriebnahme ab. Projektvorbereitende Aktivitäten, wie z. B.

- die **Entwicklung** eines neuen Verfahrens oder die wesentliche Weiterentwicklung/Modifizierung bekannter Verfahren, die ggf. umfangreiche Labor- und Technikumsversuche erfordern,
- das Erarbeiten einer **Durchführbarkeitsstudie** (Machbarkeitsstudie, Feasibility Study)

finden i. Allg. zeitlich vor dem Projektstart statt. Während der Projektabwicklung fehlt dafür die Zeit. Diese Maßnahmen werden somit nicht vom Phasenmodell des konkreten Projekts erfasst. Trotzdem wird in Kapitel 2 dieses Buchs der Vollständigkeit halber kurz darauf eingegangen.

Das abgebildete Anlagenprojekt-Phasenmodell ist im klassischen Fall grundsätzlich zweigeteilt in:

### a) Konzept- und Entscheidungsabschnitt

Dieser erste Projektabschnitt, der früher auch als Vorprojekt bezeichnet wurde [2], beinhaltet schwerpunktmäßig die Definition der Aufgabenstellung (Scope-

Definition) für das Projekt sowie die Lösungssuche und prinzipielle Lösungsfindung während der Vorplanung (Pre-Basic) sowie deren Ausgestaltung während der Entwurfsplanung (Basic Engineering).

Die Planungstiefe des Basic Engineering muss die erfolgreiche Genehmigungsplanung inkl. Genehmigungsantrag und Genehmigungsverfahren sowie die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zur Anlageninvestition ermöglichen.

Zugleich sind ausreichende Vorgaben für den 2. Projektabschnitt zur Anlagenrealisierung erforderlich.

Da der 1. Abschnitt vor der verbindlichen Investitionsentscheidung liegt, wird er als *vorläufig* bzw. *vorbereitend* charakterisiert.

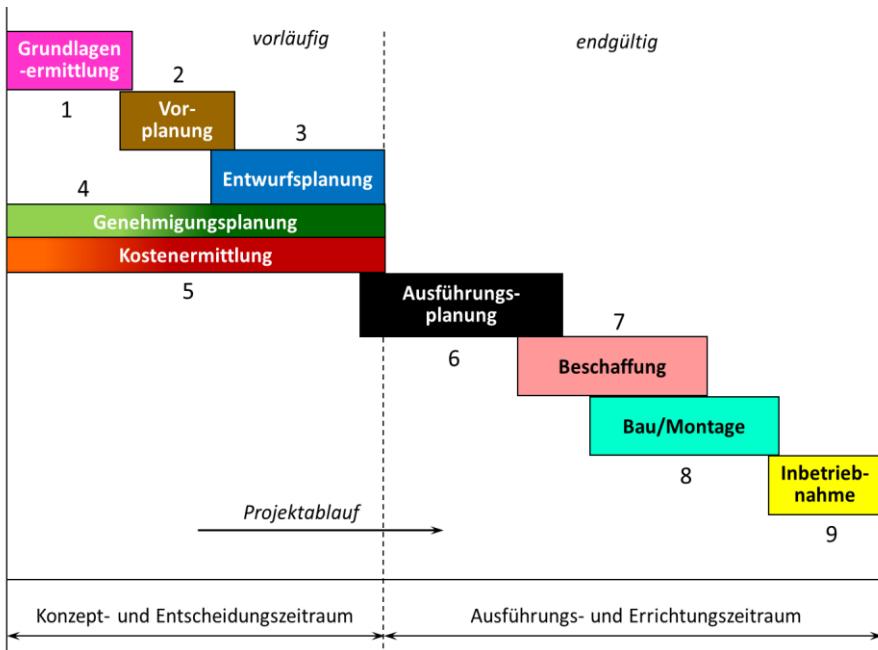


Abb. 1.2 Phasenmodell für Planung und Realisierung verfahrenstechnischer Anlagen

### b) Ausführungs- und Errichtungsabschnitt

Sobald die Anlageninvestition freigegeben und die notwendige behördliche Genehmigung erteilt sind, kann die Anlagenrealisierung erfolgen. Diese beginnt zunächst mit der Ausführungsplanung und setzt sich über die Beschaffung und Errichtung der Anlage fort.

Der 2. Projektabschnitt endet im Normalfall mit der werkvertraglichen Abnahme bzw. mit der schriftlichen Bestätigung der Vertragsleistung, z. B. nach erfolgreicher Inbetriebnahme.

Da dem 2. Abschnitt die verbindliche Investitionsentscheidung und Budgetfreigabe vorausgegangen ist, wird er als *endgültig* bzw. *verbindlich* charakterisiert.

Insgesamt besteht das empfohlene Phasenmodell der Anlagen-Projektabwicklung aus 9 Phasen, die in Abb. 1.2 beziffert sind. Bei Pharmaprojekten kommt noch eine Phase 10 (**Validierung**) hinzu (s. Abschn. 1.9).

Die Übergänge von einer zur anderen Projektphase sind wichtige Schnittstellen im Projekt, die effizient definiert und gestaltet werden müssen. Die nachfolgenden Ausführungen zu den einzelnen Phasen sowie die Darlegungen in Abschn. 1.4 enthalten dazu konkrete Erfahrungen und Hinweise, insbesondere betreffs der Engineeringphasen. Nicht zuletzt dienen die inhaltlichen Ausführungen in allen Kapiteln dieses Buchs ebenfalls diesem Ziel.

Die einzelnen Phasen verlaufen großteils chronologisch nacheinander, wobei überwiegend die in Abb. 1.2 grafisch dargestellte Überschneidung der Projektphasen die teilweise parallel stattfindende Aufgabenbearbeitung veranschaulichen soll.

Eine Ausnahme bilden die Phasen 4 (Genehmigungsplanung) und 5 (Kostenermittlung), die während des gesamten Projektablaufs relevant sind. Während des Entscheidungszeitraums wirken die jeweiligen Aussagen zur Genehmigungsfähigkeit und zu den Kosten, die sich aus dem aktuellen Planungsstand ableiten lassen, steuernd, gegebenenfalls auch korrigierend, auf den Planungsverlauf.

Nach Freigabe der Investition, während des Ausführungszeitraums, sind die projektbegleitenden Leistungen, die zur Umsetzung des Genehmigungsbescheids und zur Einhaltung der Kosten erforderlich sind, in das Projektcontrolling integriert.

Die chronologische Darstellung in Abb. 1.2 schließt nicht aus, dass einzelne Phasen, zumindest zugehörige fachspezifische Engineeringleistungen, mehrfach im Sinne einer Iterationsschleife durchlaufen werden können. Dies kann beispielsweise bei

- Änderungen der Aufgabenstellung und/oder Randbedingungen im Lastenheft,
- planerischen Maßnahmen zur Kostenreduzierung, die während der Vorplanung bzw. des Basic Engineering erkennbar und notwendig werden,
- Änderungen zur Genehmigungssituation, die während des Engineerings eintritt,
- Änderungen am Verfahren wegen neuer, störender Schutzrechte Dritter usw. erforderlich werden.

In der Regel sind damit erhebliche Störungen im Projektablauf verbunden.

Nachfolgend sind für die einzelnen Phasen wichtige Begriffe und Wesensmerkmale sowie praktische Hinweise angeführt.

#### Phase 1: Grundlagenermittlung (Establishment of fundamentals) (s. Kap. 2)

- Vor der Phase 1 kann ggf. in einer **Durchführbarkeitsstudie** (Feasibility Study) die Wirtschaftlichkeit und Machbarkeit des Projekts analysiert und bewertet werden. Damit werden, auch bei „offenen“ Projekten, die Voraussetzungen für eine begründete Projektentscheidung sowie eine korrekte und umfassende Projektdefinition geschaffen.
- Während der Phase 1 werden ganzheitlich die Anforderungen des Investors (Projektträgers, Auftraggebers, Bauherrn) erarbeitet und in

Form des **Lastenhefts** (Scope-Definition bzw. Fundamental Specification) dokumentiert.

- Der Investor ist für diese Arbeiten verantwortlich und auch fachlich zuständig. Er muss seine Ziele und Vorgaben aktiv einbringen.  
Die Mitwirkung des Engineers (z. B. als Owner-Engineer), der später die Vor- und Entwurfsplanung leistet, an der Erarbeitung des Lastenhefts ist zweckmäßig.
- Hinsichtlich des Engineerings sind im Lastenheft insbesondere die *kundenspezifischen Zielvorgaben* (Entwurfsdaten bzw. Design Basis) und *Rahmenbedingungen/Voraussetzungen* (z. B. Bereitstellung der Roh-/Hilfsstoffe und Energien, Beistell-/Mitwirkungsleistungen des Auftraggebers Sicherheits-/Gesundheitsaspekte, Personalsituation) sowie die *standortseitigen Voraussetzungen* (Infrastruktur, Klima, Umweltaspekte, Ver-/Entsorgungssicherheit, Werkstätten, Labore, Rechtssituation u.ä.) zu definieren.
- Das Lastenheft muss eindeutige Angaben zu den *genehmigungsrelevanten Entwurfsdaten/Auslegungsparametern* (z. B. Emissionsgrenzwerte, Art der Gefahrstoffe, Sicherheitsprämissen) und zu anderen *genehmigungsrelevanten Gestaltungsmerkmalen der Anlage* (z. B. zur Logistik, Arbeitsplatzschaffung und -gestaltung, Industriearchitektur inkl. Fernsicht, Bauausführung) enthalten.
- Die zum Lastenheft gehörigen Dokumente werden mit dem **Bearbeitungsstatus**: *Scope* gekennzeichnet (s. Tab. 1.9 in Abschn. 1.8.2).

#### Phase 2: Vorplanung (Pre-Basic, Preliminary Planning) (s. Kap. 3)

- In der Phase 2 werden auf Basis des Lastenhefts (Input):
  - Lösungsalternativen für das Verfahren, die Anlagengestaltung und -technik sowie die Projektabwicklung erarbeitet,
  - die Lösungsalternativen beurteilt und eine Vorzugsvariante ausgewählt,
  - der ausgewählte Lösungsvorschlag bzgl. Verfahren, Anlagenkonzept und weiterer Projektabwicklung begründet und dokumentiert.
- Während der **Vorplanung** werden typischerweise fachspezifische Konzepte erarbeitet (s. Inhaltsverzeichnis, Kap. 3).
- Nicht mit der Vorplanung gleichzusetzen ist das **Basic Design**, das die Verfahrens- bzw. Prozessplanung für das Projekt umfasst [2].  
Die planerischen Leistungen des Basic Design werden in der Phase 2 als *Verfahrensentwurfsplanung* begonnen und größtenteils in der Phase 3 (Basic Engineering) als *Verfahrensausführungsplanung* fortgesetzt.
- Die Phase 2 sowie die Schnittstelle zwischen den Phasen 1 und 2 sind bei Projekten mit vielen Freiheitgraden und entsprechend zahlreichen Lösungsvarianten besonders ausgeprägt.  
Umgekehrt ist die Vorplanung in Projekten, bei denen das Verfahren und das Anlagenkonzept von Anfang an feststehen, weniger umfangreich. Zum Teil werden in diesen Fällen die Ergebnisse der Vor-

planung, die z. B. bei Wiederholungs- bzw. Erweiterungsprojekten a priori feststehen, gleich im Lastenheft (Scope) mit erfasst (s. Abschn. 2.1).

- In solchen Projekten, bei denen das Lastenheft mitunter erst gegen Ende der Phase 2 fertiggestellt wird, ist die Schnittstelle zur Phase 3 stark ausgeprägt.
- Die Ergebnisse der Vorplanung werden in Dokumenten mit dem Bearbeitungsstatus: AFB (Approved for Basic) gespeichert (s. Tab. 1.9 in Abschn. 1.8.2 und Abschn. 3.6). Eine separate Pre-Basic-Dokumentation, ist selten und der Übergang zwischen Phase 2 und 3 häufig gleitend.
- In vielen Projekten erfolgt die Vorplanung unter fachlicher Leitung des Investors. Einerseits weil er sachkundig ist, z. B. wenn er zugleich Verfahrensträger ist, und andererseits möchte er sein Know-how schützen. Fachwissen, welches er nicht besitzt, kauft er für sein Projektteam ein.

### Phase 3: Entwurfsplanung (Basic Engineering) (s. Kap. 4)

- Die Phase 3 ist eine Hauptphase im Engineering. Im **Basic Engineering** werden die Verfahrensunterlagen (Basic Design) und ein verbindlicher Entwurf für die Anlage und Technik sowie für die Abwicklung des Projekts erarbeitet.
- Die Planungstiefe am Ende Phase 3 muss ausreichend sein, um:
  - die Investitionsentscheidung fundiert vorzubereiten,
  - die Genehmigungsplanung behördengerecht durchzuführen und
  - gegebenenfalls die Fach- und Ausführungsplanung zu beginnen.
- Während der Entwurfsplanungsphase werden typischerweise fachspezifische Entwürfe erarbeitet (s. Inhaltsverzeichnis, Kap. 4). Die montage-, inbetriebnahme- und instandhaltungsspezifischen Belange sind zu beachten.
- Im Ergebnis der Entwurfsplanung entsteht die Basic Engineering-Dokumentation (s. Abschn. 4.4). Diese wird während des Genehmigungsverfahrens und bis zur Investitionsentscheidung präzisiert bzw. ergänzt und bildet schließlich das **Pflichtenheft** (Requirement Specification) (s. Abschn. 4.4) bzw. die *FEL-Dokumentation* (s. Abschn. 1.2).
- Das Pflichtenheft hat nach Freigabe der Investition den Bearbeitungsstatus: AFD (Approved for Detail) (s. Tab. 1.9, Abschn. 1.8.2) und bildet die Basis für die Ausführungsplanung und Anlagenrealisierung.
- Die Phase 3 sowie die Phasen 4 (Genehmigungsplanung) und 5 (Kostenermittlung) überlappen sich, d. h. die phasenspezifischen Arbeiten finden zum Teil parallel statt. Schnittstellen zwischen diesen Phasen sind wenig ausgeprägt.
- Das Basic Engineering wird häufig vom Investor eigenverantwortlich erarbeitet. Die Gründe sind die gleichen wie bei der Vorplanung.

Die Mitwirkung von externen Ingenieurpartnern wird als sog. *Owner-Engineering* bezeichnet.

- Fehlen dem Investor die notwendigen Ressourcen und/oder das notwendige Know-how, so wird mitunter das Basic Engineering auch an ein Ingenieurbüro „nach außen“ vergeben.
- Stark ausgeprägt ist die Schnittstelle der Phase 3 zur Phase 6 (Detail Engineering), da häufig das Detail Engineering, ggf. auch gemeinsam mit der Anlagenrealisierung, ausgeschrieben und beauftragt wird. Man spricht in diesen Fällen vom sog. *Kontraktor-Engineering*.

Zur effizienten Gestaltung dieser Schnittstelle ist ein ausführliches Basic Engineering (sog. *Extended Basic*) und Pflichtenheft erforderlich.

#### Phase 4: Genehmigungsplanung (Planning for permission) (s. Kap. 5)

- Die **Genehmigungsplanung** in Phase 4 umfasst ganzheitlich die Leistungen bei der
  - Analyse der Genehmigungsfähigkeit des beabsichtigten Vorhabens während der Projektvorbereitung und Grundlagenermittlung (Genehmigungsprognose),
  - Auswahl und Festlegung der genehmigungsspezifischen Entwurfsdaten und sonstiger Anlagenmerkmale im Lastenheft, die als Genehmigungsvoraussetzung eingeschätzt werden und während des Engineerings, inkl. Erarbeiten des Genehmigungsantrags, zu beachten sind,
  - regelmäßige Beurteilung des zu erwartenden Genehmigungsverfahrens und der Risiken hinsichtlich Erteilung der Genehmigung während der Phasen 1 bis 3,
  - Erarbeiten des Genehmigungsantrags sowie Mitwirken bei der Durchführung des Genehmigungsverfahrens.
- Fachliche Basis dafür sind die geltenden Rechtsvorschriften (s. Abschn. 5.3 und 5.4) sowie die Ergebnisse des Pre-Basic und insbesondere des Basic Engineerings.
- Die für den Genehmigungsantrag freigegebenen Dokumente haben den Bearbeitungsstatus: AFPA (Approved for Permit Application).
- Änderungen am Engineering, die sich z. B. aus der Genehmigungsprognose und dem Genehmigungsverfahren inkl. Genehmigungsbescheid ergeben können, sind umgehend im Engineeringprozess umzusetzen. Letztlich sind sie im Pflichtenheft als Grundlage für die Ausführung der Anlage zu berücksichtigen und zu dokumentieren.
- Die Herausforderung im verfahrenstechnischen Anlagenbau und insbesondere am Standort Deutschland ist, termingerecht und gemäß der vorgesehenen Projektablaufplanung die rechtskräftige Genehmigung für die Errichtung und den Betrieb der Anlage zu erlangen (s. Abschn. 5.2).
- Verantwortlich für die Einholung der Genehmigung ist der Investor

oder Bauherr. Er wird i.d.R. vom Anlagenplaner unterstützt (sog. *Behörden-Engineering*).

- Die Festlegungen im Genehmigungsbescheid sind beim Detail Engineering (Phase 6) sowie während der Phasen 7 (Beschaffung), 8 (Bau/ Montage) und 9 (Inbetriebnahme) exakt und nachvollziehbar einzuhalten.
- Alle genehmigungsrelevanten Unterlagen werden in der eigenständigen **Genehmigungsdokumentation** zusammengefasst und unter Verantwortung des Investors verwaltet.

#### Phase 5: Kostenermittlung (Cost Estimation) (s. Kap. 6)

- Die Phase 5 verläuft über die gesamte Dauer des Projekts. In Abb. 1.2 ist dies für den Zeitraum bis zur Investitionsentscheidung (Budgetfreigabe) grafisch veranschaulich. Danach ist die Kostenermittlung ins Projektcontrolling integriert.
- Die Kostenermittlung umfasst die Leistungen zur
  - Kalkulation der Investitionskosten inkl. Engineeringkosten,
  - Ermittlung der Betriebskosten,
  - Erbringung des Wirtschaftlichkeitsnachweises der Investition (sog. Investitionsrechnung).
- Die Methoden der Kostenermittlung (Kostenschätzung, Kostenkalkulation, Kostenberechnung) und die Genauigkeit der Ergebnisse hängen wesentlich vom Input (Planungstiefe) ab (s. Abschn. 6.2).
- Die projektbegleitend ermittelten Kosten sind ein wichtiges Steuerungselement für die Projektdurchführung. Gravierende SOLL-IST-Abweichungen bei den Kosten können u.U. signifikante Änderungen im Engineering, bis hin zu Korrekturen im Lastenheft, bewirken.
- Die Kostenermittlung und Wirtschaftlichkeitsberechnung bis zur Investitionsentscheidung werden i. Allg. vom Investor eigenverantwortlich, ggf. mit Unterstützung externer Spezialisten bzw. Owner-Engineers durchgeführt.
- Auf Basis dieser Leistungen wird die Investitionsentscheidung vorbereitet und durchgeführt. Im Erfolgsfall wird die geplante Anlageninvestition, ggf. unter Auflagen, freigegeben.  
Die Schnittstelle zur Phase 6 (Detail Engineering) ist somit entscheidend über den weiteren Projektfortgang.

#### Phase 6: Ausführungsplanung (Detail Engineering) (s. Kap. 7)

- Das **Detail Engineering** in Phase 6 liefert ausführungsreife Unterlagen (Dokumente) für die Beschaffung und Errichtung der Anlage sowie für der Inbetriebnahme und Dauerbetrieb.
- Die Planungsleistungen werden vom Investor meistens an einen Generalplaner (z. B. externes Planungsunternehmen) im Rahmen eines Engineering-Vertrags bzw. gemeinsam mit der Anlagenrealisierung an einen Generalunternehmer (z. B. mittels Turnkey-Vertrag) vergeben.

- Beim Einkauf von **Package-units** werden die Engineeringleistungen für die Package-unit in den meisten Fällen mit vergeben. Damit existieren zusätzliche Schnittstellen im Engineeringprozess einschließlich der Dokumentationsleistungen.
- Da sich nicht selten beim Übergang von Phase 3 (Basic Engineering) zum Detail Engineering (Phase 6) die Verantwortlichkeiten, Befugnisse und Zuständigkeiten grundlegend ändern, ist diese Schnittstelle sehr prägnant und beinhaltet viele Fehlerquellen und Konfliktpotential. (s. auch Abschn. 7.1).
- Das Detail Engineering von prozessrelevanten Hauptausrüstungen, z. B. die Konstruktion von Apparaten, Maschinen, Behältern, wird oftmals dem Hersteller der Ausrüstung zusammen mit deren Fertigung übertragen.  
Viele Engineeringunternehmen haben keine „richtigen“ Konstrukteure mehr. Damit ergeben sich innerhalb der Ausführungsplanung zahlreiche, risikobehaftete Schnittstellen.
- Im Ergebnis der Ausführungsplanung entsteht die Detail Engineering-Dokumentation bzw. Ausführungsdocumentation mit dem Bearbeitungsstatus: AFC (Approved for Construction) (s. Tab. 1.9, Abschn. 1.8.2 und Abschn. 7.4). Die Detail Engineering-Dokumente sind ein wesentlicher Bestandteil der **Projekt- und Anlagendokumentation**.

#### Phase 7: Beschaffung (Procurement)

- Die **Beschaffung** umfasst die Vorbereitung und Realisierung von Bestellungen für Lieferungen und Leistungen, die zur Anlagenrealisierung und ggf. zur Inbetriebnahme benötigt werden.
- Die Beschaffung ist eingebettet zwischen Detail Engineering (Phase 6) und der Baustellenabwicklung (Phase 8). Zu beiden Seiten ist die Schnittstelle ausgeprägt und im Projekt exakt auszugestalten.
- In den Beschaffungsvorgängen sind die notwendigen Engineeringleistungen der Hersteller bzw. Lieferanten umfassend zu spezifizieren und zu bestellen. Das gilt insbesondere für die Beschaffung von Package-units (Teilanlagen).
- Häufig kauft der Investor die Lieferungen (z. B. von Ausrüstungen inkl. zugehöriger Konstruktionsleistungen) und die Leistungen (z. B. für Bau und Montage) selbst ein und stellt sie dem Baustellenleiter zur Verfügung. De facto sind dies dann Beistellleistungen des Investors im Rahmen eines Engineering-Vertrages. Auch diese Schnittstelle hat viel Konfliktpotential.
- Die den Lieferungen und Leistungen zugehörigen Dokumente (z. B. Herstellerdokumente und Bau-/Montagedokumente) sind in die Projekt- und Anlagendokumentation einzuordnen.

#### Phase 8: Bau und Montage (Construction)

- Die Phase 7 beinhaltet die Baustellenabwicklung von der Baustellen-Eröffnung bis zur Protokollierung **Mechanische Fertigstellung (MF)**

bzw. Mechanical Completion (MC). Sie umfasst alle Arbeiten, die zur physischen Errichtung der Anlage auf der Baustelle zu erledigen sind.

- Die gesamte Baustellenabwicklung unterteilt sich in die Schritte:
  - Einrichten der Baustelle,
  - Bau (Tief-, Hoch-, Stahlbau),
  - Montage (Grob-, Rohrleitungs-, PLT-Montage usw.),
  - Sicherheits-, Funktions- und Abnahmeprüfungen,
  - Protokollierung Mechanische Fertigstellung (MF).
- Eingebettet in die Baustellenabwicklung sind viele Arbeiten zur Inbetriebnahmevorbereitung (Precommissioning) zu erledigen.
- Während der Phase 7 sind insbesondere die Hersteller- und Lieferantendokumente sowie die Montagedokumente in die Gesamtdokumentation einzufügen. Ferner sind Änderungen während der Baustellenabwicklung (im Vergleich zum Bearbeitungsstatus: AFC) in die betroffenen Ausführungsdocumente einzupflegen.
- Für den Investor bzw. den Inbetriebnahmleiter ist zum Zeitpunkt Mechanische Fertigstellung eine Anlagen- und Betriebsdokumentation (sog. **Inbetriebnahmedokumentation**) gemäß Vertrag zu erstellen und dem Inbetriebnahmleiter verfügbar zu machen.  
Die Dokumente dieser Inbetriebnahmedokumentation müssen den Bearbeitungsstatus: AFP (Approved for Production) aufweisen.
- Die Phase 7 endet mit dem Übergang zur Inbetriebnahme, einer sehr kosten-, verantwortungs- und sicherheitsrelevanten Schnittstelle.

#### Phase 9: Inbetriebnahme (Commissioning) [3]

- Die Inbetriebnahme (Phase 9) ist i. Allg. die letzte Projektphase. Sie umfasst die Leistungen nach der Protokollierung *Mechanische Fertigstellung* bis zum Erreichen eines vertragsgemäßen Dauerbetriebszustandes nach werkvertraglicher Abnahme bzw. nach schriftlicher Protokollierung der erbrachten Vertragsleistung.
- Die Inbetriebnahme ist die „Stunde der Wahrheit“ für die am Projekt beteiligten Unternehmen und Personen und mit erheblichen Unwägbarkeiten verbunden.
- Die Inbetriebnahme gliedert sich zweckmäßig in die Abschnitte:
  - Herstellung der Betriebsbereitschaft bzw. Kalt-Inbetriebnahme (Cold Commissioning),
  - Heiß-Inbetriebnahme bzw. Probetrieb inkl. Anfahren (Hot Commissioning),
  - Leistungsfahrt mit Leistungsnachweis (Performance Test),
  - Protokollierung des Leistungsnachweises und der werkvertraglichen Abnahme und/oder der erbrachten Vertragsleistung.
- Während der Inbetriebnahme sind unter Verantwortung des Inbetriebnahmleiters spezifische betriebliche Dokumente (z. B. Betriebs- und Instandhaltungsanweisungen) zu erstellen, die für den bestimmungsgemäßen Betrieb der Anlage nötig sind bzw. als Nachweis dienen.

- Änderungen während der Inbetriebnahme (im Vergleich zum Bearbeitungsstatus: AFP) sind in die betroffenen Dokumente einzupflegen. Die Anlagendokumentation am Ende der Inbetriebnahme wird als **AS BUILT-Dokumentation** (Synonym: Enddokumentation, Final Documentation) bezeichnet und die zugehörigen Dokumente müssen den Bearbeitungsstatus: *As-built* aufweisen.
- Die Schnittstellen-Gestaltung und deren Risiken zwischen Inbetriebnahme-Phase und Dauerbetrieb hängt vorrangig davon ab, ob zu diesem Zeitpunkt die werkvertragliche Abnahme (ggf. verbunden mit Gefahren-/Verantwortungsübergang, Beweislastumkehr, Gewährleistungsbeginn) der Vertragsleistung stattfindet oder ob dies schon zu einem früheren Zeitpunkt (z. B. zum Zeitpunkt *Mechanische Fertigstellung*) erfolgte.
- In Pharmaprojekten schließt sich an die (Erst-)Inbetriebnahme noch eine Phase 10 (Validierung) an (s. Abschn. 1.9).

Das vorbeschriebene Anlagen-Phasenmodell ist im Grundsatz ähnlich strukturiert wie das Phasenmodell für Bauprojekte, das in der HOAI (**Honorarordnung für Architekten und Ingenieure**) [4] dargestellt ist (s. Abschn. 6.1). Die Inhalte der Leistungsphasen sind jedoch sehr verschieden.

Welche Aufgaben in den Engineering-Phasen 1 bis 6 des Phasenmodels zu erledigen sind und welche Planungsergebnisse erarbeitet werden, wird in den Kapiteln 2 bis 7 dieses Buches näher ausgeführt. Auf die Leistungen in den Phasen 7 bis 9 wird nur soweit eingegangen, wie es zum Verständnis der Engineeringleistungen notwendig ist.

### 1.3 Front-End-Loading bzw. Front-End-Engineering

Die Independent Projekt Analysis Inc. (IPA) in den USA hat statistisch die Planungsunterlagen und Ergebnisse zahlreicher unterschiedlicher Projekte einen Benchmark unterzogen [5]. Aus der Analyse ließ sich statistisch ableiten:

*Je präziser ein Projekt zu Beginn definiert und bis zur Investitionsentscheidung geplant ist, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit einer Kostenüberschreitung in der Ausführungsphase.*

*Anders formuliert bedeutet dies, dass die Gesamtkosten eines Projekts in den ersten Projektphasen am wirksamsten beeinflusst werden können.*

Für den erfahrenen Projektmanager ist diese Erkenntnis nicht neu, weiß er doch aus schmerzhafter Erfahrung, dass „offene Fragen“ zu Projektanfang bzw. bei Vertragsabschluss im weiteren Verlauf des Projekts viel Geld und Zeit kosten.

Der Verdienst des IPA-Instituts ist aber unbestritten, dass es für diese praktische Erfahrung einen wissenschaftlichen Beweis erbracht und aus diesen Ergebnissen ein verallgemeinertes Projektmanagement-Konzept entwickelte.

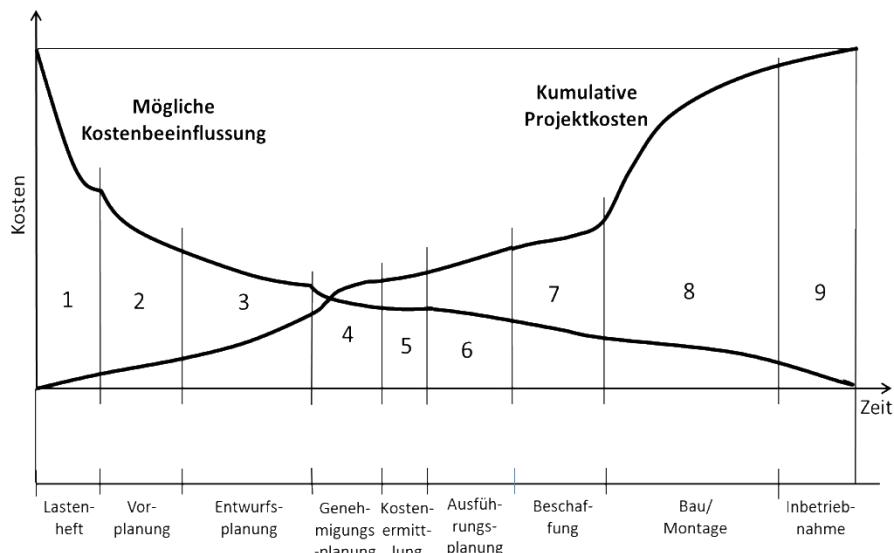
Dieses Konzept bzw. die abgeleitete Methodik zur Projektabwicklung wurde

mit dem Begriff **Front-End-Loading (FEL)** bzw. **Front-End-Engineering** gekennzeichnet und bedeutet sinngemäß: „Vorder- statt Endgewichtung“ bzw. „Vor- bis Endplanung“.

In Abb. 1.3 ist dieser Sachverhalt grafisch dargestellt. Mit relativ geringen Planungskosten in den frühen Projektphasen können die Gesamtkosten gravierend beeinflusst werden.

Das Front-End-Loading bzw. Front-Engineering beinhaltet alle Planungsschritte von Scope (Lastenheft) bis zur Investitionsentscheidung, d.h. die Leistungen der Phasen 2 bis 5 des in Abschnitt 1.1 beschriebenen Phasenmodells. Unter Verwendung der o.g. Begrifflichkeit werden die Phasen 1, 2 und 3 auch als FEL 1, FEL 2 und FEL 3 bezeichnet.

Die bis zur Freigabe der Investition (Ende Phase 5) erstellten Engineeringdokumente werden in einer **FEL-Dokumentation** bzw. im **Pflichtenheft** zusammengestellt.



**Abb. 1.3** Mögliche Kostenbeeinflussung während der Projektlaufzeit

Zusammenfassend weist das Front-End Loading-Konzept folgende Merkmale auf:

- Beim Front-End-Loading wird die Planungstiefe am Projektanfang und speziell bis zur Investitionsentscheidung erhöht. Dadurch werden Änderungen während der Ausführungsplanung, Beschaffung, Errichtung und Inbetriebnahme minimiert und das Risiko einer Kosten- und Terminüberschreitung sinkt.  
Die größere Planungstiefe kann zugleich für ein beschleunigtes Genehmigungsverfahren vorteilhaft sein.
- Nachteilig sind erhöhte Planungskosten bis zur Investitionsentscheidung. Dies ist insbesondere dann gravierend, wenn die Anlageninvestition nicht positiv entschieden wird.

Ferner beinhaltet die FEL-Methodik die Gefahr, dass sich das Projektmanagement nicht so effizient auf unvermeidliche bzw. fehlerbedingte Änderungen (Change-Order) während der Projektrealisierung einstellt.

Die Ausführungen dieses Buchs entsprechen weitgehend dem Gedanken des Front-End-Loading bzw. Front-End-Engineering, ohne diesen Begriff weiterhin explizit zu verwenden.

## 1.4 Grundzüge der Projektorganisation und -abwicklung

Die Ausführungen dieses Abschnitts gelten zunächst für den Investor als Projektträger. Zugleich sind sie aber auch für den Generalplaner, den späteren Generalunternehmer, für Package-unit-Lieferanten u.a. Auftragnehmer zutreffend. All diesen Unternehmen ist gemeinsam, dass sie große Aufträge in Form firmeninterner Projekte abwickeln und dabei auch Subunternehmen binden (s. auch Abschn. 2.5).

Entschließt sich ein Unternehmen, das in Abschnitt 1.2 beschriebene Phasenmodell zur Anlagen-Projektabwicklung zu nutzen, so sind die notwendigen Maßnahmen im Unternehmens-Management-Systems umzusetzen. Abb. 1.4 unterbreitet dazu einen Vorschlag, insbesondere auch für den Engineeringprozess.



Abb. 1.4 Umsetzung des Phasenmodells zur Anlagen-Projektabwicklung im Unternehmen

Ausgehend von den Zielstellungen des Unternehmens können in *Management Guidelines* oder in einer *Unternehmensrichtlinie zur Abwicklung von Anlagenprojekten* die grundsätzlichen Regelungen zur Projektabwicklung festgelegt werden.

Die Management-Dokumente sollten bereichs- und fachübergreifend in Form von Projektrichtlinien, Prozeduren, Arbeitsplänen, u. ä. vertieft und durch detaillierte Unterlagen für die Ausführungsebene ergänzt werden.

Insbesondere große Unternehmen, die als Investor bzw. Projektträger fungieren, machen häufig ihre eigenen Projekt-Guidelines und Richtlinien für alle am Projekt mitwirkende Partner/Kontraktoren verbindlich. Zum Teil muss der Generalplaner/-unternehmer im Office-System des Investors arbeiten.

Die Vorgehensweise gemäß Abb. 1.4 entspricht im Wesentlichen den Empfehlungen der DIN EN ISO 9000 ff. zur Qualitätssicherung, angewandt auf die Anlagen-Projektabwicklung inkl. Engineering.

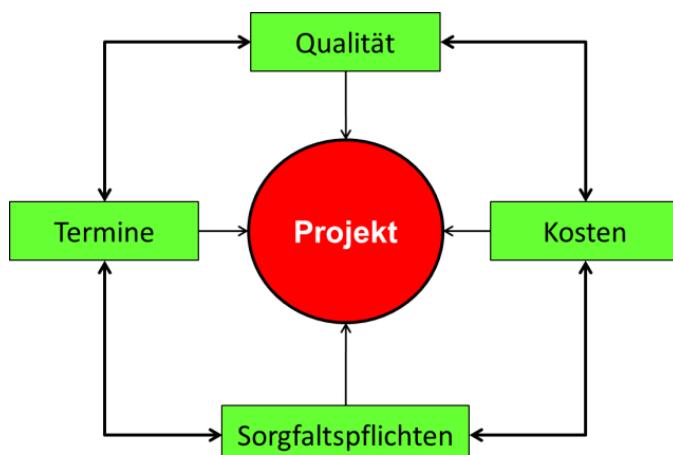
Durch das beschriebene, strukturierte Vorgehen können die Abläufe wesentlich besser vereinheitlicht und das Firmen-Know-how breiter genutzt werden.

### 1.4.1 Projektziele und Projektorganisation

Ein **Projekt** ist ein einmaliges und zeitlich begrenztes Vorhaben. Es ist im Anlagenbau gekennzeichnet durch:

- klare Ziele bzgl. Kosten, Termine, Qualität, Gesundheit-Sicherheit-Umweltschutz (GSU) usw.,
- zeitliche Begrenzung,
- interdisziplinäre Teamarbeit und organisationsübergreifende Beiträge,
- hohe Komplexität und Kompliziertheit.

Die zentrale Position des Projekts bei der Auftragsabwicklung sowie die wesentlichen Projektziele und ihre Abhängigkeiten veranschaulicht Abb. 1.5.



**Abb. 1.5** Strukturierung der Hauptziele im Projekt

Die erfolgreiche Realisierung dieser Soll-Vorgaben ist im verfahrenstechnischen Anlagenbau meistens mit erheblichen Unsicherheiten verbunden, wobei für die Engineering-Phasen die folgenden Risiken typisch sind:

- Terminrisiko:
  - kurze Planungszeiträume,
  - Unwägbarkeiten in Verfahren und Technik
  - erhebliche Unwägbarkeiten im Genehmigungsverfahren (z. B. mögliche Klagen gegen Genehmigungsbescheid)
  - weltweite Arbeitsteilung im Engineering
  - zu optimistische Engineeringplanung
- Kostenrisiko:
  - Engineeringleistungen oder Mitwirkungsleistungen des Investors im Lastenheft nicht exakt definiert
  - erhöhter Änderungsumfang
  - Vergütung nach Aufwand bzw. abhängig von Investitionssumme
  - zusätzliche Kosten durch Beschleunigungsmaßnahmen
- Qualitätsrisiko bzgl. Technik/Prozess:
  - Verfahren und/oder Technik neu bzw. unter den spezifischen Bedingungen unerprobt
  - Nutzung neuartiger Software
  - risikobehaftete Schnittstellengestaltung, z. B. durch weltweite Arbeitsteilung im Engineering
  - enormer Termin- und Kostendruck
  - fehlendes Wissen und Erfahrungen bei den Planern
  - keine effiziente Qualitätssicherung im Engineering
- Sorgfaltspflichtrisiko:
  - Verantwortungen und Befugnisse nicht klar geregelt
  - unzureichende Vorgaben und/oder Kenntnisse über relevante Rechtsvorschriften, Richtlinien, Normen
  - unzureichende Berücksichtigung sicherheitsrelevanter Änderungen während des Engineerings (HAZOP, Statik, Genehmigungsantrag u.a.)
  - technisches und/oder menschliches Versagen
  - enormer Termin- und Kostendruck
  - unzureichende Kommunikation (z.B. Sprache)

In vielen Fällen beeinflussen sich die einzelnen Risiken wechselseitig, sodass sie möglichst ganzheitlich analysiert und minimiert werden müssen.

Im Anlagenbau, insbesondere in den größeren Engineeringunternehmen, hat sich die Matrixstruktur der Projektorganisation (s. Abb. 1.6) bewährt. Sie ist gekennzeichnet durch eine Teilung der Weisungsbefugnisse zwischen Projektleiter und Fachbereichsleiter.

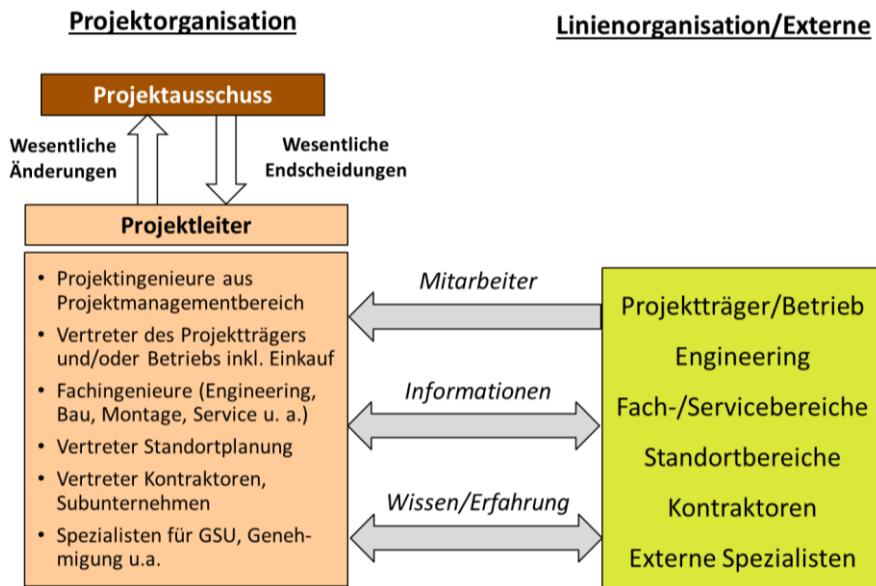


Abb. 1.6 Matrixstruktur der Projektorganisation

Der Projektleiter ist gegenüber der Unternehmensleitung verantwortlich, dass die Projektziele erreicht werden. Ihm werden für die Projektabwicklung befristet Mitarbeiter aus den technischen und/oder kaufmännischen Bereichen fachlich zugeordnet. Wichtig ist dabei, dass die Aufgaben jedes Mitarbeiters zwischen Projekt- und Fachbereich klar abgestimmt und als Arbeitsauftrag mit Funktionsbeschreibungen schriftlich formuliert und ausgehändigt werden.

Gegenüber den Mitarbeitern ist der Projektleiter entsprechend dem abgesteckten fachlichen Rahmen weisungsbefugt.

Der Fachbereichsleiter bleibt der disziplinarische Vorgesetzte des Projektmitarbeiters und insbesondere für arbeitsrechtliche Fragen weiterhin zuständig. Gleichzeitig obliegt ihm die Bereitstellung von fachlichem Spezialwissen (z. B. Stoffdaten, Modellrechnungen, Werkstoffempfehlungen, Untersuchungsmethoden) für die Projektmitarbeiter.

Trotz dieser scheinbar problematischen Doppelunterstellung hat sich die Matrixorganisation aus folgenden Gründen als leistungsfähig erwiesen:

- Die Projekt- und Fachbereichsleiter dienen dem gleichen Unternehmen. Sie sind beide zur Kooperation angehalten. Der Projektleiter könnte den Fachabteilungsleiter als Spezialist im Hintergrund bald wieder benötigen und der Fachabteilungsleiter könnte das nächste Projekt leiten.
- Mögliche Differenzen treten relativ schnell zu Tage und müssen umgehend von der Unternehmensleitung geklärt werden.
- Die Sachzwänge, die vom Projekt ausgehen, sind i. Allg. für alle Seiten sichtbar und überzeugend. Der Meinungsstreit wird fachbezogen geführt. Formelle Standpunkte lassen sich selten durchsetzen.

- Es wird einerseits projektspezifisch, eine temporäre Struktur geschaffen, andererseits bleibt die stabilisierende, vertikale Linienstruktur im Unternehmen erhalten. Damit gelingt der Spagat zwischen Flexibilität und Kontinuität.
- Der Mitarbeiter akzeptiert i. Allg. beide Chefs.  
Den einen, weil er sein Disziplinarvorgesetzter ist und er früher oder später zu ihm zurück kommt, den anderen, weil er zusammen mit diesem vor Ort ist, dort die Notwendigkeiten selbst sieht und mit ihm gemeinsam Erfolg haben möchte.

Zur Projektorganisation des Investors sowie des als Generalplaner beauftragten Engineering-Unternehmens gehören u. a.:

- Ein *Projektorganigramm* mit den zugehörigen *Projektstellenbeschreibungen* (s. Abb. 1.8 und Abb. 1.9 in Abschn. 1.4.4).
- Die anforderungsgerechte Besetzung der einzelnen Stellen einschließlich der Erarbeitung und Übergabe eines schriftlichen Arbeitsauftrages (sog. Zielvorgaben/-vereinbarungen) an die betreffenden Personen. Nach Projektende sollte jeder Stelleninhaber ein Projektabchlusszeugnis erhalten.
- Der Aufbau der **Projektdokumentation**, die alle Dokumente umfasst, die für die Abwicklung eines Projekts erarbeitet, verwaltet und abgelegt bzw. gespeichert werden. Die darin enthaltenen administrativen, kommerziellen und technischen Abwicklungsgrundlagen und -regelungen, werden mitunter separat in einem **Projekthandbuch** bzw. in einer Projekt-Abwicklungsrichtlinie zusammengefasst (s. Tab. 1.1).
- Die Gewährleistung des Informationsflusses und der Kommunikation im Projektteam.

**Tabelle 1.1** Gliederung eines Projekthandbuchs (Praxisbeispiel)

---

## 1 Projektgrundlagen und Projektstart

- Projektziele, Lastenheft
  - Projektauftrag
  - Vertrag einschließlich aller geltenden Dokumente
  - Rechte und Pflichten Dritter (Zusatzverträge, Patente, Lizenzvereinbarungen)
  - Technische Spezifikationen u. a. firmeninterne Normen
  - Kick-off-Meeting
  - Begriffsdefinitionen für Projekt
  - sonstige Rahmenbedingungen
- 

## 2 Projektorganisation

- Organisationsplan
  - Stellenbeschreibungen
  - Zuständigkeit, Verantwortlichkeit, Befugnisse
  - Vertretung
  - Angaben zu Kontraktoren
  - vollzogene Pflichtenübertragungen
  - Kontaktadressen
-

**Tab. 1.1** (Fortsetzung)

- 
- 3 Projektrichtlinien und -anweisungen**
- Sicherheitsrichtlinie (Prämissen und Vorgaben zu Sicherheit)
  - Festlegungen zur Geheimhaltung
  - Abwicklungsrichtlinie (Festlegungen zu Zielen, Phasen, Schnittstellen, Abnahmehandlungen, Umgang mit Projektdokumentation usw.)
  - Dokumentationsrichtlinie
  - projektspezifisches Qualitätsmanagement
  - Beschaffungsrichtlinie, inkl. Versand und Wareneingang, Baustellenaufträge
  - Baustellenrichtlinie, inkl. Mechanical Completion
  - Inbetriebnahmerichtlinie, inkl. Leistungsnachweis und Abnahme
  - Vertrags- und Projektende, Close-Out
- 
- 4 Projektverfolgung und -steuerung**
- Terminplanung und -verfolgung
  - Kostenplanung und -controlling
  - Change Order
  - Besprechungen (Routinen), inkl. Protokollierung, Aktionspunktlisten usw.
  - Berichterstattung intern und extern (Fortschrittsberichte)
  - Projektausschuss, Lenkungskreis
- 
- 5 Projektadministration**
- Unterschriftenregelung
  - Posteingang, -ausgang (Schriftverkehr, Fax, Email)
  - Postverteilung, -umlauf
  - Aktenablage bzw. Dokumentenspeicherung (elektronisch)
  - Kontakte nach Außen (Öffentlichkeit, Behörden u. ä.)
  - Formblätter, Musterdokumente
- 

In der Regel führt jeder Vertragspartner seine eigene Projektdokumentation. Mitunter einigen sich die Hauptpartner auf die Erarbeitung einer abgestimmten Projektabwicklungsrichtlinie, in der für das gemeinsame Projekt grundlegende Festlegungen vereinbart werden, wie z. B.:

- die Nutzung eines gemeinsamen Dokumenten-Management-Systems (DMS),
- die Anwendung eines einheitlichen Begriffs- und Kennzeichnungssystems,
- die konkrete Ausgestaltung der administrativen Zusammenarbeit usw.

## 1.4.2 Erfahrungen aus Projektabwicklungen

Für das Projektmanagement verfahrenstechnischer Anlagen gilt die alte Weisheit:

- Es gibt viele Wege klug zu handeln:*
- durch Nachdenken ist der edelste,
  - durch Nachahmen der einfachste,
  - durch Erfahrung der bitterste.

*Konfuzius*

In der Absicht, dem Leser die bitteren Erfahrungen zu ersparen, seien im Weiteren die wichtigsten Erfahrungen und Hinweise des Autors betreffs einer effizienten Projektabwicklung, die zugleich auch für das Engineering zutreffen, kurz angeführt und kommentiert (s. Tab. 1.2).

Sie resultieren sowohl aus dem eigenen Berufsleben als auch aus vielen persönlichen Gesprächen mit erfahrenen Fachkollegen.

In der Praxis gilt es für den Auftraggeber und für den Auftragnehmer diesem wünschenswerten Sollzustand möglichst nahe zu kommen.

**Tabelle 1.2** Haupterfahrungen aus Projektabwicklungen

---

**1. Einen umfassenden, konkreten und ausgewogenen Anlagenvertrag abschließen.**

These: Der Anlagenvertrag ist für das Projekt die „Geburtsurkunde“. Fehler wirken im gesamten Leben nach. Offene Fragen müssen später, unter häufig schwierigeren Bedingungen, ausgestaltet werden. Wer zu Beginn Klarheit schafft, dem wird es später gedankt!

Ein guter Vertrag zeichnet sich dadurch aus, dass beide Partner zufrieden sind.

---

**2. Projektrisiken bezüglich Kosten, Terminen und Qualität (Technik) ganzheitlich betrachten und minimieren.**

These: Da sich die Risikoarten sowie die möglichen Minimierungsmaßnahmen gegenseitig beeinflussen, müssen sie ganzheitlich betrachtet und entschieden werden.

Der Projektmanager (Techniker wie Kaufmann) muss dazu ausreichende Bereitschaft und Sachkenntnis aufbringen bzw. sich schnell aneignen.

---

**3. Verantwortung für Kosten, Termine, Qualität und Sorgfaltspflichten bei einer Person belassen.**

These: Die Gründe sind analog Ziff. 2. in der gegenseitigen Wechselwirkung zu sehen. Außerdem lässt sich die Verantwortung für das Gesamtprojekt nicht teilen.

---

**4. Change-Control-System (technisch, kommerziell, administrativ) effektiv organisieren.**

These: Der Umgang mit Änderungen gegenüber dem Vereinbarten, die beide Partner betreffen, muss im Vertrag geregelt sein. In Projektrichtlinien wird dies ergänzt.

Dabei geht es um Änderungen technischer, kommerzieller, personeller u. a. Art. Neben den monetären Aspekten muss insbesondere die Beantragung, Freigabe und inhaltliche Kommunikation der technischen Änderungen gemäß der konkreten Projektsituation bedacht werden.

---

**5. Projektplanung ganzheitlich, detailliert und realistisch erstellen.**

These: Die Projektplanung muss alle wesentlichen Vorgänge (z. B. die wichtigen Aktivitäten und Meilensteine zur Dokumentationserstellung) erfassen. Zugleich ist sie sachkundig und realistisch/ehrlich durchzuführen.

Unvorhergesehenes bzw. sonstige Randbedingungen oder Zwänge sind anschließend bewusst zu bewerten und in Form von Konsequenzen bzw. Maßnahmen zu berücksichtigen.

---

**Tab. 1.2** (Fortsetzung)**6. Schnittstellen bezüglich Verantwortung, Organisation, Leistung, Örtlichkeit usw. identifizieren und gezielt gestalten.**

These: Schnittstellen sind i.d.R. die Störstellen im Projekt. Ihre Anzahl ist steigend. Die Frage „Welche Schnittstellen gibt es und wie sind sie zu regeln?“ muss deshalb möglichst frühzeitig gestellt und beantwortet werden. Die Regelungen zu wesentlichen Schnittstellen müssen bezüglich Inhalt, Verantwortung, Örtlichkeit usw. schriftlich dokumentiert und den Betroffenen bekannt sein.

**7. Software- und Datenkonsistenz weitgehend gewährleisten.**

These: Die beim Engineering anzuwendende Software und Datenformate (zumindest für die wichtigen Dokumentarten) sind vom Auftraggeber in der Anfrage vorzugeben und im Anlagenvertrag bzw. bei Bestellungen zu ver einbaren. Nur so ist die Pflege der Dokumentation effektiv möglich. Die Datenkonsistenz betrifft auch die Nutzung einer einheitlichen Datenbank im Engineering, z. B. zur Generierung identischer Daten auf den R&I-Fließschemata, Datenblättern, Ausrüstungslisten.

**8. Qualitätssicherungspläne für Gesamtprojekt und Beschaffungsvorgänge erstellen.**

These: Die Qualitätssicherung ist eine der schwierigsten Aufgaben im Projekt. Sie muss intensiv geplant und kontrolliert werden. Jeder Auftragnehmer/Kontraktor sollte ca. 2-4 Wochen nach Bestellungseingang für seinen Leistungsumfang einen Qualitätssicherungsplan erstellen und dem Auftraggeber vorlegen. Dieser dient den Partnern als Basis für die Abstimmung von Qualitätssicherungsmaßnahmen, wie Haltepunkten, Kontrollen, Freigaben usw.

**9. Projektkritische Einzelseitigkeiten bzw. wichtige Personen identifizieren und deren Erfüllung bzw. Verfügbarkeit sichern.**

These: Projekte sind in immer kürzeren Fristen abzuwickeln. Die Folge sind u. a. mehr zeitkritische Planungs-, Genehmigungs- und Beschaffungsvorgänge. Diese Vorgänge sind möglichst früh zu identifizieren, um ggf. Sonderregelungen bzw. Vorabbestellungen veranlassen zu können. Nicht selten ist die Mitwirkung bestimmter Personen/Spezialisten erforderlich, für die es keinen adäquaten Ersatz gibt.

**10. Projektstart und Projektanfangsphase effektiv organisieren und nutzen.**

These: Während in der Endphase der Projekte nahezu immer Zeit- und Leistungsdruck herrscht, werden die Ressourcen zu Beginn oftmals nicht optimal genutzt. Das heißt, die Reserven liegen i. Allg. in der Startphase. Bis zum Ende des Kick-off-Meetings muss erreicht sein, dass alle Beteiligten von Anfang an zielorientiert und intensiv arbeiten.

**11. Projektvorgänge transparent machen und Projektsteuerung effektiv organisieren.**

These: Projektvorgänge transparent machen bedeutet, sie für das Management nachvollziehbar und kontrollierbar zu machen. Nur so kann das Risiko abgeschätzt und die Projektsteuerung erfolgreich realisiert werden.

**Tab. 1.2** (Fortsetzung)**12. Regelmäßige Detail- und Vorort-Inspektionen durch den Projektleiter sowie den Bau- bzw. Inbetriebnahmleiter.**

These: Wer sich immer nur auf die Informationen Anderer verlässt und sich kein eigenes Bild macht, läuft Gefahr, früher oder später Fehlentscheidungen zu treffen. In kritischen Situationen werden Informationen nicht selten unvollständig, verspätet oder subjektiv gefärbt weitergegeben. Ferner sehen bekanntlich zwei Augen mehr, als tausend Worte sagen können.

---

**13. Einheit von Anlage und Dokumentation in allen Projektphasen gewährleisten.**

These: Die Dokumentation ist Teil der Lieferungen und Leistungen. Ohne Übergabe der zugehörigen Dokumentation wird nicht vergütet.

Analog zur Anlage muss die Dokumentation im Lasten- und Pflichtenheft sowie im Anlagenvertrag und den Bestellungen spezifiziert und die zugehörigen Leistungen inhaltlich und werkvertraglich vereinbart werden.

Die Erstellung der Dokumentation im Ingenieurbüro und bei den Herstellern muss kontrolliert werden.

Die Projektmanager, insbesondere die Projekt-Leadingenieure müssen die Gesamtverantwortung für die Anlage und Dokumentation wahrnehmen.

---

Ergänzend zu diesen persönlichen Erfahrungen des Autors werden in der Tabelle 1.3 weitere Hinweise für ein erfolgreiches Projektmanagement, die aus der Fachliteratur entnommen sind, gegeben.

**Tabelle 1.3** Die 6 Gebote des Projektmanagements [6]**1. Streng hierarchische Gliederung des Projektes**

- Projekt in maximal 5 Ebenen strukturieren
  - Struktur ist zugleich Ordnungsprinzip für Dokumente und Dokumentationen
  - Erarbeitung der Projektstruktur erfolgt in der Top-down-Technik
  - Erfassung der Soll- und Istdaten erfolgt in Bottom-up-Technik
- 

**2. Minimaler Aufwand für Projektleiter und -mitarbeiter**

- Berichte und Dokumente müssen leitergerecht sein
  - Projektbüro muss reibungslos funktionieren
  - Projektleiter muss Managementsoftware nutzen
  - Bedienung der Managementsoftware und die damit verbundenen Vorbereitungsarbeiten dürfen 20 % der Arbeitszeit des Projektleiters nicht übersteigen
- 

**3. Einfache Handhabung der Projektwerkzeuge (Soft- und Hardware)**

- Nichtspezialisten und Leiter müssen sie richtig und schnell nutzen können
  - weitere Gründe für einfache Bedienung sind: schnell benötigte Unterlagen, Vermeidung hoher Schulungskosten, Senkung der Fehlerquote
- 

**4. Strenge nach Aktualität**

- aktuelle und belastbare Informationen sind für die Projektsteuerung nötig
  - Informationsverarbeitung muss wesentlich schneller sein als ihre Alterung
  - Fehler sind nur bei aktuellen Informationen schnell zu beheben
  - Informationen (Kosten, Termine) sollten arbeitspaketbezogen erfasst werden
-

**Tab. 1.3** (Fortsetzung)

- 
- 5. Frühzeitige Erkennung von Schwachstellen durch Trendanalysen**
- Trendanalysen (termin- und aufwandorientiert) lassen zukünftige Probleme früher erkennen
  - Istwerte fundiert analysieren und prognostizierende Tredaussagen ableiten
  - negativen Trendanalysen muss mit Sofortmaßnahmen begegnet werden
- 
- 6. Systematische Erfassung aller Störungen**
- Störungen im Projekt sind Abweichungen vom Ziel (Termine, Kosten, Technik)
  - Systematische Aufzeichnungen erlauben eine Beseitigung der Ursachen und sind hilfreich gegenüber dem Kunden
  - Spezifikationsveränderungen und Nachforderungen des Kunden sind als mögliche Störungsursachen zu erfassen
  - Störungsstatistik dient nicht nur der Steuerung im laufenden Projekt, sondern auch den zukünftigen Projekten (aus Fehlern lernen)
  - Störungserfassung sollte im Rahmen der Fortschrittsberichte erfolgen
  - wer Störungen nicht meldet, trägt für die Folgen die Verantwortung
- 

### 1.4.3 Ausführungen zu Verantwortung und Befugnisse sowie Pflichten und Zuständigkeiten

Die praktischen Erfahrungen aus mehreren großen Anlagenbauprojekten haben gezeigt, dass die mitwirkenden Personen i. Allg. ein fundiertes Fachwissen und umfangreiche Erfahrungen aufwiesen.

Nicht selten waren aber **Verantwortung**, **Befugnisse**, **Zuständigkeiten** und **Pflichten** nicht ausreichend klar und praktikabel geregelt. Zum Teil waren diese Begriffe auch unzureichend definiert und im Verständnis nicht eindeutig.

Letztlich waren damit immer unnötige Effektivitätsverluste in der Projektabwicklung verbunden.

#### 1.4.3.1 Verantwortung und Befugnisse

Nachfolgend die beiden Begriffsdefinitionen:

**Verantwortung** (accountability) ist ein Auftrag, im definierten Aufgabenbereich für ein bestimmtes Ergebnis (Sachverhalt, Erfolg) einzustehen.

**Befugnis** (authority) ist das Recht, im definierten Aufgabenbereich und Kompetenzbereich selbstständig Entscheidungen über

- die Definition von Zielstellungen und/oder
- die Planung, Terminierung und Durchführung von Arbeiten inkl. vorgegebener Rahmenbedingungen und/oder
- den Einsatz (inkl. Bezahlung) von Personal-, Betriebs- und Finanzmittel und/oder
- die Freigabe und Verteilung von Informationen zu treffen.

Die Verantwortung drückt im Prinzip aus, welche Ziele der Verantwortliche erreichen muss und dass er bei Nichterreichen dieser Ziele die damit verbundenen Konsequenzen trägt. Mögliche Arten von Verantwortung sind z.B.:

- *Projektverantwortung* inkl. Budget- und Terminverantwortung,
- *Fachverantwortung*,
- *Personalverantwortung*,
- *Sicherheitsverantwortung*,
- *ordnungsrechtliche Verantwortung*,
- *zivilrechtliche bzw. haftungsrechtliche Verantwortung*,
- *strafrechtliche Verantwortung*.

Die Befugnis bzw. Kompetenz kennzeichnet, was der Verantwortliche darf und was nicht. Mögliche Arten von Befugnissen sind z. B.:

- fachliche und/oder disziplinarische *Weisungsbefugnis* gegenüber benannten Personen,
- *Unterschriftsbefugnis* für definierte Unterschriftsleistungen (z. B. Prüfung und Freigabe von Dokumenten zur weiteren Nutzung),
- *Bestellbefugnis* für den Einkauf definierter Lieferungen und/oder Leistungen,
- *Handlungsvollmacht* für definierte Handlungen bzw. Aufgaben,
- *Entscheidungsbefugnis* im Rahmen eines definierten Aufgaben- und Verantwortungsumfangs,
- *Vertretungsbefugnis* für benannte Personen.

Klare Regelungen bezüglich dieser beiden Begriffe (einschließlich der im nächsten Unterabschnitt betrachteten Begriffe: **Pflicht** und **Zuständigkeit**) und daraus folgenden Konsequenzen bewirken u.a., dass

- die beteiligten Personen und insbesondere die Führungskräfte ihre Verantwortung genau kennen, als solche empfinden und ihr i. d. R. erfolgreicher gerecht werden.

Die Erfahrung im täglichen Leben zeigt:

*Wer seine Verantwortung genau kennt sowie bewusst fühlt und versteht, wird sie auch ein Stück gewissenhafter, selbstbewusster und erfolgreicher wahrnehmen.*

Zugleich wissen auch die Anderen, wer für den definierten Erfolg verantwortlich ist und wer nicht.

- die mitwirkenden Personen wissen, was sie im Rahmen ihrer Verantwortung und Zuständigkeiten tun und entscheiden können und was ihnen nicht erlaubt ist. Dabei gilt es nicht nur Kompetenzüberschreitungen zu vermeiden, sondern auch ein selbständiges Handeln und Entscheiden zu unterstützen.
  - die verantwortliche Person sich bewusst die Frage stellt, welche Möglichkeiten habe ich, einen Teil meiner Verantwortung an andere Personen bzw. Unternehmen zu übertragen (s. Abschn. 1.4.3.3).
- Ferner ist zu klären, in welchen Fällen dies zweckmäßig bzw. angeraten ist und wie es konkret und rechtskonform geschehen muss.

*Wer für die Wahrnehmung einer konkreten Verantwortung vergütet wird, sollte diese Verantwortung auch persönlich spüren und ggf. bei eigenen Fehlern und Mängeln haften.*

- die logische Konsequenz bei der Übertragung von Verantwortung ist, dass auch damit verbundene bzw. benötigte Befugnisse mit übertragen werden. Mancher Manager tut sich schwer, diesen Zusammenhang zu verstehen und umzusetzen. Es gilt die Empfehlung:

*Wer Verantwortung übernehmen soll, aber nicht gleichzeitig die dafür erforderlichen Befugnisse übertragen bekommt, sollte die verantwortliche Aufgabe ablehnen.*

### 1.4.3.2 Pflichten und Zuständigkeiten

Der Begriff **Pflicht** wird teils mit Verantwortung gleichgesetzt, hat aber eine völlig andere Bedeutung.

**Pflicht** (duty) ist die Notwendigkeit zu einem Tun oder Unterlassen, die sich aus Vertrag, Gesetzen, Verhaltensnormen, Anweisungen u.ä. ergibt.

Pflicht ist somit kurzgefasst eine dringend notwendige Aufgabe.

Der letzte wichtige Begriff, der im Hinblick eines effizienten Projektmanagements diskutiert werden soll, ist der Begriff **Zuständigkeit**. Dieser Begriff ist in der Praxis weniger gebräuchlich und wird häufig auch nicht klar zum Begriff **Verantwortung** abgegrenzt.

**Zuständigkeit** (responsibility) ist ein Auftrag, definierte Aufgaben zu bearbeiten und bestimmte Aktivitäten einzuleiten.

Die Zuständigkeit regelt, einfach gesprochen, wer konkret welche Aufgaben bearbeitet. Das heißt, es geht nicht darum, wer letztlich verantwortlich ist, sondern wer die konkrete fachliche Arbeit leistet.

Beispielweise ist für das Einholen der Genehmigung nach Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) [7] gegenüber der Genehmigungsbehörde der Investor bzw. Bauherr verantwortlich. Mit den Planungsleistungen für den Genehmigungsantrag beauftragt er aber z. B. ein externes Ingenieurbüro. Dieses Büro ist für die beauftragten Arbeiten zuständig, aber nicht verantwortlich für das Beibringen der Genehmigung bis zur Investitionsentscheidung.

Die beiden definierten Begriffe *Pflicht* und *Zuständigkeit* unterscheiden sich vorrangig in der Dringlichkeit bzw. Verbindlichkeit der zu erledigenden Aufgaben.

### 1.4.3.3 Übertragung von Pflichten und Verantwortung

Im Weiteren soll die Frage beantwortet werden:

*Können Pflichten bzw. Verantwortung ganz oder teilweise auf Andere übertragen werden und wie ist dies gegebenenfalls zu tun?*

**a) Übertragung von Pflichten und Zuständigkeiten bzw. Aufgaben**

Eine dringend notwendige Aufgabe, wie eine Pflicht kurz definiert wird, ist weitgehend übertragbar. Gleiches gilt für die Übertragung von Zuständigkeiten, die eine Person bzw. ein Unternehmen zu erledigen haben. Man spricht in diesem Zusammenhang von **Pflichtenübertragung**. Mitunter wird auch von Delegierung gesprochen. An welche Voraussetzung diese Übertragung gebunden ist, wird unter Buchst. c) dieses Abschnitts erläutert.

In vielen Fällen werden zusammen mit den Pflichten bzw. Zuständigkeiten auch Verantwortung und Befugnisse übertragen, soweit dies gemäß den nachfolgenden Ausführungen unter Buchst. b) dieses Abschnitts möglich ist.

Grundsätzlich ist jede Führungskraft angehalten, Pflichten und Aufgaben sowie gegebenenfalls auch Verantwortung, die sie selbst nicht ausreichend wahrnehmen kann, an befähigte Personen zu übertragen.

*Wer keine Pflichten, Aufgaben und Verantwortung, obwohl dies möglich wäre, überträgt und zugleich wegen Arbeitsüberlastung oder anderer Fehler seine Projektziele nicht erreicht, handelt u.U. fahrlässig.*

Derjenige, der *fachliche Pflichten* bzw. *Aufgaben* an andere Personen überträgt, bleibt trotzdem in der Verantwortung. Erledigt die übernehmende Person die übertragenen fachlichen Pflichten/Aufgaben nicht sachgerecht, so haftet der Delegierende für den nicht erreichten Arbeitserfolg.

Für manchen Manager und Spezialisten, die sehr erfolgreich sind und persönlich ganz wenig Fehler machen, ist dies ein Problem. Sie neigen deshalb auch dazu, sich zu viele Aufgaben selbst zuzumuten und zu wenig zu delegieren.

**b) Übertragung von Verantwortung und Befugnissen**

Anders als bei Pflichten und Aufgaben ist die Übertragung von Verantwortung eingeschränkt und aus Sicht des Autors wie folgt zu sehen:

- *Fachverantwortung ist nicht übertragbar.*

Auch wenn die verantwortliche juristische bzw. natürliche Person an andere natürliche bzw. juristische Personen Aufgaben überträgt, so bleibt sie letztlich doch in der Zielverantwortung. Sie muss weiterhin für das Ergebnis einstehen und bei Misserfolg die Konsequenzen tragen.

- *Verantwortung gemäß Strafgesetzbuch (StGB) ist übertragbar.*

Im StGB [8] formuliert der Gesetzgeber unter § 14 (Handeln für einen anderen):

(2) Ist jemand von dem Inhaber eines Betriebes oder einem dazu Befugten

1. beauftragt, den Betrieb ganz oder zum Teil zu leiten, oder
2. ausdrücklich beauftragt, in eigener Verantwortung Aufgaben wahrzunehmen, die dem Inhaber des Betriebes obliegen,

und handelt er auf Grund dieses Auftrages, so ist ein Gesetz nach dem besondere Merkmale die Strafbarkeit begründen, auch auf den Beauftragten anzuwenden, wenn diese Merkmale nicht bei ihm, aber bei dem Inhaber des Betriebs vorliegen.

Daraus folgernd ist eine Übertragung sog. *strafrechtlicher Verantwortung gemäß StGB* möglich.

- *Verantwortung gemäß DGUV Vorschrift 1 (Grundsätze der Prävention) ist übertragbar.*

In der DGUV Vorschrift 1 [9] steht unter § 13 (Pflichtenübertragung):

Der Unternehmer kann zuverlässige und fachkundige Personen schriftlich damit beauftragen, ihm nach Unfallverhütungsvorschriften obliegende Aufgaben in eigener Verantwortung wahrzunehmen. Die Beauftragung muss den Verantwortungsbereich und Befugnisse festlegen und ist vom Beauftragten zu unterschreiben. Eine Ausfertigung ist ihm auszuhändigen.

Im Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) [10] wird in § 13 (Verantwortliche Personen) in Abs. (2) formuliert:

Der Arbeitgeber kann zuverlässige und fachkundige Personen schriftlich damit beauftragen, ihn obliegende Aufgaben nach diesem Gesetz in eigener Verantwortung wahrzunehmen.

Das heißt, die *Sicherheitsverantwortung* gemäß DGUV Vorschrift 1 und die *Arbeitsschutzverantwortung* entsprechend ArbSchG sind übertragbar.

Selbstverständlich müssen zusammen mit der Verantwortung in adäquater Weise auch Befugnisse übertragen werden. Beides gehört zusammen.

Die Möglichkeiten der Verantwortungsübertragung sowie der damit verbundenen Aufgaben- und Pflichtenübertragung werden in der Praxis zunehmend genutzt; auch für Engineeringleistungen.

### c) Praktische Möglichkeiten und Formen der Übertragung

Die Verantwortungs- und Pflichten-/Aufgabenübertragung erfolgt i. Allg. in Form einer sog. **Bestellung**. Dieser Begriff ist in diesem Zusammenhang nicht kaufmännisch sondern wie folgt rechtlich-organisatorisch zu verstehen:

**Bestellung** ist die schriftliche Beauftragung und Namhaftmachung einer verantwortlichen Person für eine definierte Aufgabe, inkl. der damit verbundenen Verantwortung, Befugnissen u. a. Bedingungen.

Im Projekt allgemein sowie speziell für die Inbetriebnahme kann eine Verantwortungs- und/oder Pflichtenübertragung auf unterschiedliche Weise erfolgen. Möglichkeiten sind u.a.:

- Vereinbarungen in der kaufmännischen Bestellung bzw. im werkvertraglichen Engineering- bzw. Generalvertrag.
- Festlegungen im Arbeitsvertrag der betroffenen Person, z. B. indem der Mitarbeiter als Lead-/Projektingenieur *Prozess* mit genau definierten Aufgaben, Verantwortung und Befugnissen eingestellt wird.
- Festlegungen in Project Management Guidelines, Engineering-Management-handbüchern u.a. verbindlichen Unternehmensdokumenten.
- Stellenbeschreibungen für die Funktion, die von der betreffenden Person gemäß Organisationsschema (Organigramm) ausgeführt wird (s. Abb. 1.8 in Abschn. 1.4.4).

- Festlegungen in Entscheidungsmatrizen; im Englischen mitunter auch **RACI** (**R**esponsible – **A**ccountable – **C**onsulted – **I**nformed) bezeichnet.
- Ausführliche, spezifische Stellen-/Funktionsbeschreibungen für besondere Leistungsfunktionen.
- Wenn z. B. ein Leadingenieur extern gebunden wird, so reicht das in Abb. 1.8, Abschn. 1.4.4 angeführte Formblatt *Stellenbeschreibung* nicht aus. In diesem Fall müssen mehr Details geregelt und dokumentiert werden, ggf. auch in einer vertraglichen Vereinbarung. Das Muster für die Bestellung eines Leadingenieurs DOKUMENTATION zeigt Abb. 1.7. Es ist sinngemäß auch auf die Bestellung anderer Leadingeniere im Engineeringteam übertragbar.

In der Überschrift des Musterformulars in Abb. 1.7 wird vereinfachend der Begriff **Pflichtenübertragung** verwendet, obwohl streng genommen eine *Pflichten-* und *Verantwortungsübertragung* gemeint ist.

Der im Text in Abb. 1.7 verwendete Begriff *Bestellung* kommt ursprünglich aus dem Bergrecht [11] und bedeutet, dass verantwortliche Personen des Unternehmers (Auftraggeber) sowie von Kontraktoren in Bergbetrieben nur tätig werden dürfen, wenn sie gemäß vorgegebener Prozedur schriftlich bestellt und gegenüber dem Bergamt namhaft gemacht wurden. Dabei darf der Auftraggeber gemäß Bergrecht, nach vorheriger Abstimmung mit dem Kontraktor, auch Aufsichtspersonen von Fremdfirmen bestellen.

In letzter Zeit wird in anderen Industriezweigen, in Zusammenhang mit der Benennung von Aufsichtspersonen gemäß DGUV Vorschrift 1, § 5 [9] sowie von Verantwortlichen Personen gemäß ArbSchG, § 13 [10], gleichfalls von Bestellung gesprochen. Die Formulierung in Abb. 1.7 nutzt dies auch, wobei die Bestellung durch das Unternehmen erfolgt, bei dem die Aufsichtsperson arbeitsvertraglich beschäftigt ist. Die Bestellprozedur sollte möglichst im Auftrag vereinbart sein.

Die gemäß dem Formblatt in Abb. 1.7 vollzogene Bestellung hat sich in der Praxis, insbesondere gegenüber den Fremdfirmen, als sehr effektiv erwiesen.

#### **d) Restverantwortung des Bestellenden bzw. des Delegierenden**

Abschließend soll noch die Frage beantwortet werden, welche Verantwortung und Pflichten, auch nach vollzogener, rechtskonformer Übertragung bzw. Delegierung, noch beim Übertragenden bzw. Delegierenden verbleiben.

Die Antwort lautet:

Damit die Übertragung bzw. Delegierung von Verantwortung, Pflichten, Zuständigkeiten, Aufgaben u.ä. rechtswirksam ist, obliegen dem Unternehmer bzw. seinem Beauftragten (z. B. Projektleiter) auf Grund der allgemeinen Gesetzeslage die folgenden Sorgfaltspflichten gegenüber den bestellten Personen bzw. beauftragten Unternehmen:

- **Auswahlverantwortung**

- Wählen Sie für die anstehenden Aufgaben die richtigen Mitarbeiter ihres Unternehmens aus.
- Wählen Sie für die anstehenden Aufgaben die richtigen Unternehmen aus.
- Dokumentieren Sie die Entscheidungen und Handlungen nachvollziehbar.

Firmenbezeichnung

**Bestellung als Leadingenieur DOKUMENTATION  
und Pflichtenübertragung**

Hiermit werden Sie, ..... als Leadingenieur DOKUMENTATIN für die verantwortliche Durchführung der übertragenen Arbeiten während der Abwicklung des Projekts ..... bestellt.

Mit der Bestellung werden zugleich die folgenden Pflichten und Befugnisse übertragen:

- a) Wahrnehmung der Verantwortung für alle Dokumentationsleistungen der o.g. Firma gegenüber den zuständigen Projektleiter und
- b) Wahrnehmung der Sicherheits- und Fachverantwortung für alle Personen der o. g. Firma, die Ihnen gemäß Projekthandbuch inkl. Organisationsschema vom TT.MM.JJ ..... zum Projekt ..... zugeordnet sind,

während des unten angeführten Zeitraums.

Dazu sind insbesondere die folgender Aufgaben wahrzunehmen und deren Erfüllung im Verantwortungsbereich zu gewährleisten:

- Erarbeiten von Anforderungen an die Dokumentation für das o. g. Projekt,
- Koordinieren aller Dokumentationsarbeiten im eigenen Projektteam,
- Unterbreiten von Vorschlägen zur Verbesserung des projektspezifischen Dokumentationsprozesses,
- Erfüllungskontrolle bezüglich der Dokumentationsleistungen im Projekt und insbesondere der Vereinbarungen des Anlagenvertrags .....
- Durchsetzen der Firmeninteressen bezüglich der Dokumentation gegenüber dem Vertragspartner und den Kontraktoren,
- Sicherheit und Ordnung sowie Einhaltung von Gesetzen und Verordnungen,
- Richtlinien und Vorschriften sowie entsprechende Vorgaben der o.g. Firma,
- geordnete Zusammenarbeit im Verantwortungsbereich.
- Führen der ihnen zugeordneten Mitarbeiter.

Schwierigkeiten in der Wahrnehmung dieser Verantwortung, sofern sie nicht von Ihnen selbst behoben werden können, haben sie unverzüglich dem zuständigen Projektleiter zu melden.

Zur Wahrnehmung der Verantwortung wird Ihnen gegenüber den zugeordneten Personen der o. g. Firma eine Weisungsbefugnis erteilt.

Die Bestellung und Pflichtenübertragung erfolgen für den Zeitraum vom ..... bis .....

....., den .....

.....  
Unterschrift des Bestellenden

**Erklärung der verantwortlichen (bestellten) Person**

Hiermit erkläre ich, dass ich mir der Verantwortung, die sich aus den angeführten Aufgaben, Pflichten und Befugnissen ergeben, bewusst bin. In die örtlichen und sachlichen Grenzen meiner Tätigkeit bin ich eingewiesen. Mit der o. g. Bestellung und Pflichtenübertragung bin ich einverstanden.

....., den .....

.....  
Unterschrift des Bestellten

**Abb. 1.7** Beispiel für die Bestellung eines Leadingenieurs DOKUMENTATION

**• Ordnungsverantwortung**

- Klären Sie im eigenen Unternehmen bzw. im Arbeitsteam die Zuständigkeiten, Verantwortlichkeiten und Befugnisse der Mitarbeiter.
- Führen Sie möglichst eine schriftliche Pflichtenübertragung durch.
- Führen Sie die Ersteinweisung der Mitarbeiter durch.
- Dokumentieren Sie die Entscheidungen und Handlungen nachvollziehbar.

**• Aufsichtsverantwortung**

- Führen Sie stichprobenartige Kontrollen bzgl. der Aufgaben- und Pflichtenerfüllung, der gegebenen Sicherheit und Ordnung, des Gesundheits- und Umweltschutzes sowie der Einhaltung von Rechtsvorschriften durch.
- Prüfen Sie zu Beginn und wiederkehrend die Notwendigkeit von Gefährdungsbeurteilungen, Betriebsanweisungen u. a. Vorgaben für die Tätigkeiten.
- Führen Sie bei gegebenem Anlass wiederkehrende Unterweisungen durch.
- Dokumentieren Sie die Entscheidungen und Handlungen nachvollziehbar.

Beim Delegierenden verbleibt somit, auch nach vollzogener schriftlicher Pflichten-/Verantwortungsübertragung, die Auswahl-, Ordnungs- und Aufsichtsverantwortung.

Trotz dieser verbleibenden Verantwortung sollte der Inbetriebnahmleiter von einer schriftlichen Pflichten-/Verantwortungsübertragung auf eigene Führungskräfte (z. B. zugeordnete Inbetriebnahme-Ingenieure) bzw. auf Aufsichtspersonen von Kontraktoren gezielt Gebrauch machen. Sie macht die Organisation transparenter und trägt wirksam dazu bei, dass jeder seine Pflicht tut bzw. bei Pflichtverletzungen der persönlich Verantwortliche ermittelt und u.U. haftbar gemacht werden kann.

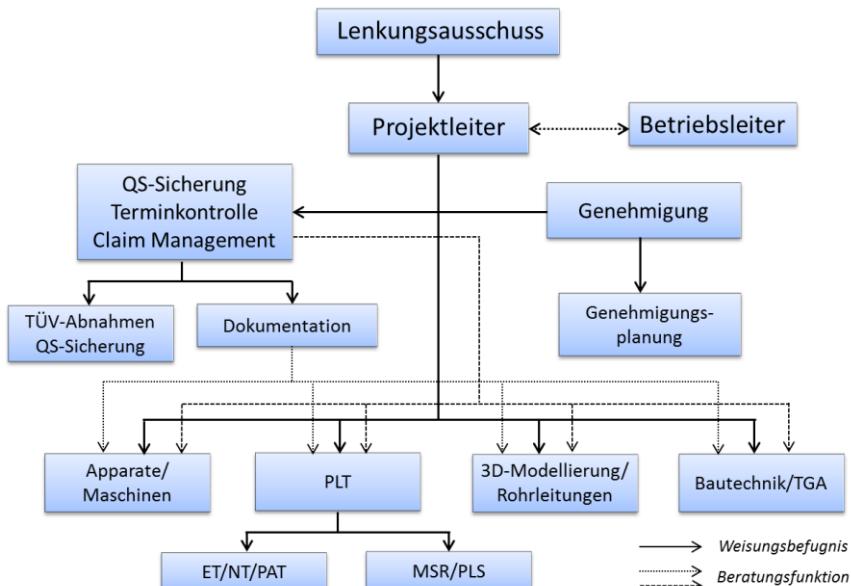
#### **1.4.4 Umsetzen der Festlegungen im Projekt**

Um ein eindeutiges Begriffsverständnis während der Projektabwicklung zu gewährleisten, sind wichtige Begriffe frühzeitig zu definieren, zu dokumentieren und möglichst für alle Projektbeteiligten als verbindlich vorzugeben.

Die Begriffsdefinitionen sollten in einem Glossar zusammengefasst werden, der als Anhang dem **Projekthandbuch** bzw. der **Projektdokumentation** beigefügt wird. Vereinbart man außerdem für das Projekt, dass alle definierten Begriffe in Großbuchstaben geschrieben werden, so kann jeder sogleich erkennen, dass es im Glossar dazu eine Begriffsdefinition gibt.

Die Aufbauorganisation des Projektes inkl. zugehöriger Stellen und Kommunikationsbeziehungen wird im **Organigramm** grafisch dargestellt. Abb. 1.8 zeigt beispielhaft das Organigramm für ein Investor-Projektteam zu Beginn der Ausführungsplanung (Phase 6) einer größeren Chemieanlage.

Im Organigramm sind nur die Leitfunktionen bzw. Führungskräfte des Projektteams dargestellt. Die Rechtecke symbolisieren die notwendigen Funktionen, die in diesen Fall jeweils mit einer Fachkraft zu besetzen sind.



**Abb. 1.8** Organigramm des Investors nach Vertragsabschluss über die Planung und Realisierung einer Chemieanlage (Praxisbeispiel)

Bei kleineren Projekten kann eine Person auch mehrere Funktionen ausfüllen.

Die vollen Linien kennzeichnen *Weisungsbefugnis* und die gestrichelten Linien sog. *Beratungskompetenz*. Im Fall einer gestrichelten Linie muss zum Beispiel der Claim-Manager den betroffenen Leadingenieur fachlich überzeugen, dass die Änderung aus guten Gründen nicht ausgeführt werden sollten. Gelingt ihm das nicht, kann er ggf. über den Projektleiter eine entsprechend Weisung erwirken.

Für jede Stelle im Organigramm ist eine Stellenbeschreibung zu erarbeiten. Das Formblatt einer Stellenbeschreibung, wie es auch für die Engineering-Phasen nutzbar ist, zeigt Abb. 1.9.

Indem die Stellenbeschreibungen vom Leiter erarbeitet und im Team erörtert werden, erfolgt eine fundierte Klarstellung der Verantwortlichkeiten, Befugnisse und Zuständigkeiten (Aufgaben) im Team. Zugleich kann jedes Teammitglied die ihm betreffenden Festlegungen „schwarz auf weiß“ nachlesen.

Wurde der Mitarbeiter aus der Linienorganisation ins Projektteam delegiert, so sollte auch sein Disziplinarvorgesetzter mit unterschreiben.

Mit der ausgefüllten und unterschriebenen Stellenbeschreibung kann zugleich eine Pflichtenübertragung und partielle Verantwortungsübertragung (s. Abschn. 1.4.3.3) vollzogen werden. Sie entspricht de facto einer **Bestellung** im rechtlich-organisatorischen Sinne.

Weitere Formen, um im Projekt eine geeignete Pflichten- und Aufgabenübertragung sowie eine ggf. mögliche Verantwortungsübertragung zu vollziehen sind in Abschn. 1.4.3.3 unter Buchst. c) angeführt.

<b>Stellenbeschreibung</b>		
Projekt:	<hr/>	
Name des Projektmitarbeiters:	<hr/>	
Abteilung:	<hr/>	
Funktion:	<hr/>	
Zeitraum:	<hr/> -	<hr/>
übergeordnete Projektmitarbeiter:	<hr/>	
untergeordnete Projektmitarbeiter:	<hr/> <hr/>	
Vertreter:	<hr/>	
Vollmacht:	<hr/>	
Aufgaben:	<hr/>	
Vorgesetzter	Projektleiter	Mitarbeiter

**Abb. 1.9** Formblatt für eine Stellenbeschreibung

Die wesentlichen Festlegungen bzgl. Verantwortung und Befugnissen sowie Pflichten und Aufgaben sind in den entsprechenden Abschnitten der Projektdokumentation bzw. in einem separat geführten **Projekthandbuch** (s. Tab. 1.1 in Abschn. 1.4.1) zusammenzufassen.

Von wesentlicher Bedeutung für ein erfolgreiches Projektmanagement, auch während der Engineeringphasen, ist eine effiziente Schnittstellendefinition und Schnittstellengestaltung.

Erfahrungsgemäß sind ca. 50 Prozent aller Störungen im Projekt auf Schnittstellenprobleme zurückzuführen. Dies gilt im Grundsatz auch für das Engineering.

Die wesentlichen Schnittstellen des Phasenmodells der Anlagenprojektabwicklung wurden bereits in Abschn. 1.2 beschrieben.

Das Beispiel in Abb. 1.10 verdeutlicht nochmals:

*Keiner ist vor Missverständnissen oder Fehlern gefeit!*

*Die scheinbar einfachen Dinge werden besonders gern übersehen, da sie als selbstverständlich vorausgesetzt werden.*



**Abb. 1.10** Schnittstellenproblem zwischen der Apparate- und Bauplanung bzw. zwischen dem Engineering und der Montage

Die Vielfalt möglicher Schnittstellen im Projekt und beim Engineering, die gegebenenfalls technisch, sicherheitlich, organisatorisch und örtlich zu definieren und zu gestalten sind, zeigt die Zusammenstellung in Tabelle 1.4.

Weitere Ausführungen zur Schnittstellenthematik, insbesondere eine Checkliste „Schnittstellenkontrolle an der Anlagengrenze am Standort bzw. zur vorhandenen Anlage“, sind in Verbindung mit der Infrastrukturentwurfsplanung in Abschn. 4.2.8, Buchst. b) enthalten.

## 1.5 Konsequenzen bei pflichtwidrigen Verhalten

### 1.5.1 Schaden durch fahrlässiges bzw. vorsätzliches Handeln

Ist ein **Schaden** (Personen-, Sach- oder Vermögensschaden) eingetreten, so gilt es zunächst die Ursachen zu ermitteln und zu beseitigen.

Danach wird aber i.d.R. gefragt:

*Wer ist für den Schaden verantwortlich, liegen Versäumnisse vor und welche Konsequenzen ergeben sich für die beteiligten Personen und Unternehmen?*

**Tabelle 1.4** Beispiele für Schnittstellen im Projekt inkl. Engineering

Im Projekt einschließlich der Engineeringphasen sind u.a. zu identifizieren und zu gestalten, die Schnittstelle zwischen:

- Auftraggeber und Auftragnehmer,
  - Projektteam und Linienorganisation,
  - Projektteam (AG) und Betriebsteam (AG),
  - den Generalauftragnehmer/-planer und seinen Subunternehmern,
  - den Projektpfaden,
  - den Fachdisziplinen,
  - Aufgaben, Verantwortung und Befugnisse der Fachplaner,
  - Projektteam/-leiter und Einkauf,
  - den einzelnen Beschaffungsvorgängen,
  - Package-unit-Lieferanten und Unterlieferanten,
  - Engineering und Bau bzw. Montage,
  - **Inside Battery Limits (ISBL)** und **Outside Battery Limits (OSBL)**,
  - bestehender Anlage und neuer Anlage,
  - Montage und Inbetriebnahme,
  - Inbetriebnahme und Dauerbetrieb,
  - Anlage und Dokumentation
- 

Juristisch gesprochen setzt eine sogenannte *Tatbestandsprüfung* ein, die nochmals zwischen einem objektiven und subjektiven Tatbestand unterscheidet.

a) Der *objektive Tatbestand* beinhaltet die Frage: *Was ist passiert?*

Dies kann z.B. verursacht durch Fehler während des Engineering sein:

- eine Augenverletzung eines Operators durch Austritt eines ätzenden Gefahrstoffes an einem Rohrleitungsflansch wegen falscher Stressberechnung,
- ein Verdichterschaden wegen unzulässiger Schwingungen oder wegen falscher Werkstoffwahl,
- die unzulässige Emissionen an Schadstoffen durch unerwartete Nebenproduktbildung,
- die Verunreinigung eines Gewässers durch falsch ausgewählte Messsonde im Abwasser.

Zugleich wird geprüft, ob es Vorschriften gibt, die einen solchen Tatbestand (Schaden) ahnden.

b) Der *subjektive Tatbestand* fragt: *Was habe ich mir (als Ausführender bzw. als Verantwortlicher) dabei gedacht?*

Dies kann beispielsweise während des Engineering sein:

- Rechtsvorschriften (z. B. bzgl. Sicherheit, Umwelt, Genehmigung) wurden nicht oder nicht ausreichend beachtet,
- Technische Regeln und/oder allgemein anerkannte Regeln der Technik wurden nicht beachtet bzw. keine gleichwertigen Alternativen genutzt,

- Versäumnisse im Umgang mit der Dokumentation (s. Tab. 1.5),
- Planungs- bzw. Managementfehler wegen unzureichender Klärung von Verantwortung und Zuständigkeiten.

In diesem Zusammenhang wird geprüft, inwieweit die beteiligten und insbesondere die verantwortlichen Personen *fahrlässig*, *grobfahrlässig* oder gar *vorsätzlich* gehandelt haben und ob dieses Verhalten in einem kausalen Zusammenhang mit den objektiven Tatbestand (Schaden) steht.

**Tabelle 1.5** Mögliche Versäumnisse im Umgang mit der Dokumentation während des Engineering

---

### 1 Übergreifende Aspekte (über alle Phasen inkl. Engineering)

---

- Keine eindeutigen Regelungen bzgl. Verantwortung, Befugnisse und Zuständigkeiten und/oder unzureichende Dokumentation und Kommunikation dieser Regelungen im Projektteam und/oder gegenüber Kontraktoren.
  - Die Abnahme- und/oder Kontrollhandlungen gegenüber Engineering-Dienstleistern, die u. a. mit Verantwortungs- und Gefahrenübergang bzw. mit Zahlungsvorgängen verbunden sind, sind nicht bzw. unzureichend dokumentiert.
  - Rechts- und sicherheitsrelevante Vorkehrungen und Aktionen (Gefährdungsbeurteilungen, Pflichtenübertragung, Einweisungen, Schulungen usw.) werden nicht bzw. nicht eindeutig und nachvollziehbar dokumentiert.
  - Keine eindeutige Abwicklungsstruktur der Dokumentation und/oder keine eindeutige Begriffsdefinition/Bezeichnung/Kennzeichnung der Dokumente während der Projektabwicklung.
  - Informationsverluste und Risikoerhöhung an Schnittstellen (z. B. zwischen Basic-/Detailengineering oder Engineering/Montage oder Engineering/Inbetriebnahme) durch Anwendung von ungeeigneten, nichteindeutigen Darstellungsformen bzw. Dokumentarten.
  - Keine Speicherung der Dokumente unterschiedlicher Revisionsstände, sodass Änderungen und deren Verursacher nicht nachvollziehbar und verursachergerecht zuordnenbar sind.
  - Keine klaren Regelungen und Praktiken zur Master- bzw. Revisionspflege, sodass zu einem Dokument unterschiedliche Revisionsstände mit abweichenden Inhalten genutzt werden.
  - Keine klaren Regelungen zu den Mitwirkungsleistungen des Investors/Auftraggebers an der Dokumentation, z. B. betreffs:
    - Beistellen von aktuellen Bestandsunterlagen,
    - Mitwirkung bei QS-Kontrolle und Freigabe von Dokumenten,
    - Beistellen von Hersteller- und/oder Lieferantendokumenten aus Beschaffungsvorgängen des Investors.
  - Keine klaren Festlegungen betreffs des „Einfrierens (Freezing Point)“ relevanter Dokumente und/oder zum verbindlichen Änderungsprozedere (Change-Control-System) nach „Einfrieren“.
-

**Tab. 1.5** (Fortsetzung)**2 Engineeringphasen** (Phasen 1 bis 6)

- 
- Mängel im Projekthandbuch bzgl. Inhalt und Form, z. B. für Fremdfirmenmitarbeiter nicht verständlich und nicht zugänglich.
  - Keine ausreichende Spezifikation der Engineering- und/oder Dokumentationsleistungen im Lastenheft bzw. im Pflichtenheft.
  - Nichtbeachtung relevanter Rechtsvorschriften wegen fehlender, falscher oder missverständlicher Arbeitsunterlagen für das Engineering.
  - Mängel beim Identifizieren, Zuordnen und Wiederfinden von Dokumenten, auf die in so genannten Basisdokumenten (z. B. Qualifizierungs- und Validierungsdokumente) verwiesen bzw. referenziert wird.
  - Informationsverluste und Risikoerhöhung an Schnittstellen (z. B. zwischen Basic-/Detailengineering oder Engineering/Montage oder Engineering/Inbetriebnahme) durch Anwendung von ungeeigneten, nichteindeutigen Darstellungsformen bzw. Dokumentarten.
  - Nutzung nicht geprüfter und/oder nicht freigegebener und somit nicht qualitätsgeprüfter und/oder nicht autorisierter Dokumente.
  - Versäumnisse beim Aufbewahren von Dokumenten während der Projektabwicklung, z. B. durch unzureichende Regelungen.
  - Versäumnisse beim Dokumenten- bzw. Datenschutz (Zugangs- und Zugriffsrechte, Aufbewahrung, Speicherung) während des Engineerings.
  - Die Papierversion und die elektronische Version der Dokumentation sind nicht identisch, sodass keine eindeutige Dokumentations- und Arbeitsbasis gegeben sind.
  - Die Grundlagen, die Vorgehensweise und die Ergebnisse/Festlegungen der Investitionsentscheidung sind nicht ausreichend detailliert und nachvollziehbar dokumentiert.
  - Nicht-Fortschreibung der Genehmigungsunterlagen bzw. Nicht-Anzeige von genehmigungsrelevanten Änderungen gegenüber der Behörde während des Detail Engineerings.
  - Fehlerhafte bzw. unzureichende Angaben in den Technischen Beschaffungsunterlagen, die die Lieferung und den Einsatz ungeeigneter Komponenten (Werkstoff, Druckstufe, Funktion, Dichtigkeit, Ex-Eignung u. a.) bewirken.
  - Mängel (fehlende, falsche, missverständliche Dokumente) in der Dokumentation, die zu Bedienungsfehlern führen.
  - Mängel (fehlende, falsche, missverständliche Dokumente) in der Dokumentation, die zu Instandhaltungsfehlern durch das Servicepersonal führen.
  - Unzureichendes Einpflegen von Änderungsvorgängen und zugehörigen Dokumenten (Change-Control-Dokumente) in die Dokumentation.
  - Fehlende bzw. fehlerhafte GMP-relevante Dokumente in Pharmabetrieben.
-

Im Ernstfall ist somit die Frage zu beantworten:

*Hatte im Schadensfall die verantwortliche und ggf. auch die ausführende Person fahrlässig, grobfahrlässig oder gar vorsätzlich gehandelt?*

Vereinfachend gelten dabei die folgenden Begriffsverständnisse:

**Vorsätzlich** handelt,

wer den Schaden voraussehen konnte und dessen Eintritt billigend in Kauf genommen hat.

**Fahrlässig** handelt [8],

- wer entweder die Sorgfalt außer Acht lässt, zu der er nach den Umständen und seinen persönlichen Verhältnissen verpflichtet und fähig ist, und deshalb die Tatbestandsverwirklichung (d. Verf.: Schadenssituation) nicht erkennt (*unbewusste Fahrlässigkeit*) oder
- wer die Tatbestandsverwirklichung für möglich hält, jedoch pflichtwidrig und vorwerfbar im Vertrauen darauf handelt, dass sie nicht eintreten werde (*bewusste Fahrlässigkeit*).

**Grob Fahrlässig** handelt [12],

wer die im Verkehr erforderliche Sorgfalt in ungewöhnlich großem Maße verletzt; wer das unbeachtet lässt, was im gegebenen Falle Jedem gleich einleuchten musste.

Für die Praxis ist der Fahrlässigkeitsvorwurf besonders wichtig, wobei vereinfachend gilt:

*Ich handele fahrlässig, wenn ich in einer bestimmten Situation nicht entsprechend sorgfältig handele, obwohl ich es auf Grund meiner Fähigkeiten und Kenntnisse hätte tun können!*

## 1.5.2 Mögliche Konsequenzen bei Pflichtverletzungen

Als Hilfe für Führungskräfte, die in Anlagenprojekten oder an anderer Stelle im Leben der Anlage verantwortlich mitwirken, sowie für andere abhängig beschäftigte Personen (Arbeitnehmer), die eine gefahrgeneigte Arbeit ausführen, sind im Weiteren mögliche Konsequenzen bei Pflichtverletzungen bzw. bei pflichtwidrigem Verhalten aufgeführt. Dies sind:

### a) Disziplinarische bzw. arbeitsrechtliche Konsequenzen

Jeder Beschäftigte muss bei fehlerhafter Arbeit mit Kritik und ggf. finanziellen Konsequenzen rechnen. Sind die zu verantwortenden Fehler gravierend (z. B. erheblicher Sachschaden, Verstoß gegen Sicherheitsvorschriften, Nichtbeachtung von Rechtsvorschriften) oder sind von den Auswirkungen Dritte betroffen, so ergeben sich mitunter auch disziplinarische bzw. arbeitsrechtliche Konsequenzen. Ob der Betreffende dabei fahrlässig gehandelt hat, spielt unter Beachtung aller Umstände eine wichtige Rolle.

### b) Privat- bzw. zivilrechtliche Konsequenzen

Das deutsche Zivilgesetz ist das **Bürgerliche Gesetzbuch (BGB)** [13].

Im § 823 (Schadenersatzpflicht) wird zu den zivilrechtlichen Schadenersatzansprüchen, die u. U. eine geschädigte natürliche Person oder ein Unternehmer geltend macht, folgendes formuliert:

- (1) Wer vorsätzlich oder fahrlässig das Leben, den Körper, die Gesundheit, die Freiheit, das Eigentum oder ein sonstiges Recht eines anderen widerrechtlich verletzt, ist dem anderen zum Ersatz des daraus entstandenen Schadens verpflichtet.
- (2) Die gleiche Verpflichtung trifft denjenigen, welcher gegen ein den Schutz eines anderen bezweckendes Gesetz verstößt. Ist nach dem Inhalt des Gesetzes der Verstoß gegen dieses auch ohne Verschulden möglich, so tritt die Ersatzpflicht nur im Falle des Verschuldens ein.

Zivilrechtlich wird in der Rechtspraxis bezüglich Fahrlässigkeit nochmals unterschieden zwischen: *grober Fahrlässigkeit*, *normaler Fahrlässigkeit* und *leichter Fahrlässigkeit*.

Dabei ist die Abgrenzung zwischen normaler und grober Fahrlässigkeit wichtig, da bei Vorsatz oder grober Fahrlässigkeit der Schuldige i. d. R. voll haftet. Zugleich treten bei grober Fahrlässigkeit viele Versicherer für den Schaden nicht ein.

Bei zivilrechtlichen Verfahren, die mitunter auch als Nebenklagen in Strafprozesse eingebunden sind, ist somit besonders der Vorwurf eines *grob fahrlässigen Handelns* entscheidend.

### c) Ordnungsrechtliche Konsequenzen

Bei Verstößen gegen gesetzliche und/oder behördliche Auflagen können die befugten Stellen (z. B. Aufsichtsbehörden, Ordnungsämter, Feuerwehr, Polizei) gegenüber der verantwortlichen natürlichen bzw. juristischen Person eine Ordnungsstrafe (Bußgeld) verhängen.

Grundlage dafür sind einerseits das Ordnungswidrigkeiten-Gesetz (OWiG) [14] sowie die Ausführungen in den jeweiligen Rechtsvorschriften selbst.

Die Gesetze und Verordnungen haben meistens einen Paragraphen „Bußgeltvorschriften“, in dem die Geldbuße bei ordnungswidrigen Verhalten konkret angeführt ist. Beispielsweise resultiert aus der Maschinenverordnung [15] gemäß § 8 (Ordnungswidrigkeiten) unter anderen:

- Ordnungswidrig im Sinne des § 39 Abs. 1 Nr. 7 Buchstabe a des Produktsicherheitsgesetzes handelt, wer vorsätzlich oder fahrlässig
1. entgegen § 3 Abs. 2 Nr. 2 nicht sicherstellt, dass die technischen Unterlagen verfügbar sind,
  2. entgegen § 3 Abs. 2 Nr. 3 die Betriebsanleitung nicht oder nicht rechtzeitig zur Verfügung stellt,
  3. entgegen § 3 Abs. 2 Nr. 4 in Verbindung mit § 4 eines der dort vorgeschriebenen Konformitätsbewertungsverfahren nicht oder nicht rechtzeitig durchführt,
  4. entgegen § 3 Abs. 2 Nr. 5 eine EG-Konformitätserklärung nicht oder nicht rechtzeitig ausstellt oder nicht sicherstellt, dass sie der Maschine beiliegt.

Die im Beispiel angeführte Ordnungswidrigkeit können gemäß Produktsicherheitsgesetz [16] mit Geldbußen zwischen 10 bis 100 TEURO geahndet werden.

**d) Strafrechtliche Konsequenzen**

Grundlage für die Beurteilung von Straftaten ist das Strafgesetzbuch [8]. Von Rechts wegen ermittelt i.d.R. der Staatsanwalt.

**Tabelle 1.6** Auszüge aus dem Strafgesetzbuch der BRD [8]

---

**§ 222 Fahrlässige Tötung**

Wer durch Fahrlässigkeit den Tod eines Menschen verursacht, wird mit Freiheitsstrafe bis zu fünf Jahren oder mit Geldstrafe bestraft.

**§ 229 Fahrlässige Körperverletzung**

Wer durch Fahrlässigkeit die Körperverletzung einer anderen Person verursacht, wird mit Freiheitsstrafe bis zu drei Jahren oder mit Geldstrafe bestraft.

**§ 319 Baugefährdung**

(1) Wer bei der Planung, Leitung oder Ausführung eines Baues oder des Abbruchs eines Bauwerkes gegen die allgemein anerkannten Regeln der Technik verstößt und dadurch Leib oder Leben eines anderen Menschen gefährdet, wird mit Freiheitsstrafe bis zu fünf Jahren oder Geldstrafe bestraft. (weitere Abs. 2 bis 4)

**§ 323e Unterlassene Hilfeleistung**

Wer bei Unglücksfällen oder gemeiner Gefahr oder Not nicht Hilfe leistet, obwohl dies erforderlich und ihm den Umständen nach zuzumuten, insbesondere ohne erhebliche eigene Gefahr und ohne Verletzung anderer wichtiger Pflichten möglich ist, wird mit Freiheitsstrafe bis zu einem Jahr oder mit Geldstrafe bestraft.

**§ 324 Gewässerverunreinigung**

- (1) Wer unbefugt ein Gewässer verunreinigt oder sonst dessen Eigenschaften nachteilig verändert, wird mit Freiheitsstrafe bis zu fünf Jahren oder mit Geldstrafe bestraft.
- (2) Der Versuch ist strafbar.
- (3) Handelt der Täter fahrlässig, so ist die Strafe Freiheitsstrafe bis zu drei Jahren oder Geldstrafe.

**§ 324a Bodenverunreinigung**

- (3) Handelt der Täter fahrlässig, so ist die Strafe Freiheitsstrafe bis zu drei Jahren oder Geldstrafe.

**§ 325a Verursachen von Lärm, Erschütterungen und nitionisierenden Strahlen**

- (3) Handelt der Täter fahrlässig, so ist die Strafe Freiheitsstrafe bis zu zwei Jahren oder Geldstrafe.

**§ 326 Unerlaubter Umgang mit gefährlichen Abfällen**

- (5) Handelt der Täter fahrlässig, so ist die Strafe in den Fällen des Absatzes 3 Freiheitsstrafe bis zu einem Jahre oder Geldstrafe.

**§ 327 Unerlaubtes Betreiben von Anlagen**

- (3) Handelt der Täter fahrlässig, so ist die Strafe in den Fällen des Absatzes 2 (d. Verf.: u. a. BImSchG- und WHG-Anlagen) Freiheitsstrafe bis zu zwei Jahren oder Geldstrafe.

**§ 329 Gefährdung schutzbedürftiger Gebiete**

- (5) Handelt der Täter fahrlässig, so ist die Strafe in den Fällen der Absätze 1 und 2 Freiheitsstrafe bis zu zwei Jahren oder Geldstrafe.
-

Bezüglich der strafrechtlichen Verantwortung natürlicher Personen steht im Strafgesetzbuch (StGB) unter § 15 (Vorsätzliches und fahrlässiges Handeln):

Strafbar ist nur vorsätzliches Handeln, wenn nicht das Gesetz fahrlässiges Handeln ausdrücklich mit Strafe bedroht.

Als Strafe kommen Geldstrafe oder Freiheitsentzug in Betracht.

Die Angaben in Tabelle 1.6 zeigen, dass gemäß StGB in vielen Situationen ein fahrlässiges Handeln strafbar ist.

*Das heißt, bei einem signifikanten objektiven Tatbestand ist bereits der Vorwurf eines fahrlässigen Handelns strafrechtlich relevant. Die strafrechtliche „Schwelle“ ist in diesen Fällen niedriger als die zivilrechtliche. Entscheidend dafür, ob ein fahrlässiges Handeln vorliegt, sind die Sorgfaltsmäßigkeiten für die jeweilige Situation.*

Darüber hinaus ist zu beachten:

- Im Rahmen der erforderlichen Sorgfalt wird grundsätzlich auf die Einsichtsfähigkeit eines durchschnittlichen objektiven Dritten in gleicher Situation und dessen gesunden Menschenverstand Bezug genommen.
- Wer über ein qualifiziertes Wissen verfügt, muss aufgrund dieses Mehrwissens auch ein Mehr an Sorgfalt aufbringen.
- Eine Strafbarkeit liegt nicht nur bei pflichtwidrigem aktiven Tun vor, sondern auch bei pflichtwidrigem Unterlassen einer gebotenen Handlung.

*Verantwortlich ist man nicht nur für das, was man tut,  
sondern auch für das, was man nicht tut.*

*Laotse*

Die gemachten Ausführungen zur Strafbarkeit verdeutlichen, dass die Schwelle für ein strafrechtlich relevantes Vergehen „praxisnah“ ist. Das gilt auch für Versäumnisse während des Engineerings und den daraus möglichen Folgen.

Der Verfasser musste in seiner praktischen Tätigkeit in mehreren Anlagenprojekten leidvoll erfahren, dass Fehler bzw. Ungenauigkeiten im Engineeringprozess, z. B. bei der

- Mengen- und Energiebilanzierung von Viel-Stoffgemischen und komplexen Anlagensystemen,
- Auslegung von Kolonnen und Wärmeübertragern mit komplexen Gemischen (nicht-ideale Phasengleichgewichte) und extremen Prozessparametern,
- Werkstoffauswahl bei stark korrosiven Medien- und Prozessbedingungen (Neigung zu Spannungsrißkorrosion),

teilweise erhebliche Schäden und Mehrkosten verursachten. In einigen Fällen wurden auch Fragen nach der Verantwortung sowie eines fahrlässigen Handelns gestellt und geprüft.

Insgesamt ist das Risiko eines Fahrlässigkeitsvorwurfs beim Umgang mit verfahrenstechnischer Anlagen nicht zu unterschätzen.

Im Wissen um diese Gefahr und da die „Schwelle“ in vermeintlich guter Absicht schnell überschritten wird, gilt der folgenden Rat:

*Machen Sie Ihre Arbeit so, dass Ihnen niemals im Problemfall die folgenden Vorwürfe gemacht werden können:*

***Das hätten Sie wissen müssen!***

*oder*

***Das hätten Sie verhindern können!***

## 1.6 Planung der Engineeringarbeiten

### 1.6.1 Zuordnung zum Phasenmodell

Die **Engineeringplanung** beinhaltet die Ermittlung des Soll-Verlaufs (Aufgaben, Termine, Ressourcen, Kosten) für die Engineeringarbeiten.

Die Planung der Engineeringarbeiten muss projektbegleitend von den ersten Überlegungen zum Anlagenprojekt an bis zum Ende des Projekts stattfinden.

Im Einzelnen sind im „klassischen Fall“ die nachfolgend aufgeführten Dokumente, die Soll-Vorgaben zum Engineering einschließen, etappenweise bis zur Investitionsentscheidung bzw. bis zur Fertigstellung des Pflichtenhefts zu erarbeiten. Entsprechend dem Projektfortschritt nehmen dabei die Unwägbarkeiten ab und der Detaillierungsgrad zu.

1. *Projekt-Grobterminplan* während der Projektvorbereitung, z.B. im Rahmen einer Durchführbarkeitsstudie (s. Tab. 2.1 in Abschn. 2.2).
2. *Vorgaben zum Projektmanagement* und *zum Projektlauf* (Starttermin, Endtermin, Meilensteine) innerhalb des Lastenhefts (s. Tab. 2.20 in Abschn. 2.4.2) bis zum Ende der Grundlagenermittlung (Phase 1).
3. Nachfolgende Unterlagen zu Beginn der Vorplanung (Phase 2) beim Aufbau der Projektorganisation (s. Abschn. 3.1):
  - *Rahmenterminplan* des Projekts inkl. Hauptziele, Meilensteine und Hauptaktivitäten-/vorgänge,
  - *Grobressourcenplanung* gemäß Rahmenterminplan,
  - *Grobstrukturierung des Projektteams* bis Projektende (Ende Phase 9),
  - *Untersetzung der Projektstruktur* (Termine, Ressourcen, Kosten) bis zur Investitionsentscheidung (Ende Phase 6).
4. Detaillierte Engineering-Ablaufpläne zu Beginn des Basic Engineering (Phase 3) bis zur Investitionsentscheidung (Ende Phase 6).

Im Weiteren soll schwerpunktmäßig die detaillierte Engineeringplanung gemäß Ziff. 4. betrachtet werden.

Bis zum Ende der Vorplanung sind auf Basis des Lastenhefts mögliche Lösungsvarianten bezüglich Verfahren, Anlagengestaltung und Technik sowie Projektentwicklung erarbeitet und Vorzugsvarianten ausgewählt worden. Damit ist das Projekt fachlich und organisatorisch wesentlich besser determiniert. Die noch vorhandene Unwägbarkeiten (Contingency) sind deutlich geringer.

Letztlich sind zu diesem Zeitpunkt (Beginn Phase 3) erstmals die Voraussetzungen erfüllt, um fachlich fundiert eine Detail-Projektplanung für die nachfolgenden Projektphasen durchzuführen.

Im Einzelnen betrifft dies für den Zeitraum bis zur Investitionsentscheidung bzw. bis zur Fertigstellung des Pflichtenhefts die folgenden Inhalte und Aktivitäten:

- planen aller Aufgaben zur Vorbereitung und Durchführung der Investitionsentscheidung und Budgetfreigabe,
- identifizieren, definieren und planen aller Aufgaben, die bis zur Erteilung der behördlichen Genehmigung zu erledigen sind,
- Detail-Planung der Aufgaben (Aktivitäten/Vorgänge) des Basic Engineering,
- identifizieren und definieren der terminkritischen Bestellungen und planen aller Aufgaben zum Erarbeiten der Bestellunterlagen und zur Realisierung der Bestellungen,
- der Rahmenterminplan inkl. Hauptaktivitäten und Meilensteine für die Projektphasen 6 bis 9 ist gemäß dem Wissensstand „Anfang Basic Engineering“ zu präzisieren.

### **1.6.2 Strukturieren des Planungsumfangs und der Fachdisziplinen**

Bevor die eigentliche Detailplanung beginnen kann, sind zwei grundsätzliche Aufgaben zu lösen.

- a) Der Gesamtumfang der Engineeringarbeiten ist zu ermitteln und hinsichtlich deren Erledigung und Beauftragung (Vergabe, Beschaffung) zu strukturieren und zu spezifizieren.

Das heißt, es muss, zumindest für die wesentlichen Engineeringleistungen, ermittelt werden:

*Welcher Partner (Auftragnehmer, Ingenieurbüro, Kontraktor) ist für welche Engineeringleistungen (-pakete) vorgesehen?*

Wesentliche Einflussfaktoren auf das Ergebnis der Strukturierung sind:

- Wie ist die Schutzrechtssituation zum (Haupt-)Verfahren und wer ist Verfahrens- und Know-how-Träger?
- Gibt es einen Generalplaner, der das Basic Engineering der prozessrelevanten Anlagenteile und ggf. noch anderer Teil-/Nebenanlagen anbietet und geeignet ist?
- Kann der Generalplaner auch das Behörden-Engineering leisten?
- Kann der Generalplaner auch das Detail Engineering erbringen und ist dies aus Sicht des Investors gewollt bzw. wirtschaftlich?
- Welche Teil-/Nebenanlage sollten von anderen Partnern (z.B. Package-unit-Lieferant, spezialisierte externe Ingenieurbüros) geplant/engineert werden?
- Wie ist die fachliche Planung der notwendigen Logistik und Infrastrukturmaßnahmen am Standort außerhalb der Anlagengrenze (sog. OSBL – **Outside Batterie Limits**) vorgesehen?

- Werden diese OSBL-Maßnahmen innerhalb des Anlagenprojekts geplant und realisiert oder als separates Projekt?
  - Welche Mitwirkungsleistungen während des Engineering will der Auftraggeber/Investor, über die gesetzlich notwendigen hinaus, einbringen?
- b) Die zweckmäßigen Fachdisziplinen (Fachplanungsfunktionen, Gewerke), denen die einzelnen Engineeringarbeiten und -dokumente planerisch zugeordnet werden, sind festzulegen sowie inhaltlich und begrifflich zu definieren.
- Häufig erfolgt dies gemäß der bisherigen Praxis des Investors bzw. Generalplaners, wobei Entwicklungstendenzen zu beachten sind.
- Gemäß eigener Erfahrungen und aktueller Trends hat der Autor im Fachbuch bezüglich der Fachdisziplinen folgende Festlegungen getroffen:
- Der Begriff *Verfahrensplanung* wurde statt des Synonyms *Prozessplanung* genutzt.
  - Die *3D-Anlagenplanung* wurde als eigenständige Fachdisziplin behandelt. Die Lage- und Aufstellungsplanung wurden in diese integriert.
  - Die Fachdisziplin *Bau* umfasst die Teildisziplinen *Tiefbau* (civil), *Architektur* (architecture), *Hochbau* (structural) und *Stahlbau* (steel construction).
  - Die *Prozessleittechnik (PLT)* wird als übergreifende Fachdisziplin verstanden. Sie vereint alle Teildisziplinen, die elektrischen Strom (ggf. unterschiedlicher Spannungsebenen) nutzen.  
Dazu gehören die *Mess-/Steuer-/Regeltechnik (MSR)*, die *Elektrotechnik (ET)*, das *Prozessleisystem (PLS)*, die *Nachrichtentechnik (NAT)*, die *Prozessanalysentechnik (PAT)* und die *Laboranalysentechnik (LAT)*.
  - Die *Technische Gebäudeausrüstung (TGA)* wurde (wegen ihrer zunehmend prozessrelevanten Bedeutung) als eigenständige Fachdisziplin betrachtet.
  - Die *Infrastruktur* (inner- und außerbetrieblich) und die *Logistik* (innerhalb und außerhalb der Anlagengrenze) wurden, wegen ihrer fachlichen Spezifik, jeweils als eigenständige Fachdisziplinen definiert und abgehandelt.

### 1.6.3 Durchführen der Detailplanung

Ausgehend vom Rahmenterminplan des Projekts ist gegen Ende der Vorplanung (Phase 2) die verbindliche Engineeringplanung bis zur Investitionsentscheidung durchzuführen.

Sie erfolgt unter Leitung und maßgeblicher persönlicher Mitwirkung des Projektleiters und aller Leadingenieure des Projektteams. Grundlage für die Planung sind u.a. das Lastenheft, relevante Planungsaufträge, die übergeordneten Projekttermin-/Projektressourcenpläne und nicht zuletzt der aktuelle Projektfortschritt.

Der Projektleiter muss sich unbedingt persönlich ein umfassendes Bild zur Gesamtsituation machen und versuchen, die Einzeltätigkeiten für sich „transparent“ und nachvollziehbar zu planen. In dieser Phase ist für ihn Detailwissen über möglichst alle Fachdisziplinen unverzichtbar. Der Teufel steckt bekanntlich im Detail.

Im Einzelnen findet die Engineeringplanung in folgenden Schritten statt:

### 1. Schritt: Planung der Planung

Speziell für größere Projekte mit einer umfangreichen Engineeringphase ist der geordnete, systematische Ablauf der Planung unerlässlich.

Dabei sind u.a. folgende Fragen zu beantworten:

- Wer soll planen und wer entscheidet über das Planungsergebnis?
- Welches Planungswerkzeug wird genutzt?
- Wie werden die Planungsergebnisse im Team genutzt?
- Wie wird später die Inbetriebnahmeplanung fortgeschrieben?
- Wie viel kostet die Planung und wie werden die Mittel bereitgestellt?

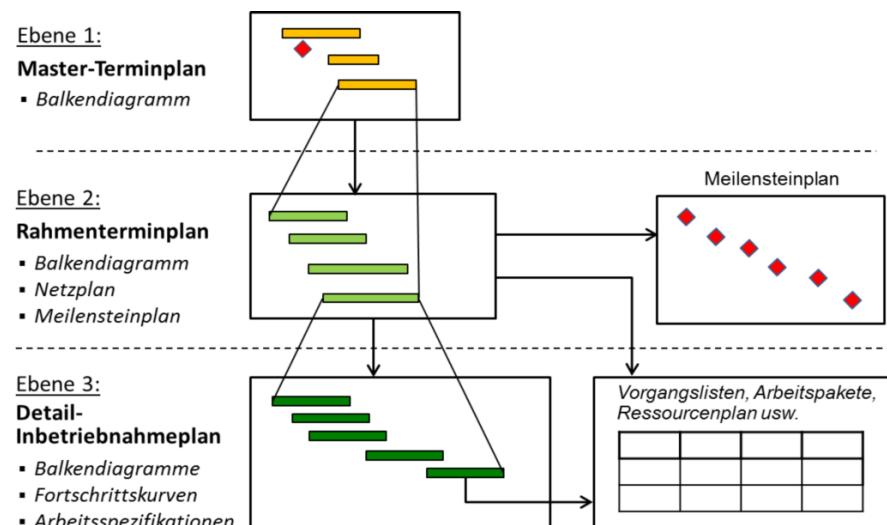
Als Planungswerkzeuge werden z. B. MS Projekt oder Primavera genutzt.

### 2. Schritt: Strukturanalyse und -planung

In diesen Schritt wird die Frage beantwortet: *Was ist zu bearbeiten und wie sind die Einzelaufgaben zweckmäßig zu unterteilen?*

In der Regel erfolgt zunächst eine Grobstrukturierung „termingetrieben“, d.h. ausgehend von einem Endtermin (z.B. Freigabe Budget bzw. Fertigstellung Pflichtenheft). Anschließend werden wichtige Zwischentermine (Meilensteine) rückwärts abgesteckt.

Die Hauptvorgänge und die zugehörigen Meilensteine bilden die Ebene 1 in der Planungshierarchie (s. Abb. 1.11). Sie sind die Grundlage für den Master-Terminplan.



**Abb. 1.11** Hierarchie der Projekt- und Engineeringplanung

Bei der vertieften Strukturplanung werden anschließend die jeweiligen Hauptvorgänge der übergeordneten Ebene in eine Anzahl kleinere, weniger umfassende

Teilaufgaben untergliedert. Dieses wird so weit fortgeführt, bis fein genug aufgeteilte Einzelaufgaben, so genannte *Arbeitspakete* definiert wurden.

Im Ergebnis der Strukturierung entsteht der **Projektstrukturplan** (PSP). Im Normalfall besteht der PSP aus drei Ebenen, wie in Abb. 1.11 dargestellt.

Signifikante sicherheitliche, genehmigungsrechtliche und organisatorisch-administrative Tätigkeiten sind als eigene Arbeitspakete zu definieren, wie z. B.

- Schnittstellenkontrolle an der Anlagengrenze am Standort bzw. zur vorhandenen Anlage,
- Freigabe der Verfahrensfließschemata mit Bearbeitungsstatus: AFPA (**A**pproved **f**or **P**ermit **A**pplication),
- Freigabe der R&I-Fließschemata mit Bearbeitungsstatus: HAZOPAF (**A**pproved **f**or **H**azop),
- Freigabe der Mengen- und Energiebilanzierung mit Bearbeitungsstatus: AFPA (**A**pproved **f**or **P**ermit **A**pplication),
- Festlegung der Betriebsparameter und Druckstufen,
- Freigabe der Liste Hauptausrüstungen mit Bearbeitungsstatus: AFPA,
- Wahl der Rohr-, Armaturen- und Dichtungsklassen,
- Abschluss der Risikobeurteilung,
- Fertigstellung des Brandschutzkonzepts,
- Fertigstellung des Explosionsschutzdokuments,
- Einreichen des Genehmigungsantrags (inkl. Bauantrag) und der zugehörigen vollständiger Antragsunterlagen,
- Erteilen der Genehmigung,
- Ermittlung der Investitions- und Betriebskosten,
- Einreichen der Vorlage für Investitionsentscheidung und Budgetfreigabe,
- Erarbeiten und Freigabe des Pflichtenhefts mit Bearbeitungsstatus: AFD (**A**pproved **f**or **D**etail),

Mit Hilfe des PSP können Einzeltätigkeiten ermittelt und ihnen Eigenschaften (Termine, Ressourcen, Verantwortlichkeiten, Befugnisse usw.) sowie Kosten zugeordnet werden. Aus dem PSP sind wichtige Meilensteine, Haltepunkte und Zahlungsziele während der Projektabwicklung ersichtlich.

Zur Spezifizierung wichtiger Arbeitspakete, die später auch dem Controlling dienen, können Formblätter (Templates) genutzt werden.

Eine effiziente Strukturanalyse ist der qualitative Teil der Projektplanung und kann erhebliche Kosten sparen.

### 3. Schritt: Ablaufanalyse und -planung

In diesen Schritt wird die Frage beantwortet: *Was ist durch wen und in welcher Reihenfolge zu bearbeiten?*

Bei der Ablaufplanung werden die logischen Zusammenhänge der Arbeitspakete betrachtet und Abhängigkeiten schaubildlich dargestellt. Häufig wird die Ablaufplanung zusammen mit der Strukturplanung durchgeführt.

Grundlage für die Ermittlung der Ablaufstruktur bildet der PSP. Arbeitspakete werden in Tätigkeitsfolgen und -abhängigkeiten aufgegliedert.

Die zu beachtenden Abhängigkeiten der Aktivitäten können von unterschiedlichster Art sein. Dazu zählen rein technische Abhängigkeiten, terminliche Abhängigkeiten (Kundenwünsche, Subunternehmen) und Abhängigkeiten, die von den zur Verfügung stehenden Ressourcen beeinflusst werden.

Zur Veranschaulichung und rechentechnischen Verwaltung von Projekten werden die *Balkenplantechnik* (GANTT-Balkendiagramme) und seltener die *Netzplantechnik* genutzt.

#### **4. Schritt: Zeit- und Terminplanung**

Ziel ist das Terminieren des Projektablaufs. Es ist festzulegen: *Was ist durch wen, wann und in welcher Zeitspanne zu erledigen?*

Dazu muss die Dauer der einzelnen Vorgänge realistisch ermittelt werden. Größere Unwägbarkeiten sollten erst später planerisch berücksichtigt werden, u. U. als optionale Beschleunigungsmaßnahmen.

Ausgehend von der Ablaufstruktur und den Vorgangsdauern erfolgt mit Hilfe von Projektmanagementssoftware die Zeit- und Terminplanung. Ein Resultat ist die Lokalisierung des *kritischen Weges* sowie die Angabe der Pufferzeiten für nicht-kritische Vorgänge.

Nach Kenntnis des kritischen Weges können Varianten zur Zeitverkürzung bzw. die Auswirkung bekannter Unwägbarkeiten berechnet werden. Dabei müssen nicht nur die kritischen Wege, sondern auch die Wege mit den geringsten Pufferzeiten (sog. subkritische Wege) analysiert werden. Optimal ist der Terminablauf, wenn die Pufferzeiten von kritischem und subkritischem Weg möglichst wenig voneinander abweichen.

#### **5. Schritt: Ressourcen- bzw. Kapazitätsplanung, inkl. Personalplanung**

In diesen Schritt werden die für die benötigten Ressourcen bezüglich Qualität und Quantität analysiert und festgelegt. Dazu gehören vorrangig: Personal (Leistungsstunden, Manntage) sowie sonstige Arbeitsmitteln.

Die Frage lautet: *Wer bearbeitet mit welcher Kapazität eine Aufgabe?*

Wichtige Schritte der Ressourcenplanung sind:

- Welche Aufgabenpakete/Vorgänge verlangen welche Ressourcenarten?
- Wie hoch ist der einzelne Ressourcenbedarf pro Zeiteinheit?
- Wie hoch ist der Ressourcenbedarf für den Vorgang und letztlich insgesamt?
- Vergleich der vorhandenen Ressourcen mit der benötigten und ggf. Veranlassung von Steuerungsmaßnahmen.

#### **6. Schritt: Kostenplanung**

Die Kostenplanung stellt die Frage nach dem Budget für die einzelnen Vorgänge.

Charakteristische Schritte der Kostenplanung sind:

- Ermitteln der Preise für die Arbeitspakete, z. B. als Festpreis aus Angeboten oder aus Verrechnungssätzen und den zugehörigen Leistungsgerüsten,
- monetäre Berücksichtigung der Unvorhersehbarkeiten (Contingency),
- Berechnen des Gesamtbudgets,
- Erarbeiten eines Vorschlages zur zeitlichen Mittelbereitstellung/-ausgabe.

Aus den detaillierten Planungsergebnissen können je nach Bedarf die verschiedenen Terminpläne u.a. Dokumente generiert werden. Die drei Hierarchieebenen der Projektplanung in Abb. 1.11 lassen sich wie folgt charakterisieren:

Ebene 1: Master-Terminplan (Balkendiagramm)

- Dokument für Berichterstattung im Lenkungskreis
- Darstellung der Projektphasen, Planungsschritte und wesentlicher Vorgänge
- Darstellung wichtiger Meilensteine
- Eckdaten für Ebene 2

Ebene 2: Rahmen-Terminplan (Balkendiagramm, Netzplan, Meilensteinplan)

- Darstellung der Hauptvorgänge und Meilensteine (Milestones) bzw. Schnittstellen
- Arbeitsunterlage für Projekt- und Engineeringmanagement
- Basis für Controlling wichtiger Beschaffungsvorgänge (z.B. Package-units und Prozessausrüstungen)
- Basis für grafische Darstellung des „Kritischen Wegs“
- Basis für Beschaffung und Bereitstellung wichtiger Ressourcen,
- Basis für Controlling

Ebene 3: Detail-Terminplan (Balkendiagramme, Vorgangslisten, Arbeitspakete bzw. Arbeitsspezifikationen, Fortschrittskurven)

- Darstellung einzelner Vorgänge inkl. Termine, Ressourcen, Kosten
- Spezifikation der Leistungen in Arbeitspaketen (Templates)
- Basis für Fortschrittskontrolle und Controlling

Die Planung sollte immer realistisch und wahrheitsgetreu erfolgen sowie die Ergebnisse, sowohl im Team als auch gegenüber dem Management, ehrlich kommuniziert werden. Unwägbarkeiten oder eventuelle „firmentaktische Gesichtspunkte“ sind im Nachhinein zu diskutieren gegebenenfalls bewusst zu berücksichtigen.

Es gilt der Grundsatz:

*Ein unrealistischer Plan wirkt demotivierend auf die Beteiligten,  
da von Anfang an der Misserfolg feststeht.*

Die Termin- und Ressourcenplanung ist begleitend zum laufenden Engineeringprozess, z.B. bei großen Projekten wöchentlich (Termin) bzw. monatlich (Ressourcen) zu aktualisieren.

## 1.7 Beachtung der Sicherheit bei der Projektabwicklung

### 1.7.1 Grundsätze und Begriffsdefinitionen

Die Gewährleistung der *Sicherheit im Projekt* und *im späteren Anlagenbetrieb* ist unbestritten eine Hauptaufgabe während der Anlagen-Projektabwicklung.

Einige bewährte Leitlinien bzw. Thesen erfolgreicher Sicherheitsarbeit sind in Tabelle 1.7 enthalten. Sie sind wie eine Checkliste gedacht und werden nicht näher kommentiert.

**Tabelle 1.7** Leitlinien und Thesen erfolgreicher Sicherheitsarbeit in Anlagenprojekten

- 
1. *Jede Führungskraft hat die Verantwortung, dass alle ihr anvertrauten Personen und sie selbst auch, abends so gesund nach Hause kommen, wie alle morgens zur Arbeit erschienen sind!*
  2. *Sicherheit beginnt im Kopf!*
  3. *Sicherheit ist planbar und organisierbar!*
  4. *Sicherheit muss gelebt werden!*
  5. *Im Zweifel – Sicherheit zuerst!*
  6. *Jeder Unfall ist vermeidbar und ein Managementfehler!*
  7. *Vertrauen ist gut – Kontrolle ist besser!*
  8. *Der Teufel steckt im Detail!*
  9. *Wehret den Anfängen!*
  10. *Ohne Sicherheit – kein Erfolg!*
- 

Der Begriff **Sicherheit** wird in diesem Buch folgendermaßen definiert und gebraucht:

**Sicherheit** ist die Fähigkeit eines Systems, innerhalb der vorgegebenen Grenzen und während einer gegebenen Zeitspanne keine Gefährdungen für Personen, Sachen und Umwelt zu verursachen bzw. eintreten zu lassen.

Zur Erläuterung dieser Definition sowie zur Vertiefung der wichtigen, aber nicht einfachen Thematik sind im Weiteren noch einige Ausführungen gemacht.

- a) Im vorliegenden Buch ist das betrachtete System das *Anlagenprojekt* als Ganzes. Die *Grenzen* des Systems sind durch die Projektdefinition und die *Zeitspanne* durch die Projektdauer vorgegeben.  
Der Projektleiter ist innerhalb seines Verantwortungsbereiches und bis zum Projektabschluss für die Sicherheit verantwortlich. Er kann Sicherheitsverantwortung an andere Personen übertragen (s. Abschn. 1.4.3.3).
- b) Schutzziele entsprechend der Sicherheitsdefinition sind *Personen, Sachen und Umwelt*. Durch die sicherheitsgerichteten Maßnahmen sollen Gefährdungen für diese Schutzziele und mögliche Personenschäden, Sach-/Vermögensschäden und Umweltschäden, aber auch immaterielle Schäden (Image-, Ansehens-, Vertrauensverlust), vermieden werden.
- c) Die Sicherheit ist in allen Phasen des Projektes, insbesondere während der Baustellenabwicklung und Inbetriebnahme, zu realisieren. Während der Inbetriebnahme ist gegenüber dem Investor/Auftraggeber speziell die *Betriebs-*

*sicherheit* (sprich: der sichere und genehmigungsgerechte Betrieb) der Neuanlage nachzuweisen.

d) Die Sicherheit wird in Anlagenprojekten nochmals in **Anlagensicherheit** und **Arbeitssicherheit** unterteilt.

- Die **Anlagensicherheit** betrachtet Gefährdungen und Risiken für *Personen, Sachen und Umwelt*, die sich durch die *Anlagentechnik inkl. Prozessleitsystem* während des Anlagenbetriebs ergeben können und versucht diese auszuschließen bzw. zu minimieren. Das heißt, potentielle Quelle der Gefährdung ist die Anlage bzw. besondere Anlagenzustände.

Die systematische Analyse und Bewertung dieser Gefährdungen und Risiken wird als **Risikobeurteilung** bezeichnet (s. Details in Abschn. 4.3).

- Die **Arbeitssicherheit** ist die Sicherheit der *Beschäftigten bei der Arbeit*. Sie betrachtet Gefährdungen und Risiken für Personen, die in Ausübung *menschlicher Arbeit* möglich sind.

Das Schutzziel sind *Beschäftigte* bei der Arbeit. Potentielle Quelle der Gefährdung kann alles Mögliche (Mensch, Anlage, Stoffe, Umgebung, Witterung, Klima u.ä.) sein.

Die systematische Analyse und Bewertung dieser **Gefährdungen** und **Risiken** wird als **Gefährdungsbeurteilung** bezeichnet. Sie wird in [17] wie folgt definiert (s. auch Abschn. 4.3.1):

Die **Gefährdungsbeurteilung** ist der Prozess in dem der Arbeitgeber die Arbeitsbedingungen beurteilt, indem er

- die Gefährdungen, die für die Beschäftigten mit ihrer Arbeit verbunden sind, ermittelt,
- die Beurteilung vornimmt,
  - ob die vorhanden und bereits praktizierten Maßnahmen des Arbeitsschutzes ausreichen oder
  - Handlungsbedarf besteht und zusätzliche Maßnahmen des Arbeitsschutzes festgelegt werden müssen,
- die ermittelten Gefährdungen und die festgelegten Maßnahmen (Vorkehrungen) des Arbeitsschutzes dokumentiert [17].

Die Gefährdungsbeurteilungen sind auf Grundlage des Arbeitsschutzgesetzes (ArbSchG) § 5 und § 6 [10] vom Arbeitgeber für die Arbeitstätigkeiten seiner Beschäftigten zu erarbeiten und zu dokumentieren. Besonders bedeutsam sind sie im Umgang mit Gefahrstoffen [18] sowie vor der Bereitstellung und Benutzung von Arbeitsmitteln und überwachungsbedürftigen Anlagen nach Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) [19] (s. Abschn. 4.3.1).

Im Projekt sind Gefährdungsbeurteilungen für die Arbeiten auf der Baustelle und während der Inbetriebnahme wichtig. Für die Tätigkeiten im Engineering werden i.d.R. einfache Muster-Gefährdungsbeurteilungen genutzt.

Insgesamt sind die Gefährdungsbeurteilungen für die Engineeringphase weniger relevant, sodass sie in diesem Buch nicht weiter vertieft werden.

Die Gefährdungen, die vom Fehlverhalten eines Operators bzw. einer Serviceperson während der Inbetriebnahme ausgehen und zu kritischen

Betriebszuständen führen können, werden mit bei der Risikobeurteilung erfasst. Zum Beispiel über das Leitwort *Bedienfehler* oder *Human Factors* (s. Abschn. 4.3.2).

- e) In der Praxis werden mitunter die Risikobeurteilung und die Gefährdungsbeurteilung sowohl begrifflich als auch inhaltlich nicht richtig unterschieden. Dies kann zu Missverständnissen und Effektivitätsverlusten führen.

Die Ursachen sind vermutlich darin zu suchen, dass in beiden Fällen die Schutzziele (Mensch, Sache/Vermögen, Umwelt) identisch sind und sich die angewandten Methoden ähneln.

- f) Eine hohe Sicherheit bewirkt i.d.R. zugleich auch einen entsprechenden Schutz der Gesundheit und der Umwelt. Störungen oder Schäden wegen unzureichender Sicherheitsvorkehrungen wirken meistens auf alle drei Schutzziele.

Darüber hinaus gibt es aber Gesundheits- bzw. Umweltgefährdungen, die nicht sicherheitsbedingt sind. Einige Beispiele dafür sind:

- Nicht witterungsgerechte Kleidung, ungesunde Ernährung, mangelnde Hygiene, zu lange Arbeitszeiten, psychischer Arbeitsstress u.ä. sind zweifellos Gesundheitsgefährdungen und -risiken, aber kaum sicherheitsbedingt.
- Hohe Schallemissionen, die von der Anlage ausgehen, sind in vielen Fällen gesundheitsschädigend, aber i. Allg. nicht sicherheitsrelevant.
- Ein Verfahren, das mehr Ressourcen (Material, Energie) verbraucht als ein anderes, kann sicher sein, aber es ist auf jeden Fall weniger umweltschonend.

In der Praxis wird deshalb insgesamt von GSU (**Gesundheitsschutz – Sicherheit – Umweltschutz**) bzw. HSE (**Healthcare – Safety – Environment**) gesprochen und deren erfolgreiche Realisierung angestrebt.

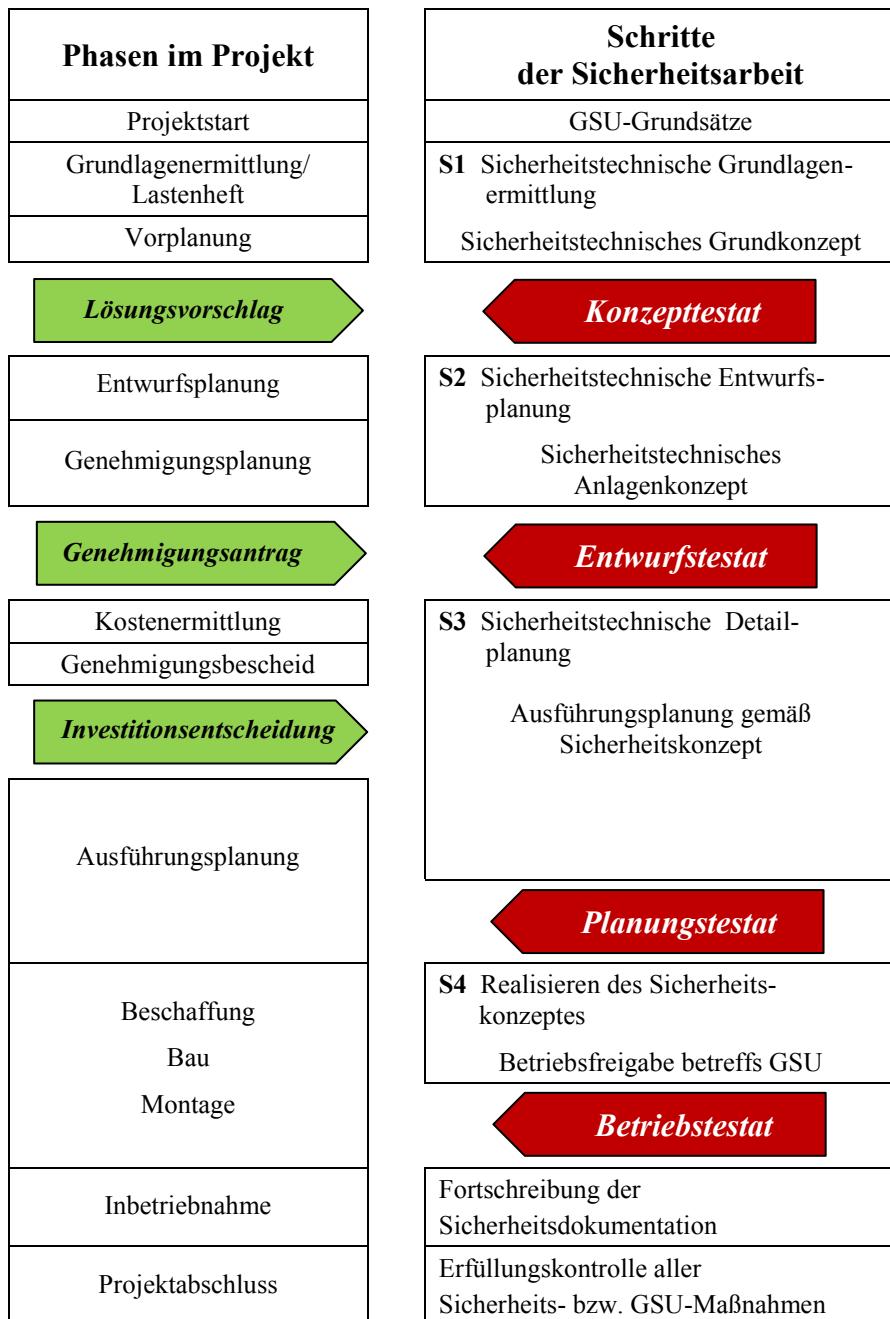
## 1.7.2 Strukturieren der Sicherheitsarbeit im Projekt

Unter **Sicherheitsarbeit** soll die Gesamtheit der Maßnahmen und Tätigkeiten verstanden werden, die für das Erreichen bzw. Gewährleisten der Sicherheit (auch der GSU-Arbeit im weiteren Sinne) unternommen werden.

In Anlagenprojekten wird die Sicherheitsarbeit zweckmäßig an Hand des Phasenmodells strukturiert. Diese Vorgehensweise wird in der chemischen und pharmazeutischen Industrie bereits viele Jahre erfolgreich praktiziert. Der nachfolgend unterbreitete Vorschlag baut auf diesen Erfahrungen auf.

Die Zuordnung der einzelnen sicherheitsbezogenen Tätigkeiten zum Phasenmodell (s. Abschn. 1.2) veranschaulicht Abb. 1.12. Die Darstellung ist ein Ablaufmodell für die Sicherheitsarbeit, und darüber hinaus für die gesamte GSU-Arbeit, im Projekt.

Die systematische und strukturierte Sicherheitsarbeit wird in die vier Schritte S1 bis S4 mit zugehörigen Haltepunkten am Ende jedes Schritts unterteilt. An den Haltepunkten wird im Team geprüft, ob die bis dahin geplanten sicherheitsrelevanten bzw. GSU/HSE-relevanten Zielstellungen erreicht sind.



**Abb. 1.12** Strukturierung der Sicherheitsarbeit in Anlagenprojekten gemäß Phasenmodell

Im Erfolgsfall wird ein zugehöriges **Sicherheitstestat** (Musterformular) ausgestellt und von den Teilnehmern durch Unterschrift bestätigt. Mit der Testierung wird zugleich die Freigabe für die Sicherheitsarbeit des folgenden Schritts erteilt. Im Einzelnen sind die 4 Schritte wie folgt charakterisiert:

**Schritt S1: Sicherheitstechnische Grundlagenermittlung**

- Beginn Phase 1 bis Ende Phase 2
- Erarbeiten des Sicherheitstechnischen Grundkonzepts, z. B.
  - Sammeln und Ermitteln von GSU-relevanten Stoff- und Kenndaten
  - Festlegen von Verfahrensparametern und Grundanforderungen an Sicherheitseinrichtungen
  - Erarbeiten von Lösungsvarianten zur Gewährleistung der Sicherheits- bzw. GSU-Ziele
- *Konzepttest*

**Schritt S2: Sicherheitstechnische Entwurfsplanung**

- Beginn Phase 3 bis Ende Phase 4
- Erarbeiten eines ganzheitlichen Sicherheitskonzepts bzw. GSU-Konzepts für die Anlage, z. B.
  - Risikobeurteilung des Anlagenentwurfs (Status: AFD/Ende Basic Engineering)
  - Erarbeiten des Explosionsschutzdokuments
  - Sicherheitsrelevante Unterlagen für Genehmigungsantrag, ggf. Sicherheitsbericht nach Störfall-Verordnung (12. BImSchV) erarbeiten
- *Entwurfstestat*

**Schritt S3: Sicherheitstechnische Detailplanung**

- Zeitpunkt Investitionsentscheidung bis Ende Phase 6
- Detaillierte planerische Umsetzung des Sicherheits- bzw. GSU-Konzepts, z. B.
  - Ausführungsplanung der Sicherheitstechnik (GSU)
  - Erfüllungskontrolle zur Basic-Risikobeurteilung inkl. Aktionspunkten und Review/Update gemäß Status: AFC / Ende Detail Engineering
  - Dokumentieren der sicherheitstechnischen Planungsergebnisse als Erfüllungs- und Kontrollbasis für die Realisierung
  - Planung der Qualitätskontrollen zur Sicherheitstechnik während der Realisierung
  - Planung der notwendigen Sicherheitsprüfungen vor Inbetriebnahme
- *Planungstestat*

### Schritt S4: Realisieren des Sicherheitskonzepts

- Beginn Phase 7 bis Ende Phase 8
- Realisierung aller Maßnahmen des Sicherheitskonzepts
  - Review/Update der Detail-Risikobeurteilung gemäß Status: As-built.
  - Nachweis der Realisierung der Sicherheits- bzw. GSU-Maßnahmen, inkl. der notwendigen Sicherheitsprüfungen, vor Beginn der Inbetriebnahme
- *Betriebstestat*

Nähere Ausführungen zu den 4 Schritten und den Sicherheitstestaten werden in Verbindung mit den Engineeringarbeiten in den Phasen 2, 3 und 6 gemacht.

## 1.8 Vorbemerkungen zur Dokumentation

### 1.8.1 Lebenszyklus und Phasen der Dokumentation

Ein **Dokument** ist eine festgelegte und strukturierte Menge von Informationen, die als Einheit verwaltet und zwischen Anwendern und Systemen ausgetauscht werden kann [20] [21]. Üblicherweise ist ein Dokument nach der Art der Information und der Darstellungsform bezeichnet.

Eine Sammlung von Dokumenten, die einem bestimmten Gegenstand zugeordnet sind, bilden eine Dokumentation. Unter Beachtung des Anlagenaspekts wird in diesem Buch die folgende Arbeitsdefinition gewählt:

**Dokumentation** ist die Gesamtheit aller Dokumente zu einem Projekt bzw. Objekt.

Im vorliegenden Buch ist das Objekt die verfahrenstechnische Anlage, die während des Projektes zwecks späterer Realisierung zunächst engineert werden soll.

Die Dokumentation durchläuft zusammen mit der Anlage ebenfalls einen Lebenszyklus (s. Abb. 1.13). Gemäß dem Anlagen-Lebenszyklus ist sie anfangs eine *Engineering-Dokumentation* und wandelt sich danach während der Beschaffung und Baustellenabwicklung zu einer *Errichter-Dokumentation*.

Mit Beginn der Inbetriebnahme und im Dauerbetrieb dient sie als *Betreiber-Dokumentation*, um letztlich am Ende der Anlagen-Lebensdauer als *Rückbau-Dokumentation* zu dienen und archiviert zu werden.

Diese Begriffe drücken aus, in welcher Phase ihres Lebens sich die Gesamtdokumentation befindet und wer für sie aktuell verantwortlich und zuständig ist.

Man erkennt in Abb. 1.13 zugleich auch die wesentlichen Tätigkeiten und Schnittstellen, die im ganzheitlichen Dokumentationsprozess typisch sind.

Aus Sicht des Engineerings sind besonders relevant:

- ein umfassendes Lastenheft als Input für das Engineering,
- eine ausführliche Basic Engineering-Dokumentation als Basis für das Erarbeiten des Genehmigungsantrags inkl. der Antragsunterlagen sowie für die Wirtschaftlichkeitsberechnung und Investitionsentscheidung,

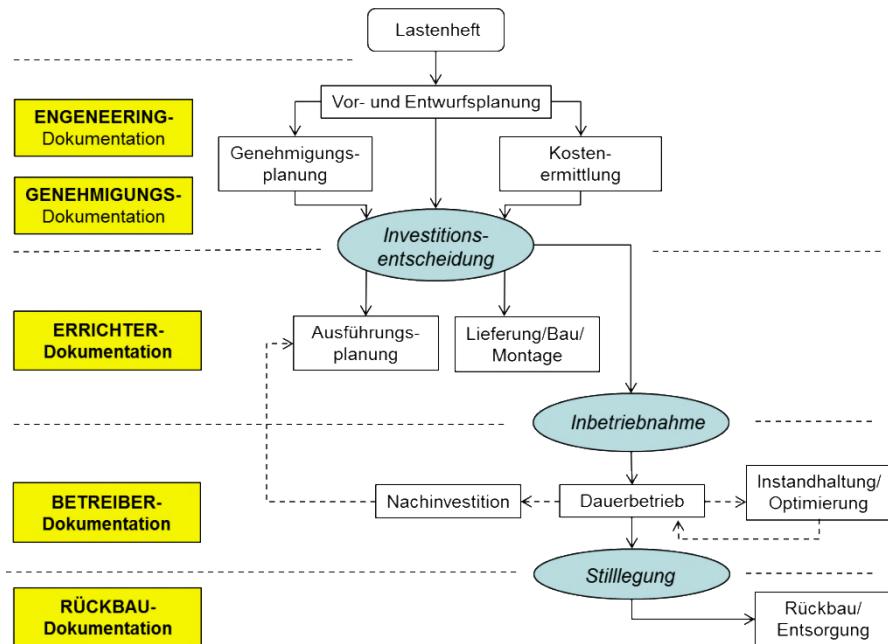


Abb. 1.13 Lebenszyklus der Dokumentation einer verfahrenstechnischen Anlage

- ein umfassendes Pflichtenheft als Input für Vergabe der Ausführungsplanung und gegebenenfalls der Anlagenrealisierung,
- die Detail Engineering-Dokumentation als Basis für die Beschaffung, Bau/Montage und Inbetriebnahme der Anlage.

Eine Zusammenstellung wichtiger Begriffsdefinitionen zur Dokumentationsthematik, die z.T. den Glossar ergänzen, enthält Tabelle 1.8.

Tabelle 1.8 Zusammenstellung von Begriffen und Definitionen zur Dokumentation verfahrenstechnischer Anlagen

<u>Begriff</u>	<u>Definition</u>
<b>Daten</b>	Strukturierte Informationen, die verarbeitet werden oder das Ergebnis einer Verarbeitung sind
<b>Datei</b>	Logisch zusammengehörige, in sich abgeschlossene und gemeinsam gespeicherte Menge von Daten
<b>Dokumentation</b>	Gesamtheit aller Dokumente für ein Projekt bzw. Objekt
<b>Dokument</b>	Festgelegte und strukturierte Menge von Informationen, die als Einheit verwaltet und zwischen Anwendern und Systemen ausgetauscht werden kann

**Tab. 1.8** (Fortsetzung)

<b>Bearbeitungsstatus</b>	Information über den aktuellen Stand der Bearbeitung eines Dokuments sowie über deren Freigabe zur Nutzung
<b>Master (-dokument)</b>	Aktuelle, gültige und verbindliche Arbeitsversion eines Dokuments
<b>Dokumentenart</b>	Dokumente gleicher inhaltlicher und/oder gleicher formaler Struktur (Synonym: Dokumentenklasse, Dokumententyp)
<b>Dokumentationskonzept</b>	Festlegungen zum Erbringen der Dokumentationsleistungen und zum Umgang mit Dokumenten und Dokumentationen im Projekt
<b>Dokumentenkennzeichen (DKZ)</b>	Identifikator für ein bestimmtes Dokument in Beziehung zu einem Objekt (Komponente), dem das Dokument zugeordnet ist
<b>Dokumentenversion</b>	Identifizierter Zustand eines Dokuments in seinem Lebenszyklus, der gespeichert ist, sodass er als Dokumentenstand wiedergewonnen und/oder verteilt werden kann (Synonym: Bearbeitungsstatus eines Dokuments)
<b>Freigabe</b> (eines Dokuments)	Formelle Aktion einer autorisierten Person/Organisation, mit der ein Dokument für einen deklarierten Zweck im Projektablauf für gültig erklärt wird
<b>Projekt-dokumentation</b>	Gesamtheit aller Dokumente, die während der Abwicklung eines Projekts erarbeitet, verwaltet und abgelegt bzw. gespeichert werden (Synonym: Abwicklungsdocumentation)
<b>Projekthandbuch</b>	Zusammenstellung der administrativen, kommerziellen und technischen Abwicklungsgrundlagen und -regelungen des Projekts
<b>Phasen-dokumentation</b>	Teildokumentation im Projekt, die zielorientiert bestimmte Dokumente am Ende einer Projektphase zusammenfasst
<b>Engineering-dokumentation</b>	Gesamtheit der Dokumente, die während der Anlagenplanung (von Grundlagenermittlung bis Detail Engineering) erarbeitet, verwaltet und abgelegt bzw. gespeichert werden
<b>Genehmigungs-dokumentation</b>	Gesamtheit der Dokumente, die für Beantragung, Erteilung und Erhaltung einer behördlichen Genehmigung zur Errichtung und dem Betrieb einer Anlage nötig sind sowie erarbeitet und abgelegt bzw. gespeichert werden
<b>Beschaffungs-dokumentation</b>	Gesamtheit der Dokumente, die für die Beschaffung der Lieferungen und Leistungen zur Anlagenrealisierung und ggf. zur Inbetriebnahme erarbeitet und abgelegt (gespeichert, archiviert) werden, (Synonym: Einkaufsdokumentation)
<b>Produkt-dokumentation</b>	Gesamtheit technischer Dokumente, die ein Produkt beschreiben und für die Herstellung, Installation, Wartung, den Gebrauch oder die Beschaffung dieses Produkts benötigt werden (Synonym: Hersteller- bzw. Lieferantendokumentation)

**Tab. 1.8** (Fortsetzung)

<b>Hersteller-dokument</b>	Produktbeschreibendes und/oder produktbegleitendes Dokument des (Produkt-)Herstellers bzw. Lieferanten
<b>Anlagen-dokumentation</b>	Gesamtheit aller Dokumente, die zur technologischen, technischen, baulichen und sicherheitlichen Beschreibung der Anlage dienen
<b>Betriebs-dokumentation</b>	Gesamtheit aller Dokumente, die (zusätzlich zur Anlagendokumentation) für die Inbetriebnahme, den Betrieb, die Überwachung und die Instandhaltung der Anlage nötig sind bzw. als Nachweis dienen
<b>Inbetriebnahmedokumentation</b>	Versionen der Anlagen- und Betriebsdokumentation, die für die Inbetriebnahme nötig sind (Status: AFP – Approved for Production)
<b>AS BUILT-Dokumentation</b>	Gesamtdokumentation der Anlage, die den Sachstand über die Anlage zum Zeitpunkt ihrer Abnahme richtig (as built) und vollständig gemäß vertraglicher Vereinbarung beschreibt (Synonym: Enddokumentation, Final Documentation)

Wie die Angaben in Tabelle 1.8 verdeutlichen, ist die begriffliche Vielfalt sehr groß. Erschwerend kommt hinzu, dass viele Begriffe im Schrifttum und in der Praxis nicht einheitlich verstanden und gebraucht werden. Diese Situation ist unbefriedigend und auch ineffizient.

Mit dem vorliegenden Buch inkl. Glossar und den fachspezifischen Darlegungen in [22] möchte der Autor zur Vereinheitlichung beitragen.

Während der Projektabwicklung wächst die Gesamtdokumentation in Form einer ganzheitlichen **Projektdokumentation** stetig, indem die Ergebnisse der einzelnen Phasen einfließen. Man spricht von sog. **Phasendokumentation**, in der zielorientiert bestimmte Dokumente (elektronisch und/oder gegenständlich) am Ende einer Projektphase zusammengestellt werden.

Beispiele dafür sind:

- *Lastenheft bzw. Scope* (Ende Phase 1 bzw. während Phase 2, s. Abschn. 2.4),
- *Pre-Basic-Dokumentation* (Ende Phase 2, s. Abschn. 3.6),
- *Basic Engineering-Dokumentation* (Ende Phase 3, s. Abschn. 4.4),
- *Genehmigungsdokumentation* (Ende Phase 4, s. Abschn. 5.5.2),
- *Pflichtenheft oder FEL-Dokumentation* (Ende Phase 5, s. Abschn. 4.4),
- *Detail-Engineering-Dokumentation* (Ende Phase 6, s. Abschn. 7.4),
- *Inbetriebnahmedokumentation* (Ende Phase 8),
- *AS BUILT-Dokumentation* (Ende Phase 9).

## 1.8.2 Einheit von Engineering und Dokumentation

Die Planungsergebnisse, die während des Engineering anfallen, müssen in geeigneter Weise dokumentiert werden. Zu diesem Zweck werden zahlreiche, unter-

schiedliche Planungsdokumente und in der Summe definierte Phasendokumentationen erstellt, die die benötigten Informationen speichern bzw. abbilden.  
Man kann feststellen:

*Die Zwischen- bzw. Endprodukte des Engineering sind i.d.R. Dokumente. Sie können in elektronischer und/oder gegenständlicher Form existieren und werden für die weitere Abwicklung des Projekts benötigt.*

Die erarbeiteten Dokumente sind Input für nachfolgende Projektphasen bzw. für neue Engineeringarbeiten. Das heißt, jeder Engineeringprozess ist zugleich ein Dokumentationsprozess.

In den nachfolgenden Abschnitten und Kapiteln dieses Buchs wird deshalb immer wieder betrachtet, welche Dokumentationsleistungen und Dokumente in den einzelnen Phasen erbracht und erarbeitet werden.

Von besonderer Bedeutung im Engineeringprozess verfahrenstechnischer Anlagen sind die sog. *dynamischen Dokumente*. Dazu gehören insbesondere technische Planungsdokumente, die in Inhalt und/oder Form mehr oder weniger schnellen Änderungen unterliegen. Die Änderungen werden i.d.R. zunächst in einer Arbeitsversion (**Master**) des betreffenden Dokuments erfasst.

Werden die Änderungen jedoch offiziell eingearbeitet und abgespeichert, so entsteht eine neue **Dokumentenversion**, die zugleich ein neues Dokument darstellt. Bereits während der Engineeringphase ist es für zahlreiche Dokumentenarten nicht selten, dass mehr als 10 Dokumentenversionen erarbeitet und verwaltet werden.

Damit die Revisionierung der Dokumente eindeutig und fehlerfrei erfolgt, sind einige Regeln zu beachten.

a) Auf jedem Dokument ist der **Bearbeitungsstatus** (Synonym: Revisionskennung bzw. -status) inkl. FREIGABE-Vermerk anzugeben.

Der Bearbeitungsstatus informiert über den aktuellen Stand der Bearbeitung eines Dokuments, insbesondere zu welcher Phasendokumentation ein Dokument gehört, sowie über dessen Freigabe zur Nutzung. Dies kann zweckmäßig durch ein sog. Status-Kennzeichen in Form von Kennbuchstaben bzw. Abkürzung erfolgen.

In Tab. 1.9 sind die wichtigen Haltepunkte bzw. Schnittstellen des Phasenmodells angegeben und zugleich ein Vorschlag für die Kennzeichnung des Bearbeitungsstatus (sog. Statuskennzeichen) unterbreitet.

Häufig wird das Statuskennzeichen als Namenserweiterung (Suffix) dem Dokument-Dateinamen mit Unterstrich angefügt, sodass eine Suche und Selektion derartiger Dokumente, z. B. für die AS BUILT-Dokumentation, schnell möglich ist.

Der Bearbeitungsstatus wird in Englisch mitunter auch mit „Issued for ....“ an Stelle von „Approved for ....“ bezeichnet. Im Statuskennzeichen (Tab. 1.9, linke Spalte) wird dann entsprechend der Buchstabe „I“ statt „A“ verwendet.

b) Jedes Dokument, welches mit einem **Bearbeitungsstatus** (außer „Draft“) versehen ist, muss durch einen entsprechenden Vermerk auf dem Dokument (Schriftfeld/Schriftkopf/Deckblatt) „geprüft“ und „freigegeben“ sein.

Der PRÜFER-Vermerk belegt, dass der zuständige Spezialist (z. B. Fachplaner oder Konstrukteur) es als fachgerecht bewertet.

Der FREIGABE-Vermerk bedeutet, dass der *Dokument-Verantwortliche*, z.B. der fachlich zuständige Leadingenieur, das vorliegende Dokument zur Nutzung freigegeben hat. Damit wird einerseits eine Qualitätskontrolle der Engineeringergebnisse erreicht und zum anderen geregelt, wer bei einem fehlerhaften aber freigegebenen Dokument, was ggf. auch zu Mehrkosten bzw. Schadenersatzansprüchen führen kann, verantwortlich zu machen ist.

Ein Dokument, welches keinen FREIGABE-Vermerk hat, ist eine unverbindliche Arbeitsversion des Dokuments und zur Nutzung nicht erlaubt. Es sollte mit dem Bearbeitungsstatus „Draft“ versehen sein.

Im Normalfall wird nur das Namenskürzel per Computer eingetragen. Bei rechtsrelevanten Dokumenten, wie auch bei Pharma-Dokumenten, muss die zuständige Person im Original unterschreiben.

**Tabelle 1.9** Kennzeichnung des Bearbeitungsstatus von Dokumenten gemäß Phasenmodell

Status-kennzeichen	Bearbeitungsstatus des Dokuments	Erläuterung
Draft	Entwurf / For Comment	Arbeitsversion; keine Freigabe
Scope	Freigabe als Bestandteil des Scope bzw. Lastenhefts	Ende Phase 1 / ggf. auch Ende Phase 2
AFB	Freigabe für Basic Engineering / Approved for Basic	Ende Phase 2
HAZOP	Freigabe für HAZOP-Studie / Approved for HAZOP	innerhalb Phase 3
AFPA	Freigabe für Genehmigungsantrag / Approved for Permit Application	Ende Phase 4
AFD	Freigabe für Detail Engineering / Approved for Design	Ende Phase 3 oder 5; Bestandteil des Pflichtenhefts bzw. der FEL-Dokumentation
AFC	Freigabe für Beschaffung und Bau/Montage / Approved for Construction	Ende Phase 6
AFP	Freigabe für Inbetriebnahme / Approved for Production	Ende Phase 8
as-built	Freigabe für AS BUILT-Dokumentation / Approved for As-built	Ende Phase 9; Bestandteil der AS BUILT-Dokumentation / Final Documentation

- c) Während des Engineerings ist es üblich und zweckmäßig, dass verschiedene Dokumente, die der Engineering-Dienstleister erarbeitet hat, vom Investor (Auftraggeber) für die nächste Phase freigegeben bzw. ihm zumindest zur Kenntnis gegeben werden.

Gegebenenfalls erarbeitet der Investor auch eigenverantwortlich bestimmte Dokumente (z. B. zum Bestand oder zur Infrastruktur) und stellt sie dem Engineering-Kontraktor zur Nutzung bereit.

Die Kenntnisnahme und ggf. Freigabe von Planungsergebnissen ist i. Allg. ein vertraglich vereinbartes Informations- und Prüfungsrecht des Auftraggebers. Es ist als Qualitätssicherungsmaßnahme zu verstehen und darf nicht die Verantwortung des Auftragnehmers für seine Vertragsleistung einschränken.

Wie diese Schnittstelle zweckmäßig gestaltet werden kann, zeigt am Beispiel der Prozessplanung die Abb. 1.14.

	<b>AG</b>	<b>AN</b>	<b>K</b>	<b>F</b>
<b>1 Verfahrensplanung</b>				
1.1 Grundfließbild	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1.2 Verfahrensfließbild	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1.3 R&I-Fließbilder (Neuanlage)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.4 R&I-Fließbilder (Bestand)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.5 Verfahrens-/Anlagenbeschreibungen	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.6 Produkt- und Medienspezifikationen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.7 Sicherheitstoffdatenblätter	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.8 Massen-/Energie-/Druckbilanzen	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.9 Stoffstromlisten	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.10 Ausrüstungsdatenblätter	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.11 Ausrüstungsliste	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.12 Datenblätter für Sicherheitsarmaturen	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.13 Vorgaben für Brandschutz	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.14 Brandschutzkonzept	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.15 Explosionsschutzdokument	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.16 Vorgaben für Schallschutz	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.17 Schallschutzkonzept	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.18 PLT-Konzept	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Abb. 1.14** Ingenieurleistungen bzw. Dokumente der Prozessplanung (Auszug)  
[Abk.: **K** (an Auftraggeber / AG zur Kenntnisnahme bzw. Information)  
**F** (an Auftraggeber / AG zur Freigabe)]

Man listet analog zu Abb. 1.14 die relevanten Dokumentarten, z. B. zum Zeitpunkt der Investitionsentscheidung (Bearbeitungsstatus: AFD – Approved for Design) bzw. nach dem Detail Engineering (Bearbeitungsstatus: AFC – Approved for Construction) tabellarisch (z.B. geordnet nach Fachdisziplinen) auf und kreuzt dann das Zutreffende an.

Ein Kreuz in Spalte **AG** bzw. **AN** bedeutet, dass der Auftraggeber bzw. der Auftragnehmer die jeweiligen Dokumente dieser Dokumentenart verantwortlich erarbeitet.

Ein Kreuz in Spalte **K** heißt, der Auftraggeber bekommt das Dokument zur Kenntnis. Eine Rückmeldung seinerseits wird nicht erwartet, d. h. liegt in seinem Ermessen.

Ist die Spalte **F** angekreuzt, so ist das Dokument vom Auftraggeber zur Nutzung freizugeben, z. B. mittels Stempel und Unterschrift.

Mögliche Vertragsformulierungen zu diesem Sachverhalt sind:

- (1) Die im Anhang PLANUNGSLEISTUNGEN mit dem Vermerk F (Freigabe) gekennzeichneten Ingenieurleistungen bedürfen der Prüfung und Freigabe durch den AG.
- (2) Die mit dem Vermerk K (Kenntnisgabe) gekennzeichneten Ingenieurleistungen hat der Auftragnehmer dem Auftraggeber zur Kenntnis zu geben.
- (3) Der AG ist bei festgestellten und schriftlich angezeigten Mängeln an den Ingenieurleistungen berechtigt die Freigabe zu verweigern.  
Der AN hat den angezeigten Mangel an der Ingenieurleistung zu beseitigen und diesen dem AG erneut zur Freigabe zu unterbreiten. Die Mängelbeseitigung gehört zur Vertragsleistung des AN.  
Lehnt der AN den angezeigten Mangel ab, hat er zur weiteren Vorgehensweise umgehend mit dem AG eine Abstimmung und Entscheidung herbeizuführen.
- (4) Die Prüfung und Freigabe durch den AG erfolgt innerhalb von 10 Tagen nach Zugang der Unterlagen durch Rückgabe der mit einem Prüf- bzw. Freigabevermerk versehenen Unterlagen an den AN.  
Sofern der AG nicht innerhalb dieser Frist reagiert, gelten die eingereichten Ingenieurleistungen als freigegeben.
- (5) Die vereinbarte Kenntnisnahme und Freigabe von Ingenieurleistungen durch den AG entbindet den AN in keiner Weise von der alleinigen Verantwortung für seine Vertragsleistung.

### 1.8.3 Hinweise zur Beachtung der Dokumentation im Projekt

Die Kosten für die gesamten Dokumentationsleistungen in einem Neubau-Projekt, vom Lastenheft bis zum Dauerbetrieb, betragen *ca. 5 bis 9 Prozent der Investitionssumme (Anlagenneuwert)* [22].

Bei Um- und Ausbauinvestitionen in Altanlagen können sie anteilig auf über 10 Prozent ansteigen.

Die Dokumentationsleistungen beeinflussen nicht nur wesentlich die Wirtschaftlichkeit des Engineering, sondern sind selbst ein nicht geringer Kostenfaktor.

In der Praxis wird nicht selten die Bedeutung der Dokumentation aber auch das Wissen, das zur erfolgreichen Bewältigung der Dokumentationsthematik erforderlich ist, unterschätzt.

Die folgenden grundsätzlichen Hinweise und Erfahrungen sollen helfen, dies zu vermeiden. In den späteren Abschnitten 2.4.3, 3.2, 4.4 und 7.4 wird bei der ausführlichen Betrachtung der Phasen 2, 3, 4 und 6 nochmals vertiefend auf die zugehörigen Dokumentationsleistungen eingegangen.

- (1) Die Dokumentationsthematik muss als integraler Bestandteil der Projektabwicklung in Einheit von Anlage und Dokumentation verstanden werden.

Das heißt für das Engineering:

- der Projektleiter und die Leadingeniere müssen die Dokumentation und die zugehörigen Leistungen als ihre Aufgabe und Verantwortung akzeptieren und wahrnehmen.

- im Lastenheft (Ende Phase 1) sind die Dokumentationsaspekte ausreichend zu beachten und exakt zu spezifizieren (s. Abschn. 2.4.3),

- mögliche Alternativen, um die Dokumentationsleistungen im Projekt zu erbringen, sind während der Vorplanung (Phase 2) zu betrachten.

Die Ergebnisse sind in einem Dokumentationskonzept zusammenzufassen (s. Abschn. 3.2) und während der Projektabwicklung umzusetzen.

- im Pflichtenheft bzw. der FEL-Dokumentation (Extended Basic) sind die Dokumentationsaspekte angemessen zu berücksichtigen (Ende Phase 5).

- (2) In allen Werk- und Kaufverträgen des Projekts sind die Dokumentationsleistungen umfassend zu beachten und hinsichtlich Definition und Abnahme der Vertragsleistung, Gewährleistung, Beweislast, Mangelanzeige, Nachbesserung, Zahlungsbedingungen und Termine konkret auszugestalten.

Bei einigen Regelungen (Abnahme, Zahlungsmeilenstein) ist u. U. eine getrennte Behandlung von Anlage und Dokumentation zweckmäßig.

- (3) Die parallel zur Herstellung der Anlage notwendigen Arbeiten zur Erarbeitung der Dokumentation sollten von jedem Leadingenieur des Investors bzw. Kontraktors als eigene Arbeitsaufgabe verstanden und wahrgenommen werden. Gegebenenfalls sind ausreichende Ressourcen zu schaffen, damit jeder Leadingenieur die Dokumentationsleistungen seines Gewerks erbringen kann.

Die Schaffung eines Leadingenieurs *Dokumentation* (auch: Document Controller) bzw. eines Teams *Dokumentation*, ist bei großen Projekten eine mögliche Alternative.

- (4) Das zu liefernde Endprodukt AS BUILT-Dokumentation (final documentation) muss durch den Investor im Lastenheft umfassend spezifiziert und später im Anlagenvertrag zwischen Investor und Kontraktor vereinbart werden.

Diese Spezifikation ist nach Lieferung auch die Grundlage für die Erfüllungskontrolle des Kunden vor Abnahme der AS BUILT-Dokumentation bzw. für die Überprüfung ihrer Vertragsgemäßigkeit.

- (5) Für jedes Projekt ist im Lastenheft (scope) bzw. spätestens im Dokumentationskonzept eine Liste wichtiger Dokumentenarten (LwD) im Umfang von ca. 300 – 500 Dokumentenarten zu erarbeiten.

Struktur und Inhalt der LwD entsprechen i.d.R. der Ablagestruktur der Dokumentenarten (document execution structure) in der Projektdokumentation (elektronisch und gegenständlich).

Die Mitwirkenden am Projekt und insbesondere die Lead- und Planungingenieure müssen zu den wichtigsten ca. 500 Dokumentenarten aller Projektphasen und aller Fachdisziplinen/Gewerke sachkundig sein.

- (6) Die relevanten Dokumentenarten sollten im Projekt eindeutig definiert und konsequent in diesem Sinne genutzt werden.

Missverständliche bzw. nicht eindeutige Begriffe sind beispielsweise:

- Fließbild:** ist eine mit Hilfe von grafischen Symbolen und Schriftzeichen vereinfachte zeichnerische Darstellung von Aufbau und Funktion einer Anlage.
- Beschreibung:** ist die sprachliche Fassung eines Sachverhaltes.
- Liste:** ist eine systematisch angeordnete Übersicht und soll ohne erläuternden Text verständlich sein.
- Diagramm:** ist die grafische Darstellung errechneter oder beobachteter Werte.
- Plan:** ist eine zweidimensionale maßstäbliche Darstellung von Objekten *oder* die sinnbildliche grafische Darstellung der Funktion, des Ablaufes bzw. der Verknüpfung von Objekten.

## 1.9 Besonderheiten von Pharmaprojekten

### 1.9.1 Übersicht und Spezifika

Pharmazeutische Anlagen (kurz: Pharmaanlagen) dienen zur Herstellung von Arzneimitteln bzw. deren Wirkstoffen. In beiden Fällen wird von pharmazeutischen Produkten (Pharmaprodukten) gesprochen.

Pharmaanlagen gehören zu den klassischen verfahrenstechnischen Anlagen, haben jedoch einige typische Charakteristika und Besonderheiten, die auch die Projektabwicklung stark prägen.

In Tabelle 1.10 sind die wichtigsten zusammengestellt.

**Tabelle 1.10** Wesentliche Charakteristika und Besonderheiten von Pharmaanlagen und Pharmaprojekten

- 
- 1 Die zuverlässige und nachvollziehbare Gewährleistung der definierten Pharma-Produktqualität(-en) im Dauerbetrieb der geplanten Pharmaanlage ist ein zentrales Projektziel. In etwa vergleichbar mit dem Erreichen von Rechts- und Betriebs-sicherheit beim Anlagenbetrieb.
  - 2 Diesem Ziel dient u.a. ein systematisches, projektbegleitendes Qualitätsmanage-ment-Prozedere, welches durch die Begriffe **GMP-Testat 1 bis 4** (s. Abschn. 1.9.2) sowie die Begriffe **Qualifizierung** und **Validierung** gekennzeichnet ist [23] (s. Ab-schn. 1.9.3).
  - 3 Die Abwicklung pharmazeutischer Projekte sowie der spätere Anlagenbetrieb unter-liegen strengen internationalen Regularien [24] [25], die kurzgefasst als GMP-Anforderungen bzw. GMP-Grundsätze bezeichnet werden. Man spricht in diesem Zusammenhang von einer GMP-gerechten Projektabwicklung inkl. GMP-gerechten Engineering.  
**Bem.:** **GMP** ist die Abkürzung für **Good Manufacturing Practice** und wird in Ab-schnitt 1.9.3 näher betrachtet.
-

**Tab. 1.10** (Fortsetzung)

- 4** Entsprechend den Anforderungen gemäß Ziff. 1 und den Folgerungen gemäß Ziff. 2 ist das bisher betrachtete Phasenmodell für Anlagenprojekte um die pharmaspezifischen Aspekt zu modifizieren (s. Abschn. 1.9.2).
- 
- 5** Die Einhaltung der GMP-Anforderungen im gesamten Pharmaprojekt und bei der anschließenden Pharmaprodukt-Herstellung wird konsequent behördlich überwacht. Bekannt ist z. B. die FDA (Food and Drug Administration) in den USA, die nicht nur Hersteller bzw. Lieferanten von Pharmprodukten in den USA prüft, sondern auch im Auftrag anderer Regierungen weltweit tätig wird. Die Befugnisse der Aufsichts- und Kontrollbehörden sind sehr hoch. Bei schweren Verstößen können sie u.a. veranlassen, dass die betroffene Pharmaproduktion abgestellt wird.
- 
- 6** Die Entwicklung und Zulassung der Pharmprodukte sind sehr zeit- und kostenintensiv. Sie können die Anlagen-Investitionskosten deutlich überschreiten. Zugleich sind die Risiken eines erheblichen Imageverlusts bei Misserfolg gravierend. Diese erheblichen Vorleistungen und Risiken bewirken ebenfalls ein sehr erfolgsorientiertes und aufwendiges Projektmanagement.
- 
- 7** Typisch für Pharmaprojekte ist das konsequente Handeln auf Basis freigegebener Prozeduren. Für bestimmte GMP-relevanten Handlungen gibt es sog. SOP (Standard Operation Procedure) die verbindlich sind. In anderen Fällen muss man z. B. zunächst für die beabsichtigte Tätigkeit eine zutreffende Projektrichtlinie erarbeiten und erst wenn diese Richtlinie vom Verantwortlichen per Original-Unterschrift freigegeben ist, kann die Handlung beginnen. Das heißt, die Handlungsweise der tätigen Personen wird reglementiert, letztlich um die Qualität zu sichern und um Fehler zu vermeiden.
- 
- 8** Alle GMP-relevanten (vereinfacht: produktrelevanten) Vorgänge (Handlungen, Änderungen, Entscheidungen u.ä.) während des Projekts, und das sind viele, müssen nachvollziehbar dokumentiert sein. Dies setzt u.a. die konsequente Realisierung von Change-Control-Prozessen während der gesamten Projektentwicklung betreffs der Anlage und der Dokumentation voraus.
- 
- 9** Pharmazeutische Prozesse und Anlagen sind i.d.R. technologisch und technisch anspruchsvoll, da
- die Molekülstrukturen der Pharmprodukte und somit auch ihre Synthese (chemisch und/oder biologisch) i. Allg. kompliziert sind,
  - viele Pharmprodukte sind Feststoffe (z. B. Pulver), deren Handhabung (Abtrennen, Trocknen, Sieben, Mischen, Fördern, Wiegen, Abpacken u.a.) bekanntlich nicht einfach ist,
  - in vielen Fällen Batch- bzw. Chargenprozesse stattfinden, d. h. es sind dynamische, instationäre Prozesse mit zeitlich veränderlichen Prozessparametern,
  - die eingesetzten bzw. anfallenden Stoffe oftmals giftig und korrosiv sind. Die Folge sind nicht selten aufwendige Maßnahmen zur Luftabsaugung und -reinigung sowie der Einsatz korrosionsbeständiger Materialien (Edelstahl, Emaille, Kunststoff) für Ausrüstungen, Rohrleitungen, Armaturen, Messfühler usw.,
  - häufig Mehrproduktanlagen genutzt werden, deren Engineering a priori etwas schwieriger ist.
-

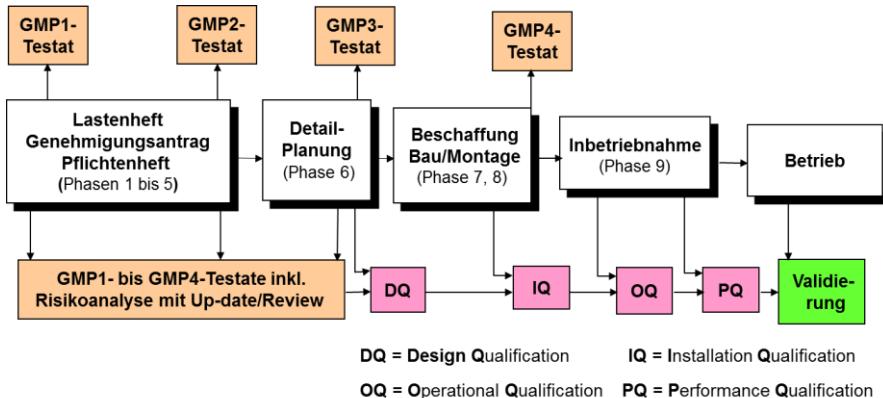
**Tab. 1.10** (Fortsetzung)

- 10** Pharmaanlagen sind meistens Inhouse-Anlagen mit speziellen Anforderungen an die Bauausführung, z. B. betrefts Oberflächengestaltung, Reinheit, Brand- und Explosionschutz, Be- und Entlüftung.
- 11** Pharmaanlage sind oft hochautomatisiert, insbesondere um eine hohe Reproduzierbarkeit der Produktqualität zu gewährleisten. Der Mensch als mögliche Fehlerquelle wird durch zuverlässigere Technik ersetzt.  
Typisch sind in diesen Fällen prozessgerichtete Steuerungen (sog. Schrittkettensteuerung), die z. B. über Rezeptvorgaben geführt werden und den Herstellungsprozess in der Anlage weitgehend automatisch steuern.  
Der notwendige Aufwand für die Prozessleittechnik inkl. Software, inkl. Engineering, Qualifizierung und Dokumentation, ist entsprechend hoch.
- 12** Die Ausrüstungen in Pharmaanlagen sind häufig relativ klein, und um Toträume im Rohrleitungssystem zu vermeiden, eng nebeneinander aufgestellt. Zugleich ist aber eine umfangreiche PLT-Instrumentierung notwendig. Abb. 1.15 zeigt dies am praktischen Beispiel.  
Beides passt nicht zusammen, sodass Pharmaanlagen mitunter etwas „verbaut“ wirken und weniger instandhaltungsfreundlich sind.
- 13** Das Engineering muss den Grundsätzen der Good Engineering-Practice (GEP) gerecht werden. Ferner sind bei der technischen Planung eine Reihe besonderer Anforderungen zu beachten (s. Abschn. 1.9.4).  
Analogen gilt für die Erarbeitung und den Umgang mit der Dokumentation.
- 14** Maßnahmen zur effizienten Erstreinigung der Anlage (innerhalb der Ausrüstungen) sowie der GMP-gerechten und wirtschaftlichen Reinigung bei Produktumstellungen sind im Engineering gezielt zu planen (s. Abschn. 1.9.4, Tab. 1.11).
- 15** Gemäß den Anforderungen an GMP-relevante Dokumente hinsichtlich Beweiskraft, Fälschungssicherheit, langfristige Archivier- und Lesbarkeit u.ä. hat in Pharmaanlagen das Original-Dokument in Papierform noch große Bedeutung.

**Abb. 1.15** Teil einer Pharmaanlage mit Rührkesseln und Instrumentierung

### 1.9.2 Modifizierung des Phasenmodells für Pharmaprojekte

In Abb. 1.16 ist das modifizierte Phasenmodell für Pharmaprojekte, wie es insbesondere bei Neubauprojekten praktiziert wird, schematisch dargestellt.



**Abb. 1.16** Modifiziertes Phasenmodell für Pharmaprojekte

Die zusätzlichen Maßnahmen sind farblich markiert und beinhalten insbesondere:

- a) Projektbegleitende sog. **GMP1-Testat** bis **GPM4-Testat** in Form von Haltepunkten im Projekt. An den Haltepunkten wird im Team geprüft, ob die bis dahin geplanten GMP-relevanten Aufgaben erfüllt und die Zielstellungen erreicht sind. Im Erfolgsfall wird ein zugehöriges GMP-Testat (Formular) ausgestellt und von den Teilnehmern unterschrieben.

Die Ziele und Aufgaben der Testierungen sind in Tabelle 1.11 angegeben. Sie beinhalten u.a. auch eine Qualitätsrisikoanalyse für das Pharma-Projekt am Ende der Phase 3 (Basic Engineering) bzw. vor Einreichen des Genehmigungsantrags sowie Up-dates bzw. Reviews am Ende der Phasen 6 und 8).

Bem.: Die Methodik der Testierung bzw. Risikobeurteilung ist analog zur Vorgehensweise bei den Sicherheitstestaten (s. Abschn. 1.7.2) bzw. sicherheitsrelevanten Risikobeurteilung (s. Abschn. 4.3.2) zu verstehen.

- b) Durchführung der

- Design Qualification (DQ) am Ende des Detail Engineering (Phase 6),
- Installation Qualification (IQ) am Ende von Bau/Montage (Phase 8),
- Operational Qualification (OQ) und Performance Qualification (PQ) während der Kalt- und Heiß-Inbetriebnahme.

Nähere Ausführungen zu den angeführten Maßnahmen zur Qualifizierung sind in Abschn. 1.9.3 enthalten.

- c) Durchführung der Validierung, bestehend aus Reinigungs- und Produktvalidierung nach der Heiß-Inbetriebnahme zu Beginn des Dauerbetriebs (s. Abschn. 1.9.3).

**Tabelle 1.11** Aufgaben und Hinweise zu den GMP-Schritten und zur GMP-Testierung

Schritt/Testat	Zeck / Zeitpunkt / Bemerkungen
<b>GMP1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– grundlegende GMP-Anforderungen an das Projekt definieren</li> <li>– Produkte nach GMP-Gesichtspunkten klassifizieren</li> <li>– GMP-relevante Verfahrensstufen sind zu identifizieren</li> <li>– Schnittstellen zwischen Verfahrensstufen/Teilanlagen mit bzw. ohne GMP-Relevanz identifizieren und definieren</li> <li>– Angaben zu Reinheitsklassen; mögliche Crosskontamination</li> <li>– Hinweise zum Genehmigungsantrag und zum Umgang mit Behörden</li> <li>– Angaben werden Lastenheft (Scope, Fundamental Requirements) (Ende Phase 1) gemacht bzw. der Vorplanung (Phase 2) erarbeitet</li> <li>– das GMP1-Testat wird i.d.R. am Ende Phase 2 ausgestellt (analog zum S1-Konzepttestat, s. Abb. 1.12)</li> </ul>
<b>GMP2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Erfüllungskontrolle zu Vorgaben gemäß GMP1-Testat</li> <li>– Änderungen identifizieren und berücksichtigen</li> <li>– GMP-Anforderungen für Ausführungsplanung (Phase 6) festlegen</li> <li>– detaillierte GMP-Anforderungen an einzelne Verfahrensstufen und GMP-relevante Ausrüstungen</li> <li>– Reinigungs- und Hygienekonzeption</li> <li>– Vorgaben zu Werkstoffen und Oberflächengüte</li> <li>– Durchführen der Produkt-Qualitätsrisikoanalyse</li> <li>– Validierungs-Masterplan erarbeiten und freigeben</li> <li>– Angaben/Unterlagen werden bis Ende Phase 5 erarbeitet</li> <li>– das GMP2-Testat wird i.d.R. am Ende Phase 5 (vor Investitionsentscheidung) ausgestellt (analog zum S2-Entwurfstestat, s. Abb. 1.12)</li> </ul>
<b>GMP3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Erfüllungskontrolle zu Vorgaben gemäß GMP2-Testat; Änderungen identifizieren und berücksichtigen</li> <li>– Durchführen der Design Qualifikation (DQ)</li> <li>– Erfüllungskontrolle zur DQ im GMP3-Testat</li> <li>– Review bzw. Up-date zur Produkt-Qualitätsrisikoanalyse</li> <li>– definieren GMP-Anforderungen für alle Gewerke an Anlagenrealisierung (Phase 7 (Beschaffung, 8 (Bau/Montage, 9 (Inbetriebnahme)</li> <li>– das GMP3-Testat wird am Ende Phase 6 (vor Beschaffung und Baubeginn) ausgestellt (analog zum S3-Planungstestat, s. Abb. 1.12)</li> </ul>
<b>GMP4</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Erfüllungskontrolle zu Vorgaben gemäß GMP3-Testat; Änderungen identifizieren und berücksichtigen</li> <li>– Durchführen der Installation Qualifikation (IQ)</li> <li>– Erfüllungskontrolle zur IQ im GMP4-Testat</li> <li>– Prüfung der Schnittstellen zum Bestand (vorhandene Anlagen) und zum Standort (Fremdbetriebe, Infrastruktur, Logistik)</li> <li>– Erfüllungskontrolle der Inbetriebnahmevervoraussetzungen</li> <li>– GPM-relevante Vorgaben für Inbetriebnahme definieren</li> <li>– Operational Qualification(OQ)/Performance Qualifikation (PQ) planen</li> <li>– das GMP4-Testat wird am Ende Phase 8 (nach Montage/vor Inbetriebnahme) ausgestellt (analog zum S4-Betriebstestat, s. Abb. 1.12)</li> </ul>

### 1.9.3 Qualifizierung und Validierung gemäß Good Manufacturing Practice (GMP)

Ausgangspunkt ist zunächst der Begriff **GMP** bzw. **Good Manufacturing Practice** gemäß folgender Definition:

**Good Manufacturing Practice (GMP)** bzw. Gute Herstellungspraxis ist der Teil der Qualitätssicherung, der gewährleistet, dass Produkte gleichbleibend nach den Qualitätsstandards produziert und geprüft werden, die der vorgesehenen Verwendung und den Zulassungsunterlagen entsprechen [25].

Eingeführt wurde der Begriff „Good Manufacturing Practice“ 1962 von der Food and Drug Administration (FDA).

Richtlinien für den Arzneimittelbereich, um eine GMP-gerechte Qualitätssicherung zu gewährleisten, wurden beispielsweise durch die Europäische Kommission, durch das Pharmaceutical Inspection Co-Operation Scheme (PIC/S), durch die US-amerikanische Food and Drug Administration (FDA) sowie auf globaler Ebene durch die International Conference on Harmonisation of Technical Requirements for Registration of Pharmaceuticals for Human Use (ICH) festgelegt.

Planerisch vorbereitet werden alle GMP-relevanten Aktivitäten in einem **Validierungsmasterplan (VMP)**.

Der **Validierungsmasterplan** ist ein Dokument, in dem die qualitätsbezogenen Arbeitsweisen und Hilfsmittel sowie der Ablauf der Tätigkeiten in einem Neuanlagenprojekt dargelegt sind.

In diesem Dokument wird u.a. definiert:

- Projektorganisation
- Auflistung der Qualifizierungs- und Validierungstätigkeiten
- Verantwortung und Zeitplan.

Der Validierungsmasterplan wird in Vorbereitung der Investitionsentscheidung (Investitionsantrag) erarbeitet und während des GMP2-Testas geprüft. In den folgenden Projektphasen, insbesondere vor Beginn der Beschaffung (Phase 7) und der Baustellenabwicklung (Phase 8) sowie vor Inbetriebnahmebeginn (Phase 9) wird er zunehmend detaillierter fortgeschrieben.

Schwerpunkte bei der Verwirklichung des VMP sind Maßnahmen zur **Qualifizierung** und **Validierung** mit folgenden Inhalten:

**Qualifizierung** ist die dokumentierte Beweisführung, dass alle Ausrüstungsgegenstände (inkl. Leittechnik mit Software) einwandfrei arbeiten und tatsächlich zu den erwarteten Ergebnissen führen.

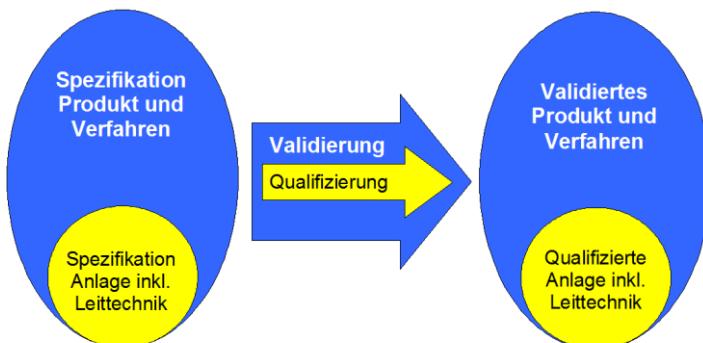
**Validierung** ist die dokumentierte Beweisführung, dass ein Prozess in einer Anlage reproduzierbar ein spezifikations- und qualitätsgerechtes Produkt erzeugt.

Die Qualifizierung bezieht sich auf die Anlage inkl. Prozessleittechnik, während sich die Validierung auf das Verfahren und die pharmazeutischen Produkte beziehen (s. Abb. 1.17).

Die Qualifizierung wird für alle GMP-relevanten Ausrüstungen inkl. Prozessleittechnik mit Software durchgeführt und zeitlich gestaffelt in vier Qualifizierungsschritte unterteilt. GMP-relevant bedeutet kurzgefasst, dass diese Ausrüstungen in ihren Arbeitsverhalten die Pharmaproduct-Qualität beeinflussen.

Dies kann bei größeren Pharmaprojekten mehrere hundert GMP-relevante Einzel-ausrüstungen betreffen, sodass der Zeit- und Kostenaufwand erheblich ist.

Die Ergebnisse werden in *Qualifizierungsberichten* und *Validierungsberichten* zusammengestellt. In ihnen sind die durchgeführten Arbeiten und die Ergebnisse der im Validierungsmasterplan festgelegten Prüfungen detailliert beschrieben und bewertet.



**Abb. 1.17** Übersicht zu Qualifizierung und Validierung

### a) Design Qualification / Design Qualifizierung (DQ)

**Design Qualification (DC)** ist der dokumentierte Nachweis, dass der Planungs- bzw. Engineeringprozess der Anlage inkl. Prozessleitsystem mit Software entsprechend den geltenden Vorgaben (z. B. Lastenheft, Projektrichtlinien, Pflichtenheft, GMP-Anforderungen) durchgeführt wurde.

Die **Design Qualification (DQ)** findet bis zum Ende des Detail Engineering (Ende Phase 6) ausrüstungsbezogen statt. Sie soll für jede GMP-relevante Aus-rüstung und in der Summe für die Gesamtanlage nachweisen, dass die Ausführungsplanung entsprechend den **User Requirements** (Benutzeranforderungen) erfolgte. Wesentliche User Requirements für die DQ sind das Lastenheft (Scope) und das Pflichtenheft.

Die zur Ausrüstung gehörenden peripheren Komponenten (z. B. Rohrleitungen, Instrumente, Steuerung) sind eingeschlossen.

Zur Vorbereitung der DQ werden die Prüfpunkte zunächst identifiziert und definiert. Anschließend werden für die einzelnen Prüfpunkte sog. *Akzeptanzkriterien* erarbeitet und abgestimmt. In späteren Sitzungen bzw. Workshops wird kontrolliert, ob diese Kriterien erfüllt sind.

Der DQ-Workshop findet im Team bestehend aus dem späteren Betreiber (Verantwortlicher), dem Engineeringpartner, dem Ausrüstungshersteller und weiteren GMP-Sachkundigen statt. Abweichungen zwischen Soll und Ist, die festgestellt werden, müssen nachvollziehbar begründet und dokumentiert sein.

Im Ergebnis entstehen sog. „*Design Qualifizierungsberichte der Ausrüstung XYZ*“. Das Beispiel in Abb. 1.18 zeigt Struktur und Umfang eines Qualifizie-rungsberichts für eine Schälzentrifuge.

<b>Designqualifizierung</b> (Plan und Bericht)		
Anlage/Teilanlage/Anlagenteil:	DQ-Nummer	
<b>Schälzentrifugen</b>	Seite <b>2 von 27</b>	Datum

<b>1 Vorbemerkungen</b> .....	<b>3</b>
1.1 Ziel der Qualifizierung.....	3
1.2 Beschreibung der Anlagenkomponente .....	3
1.3 Identifizierung Anlagenkomponenten .....	4
1.4 Hinweise zur Durchführung der Design-Qualifizierung.....	5
1.5 Tabelle der Prüfer.....	5
<b>2 Prüfpunkte zur Durchführung der Designqualifizierung</b> .....	<b>6</b>
2.1 Dokumentation und Schulung .....	6
2.1.1 Dokumentation allgemein.....	6
2.1.2 Benutzerdokumentation .....	7
2.1.3 Mitgeltende Unterlagen .....	8
2.1.4 Schulung .....	10
2.2 Apparatetechnik / Rohrleitungstechnik.....	10
2.2.1 Berücksichtigung Risikoanalyse bzgl. Apparatetechnik.....	10
2.2.2 Verfahrenstechnische Daten / Auslegungsdaten .....	11
2.2.3 Werkstoffe .....	11
2.2.4 Oberflächenbeschaffenheit .....	12
2.2.5 Ausführung / GMP-Design .....	13
2.2.6 Schnittstellen.....	15
2.2.7 Dokumentation Apparatetechnik / Rohrleitungstechnik.....	16
2.3 Anlagensteuerungssystem .....	18
2.3.1 Berücksichtigung Risikoanalyse bzgl. Anlagensteuerung .....	18
2.3.2 Allgemeine Steuerungsdokumentation.....	19
2.3.3 Dokumentation MSR .....	19
2.3.4 Dokumentation Elektrotechnik.....	21
2.3.5 Dokumentation Software .....	21
<b>3 Zusammenfassender Bericht</b> .....	<b>23</b>
<b>4 Anhang/Anlagen</b> .....	<b>24</b>
<b>5 Bemerkungen</b> .....	<b>25</b>
<b>6 Mängelaufnahme und Klärungspunkte</b> .....	<b>26</b>
6.1 Mängelaufnahme.....	26
6.2 Mängelbeseitigung.....	26
6.3 Mängelliste und Klärungspunkte.....	27

Abb. 1.18 Bericht „Design Qualifizierung einer Schälzentrifuge XYZ“

### b) Installation Qualification / Installationsqualifizierung (IQ)

**Installation Qualification (IQ)** ist der formale und systematische Nachweis, dass alle wesentlichen Aspekte der Anlagenmontage/-installation (Hard- und Software) den vereinbarten Regeln entsprechen, mit den freigegebenen Ausführungsdokumenten übereinstimmen und die Empfehlungen der Zulieferer berücksichtigen.

Das Ziel der IQ, die bis zum Zeitpunkt Mechanische Fertigstellung (Ende Phase 8) beendet sein sollte, ist der Nachweis, dass die Montage aller Komponenten „wie geplant“ erfolgt und in der Dokumentation „as built“ beschrieben ist.

Analog zur DQ wird auch bei der IQ der Ist-Zustand mit den Soll-Zustand, insbesondere mit den Angaben in den **Technischen Beschaffungsunterlagen** (TBU) bzw. **Technischen Spezifikationen** verglichen.

### c) Operational Qualification / Funktionsqualifizierung (OQ)

**Operational Qualification (OQ)** ist der formale und systematische Nachweis, dass eine Anlage, Teilanlage, System oder Subsysteme die Funktion wahrnimmt, für die sie oder es erstellt wurde, und zwar im Rahmen der vorgesehenen Betriebsbereiche.

Das Ziel der OQ, die im Zeitraum Montageende bis Ende Kalt-Inbetriebnahme durchgeführt wird, ist der Nachweis, dass alle technischen Systeme bzw. Komponenten so funktionieren, wie dies in den Anforderungen des Nutzers niedergelegt bzw. in der Dokumentation beschrieben ist.

### d) Performance Qualification / Leistungsqualifizierung (PQ)

**Performance Qualification (PQ)** ist der formale und systematische Nachweis, dass eine Anlage, Teilanlage, System oder Subsysteme die Leistungsfähigkeit erbringt, für die sie oder es erstellt wurde.

Das Ziel der PQ ist der Nachweis der Leistungsfähigkeit der Gesamtanlage über die Einzelprüfungen der Funktions-Qualifizierung hinaus. Die PQ erfolgt bis zum Ende der Inbetriebnahme (Ende Phase 9).

Wie in Abb. 1.16, Abschn. 1.9.2 veranschaulicht, verlaufen bei Pharmaprojekten die 4 Qualifizierungsschritte parallel zum Basis-Phasenmodell gemäß Abschnitt 1.2. Die zugehörigen Tätigkeiten können in die Engineeringarbeiten der Phase 6 (DQ), der Phase 8 (IQ) und der Phase 9 (OQ und PQ) eingebunden werden.

Die in Abb. 1.16 angeführte Risikoanalyse (sog. Produkt-Qualitätsrisikoanalyse) findet vor der Design Qualifizierung in den Phasen 1 bis 3 statt. So wird u.a. beim Erarbeiten des Lastenhefts (Phase 1) und des Pflichtenhefts (nach Investitionsentscheidung) systematisch analysiert und beurteilt, ob das Restrisiko bezogen auf das Erreichen der Produktqualität vertretbar ist.

Insbesondere am Ende des Basic Engineering, wenn die Verfahrensparameter, R&I-Fließbilder, die Ausrüstungsdatenblätter, die PLT-Entwurfsdokumente u.a. wichtige GMP-relevante Anlagendokumente vorliegen, wird eine ausführliche Qualitätsrisikoanalyse durchgeführt.

Die Vorgehensweise ist ähnlich der HAZOP-Methode, die häufig bei der Beurteilung des GSU-Risikos (**Gesundheit-Sicherheit-Umweltschutz**) genutzt wird und in Abschnitt 4.3 (Sicherheitstechnische Entwurfsplanung, Risikobeurteilung) detailliert beschrieben wird.

Neben der Qualifizierung ist in der Good Manufacturing Practice die Validierung von zentraler Bedeutung.

Die **Validierung** bezieht sich im Unterschied zur Qualifizierung nicht auf die Anlage, sondern auf das Produkt.

In Pharmaprojekten sind alle qualitäts- und GMP-relevanten Herstellungsprozesse und Reinigungsverfahren zu validieren.

Auf einige wenige Aspekte wird nachfolgend eingegangen und darüber hinaus auf die Fachliteratur verwiesen [23].

#### e) Reinigungsvalidierung

**Reinigungsvalidierung** ist der dokumentierte Nachweis, dass ein Reinigungsverfahren zuverlässig innerhalb festgelegter Grenzen (Grenzwerte) zum erwarteten Ergebnis (ausreichende Reinigung) führt.

Die Validierung eines Reinigungsverfahrens beweist, dass das Reinigungsverfahren die gestellten Ansprüche erfüllt und den Reinigungserfolg reproduzierbar gewährleistet, indem nicht mehr als die akzeptable Menge an Restverunreinigungen in einer Anlage auf das Folgeprodukt übertragen wird.

Das Testprogramm, welches entsprechend des spezifischen Validierungsplans durchzuführen ist, sollte beinhalten:

- einen Probenahmeplan und Probenahmeverordnung sowie
- mindestens drei Validierungsläufe zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit des zu validierenden Reinigungsverfahrens.

Die gemessene Restverunreinigung muss reproduzierbar niedriger sein, als der stärkste ermittelte Grenzwert.

In Mehrproduktanlagen, auf denen beispielsweise mehr als 20 verschiedene Wirkstoffe hergestellt werden, ist die Zahl der möglichen Reinigungsverfahren erheblich. Entsprechend ist der Aufwand für deren Validierung groß.

Die Ergebnisse werden in Validierungsberichten dokumentiert.

#### f) Prozessvalidierung

**Prozessvalidierung** ist der dokumentierte Beweis, der einen hohen Grad der Absicherung liefert, dass ein bestimmter Prozess konsistent ein Produkt produziert, welches den vorherbestimmten Spezifikationen und Qualitätsmerkmalen entspricht.

Sie betrifft die Validierung aller qualitäts- und GMP-relevanten Herstellungsverfahren und dient der Beweisführung, dass der Herstellungsprozess mit hoher Wahrscheinlichkeit zum erwarteten Ergebnis, einem spezifikationskonformen und allen weiteren Qualitätsanforderungen entsprechenden Produkt führt.

Die Prozessvalidierung beginnt bereits bei der Produkt- und Verfahrensentwicklung mit der Festlegung der Qualitätspezifikationen (Produktspezifikationen) und setzt sich über die weiteren Schritte der Maßstabsvergrößerung bis zur betrieblichen Produktion fort.

Das Testprogramm, welches entsprechend des zutreffenden Validierungsplans durchzuführen ist, sollte beinhalten:

- Festlegung der kritischen Parameter und Begründung (Risikoanalyse),
- Prüfpunkte sowie Akzeptanzkriterien und Grenzwert,
- Vorgehen bei Abweichungen,
- Art und Umfang der durchzuführenden Tests,
- Zeitplan,
- Probenahmeplan und Probenahmeverordnung,
- angewandtes validiertes Prüfverfahren.

Nach [23] gilt:

Als Nachweis für einen reproduzierbaren und gesicherten stabilen Prozess gilt im Allgemeinen die spezifikationskonforme Herstellung von drei aufeinanderfolgenden Produktchargen mit den erarbeiteten Prozessparametern im vorgesehenen Produktionsmaßstab.

Die Ergebnisse werden im Validierungsbericht dokumentiert.

#### **1.9.4 Good Engineering Practice (GEP) und Dokumentation**

In den ISPE Baseline Pharmaceutical Engineering Guide [26] bedeutet GEP bzw. Good Engineering Practice die Anwendung etablierter Ingenieurmethoden und -standards, die während der Projektlaufzeit eine passende und kosteneffiziente Lösung liefern.

Merkmale von Good Engineering Practice sind zusammengefasst:

- professionelles und kompetentes Projektmanagement (Prozesse, Vorschriften),
- professionelles und kompetente Ingenieursplanung, technische Beschaffung, technische Konstruktion und technische Inbetriebnahme,
- Berücksichtigung von anwendbaren gesetzlichen Anforderungen bzgl. Sicherheit, Gesundheit und Umweltschutz,
- Berücksichtigung der Anforderungen bzgl. Funktion und Instandhaltung,
- Berücksichtigung von anerkannten industriellen Standards und Richtlinien,
- angemessene Dokumentation für Funktionen/Instandhaltungen und die Beweisführung der Übereinstimmung mit den maßgeblichen Regularien und Gesetzen.

Alle aufgeführten Merkmale sind nicht pharmaspezifisch und auch für alle andern Anlagenprojekte gültig, sodass an dieser Stelle keine Vertiefung erfolgt und stattdessen auf Abschnitt 1.4 verwiesen wird.

Für das Engineering von Pharmaanlagen sind bedeutungsvoll eine Reihe besonderer GMP-Anforderungen an **Package-unit**-Anlagen und Einzelausrüstungen, wie sie beispielhaft in Tabelle 1.12 angegeben sind.

**Tabelle 1.12** GMP-Anforderungen an Package-units und Einzelausrüstungen (Auszug aus Praxisbeispiel)

---

##### **1 Allgemeine Anforderungen**

- einfache Zugänglichkeit des Produktraums für Wartung und Reinigung der Ausrüstung und ihrer Einbauten
  - Verwendung einfach montier- und demontierbarer Komponenten bzw. Einbauten bei notwendiger manueller Reinigung
  - Abdichtungen von Inspektionsöffnungen, Mannlöchern und Bedienungsöffnungen sind unverlierbar auszuführen
  - einfache und leichte Reinigung der Außenoberfläche der Komponenten muss gegeben sein
  - Lagerung und Fertigung aller Komponenten hat unter strikter Trennung von Edelstahl zu Schwarzstahl zu erfolgen
-

**Tab. 1.12 (Fortsetzung)**

- 
- 2 Maßnahmen zur Vermeidung von Produktablagerungen/-vermischungen sowie zur Unterstützung von Reinigungsmaßnahmen**
- produktberührte Schweißnähte sind eben und glatt verschliffen
  - produktberührte Oberflächen mit spezifizierter Oberflächenrauigkeit ausführen
  - Stutzen, Inspektionsöffnungen, Mannlöcher, Schaugläser sind mit kürzest möglicher Aufbaulänge und ohne Übergänge zum Produktraum auszuführen
  - Rundungsradien produktberührter Oberflächen  $\geq 3$  mm
  - Einbauten im Produktraum sind spaltfrei auszuführen
  - einfache und leichte Reinigung der Außenoberfläche der Komponenten muss gegeben sein
  - Abdichtungen von Inspektionsöffnungen, Mannlöchern und Bedienungsöffnungen sind versatzarm zum Produktraum anzurichten
  - Sprühdüsen und Sprühlanzen im Produktraum von Ausrüstungen sind so anzurichten, dass keine Sprühschatten im Produktraum und alle produktberührte Flächen erfasst werden
  - Medienzuführungen, Anschlussstutzen, Probenahmestutzen und Messgerätestutzen sind totraumarm, selbstentleerend sowie einfach und sicher zu reinigen ausgeführt
  - gekennzeichnete Rohrleitungen sind mit Gefälle zur Saugseite der Pumpe bzw. zum Tiefpunkt (Entleerungsventil) zu verlegen
  - Messfühler, die in Produktraum reichen, sind bündig mit der inneren Oberfläche anzurichten
- 
- 3 Raumseitige Anforderungen (z. B. zu qualifizierender Abfüllraum)**
- Abdichtung der Fugen, Durchbrüche u.ä. gemäß Spezifikation
  - Oberflächen glatt, porenfrei und gut zu reinigen
  - Wand-, Böden- und Deckenmaterialien dürfen die Einhaltung der Reinraumklasse nicht beeinträchtigen (keine Partikel abgeben)
  - Oberflächen sind ausreichend beständig gegen eingesetzte Säuren und Laugen sowie gegen Reinigungs- und Desinfektionsmittel
  - alle Fugen zwischen den Bauelementen sind flächenbündig, mit dauerelastischen Fugenmaterial abzudichten
  - Fenster sind nicht zu öffnen, dicht und innenflächig bündig auszuführen
  - Beleuchtung, Luftein- und -auslässe möglichst flächenbündig zur Deckenoberfläche
  - Boden mit Neigung zum Bodenablauf
  - Türen mit Einstekschlössern, ohne Schwelle und fugenfreien Verbindungen ausführen
- 
- 4 Anforderungen an lüftungs- bzw. klimatechnische Anlagen**
- alle Lüftungskomponenten sind gegen vorgegebene Stoffe beständig
  - Lüftungskanäle und Lüftungsleitungen sind so auszulegen, dass möglichst keine Partikelablagerungen in den Kanälen auftreten und Falschlufteinzug verhindert wird
  - Luftfilter sind so auszuführen, dass Dichtsitzprüfungen jederzeit und ohne großen Aufwand möglich sind
  - luftberührte Oberflächen sind glatt und ohne Spalte, Kanten, Hinterschneidungen u.ä. auszuführen
-

**Tab. 1.12** (Fortsetzung)

- 
- 4 Anforderungen an lüftungs- bzw. klimatechnische Anlagen** (Fortsetzung)
- Motor und Stellantrieb für Klappen u.a. Stellorgane sowie die Wellenlagerung dieser Komponenten sind wartungsfrei auszuführen
  - Schalldämpfermaterialien sind nicht brennbar und abriebfest auszuführen
  - Filter sind so auszuführen, dass Dichtsitzprüfungen jederzeit und ohne großen Aufwand möglich sind
  - Verwendung luftdichter Kanäle, wenn Ex-Abluft durch einen Nicht-Ex-Bereich geführt wird und umgekehrt
  - Abläufe (z. B. Kondenswasser) nicht direkt ins Abwassersystem einbinden
- 

Abschließend zu den Ausführungen über Pharmaprojekte seien noch einige wenige Bemerkungen über deren Dokumentation gemacht.

Grundsätzlich sind ca. 80-90 % der Dokumentarten, die für verfahrenstechnische Anlagen typisch sind, auch in Pharma-Dokumentation anzutreffen.

Darüber hinaus bewirkt die Good Manufacturing Practice aber einige Besonderheiten, die nachfolgend in Tabelle 1.13 zusammengefasst sind. Eigene Erfahrungen bei der Endprüfung der AS BUILT-Dokumentation von einer größeren Pharmaanlage (Umfang des Belegexemplars: ca. 2000 Ordner Papierdokumente) haben diese Hinweise nachhaltig bestätigt.

Wenn man beispielsweise Bezug nehmend auf den Punkt 6 in der Tab. 1.13 bedenkt, dass in einer größeren Pharma-Dokumentation ca. 500-1000 einzelne Qualifizierungs- und Validierungsberichte existieren und in diesen Berichten auf ca. 100 andere technische Dokumentarten, die in anderen Kapiteln der Dokumentation abgelegt sind, verwiesen (referenziert) wird, so zeigt dies die dokumentarische Herausforderung.

**Tabelle 1.13** Spezifika und Hauptanforderungen an die Dokumentation von Pharmaanlagen

---

1. Die Dokumentation beinhaltet ergänzend zu den sonstigen üblichen Dokumentarten auch eine Vielzahl von sog. Qualifizierungs- und Validierungsdokumenten.
  2. Die GMP-Dokumente umfassen insbesondere die Ausführungsdokumente und Ergebnisberichte der Qualifizierung/Validierung und sollten in einem extra Kapitel: *Qualifizierungs- und Validierungsdokumente* abgelegt werden.
  3. Die Gesamtdokumentation, aber insbesondere das Kapitel: *Qualifizierungs- und Validierungsdokumente* müssen gemäß der internationalen Inspektionspraxis bei Pharmaanlagen voll inspektionstauglich sein. Das bezieht sich auch auf das zielgerichtete und schnelle Auffinden gesuchter Dokumente, z. B. auf Veranlassung des Inspektors.
  4. Alle GMP-Dokumente müssen im Belegexemplar als Original mit Original-Unterschrift vorhanden sein. Ausnahmen sind mit einem Erläuterungsbericht, zu belegen.
  5. Die Rechtskraft der elektronischen Dokumentenform reicht für Qualifizierungs- und Validierungsdokumente noch nicht aus.
-

**Tab. 1.13** (Fortsetzung)

- 
6. In den Qualifizierungs- und Validierungsdokumenten müssen die Verweise auf zugeordnete GEP-Dokumente eindeutig und nachvollziehbar sein (z. B. Begriffe, Revisionsindex, Ablageort).
  7. Die GEP-Dokumente, auf die in den GMP-Dokumenten verwiesen (referenziert) wird, müssen vorhanden und qualitätsgerecht sein.
  8. Alle anderen GEP-Dokumente müssen einen hohen Qualitätsstandard (Inhalt und Form) aufweisen.
  9. Die Qualitätsanforderungen an die AS BUILT-Dokumentation (Enddokumentation) müssen im Detail definiert sein (z. B. im Lasten- und Pflichtenheft) sowie im Anlagenvertrag vereinbart sein und gewährleistet werden.
  10. Die AS BUILT-Dokumentation sollte selbst in geeigneter Form qualifiziert sein, z. B. durch eine gezielte Qualitätsprüfung mittels Auditierung, Stichprobenprüfung, 100%-Prüfung einzelner Teile u.ä.
  11. Die Nutzung und Pflege der Dokumentation, z. B. während des Anlagenbetriebs oder bei Instandhaltungs- und/oder Umbaumaßnahmen muss auf Basis verbindlicher und freigegebener Anweisungen/Prozeduren erfolgen.
- 

Ist in der Praxis auf den GMP-Dokumenten der Querverweis (Referenzierung) nicht ausführlich oder nicht eindeutig (z.B. betreffs Benennung, Kennzeichnung und Ablageort des referenzierten GEP-Dokuments) so ist dieses GEP-Dokument ggf. nur nach langer Suche bzw. im Extremfall auch nicht zu finden.

In Abschnitt 2.4.3 dieses Buches werden nähere Ausführungen zur Spezifizierung der Dokumentation verfahrenstechnischer Anlagen gemacht und in Tabelle 8.4 in Abschn. 8.3 werden mögliche Qualitätsanforderungen an die AS BUILT-Dokumentation zusammengestellt.

## Literatur

- [1] Blass E (1997) Entwicklung verfahrenstechnischer Prozesse: Methode – Zielsuche – Lösungssuche – Lösungsauswahl, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
- [2] Bernecker G (2001) Planung und Bau verfahrenstechnischer Anlagen: Projektmanagement und Fachplanungsfunktionen, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
- [3] Weber K H (2016) Inbetriebnahme verfahrenstechnischer Anlagen: Praxishandbuch mit Checklisten und Beispielen, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
- [4] Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure – HOAI) vom 10.07.2013
- [5] Großstück M (2007) Der Start zählt!, [www.chemietechnik.de](http://www.chemietechnik.de)

- [6] Wischnewski E (2001) Modernes Projektmanagement, Verlag Viehweg, Braunschweig Wiesbaden
- [7] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG vom 26.09.2002 (BGBl. I S: 3830)
- [8] Lackner K, Kühl K (2004) Strafgesetzbuch mit Erläuterungen, Verlag Beck, München
- [9] DGUV Vorschrift 1 (2013) Grundsätze der Prävention
- [10] Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz – ArbSchG) vom 07.08.1996 (BGBl. I S. 1246)
- [11] Bundesberggesetz (BBergG) vom 13.08.1983 (BGBl. I S. 1310)
- [12] Brox H, Walker W-D (2013) Allgemeines Schuldrecht und (2013) Besonderes Schuldrecht, Verlag Beck, München
- [13] Bürgerliches Gesetzbuch (BGB), Beck-Texte im dtv (2013) Verlag Beck, München
- [14] Gesetz über Ordnungswidrigkeiten (OWiG) vom 19.02.1987 (BGBl. I S. 602)
- [15] Neunte Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Maschinenverordnung) (9. ProdSV) vom 12.05.1993 (BGBl. I S. 704)
- [16] Gesetz über die Bereitstellung von Produkten auf dem Markt (Produktsicherheitsgesetz – ProdSG) vom 06.01.2004 (BGBl. I S. 2)
- [17] BGFE: Service-Info: Gefährdungsbeurteilung, Gefährdungen und Belastungen am Arbeitsplatz
- [18] Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV) vom 26.11.2010 (BGBl. I S. 1643)
- [19] Verordnung zur Neuregelung der Anforderungen an den Arbeitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln und Gefahrstoffen – *Artikel 1:* Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln (Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV) vom 03.02.2015 (BGBl. I S. 49)
- [20] DIN-Taschenbuch 351 (2002) Dokumentationswesen, Beuth-Verlag, Berlin et al
- [21] DIN EN 82045-1 (IEC 82045-1), Dokumentenmanagement, Teil 1: Prinzipien und Methoden

- [22] Weber K H (2008) Dokumentation verfahrenstechnischer Anlagen. Praxishandbuch mit Checklisten und Beispielen, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
- [23] Schneppe T, Müller R H (2003) Qualitätsmanagement und Validierung in der pharmazeutischen Praxis, Editio Cantor Verlag, Aulendorf
- [24] WHO-World Health Organisation, WHO/PHARM/93.562/rev.1, Good Manufacturing Practices for Pharmaceutical Products, Annex: Guidelines on the Validation of Manufacturing Processes, Genf, 1993
- [25] Richtlinie 91/356/EWG der Kommission vom 13. Juni 1991 zur Festlegung der Grundsätze und Leitlinien der Guten Herstellungspraxis für die Anwendung beim Menschen bestimmte Arzneimittel
- [26] ISPE Baseline Pharmaceutical Engineering Guides for New and Renovated Facilities, Vol. 6: Commissioning and Qualification

## 2 Projektvorbereitung und Grundlagenermittlung

### 2.1 Vorbemerkungen

Jedem Projektstart geht eine mehr oder weniger umfangreiche Projektvorbereitung voraus. Da sie dem Projektstart zeitlich vorgelagert ist, wird sie nicht als Bestandteil des Anlagen-Phasenmodells verstanden.

Ausgehend von der eigenen Unternehmensstrategie analysiert der spätere Investor während der Projektvorbereitung insbesondere die Markt- und Finanzsituation. Kann er dies nicht selbst, muss er externen Sachverstand einkaufen.

Anschließend prüft er grundsätzlich, inwieweit eine angedachte Anlageninvestition für ihn zweckmäßig erscheint. Wenn ja, leitet er die nächsten Schritte zur Projektabwicklung ein. Dabei können, abhängig von der spezifischen Situation, die Projektvorbereitung sowie die sich anschließenden Phase 1 (Grundlagenermittlung) und Phase 2 (Vorplanung) sehr unterschiedlich verlaufen.

Die folgenden beiden Beispiele, die zwei Grenzfälle beschreiben, sollen diese Aussage belegen. Die Abb. 2.1 dient dabei zur Veranschaulichung.

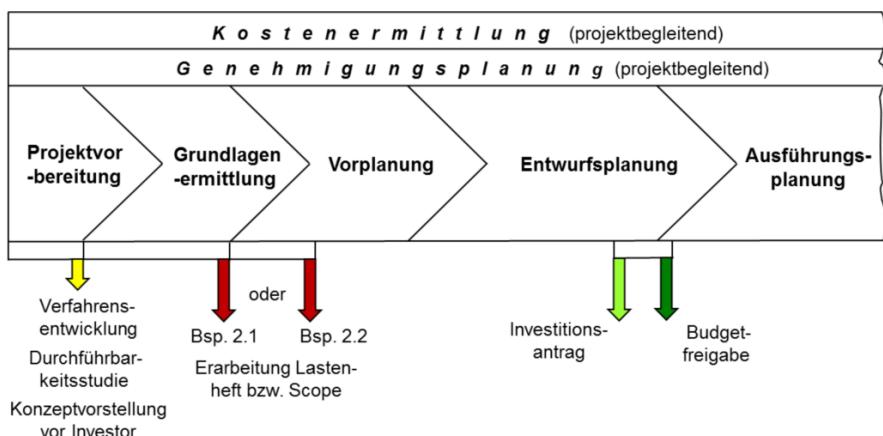


Abb. 2.1 Varianten der Projektvorbereitung, Grundlagenermittlung und Vorplanung

**Beispiel 2.1 Kurzgefasstes Lastenheft und umfangreiche Vorplanung in einem „offenen Projekt“**

Ein Fondmanager, der bisher ausschließlich am Finanzmarkt tätig war, erwägt auf Grund der Marktsituation ein Anlagen-Investment, z. B. in eine Düngemittel-

*anlage, zu tigen. Da er selbst nicht über ausreichende Fachkenntnisse verfügt, beauftragt er eine international tige Beratungsfirma mit notwendigen vorbereitenden Arbeiten. Im Ergebnis der Untersuchungen, die ggf. als Durchführbarkeitstudie vereinbart sind, soll der Fondmanager in die Lage versetzt werden, sich für oder gegen das Projekt zu entscheiden.*

*In diesem Beispiel wird die Projektvorbereitung relativ ausführlich sein, sich aber vorrangig auf grundlegende, wirtschaftliche Einflussfaktoren und Studienergebnisse beschren. Nähere fachliche Angaben zum Verfahren oder zur Anlagengestaltung fehlen. Da das Projekt von Anfang an wenig determiniert ist, spricht man von „offenen Projekten“.*

*Entsprechend diesem Sachverhalt wird sich die Grundlagenermittlung inkl. Lastenheft auf Basisvorgaben konzentrieren und wenig bzw. keine Lösungsvorschläge vorgeben. Das Lastenheft wird, wie mit dem Pfeil zu Bsp. 2.1 in Abb. 2.1 dargestellt, am Ende der Phase 1 fertig und vergleichsweise kurzgefasst sein.*

*Andererseits wird in diesem Projektbeispiel die Phase 2 (Vorplanung), die auf Grundlage des Lastenheftes ausgeführt wird, sehr ausgeprigt sein.*

### ***Beispiel 2.2 Umfangreiches, lösungsorientiertes Lastenheft und weniger Vorplanung in einem „determinierten Projekt“***

*Ein Unternehmen betreibt in Deutschland erfolgreich eine Chemieanlage, kann aber den wachsenden Bedarf an dem gewünschten Chemieprodukt bei Weitem nicht abdecken. Ausgehend von dieser Marktsituation entschließt sich das Unternehmen, eine zweite Anlage zu errichten. Aus Zeit- und Kostengrunden soll die bestehende Anlage möglichst dupliziert werden, wobei aber ein ausländischer Standort vorgesehen ist.*

*Da gemf der konkreten Situation *a priori* die wesentlichen Entwurfsdaten und Rahmenbedingungen feststehen, gibt es für dieses Projekt keine offizielle Vorstudie. Man beginnt sofort mit der Grundlagenermittlung und klärt in diesem Zusammenhang die offenen Fragen zur Projektvorbereitung mit.*

*Zugleich wird unter diesen Bedingungen die Phase 2 (Vorplanung) kurz sein, da der Gesamtentwurf (Verfahren und Anlage) weitgehend gemf der bestehenden Anlage vorgegeben ist. Die Variantenbetrachtungen in Phase 2 werden sich auf standortspezifische Einflussfaktoren und deren projektbezogene Auswirkungen konzentrieren. Im Lastenheft für das neue Projekt können viele Arbeitsergebnisse, die sonst erst in der Phase 2 erarbeitet werden, von Anfang an dargestellt werden.*

*Man spricht in diesem Fall von einem „determinierten Projekt“.*

*In Abb. 2.1 symbolisiert der Pfeil zu Bsp. 2.2 diesen Sachverhalt. Seine Anordnung in der Phase 2 drückt aus, dass im Lastenheft bereits zahlreiche, typische Ergebnisse der Phase 2 enthalten sind.*

*Nichtsdestotrotz sollte man auch bei diesem Projektbeispiel den Änderungsbedarf, der sich durch den ausländischen Standort ergibt, nicht unterschätzen. Wie in Abb. 2.1 veranschaulicht, ist deshalb auch in diesem Projektbeispiel noch ein „Stück“ Vorplanung zu erledigen.*

*Die Situation der meisten Anlagenprojekte liegt zwischen den beschriebenen Extremen gemf Beispiel 2.1 und 2.2. Das heißt, im Lastenheft sind schon gewisse*

Lösungsvorschläge zur Verfahrens- und/oder Anlagengestaltung gemacht, zugleich gibt es aber auch noch viele offen Fragen und Freiheitsgrade für die Phase der Vorplanung.

Aus didaktischen Gründen wird den weiteren fachlichen Ausführungen, insbesondere in Kapitel 2, ein Anlagenprojekt mit einer sehr ausgeprägten Vorplanungsphase gemäß dem Beispiel 2.1 zu Grunde gelegt. Aus Sicht des Autors sind unter diesen Bedingungen die gestellten Anforderungen an das Engineering besonders hoch. Außerdem kann damit die Variantenvielfalt, die beim Engineering zu betrachten und erfolgreich zu bewältigen ist, gut verdeutlicht werden.

Im Weiteren sollen zwei typische und grundlegende Aufgaben der Projektvorbereitung kurz betrachtet werden.

## 2.2 Verfahrensentwicklung und Durchführbarkeitsstudie

### a) Verfahrensentwicklung (process development)

Das **Verfahren** und das zugehörige Know-how, welches in einer verfahrenstechnischen Anlage genutzt wird, beeinflussen sehr entscheidend deren Gestaltung, Betriebsführung und Wirtschaftlichkeit (s. auch Abschn. 3.3.1).

In vielen Branchen (z.B. Chemie, Pharmazie, Kunststoff, Energie, Ver-/Entsorgung, Umwelt) gibt es ein *Hauptverfahren* (Basisverfahren, Hauptprozess), das für die Gesamtanlage prägend ist. Man spricht dann auch von der sog. *Prozessanlage* bzw. dem *Prozessteil der Gesamtanlage*, in der bzw. in dem das Hauptverfahren realisiert ist. Nicht selten handelt es sich dabei um ein *chemisches Verfahren*.

Entsprechend dieser zentralen Bedeutung ist es für den Investitionserfolg wichtig, welches Hauptverfahren angewandt wird und wer die Nutzungsrechte (inkl. Schutzrechte) sowie das Verfahrens-Know-how zu diesem Hauptverfahren besitzt. In manchen Projekten, insbesondere in der Chemie und Pharmazie, ist der Investor/Auftraggeber selbst Verfahrensträger, in anderen Branchen, z.B. in der Kraftwerks-, Raffinerie- und Umwelttechnik, ist oftmals der Generalplaner bzw. Generalunternehmer der Verfahrensträger.

Um einen Wettbewerbsvorteil durch ein neues, vorteilhaftes und eigenes Verfahren (ggf. auch neues Zielprodukt) zu erlangen, führen die Industriepartner, z.T. in Kooperation mit externen Forschungseinrichtungen, eigene Verfahrensentwicklungen durch. Die prinzipielle Vorgehensweise ist aus Abb. 2.2 ersichtlich.

Die Arbeiten finden i.d.R. zunächst im Labormaßstab (Forschung) und anschließend im Technikums- und/oder im Pilotmaßstab statt. Das fachliche Ziel der **Verfahrensentwicklung** (process development) ist die Erarbeitung von Verfahrensunterlagen, die als Grundlage für die Planung (Engineering) einer großtechnischen Anlage nach diesen Verfahren geeignet sind. Die Unterlagen müssen vor allem eine Maßstabsübertragung (scale-up) für eine kunden- und standortspezifische Großanlage zuverlässig ermöglichen.

Die Ergebnisse der Verfahrensentwicklung sollten neu, innovativ und patentfähig sein (s. Abschn. 3.7). Sie werden in einer sog. *Know-how-Dokumentation* zusammengestellt.

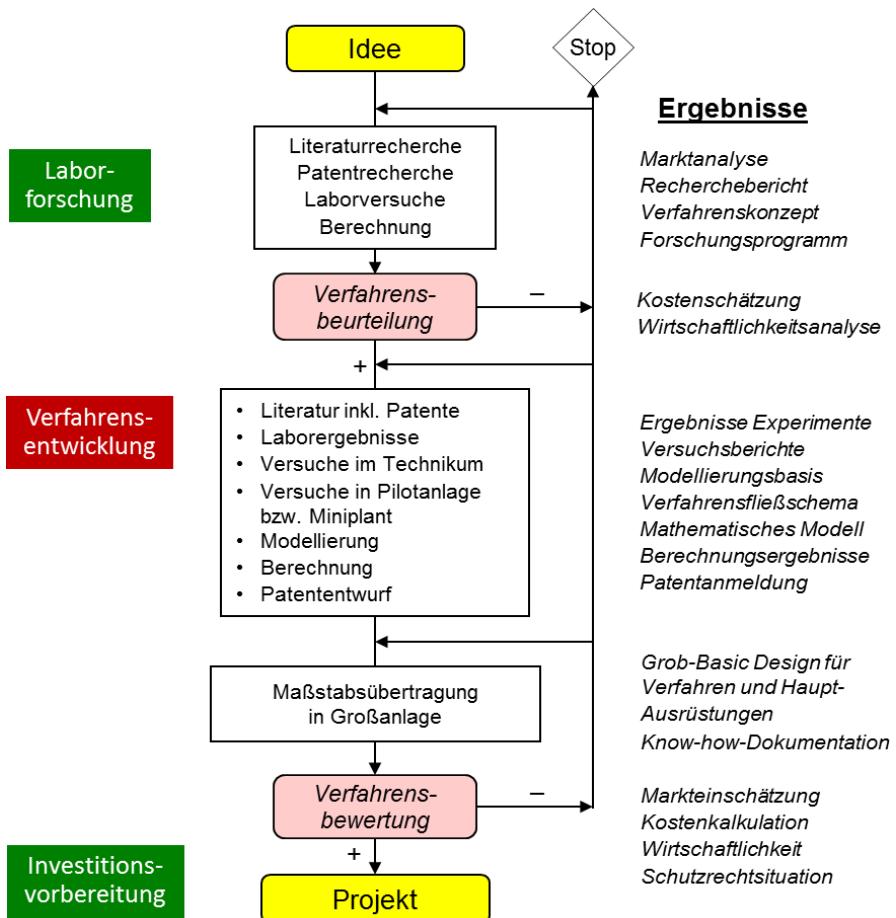


Abb. 2.2 Ablaufschema (Workflow) zur Verfahrensentwicklung

### b) Durchführbarkeitsstudie (Feasibility Study)

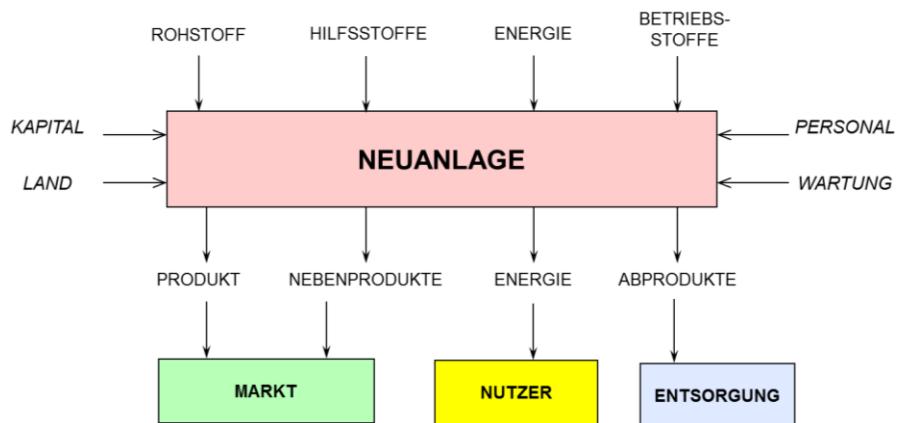
Die **Durchführbarkeitsstudie** (Machbarkeitsstudie) ist eine dem Projekt vorausgehende Analyse und Bewertung, ob ein bestimmtes Projekt

- überhaupt durchführbar,
- technisch machbar,
- wirtschaftlich lohnend,
- finanziell realisierbar

ist.

Die Komplexität dieser Betrachtungen zeigt Abb. 2.3, in der die wichtigsten Einflussfaktoren, die auf die zu planende Anlage wirken, zusammengestellt sind.

Zugleich sind im Erfolgsfall die grundlegenden Zielstellungen und Rahmenbedingungen des Projektes (z. B. Leistungs- und Anlagenumfang, Termine und Meilensteine, Budget, Basisdaten zu Verfahren und Technik) zu ermitteln.

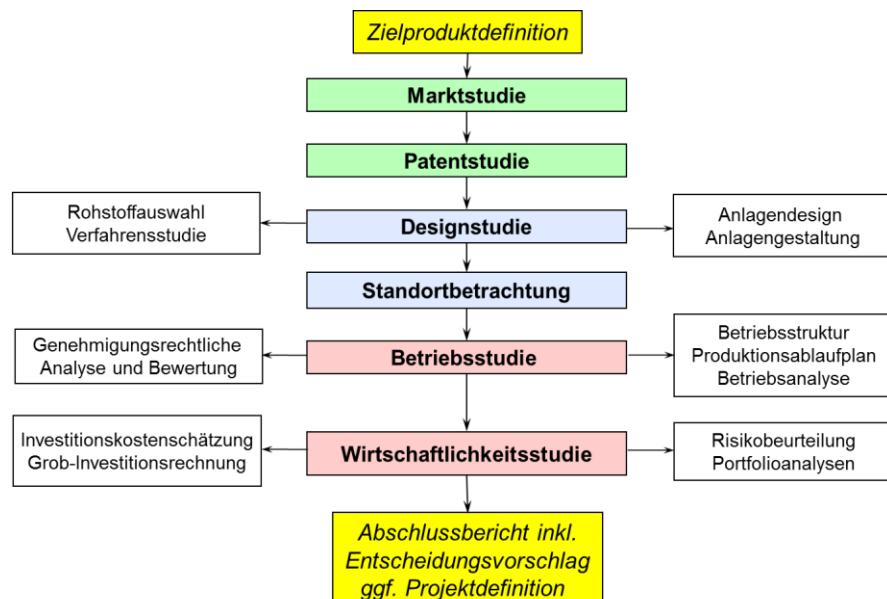


**Abb. 2.3** Übersicht zum In- und Output einer zu planenden Neuanlage

Die Ergebnisse der Durchführbarkeitstudie werden in einem Abschlussbericht zusammengestellt und fließen später in das Lastenheft ein.

Der zukünftige Investor sollte die Erarbeitung der Durchführbarkeitsstudie verantwortlich leiten und sich mit seinem Vorstellungen und Wissen in die Teamarbeit fachlich einbringen. Nur so ist gewährleistet, dass er die Ergebnisse kritisch beurteilen und über das betrachtete Projekt sachkundig entscheiden kann.

Die Mitwirkung weiterer Spezialisten, sei es aus eigenen Fachabteilungen oder von externen Dienstleistern, ist i. Allg. notwendig und zweckmäßig.



**Abb. 2.4** Vorgehensweise bei der Erarbeitung einer Durchführbarkeitsstudie

Der in Abb. 2.4 dargestellte Ablauf gilt für eine ausführliche, ganzheitliche Vorstudie, wie sie für das Beispiel 2.1 in Abschnitt 2.1 denkbar wäre.

Ausgangspunkt ist i.d.R. eine Zielproduktidee sowie eine nachfolgende Analyse der Einsatz- und Vermarktungsmöglichkeiten dieses Produktes (*Marktstudie*). Die Vorteile gegenüber bereits existierenden Alternativprodukten sind zu identifizieren und zu bewerten. Im Ergebnis sind das Zielprodukt zu spezifizieren und die Anlagenkapazität festzulegen.

Danach gilt es in der sog. *Designstudie* zu untersuchen, welche Herstellungsverfahren für dieses Produkt bekannt sind und welche Schutzrechte existieren. Im Ergebnis kann u. U. bereits über eine mögliche Lizenznahme bzw. über eine eigene Verfahrensentwicklung nachgedacht und entschieden werden.

Die Designstudie beinhaltet auch grundsätzliche Untersuchungen zur Anlagengestaltung, wie z. B. Freiluft- oder Inhouseanlage, Alternativen zum Erreichen der GSU-Anforderungen, zweckmäßiger Automatisierungsgrad. Häufig erfolgt dies in Verbindung mit möglichen Standortalternativen.

Der Standort einer Anlage hat großen Einfluss auf die Investitions- und Betriebskosten und damit auf ihre Wirtschaftlichkeit. Mit der Standortentscheidung werden für den normativen Nutzungszeitraum der Anlage maßgebliche Rahmenbedingungen fixiert. Sie ist aus diesem Grund eine Managemententscheidung auf höchster Unternehmensebene.

Man unterscheidet grundsätzlich zwischen den *Makro-Standort* und den *Mikro-Standort*.

Der *Makro-Standort* besagt,

- in welcher Wirtschaftsregion,
- in welchem Land dieser Wirtschaftsregion,
- in der Nähe welchen Ortes dieses Landes und
- auf welchen Territorium (z. B. Werksgelände) in der Nähe dieses Ortes

die Anlage errichtet und betrieben werden soll. Wenn einfach von Standort gesprochen wird, ist nicht selten der Makro-Standort gemeint.

Der *Mikro-Standort* legt demgegenüber fest, auf welchem Grundstück des Makro-Standortes die Anlage gebaut wird. Man spricht mitunter auch vom *Aufstellungsort*.

Wesentliche Kriterien bei der Standortwahl (Makro- und Mikro) sind:

- Unternehmensstrategie und abgeleitete Projektziele,
- Marktsituation (Vermarktungsmöglichkeiten, Nähe zu Kunden, Servicepartner, Zulieferer, Trends und Perspektiven),
- Finanzielle Bedingungen (Währungssituation, Steuern, Zölle, Darlehensbedingungen, Förderungsmöglichkeiten),
- Rohstoffsituation (Menge, Qualität, Versorgungssicherheit, Kosten),
- Versorgung mit Energien, Medien und Hilfsstoffen (Menge, Qualität, Versorgungssicherheit, Kosten),
- Verwertung von Nebenprodukten bzw. Energien sowie Entsorgung von Abprodukten,

- Arbeitskräftesituation (Arbeitskosten, Verfügbarkeit, Qualifikation, Sicherheits- und Qualitätsbewusstsein, Mentalität, Arbeitszeitregelung,),
- Rechtliche Situation (Anforderungen bzgl. Gesundheit-Sicherheit-Umweltschutz, Bau- und Betriebsvorschriften, Regeln zum Stand der Technik, kommunale Beding, Feuerwehr),
- Genehmigungsfähigkeit/-einschätzung sowie behördliche Situation (Genehmigungsbehörden, kommunale Bedingungen, Öffentlichkeitsinteresse, Feuerwehr)
- Bauland (Verfügbarkeit, Geologie, Bodenbeschaffenheit, Preise, Akzeptanz, im Umfeld, Erweiterungsmöglichkeiten),
- Klima (Lufttemperatur/-feuchte, Windstärke/-richtung, Witterungsunbilden Hitze, Kälte, Sturm, Gewitter, Starkregen, Hochwasser, Hagel, Erdbeben),
- Infrastruktur und Logistik (Verkehrs- und Transportwege, Lager- und Umschlagmöglichkeiten, Kommunikationsmöglichkeiten,
- Soziale Situation (Arbeits-/Wohnbedingungen, Lebenshaltungskosten, Gesundheitsbetreuung, Kinderbetreuung, Schulen, Kultur-/Sporthinrichtungen).

Wie gravierend Standortfaktoren von Einfluss sind, belegt das Beispiel in Abb. 2.5 aus einer Anlage nach einem Erdbeben.



**Abb. 2.5** Schäden an Stahl- und Stahlbeton-Bauwerk einer Anlage nach einem Erdbeben

Man unterscheidet generell in „quantitative“ und „qualitative“ bzw. in „harte“ und „weiche“ Standortfaktoren.

Schwerpunkt in der *Betriebsstudie* ist die Beurteilung der Genehmigungssituation bzw. Genehmigungsfähigkeit für die konzipierte Neuanlage, gegebenenfalls für alternative Standorte. Erfahrungsgemäß sind nahezu alle verfahrenstechni-

schen Anlagen genehmigungspflichtig. Die dafür notwendigen Zeit- und Kostenaufwendungen können gravierend sein.

Mitunter kann die Dauer des Genehmigungsverfahrens, inkl. der gerichtlichen Behandlung von Klagen gegen den behördlichen Genehmigungsbescheid, den Projektverlauf gravierend verzögern; bis hin zu Projektunterbrechungen mit Abzug der Projektbearbeiter (s. Abschn. 5.2).

In der Betriebsstudie werden auch die Anforderungen an das betriebliche Management sowie an das Operator- und Servicepersonal, die letztlich für eine erfolgreiche Anlagenbewirtschaftung notwendig sind, erfasst und analysiert.

Die *Wirtschaftlichkeitsstudie* beinhaltet die Grobkalkulation der Investitionskosten, die Berechnung Betriebskosten und Erlöse sowie letztlich die darauf basierenden Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnungen.

Letztlich sind die Ergebnisse der Durchführbarkeitstudie in geeigneter Art und Weise für den Entscheidungsträger aufzubereiten und zu dokumentieren. Tabelle 2.1 unterbreitet an einem praktischen Beispiel die mögliche Gliederung eines solchen Abschlussberichts.

**Tabelle 2.1** Gliederung des Abschlussberichts einer Durchführbarkeitsstudie  
(Praxisbeispiel)

---

**1 Projektziele**

- 1.1 Beschreibung des IST-Stands
  - 1.2 Projektziele und Projektbegründung
  - 1.3 Entwurfsdaten (Basis Design)
  - 1.4 Vorgaben für Verfahren und Technik
  - 1.5 Mögliche Alternativen
- 

**2 Verfahrens- und Anlagenkonzept**

- 2.1 Grobverfahrensbeschreibung mit Blockfließbild
  - 2.2 Fachspezifische Aufgabenschwerpunkte
  - 2.3 Einschätzung Schutzrechtssituation
  - 2.4 Stand der Verfahrensentwicklung
- 

**3 Standortbetrachtungen**

- 3.1 Auswahl Makro-Standort
  - 3.2 Auswahl Mikro-Standort
  - 3.3 Randbedingungen für Layout-Planung
  - 3.4 Alternativen zu Makro-/Mikro-Standort
- 

**4 Projektorganisation, Kosten und Termine**

- 4.1 Vorschlag zur Projektorganisation
  - 4.2 Investitionskosten- und Betriebskostenschätzung
  - 4.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen
  - 4.4 Projekt-Grobterminplan mit Meilensteinen
- 

**Anhang**

- Anhang 1 Blockfließbild
  - Anhang 2 Lageplan und Aufstellungskonzept
  - Anhang 3 Vorschlag für Projekt-Organigramm
  - Anhang 4 Projekt-Grobterminplan
-

## 2.3 Planungsrelevante Rechtsvorschriften der EU und BRD

Rechtsvorschriften, die beim Engineering einzuhalten sind, stellen eine wesentliche Basis für die Projektabwicklung dar. In diesem Sinne, ist die Identifizierung, Analyse und Dokumentation projekte relevanter Rechtsvorschriften ein wichtiger Teil der Grundlagenermittlung.

Dies gilt umso mehr, da der Umfang an zu beachtender Rechtsvorschriften, auch in Wirtschaftsregionen außerhalb von Deutschland und Europa, immer größer wird.

Im vorliegenden Buch wird nur das europäische und deutsche Recht betrachtet. Spezielle Erweiterungen werden nur bei Einzelbetrachtungen vorgenommen.

Für die Anlagen-Projektabwicklung, wie auch für das tägliche Leben, werden Rechtsvorschriften und Normen, die auf der europäischen Ebene erlassen werden, immer bedeutsamer. Das Europarecht soll insbesondere einheitliche europäische Regelungen und Standards schaffen sowie einer effizienten Arbeitsteilung und eines reibungsarmen Warenaustauschs im europäischen Wirtschaftsraum dienen.

Viele dieser Rechtsvorschriften sind vom Tag ihres Inkrafttretens für alle Mitgliedsstaaten verbindlich und somit unmittelbare Arbeitsgrundlage. Bekanntes Beispiel dafür ist die Maschinenrichtlinie [1], die als europäische Rechtsvorschrift auch heute noch als praktische Arbeitsunterlage dient, obwohl sie seit langem mit der Maschinenverordnung (9. ProdsV) [2] in deutsches Recht überführt wurde.

Wenn im Weiteren von *relevanten Rechtsvorschriften der EU und BRD* geschrieben wird, so bezieht sich diese Aussage auf Anforderungen, die für die Anlagen-Projektabwicklung und insbesondere für den Engineeringprozess wichtig sind.

### 2.3.1 Relevante Rechtsvorschriften der EU

#### 2.3.1.1 Übersicht zum fachspezifischen Recht der EU

Das Europarecht ist überstaatliches Recht auf europäischer Ebene. Es hat Vorrang vor den Rechtsvorschriften einzelner Mitgliedsstaaten.

Man unterscheidet grundsätzlich zwischen *Primärrecht* und *Sekundärrecht*. Das Primärrecht bzw. Ursprungsrecht besteht vorrangig aus den Verträgen und sonstigen Vereinbarungen. Es betrifft grundlegende Regelungen und wird zwischen den Regierungen der Mitgliedsstaaten ausgehandelt. Anschließend muss es in Form von Verträgen von den nationalen Parlamenten ratifiziert werden.

Das Sekundärrecht ist ein vom Primärrecht abgeleitetes Recht und dient der Umsetzung vertraglicher Regelungen in die Praxis. Es wird mit Hilfe unterschiedlicher Verfahren, die nachfolgend kurz dargestellt sind, umgesetzt.

**EU-Richtlinien** formulieren Ziele und ggf. Maßnahmen sowie Fristen für deren Umsetzung. Die Mitgliedsstaaten entscheiden selbstständig über die Mittel, mit denen diese Ziele erreicht werden sollen. Richtlinien müssen innerhalb der angeführten Fristen in nationales Recht überführt werden.

**EU-Verordnungen** sind unmittelbar gültig und in allen EU-Mitgliedsstaaten rechtlich verbindlich, ohne dass es einer Umsetzung in nationales Recht bedarf.

**Entscheidungen** und **Beschlüsse** sind für die Empfänger rechtlich verbindlich und bedürfen keiner Umsetzung in nationales Recht. Sie können an Mitgliedsstaaten, Unternehmen und Einzelpersonen gerichtet sein.

**Empfehlungen** und **Stellungnahmen** sind unverbindlich. Sie gelten als Ratschläge, werden aber vom jeweiligen Adressaten fast immer umgesetzt.

Um die wirtschaftlichen, umweltrechtlichen, sozialen u. a. Rahmenbedingungen innerhalb der Europäischen Union (EU) zu vereinheitlichen, werden für das Fachgebiet Produkt- und Anlagenwirtschaft insbesondere *EU-Richtlinien*, seltener auch *EU-Verordnungen* erlassen.

Für die Anlagenplanung sind von beiden vor allem die EU-Richtlinien bedeutsam. Man kann sich vereinfachend als Hilfe merken:

*Rechtsvorschriften, die das Wort „Richtlinie“ enthalten, sind i. Allg. auf der EU-Ebene erlassen worden und somit für die Staaten und Unternehmen der europäischen Union verbindlich.*

Grundsätzlich ist festzustellen, dass sich die meisten EU-Richtlinien vorrangig auf das Inverkehrbringen von Produkten beziehen. Den Warenaustausch innerhalb der EU zu vereinfachen, war und ist deren primäres Ziel. Verfahrenstechnische Anlagen waren davon zunächst weniger betroffen. Aber die Situation ändert sich.

Einige der produktbezogenen EU-Richtlinien sind inzwischen auch für Anlagen relevant, sofern es sich z.B. um eine *verkettete Maschine* [1] oder ein *verkettetes Druckgerät* [3] handelt (s. auch Abschn. 8.3). Ferner gibt es zunehmend EU-Richtlinien, die a priori für verfahrenstechnische Anlagen erarbeitet und erlassen wurden. Typische Beispiele sind die EU-Industrieemissionsrichtlinie [4] und die ATEX-Betriebsrichtlinie [5] (s. Abschn. 2.3.1.3).

Im Weiteren wird deshalb zwischen EU-Rechtsvorschriften, die für *Produkte* bzw. die für *Anlagen* erlassen wurden, unterschieden.

### **2.3.1.2 EU-Rechtsvorschriften für Anlagenkomponenten und Stoffe**

#### **a) Maschinen-Richtlinie (MRL) [1]**

- In Artikel 1 (Anwendungsbereich) steht:

- (1) Diese Richtlinie gilt für die folgenden Erzeugnisse:
  - Maschinen;
  - auswechselbare Ausrüstungen;
  - Sicherheitsbauteile;
  - Lastaufnahmemittel;
  - Ketten, Seile und Gurte;
  - abnehmbare Gelenkwellen;
  - unvollständige Maschinen.

In den nachfolgenden Ausführungen zur MRL werden, wegen des großen Umfangs, nur wenige Aussagen zu den Buchst. a) (Maschinen) und g) (unvollständige Maschinen) angeführt.

- Die MRL regelt das **Inverkehrbringen** von **Maschinen** innerhalb des europäischen Wirtschaftsraumes (EWR) sowie der Schweiz und der Türkei.  
Vier wichtige Begriffe sind in der MRL, Artikel 2 (Begriffsbestimmungen) wie folgt definiert:

**„Maschine“** eine mit einem anderen *Antriebssystem* als der unmittelbar eingesetzten menschlichen oder tierischen Kraft ausgestattete oder dafür vorgesehene *Gesamtheit miteinander verbundener Teile* oder Vorrichtungen, von denen *mindestens eines beweglich* ist und die für eine bestimmte Anwendung zusammengefügt sind.  
(Wesensmerkmale kursiv hervorgehoben)

**„Unvollständige Maschine“** ist eine Gesamtheit, die fast eine Maschine bildet, für sich genommen aber keine bestimmte Funktion erfüllt.

Ein Antriebssystem stellt eine unvollständige Maschine dar.

Eine unvollständige Maschine ist nur dazu bestimmt, in andere Maschinen oder in andere unvollständige Maschinen oder Ausrüstungen eingebaut oder mit ihnen zusammengefügt zu werden, um zusammen mit ihnen eine Maschine im Sinne dieser Richtlinie zu bilden.

**„Inverkehrbringen“** die entgeltliche oder unentgeltliche erstmalige Bereitstellung einer Maschine oder einer unvollständigen Maschine in der Gemeinschaft (d. Verf.: EU) im Hinblick auf ihren Vertrieb oder ihre Benutzung.

**„Inbetriebnahme“** die erstmalige bestimmungsgemäße Verwendung einer von dieser Richtlinie erfassten Maschinen in der Gemeinschaft.

Bem.: In Anhang I, Ziff. 1.1.1 wird unter „bestimmungsgemäßer Verwendung“ die Verwendung einer Maschine entsprechend den Angaben in der Betriebsanleitung verstanden.

- Außer des angeführten Maschinenbegriffs sind in der MRL noch weitere spezielle Ausrüstungen bzw. Vorrichtungen genannt, die auch als „Maschine im Sinne der MRL“ zu verstehen sind und den Regelungen der MRL unterliegen. Dazu gehört auch der Begriff „*Gesamtheit von Maschinen*“, der für die Frage bedeutend ist, ob verfahrenstechnische Anlagen von der MRL betroffen sind und eine Konformitätserklärung benötigen (s. Abschn. 8.3).
- In Artikel 5 (Inverkehrbringen und Inbetriebnahme) der MRL steht als Voraussetzung für das Inverkehrbringen/der Inbetriebnahme einer Maschine u.a.:
  - Der Hersteller oder sein Bevollmächtigter muss vor dem Inverkehrbringen und/oder der Inbetriebnahme einer Maschine
    - sicherstellen, dass die Maschine die in Anhang 1 aufgeführten, für sie geltenden grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen erfüllt;
    - sicherstellen, dass die in Anhang VII Teil A genannten technischen Unterlagen verfügbar sind;
    - insbesondere die erforderlichen Informationen, wie die Betriebsanleitung, zur Verfügung stellen;
    - die zutreffenden Konformitätsbewertungsverfahren gemäß Artikel 12 durchführen;
    - die EG-Konformitätserklärung gemäß Anhang II Teil 1 Abschnitt A ausstellen und sicherstellen, dass sie der Maschine beiliegen;

- f) die CE-Kennzeichnung gemäß Artikel 16 anbringen.
- (2) Vor dem Inverkehrbringen einer unvollständigen Maschine stellen der Hersteller oder sein Bevollmächtigter sicher, dass das in Artikel 13 genannte Verfahren (d. Verf.: Verfahren für unvollständige Maschinen) abgeschlossen worden ist.
- Die in Abs.(1), Buchst. a) gemachte Auflage ist im Anhang I (*Grundlegende Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen für Konstruktion und Bau von Maschinen*) sehr umfangreich und detailliert unterstellt.  
Sie stellen für das Basic Engineering und insbesondere für das Detail Engineering der Maschinen eine wichtige Handlungsanleitung dar.
  - Wie in Abs. (1), Buchst. d) zitiert, fordert die MRL vom Hersteller oder seinem Bevollmächtigten, dass vor Inverkehrbringen und/oder der Inbetriebnahme der Maschine ein *Konformitätsbewertungsverfahren durchzuführen ist*.  
In diesem Verfahren sind u.a. eine **Risikobeurteilung** durchzuführen und nachzuweisen, dass die Maschine den Bestimmungen der MRL entspricht.
    - Im Ergebnis des Konformitätsbewertungsverfahrens ist für die Maschine u.a. eine EG-Konformitätserklärung auszustellen (s. Tab. 2.2) und an der Maschine ein CE-Kennzeichen anzubringen.

**Tabelle 2.2** Inhalt der Konformitätserklärung nach MRL, Anhang II

---

Die EG-Konformitätserklärung muss folgende Angaben enthalten:

1. Firmenbezeichnung und vollständige Anschrift des Herstellers und gegebenenfalls seines Bevollmächtigten;
  2. Name und Anschrift der Person, die bevollmächtigt ist, die technischen Unterlagen zusammenzustellen; diese Person muss in der Gemeinschaft ansässig sein;
  3. Beschreibung und Identifizierung der Maschine einschließlich allgemeiner Bezeichnung, Funktion, Modell, Typ, Seriennummer und Handelsbezeichnung;
  4. einen Satz, in dem ausdrücklich erklärt wird, dass die Maschine allen einschlägigen Bestimmungen dieser Richtlinie entspricht, und gegebenenfalls einen ähnlichen Satz, in dem die Übereinstimmung mit anderen Richtlinien und/oder einschlägigen Bestimmungen, in denen die Maschine entspricht, erklärt wird. Anzugeben sind die Referenzen laut Veröffentlichung im Amtsblatt der Europäischen Union;
  5. gegebenenfalls Name, Anschrift und Kennnummer der benannten Stelle, die das in Anhang IX genannte EG-Baumusterprüfverfahren durchgeführt hat, sowie die Nummer der EG-Baumusterprüfbescheinigung;
  6. gegebenenfalls Name, Anschrift und Kennnummer der benannten Stelle, die das in Anhang X genannte umfassende Qualitätssicherungssystem genehmigt hat;
  7. gegebenenfalls die Fundstellen der angewandten harmonisierten Normen nach Artikel 7 Absatz 2;
  8. gegebenenfalls die Fundstellen der angewandten sonstigen technischen Normen und Spezifikationen;
  9. Ort und Datum der Erklärung;
  10. Angaben zur Person, die zur Ausstellung dieser Erklärung im Namen des Herstellers oder seines Bevollmächtigten bevollmächtigt ist, sowie Unterschrift dieser Person.
-

- Im Normalfall muss der Maschinenhersteller bzw. -lieferant, sofern er eine vollständige Maschine gemäß MRL in Verkehr bringt, das Konformitätsbewertungsverfahren durchführen, die EG-Konformitätserklärungen ausstellen und als Teil der technischen Dokumentation an den Besteller übergeben.
  - Betrifft die Bestellung nur eine *unvollständige Maschine*, so muss der Hersteller bzw. Lieferant auch eine Risikobeurteilung durchführen aber kein Konformitätsbewertungsverfahren. Die Einhaltung der Anforderungen an unvollständige Maschinen, die in der MRL angeführt sind, muss er in Form einer *Einbauerklärung* bestätigen.
  - Der Besteller bzw. Betreiber, der später aus der *unvollständigen Maschine* zusammen mit anderen Komponenten eine (vollständige) *Maschine gemäß der Definition MRL* konfiguriert, muss vor Inverkehrbringen dieser vollständigen Maschine ein Konformitätsbewertungsverfahren durchführen, die EG-Konformitätserklärung ausstellen und das CE-Kennzeichen anbringen.  
Das heißt, der Besteller bzw. Betreiber bringt in einem solchen Fall die Maschine gemäß MRL in Verkehr. Darauf ist er aber häufig personell und organisatorisch nicht eingestellt.
  - Um diese Schnittstelle zwischen Hersteller und Montage zu vereinfachen, sollten die Beschaffungsvorgänge derart gestaltet werden, dass möglichst immer eine vollständige Maschine „aus einer Hand“ eingekauft wird. Damit erhält der Besteller zusammen mit der Maschine vom Hersteller/Lieferant eine zum Produkt (Maschine) zugehörige EU-Konformitätserklärung.
  - Damit dieser Fakt „Lieferung einer Konformitätserklärung durch Hersteller/ bzw. Lieferanten“ zwischen den beteiligten Partnern eindeutig ist, sollte in der kaufmännischen Bestellung für die Maschine auch die Mitlieferung einer Konformitätserklärung vereinbart werden.
  - Problematisch ist mitunter, dass die im Konformitätsbewertungsverfahren erarbeitete Risikobeurteilung nicht Teil der Hersteller- bzw. Lieferantendokumentation ist. Sie steht somit den Besteller bzw. Betreiber für dessen Folgebetrachtungen nicht zur Verfügung, kann aber auf Verlangen beim Hersteller bzw. Lieferant eingesehen werden.
- Wie in Abs. (1), Buchst. b) zitiert, fordert die MRL vom Hersteller oder seinem Bevollmächtigten, dass vor Inverkehrbringen und/oder Inbetriebnahme der Maschine die in Anhang VII Teil A genannten *Unterlagen verfügbar* sind.  
Im Einzelnen wird u.a. gefordert:
1. Die technischen Unterlagen (d. Verf.: für Maschinen) umfassen
    - a) eine technische Dokumentation mit folgenden Aufgaben bzw. Unterlagen:
      - eine allgemeine Beschreibung der Maschine,
      - eine Übersichtszeichnung der Maschine und die Schaltpläne der Steuerkreise sowie Beschreibungen und Erläuterungen, die zum Verständnis der Funktionsweise der Maschine erforderlich sind,
      - vollständige Detailzeichnungen, eventuell mit Berechnungen, Versuchsergebnissen, Bescheinigungen usw., die für die Überprüfung der Übereinstimmung der Maschine mit den grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen erforderlich sind,

- die Unterlagen über die Risikobeurteilung, aus denen hervorgeht, welches Verfahren angewandt wurde; die schließt ein:
    - i) eine Liste der grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen, die für die Maschinen gelten,
    - ii) eine Beschreibung der zur Abwendung ermittelten Gefährdungen oder Risikominderung ergriffenen Schutzmaßnahmen und gegebenenfalls eine Angabe der von der Maschine ausgehenden Restrisiken,
  - die angewandten Normen und sonstigen technischen Spezifikationen unter Angabe der von diesen Normen erfassten grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen,
  - alle technischen Berichte mit den Ergebnissen der Prüfungen, die vom Hersteller selbst oder von einer Stelle nach Wahl des Herstellers oder seines Bevollmächtigten durchgeführt wurden,
  - ein Exemplar der Betriebsanleitung der Maschine,
  - gegebenenfalls die Einbauerklärung für unvollständige Maschinen und die Montageanleitung für solche unvollständigen Maschinen,
  - gegebenenfalls eine Kopie der EG-Konformitätserklärung für in die Maschine eingebaute andere Maschinen oder Produkte,
  - eine Kopie der EG-Konformitätserklärung.
- Wie in Abs. (1), Buchst. c) zitiert, fordert die MRL vom Hersteller oder seinem Bevollmächtigten, die erforderlichen Informationen, wie die *Betriebsanleitung, zur Verfügung zu stellen*.  
Die umfangreichen Vorgaben für die Betriebsanleitung gemäß MRL enthält Tabelle 2.3.

**Tabelle 2.3** Inhalt der Betriebsanleitung nach MRL, Anhang I, Ziff. 1.7.4.2

---

Jede Betriebsanleitung muss erforderlichenfalls folgende Mindestangaben enthalten:

- a) Firmenname und vollständige Anschrift des Herstellers und seines Bevollmächtigten;
- b) Bezeichnung der Maschinen entsprechend der Angabe auf der Maschine selbst, ausgenommen die Seriennummer,
- c) die EG-Konformitätserklärung oder ein Dokument, das die EG-Konformitätserklärung inhaltlich wiedergibt und Einzelangaben der Maschine enthält, das aber nicht zwangsläufig auch die Seriennummer und die Unterschrift enthalten muss;
- d) eine allgemeine Beschreibung der Maschine;
- e) die für die Verwendung, Wartung und Instandsetzung der Maschine und zur Überprüfung ihres ordnungsgemäßen Funktionierens erforderlichen Zeichnungen, Schaltpläne, Beschreibungen und Erläuterungen;
- f) eine Beschreibung des Arbeitsplatzes bzw. der Arbeitsplätze, die voraussichtlich vom Bedienungspersonal eingenommen werden;
- g) eine Beschreibung der bestimmungsgemäßen Verwendung der Maschine;
- h) Warnhinweise in Bezug auf Fehlanwendungen der Maschine, zu denen es erfahrungsgemäß kommen kann;

**Tab. 2.3 (Fortsetzung)**

- 
- i) Anleitungen zur Montage, zum Aufbau und zum Anschluss der Maschine, einschließlich der Zeichnungen, Schaltpläne und der Befestigungen, sowie Angabe des Maschinengestells oder der Anlage, auf das bzw. in die die Maschine montiert werden soll;
- j) Installations- und Montagevorschriften zur Verminderung von Lärm und Vibration;
- k) Hinweise zur Inbetriebnahme und zum Betrieb der Maschine sowie erforderlichenfalls Hinweise zur Ausbildung bzw. Einarbeitung des Bedienungspersonals;
- l) Angaben zu Restrisiken, die trotz der Maßnahmen zur Integration der Sicherheit bei der Konstruktion, trotz der Sicherheitsvorkehrungen und trotz der ergänzenden Schutzmaßnahmen noch verbleiben;
- m) Anleitung für die vom Benutzer zu treffenden Schutzmaßnahmen, gegebenenfalls einschließlich der bereitzustellenden persönlichen Schutzausrüstung;
- n) die wesentlichen Merkmale der Werkzeuge, die an die Maschine angebracht werden können;
- o) Bedingungen, unter denen die Maschine die Anforderungen an die Standsicherheit beim Betrieb, beim Transport, bei der Montage, bei der Demontage, wenn sie außer Betrieb ist, bei Prüfungen sowie bei vorhersehbaren Störungen erfüllt;
- p) Sicherheitshinweise zum Transport, zur Handhabung und zur Lagerung, mit Angabe des Gewichts der Maschine und ihrer verschiedenen Bauteile, falls sie regelmäßig getrennt transportiert werden müssen;
- q) bei Unfällen oder Störungen erforderliches Vorgehen; falls es zu einer Blockierung kommen kann, ist in der Betriebsanleitung anzugeben, wie zum gefahrlosen Lösen der Blockierung vorzugehen ist;
- r) Beschreibung der vom Benutzer durchzuführenden Einrichtungs- und Wartungsarbeiten sowie der zu treffenden vorbeugenden Wartungsmaßnahmen;
- s) Anweisungen zum sicheren Einrichten und Warten einschließlich der dabei zu treffenden Schutzmaßnahmen;
- t) Spezifikation der zu verwendenden Ersatzteile, wenn diese sich auf die Sicherheit und Gesundheit des Bedienungspersonals auswirken;
- u) folgende Angaben zur Luftschallemission der Maschine:  
..... (diverse Angaben zu Emissionsschalldruckpegel)
- 

- Abschließend sei noch vermerkt, dass die EG-Konformitätserklärung inkl. Risikobeurteilung sowie die technische Dokumentation zur vollständigen oder unvollständigen Maschine durch das gemäß MRL verantwortliche Unternehmen 10 Jahre (nach dem letzten Tag der Herstellung der Maschine) aufzubewahren sind.
- Die MRL wurde mit der 9. ProdSV (Maschinenverordnung) [2] in deutsches Recht überführt.
- Das Detail Engineering der Maschinen inkl. der zugehörigen Hersteller- bzw. Lieferantendokumentation wird in Abschn. 7.2.2 behandelt.
- Die Frage: *Unterliegt die verfahrenstechnische Anlage auch der Maschinenrichtlinie?* wird in Abschn. 8.3 beantwortet.

**b) Druckgeräte-Richtlinie (Druckgeräte-RL bzw. DGRL) [3]**

- Die Druckgeräte-RL betrifft gemäß Artikel 1 (Geltungsbereich), Abs. (1) die Auslegung, Fertigung und Konformitätsbewertung von Druckgeräten und Baugruppen mit einem maximal zulässigen Druck (Abk.: PS) von über 0,5 bar (d. Verf.: > 0,5 barü).
- Die beiden laut Geltungsbereich betroffenen Anlagenkomponenten werden in Artikel 2 (Begriffsbestimmungen wie folgt definiert:
  1. „**Druckgerät**“ Behälter, Rohrleitungen, Ausrüstungssteile mit Sicherheitsfunktion und druckhaltende Ausrüstungssteile, gegebenenfalls einschließlich an drucktragenden Teilen angebrachte Elemente, wie z.B. Flansche, Stutzen, Kupplungen, Tragelemente, Hebeösen.
  6. „**Baugruppen**“ mehrere Druckgeräte, die von einem Hersteller zu einer zusammenhängenden funktionalen Einheit verbunden werden.

Darüber hinaus werden in Artikel 2 u.a. weitere wichtige Begriffe bestimmt:

2. „**Behälter**“ ein geschlossenes Bauteil, das zur Aufnahme von unter Druck stehenden Fluiden ausgelegt und gebaut ist, einschließlich der direkt angebrachten Teile bis hin zur Vorrichtung für den Anschluss an andere Geräte; ein Behälter kann mehrere Druckgeräte aufweisen.
3. „**Rohrleitungen**“ zur Durchleitung von Fluiden bestimmte Leitungsbauteile, die für den Einbau in ein Drucksystem miteinander verbunden sind; zu Rohrleitungen zählen insbesondere Rohre oder Rohrsysteme, Rohrformteile, Ausrüstungssteile, Ausdehnungsstücke, Schlauchleitungen oder gegebenenfalls andere drucktragende Teile; Wärmetauscher aus Rohren zum Kühlern oder Erhitzen von Luft sind Rohrleitungen gleichgestellt
4. „**Ausrüstungssteile mit Sicherheitsfunktion**“ Einrichtungen, die zum Schutz des Druckgeräts bei einem Überschreiten der zulässigen Grenzen bestimmt ist, einschließlich
  - Einrichtungen zur unmittelbaren Druckbegrenzung wie Sicherheitsventile, Berstscheibenabsicherungen, Knickstäbe, gesteuerte Sicherheitseinrichtungen (CSPRS) und
  - Begrenzungseinrichtungen, die entweder Korrekturvorrangungen auslösen oder ein Abschalten oder Abschalten und Sperren bewirken wie Druck-, Temperatur- oder Fluidniveaauausschalter sowie mess- und regeltechnische Schutzeinrichtungen (SRMCR)
7. „**Druck**“ der auf den Atmosphärendruck bezogene Druck, d.h. ein Überdruck; demnach wird ein Druck im Vakumbereich durch einen Negativwert ausgedrückt.
12. „**Fluide**“ Gase, Flüssigkeiten und Dämpfe als reine Phase sowie deren Gemische; Fluide können eine Suspension von Feststoffen enthalten.
15. „**Bereitstellung auf dem Markt**“ jede entgeltliche oder unentgeltliche Abgabe eines Druckgeräts oder einer Baugruppe zum Vertrieb, zum Verbrauch oder zur Verwendung auf dem Unionsmarkt im Rahmen einer Geschäftstätigkeit.
16. „**Inverkehrbringen**“ die erstmalige Bereitstellung eines Druckgeräts oder einer Baugruppe auf dem Unionsmarkt.

17. „**Inbetriebnahme**“ die erstmalige Verwendung eines Druckgeräts oder einer Baugruppe durch seinen oder ihren Nutzer.
18. „**Hersteller**“ jede natürliche oder juristische Person, die ein Druckgerät oder eine Baugruppe herstellt bzw. entwickeln oder herstellen lässt und dieses Druckgerät oder diese Baugruppe unter ihrem eigenen Namen oder ihrer eigenen Handelsmarke vermarktet oder für eigene Zwecke verwendet.
19. „**Bevollmächtigter**“ jede in der Union ansässige natürliche oder juristische Person, die von einem Hersteller schriftlich beauftragt wurde, in seinem Namen bestimmte Aufgaben wahrzunehmen.
20. „**Einführer**“ jede in der Union ansässige natürliche oder juristische Person, die ein Druckgerät oder eine Baugruppe aus einem Drittstaat auf dem Unionsmarkt bringt.
21. „**Händler**“ jede natürliche oder juristische Person in der Lieferkette, die ein Druckgerät oder eine Baugruppe auf dem Markt bereitstellt, mit Ausnahme des Herstellers oder des Einführers.
22. „**Wirtschaftakteure**“ Hersteller, Bevollmächtigte, Einführer und Händler.
27. „**Konformitätsbewertung**“ das Verfahren zur Bewertung, ob die wesentlichen Sicherheitsanforderungen dieser Richtlinie an ein Druckgerät oder eine Baugruppe erfüllt worden sind.
- Die Druckgeräte-RL regelt u. a. in Artikel 4 die *Technischen Anforderungen* an Druckgeräte.  
Im Anhang I der Druckgeräte-RL sind dazu *Wesentliche Sicherheitsanforderungen* und notwendige Maßnahmen angeführt, die u.a. betreffen:
    - den Entwurf des Druckgerätes (Anhang I, Ziff. 2.), inkl.
      - Auslegung auf die erforderliche Belastbarkeit
      - Vorkehrungen für die Sicherheit in Handhabung und Betrieb
      - Vorkehrungen für die Inspektion
      - Entleerungs- und Entlüftungsmöglichkeiten
      - Korrosion und andere chemische Einflüsse
      - Verschleiß
      - Baugruppen
      - Füllen und Entleeren
      - Schutz vor Überschreiten der zulässigen Grenzen des Druckgerätes
      - Ausrüstungsteile mit Sicherheitsfunktion
      - externer Brand
    - die Fertigung des Druckgerätes (Anhang I, Ziff. 3.), inkl.
      - Fertigungsverfahren
      - Abnahme (Schlussprüfung, Druckprüfung, Prüfung der Sicherheitseinrichtungen)
      - Kennzeichnung und Etikettierung
      - Betriebsanleitung
    - Werkstoffe (Anhang I, Ziff. 4)

- spezifische, zusätzliche Anforderungen für bestimmte Druckgeräte (u.a. auch für Rohrleitungen) (Anhang I, Ziff. 5 bis 7).

Beispielsweise wird für die Betriebsanleitung unter Ziff. 3.4 vorgegeben:

- a) Bei ihrer Bereitstellung auf dem Markt ist den Druckgeräten, sofern erforderlich, eine Betriebsanleitung für den Benutzer beizufügen, die alle der Sicherheit dienlichen Informationen zu folgenden Aspekten enthält:
  - Montage einschließlich Verbindung verschiedener Druckgeräte,
  - Inbetriebnahme,
  - Nutzung,
  - Wartung einschließlich Inspektion durch die Benutzer.
- b) Die Betriebsanleitung hat die gemäß Nummer 3.3 (d. Verf.: Kennzeichnung und Etikettierung) auf den Druckgerät anzubringenden Angaben mit Ausnahme der Serienkennzeichnung zu enthalten; der Betriebsanleitung sind gegebenenfalls die technischen Dokumente sowie Zeichnungen und Diagramme beigefügt, die für das richtige Verständnis dieser Anleitung erforderlich sind.
- c) Gegebenenfalls ist in die Betriebsanleitung auch auf die Risiken einer unsachgemäßen Verwendung gemäß Nummer 1.3 und auf die besonderen Merkmale des Entwurfs gemäß Nummer 2.2.3 hinzuweisen.
- In Anhang I (Grundlegende Sicherheitsanforderungen), Ziff. 3.2 (Abnahme) wird die *Abnahme des Druckgeräts* vor Inverkehrbringen wie folgt geregelt:

### 3.2. Abnahme

Druckgeräte müssen der nachfolgend beschriebenen Abnahme unterzogen werden.

#### 3.2.1 *Schlussprüfung*

Druckgeräte sind einer Schlussprüfung zu unterziehen, bei der durch Sichtprüfung und Kontrolle der zugehörigen Unterlagen zu überprüfen ist, ob die Anforderungen dieser Richtlinie erfüllt sind.

Hierbei können Prüfungen, die während der Fertigung durchgeführt worden sind, berücksichtigt werden.

Soweit von der Sicherheit her erforderlich, ist die Schlussprüfung innen und außen an allen Teilen des Gerätes, gegebenenfalls während des Fertigungsprozesses (z.B. falls Kontrolle bei der Schlussprüfung nicht mehr möglich) durchzuführen.

#### 3.2.2 *Druckprüfung*

Die Abnahme der Druckgeräte hat eine Druckfestigkeitsprüfung einzuschließen, die normalerweise in Form eines hydrostatischen Druckversuchs durchgeführt wird, wobei der Druck mindestens dem in Abschnitt 7.4 festgelegten Wert – falls anwendbar – zu entsprechen hat.

Für serienmäßig hergestellte Geräte der Kategorie I kann diese Prüfung auf statistischer Grundlage durchgeführt werden.

Ist der hydrostatische Druckversuch nachteilig oder nicht durchführbar, so können andere Prüfungen, die sich als wirksam erwiesen haben, durchgeführt werden. Für andere Prüfungen als den hydrostatischen Druckversuch müssen zuvor zusätzliche Maßnahmen, wie zerstörungsfreie Prüfungen oder andere gleichwertige Verfahren, angewandt werden.

### 3.2.3 Prüfung der Sicherheitseinrichtungen

Bei Baugruppen hat die Abnahme auch eine Prüfung der Ausrüstungsteile mit Sicherheitsfunktion zu umfassen, bei der überprüft wird, dass die Anforderungen gemäß Nummer 2.10 (d. Verf.: Schutz vor Überschreiten der zulässigen Grenzen des Druckgeräts) vollständig erfüllt sind.

Betreffs des *Hydrostatischer Druckversuchs* wird in Abschn. 7.4 formuliert:

#### 7.4 Hydrostatischer Prüfdruck

Bei Druckbehältern darf der hydrostatische Prüfdruck gemäß Abschnitt 3.2.2 den höheren der folgenden Werte nicht unterschreiten:

- den 1,25fachen Wert der Höchstbelastung des Druckgeräts im Betrieb unter Berücksichtigung des höchstzulässigen Drucks und der höchstzulässigen Temperatur;
- dem 1,43fachen Wert des höchstzulässigen Drucks.

- Druckgeräte müssen vom Hersteller einem *Konformitätsbewertungsverfahren* unterzogen werden (Artikel 6).

In Abs. (2) des Artikels 6 wird dazu festgelegt:

(29) Bei den Druckgeräten oder Baugruppen nach Artikel 4 Absätze 1 und 2 erstellen die Hersteller die erforderlichen technischen Unterlagen gemäß Anhang III und führen das einschlägige Konformitätsbewertungsverfahren gemäß Artikel 14 durch oder lassen es durchführen.

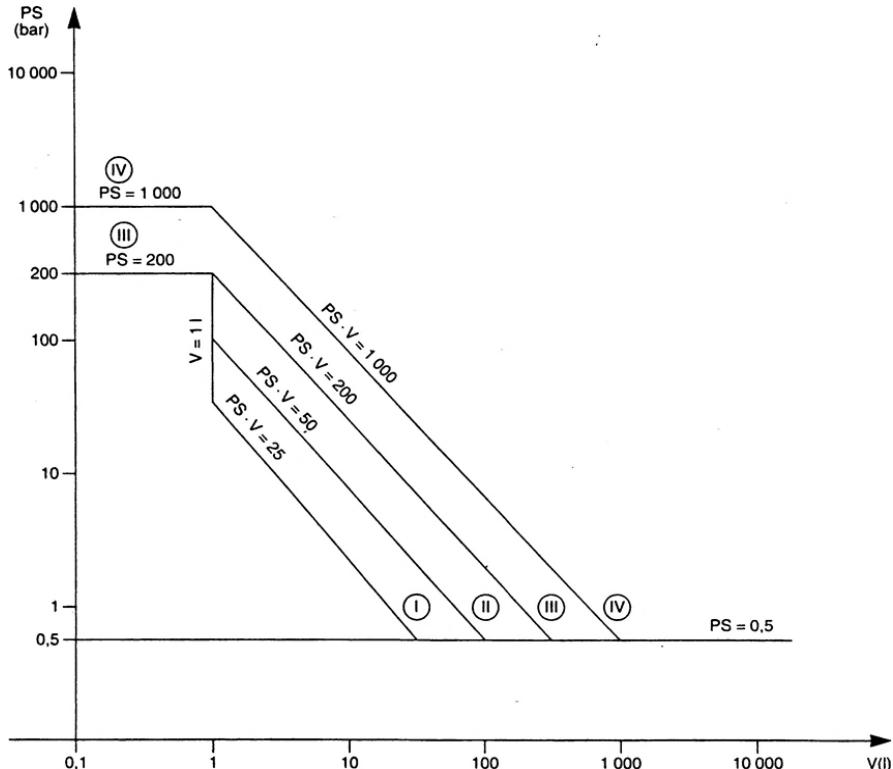
Wurde mit dem Verfahren gemäß Unterabschnitt 1 dieses Abschnitts nachgewiesen, dass die Druckgeräte oder Baugruppen nach Artikel 4 Absätze 1 und 2 den geltenden Anforderungen entsprechen, stellen die Hersteller eine EU-Konformitätserklärung aus und bringen die CE-Kennzeichnung an.

Bringt ein *Einführer* ein Druckgerät in Verkehr (s. Artikel 8, Abs. (2)) bzw. ein *Händler* ein Druckgerät auf den Markt (s. Artikel 9, Abs. (2)) muss er prüfen, dass das betreffende Konformitätsbewertungsverfahren vom Hersteller durchgeführt wurde und mit einer CE-Kennzeichnung versehen ist.

- Die *Durchführung des Konformitätsbewertungsverfahrens* wird nach folgender Vorgehensweise bestimmt:

- Festlegen der Art des Druckgeräts (Behälter, Rohrleitung, spezielle Druckgeräte gem. Artikel 4, Abs. (1), Buchst. b).
- Einstufung des Druckgeräts in die Gruppen 1 und 2 entsprechend dem im Druckgerät vorhandenen Fluid gem. Artikel 13 (Einstufung von Druckgeräten). Für die Einstufung der Fluids ist die GHS/CLP-Verordnung [6] die Grundlage.
- Ermitteln der Kategorie des Druckgeräts mit Hilfe des zutreffenden Konformitätsbewertungsdiagramms in Anhang II (s. Beispiel in Abb. 2.6).  
Insgesamt gibt es 9 Diagramme, je 4 Diagramme für Behälter bzw. Rohrleitungen und 1 Diagramm für spezielle Druckgeräte.
- Die in Artikel 4, Absatz (1) genannten Druckgeräte werden gemäß Anhang II nach zunehmendem Gefahrenpotential in Abhängigkeit von:
  - der Art des Druckgeräts,
  - der Gruppe, in die das Fluid eingestuft wurde,

- dem maximal zulässigen Druck PS,
  - dem maßgeblichen Volumen V (für Behälter) bzw. der Nennweite DN (für Rohrleitungen),
  - dem Produkt aus Druck und Volumen PS\*V (für Behälter) bzw. aus Druck und Nennweite P\*DN (für Rohrleitungen)
- in die *Kategorien I bis IV* eingestuft (Artikel 4 und 13).



**Abb. 2.6** Konformitätsbewertungsdiagramm 1 für Behälter gemäß Artikel 1 Buchst. a, Ziff. i, erster Gedankenstrich (römische Ziffern entsprechen der eingestuften Kategorie)

Bem.: Das Diagramm gilt für *Behälter* und für *Gase, verflüssigte Gase, unter Druck gelöste Gase, Dämpfe und diejenigen Flüssigkeiten, deren Dampfdruck bei der zulässigen maximalen Temperatur um mehr als 0,5 bar über dem normalen Atmosphärendruck (1013 mbar) liegt, innerhalb nachstehenden Grenzen:*

- bei Fluiden der Gruppe 1, wenn das Volumen größer als 1 Liter und das Produkt  $PS \cdot V$  größer als 25 bar\*L ist oder wenn der Druck PS größer als 200 bar ist.
- *Wahl des Konformitätsbewertungsverfahrens* in Form von sog. Modulen gem. Artikel 14. In Abhängigkeit von der Kategorie I bis IV sind den Druckgeräten die Module A bis H zugeordnet (Artikel 14, Abs. (2)).
- Für diese *Module* sind im Anhang III die zutreffenden Konformitätsbewertungsverfahren vorgegeben.

- Die angeführten Verfahren schließen u.a. auch Vorgaben ein für:
  - die Bereitstellung technischer Unterlagen durch den Hersteller,
  - eine ggf. notwendige Entwurfsprüfung durch eine notifizierte Prüfstelle,
  - die fertigungsbegleitende Überwachung durch eine notifizierte Prüfstelle,
  - die Schluss- und Druckprüfung durch den Hersteller bzw. die notifizierte Stelle,
  - die Ausstellung einer schriftlichen Konformitätserklärung,
  - das Anbringen des CE-Kennzeichens.
- Der Hersteller bzw. sein in der Gemeinschaft ansässiger Bevollmächtigter hat eine Kopie der Konformitätserklärung sowie andere Unterlagen, die sein richtlinienkonformes Vorgehen belegen, 10 Jahre (nach Herstellung des letzten Druckgerätes) aufzubewahren.
- Die Druckgeräte-RL wurde mit der 14. ProdSV (Druckgeräteverordnung) [7] offiziell in deutsches Recht überführt).
 

Nähtere Ausführungen zur Umsetzung in deutsches Recht wurden in der Betriebssicherheitsverordnung [8] formuliert (s. Abschn. 2.3.2.2, Buchst. c)).
- Auf das Detail Engineering der Maschinen inkl. der zugehörigen Hersteller- bzw. Lieferantendokumentation wird in Abschn. 7.2.2 eingegangen.

### c) ATEX-Herstellerrichtlinie [9]

- Die ATEX-Herstellerrichtlinie (zuvor: ATEX-Produktrichtlinie) findet gemäß Artikel 1(Anwendungsbereich), Abs. (1) Anwendung auf:
  - a) Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen;
  - b) Sicherheits-, Kontroll- und Regelvorrichtungen für den Einsatz außerhalb von explosionsgefährdeten Bereichen, die jedoch im Hinblick auf Explosionsgefahren für den sicheren Betrieb von Geräten und Schutzsysteme erforderlich sind oder dazu beitragen;
  - c) Komponenten, die zum Einbau in die in Buchstabe a genannten Geräte und Schutzsysteme vorgesehen sind.

Sie trifft kurzgefasst Festlegungen für das Inverkehrbringen bzw. die bestimmungsgemäße Verwendung der angeführten Produkte, die in Artikel 2 (Begriffsbestimmungen) wie folgt definiert sind:

1. „**Geräte**“: Maschinen, Betriebsmittel, stationäre oder ortsbewegliche Vorrichtungen, Steuerungs- und Ausrüstungsteile sowie Warn- und Vorbeugungssysteme, die einzeln oder kombiniert zur Erzeugung, Übertragung, Speicherung, Messung, Regelung und Umwandlung von Energien und/oder zur Verarbeitung von Werkstoffen bestimmt sind und die eigene potentielle Zündquellen aufweisen und dadurch eine Explosion verursachen können.
2. „**Schutzsysteme**“: alle Vorrichtungen mit Ausnahme der Komponenten von Geräten, die anlaufende Explosionen umgehend stoppen und/oder den von einer Explosion betroffenen Bereich begrenzen sollen und als autonome Systeme gesondert in den Verkehr gebracht werden.

3. „**Komponenten**“: solche Bauteile, die für den sicheren Betrieb von Geräten und Schutzsystemen erforderlich sind, ohne jedoch selbst eine autonome Funktion zu erfüllen.

Der Geräte-Begriff wurde in der ATEX-Herstellerrichtlinie bewusst umfangreich definiert, sodass

- die *elektrischen Betriebsmittel* mit ihren möglichen, elektrisch verursachten Zündquellen, wie z. B. Wärme- und/oder Funkenbildung durch lose bzw. korrodierte Kabelklemmen, Wicklungskurzschluss, Kabelbruch, überhöhte Stromstärke bzw. vergrößerter ohmscher Widerstand,

und

- die *Maschinen u.a. Vorrichtungen* mit ihren möglichen, mechanisch verursachten Zündquellen, wie z. B. Wärmebildung durch Reibung an Stopfbüchsen, Gleitring- und Labyrinthdichtungen, Kupplungen, Wellenlagern erfasst werden.

*Der Gerätebegriff nach Hersteller-ATEX schließt somit Maschinen ein.*

- Weitere wichtige Begriffsdefinitionen aus Artikel 2 sind:

4. „**explosionsfähige Atmosphäre**“: ein Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen, Nebeln oder Stäuben unter atmosphärischen Bedingungen, in dem sich der Verbrennungsvorgang nach erfolgter Entzündung auf das gesamte unverbrannte Gemisch überträgt.

5. „**explosionsgefährdeter Bereich**“: ein Bereich, in dem die Atmosphäre aufgrund der örtlichen und betrieblichen Verhältnisse explosionsfähig werden kann.

Darüber hinaus definiert die neue ATEX-Herstellerrichtlinie 2014 zahlreiche Begriffe, wie z.B. Inverkehrbringen, Bereitstellung auf dem Markt, Hersteller, Bevollmächtigter, Einführer, Händler, Wirtschaftsakteure, nahezu identisch zur Druckgeräte-Richtlinie [3] (Buchst. b) diese Abschnitts). Das heißt, beide Normen sind harmonisiert

- Die ATEX-Herstellerrichtlinie [9] stuft die Geräte laut Artikel 2 (Begriffsdefinition) in folgende zwei Gerätegruppen ein.

6. „**Gerätegruppe I**“: Geräte, die zur Verwendung in Untertagebetrieben von Bergwerken sowie deren Über Tageanlagen, die durch Grubengas und/oder brennbare Stäube gefährdet werden können, bestimmt sind.

dies umfasst die in Anhang I genannten Gerätekategorien M1 und M2;

7. „**Gerätegruppe II**“: Geräte, die zur Verwendung in den übrigen Bereichen, die durch eine explosionsfähige Atmosphäre gefährdet werden können, bestimmt sind; dies umfasst die in Anhang I genannten Gerätekategorien 1, 2 und 3.

Für die meisten verfahrenstechnischen Anlagen ist somit die Gerätegruppe II zutreffend, sodass die weiteren Aussagen sich auf die Gerätegruppe II beschränken.

- Die nochmalige Einstufung der Geräte Gruppen II in die Kategorien 1, 2 und 3, gemäß der Definition in Artikel 2:

8. „**Gerätekategorie**“: die Einteilung von Geräten innerhalb jeder Gerätegruppe nach Anhang I, aus der sich das erforderliche Maß an Sicherheit, dass gewährleistet werden muss, ergibt.

ist im Anhang I beschrieben.

Nachfolgend auszugsweise die Angaben für die Gerätegruppe II (Ziff. 2.) [9]:

- a) Die **Gerätekategorie 1** umfasst Geräte, die konstruktiv so gestaltet sind, dass sie in Übereinstimmung mit den vom Hersteller angegebenen Kenngrößen betrieben werden können und ein *sehr hohes Maß an Sicherheit* gewährleisten.

Geräte dieser Kategorie sind zur Verwendung in Bereichen bestimmt, in denen eine *explosionsfähige Atmosphäre*, die aus einem Gemisch von Luft und Gasen, Dämpfen oder Nebeln oder aus Staub/Luft-Gemischen besteht, *ständig oder langfristig oder häufig* vorhanden ist.

Geräte dieser Kategorie müssen selbst bei selten auftretenden Gerätestörungen das erforderliche Maß an Sicherheit gewährleisten und weisen daher Explosionschutzmaßnahmen auf, sodass

- beim Versagen einer apparativen Schutzmaßnahme mindestens eine zweite unabhängige apparative Schutzmaßnahme die erforderliche Sicherheit gewährleistet oder
- beim Auftreten von zwei unabhängigen Fehlern die erforderliche Sicherheit gewährleistet wird.

Die Geräte dieser Kategorie müssen die weitgehenden Anforderungen des Anhangs II Nummer 2.1 erfüllen.

- b) Die **Gerätekategorie 2** umfasst Geräte, die konstruktiv so gestaltet sind, dass sie in Übereinstimmung mit den vom Hersteller angegebenen Kenngrößen betrieben werden können und ein *hohes Maß an Sicherheit* gewährleisten.

Geräte dieser Kategorie sind zur Verwendung in Bereichen bestimmt, in denen damit zu rechnen ist, dass eine *explosionsfähige Atmosphäre* aus Gasen, Dämpfen, Nebeln oder Staub/Luft-Gemischen *gelegentlich* auftritt.

Die apparativen Explosionsschutzmaßnahmen dieser Kategorie gewährleisten selbst bei häufigen Gerätestörungen oder Fehlerzuständen, die üblicherweise zu erwarten sind, das erforderliche Maß an Sicherheit.

Die Geräte dieser Kategorie müssen die weitgehenden Anforderungen des Anhangs II Nummer 2.2 erfüllen.

- c) Die **Gerätekategorie 3** umfasst Geräte, die konstruktiv so gestaltet sind, dass sie in Übereinstimmung mit den vom Hersteller angegebenen Kenngrößen betrieben werden können und ein *Normalmaß an Sicherheit* gewährleisten.

Geräte dieser Kategorie sind zur Verwendung in Bereichen bestimmt, in denen *nicht damit zu rechnen ist, dass eine explosionsfähige Atmosphäre* durch Gase, Dämpfe, Nebel oder aufgewirbelten Staub auftritt, aber wenn sie dennoch auftritt, dann *aller Wahrscheinlichkeit nur selten und während eines kurzen Zeitraums*.

Geräte dieser Kategorie gewährleisten bei normalem Betrieb das erforderliche Maß an Sicherheit.

Die Geräte dieser Kategorie müssen die weitgehenden Anforderungen des Anhangs II Nummer 2.3 erfüllen.

- Für die Geräte werden im Anhang II der ATEX-Herstellerrichtlinie getrennt nach Kategorie 1 bis 3 zahlreiche gestalterische Anforderungen formuliert. Entsprechend den Sicherheitsanforderungen, denen die Geräte der drei Kategorien gerecht werden, sind sie für den Einsatz in unterschiedlichen Explosionsbereichen geeignet. In Tabelle 2.4 ist dazu eine Übersicht angegeben, die den Angaben in der ATEX-Betriebsrichtlinie [29], Anhang II, Buchst. B. entsprechen.

**Tabelle 2.4** Angaben zu Geräten der Gerätekategorie II und der Gerätekategorien 1 bis 3 nach ATEX-Betriebsrichtlinie, Anhang II, Buchst. B [29]

Gerätekategorie	Vorhandensein einer explosionsfähigen Atmosphäre	Sicherheitsanforderungen	Einsatz in Ex-Zone
1	Explosionsfähige Atmosphäre ständig oder langfristig oder häufig vorhanden	sehr hohes Maß an Sicherheit	Zone 0, 1, 2 (Gase) Zone 20, 21, 22 (Stäube)
2	Explosionsfähige Atmosphäre tritt gelegentlich auf	hohes Maß an Sicherheit	Zone 1, 2 (Gase) Zone 21, 22 (Stäube)
3	Explosionsfähige Atmosphäre i.d.R nicht vorhanden; wenn sie dennoch auftritt, dann nur selten und während eines kurzen Zeitraums	Normalmaß an Sicherheit	Zone 2 (Gase) Zone 22 (Stäube)

- Im Anhang II der ATEX-Herstellerrichtlinie [9] sind die „Wesentlichen Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen für die Konzeption und den Bau von Geräten und Schutzsystemen zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen“ angeführt. Diese betreffen u.a.:
  - Gemeinsame Anforderungen für Geräte und Schutzsysteme, inkl.
    - Prinzipien der integrierten Explosionssicherheit,
    - Kennzeichnung,
    - Betriebsanleitung,
  - Auswahl von Werkstoffen,
  - Konstruktion und Bau, inkl.
    - geschlossene Bauweise und Verhinderung von Undichtigkeiten,
    - Staubablagerungen,
    - gefährloses Öffnen,
    - Schutz vor sonstigen Risiken,
    - Überlastung von Geräten,
    - druckfeste Kapselungseinrichtungen.
  - Potentielle Zündquellen, inkl.
    - Gefahren durch unterschiedliche Zündquellszenarien,
    - Gefahren durch statische Elektrizität,
    - Gefahren durch elektrische Streu- und Leckströme,
    - Gefahren durch unzulässige Erwärmung,
    - Gefahren bei Druckausgleichsvorgängen.
  - Gefahren durch äußere Störungseinflüsse,

- Integration von sicherheitsrelevanten Systemanforderungen,
- Gefahren durch Energieausfall,
- Gefahren durch Anschlüsse
- weitergehende Anforderungen an Geräte der verschiedenen Gerätetypen (Ziff. 2.),
- weitergehende Anforderungen an Schutzsysteme (Ziff. 3.).

Die inhaltliche Definition für die Betriebsanleitung, die in Abs. 1.0.6., Buchst. b) der ATEX-Herstellerrichtlinie [9] gefordert wird, lautet:

Die **Betriebsanleitung** beinhaltet die für die Inbetriebnahme, Instandhaltung, Inspektion, Überprüfung der Funktionsfähigkeit und gegebenenfalls Reparatur des Geräts oder Schutzsystems notwendigen Pläne und Schemata sowie alle zweckdienlichen Angaben insbesondere im Hinblick der Sicherheit.

Die angeführte Begriffsdefinition, die in den zuvor beschriebenen Maschinen- und Druckgeräte-Richtlinien nicht explizit ausgeführt ist, wurde auch für die weiteren Ausführungen dieses Buchs genutzt.

Weitere Vorgaben zur Betriebsanleitung, die im Abs. 1.0.6., Buchst. a) angeführt sind, enthält Tabelle 2.5.

- In Artikel 13 wird festgelegt, welches Konformitätsbewertungsverfahren für Geräte, Schutzsysteme und Komponenten der Gerätetypen I und II sowie der Gerätetypen 1 bis 3 während der Produktherstellung durchzuführen sind.

Dazu werden die einzelnen Verfahren in 9 verschiedene Module unterteilt, die wie folgt definiert sind:

- *EG-Baumusterprüfung*, inkl. Ausstellen der EG-Baumusterprüfbescheinigung,
- *Qualitätssicherung Produktion*, inkl. Ausstellen der Konformitätsbescheinigung und CE-Kennzeichnung,
- *Prüfung der Produkte*, inkl. Ausstellen der Konformitätsbescheinigung und CE-Kennzeichnung,
- *Konformität mit der Bauart*, inkl. Ausstellen der Konformitätsbescheinigung und CE-Kennzeichnung,
- *Qualitätssicherung Produkt*, inkl. Ausstellen der Konformitätsbescheinigung und CE-Kennzeichnung,
- *Interne Fertigungskontrolle*, inkl. Ausstellen der Konformitätsbescheinigung und CE-Kennzeichnung,
- *Einzelfertigung*, inkl. Ausstellen der Konformitätsbescheinigung und CE-Kennzeichnung.

- Der Hersteller des Produkts muss das *Konformitätsbewertungsverfahren* durchführen, die *Konformitätsbescheinigung* ausstellen und die *CE-Kennzeichnung* des Produkts vornehmen.

Bringt ein *Einführer* ein Produkt in Verkehr (s. Artikel 8) bzw. ein *Händler* ein Produkt auf den Markt (s. Artikel 9) muss er prüfen, dass das betreffende Konformitätsbewertungsverfahren vom Hersteller durchgeführt wurde und das Produkt mit einer CE-Kennzeichnung versehen ist.

**Tabelle 2.5** Mindestangaben einer Betriebsanleitung n. Anhang I, Abs. 1.0.6, Buchst. a) der ATEX-Herstellerrichtlinie [9]

Zu jedem Gerät oder Schutzsystem muss eine Betriebsanleitung vorhanden sein, die folgende Mindestangaben enthält:

- gleiche Angaben wie bei der Kennzeichnung für Geräte und Schutzsysteme mit Ausnahme der Chargen- oder Seriennummer und gegebenenfalls instandhaltungsrelevante Hinweise (z.B. Anschriften von Service-Werkstätten usw.);
    - Name und Anschrift des Herstellers,
    - CE-Kennzeichnung,
    - Bezeichnung der Serie und des Typs,
    - Baujahr,
    - das spezielle Explosionsschutzkennzeichen gefolgt von dem Kennzeichen, das auf die Gerätekategorie und -kategorie verweist,
    - für die Gerätekategorie II der Buchstabe „G“ (für Bereiche, in denen explosionsfähige Gas-, Dampf-, Nebel-, Luft-Gemische vorhanden sind) und/oder der Buchstabe „D“ (für Bereiche, in denen Staub explosionsfähige Atmosphären bilden kann).
  - Angaben zur oder zum sicheren
    - Inbetriebnahme,
    - Verwendung,
    - Montage und Demontage,
    - Instandhaltung (Wartung und Störungsbeseitigung),
    - Installation,
    - Rüsten;
  - erforderlichenfalls die Markierung von gefährdeten Bereichen vor Druckentlastungseinrichtungen;
  - erforderlichenfalls Angaben zur Einarbeitung;
  - Angaben, die zweifelsfrei die Entscheidung ermöglichen, ob die Verwendung eines Geräts (entsprechend seiner ausgewiesenen Kategorie) oder eines Schutzsystems in den vorgegebenen Bereich unter den zu erwartenden Bedingungen gefahrlos möglich ist;
  - elektrische Kenngrößen und Drücke, höchste Oberflächentemperaturen sowie andere Grenzwerte;
  - erforderlichenfalls besondere Bedingungen für die Verwendung, einschließlich der Hinweise auf sachwidrige Verwendung, die erfahrungsgemäß vorkommen kann;
  - erforderlichenfalls die wesentlichen Merkmale der Werkzeuge, die an dem Gerät oder Schutzsystem angebracht werden können.
- 

- Der Hersteller bzw. sein in der Gemeinschaft ansässiger Bevollmächtigter hat eine Kopie der Konformitätserklärung sowie andere Unterlagen, die sein richtlinienkonformes Vorgehen belegen, 10 Jahre (nach Herstellung des letzten Geräts oder Schutzsystems) aufzubewahren.
- Der Inhalt der EG-Konformitätserklärung gemäß Anhang X ist in Tabelle 2.6 angegeben.
- Die ATEX-Herstellerrichtlinie wurde mit der 11. ProdSV (Explosionsschutzverordnung) [10] in deutsches Recht überführt (s. Abschn. 2.3.2.3, Buchst. a)).

**Tabelle 2.6** Inhalt der Konformitätserklärung nach Anhang X der ATEX-Herstellerrichtlinie [9]

- 
1. Produktmodell/Produkt (Produkt-, Typen-, Chargen- oder Seriennummer);
  2. Name und Anschrift des Herstellers und gegebenenfalls seines Bevollmächtigten;
  3. Die alleinige Verantwortung für die Ausstellung dieser Konformitätserklärung trägt der Hersteller;
  4. Gegenstand der Erklärung (Bezeichnung des Produkts zwecks Rückverfolgbarkeit; nötigenfalls kann zur Identifizierung des Produkts ein Bild hinzugefügt werden);
  5. Der oben beschriebene Gegenstand der Erklärung erfüllt die einschlägigen Harmonisierungsvorschriften der Union;
  6. Angabe der einschlägigen harmonisierten Normen oder der anderen technischen Spezifikationen, die der Konformitätserklärung zugrunde gelegt wurden;
  7. Gegebenenfalls: Die notifizierte Stelle .... (Name, Kennnummer ... hat ... (Beschreibung ihrer Maßnahme) .... folgende Bescheinigung ausgestellt;
  8. Zusatzangaben  
Unterzeichnet für und im Namen von:  
(Ort und Datum der Ausstellung):  
(Name, Funktion) (Unterschrift):
- 

- Auf das Detail Engineering und die Einstufung/Spezifikation der Geräte und Schutzsysteme, die im explosionsgefährdeten Bereichen eingesetzt werden sollen, inkl. der zugehörigen Dokumentarten wird in Abschn. 7.2.2 (Maschinen) und in Abschn. 7.2.6 (Elektrische Betriebsmittel) eingegangen.

#### **d) Niederspannungsrichtlinie (Niederspannungs-RL) [11]**

- Die Niederspannungsrichtlinie regelt das Inverkehrbringen von elektrischen Betriebsmitteln zur Verwendung bei einer Nennspannung
  - zwischen 50 und 1000 V für Wechselstrom und
  - zwischen 75 und 1500 V für Gleichstrom
 mit Ausnahme der Betriebsmittel und Bereiche, die in Anhang II der Richtlinie aufgeführt sind.

Die bedeutendsten Ausnahmen für den Anlagenbau sind die *elektrischen Betriebsmittel zur Verwendung in explosibler Atmosphäre*. Für diese gilt die ATEX-Herstellerrichtlinie [9].

- Die Begriffsdefinitionen in Artikel 2 (Begriffsbestimmungen) sind weitgehend harmonisiert zu den zuvor zitierten Definitionen in der Druckgeräte-RL und der ATEX-Herstellerrichtlinie.
- Die Niederspannungs-RL gibt u.a. vor:
  - die „Wichtigsten Angaben über die Sicherheitsziele für elektrische Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen“ in Anhang I,

- das *Konformitätsbewertungsverfahren* durch den Hersteller gemäß Anhang III, die Ausstellung einer Konformitätserklärung und die CE-Kennzeichnung,
  - die notwendigen Angaben in der *EG-Konformitätserklärung* (Anhang IV),
  - die Anforderungen an die *technischen Unterlagen* (inkl. geeignete Risikoanalyse und -bewertung), die der Hersteller oder sein in der Gemeinschaft ansässiger Bevollmächtigter zur Einsichtnahme durch die nationalen Behörden vorhalten muss (s. Tab. 2.7),
  - die Aufbewahrungsfristen für die technischen Unterlagen und die Konformitätserklärung von 10 Jahren nach Herstellung des letzten Produkts.
- Mit der 1. ProdSV (Verordnung über die Breitstellung elektrischer Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen auf dem Markt) [12] wurde die Niederspannungs-RL in deutsches Recht überführt.

**Tabelle 2.7** Inhalt der technischen Unterlagen gemäß Anhang III, Ziff. 2. der Niederspannungsrichtlinie [11]

---

Der Hersteller erstellt die technischen Unterlagen.

Anhand dieser Unterlagen muss es möglich sein, die Übereinstimmung eines elektrischen Betriebsmittels mit den betreffenden Anforderungen zu bewerten; sie müssen eine geeignete Risikoanalyse und -bewertung enthalten.

In den technischen Unterlagen sind die anwendbaren Anforderungen aufzuführen und der Entwurf, die Herstellung und der Betrieb des elektrischen Betriebsmittels zu erfassen, so weit sie für die Bewertung von Belang sind.

Die technischen Unterlagen enthalten gegebenenfalls zumindest folgende Elemente:

- a) eine allgemeine Beschreibung des elektrischen Betriebsmittels;
  - b) Entwürfe, Fertigungszeichnungen und -pläne von Bauteilen, Baugruppen, Schaltkreisen usw.;
  - c) die Beschreibungen und Erläuterungen, die zum Verständnis der genannten Zeichnungen und Pläne sowie der Funktionsweise der elektrischen Betriebsmittel erforderlich sind;
  - d) eine Aufstellung, welche harmonisierten Normen, deren Fundstellen im Amtsblatt der EU veröffentlicht wurden oder welche in Artikel 13 und 14 genannten internationalen oder nationalen Normen vollständig oder in Teilen angewandt worden sind,  
und,  
wenn diese harmonisierten Normen bzw. internationalen oder nationalen nicht angewandt wurden, eine Beschreibung, mit welchen Lösungen den Sicherheitszielen dieser Richtlinie entsprochen wurde.
  - e) die Ergebnisse der Konstruktionsberechnungen, Prüfungen usw.,
  - f) die Prüfberichte.
- 

**e) Elektromagnetische Verträglichkeit-Richtlinie (EMV-RL) [13]**

- Die EMV-RL regelt die elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln gemäß der Begriffsbestimmung in Artikel 3.

In Artikel 3 werden im Sinne der EMV-RL die folgenden Begriffe wie folgt verstanden:

1. „**Betriebsmittel**“: ein Gerät oder eine ortsfeste Anlage.
2. „**Gerät**“: einen fertigen Apparat oder eine als Funktionseinheit auf den Markt bereitgestellte Kombination solcher Apparate, der bzw. die für Endnutzer bestimmt ist und elektromagnetische Störungen verursachen kann oder dessen bzw. deren Betrieb durch elektromagnetische Störungen beeinträchtigt werden kann.
3. „**ortsfeste Anlage**“: eine besondere Kombination von Geräten unterschiedlicher Art und gegebenenfalls weiteren Einrichtungen, die miteinander verbunden oder installiert werden und dazu bestimmt sind, auf Dauer an einem vorbestimmten Ort betrieben zu werden.
4. „**elektromagnetische Verträglichkeit**“: die Fähigkeit eines Betriebsmittels, in seiner elektromagnetischen Umgebung zufriedenstellend zu arbeiten, ohne dabei selbst elektromagnetische Störungen zu verursachen, die für andere Betriebsmittel in derselben Umgebung unannehmbar wären.
5. „**elektromagnetische Störung**“: jede elektromagnetische Erscheinung, die die Funktion eines Betriebsmittels beeinträchtigen könnte; eine elektromagnetische Störung kann ein elektromagnetisches Rauschen, ein unerwünschtes Signal oder eine Veränderung des Ausbreitungsmediums selbst sein.

Der Begriff „Betriebsmittel“ ist weit gefasst und schließt u.a. auch elektrische/elektronische Teilsysteme bzw. Teilanlagen verfahrenstechnischer Anlagen ein. Typisches Beispiel ist das Prozessleitsystem (PLS).

- Die Begriffsdefinitionen in Artikel 3 (Begriffsbestimmungen) sowie die Ausführungen zur Konformität sind weitgehend harmonisiert zu den zuvor zitierten Definitionen in der Drückgeräte-RL bzw. der ATEX-Herstellerrichtlinie.
- Die EMV-RL gibt u.a. vor:
  - wesentliche Anforderungen an die Betriebsmittel (Anhang I),
  - das Konformitätsverfahren (interne Fertigungskontrolle) durch den Hersteller oder seinen Bevollmächtigten in der Gemeinschaft (Anhang II und III), inkl. EG-Konformitätserklärung und CE-Kennzeichnung,
  - Angaben, die die EG-Konformitätserklärung beinhalten muss (Anhang IV),
  - Anforderungen an die technischen Unterlagen, die der Hersteller oder sein Bevollmächtigter in der Gemeinschaft für die zuständigen Behörden zur Einsicht bereithalten muss (Anhang II, Ziff. 3 und Anhang III, Ziff. 3),
  - Aufbewahrungsfristen für die technischen Unterlagen und die EG-Konformitätserklärung von 10 Jahren nach Fertigung des letzten Geräts.
- Die EMV-RL wurde mit Hilfe dem Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln (EMVG) [14] in deutsches Recht umgesetzt.

#### *f) Bauprodukte-Verordnung (BauPVO) [15]*

- Die BauPVO legt Bedingungen für das Inverkehrbringen von *Bauprodukten* oder ihre Bereitstellung auf dem Markt durch die Aufstellung von harmonisierten Regeln über die Angabe der Leistung von Bauprodukten sowie über die Verwendung der CE-Kennzeichnung fest (Artikel 1).

- In Artikel 2 der BauPVO werden u.a. die folgenden Begriffe bestimmt:
  1. „**Bauprodukte**“: jedes Produkt oder jeden Bausatz, das beziehungsweise der hergestellt und in Verkehr gebracht wurde wird, um dauerhaft in Bauwerke oder Teile davon eingebaut zu werden, und dessen Leistung sich auf die Leistung des Bauwerks im Hinblick auf die Grundanforderungen an Bauwerken auswirkt.
  2. „**Bausatz**“: ein Bauprodukt, das von einem einzigen Hersteller als Satz von mindestens zwei getrennten Komponenten, die zusammengefügt werden müssen, um ins Bauwerk eingefügt zu werden, in Verkehr gebracht wird.
  3. „**Bauwerk**“: Bauten, sowohl des Hochbaus als auch des Tiefbaus.
- 19. „**Hersteller**“: jede natürliche oder juristische Person, die ein Bauprodukt herstellt beziehungsweise entwickelt oder herstellen lässt und dieses Produkt unter ihrem eigenen Namen oder ihrer Marke vermarktet.
- Im Anhang I sind die „Grundanforderungen an Bauwerke“ gemäß folgenden Schwerpunkten angegeben:
  - Mechanische Festigkeit und Standsicherheit,
  - Brandschutz,
  - Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz,
  - Sicherheit und Barrierefreiheit bei der Nutzung,
  - Schallschutz,
  - Energieeinsparung und Wärmeschutz,
  - Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen.
- Die alleinige Verantwortung für das Inverkehrbringen von Bauprodukten liegt beim Hersteller (Artikel 14).  
Er muss i.d.R. für dieses Bauprodukt vor Inverkehrbringen eine *Leistungserklärung* ausstellen und das Bauprodukt mit einem CE-Kennzeichen versehen.  
In Artikel 4 (Leistungserklärung) steht dazu:

Ist ein Bauprodukt von einer harmonisierten Norm erfasst oder entspricht ein Bauprodukt einer Europäischen Technischen Bewertung, die für diese ausgestellt wurde, so erstellt der Hersteller eine Leistungserklärung für das Produkt, wenn es in Verkehr gebracht wird.

- An denjenigen Bauprodukten, für die der Hersteller eine Leistungserklärung gemäß Anhang III erstellt hat, ist ein CE-Kennzeichen anzubringen.  
Eine separate EG-Konformitätserklärung ist nicht erforderlich.

### g) REACH-Verordnung [16]

- Die REACH-Verordnung ist eine sehr umfangreiche Chemikalienverordnung der EU. Die Abkürzung REACH leitet sich ab aus:  
**R**egistration (Registrierung) – **E**valuation (Bewertung) – **A**uthorisation (Zulassung) – **R**estriction (Beschränkung) – **C**hemicals (Chemikalien)
- Ziel und Geltungsbereich dieser Verordnung sind in Artikel 1 wie folgt angegeben:

- (1) Zweck dieser Verordnung ist es, ein hohes Schutzniveau für die menschliche Gesundheit und die Umwelt sicherzustellen, einschließlich der Förderung alternativer Beurteilungsmethoden für von Stoffen ausgehende Gefahren, sowie den freien Verkehr von Stoffen im Binnenmarkt zu gewährleisten und gleichzeitig Wettbewerbsfähigkeit und Innovation zu verbessern.
- (2) Diese Verordnung enthält Bestimmungen über Stoffe und Gemische des Artikels 3. Diese Bestimmungen gelten für die Herstellung, das Inverkehrbringen und die Verwendung derartiger Stoffe als solcher, in Gemischen oder in Erzeugnissen sowie für das Inverkehrbringen von Gemischen.
- (3) Diese Verordnung beruht auf dem Grundsatz, dass Hersteller, Importeure und nachgeschaltete Anwender sicherstellen müssen, dass sie Stoffe herstellen, in Verkehr bringen und verwenden, die die menschliche Gesundheit oder die Umwelt nicht nachteilig beeinflussen. Ihren Bestimmungen liegt das Vorsorgeprinzip zu Grunde.
- Die Definition der beiden Hauptbegriffe **Stoff** und **Gemisch** in Artikel 3 (Begriffsbestimmungen) lautet:
- Stoff:** chemisches Element und seine Verbindungen in natürlicher Form oder gewonnen durch ein Herstellungsverfahren, einschließlich der zur Wahrung seiner Stabilität notwendigen Zusatzstoffe und der durch das angewandte Verfahren bedingten Verunreinigungen, aber mit Ausnahme von Lösungsmitteln, die von dem Stoff ohne Beeinträchtigung seiner Stabilität und ohne Änderung seiner Zusammensetzung abgetrennt werden können.“
- Gemisch:** Gemenge, Gemisch oder Lösungen, die aus zwei oder mehr Stoffen bestehen.
- Die REACH-Verordnung regelt u. a. bezüglich der Stoffe und Gemische:
    - Registrierung von Stoffen (Titel II),
    - gemeinsame Nutzung von Daten und Vermeidung unnötiger Versuche (Titel III),
    - Informationen in der Lieferkette (Titel IV),
    - Nachgeschaltete Anwender (Titel V),
    - Bewertung (Titel VI),
    - Zulassung (Titel VII),
    - Beschränkungen für die Herstellung, das Inverkehrbringen und die Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe, Gemische und Erzeugnisse (Titel VIII).
  - Unter den Titel IV (Informationen in der Lieferkette) sind insbesondere die Anforderungen an Sicherheitsdatenblätter formuliert, die im Anhang II nochmals präzisiert werden.  
Das *Sicherheitsdatenblatt* muss nach Artikel 31, Anhang II, Teil B der REACH-Verordnung die in Tabelle 2.8 angegebenen Angaben enthalten.
  - Verantwortlich für die Bereitstellung des Sicherheitsdatenblatts ist der Inverkehrbringer des Gefahrstoffs. Das ist häufig der Hersteller/Lieferant, kann aber bei neuartigen Stoffen oder Gemischen (z. B. Zwischen-, Neben-, Abprodukte)

im Rahmen von Anlageninvestitionen auch der Inbetriebnahme- bzw. Betriebsleiter sein.

**Tabelle 2.8** Inhalt eines Sicherheitsdatenblatts nach REACH-Verordnung [16]

---

**ABSCHNITT 1:** Bezeichnung des Stoffs bzw. des Gemisches und des Unternehmens

- 1.1 Produktidentifikator
  - 1.2 Relevante identifizierte Verwendungen des Stoffs oder Gemisches und Verwendungen, von denen abgeraten wird
  - 1.3 Einzelheiten zum Lieferanten, der das Sicherheitsdatenblatt bereitstellt
  - 1.4 Notrufnummer
- 

**ABSCHNITT 2:** Mögliche Gefahren

- 2.1 Einstufung des Stoffs oder Gemisches
  - 2.2 Kennzeichnungselemente
  - 2.3 Sonstige Gefahren
- 

**ABSCHNITT 3:** Zusammensetzung/Angaben zu Bestandteilen

- 3.1 Stoffe
  - 3.2 Gemische
- 

**ABSCHNITT 4:** Erste-Hilfe-Maßnahmen

- 4.1 Beschreibung der Erste-Hilfe-Maßnahmen
  - 4.2 Wichtige akute und verzögert auftretende Symptome und Wirkungen
  - 4.3 Hinweise auf ärztliche Soforthilfe oder Spezialbehandlung
- 

**ABSCHNITT 5:** Maßnahmen zur Brandbekämpfung

- 5.1 Löschmittel
  - 5.2 Besondere vom Stoff oder Gemisch ausgehende Gefahren
  - 5.3 Hinweise zur Brandbekämpfung
- 

**ABSCHNITT 6:** Maßnahmen bei unbeabsichtigter Freisetzung

- 6.1 Personenbezogene Vorsichtsmaßnahmen, Schutzausrüstungen und in Notfällen anzuwendende Verfahren
  - 6.2 Umweltschutzmaßnahmen
  - 6.3 Methoden und Material für Rückhaltung und Reinigung
  - 6.4 Verweis auf andere Abschnitte
- 

**ABSCHNITT 7:** Handhabung und Lagerung

- 7.1 Schutzmaßnahmen zur sicheren Handhabung
  - 7.2 Bedingungen zur sicheren Lagerung unter Berücksichtigung von Unverträglichkeiten
  - 7.3 Spezifische Endanwendungen
- 

**ABSCHNITT 8:** Begrenzung und Überwachung der Exposition/Persönliche Schutzausrüstung

- 8.1 Zu überwachende Parameter
  - 8.2 Begrenzung und Überwachung der Exposition
- 

**ABSCHNITT 9:** Physikalische und chemische Eigenschaften

- 9.1 Angaben zu den grundlegenden physikalischen und chemischen Eigenschaften
  - 9.2 Sonstige Angaben
-

**Tab. 2.8** (Fortsetzung)

ABSCHNITT 10: Stabilität und Reaktivität
10.1 Reaktivität
10.2 Chemische Stabilität
10.3 Möglichkeit gefährlicher Reaktionen
10.4 Zu vermeidende Bedingungen
10.5 Unverträgliche Materialien
10.6 Gefährliche Zersetzungprodukte
ABSCHNITT 11: Toxikologische Angaben
11.1 Angaben zu toxikologischen Wirkungen
ABSCHNITT 12: Umweltbezogene Angaben
12.1 Toxicität
12.2 Persistenz und Abbaubarkeit
12.3 Bioakkumulationspotential
12.4 Mobilität im Boden
12.5 Ergebnisse der PTB- und vPvB-Beurteilung
12.6 Andere schädliche Wirkungen
ABSCHNITT 13: Hinweise zur Entsorgung
13.1 Verfahren der Abfallbehandlung
ABSCHNITT 14: Angaben zum Transport
14.1 UN-Nummer
14.2 Ordnungsgemäße UN-Versandbezeichnung
14.3 Transportgefahrenklasse
14.4 Verpackungsgruppe
14.5 Umweltgefahren
14.6 Besondere Vorsichtsmaßnahmen für den Verwender
14.7 Massengutbeförderung gemäß Anhang II des MARPOL-Übereinkommens 73/78 und IBC-Code
ABSCHNITT 15: Rechtsvorschriften
15.1 Vorschriften zu Sicherheit, Gesundheits- und Umweltschutz/spezifische Rechtsvorschriften für den Stoff oder das Gemisch
15.2 Stoffsicherheitsbeurteilung
ABSCHNITT 16: Sonstige Angaben

- In der BRD wurden die Bestimmungen der REACH-Verordnung sowie der nachfolgend unter den Buchst. h) angeführten CLP-Verordnung vorwiegend im Chemikaliengesetz (ChemG) [17] und daraus abgeleitet, in der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) [18][19] umgesetzt (s. Abschn. 2.3.2.2, Buchst. d)).
- Innerhalb dieses Buchs werden die Sicherheits-, Gesundheits- und Umweltaspekte im Umgang mit den Stoffen und Gemischen, die insbesondere von deren Eigenschaften ausgehen, sowie das Erarbeiten der vorbeschriebenen *Sicherheitsdatenblätter* im Abschnitt 3.4 (Sicherheitstechnische Grundlagenermittlung) behandelt.

**h) GHS/CLP-Verordnung [6]**

- Ziel der CLP-Verordnung (Regulation on Classification, Labelling and Packaging of Substances and Mixtures) ist
  - ein hohes Schutzniveau für die menschliche Gesundheit und für die Umwelt sicherzustellen sowie
  - den freien Warenverkehr innerhalb der EU von chemischen Stoffen, Gemischen und bestimmten spezifischen Erzeugnissen zu gewährleiten.

Die CLP-Verordnung basiert auf den Globally Harmonised System (GHS) of Classification and Labelling der Vereinten Nationen.

- Die CLP-Verordnung ist in enger Verbindung mit der REACH-Verordnung [16] zu sehen, die primär den Wissensstand über die Gefahren und Risiken, die von Chemikalien ausgehen, erhöhen soll.
- Konkret wird die CLP-Verordnung im Anlagenbau genutzt, wenn die betroffenen Stoffe und Gemische in anderen Produkten eingesetzt werden bzw. vorhanden sind.

Dies ist z.B. bei der Anwendung der Druckgeräte-RL [3] der Fall, wenn die Druckgeräte entsprechend dem im Druckgerät befindlichen Fluid in die Gruppe 1 oder 2 eingestuft werden (s. Buchst. b) dieses Abschnitts).

### **2.3.1.3 EU-Rechtsvorschriften für verfahrenstechnische Anlagen**

Für verfahrenstechnische Anlagen gibt es bisher nur wenige Rechtsvorschriften auf der Ebene der Europäischen Union (EU). Nachfolgend ist eine auf dem Gebiet des Umweltschutzes und eine auf dem Gebiet des Explosionsschutzes aufgeführt. Für die erstere wurde die aktuelle Überführung ins deutsche Recht mit angeführt.

#### **a) EU-Industrieemissionsrichtlinie [4] und deren Umsetzung in deutsches Recht**

Die EU-Industrieemissionsrichtlinie (IE-RL) über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung verfolgt das Ziel, die Umweltverschmutzung durch Industrieanlagen in der EU mittels einer integrierten Genehmigung zu vermeiden oder zumindest zu verringern. Zugleich sollen die Umweltstandards in der EU vereinheitlicht werden.

Mit der IE-RL wird de facto versucht, für die verschiedenen Teilgebiete (Sektoren) der Umwelttechnik einen „aktuellen Stand der Umwelttechnik“ zu ermitteln, zu formulieren und innerhalb der EU bei neuen Anlageninvestitionen und/oder beim Betrieb bestehender Anlagen anzuwenden.

Im Wesentlichen unterliegen alle relevanten großtechnischen verfahrenstechnischen Anlagen, die in den Mitgliedsländern der EU geplant bzw. betrieben werden, der IE-RL.

Zentrales Element der IE-RL, deren Umsetzung sich zurzeit in den Mitgliedsstaaten der EU vollzieht, ist die Ermittlung und Anwendung der sogenannten Beste verfügbaren Techniken (BVT).

In Artikel 3 (Begriffsbestimmungen), Abs. 10. der IE-RL ist dieser Begriff wie folgt definiert:

Im Sinne dieser Richtlinie bezeichnet der Ausdruck:

(Abs. 10.) „**beste verfügbare Techniken**“ den effizientesten und fortschrittlichsten Entwicklungsstand der Tätigkeiten und entsprechenden Betriebsmethoden, der bestimmte Techniken als praktisch geeignet erscheinen lässt, als Grundlage für die Emissionsgrenzwerte und sonstige Genehmigungsauflagen zu dienen, um Emissionen in und Auswirkungen auf die Umwelt zu vermeiden oder, wenn dies nicht möglich ist, zu vermindern;

- a) „**Techniken**“: sowohl die angewandte Technologie als auch die Art und Weise, wie die Anlage geplant, gebaut, gewartet, betrieben und stillgelegt wird;
- b) „**verfügbare Techniken**“: die Techniken, die in einem Maßstab entwickelt sind, der unter Berücksichtigung des Kosten/Nutzen-Verhältnisses die Anwendung unter in dem betreffenden industriellen Sektor wirtschaftlich und technisch vertretbaren Verhältnissen ermöglicht, gleich, ob diese Techniken innerhalb des betreffenden Mitgliedsstaates verwendet oder hergestellt werden, sofern sie zu vertretbaren Bedingungen für den Betreiber zugänglich sind;
- c) „**beste**“: die Techniken, die am wirksamsten zur Erreichung eines allgemein hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt sind;

Die „beste verfügbare Techniken“ werden zunächst in sog. **BVT-Merkblättern** dokumentiert. Die IE-RL formuliert dazu in Artikel 3 (Begriffsbestimmungen):

11. „**BVT-Merkblatt**“ ein aus dem gemäß Artikel 13 organisierten Informationsaustausch hervorgehendes Dokument, das für bestimmte Tätigkeiten erstellt wird und insbesondere die angewandten Techniken, die derzeitigen Emissions- und Verbrauchswerte, die für die Festlegung der besten verfügbaren Techniken sowie der BVT-Schlussfolgerungen berücksichtigten Techniken sowie alle Zukunftstechniken beschreibt, wobei die Kriterien in Anhang III besonders Rechnung zu tragen ist.

Die BVT-Merkblätter (s. Tab. 2.9) werden unter Leitung der EU-Kommission durch eine Arbeitsgruppe (**Technical Working Group – TWG**) erarbeitet.

**Tabelle 2.9** Gliederung eines BVT-Merkblatts [20]

- 
1. Vorwort
  2. Geltungsbereich
  3. Kapitel: Allgemeine Informationen über den betreffenden Sektor
  4. Kapitel: Angewandte Prozesse und Techniken
  5. Kapitel: Aktuelle Emissions- und Verbrauchswerte
  6. Kapitel: Bei der Festlegung der BVT zu berücksichtigende Techniken
  7. Kapitel: Schlussfolgerungen zu den besten verfügbaren Techniken (BVT)
  8. Kapitel: Zukunftstechniken
  9. Abschließende Bemerkungen und Empfehlungen für zukünftige Arbeiten
  10. Referenzen
  11. Glossar der Begriffe und Abkürzungen
-

Zugleich werden in dieser Arbeitsgruppe auch Vorschläge für sog. **BVT-Schlussfolgerungen** gemäß folgendem Verständnis (Artikel 3) formuliert:

12. „**BVT-Schlussfolgerungen**“ ein Dokument, das die Teile eines BVT-Merkblattes mit den Schlussfolgerungen zu den besten verfügbaren Techniken, ihrer Beschreibung, Informationen zur Bewertung ihrer Anwendbarkeit, den mit den besten verfügbaren Techniken assoziierten Emissionswerten, den zugehörigen Überwachungsmaßnahmen, den dazugehörigen Verbrauchswerten sowie gegebenenfalls einschlägigen Standortsanierungsmaßnahmen enthält.

Die BVT-Schlussfolgerungen sind somit die Aktionspunkte, die sich aus dem Sachverhalt im BVT-Merkblatt ableiten. Sie enthalten u.a. verbindliche Anforderungen für die Genehmigung und den Betrieb von Anlagen des jeweiligen Sektors.

Sobald die BVT-Merkblätter und BVT-Schlussfolgerungen von den zuständigen Ausschüssen angenommen und veröffentlicht sind, müssen sie von den Genehmigungsbehörden der Mitgliedsstaaten berücksichtigt werden.

Dazu steht in der IE-RL, Artikel 15 Abs. 3:

- (3) Die zuständige Behörde legt Emissionsgrenzwerte fest, mit denen sichergestellt wird, dass die Emissionen unter normalen Betriebsbedingungen die mit den besten verfügbaren Techniken assoziierten Emissionswerte, wie sie in den Entscheidungen über die BVT-Schlussfolgerungen gemäß Artikel 13 Absatz 5 festgelegt sind, nicht überschreiten, und trifft hierzu eine der beiden folgenden Maßnahmen (...)

Die verbindlichen, zur Nutzung freigegebenen BVT-Schlussfolgerungen dienen den zuständigen Behörden als Referenzdokument für die Festlegung der Genehmigungsaflagen. Dies gilt auch für die „Überprüfung und Aktualisierung der Genehmigungsaflagen durch die zuständige Behörde“ gemäß Artikel 21, IE-RL.

Das Umweltbundesamt setzt für die Dauer, von Beginn der nationalen Vorbereitung für die Erarbeitung bzw. Überarbeitung eines BVT-Merkblatts bis zur Umsetzung der BVT-Schlussfolgerungen in das deutsche Regelwerk, bis zu fünf Jahren an.

Insgesamt ist die IE-RL nicht nur sehr umfangreich, sie bewirkt auch gravierende Änderungen im Umgang mit dem Stand der Technik, insbesondere bei veränderten zulässigen Emissionsgrenzwerten, in der EU. Damit kann sie die Genehmigung neuer bzw. bestehender Anlagen wesentlich beeinflussen.

Zugleich wirken die BVT-Merkblätter und BVT-Schlussfolgerungen auch über die EU hinaus. In vielen außereuropäischen Ländern (z.B. China, Indien, Kanada, Russland) werden BVT-Merkblätter von Fachleuten und Entscheidungsträgern als Basis für technische Vorgaben und als fundierte Informationsquelle genutzt [20].

In der BRD wurde die Industriemissionsrichtlinie bisher wie folgt in deutsches Recht überführt [21]:

- Die IE-RL wurde durch entsprechende Anpassung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) [22], des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) [23] und des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) [24] in deutsches Recht überführt.
- Im BImSchG betrifft die Anpassung u. a. die Änderung der Begriffsdefinition zum *Stand der Technik* (s. Definition in Abschn. 5.6).

- Im deutschen Recht wurde der bisherige Begriff *Stand der Technik* im Sinne von *Beste verfügbare Technik (BVT)* beibehalten.
- Die Begriffsbestimmung zum *Stand der Technik* wurde erweitert, indem z. B. verstärkt integrierte Vorkehrungen zu treffen sind, um übergreifende Emissionen in Boden, Luft und Wasser zu vermeiden.
- Die Definition des Standes der Technik wurde gleichlautend in das WHG und KrWG aufgenommen.
- Die für Genehmigungsverfahren wichtigen 4. BImSchV [25] und 9. BImSchV [26] wurden novelliert.
- Das untergesetzliche Regelwerk, insbesondere die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA-Luft) [27], wurde ebenfalls novelliert.

Der letzte Punkt bezüglich der TA-Luft beinhaltet u.a. die Anwendung des zuvor definierten BVT-Begriffs und der BVT-Merkblätter im deutschen Recht.

In Abschn. 5.1.1 der TA-Luft ist dazu geregelt:

Soweit nach Erlass dieser Verwaltungsvorschrift neue oder überarbeitete BVT-Merkblätter von der Europäischen Kommission veröffentlicht werden, werden die Anforderungen dieser Verwaltungsvorschrift dadurch nicht außer Kraft gesetzt.

Ein vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) eingerichteter beratender Ausschuss, der sich aus sachkundigen Vertretern der beteiligten Kreise im Sinne von § 15 BImSchG zusammensetzt, prüft, inwieweit sich aus den Informationen der BVT-Merkblätter weitergehende oder ergänzende emissionsbegrenzende Anforderungen ergeben, als sie diese Verwaltungsvorschrift enthält.

Der Ausschuss soll sich dazu äußern, inwieweit sich der Stand der Technik gegenüber den Festlegungen dieser Verwaltungsvorschrift fortentwickelt hat oder die Festlegungen dieser Verwaltungsvorschrift ergänzungsbefürftig sind.

Soweit das BMU das Fortschreiten des Standes der Technik oder eine notwendige Ergänzung in einem dem § 31a Abs. 4 BImSchG entsprechenden Verfahren bekannt gemacht hat, sind die Genehmigungs- und Überwachungsbehörden an die der Bekanntmachung widersprechenden Anforderungen dieser Verwaltungsvorschrift nicht mehr gebunden.

In diesen Fällen haben die zuständigen Behörden bei ihren Entscheidungen die Entwicklung des Standes der Technik zu berücksichtigen.

Kurzgefasst bedeutet dies:

*Es gelten im Genehmigungsverfahren nach BImSchG die Festlegungen der TA-Luft, solange nicht das BMU-Ministerium in Auswertung neuer BVT-Merkblätter und BVT-Schlussfolgerungen andere emissionsbegrenzende Anforderungen den Behörden offiziell mitgeteilt hat bzw. öffentlich bekannt gemacht hat..*

*Die o.g. Formulierungen besagen zugleich, dass die Grenzwerte der TA-Luft gemäß dem Stand der Technik (Beste verfügbare Technik) unter bestimmten Voraussetzungen veränderbar sind. Dies kann u.U. bei nachträglichen behördlichen Änderungen gemäß § 17, BImSchG betreffs bestehender Anlagen wirksam werden (s. auch Abschn. 5.6).*

Ein Beispiel für eine Anpassung des Standes der Technik auf Grundlage von BVT-Merkblätter ist die folgende Anzeige des BMU in [28] über das

„Fortschreiten des Standes der Technik für bestimmte Vorsorgeaufwendungen der TA-Luft; Merkblätter über die besten verfügbaren Techniken:

1. Eisen- und Stahlherstellung,
2. Lederindustrie,
3. Zement-, Kalk- und Magnesiumoxidindustrie
4. Glasherstellung.“

### **b) ATEX-Betriebsrichtlinie [29]**

- Die ATEX-Betriebsrichtlinie legt Mindestanforderungen in Bezug auf Sicherheit und Gesundheitsschutz der Arbeitnehmer fest, die durch explosionsfähige Atmosphären gemäß der Definition in Artikel 2 gefährdet werden können.  
Dazu steht in Artikel 2:

Im Sinne dieser Richtlinie gilt als **explosionsfähige Atmosphäre** ein Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen, Nebeln oder Stäuben unter atmosphärischen Bedingungen, in dem sich der Verbrennungsvorgang nach erfolgter Entzündung auf das gesamte unverbrannte Gemisch überträgt.

- Die ATEX-Betriebsrichtlinie betrifft im Unterschied zu den vorgenannten EU-Richtlinien nicht das Inverkehrbringen definierter Produkte, sondern Schutzziele und Schutzvorkehrungen beim Betreiben von Anlagen mit explosionsfähiger Atmosphäre. Sie ist für verfahrenstechnische Anlagen, die i.Allg. erhebliche Ex-Gefährdungen aufweisen, eine wichtige Planungsgrundlage.
- In Abschnitt II (Pflichten des Arbeitgebers) der ATEX-Betriebsrichtlinie wird u.a. geregelt:

#### **1) Verhinderung von und Schutz gegen Explosionen (Artikel 3)**

Mit dem Ziel des Verhinderns von Explosionen ..... und des Schutzes gegen Explosionen trifft der Arbeitgeber die der Art des Betriebes entsprechenden technischen und/oder organisatorischen Maßnahmen nach folgender Rangfolge von Grundsätzen:

- Verhinderung der Bildung explosionsfähiger Atmosphären, oder, falls dies auf Grund der Art der Tätigkeit nicht möglich ist,
- Vermeidung der Zündung explosionsfähiger Atmosphären und
- Abschwächung der schädlichen Auswirkungen einer Explosion, um die Gesundheit und Sicherheit der Arbeitnehmer zu gewährleisten.

Wo erforderlich, werden diese Maßnahmen mit Maßnahmen gegen die Ausbreitung von Explosionen kombiniert und/oder durch sie ergänzt; sie werden regelmäßig überprüft, auf jeden Fall aber dann, wenn sich wesentliche Änderungen ergeben.

#### **2) Beurteilung der Explosionsrisiken (Artikel 4)**

(1) Im Rahmen seiner Pflichten gemäß (...) beurteilt der Arbeitgeber die spezifischen Risiken, die von explosionsfähigen Atmosphären ausgehen, wobei mindestens folgendes berücksichtigt wird:

- Wahrscheinlichkeit und Dauer des Auftretens von explosionsfähigen Atmosphären;

- Wahrscheinlichkeit des Vorhandenseins und der Aktivierung und des Wirksamwerdens von Zündquellen, einschließlich elektrostatischer Entladungen;
- die Anlagen, verwendete Stoffe, Verfahren und ihre möglichen Wechselwirkungen;
- das Ausmaß der zu erwartenden Auswirkungen.

Die Explosionsrisiken sind in ihrer Gesamtheit zu beurteilen.

(2) Bereiche, die über Öffnungen mit Bereichen verbunden sind oder verbunden werden können, in denen explosionsfähige Atmosphären auftreten können, werden bei der Beurteilung der Explosionsrisiken ebenfalls berücksichtigt.

### *3) Allgemeine Verpflichtungen (Artikel 5)*

### *4) Koordinierungspflicht (Artikel 6)*

Unbeschadet der Einzelverantwortung jedes Arbeitgebers gemäß der Richtlinie 89/391/EWG koordiniert der Arbeitgeber, der nach den einzelstaatlichen Rechtsvorschriften und/oder Praktiken die Verantwortung für die Arbeitsstätte hat, die Durchführung aller die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Arbeitnehmer betreffenden Maßnahmen und macht in seinem Explosionsschutzdokument nach Artikel 8 genauere Angaben über das Ziel, die Maßnahmen und die Modalitäten der Durchführung dieser Koordinierung.

### *5) Bereiche mit explosionsfähigen Atmosphären (Artikel 7)*

Abs. (1): Der Arbeitgeber teilt Bereiche, in denen explosionsfähige Atmosphären vorhanden sein können, entsprechend Anhang I in Zonen ein.

In Anhang I ist dazu in Abschnitt 2 (Einteilung von explosionsgefährdeten Bereichen) festgelegt:

Explosionsgefährdete Bereiche werden nach Häufigkeit und Dauer des Auftretens von explosionsfähiger Atmosphäre in Zonen unterteilt.

**Zone 0:** Bereich, in dem explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden ist.

**Zone 1:** Bereich, in dem sich bei Normalbetrieb gelegentlich eine explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen und Nebeln bilden kann.

**Zone 2:** Bereich, in dem bei Normalbetrieb eine explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln normalerweise nicht oder aber nur kurzzeitig auftritt.

**Zone 20:** Bereich, in dem explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbarem Staub ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden ist.

**Zone 21:** Bereich, in dem sich bei Normalbetrieb gelegentlich eine explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbarem Staub bilden kann.

**Zone 22:** Bereich, in dem bei Normalbetrieb eine explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbarem Staub normalerweise nicht oder aber nur kurzzeitig auftritt.

**Anmerkungen (d. Verf.: zur Einteilung von explosionsgefährdeten Bereichen):**

1. Schichten, Ablagerungen und Anhäufungen von brennbarem Staub sind wie jede andere Ursache, die zur Bildung einer explosionsfähigen Atmosphäre führen kann, zu berücksichtigen.
2. Als Normalbetrieb gilt der Zustand, in dem Anlagen innerhalb ihrer Auslegungsparameter benutzt werden.

Abs. (2): Der Arbeitgeber stellt sicher, dass die Mindestvorschriften des Anhangs II in Bereichen, die unter Absatz (1) fallen, angewendet werden.

Die in Anhang II angeführten Mindestvorschriften betreffen u.a.:

- Die notwendige *Unterweisung* der Arbeitnehmer durch den Arbeitgeber hinsichtlich des Explosionsschutzes.
- *Schriftliche Anweisungen* und *Arbeitsfreigaben* gemäß folgender Formulierung:
  - Soweit im Explosionsschutzdokument vorgesehen,
    - sind Arbeiten in explosionsgefährdeten Bereichen gemäß den schriftlichen Anweisungen des Arbeitsgebers auszuführen;
    - ist ein Arbeitsfreigabesystem für die Durchführung von gefährlichen Tätigkeiten und von Tätigkeiten, die durch Wechselwirkung mit anderen Arbeiten gefährlich werden können, anzuwenden.

Die Arbeitsfreigabe ist vor Beginn der Arbeiten von einer hierfür verantwortlichen Person zu erteilen.

- Vorgaben zu *Explosionsschutzmaßnahmen*, wie angeführt:
  - 2.1 Entwickelte und/oder absichtlich oder unabsichtlich freigesetzte brennbare Gase, Dämpfe, Nebel oder Stäube, die zu einer Explosionsgefahr führen können, sind auf sichere Weise abzuführen oder zu einem sicheren Platz abzuleiten oder, wenn dies nicht möglich ist, sicher einzuschließen oder auf andere Weise unschädlich zu machen.
  - 2.2 Enthält die explosionsfähige Atmosphäre mehrere Arten von brennbaren Gasen, Dämpfen, Nebeln oder Stäuben, so müssen die Schutzmaßnahmen auf das größtmögliche Risikopotential ausgelegt sein.
  - 2.3 Bei der Vermeidung von Zündgefahren gemäß Artikel 3 sind auch die elektrostatischen Entladungen zu berücksichtigen, die von Arbeitnehmern oder der Arbeitsumwelt als Ladungsträger ausgehen.  
Den Arbeitnehmern muss geeignete Arbeitskleidung zur Verfügung gestellt werden; diese muss aus Materialien bestehen, die nicht zu elektrostatischer Entladung führen, durch die die explosionsfähige Atmosphäre entzündet werden kann.
  - 2.4 Anlagen, Geräte, Schutzsysteme und dazugehörige Verbindungsgeräte dürfen nur in Betrieb genommen werden, wenn aus dem Explosionsschutzdokument hervorgeht, dass sie in explosionsfähiger Atmosphäre sicher verwendet werden können.....
  - 2.5 Es sind alle erforderlichen Maßnahmen zu treffen, um sicherzustellen, dass der Arbeitsplatz, die Arbeitsmittel und die dazugehörigen Verbindungsleitungen, die den Arbeitnehmern zur Verfügung gestellt werden, so konstruiert, errichtet, zusammengebaut und installiert wurden und so gewartet und betrieben

werden, dass das Explosionsrisiko so gering wie möglich gehalten wird und, falls es doch zu einer Explosion kommen sollte, das Risiko einer Explosionsübertragung innerhalb des Bereichs des betreffenden Arbeitsplatzes und/oder des Arbeitsmittels kontrolliert oder so gering wie möglich gehalten wird.

Bei solchen Arbeitsplätzen sind geeignete Maßnahmen zu treffen, um die Gefährdung der Arbeitnehmer durch die physikalischen Auswirkungen der Explosion so gering wie möglich zu halten.

- 2.6 Erforderlichenfalls sind die Arbeitnehmer vor Erreichen der Explosionsbedingungen optisch und/oder akustisch zu warnen und zurückzuziehen.
- 2.7 Soweit im Explosionsschutzdokument vorgesehen, sind Fluchtmittel bereitzustellen und zu warten, um zu gewährleisten, dass die Arbeitnehmer gefährdete Bereiche bei Gefahr schnell und sicher verlassen können.
- 2.8 Vor der erstmaligen Nutzung von Arbeitsstätten mit Bereichen, in denen explosionsfähige Atmosphären auftreten können, muss die Explosionssicherheit der Gesamtanlage überprüft werden. Sämtliche zur Gewährleistung des Explosionsschutzes erforderlichen Bedingungen sind aufrechtzuerhalten. Eine solche Prüfung ist von Personen durchzuführen, die durch ihre Erfahrung und/oder berufliche Ausbildung auf dem Gebiet des Explosionsschutzes hierzu befähigt sind.
- 2.9 Wenn sich aus der Risikobewertung die Notwendigkeit dazu ergibt,
  - und ein Energieausfall zu einer Gefahrenausweitung führen kann, muss es bei Energieausfall möglich sein, die Geräte und Schutzsysteme unabhängig vom übrigen Betriebssystem in einem sicheren Betriebszustand zu halten,
  - müssen im Automatikbetrieb laufende Geräte und Schutzsysteme, die vom bestimmungsgemäßen Betrieb abweichen, unter sicheren Bedingungen von Hand abgeschaltet werden können. Derartige Eingriffe dürfen nur durch fachkundige Arbeitnehmer durchgeführt werden.
  - müssen gespeichert Energien beim Betätigen der Notabschalteinrichtungen so schnell wie möglich abgebaut oder isoliert werden, damit sie ihre gefährbringende Wirkung verlieren.

Im Unterabschnitt B (Kriterien für die Auswahl von Geräten und Schutzsystemen) wird formuliert:

Sofern das Explosionsschutzdokument unter Zugrundelegung einer Risikoabschätzung nichts anderes vorsieht, sind in allen Bereichen, in denen explosionsfähige Atmosphären vorhanden sein können, Geräte und Schutzsysteme entsprechend den Kategorien gemäß der Richtlinie 94/9/EG (d. Verf.: ATEX-Herstellerrichtlinie gemäß Abschn. 2.3.1.2, Buchst. c) und [9]) auszuwählen.

Insbesondere sind in diesen Zonen folgende Kategorien von Geräten zu verwenden, sofern sie für Gase, Dämpfe, Nebel und/oder Stäube geeignet sind:

- in **Zone 0** oder **Zone 20**: Geräte der **Kategorie 1**,
- in **Zone 1** oder **Zone 21**: Geräte der **Kategorie 1** oder der **Kategorie 2**,
- in **Zone 2** oder **Zone 22**: Geräte der **Kategorie 1**, der **Kategorie 2** oder der **Kategorie 3**.

Bem.: Die angeführte Zuordnung der Gerätetypen zu den Ex-Zonen steht in Übereinstimmung mit den Angaben in Tabelle 2.4 in Abschn. 2.3.1.2, Buchst. c).

6) Vorgaben zum *Explosionsschutzdokument* (Artikel 8), wie folgt:

Im Rahmen seiner Pflichten nach Artikel 4 (d. Verf.: Beurteilung der Explosionsrisiken) stellt der Arbeitgeber sicher, dass ein Dokument (nachstehend „*Explosionsschutzdokument*“ genannt) erstellt und auf den letzten Stand gehalten wird.

Aus dem *Explosionsschutzdokument* geht insbesondere hervor:

- dass die Explosionsrisiken ermittelt und einer Bewertung unterzogen worden sind;
- dass angemessene Maßnahmen getroffen werden, um die Ziele dieser Richtlinie zu erreichen;
- welche Bereiche entsprechend Anhang I in Zonen eingeteilt wurden;
- für welche Bereiche die Mindestanforderungen gemäß Anhang II gelten;
- dass die Arbeitsstätte und die Arbeitsmittel einschließlich der Warneinrichtungen sicher gestaltet sind, und sicher betrieben und gewartet werden;
- dass gemäß der Richtlinie 89/655/EWG des Rates Vorkehrungen für die sichere Benutzung der Arbeitsmittel getroffen worden sind.

Das *Explosionsschutzdokument* wird vor Aufnahme der Arbeit erstellt; es wird überarbeitet, wenn wesentliche Änderungen, Erweiterungen oder Umgestaltungen der Arbeitsstätte, der Arbeitsmittel oder des Arbeitsablaufs vorgenommen werden.

7) *Besondere Vorschriften für Arbeitsmittel und Arbeitsstätten* (Artikel 9).

- Die ATEX-Betriebsrichtlinie ist ab 01.06.2015 in der geänderten Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) [19] in deutsches Recht überführt worden.
- Wesentliche Engineeringarbeiten, die sich aus der ATEX-Betriebsrichtlinie und der GefStoffV (bzgl. Arbeiten in explosionsgefährdeten Bereichen) ableiten, sind:
  - Einbeziehen der Gefährdungen, die von explosionsfähigen Atmosphären (sog. Ex-Gefahren) ausgehen, in die *Risikobeurteilungen* für
    - Produkte im Rahmen des Konformitätsbewertungsverfahrens vor Inverkehrbringen,
    - verfahrenstechnische Anlagen vor Inbetriebnahmebeginn,
  - Einbeziehen der Ex-Gefahren in die *Gefährdungsbeurteilungen* und Schutzmaßnahmen gemäß BetrSichV und GefStoffV,
  - Einteilung und Kennzeichnung der Bereiche in denen explosionsfähige Atmosphären vorhanden sein können in Zonen (sog. *Ex-Zonen-Einstufung*),
  - Erarbeitung des *Explosionsschutzdokuments* inkl. *Explosionsschutzkonzept*.

Die inhaltliche Durchführung all dieser Arbeiten wird im Basic Engineering, Abschn. 4.3 (Sicherheitstechnische Entwurfsplanung) ausführlich betrachtet.

## 2.3.2 Relevante Gesetze und Verordnungen der BRD

### 2.3.2.1 Übersicht zum Recht der BRD

Das Recht in der Bundesrepublik Deutschland wird zunächst grundsätzlich zwischen dem *Privatrecht* und dem *Öffentlichen Recht* unterschieden (s. Abb. 2.7).



**Abb. 2.7** Übersicht zum Recht in der Bundesrepublik Deutschland

Das *Privatrecht* bestimmt die Rechtsbeziehungen zwischen zwei gleichgestellten Personen (Parteien) und ist in den meisten Ländern in einem Zivilgesetzbuch geregelt. In der BRD befinden sich die zivilrechtlichen Regelungen vorwiegend im Bürgerlichen Gesetzbuch (BGB) [30].

Im *Öffentlichen Recht* ist der Staat der anderen juristischen Person übergeordnet. Die staatlichen Organe (z. B. Behörden, Polizei, Staatsanwaltschaften, Gerichte usw.) nehmen hoheitliche Aufgaben wahr und sind der Gesellschaft gegenüber verpflichtet, dem Öffentlichen Recht Geltung zu verschaffen.

Für das Engineering sind im Öffentlichen Recht insbesondere das Verwaltungsrecht sowie das Ordnungswidrigkeiten- und das Strafrecht wichtig.

Beispielsweise ist die mit dem Genehmigungsbescheid erteilte „Genehmigung für Errichtung und Betrieb einer Neuanlage“ ein Verwaltungsentscheid, der mitunter gegenüber der Genehmigungsbehörde oder vor Gericht angefochten wird.

Das Ordnungswidrigkeitenrecht [31] ist u. a. dann relevant, wenn gegen eine Rechtsvorschrift verstößen wird (z. B. das Inverkehrbringen einer Maschine oder eines Druckgeräts ohne Konformitätserklärung bzw. ohne Betriebsanleitung) und dieser Verstoß mit einer Ordnungsstrafe belegt ist. Eine Ordnungsstrafe ist auch dann möglich, wenn kein **Schaden** entstanden ist, aber eine Ordnungswidrigkeit begangen wurde.

Einen strafrechtlich, relevanten Risiko setzt sich derjenige aus, der fahrlässig oder grob-fahrlässig oder vorsätzlich handelt (sog. *subjektiver Tatbestand*) und dadurch einen Schaden (sog. *objektiver Tatbestand*) verursacht, der im Strafgesetzbuch (StGB) [32] unter Strafe steht (s. auch Abschn. 1.5.1 und Abschn. 1.5.2, Tab. 1.6).

Eine Untersetzung der allgemeinen Ausführungen zum Recht der BRD erfolgt beispielhaft in Abb. 2.8, auf der die nationalen rechtlichen Regelungen für Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz dargestellt sind.

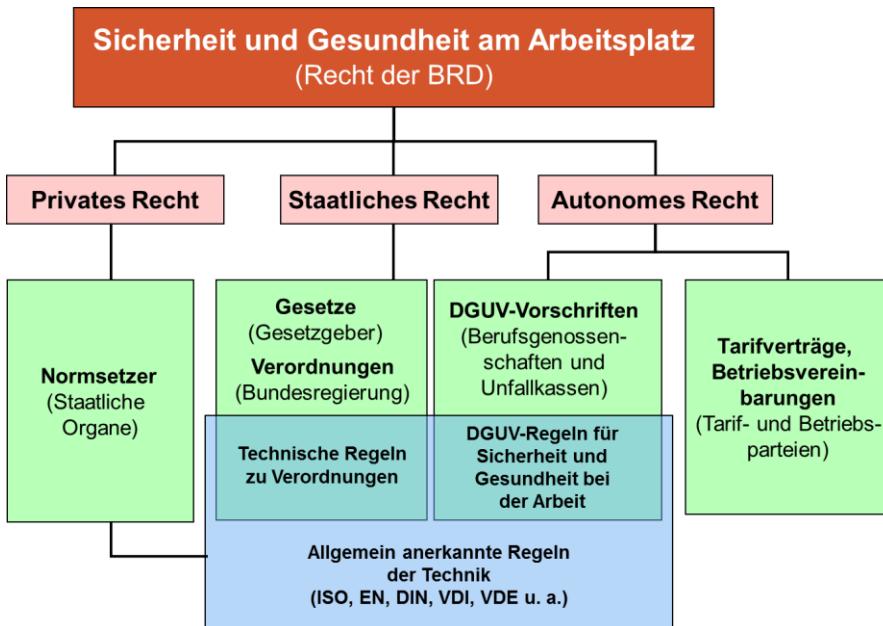


Abb. 2.8 Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz nach dem Recht der BRD

Die rechtlichen Regelungen für Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz können in drei Säulen gegliedert werden.

#### a) Staatliches Recht

Für das Engineering verfahrenstechnischer Anlagen ist das staatliche Recht in Form von Gesetzen und Verordnungen wichtig. In Abhängigkeit vom Gegenstand der Rechtsvorschrift ist zwischen Bundes- und Landesrecht sowie kommunalen Recht zu unterscheiden.

Die Verordnungen enthalten de facto die Ausführungsbestimmungen zu den Gesetzen. Sie werden von der Bundesregierung bzw. den Landesregierungen erlassen und sind rechtsverbindlich, d. h. bis auf die angeführten Ausnahmen für die betroffenen Personen und/oder Unternehmen verpflichtend. In Abhängigkeit vom Regelungsbedarf und -umfang können für ein Gesetz viele Verordnungen erlassen werden. Typisches Beispiel sind die inzwischen über 40 Verordnungen zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (sog. BImSchV) (s. Abschn. 2.3.2.2, Buchst. a) und Abschn. 5.5).

Ferner existieren als Orientierung und Hilfe für den Anwender, zugehörig zu bestimmten Gesetzen und Verordnungen, sogenannte **Technische Regeln** gemäß folgender Begriffsdefinition:

**Technische Regeln** sind sachkundige Vorschläge, Hinweise und Empfehlungen, wie bei Anwendung des zugehörigen Gesetzes bzw. der zugehörigen Verordnung rechtskonform, fachlich richtig und effizient zu verfahren ist.

Technische Regeln werden von Expertenteams (Fachverbänden, Ausschüssen, Berufsverbänden, Kommissionen u.ä.) erarbeitet und veröffentlicht. Sie sind keine Rechtsnormen und somit nicht verbindlich.

Einige wichtige Technische Regelwerke für das Engineering sind:

- Technische Regeln für Anlagensicherheit (TRAS),
- Technische Regeln für Betriebssicherheit (TRBS) (s. Abschn. 2.3.2.3),
- Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS),
- Technische Regeln für wassergefährdende Stoffe (TRwS),
- Technische Regeln für biologische Arbeitsstoffe (TRBA).

Einige traditionelle und bekannte Technische Regelwerke, die *überwachungsbedürftige Anlagen* gemäß Produktsicherheitsgesetz (ProdSG) [33] bzw. Betriebssicherheitsverordnung [8] betreffen, wie zum Beispiel:

- Technische Regelwerk für Aufzüge (TRA),
- Technische Regeln für brennbare Flüssigkeiten (TRbF),
- Technische Regeln zur Druckbehälterverordnung (für Druckbehälter/TRB und für Rohrleitungen/TRR),
- Technische Regeln für Dampfkessel (TRD),

sind nicht mehr bzw. nur noch befristet gültig.

Da die zugehörigen Einzelverordnungen außer Kraft sind, werden die bisherigen Regeln in die Technischen Regeln für Betriebssicherheit (TRBS) (s. Abschn. 2.3.2.3, Buchst. c)) bzw. in die europäischen Regelwerke/Normen integriert.

Der Anwender muss sich deshalb zum aktuellen Sachstand über die *Technischen Regeln für überwachungsbedürftige Anlagen* regelmäßig informieren und sachkundig machen.

Grundsätzlich ist zu beachten, dass die neuen Technischen Regeln zunehmend nur noch Schutzziele und immer weniger technische Maßnahmen und Details enthalten. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von einem „Gefährdungsbzogenen Regelwerk“.

Nicht zuletzt sei noch auf die in Abb. 2.8 angegebenen **Allgemein anerkannten Regeln der Technik** hingewiesen, die nicht gesetzes- bzw. verordnungsspezifisch sind, sondern allgemeinere Aussagen enthalten und einen größeren Geltungsbereich umfassen.

Sie sind folgendermaßen definiert:

Die **Allgemein anerkannten Regeln der Technik** sind auf wissenschaftlichen Grundlagen und fachlichen Erkenntnissen beruhende Regeln, die in der praktischen Anwendung erprobt sind und von der Mehrheit der Fachleute des jeweiligen Fachgebiets anerkannt sind und regelmäßig angewandt werden [34].

Dies ist bei technischen Festlegungen zu vermuten, die nach einem Verfahren zu stande kamen, an dem die betroffenen Fachkreise mitgewirkt haben.

Zu den Allgemein anerkannten Regeln der Technik gehören Normen (ISO, EN, DIN) und technische Richtlinien von Fachverbänden, wie z.B.:

- VDI – Verein Deutscher Ingenieure,
- VDE – Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik,
- VGR – Fachverband für die Strom- und Wärmeerzeugung,
- VDMA – Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau,
- VDS – Verband Deutscher Sachversicherer

Die *Allgemein anerkannten Regeln* haben ebenfalls keine Rechtskraft. Das heißt, es kann in begründeten Fällen davon abgewichen werden.

Der Gesetzgeber bzw. andere Rechtsorgane, ggf. auch die Vertragsparteien, können dies ändern, indem sie in Rechtsvorschriften (Gesetze, Verordnungen, Erlass usw.) oder im Vertrag die Anwendung der betroffenen Regel als verbindlich vorgeben. Dies gilt auch für die zuvor betrachteten *Technischen Regeln*.

Große Bedeutung haben die *Technischen Regeln* sowie die *Allgemein anerkannten Regeln der Technik* bei der Beurteilung strafrechtlicher und zivilrechtlicher Sachverhalte. Wurden diese Regeln eingehalten, so wurde i.d.R. gemäß Stand der Technik und nicht fahrlässig gehandelt. Umgekehrt muss ein abweichendes Verhalten sehr gut begründet (möglichst im Team) und nachvollziehbar dokumentiert werden.

### **b) Autonomes Recht**

Im **Sozialgesetzbuch (SGB)**, VII (Gesetzliche Unfallverhütung) [35] wurde der Unfallversicherungsträger (Berufsgenossenschaften) ermächtigt, selbst Unfallverhütungsvorschriften zu erlassen. Dies ist letztlich durch die **Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV)**, die als Dachverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften und der Unfallkassen fungiert, in Form von sog. *DGUV-Vorschriften* erfolgt (s. Abschn. 2.3.2.4, Buchst. a)).

Die DGUV-Vorschriften stellen für die Versicherten autonomes Recht dar.

Sie werden durch *DGUV-Regeln* für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit sowie *DGUV-Informationen* und *DGUV-Grundsätze* ergänzt.

Die nachfolgenden Definitionen, die noch die früheren berufsgenossenschaftlichen Formulierungen wiedergeben, sind deshalb nur sinngemäß zu verstehen.

**DGUV-Vorschriften:** Berufsgenossenschaftliche Vorschriften für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit sind Unfallverhütungsvorschriften im Sinne des § 15 SGB VIII.

**DGUV-Regeln:** Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit sind Zusammenstellungen bzw. Konkretisierungen von Inhalten z. B. aus

- staatlichen Arbeitsschutzzvorschriften (Gesetze, Verordnungen),
- BG-Vorschriften (Unfallverhütungsvorschriften),
- Technischen Spezifikationen,
- Erfahrungen berufsgenossenschaftlicher Präventionsarbeit.

**DGUV-Grundsätze:** Maßstäbe in bestimmten Verfahrensfragen, z. B. hinsichtlich der Durchführung von Prüfungen.

**DGUV-Informationen:** Hinweise und Empfehlungen, die die praktische Anwendung von Regelungen zu einem Sachgebiet oder Sachverhalt erleichtern sollen.

Alle zusammen gehören zum Stand der Sicherheitstechnik. Betreffs der Verbindlichkeit gilt das Gleiche wie für die zuvor beschriebenen Technischen Regeln bzw. Allgemein anerkannten Regeln der Technik.

### c) *Privates Recht*

Das Privatrecht ist in den meisten Ländern in einem Zivilgesetzbuch geregelt. In der BRD finden sich die zivilrechtlichen Regelungen vorwiegend im Bürgerlichen Gesetzbuch (BGB) [30].

Auf ausgewählte privat- bzw. zivilrechtliche Haftungsaspekte wurde in Abschn. 1.5 (u.a. Schadenersatz bei fahrlässigen und grob-fahrlässigen Handeln) und auf Managementaspekte (z. B. mögliche Pflichten- und Verantwortungsübertragung) in Abschn. 1.4.3.3 eingegangen.

Nach den einführenden Bemerkungen werden nachfolgend die für das Engineering wichtigen Rechtsvorschriften plus wichtige zugehörige Regeln in folgende 3 Komplexe unterteilt und überblicksweise betrachtet:

- Genehmigungs- und Umweltrecht,
- Recht zur Produkt- und Anlagensicherheit,
- Recht zu Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz.

#### **2.3.2.2 Genehmigungsrecht und Umweltrecht**

Das Genehmigungs- und Umweltrecht ist noch weitgehend nationales Recht. Die Ausführungen zur EU-Industrieemissionsrichtlinie [4] in Abschn. 2.3.1.3, Buchst. a) zeigen aber auf diesem Gebiet eine Tendenz hin zu EU-Rechtsvorschriften.

Beide Rechtsgebiete sind eng verwandt und in der BRD sehr detailliert ausgestaltet. Im Weiteren werden die wichtigen Vorschriften nur kurz angeführt und ansonsten auf ihre Anwendung in Kapitel 5 (Genehmigungsplanung) bzw. auf die Fachliteratur verwiesen.

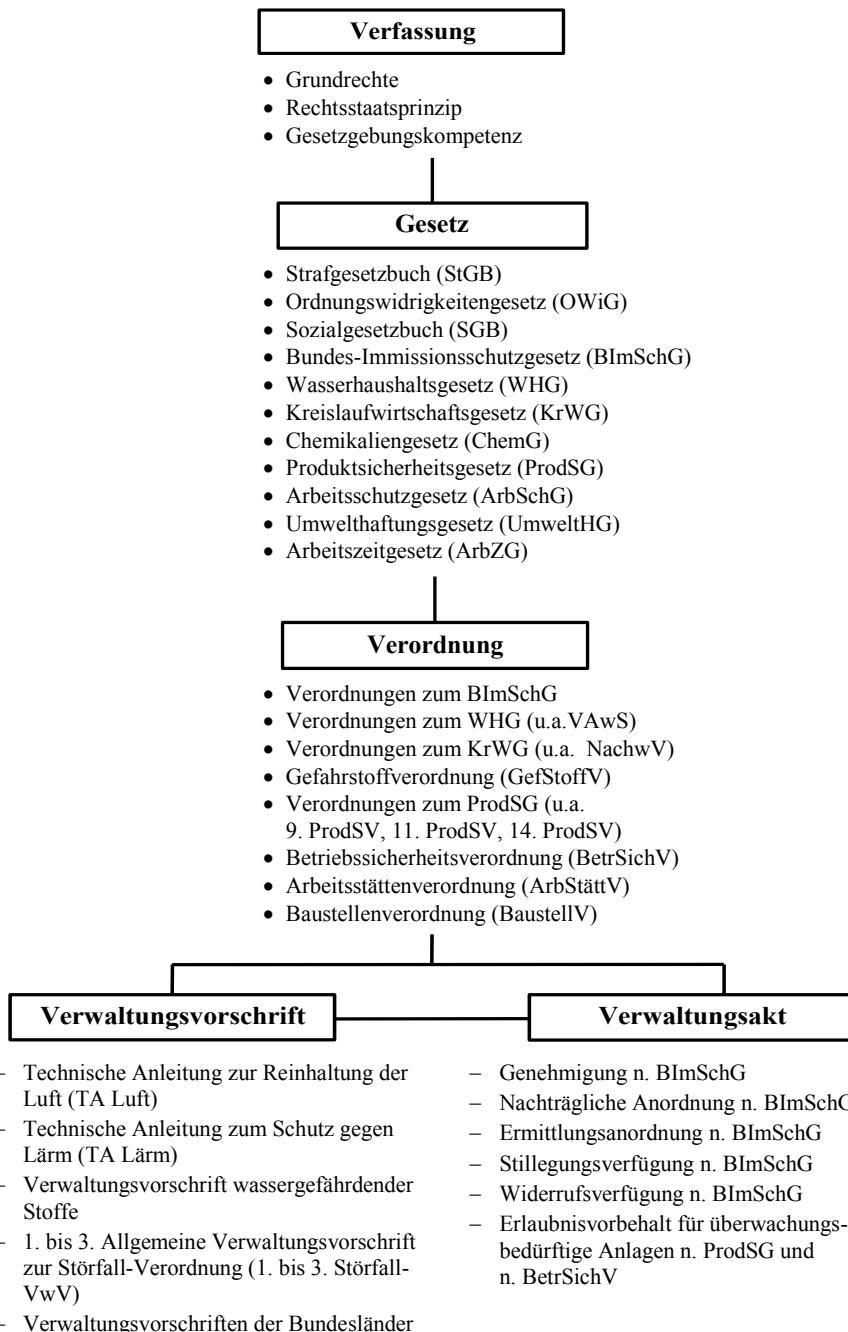
Einen Überblick zur Rechtsstruktur sowie eine Auswahl von wesentlichen genehmigungs-, umwelt- und sicherheitsrelevanten Rechts- und Verwaltungsvorschriften zeigt Abb. 2.9.

Neben den Gesetzen und Verordnungen sind insbesondere die in Abb. 2.9 angeführten Verwaltungsvorschriften, wie z.B. die TA-Luft [27] und TA-Lärm [36], zu beachten. Sie sind Handlungs- und Entscheidungsgrundlage für die zuständigen Behörden und konkretisieren beispielsweise die gesetzlichen Vorgaben zur Vermeidung von Luftverunreinigungen sowie von Geräuschen.

##### **a) Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) [22]**

- Das BImSchG ist die Grundlage für das Verfahren zur Genehmigung der meistens verfahrenstechnischen Anlagen.

Zum BImSchG existieren mehr als 40 Verordnungen (BImSchV), von denen einige, die für das Engineering verfahrenstechnischer Anlagen besonders wichtig erscheinen, in Tabelle 2.10 angeführt sind.



**Abb. 2.9** Struktur wichtiger, genehmigungsrelevanter Rechts- und Verwaltungsvorschriften-/akte in der BRD

**Tabelle 2.10** Ausgewählte Verordnungen zum Bundes-Immissionsschutzgesetz [22]

<b>4. BImSchV</b>	Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen [25]
<b>9. BImSchV</b>	Verordnung über das Genehmigungsverfahren [26]
<b>12. BImSchV</b>	Störfall-Verordnung (StörfallIV) [37]
<b>13. BImSchV</b>	Verordnung über Großfeuerungs- und Gasturbinenanlagen [38]
<b>17. BImSchV</b>	Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen [39]
<b>30. BImSchV</b>	Verordnung über Anlagen zur biologischen Behandlung von Abfällen [40]
<b>32. BImSchV</b>	Geräte- und Maschinenlärmbewilligung [41]
<b>39. BImSchV</b>	Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstgrenzen [42]

**b) Wasserhaushaltsgesetz (WHG) [23] und Verordnungen für Anlagen wassergefährdender Stoffe (VAwS)**

- Für den Gewässerschutz enthält das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) als Rahmengesetz u.a. Regelungen zum ordnungsgemäßen Umgang mit wassergefährdenden Stoffen, insbesondere beim Betrieb derartiger Anlagen und beim Einleiten von Stoffen in Gewässer bzw. die öffentliche Kanalisation.

Das Wasserrecht ist Länderrecht, sodass es gegenwärtig 16 verschiedene Verordnungen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (VAwS der Länder) gibt.

- Nach der Föderalismusreform von 2006 und dem darauf basierten WHG vom 31.07.2009 hat die Bundesregierung gemäß § 23, WHG erstmals das Recht, die Gewässerbewirtschaftung bundesweit einheitlich zu regeln.

Dies gilt auch für Regelungen zum Umgang mit **wassergefährdenden Stoffen** (Abschnitt 3.), die in § 62, Abs. (3) folgendermaßen definiert sind:

(3) **Wassergefährdende Stoffe** im Sinne dieses Abschnitts sind feste, flüssige und gasförmige Stoffe, die geeignet sind, dauernd oder in einem nicht nur unerheblichen Ausmaß nachteilige Veränderungen der Wasserbeschaffenheit herbeizuführen.

Beispielsweise steht in § 62 (Anforderungen an den Umgang mit wassergefährdenden Stoffen) unter Abs. (4):

(4) Durch Rechtsverordnung nach § 23 Absatz 1 Nummer 5 bis 11 können nähere Regelung erlassen werden über

1. die Bestimmungen der wassergefährdenden Stoffe und ihre Einstufung entsprechend ihrer Gefährlichkeit, über eine hierbei erforderliche Mitwirkung des Umweltbundesamtes und anderer Stellen sowie über Mitwirkungspflichten von Anlagenbetreibern im Zusammenhang mit der Einstufung von Stoffen.

- Der Gesetzgeber hat sein neues Recht zwischenzeitlich genutzt und 2015 einen Entwurf für eine bundesweit einheitliche *Verordnung für Anlagen zum Umgang mit wassergefährdeten Stoffen (AwSV)* [43] arbeitet und am 20. Juli 2015 das

Verfahren zur Notifizierung (Prüfung und Genehmigung) der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV) bei der EU-Kommission eingeleitet. Der AwSV-Entwurf [43] ist z. Zt. noch in der Abstimmung, soll aber 2016 in Kraft treten.

Die neue AwSV wird die 16 Anlagenverordnungen (VAwS) der Bundesländer ersetzen und ein bundesweit einheitliches Schutzniveau des anlagenspezifischen Gewässerschutzes ermöglichen. Zugleich werden die wasserrechtlichen Genehmigungsverfahren in der BRD vereinheitlicht.

Gemäß dem aktuellen Entwurf der AwSV werden sich daraus wesentliche Auswirkungen für die Planung, den Betrieb und die sicherheitstechnische Prüfung der WHG-Anlagen ergeben.

- Die AwSV beinhaltet erstmals auch grundsätzliche Aussagen zur Einstufung der wassergefährdenden Stoffe in die *Wassergefährdungsklassen* (WGK) 1 bis 3. Die detaillierte Einstufung muss weiterhin auf Grundlage der „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Wasserhaushaltsgesetz über die Einstufung wassergefährdender Stoffe in Wassergefährdungsklassen“ [44] erfolgen.

Im vorliegenden Buch wird diese wasserrechtliche Einstufung in Verbindung mit der *Sicherheitstechnische Grundlagenermittlung* (s. Abschn. 3.4) behandelt.

### c) *Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG)* [24]

- Das Kreislaufwirtschaftsgesetz soll die Kreislaufwirtschaft zur Schonung der natürlichen Ressourcen fördern und den Schutz von Mensch und Umwelt bei der Erzeugung und Bewirtschaftung von Abfällen sicherstellen.

Das KrWG gilt für:

1. die Vermeidung von Abfällen,
2. die Verwertung von Abfällen,
3. die Beseitigung von Abfällen,
4. die sonstigen Maßnahmen der Abfallbewirtschaftung.

- Nach § 3 (Begriffsbestimmungen), Abs. (1) des KrWG gilt folgende Begriffsdefinition:

(1) **Abfälle** im Sinne dieses Gesetzes sind alle Stoffe oder Gegenstände, derer sich ihr Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss.

Abfälle zur Verwertung sind Abfälle, die verwertet werden. Abfälle, die nicht verwertet werden, sind Abfälle zur Beseitigung.

- Im Abschnitt 1 werden Grundsätze der Abfallbeseitigung und Abfallbewirtschaftung dargelegt und in § 6 (Abfallhierarchie), Abs. (1) vorgegeben:

(1) Maßnahmen der Vermeidung und der Abfallbewirtschaftung stehen in folgender Rangfolge:

1. Vermeidung,
2. Vorbereitung zur Wiederverwertung,
3. Recycling,
4. sonstige Verwertung, insbesondere energetische Verwertung und Verfüllung,
5. Beseitigung.

Diese Rangfolge ist zugleich Grundlage für die Betrachtung und Auswahl möglicher Verfahrensvarianten zur Abfallbeseitigung im Engineering, die u.a. im *Entsorgungskonzept* zusammengestellt werden.

- Im Abfallrecht (§ 35 KrWG) werden u.a. in Verbindung mit der Genehmigung von Deponien die Begriffe *Planfeststellungsverfahren* und *Planfeststellung* gebraucht (s. auch Abschn. 5.1).
- Zum KrWG gehören eine Vielzahl von Verordnungen, wie z. B.:
  - Altölverordnung (AltöLV),
  - Bioabfallverordnung (BioAbfV),
  - Deponieverordnung (DepV),
  - Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV),
  - Klärschlammverordnung (AbfKlärV),
  - Transportgenehmigungsverordnung (TgV),
  - Nachweisverordnung (NachwV).

Die letztgenannte *Nachweisverordnung* [45] beinhaltet in § 3 (Entsorgungsnachweis) die Vorgaben zur Nachweisführung über die Entsorgung von Abfällen. Dies beinhaltet auch ein zwingend vorgeschriebenes *elektronisches Abfallnachweisverfahren (eANV)* für nachweispflichtige Abfälle.

- Für das Engineering der außerbetrieblichen Logistik kann ggf. das Abfallverbringungsgesetz – AbfallVerbrG) [46] wichtig sein. Dieses Gesetz regelt u.a.
  - die Verbringung von Abfällen in das, aus dem oder durch das Bundesgebiet,
  - die mit der Verbringung verbundene Verwertung oder Beseitigung.
- Neben den Bundes-Abfallrecht gibt es auch ein Abfallrecht der einzelnen Bundesländer, ggf. in Form von ergänzenden Gesetzen, Verordnungen und Verwaltungsvorschriften auf Länder- und/oder kommunaler Ebene.

**d) Chemikaliengesetz (ChemG) [17] und Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) [18][19]**

- Zweck des Chemikaliengesetzes gemäß § 1 ist es, den Menschen und die Umwelt vor schädlichen Einwirkungen *gefährlicher Stoffe* und *Gemische* zu schützen, insbesondere die Einwirkungen erkennbar zu machen, sie abzuwenden und ihrem Entstehen vorzubeugen.

Das ChemG setzt die europäische REACH-Verordnung [16] und die GHS/CLP-Verordnung [6] in deutsches Recht um. Entsprechend sind die Begriffe *Stoff* und *Gemisch* wie in der REACH-Verordnung (s. Abschn. 2.3.1.2 Buchst. g)) definiert.

- Betreffs der Gefahren, die von **gefährlichen Stoffen** und **gefährlichen Gemischen** ausgehen, werden in § 3a des ChemG die folgenden Begriffe definiert (s. auch Tab. 2.11).

(2) **Umweltgefährlich** sind Stoffe oder Gemische, die selbst oder deren Umwandlungsprodukte geeignet sind, die Beschaffenheit des Naturhaushaltes, von Wasser, Boden oder Luft, Klima, Tieren, Pflanzen oder Mikroorganismen derart zu verändern, dass daraus sofort oder später Gefahren für die Umwelt herbeigeführt werden.

**Tabelle 2.11** Eigenschaften gefährlicher Stoff bzw. Gemische nach § 3a ChemG [17]

(1) Gefährliche Stoffe oder gefährliche Gemische sind Stoffe oder Gemische, die

- |                          |                               |
|--------------------------|-------------------------------|
| 1. explosionsgefährlich, | 9. ätzend,                    |
| 2. brandfördernd,        | 10. reizend,                  |
| 3. hochentzündlich       | 11. sensibilisierend,         |
| 4. leichtentzündlich,    | 12. krebserzeugend,           |
| 5. entzündlich,          | 13. fortpflanzungsgefährdend, |
| 6. sehr giftig           | 14. erbgutverändernd,         |
| 7. giftig                | 15. umweltgefährdend,         |
| 8. gesundheitsschädlich  |                               |

sind; ausgenommen sind gefährliche Eigenschaften ionisierender Strahlen.

---

- Für die Erarbeitung konkreter Risikominderungsmaßnahmen im Umgang mit gefährlichen Stoffen und gefährlichen Gemischen liefert die Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) [18] inkl. deren Änderung vom 03.02.2015 bezüglich des Explosionsschutzes in [19] eine praktische Handlungsanleitung.  
Nachfolgend werden einige Schwerpunkte daraus aufgeführt.

- Die in Tabelle 2.11 angeführten Merkmale von gefährlichen Stoffen und gefährlichen Gemischen werden in § 3 (Gefährlichkeitsmerkmale) unterstellt.
- Die Änderung der GefStoffV [19], die zeitgleich mit der neuen Betriebssicherheitsverordnung [8] in Kraft trat, regelt den Explosionsschutz (und ergänzend auch den Brandschutz) ab dem 01.06.2015 in der Gefahrstoffverordnung und nicht mehr in der BetrSichV. Damit setzt die GefStoffV auch die ATEX-Herstellerrichtlinie [9] in deutsches Recht um.
- In der § 2 (Begriffsbestimmungen) werden u.a. folgende Begriffe definiert, die z.T. die Begriffsbestimmungen der ATEX-Herstellerrichtlinie ergänzen und präzisieren (s. Abschn. 2.3.1.2, Buchst. c)):

(1) **Gefahrstoffe** im Sinne dieser Verordnung sind

1. gefährliche Stoffe und Zubereitungen nach § 3,
2. Stoffe und Zubereitungen nach § 3, die explosionsfähig sind,
3. Stoffe, Zubereitungen und Erzeugnisse, aus denen bei der Herstellung oder Verwendung Stoffe nach Nummer 1 oder 2 entstehen oder freigesetzt werden,
4. Stoffe und Zubereitungen, die die Kriterien nach den Nummern 1 bis 3 nicht erfüllen, aber auf Grund ihrer physikalisch-chemischen, chemischen oder toxischen Eigenschaften und der Art und Weise, wie sie am Arbeitsplatz vorhanden sind oder verwendet werden, die Gesundheit und die Sicherheit der Beschäftigten gefährden können,
5. alle Stoffe, denen ein Arbeitsplatzgrenzwert zugewiesen worden ist.

(10) Ein **explosionsfähiges Gemisch** ist ein Gemisch aus brennbaren Gasen, Dämpfen, Nebeln oder aufgewirbelten Stäuben und Luft oder einem anderen Oxidationsmittel, dass nach Wirksamwerden einer Zündquelle in einer sich selbstständig fortpflanzenden Flammenausbreitung reagiert, sodass im Allgemeinen ein sprunghafter Temperatur- und Druckanstieg hervorgerufen wird.

- (11) **Chemisch instabile Gase**, die auch ohne ein Oxidationsmittel nach Wirksamwerden einer Zündquelle in einer sich selbständig fortpflanzenden Flammenausbreitung regieren können, sodass ein sprunghafter Temperatur- und Druckanstieg hervorgerufen werden kann, stehen explosionsfähigen Gemischen nach Absatz 10 gleich.
- (12) **Gefährliches explosionsfähiges Gemisch** ist ein explosionsfähiges Gemisch, das in solcher Menge auftritt, dass besondere Schutzmaßnahmen für die Aufrechterhaltung der Gesundheit und Sicherheit der Beschäftigten oder anderer Personen erforderlich werden.
- (13) **Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre** ist ein gefährliches explosionsfähiges Gemisch mit Luft als Oxidationsmittel unter atmosphärischen Bedingungen (Umgebungstemperatur von  $-20^{\circ}\text{C}$  bis  $+80^{\circ}\text{C}$  und Druck von 0,8 Bar bis 1,1 Bar)
- Zusätzlich werden in der GefStoffV u. a. Vorgaben gemacht über:
    - die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen sowie von Erzeugnissen mit Explosivstoff (§ 4). Dabei wird auf die GHS/VLP-Verordnung [6] verwiesen (s. Abschn. 2.3.1.2, Buchst. h)).
    - die Erarbeitung und Nutzung des Sicherheitsdatenblatts (§ 5) unter Verweis auf die REACH-Verordnung [16] (s. Abschn. 2.3.1.2, Buchst. g)),
    - die Pflicht des Auftraggebers gemäß § 6 erstmals vor Aufnahme der Tätigkeit im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung festzustellen, inwieweit seine Beschäftigten durch Gefahrstoffe gefährdet sind.
- In der Änderung der GefStoffV vom 03.02.2015 [19] wird dazu in § 6, Abs. (4) vorgegeben:
- (4) Der Arbeitgeber hat festzustellen, ob die verwendeten Stoffe, Gemische und Erzeugnisse bei Tätigkeiten, auch unter Berücksichtigung verwandelter Arbeitsmittel-, Verfahren und der Arbeitsumgebung sowie ihrer Wechselwirkungen, zu Brand- und Explosionsgefährdungen führen können.
- Dabei hat er zu beurteilen:
1. ob gefährliche Mengen oder Konzentrationen von Gefahrstoffen, die zu Brand- und Explosionsgefährdungen führen können, auftreten, dabei sind sowohl Stoffe und Gemische mit physikalischen Gefährdungen nach der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 (d. Verf.: GHS/VLP-Verordnung) wie auch andere Gefahrstoffe, die zu Brand- und Explosionsgefährdungen führen können, sowie Stoffe, die in gefährlicher Weise miteinander reagieren können, zu berücksichtigen,
  2. ob Zündquellen oder Bedingungen, die Brände oder Explosionen auslösen können, vorhanden sind und
  3. ob schädliche Auswirkungen von Bränden oder Explosionen auf die Gesundheit und Sicherheit der Beschäftigten möglich sind.
- Insbesondere hat er zu ermitteln, ob die Stoffe, Zubereitungen und Erzeugnisse auf Grund ihrer Eigenschaften und der Art und Weise, wie sie am Arbeitsplatz vorhanden sind oder verwendet werden, explosionsfähige Gemische bilden können.
- Im Fall von nicht atmosphärischen Bedingungen sind auch die möglichen Veränderungen der für den Explosionsschutz relevanten sicherheitstechnischen Kenngrößen zu ermitteln und zu berücksichtigen.

- die Durchführung von Gefährdungsbeurteilungen im Umgang mit Gefahrstoffen (§§ 6 und 7), inkl. der Einbeziehung von Brand- und Explosionsgefährdungen.

In der Änderung der GefStoffV vom 03.02.2015 [19] wird dazu in § 6, Abs. (8) vorgegeben:

(8) Der Arbeitgeber hat die Gefährdungsbeurteilung unabhängig von der Zahl der Beschäftigten erstmals vor Aufnahme der Tätigkeit zu dokumentieren.

Dabei ist Folgendes anzugeben:

1. die Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen,
2. das Ergebnis der Prüfung auf Möglichkeiten einer Substitution nach Absatz 1 Satz 2 Nummer 4,
3. eine Begründung für einen Verzicht auf eine technisch mögliche Substitution, sofern die Schutzmaßnahmen nach § 9 oder § 10 zu ergreifen sind,
4. die durchzuführenden Schutzmaßnahmen einschließlich derer,
  - a) die wegen der Überschreitung eines Arbeitsplatzgrenzwerts zusätzlich ergriffen wurden sowie der geplanten Schutzmaßnahmen, die zukünftig ergriffen werden sollen, um die Arbeitsplatzgrenzwerte einzuhalten, oder
  - b) die unter Berücksichtigung eines Beurteilungsmaßstabs für krebserzeugende Gefahrstoffe, der nach § 29 Absatz 4 bekannt gegeben worden ist, zusätzlich getroffen worden sind oder zukünftige getroffen werden sollen (Maßstabsplan),
5. eine Begründung, wenn von den nach § 20 Absatz 4 bekannt gegebenen Regeln und Erkenntnissen abgewichen wird und
6. die Ermittlungsergebnisse, die belegen, dass der Arbeitsplatzgrenzwert eingehalten wird oder, bei Stoffen ohne Arbeitsplatzgrenzwert, die ergriffenen technischen Schutzmaßnahmen wirksam sind.

Im Rahmen der Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung können auch vorhandene Gefährdungsbeurteilungen oder andere gleichwertige Berichte verwendet werden, die auf Grund von Verpflichtungen nach anderen Rechtsvorschriften erstellt worden sind.

- die Einbeziehung von Gefährdungen durch gefährliche explosionsfähige Gemische in die Gefährdungsbeurteilungen, inklusive Vorgaben zum *Explosionsschutzdokument*.

In der Änderung der GefStoffV vom 03.02.2015 [19] wird dazu in § 6, Abs. (9) vorgegeben:

(9) Bei der Dokumentation nach Absatz 8 hat der Arbeitgeber in Abhängigkeit der Festlegungen nach Absatz 4 die Gefährdungen durch gefährliche explosionsfähige Gemische besonders auszuweisen (Explosionsschutzdokument).

Daraus muss insbesondere hervorgehen:

1. dass die Explosionsgefährdungen ermittelt und einer Bewertung unterzogen worden sind,
2. dass angemessene Vorkehrungen getroffen werden, um die Ziele des Explosionsschutzes zu erreichen (Darlegen des Explosionsschutzkonzepts),
3. ob und welche Bereiche entsprechend Anhang I Nummer 1.7 in Zoneneinteilt wurden,

4. für welche Bereiche Explosionsschutzmaßnahmen nach § 11 (d. Verf.: Besondere Schutzmaßnahmen gegen physikalisch-chemische Einwirkungen, insbesondere gegen Brand- und Explosionsgefährdungen) und Anhang I Nummer 1 getroffen wurden,
5. wie die Vorgaben nach § 15 (d. Verf.: Zusammenarbeit verschiedener Firmen) umgesetzt werden und
6. welche Überprüfungen nach § 7 (d. Verf.: Grundpflichten) Absatz 7 und welche Prüfungen zum Explosionsschutz nach Anhang 2 Abschnitt 3 der Betriebssicherheitsverordnung durchzuführen sind.

In Anhang I Nummer 1 (Brand- und Explosionsgefährdungen) der Ergänzung der GefStoffV [19] werden weitere konkrete Vorgaben zu Planung und Betrieb von derartigen Anlagen mit Gefahrstoffen und explosionsgefährdeten Bereichen angeführt.

Dies betreffen u.a.:

- Grundlegende Anforderungen zum Schutz vor Brand- und Explosionsgefährdungen (Abs. 1.2),
- Schutzmaßnahmen in Arbeitsbereichen mit Brand- und Explosionsgefährdungen (Abs. 1.3),
- Organisatorische Maßnahmen (Abs. 1.4),
- Schutzmaßnahmen für die Lagerung (abs. 1.5),
- Mindestvorschriften für den Explosionsschutz bei Tätigkeiten in Bereichen mit gefährlichen explosionsfähigen Gemischen (Abs. 1.6),
- Zoneneinteilung explosionsgefährdeter Bereiche (Abs. 1.7) (entsprechend den Angaben in Abschn. 2.3.1.3, Buchst. b) zur ATEX-Betriebsrichtlinie [29]),
- Mindestvorschriften für Einrichtungen in explosionsgefährdeten Bereichen sowie für Einrichtungen in nichtexplosionsgefährdeten Bereichen, die für den Explosionsschutz in explosionsgefährdeten Bereichen von Bedeutung sind (Abs. 1.8).

Die praktische Anwendung der Ausführungen zur GefStoffV im Engineeringprozess wird in den Abschnitten 3.4 (Sicherheitstechnische Grundlagenermittlung) und 4.3 (Sicherheitstechnische Entwurfsplanung) beschrieben.

#### e) Umwelthaftungsgesetz (UmweltHG) [47]

- Das Umwelthaftungsgesetz, aus dem in Tabelle 2.12 einige Auszüge angeführt sind, regelt die Haftbarkeit für Umweltschäden.

Die Anlagen, welche dem UmweltHG unterliegen, sind im Anhang 1 des Gesetzes aufgeführt. Die Zusammenstellung im Anhang 1 ist gegliedert nach:

- *Wärmeerzeugung, Bergbau, Energie,*
- *Steine, Erden, Glas, Keramik, Baustoffe,*
- *Stahl, Eisen und sonstige Metalle einschließlich Verarbeitung,*
- *Chemische Erzeugnisse, Arzneimittel, Mineralölraffination und Weiterverarbeitung,*
- *Holz, Zellstoff,*

- Oberflächenbehandlung mit organischen Stoffen, Herstellung von bahnenförmigen Materialien aus Kunststoff, sonstige Verarbeitung von Harzen und Kunststoffen,
- Nahrungs-, Genuss- und Futtermittel, landwirtschaftliche Erzeugnisse,
- Abfälle und Reststoffe,
- Lagerung, Be- und Entladung von Stoffen,
- Sonstiges.

Insgesamt sind ca. 100 verschiedene Anlagenarten aufgeführt, d. h. für den Großteil der verfahrenstechnischen und nach der 4. BImSchV [25] (s. Abschn. 5.3) genehmigungsbedürftigen Anlagen gilt das UmweltHG.

Die Begriffsdefinitionen in § 3 des UmweltHG machen zugleich deutlich, dass die möglichen Umwelteinwirkungen und der Anlagenbegriff weit gefasst sind.

- Im UmweltHG wird im § 6 eine so genannte Ursachenvermutung festgelegt. Dabei wird im Schadensfall angenommen, dass eine Anlage mit potentiellen Umweltrisiken a priori die Schäden verursacht hat. Dies entspricht einer verschuldungsunabhängigen Gefährdungshaftung.

Das heißt beispielsweise, ein Betrieb *hafet verschuldungsunabhängig* auch dann, wenn er seine Anlage

- genehmigungskonform,
- unter Einhaltung der zulässigen Grenzwerte,
- unter Berücksichtigung aller Auflagen

ohne Störungen betrieben hat, dies aber *nicht dokumentarisch nachweisen* kann.

Die Gefährdungshaftung ist als „Gegenleistung“ des Betreibers einer Anlage mit einem bestimmten Gefährdungspotenzial gegenüber der Gesellschaft, die dem Betreiber den Betrieb der Anlage erlaubt, zu verstehen.

- Die **Beweislast** liegt im Schadensfall gemäß § 6, Abs. (1) zunächst entsprechend der Ursachenvermutung beim Anlagenbetreiber und nicht beim Geschädigten.

**Tabelle 2.12** Auszug aus dem Umwelthaftungsgesetz (UmweltHG) [47]

---

### § 1 Anlagenhaftung bei Umwelteinwirkungen

Wird durch eine Umwelteinwirkung, die von einer im Anhang 1 genannten Anlage ausgeht, jemand getötet, sein Körper oder seine Gesundheit verletzt oder eine Sache beschädigt, so ist der Inhaber der Anlage verpflichtet, dem Geschädigten den daraus entstehenden Schaden zu ersetzen.

### § 3 Begriffsbestimmungen

- (1) Ein Schaden entsteht durch eine Umwelteinwirkung, wenn er durch Stoffe, Erschütterungen, Geräusche, Druck, Strahlen, Gase, Dämpfe, Wärme oder sonstige Erscheinungen verursacht wird, die sich in Boden, Luft oder Wasser ausgebrettet haben.
- (2) Anlagen sind ortsfeste Einrichtungen wie Betriebsstätten und Lager.

**Tab. 2.12 (Fortsetzung)****§ 3 Begriffsbestimmungen (Fortsetzung)**

- (3) Zu den Anlagen gehören auch
- Maschinen, Geräte, Fahrzeuge und sonstige ortsveränderliche technische Einrichtungen und
  - Nebeneinrichtungen,
- die mit der Anlage oder einem Anlagenteil in einem räumlichen oder betriebstechnischen Zusammenhang stehen und für das Entstehen von Umwelteinwirkungen von Bedeutung sein können.

**§ 5 Beschränkung der Haftung bei Sachschäden**

Ist die Anlage bestimmungsgemäß betrieben worden (§ 6 Abs. 2 Satz 2), so ist die Ersatzpflicht für Sachschäden ausgeschlossen, wenn die Sache nur unwesentlich oder in einem Maße beeinträchtigt wird, das nach den örtlichen Verhältnissen zumutbar ist.

**§ 6 Ursachenvermutung**

- Ist eine Anlage nach den Gegebenheiten des Einzelfalles geeignet, den entstandenen Schaden zu verursachen, so wird vermutet, dass der Schaden durch diese Anlage verursacht ist.  
Die Eignung im Einzelfall beurteilt sich nach dem Betriebsablauf, den verwendeten Einrichtungen, der Art und Konzentration der eingesetzten und freigesetzten Stoffe, den meteorologischen Gegebenheiten, nach Zeit und Ort des Schadeneintritts und nach dem Schadensbild sowie allen sonstigen Gegebenheiten, die im Einzelfall für oder gegen die Schadensverursachung sprechen.
- Absatz 1 findet keine Anwendung, wenn die Anlage bestimmungsgemäß betrieben wurde. Ein bestimmungsgemäßer Betrieb liegt vor, wenn die besonderen Betriebspflichten eingehalten worden sind und auch keine Störung des Betriebs vorliegt.
- Besondere Betriebspflichten sind solche, die sich aus verwaltungsrechtlichen Zulassungen, Auflagen und vollziehbaren Anordnungen und Rechtsvorschriften ergeben, soweit sie die Verhinderung von solchen Umwelteinwirkungen bezeichnen, die für die Verursachung des Schadens in Betracht kommen.
- Sind in der Zulassung, in Auflagen, in vollziehbaren Anordnungen oder in Rechtsvorschriften zur Überwachung einer besonderen Betriebspflicht Kontrollen vorgeschrieben, so wird die Einhaltung dieser Betriebspflicht vermutet, wenn
  - die Kontrollen in dem Zeitraum durchgeführt wurden, in dem die in Frage stehende Umwelteinwirkung von der Anlage ausgegangen sein kann, und diese Kontrollen keinen Anhalt für die Verletzung der Betriebspflicht ergeben haben, oder
  - im Zeitpunkt der Geltendmachung des Schadenersatzanspruchs die in Frage stehenden Umwelteinwirkung länger als zehn Jahre zurückliegt.

- Der Anlagenbetreiber kann die Ursachenvermutung außer Kraft setzen und somit die Beweislast an den Geschädigten übertragen, wenn er die Vorgaben gemäß § 6, Abs. (2), (3) und (4) einhält und dies nachvollziehbar dokumentieren kann.

Dies bedeutet aber insbesondere, dass

- die Einhaltung verwaltungsrechtlicher Zulassungen, von Auflagen und vollziehbaren Anordnungen und von Rechtsvorschriften während des bestimmungsgemäßen Betriebs erfolgt ist und gerichtsfest nachgewiesen werden kann sowie
- alle in der Zulassung, in Auflagen, in vollziehbaren Anordnungen oder in Rechtsvorschriften vorgeschriebenen Kontrollen (z. B. Emissionsmessungen) durchgeführt wurden, keine Pflichtverletzungen ergaben und dies gerichtsfest dokumentiert ist.

Die möglichen und sehr wesentlichen Haftungserleichterungen für den Betreiber bewirken somit erhebliche Dokumentationspflichten während des Anlagenbetriebs aber ggf. auch für das Engineering, soweit im Genehmigungsbescheid behördliche Vorgaben für die Ausführungsplanung enthalten sind.

- Liegt die in Frage stehende Umwelteinwirkung gegenüber dem Zeitpunkt des Schadenersatzanspruchs länger als 10 Jahre zurück, so hat gemäß § 6, Abs. (4) Satz 2 der Geschädigte den ursächlichen Beweis zu erbringen.
- Die Haftungshöchstgrenze nach § 15 UmweltHG liegt bei 85 Millionen Euro, soweit die Schäden aus einer einheitlichen Umwelteinwirkung entstanden sind.
- Für spezielle Anlagen besteht die Pflicht, eine Deckungsvorsorge für eventuelle Schäden, z. B. durch eine Haftpflichtversicherung zu schaffen.

Insgesamt sind bei verfahrenstechnischen Anlagen die Umwelthaftungsrisiken nach UmweltHG und sich daraus ableitende Nachweispflichten erheblich. In der Praxis wird dies, anders als bei den Produkthaftungsrisiken, mitunter unterschätzt.

In Tabelle 2.13 sind Hinweise für die Projektabwicklung, die sich zum einen aus unserer Verantwortung gegenüber der Natur und zum anderen aus den rechtlichen Vorgaben im Umwelthaftungsgesetz ableiten, zusammengefasst.

**Tabelle 2.13** Hinweise für die Projektabwicklung bei Beachtung des UmweltHG [47]

- 
- |           |  |
|-----------|--|
| <p>1.</p> | <p>Im Projekt ist möglichst frühzeitig zu klären, ob die geplante Anlage dem Umwelthaftungsgesetz unterliegt.<br/>In der Regel wird dies bei verfahrenstechnischen Anlagen bejaht werden.</p>  |
| <p>2.</p> | <p>Die Umweltbelange sind grundlegend und umfassend in der Projektvorbereitung und Projektplanung zu berücksichtigen.<br/>Dies kann u. a. betreffen und beeinflussen:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- die Standortwahl (Land, Gegend, Ort),</li><li>- die Öffentlichkeitsarbeit intern und extern (Kommune, Presse, Lobby)</li><li>- den Umfang und die Dauer des Genehmigungsverfahrens, inkl. möglicher Einsprüche, Klagen usw.,</li><li>- die Teamzusammensetzung sowie die Sensibilisierung und Schulung der Teammitglieder,</li><li>- die Vertraulichkeitsregelungen im Projekt,</li><li>- die Partnerwahl während der Projektabwicklung,</li><li>- das Dokumenten-Management im Projekt.</li></ul> |
-

**Tab. 2.13** (Fortsetzung)

- 3.** Die möglichen Umwelteinwirkungen (Umweltgefährdungen) sind ganzheitlich während der Grundlagenermittlung (Phase 1) zu identifizieren und zu analysieren.  
Im Ergebnis sind ausreichend Umweltvorkehrungen abzuleiten und im Lastenheft als Projektziele bzw. -aufgaben zu fixieren.  
Ganzheitlich bedeutet, alle Umweltgefährdungen (z. B. Einwirkungen durch Stoffe, Erschütterungen, Geräusche, Druck, Strahlen, Gase, Dämpfe, Wärme) in allen Phasen der Projektabwicklung zu berücksichtigen.
- 4.** Während der Grundlagenermittlung (Phase 1) ist zu analysieren, welche speziellen *Besonderen Betriebspflichten* gem. *UmweltHG* (s. Tab. 2.12, § 6, Abs. (2) und (3)) für das Projekt zu erwarten sind. Dabei sind außer den Engineeringphasen auch die Baustellen- und Inbetriebnahmephassen zu beachten.  
Bereits bekannte *Besondere Betriebspflichten* sind zu identifizieren und ggf. im Lastenheft vorzugeben.
- 5.** Während der Vorplanung (Phase 2) und dem Basic Engineering (Phase 3) sind die Vorgaben, die sich aus Punkt 3. und 4. ableiten, ingenieurtechnisch umzusetzen. Dies kann z. B. betreffen:
- die Wahl weniger umweltgefährdender Roh- und Hilfsstoffe sowie Energien,
  - die zweckmäßige Verfahrens- und oder Ausrüstungswahl, inkl. Prozessparameter,
  - die Minimierung von Umweltgefährdungen im Dauerbetrieb, aber auch während Bau/Montage und Inbetriebnahme,
  - die gezielte messtechnische Erfassung (kontinuierlich, stichprobenartig) und Registrierung (mittels Prozessleitsystem, spezielle Datenbank, elektronisch/ gegenständlich) möglicher Umwelteinwirkungen (Schadstoffemissionen an Kontrollstellen, Schallemission bzw. Erschütterungen an Anlagengrenze usw.).
- 6.** Beachtung der Vorgaben und Ergebnisse aus den vorherigen Punkten 2. bis 5. beim Ausarbeiten des Genehmigungsantrags und im weiteren Genehmigungsverfahren.
- 7.** Auswertung und Selektierung des Genehmigungsbescheids sowie weiterer relevanter verwaltungsrechtlicher Dokumente und Rechtsvorschriften im Projektteam bezüglich *Besondere Betriebspflichten n. UmweltHG*, die während der anschließenden Anlagenrealisierung (Phase 6 bis 9) eingehalten werden müssen.
- 8.** Formulierung der gemäß Punkt 7. identifizierten *Besonderen Betriebspflichten* (z. B. in Nebenbestimmungen) sowie der zugehörigen Projektziele/-aufgaben inkl. Verantwortung, Befugnisse und Zuständigkeiten.
- 9.** Erarbeiten eines Maßnahmen- und Qualitätssicherungsplans für die technische Realisierung, die Erfüllungskontrolle und die gerichtsfeste Dokumentation und Ablage der Erfüllungsnachweise zu den *Besonderen Betriebspflichten n. UmweltHG*.  
Die angeführten Pläne haben strukturiert zu umfassen:
- die noch ausstehende Engineeringphase 6 (Detail Engineering),
  - die Beschaffungsvorgänge (Phase 7), insbesondere Package-units,
  - die Baustellenabwicklung (Phase 8), mit i. d. R. spezifischen Betriebspflichten,
  - die Inbetriebnahme (Phase 9), mit i. Allg. erhöhten Unwägbarkeiten.
- 10.** Die Erfüllungskontrolle zu den umweltrelevanten Pflichten aus verwaltungsrechtlichen Zulassungen, Auflagen und vollziehbaren Anordnungen und Rechtsvorschriften sollte vom Projektleiter, u. U. auch vom Baustellen- und Inbetriebnahmleiter, persönlich wahrgenommen werden.

Der Projektleiter muss letztlich nicht nur seiner Umweltverantwortung gerecht werden, er muss auch sicherstellen, dass er die Erfüllung aller umweltrelevanten Pflichten, insbesondere aus dem Genehmigungsbescheid, gerichtsfest nachweisen kann.

Es erscheint ratsam, in das zuvor beschriebene Controlling zu den behördlichen umweltrelevanten Vorgaben auch die anderen behördlich angeordneten Pflichten (bzgl. Sicherheit, Anzeige, Prüfung, Fortschreibung, Dokumentation usw.) mit aufzunehmen.

### **2.3.2.3 Produktsicherheitsrecht und Anlagensicherheitsrecht**

Das deutsche Recht zur Produkt- und Anlagensicherheit setzt vorrangig die produktbezogenen EU-Richtlinien, die in Abschn. 2.3.1.2, Buchst. a) bis e) beschrieben sind, in nationales Recht um. Von zentraler Bedeutung sind das nachfolgend erläuterte Produktsicherheitsgesetz und die Betriebssicherheitsverordnung.

#### **a) Produktsicherheitsgesetz (ProdSG) [33]**

- Vorläufer des ProdSG war das 1968 erlassene Gerätesicherheitsgesetz (GSG), mit dem die BRD sehr frühzeitig die Produktsicherheit gesetzlich regelte.  
Das ProdSG dient der Umsetzung von über 20 EU-Richtlinien. Im § 1 (Anwendungsbereich) ist formuliert:

- (1) Dieses Gesetz gilt, wenn im Rahmen einer Geschäftstätigkeit *Produkte* auf den Markt bereitgestellt, ausgestellt oder erstmals verwendet werden.
- (2) Dieses Gesetz gilt auch für die Errichtung und den Betrieb *überwachungsbedürftiger Anlagen*, die gewerblichen oder wirtschaftlichen Zwecken dienen oder durch die Beschäftigte gefährdet werden können, mit Ausnahme der überwachungsbedürftigen Anlagen.....(d. Verf.: für Anlagenprojekte wenig relevant).

Gegenstand des ProdSG sind somit **Produkte** und **überwachungsbedürftige Anlagen**, die in § 2 (Begriffsbestimmungen) wie folgt definiert sind.

Im Sinne dieses Gesetzes sind:

21. sind **Produkte** Waren, Stoffe oder Zubereitungen, die durch einen Fertigungsprozess hergestellt worden sind.

30. sind **überwachungsbedürftige Anlagen**

- a) Dampfkesselanlagen mit Ausnahme von Dampfkesselanlagen auf Seeschiffen,
- b) Druckbehälteranlagen außer Dampfkesseln,
- c) Anlagen zur Abfüllung von verdichteten, verflüssigten oder unter Druck gelösten Gasen,
- d) Leitungen unter inneren Überdruck für brennbare, ätzende oder giftige Gase, Dämpfe oder Flüssigkeiten,
- e) Aufzugsanlagen,
- f) Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen,
- g) Getränkeschankanlagen und Anlagen zur Herstellung kohlensaurer Gase,
- h) Acetylenanlagen und Calciumcarbidlager,

- i) Anlagen zur Lagerung, Abfüllung und Beförderung von brennbaren Flüssigkeiten.

Zu den überwachungsbedürftigen Anlagen gehören auch Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen, die dem sicheren Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen dienen; zu den in den Buchstaben b, c und d bezeichneten überwachungsbedürftigen Anlagen gehören nicht die Energieanlagen im Sinne des Energiewirtschaftsgesetzes.

Überwachungsbedürftige Anlagen stehen den Produkten im Sinne von Nummer 22 gleich, soweit sie nicht schon von Nummer 22 erfasst sind.

Das ProdSG erfasst somit nahezu alle Hersteller- bzw. Lieferantenerzeugnisse sowie viele Teilanlagen, Package-units und Anlagenkomponenten, die per Gesetz ein Produkt bzw. eine überwachungsbedürftige Anlage sind.

- Das Produktsicherheitsgesetz macht u.a. Vorgaben betreffs:
  - Allgemeine Anforderungen an die Bereitstellung von Produkten auf dem Markt (§ 3).
  - Beachtung harmonisierter Normen bei der Beurteilung, ob ein Produkt den Anforderungen entspricht (§ 4).
  - CE-Kennzeichnung des Produkts (§ 7), bevor es in den Verkehr gebracht wird.

Bem.: Inverkehrbringen ist im Sinne des ProdSG die erstmalige Bereitstellung eines Produkts auf dem Markt; die Einfuhr in den Europäischen Wirtschaftsraum steht dem Inverkehrbringen eines neuen Produkts gleich (§ 2, Nummer 15).

  - Zuerkennung und Anbringen des GS-Zeichens (**Geprüft Sicherheit**).
- Im Sinne von Ausführungsbestimmungen wurden für bestimmte Produktarten/-gruppen einzelne Verordnungen zum ProdSG (sog. ProdSV) erlassen. Die wichtigsten sind:
  - Maschinenverordnung (9. ProdSV) [2] → aus Maschinenrichtlinie [1],
  - Druckgeräteverordnung (14. ProdSV) [7] → aus Druckgeräte-RL [3],
  - Explosionsschutzverordnung (11. ProdSV) [10] → aus ATEX-Hersteller-richtlinie [9].

In diesen Verordnungen wird i. Allg. auf Regelungen in der zugehörigen EU-Richtlinie verwiesen, insbesondere auf die notwendige Konformitätserklärung, Betriebsanleitung und CE-Kennzeichnung bei Inverkehrbringen des Produkts (s. nähere Angaben in Abschn. 2.3.1.2).

### b) **Produkthaftungsgesetz (ProdHaftG)** [48]

- Das Produkthaftungsgesetz formuliert im § 2:

**Produkt** im Sinne dieses Gesetzes ist jede bewegliche Sache, auch wenn sie einen Teil einer anderen beweglichen Sache oder einer unbeweglichen Sache bildet, sowie Elektrizität.

Ein Produkt nach ProdHaftG ist somit eine *bewegliche Sache*. Damit ist diese Produktdefinition relativ eindeutig und zugleich etwas abweichend zu der des Produktsicherheitsgesetzes (s. Buchstabe a) dieses Abschnitts).

Gemäß dieser Definition sind in verfahrenstechnischen Anlagen die meisten gelieferten Komponenten als Produkte im Sinne des ProdHaftG zu verstehen und zu handhaben. Da der Hersteller zu seinem Produkt nicht selten auch die Ausführungsplanung (Detail Engineering) macht, wie z. B. in Form der

- Werkstattzeichnung mit Stückliste,
  - Festigkeitsberechnung und -nachweis; bei Druckgeräten ggf. Entwurfs- und Druckprüfung,
  - Risikobeurteilung und Konformitätserklärung,
  - Betriebsanleitung.
  - produktzugehörigen Herstellerdokumentation,
- betrifft das ProdHG auch dessen Engineeringleistungen.
- Im Weiteren soll im Zusammenhang mit Planungsleistungen des Herstellers analysiert werden:

*Welche Anforderungen ergeben sich aus dem ProdHaftG für die Haltung des Herstellers für sein Produkt und welche Engineering- bzw. Dokumentationspflichten resultieren daraus?*

Um diese Frage zu beantworten, gilt es zunächst den Gesetzestext in Tabelle 2.14 zu lesen und zu verstehen, um anschließend folgende Schlussfolgerungen zu ziehen:

- (1) Der Hersteller sollte Produktfehler möglichst vermeiden, sodass diese Haltungsvoraussetzung a priori nicht gegeben wird. Dies erfordert gemäß § 3, dass das Produkt unter Berücksichtigung aller Umstände, insbesondere
  - seiner Darbietung und
  - seines Gebrauchs, mit dem billigerweise gerechnet werden kann, ausreichend sicher ist.

**Darbietung** ist die Summe der schriftlichen, mündlichen und sonstigen Äußerungen des Herstellers zu Eigenschaften, Funktionen, Anwendungen, Zuverlässigkeit und Sicherheit eines Produkts [49].

Zur Darbietung dient hauptsächlich die Produkt- bzw. Herstellerdokumentation.

Der gemäß § 3 definierte Fehlerbegriff beinhaltet jedoch auch einen **Fehlgebrauch** des Produkts, mit dem der Hersteller rechnen muss [50].

Eine fehlerfreie Darbietung (Dokumentation) muss deshalb benutzer-spezifische Hinweise auf die bestimmungsgemäße Verwendung des Produkts sowie auf Restgefahren und Vorkehrungen enthalten.

- (2) Bei der Produktentwicklung und -darbietung sind die geltenden Rechtsvorschriften und i.d.R. auch die allgemein anerkannten Regeln der Technik einzuhalten. Genügt ein Produkt (inkl. zugehörige Dokumentation) nicht den rechtlichen u. a. Normen, so muss i. Allg. gefolgert werden, dass es nicht die notwendige Sicherheit bietet und damit gemäß § 3, ProdHaftG einen Fehler hat.

**Tabelle 2.14** Auszug aus dem Produkthaftungsgesetz (ProdHaftG) [48]**§ 1 Haftung**

(1) Wird durch den Fehler eines Produkts jemand getötet, sein Körper oder seine Gesundheit verletzt oder eine Sache beschädigt, so ist der Hersteller des Produkts verpflichtet, dem Geschädigten den daraus entstehenden Schaden zu ersetzen.

Im Fall der Sachbeschädigung gilt dies nur, wenn eine andere Sache als das fehlerhafte Produkt beschädigt wird und diese andere Sache ihrer Art nach gewöhnlich für den privaten Ge- oder Verbrauch bestimmt und hierzu von dem Geschädigten hauptsächlich verwendet worden ist.

(2) Die Ersatzpflicht des Herstellers ist ausgeschlossen, wenn

1. er das Produkt nicht in den Verkehr gebracht hat,
2. nach den Umständen davon auszugehen ist, dass das Produkt den Fehler, der den Schaden verursacht hat, noch nicht hatte, als der Hersteller es in den Verkehr brachte,
3. er das Produkt weder für den Verkauf oder eine andere Form des Vertriebs mit wirtschaftlichem Zweck hergestellt, noch im Rahmen seiner beruflichen Tätigkeit hergestellt oder vertrieben hat,
4. der Fehler darauf beruht, dass das Produkt in dem Zeitpunkt, in dem der Hersteller es in den Verkehr brachte, dazu zwingenden Rechtsvorschriften entsprochen hat, oder
5. der Fehler nach dem Stand der Wissenschaft und Technik in dem Zeitpunkt, in dem der Hersteller das Produkt in den Verkehr brachte, nicht erkannt werden konnte.

(4) Für den Fehler, den Schaden und den ursächlichen Zusammenhang zwischen Fehler und Schaden trägt der Geschädigte die Beweislast. Ist streitig, ob die Ersatzpflicht gemäß Absatz 2 oder 3 ausgeschlossen ist, so trägt der Hersteller die Beweislast.

**§ 3 Fehler**

(1) Ein Produkt hat einen Fehler, wenn es nicht die Sicherheit bietet, die unter Berücksichtigung aller Umstände, insbesondere

- a) seiner Darbietung,
  - b) des Gebrauchs, mit dem billigerweise gerechnet werden kann,
  - c) des Zeitpunkts, in dem es in Verkehr gebracht wurde,
- berechtigterweise erwartet werden kann.

(3) Ein strukturiertes und haftungssicheres Vorgehen sollte die folgenden, nachvollziehbar zu dokumentierenden Arbeitsschritte beinhalten [49]:

- Produkt- und Zielgruppenanalyse,
- Recherche und Zusammenstellung der geltenden Anforderungen aus Rechtsvorschriften und Normen,
- Risikobeurteilung inkl. notwendige Sicherheitskennzeichnung,
- Nachweis, dass das Produkt die gestellten Anforderungen erfüllt (interne Dokumentation),
- Einbau- oder EG-Konformitätserklärung,
- Betriebsanleitung.

- (4) Voraussetzung für eine Schadenersatzpflicht des Herstellers nach § 1, ProdHaftG ist zunächst, dass durch den Fehler eines Produkts ein Mensch getötet, an Körper oder Gesundheit verletzt oder eine andere Sache (nicht nur das fehlerhafte Produkt) beschädigt wurde.

Gemäß § 1, Abs. (4), 1. Satz hat der Geschädigte den Schaden, den Fehler und den ursächlichen Zusammenhang zwischen Fehler und Schaden zu beweisen (Beweislast). Soweit ist die angeführte Regelung zunächst analog zum BGB zu sehen, aber dies ist nur die „halbe Wahrheit“.

Den Unterschied im Sinne einer verschuldensunabhängigen Haftung macht der 2. Satz, Abs. (4) aus, in dem der Gesetzgeber eine Beweislastumkehr festlegt, sobald die Ersatzpflicht des Herstellers gemäß § 1, Abs. (2) oder (3) streitig ist. Für den Hersteller ergeben sich im Haftungsfall somit zwei Varianten.

Kann er belegen, dass einer der Punkte von Abs. (2) zutrifft, z. B. durch

- Nachweis, dass der schadenverursachende Produktfehler zum Zeitpunkt seines Inverkehrbringens nicht vorlag oder
- Nachweis, dass der Produktfehler gemäß damaligen Stand der Wissenschaft und Technik nicht erkannt werden konnte,

so bleibt die *Beweislast beim Geschädigten*.

Gelingt dies dem Hersteller nicht, und in der Praxis ist diese Situation nicht selten, muss der Hersteller den kausalen Beweis erbringen. Dazu hat er zu beweisen, dass „nach den Umständen davon auszugehen ist“, dass das Produkt zum Zeitpunkt des Inverkehrbringens den Fehler noch nicht aufwies.

### c) Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) [8]

- Unter dem Titel „Verordnung über Sicherheit- und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmittel“ ist seit dem 01. Juni 2015 eine neue Betriebssicherheitsverordnung in Kraft. Sie ist eine komplexe Verordnung, die auch für verfahrenstechnische Anlagen wichtige Regelungen beinhaltet und für die gemäß § 1 (Anwendungsbereich und Zielstellung) gilt:

(1) Diese Verordnung gilt für die Verwendung von Arbeitsmitteln.

Ziel dieser Verordnung ist es, die Sicherheit und den Schutz der Gesundheit von Beschäftigten bei der Verwendung von Arbeitsmitteln zu gewährleisten.

Dies soll insbesondere erreicht werden durch

1. die Auswahl geeigneter Arbeitsmittel und deren sichere Verwendung,
2. die für den vorgesehenen Verwendungszweck geeignete Gestaltung von Arbeits- und Fertigungsverfahren sowie
3. die Qualifikation und Unterweisung der Beschäftigten.

Diese Verordnung regelt hinsichtlich der in Anhang 2 genannten überwachungsbedürftigen Anlagen zugleich Maßnahmen zum Schutz von Personen im Gefahrenbereich, soweit diese aufgrund der Verwendung dieser Anlagen durch Arbeitgeber im Sinne des § 2 Absatz 3 gefährdet werden können.

- Die wichtigen Begriffe sind in § 2 (Begriffsbestimmungen) der BetrSichV folgendermaßen definiert:

(1) **Arbeitsmittel** sind Werkzeuge, Geräte, Maschinen oder Anlagen, die für die Arbeit verwendet werden.

(2) Die **Verwendung von Arbeitsmitteln** umfasst jegliche Tätigkeiten mit diesen. Hierzu gehören insbesondere das Montieren und Installieren, Bedienen, An- und Abschalten oder Einstellen, Gebrauchen, Betreiben, Instandhalten, Reinigen, Prüfen, Umbauen, Erproben, Demontieren, Transportieren und Überwachen.

(8) **Prüfung** ist die Ermittlung des Istzustandes, der Vergleich des Istzustandes mit dem Sollzustand sowie die Bewertung der Abweichung des Istzustandes vom Sollzustand.

(9) **Prüfpflichtige Änderung** ist jede Maßnahme, durch welche die Sicherheit eines Arbeitsmittels beeinflusst wird. Auch Instandsetzungsarbeiten können solche Maßnahmen sein.

(13) **Überwachungsbedürftige Anlagen** sind Anlagen nach § 2 Nummer 30 des Produktsicherheitsgesetzes, soweit sie in Anhang 2 genannt sind.

- Für die Bereitstellung und Benutzung der Arbeitsmittel legt die BetrSichV u.a. die Erarbeitung von **Gefährdungsbeurteilungen** durch den Arbeitgeber für die Arbeitstätigkeiten seiner Beschäftigten fest.

Dazu werden in § 3 (Gefährdungsbeurteilung) folgende Angaben gemacht:

Abs. (1) Der Arbeitgeber hat vor der Verwendung von Arbeitsmitteln die auftretenden Gefährdungen zu beurteilen (Gefährdungsbeurteilung) und daraus notwendige und geeignete Schutzmaßnahmen abzuleiten.

Das Vorhandensein einer CE-Kennzeichnung am Arbeitsmittel entbindet nicht von der Pflicht zur Durchführung einer Gefährdungsbeurteilung.

In den Absätzen (2) bis (9) sind u.a. Angaben darüber gemacht:

- Welche Gefährdungen in die Gefährdungsbeurteilung einzubeziehen sind?
- Wann die Gefährdungsbeurteilung durchzuführen, zu überprüfen und gegebenenfalls zu aktualisieren ist?
- Wie die Ergebnisse der Gefährdungsbeurteilung zu dokumentieren sind?

Über Gefährdungsbeurteilungen wurden bereits in Abschn. 1.7.1 (Sicherheitsarbeit) und Abschn. 2.3.2.2, Buchst d) (Gefahrstoffverordnung) dieses Buchs grundlegende Ausführungen gemacht.

- In der o.g. Begriffsdefinition zu *überwachungsbedürftigen Anlagen* wird auf das Produktsicherheitsgesetz [33] (s. Buchst. a) dieses Abschnitts 2.3.2.3) und deren Erwähnung in Anhang 2 der BetrSichV verwiesen.

Gemäß Anhang 2 (Prüfvorschriften für überwachungsbedürftige Anlagen) sind davon im Wesentlichen folgende Anlagen erfasst:

- *Aufzugsanlagen* gem. Abschnitt 2 in Anhang 2,
- *Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen* gem. Abschnitt 3 in Anhang 2,
- *Druckanlagen* gem. Abschnitt 4 in Anhang 2 und mit folgender Definition:

2.1 Druckanlagen im Sinne der Nummer 1 sind:

- a) Dampfkesselanlagen, die beheizte überhitzungsgefährdete Druckgeräte zur Erzeugung von Dampf oder Heißwasser mit einer Temperatur von mehr als 110 °C beinhalten,

- b) Druckbehälteranlagen außer Dampfkessel,
  - c) Anlagen zur Abfüllung von verdichteten, verflüssigten oder unter Druckgelösten Gasen einschließlich der Lager- und Vorratsbehälter (Füllanlagen), die dazu bestimmt sind, dass in ihnen folgende Behälter, Geräte und Fahrzeuge befüllt werden:
    - aa) Druckbehälter zum Lagern von Gasen mit Gasen aus ortsbeweglichen Druckgeräten,
    - bb) ortsbewegliche Druckgeräte mit Gasen,
    - cc) Land-, Wasser- oder Luftfahrzeuge mit Gasen zur Verwendung als Treib- oder Brennstoff,
  - d) Rohrleitungsanlagen unter inneren Überdruck für Gase, Dämpfe oder Flüssigkeiten, die nach der Verordnung (EG) Nr. 1273/2008 (d. Verf.: GHS/CLP-Verordnung[6]) in deren Anhang I wie folgt eingestuft sind:
    - aa) als entzündliche Gase in Nummer 2.2,
    - bb) als entzündliche Flüssigkeiten in Nummer 2.6, sofern sie einen Flammpunkt von höchstens 55 °C haben,
    - cc) als pyrophore Flüssigkeiten in Nummer 2.9,
    - dd) als akut toxisch in Nummer 3.1.2 Kategorie 1 oder 2 oder
    - ee) als ätzende in Nummer 3.2.2.6.
- Die Prüfung der überwachungsbedürftigen Anlage hat vor *der erstmaligen Inbetriebnahme* und gegebenenfalls *wiederkehrend* zu erfolgen.  
Sie ist zusätzlich zu
    - den Prüfungen des Herstellers von Geräten und Schutzsystemen zur Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen nach ATEX-Herstellerrichtlinie [9] (s. Abschn. 2.3.1.2, Buchst. c)),
    - den Schluss- und Druckprüfungen des Herstellers gemäß Druckgeräte-Richtlinie [3] (s. Abschn. 2.3.1.2, Buchst. b)) bzw.zu verstehen, die der Produkt-Hersteller im Rahmen des Konformitätsbewertungsverfahrens durchführt.
  - In Abschnitt 3 (*Explosionsgefährdungen*) des Anhangs 2 der BetrSichV wird u.a. für die Prüfung der Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen unter Ziff. 4., Abs. 4.1 bzw. Ziff. 5., Abs. 5.1 festgelegt:
    - 4.1 Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen sind vor der erstmaligen Inbetriebnahme und nach prüfpflichtigen Änderungen auf Explosionssicherheit zu prüfen.  
Hierbei sind das im Explosionsschutzdokument nach § 6 Absatz 9 Nummer 2 der Gefahrstoffverordnung dargelegte Explosionsschutzkonzept und die Zonen-einteilung zu berücksichtigen.  
Bei der Prüfung ist festzustellen, ob
      - a) die für die Prüfung benötigten Unterlagen vollständig vorhanden sind,
      - b) die Anlage entsprechend dieser Verordnung errichtet und in einem sicheren Zustand ist und
      - c) die festgelegten technischen und organisatorischen Maßnahmen wirksam sind.

5.1 Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen sind mindestens alle sechs Jahre auf Explosionssicherheit zu prüfen.

Hierbei sind das *Explosionsschutzdokument* und die Zoneneinteilung zu berücksichtigen.

Bei der Prüfung ist festzustellen, ob.....(usw. usf.)

Während des Engineerings wird das *Explosionsschutzdokument* im Basic Engineering (Phase 3) erarbeitet (s. Abschn. 4.3.3). Es ist im Projektverlauf entsprechend den Änderungen im Genehmigungsverfahrens, während des Detail Engineerings und während der Bau-/Montagephase fortzuschreiben.

- Wesentlicher Inhalt der BetrSichV sind die Angaben in Anhang 2, Abschnitt 4 über die *überwachungspflichtigen Druckanlagen*. Bekanntlich werden damit frühere Einzel-Verordnung, u.a. für Dampfkessel-, Druckbehälter-, Aufzugsanlagen sowie Anlagen mit brennbaren Flüssigkeiten, ersetzt.

In Abschnitt 4 (Druckanlagen) steht einleitend unter Abs. 1:

#### **1. Anwendungsbereich und Ziel**

Dieser Abschnitt gilt für die Prüfung der in den Nummern 2.1 und 2.2 aufgeführten Druckanlagen (Anlagen und Anlagenteile) vor der erstmaligen Inbetriebnahme und nach prüfpflichtigen Änderungen sowie für wiederkehrende Prüfungen.

- Bezuglich der *Prüfungen vor Inbetriebnahme* wird u.a. in Anhang 2, Abschn. 4, Abs. 4 vorgegeben:

#### **4. Prüfung von Druckanlagen vor Inbetriebnahme und nach prüfpflichtigen Änderungen**

4.2 Bei der Prüfung vor Inbetriebnahme ist zu prüfen, ob

- a) die für die Prüfung benötigten technischen Unterlagen, wie beispielsweise die EG-Konformitätserklärung, vorhanden sind und ihr Inhalt plausibel ist und
- b) die Anlage einschließlich der Anlagenteile entsprechend dieser Verordnung errichtet wurde und in einem sicheren Zustand ist.

Die Prüfung nach einer prüfpflichtigen Änderung darf sich darauf beschränken zu prüfen, ob die Anlage entsprechend dieser Verordnung geändert wurde und sicher funktioniert.

- Welche befähigte Person im Einzelfall die Erstprüfung durchführen muss, hängt (analog zur Einstufung der Druckgeräte in Kategorien und Module des nach Druckgeräte-Richtlinie [3] (s. Abschn. 2.3.1.2, Buchst. b)) von

- der Art des Druckgeräts,
- der Gruppe, in die das Fluid eingestuft wurde,
- dem maximal zulässigen Druck PS,
- dem maßgeblichen Volumen V (für Behälter) bzw. der Nennweite DN (für Rohrleitungen),
- dem Produkt aus Druck und Volumen PS\*V (für Behälter) bzw. aus Druck und Nennweite P\*DN (für Rohrleitungen)

ab und wird durch eine entsprechende Einstufung in eine sog. *Prüfgruppe* klassifiziert.

Die Darstellung erfolgt tabellarisch gemäß dem Beispiel in Tabelle 2.15.

**Tabelle 2.15** Zuordnung und Prüfung von Druckbehältern nach Nummer 2.2 Satz 1 Buchstabe a und e für Gase, Dämpfe und überhitzte Flüssigkeiten der Fluidgruppe 1

Prüfgruppe	V [Liter]	Prüfgruppen- grenzen PS [bar] bzw. PS · V [bar · Liter]	Prüfung vor Inbetrieb- nahme	Wiederkehrende Prüfung		
				Äußere Prüfung	Innere Prüfung	Festigkeits- prüfung
I	> 1	PS > 0,5 und 25 < PS · V ≤ 50	bP	bP	bP	bP
II	> 1	PS > 0,5 und 50 < PS · V ≤ 200	bP	bP	bP	bP
III	≤ 1	200 < PS ≤ 1000	ZÜS	bP	bP	bP
	> 1	0,5 < PS ≤ 1 bar und 200 < PS · V ≤ 1000	bP			
		PS > 1 bar und 200 < PS · V ≤ 1000	ZÜS			
IV	≤ 1	PS > 1000	ZÜS	ZÜS	ZÜS	ZÜS
	> 1	0,5 < PS ≤ 1 bar und PS · V > 1000	bP	bP	bP	bP
		PS > 1 bar und PS · V > 1000	ZÜS	ZÜS	ZÜS	ZÜS

Legende 1: ZÜS – zugelassenen Überwachungsstelle; bP – zur Prüfung befähigte Person

Legende 2: Buchstabe a – geräte, die Druckbehälter sind;

Buchstabe e: ortsbewegliche Druckgeräte

- Für die *Wiederkehrenden Prüfungen* wird in Anhang 2, Abschn. 4, Abs. 5 festgelegt:

## 5. Wiederkehrende Prüfungen von Anlagen und Anlagenteilen

### 5.2 Bei der wiederkehrenden Prüfung ist festzustellen, ob

- a) die für die Prüfung benötigten technischen Unterlagen vorhanden sind und ihr Inhalt plausibel ist,
- b) sich die Anlage in einem dieser Verordnung entsprechenden Zustand befindet und sicher verwendet werden kann und
- c) die festgestellten technischen u. organisatorischen Maßnahmen wirksam sind.

Die Fristen für die wiederkehrenden Prüfungen sind einzelnen Tabellen, die ähnlich der Tabelle 2.15 aufgebaut sind, zu entnehmen. Die Höchstfristen für Druckgeräte mit hohem Gefahrenpotential enthält Tabelle 2.16.

- Abschließend zur Betriebssicherheitsverordnung sind einige Bemerkungen zu den wichtigen *Technischen Regeln für Betriebssicherheit* (TRBS) angefügt. In Abschn. 2.3.2.1 war bereits auf die Problematik des Übergangs bisheriger Regeln (u.a. TRD, TRB, TRR, TRbF) auf neue Technische Regeln TRBS hingewiesen worden.

**Tabelle 2.16** Höchstfristen für die wiederkehrende Prüfungen von Anlagenteilen durch eine zugelassene Überwachungsstelle (ZÜS)

Anlagenteil	Äußere Prüfung	Innere Prüfung	Festigkeitsprüfung
Dampfkessel nach Nummer 5.9 Tabelle 2	1 Jahr	3 Jahre	9 Jahre
Druckbehälter nach Nummer 5.9 Tabelle 3, 4, 5 und 6	2 Jahre (Ausnahmen nach Nummer 5.6 Satz 1)	5 Jahre	10 Jahre
Einfache Druckbehälter nach Nummer 5.9 Tabelle 7	-	5 Jahre	10 Jahre
Rohrleitungen nach Nummer 5.9 Tabelle 8, 9, 10 und 11	5 Jahre	-	5 Jahre

In Tabelle 2.17 ist aus der TRBS 1001 [51] die Gliederung aller Technischen Regeln für Betriebssicherheit enthalten. Der aktuelle Stand zeigt, dass zum Teil 1 (Allgemeines und Grundlagen) und Teil 2 (Gefährdungsbezogene Regeln) bereits die meisten Regeln vorliegen, während vom wichtigen Teil 3, insbesondere zu den überwachungsbedürftigen Anlagen, noch viele TRBS in Arbeit sind.

**Tabelle 2.17** Thematische Gliederung der Technischen Regeln für Betriebssicherheit [51]

<b>1</b>	<b>Allgemeines und Grundlagen</b>	
1.1	Methodisches Vorgehen	TRBS 1001....1009
1.1.1	Gefährdungsbeurteilung und sicherheitstechnische Bewertung	TRBS 1111....1129
1.1.2	Änderung und wesentliche Veränderung	TRBS 1121....1129
1.1.3	Dokumentation	TRBS 1131....1139
1.1.4	Information und Kennzeichnung	TRBS 1141....1149
1.1.5	Ergonomische Zusammenhänge	TRBS 1151....1159
1.2	Prüfungen	TRBS 1201....1209
1.3	Erfassung und Behandlung von Unfällen und Schadensfällen	TRBS 1301....1309
<b>2</b>	<b>Gefährdungsbezogene Regeln</b>	
2.1	Allgemeine Gefährdungen	
2.1.1	Mechanische Gefährdungen	TRBS 2111....2119
2.1.2	Gefährdungen durch Absturz von Personen, Lasten oder Materialien	TRBS 2121....2129
2.1.3	Elektrische Gefährdungen	TRBS 2131....2139
2.1.4	Gefährdungen durch Dampf und Druck	TRBS 2141....2149
2.1.5	Brand- und Explosionsgefährdungen	TRBS 2151....2159

**Tab. 2.17** (Fortsetzung)

<b>2</b>	<b>Gefährdungsbezogene Regeln</b> (Fortsetzung)	
2.1.7	Gefährdungen durch sonstige physikalische Einwirkungen	TRBS 2171....2179
2.1.8	Sonstige Gefährdungen	TRBS 2181....2189
2.2	Gefährdungen durch Wechselwirkungen	TRBS 2201....2209
2.3	Tätigkeitsbezogene und sonstige Gefährdungen	
2.3.1	Tätigkeitbezogene Gefährdungen	TRBS 2311....2319
2.3.2	Sonstige Gefährdungen	TRBS 2321....2329
<b>3.</b>	<b>Spezifische Regeln für Arbeitsmittel, überwachungsbedürftige Anlagen oder Tätigkeiten</b>	

### 2.3.2.4 Arbeitssicherheitsrecht und Gesundheitsschutzrecht

Die **Arbeitssicherheit**, wie sie in Abschn. 1.6.1 bzw. im Glossar definiert ist, hat das Ziel, die Arbeit sicher zu machen. Schutzziele sind vorrangig die Beschäftigten, aber letztlich auch das Vermögen und die Umwelt.

Der Fahrer eines Gefahrguttransports, der besonders abgelenkt oder übermüdet ist und infolge dessen einen schweren Fahrunfall verursacht, schadet nicht nur seiner Gesundheit, sondern bewirkt zugleich auch einen erheblichen Sach- und Umweltschaden.

Die Begriffe *Arbeits- und Gesundheitsschutz* versteht der Autor als Teil der Arbeitssicherheit. Beide dienen im engeren Sinne dem Schutz der Beschäftigten, weniger den anderen Schutzz Zielen. Der Arbeitsschutz soll Verletzungen (z. B. durch Unfall) und der Gesundheitsschutz soll längerfristige Auswirkungen auf die Gesundheit (z. B. Berufskrankheiten) verhindern.

Grundsätzlich sind bei den Rechtsvorschriften, wie auch im praktischen Handeln, die in Abb. 2.10 angeführten Trends anzutreffen.

**Abb. 2.10** Veränderte Schwerpunktsetzung beim Gewährleisten der Arbeitssicherheit

Das Sicherheitsmanagement bei der Anlagen-Projektabwicklung wird stark gefährdungsbewusst und vorbeugend geplant und zunehmend erfolgreicher umgesetzt (s. auch Abschn. 1.7). Einige der relevanten Rechtsvorschriften werden nachfolgend dargestellt.

**a) DGUV-Vorschriften (ehemals: Unfallverhütungsvorschriften/UVV)**

- Die Berufsgenossenschaften und die Unfallkassen sind gemäß Sozialgesetzbuch, § 15 (Unfallverhütungsvorschriften) [35] durch autonomes Recht berechtigt, Unfallverhütungsvorschriften zu erlassen.
- Im Juni 2007 haben sich der Hauptverband der Berufsgenossenschaften (HVBG) und der Bundesverband der Unfallkassen (BUK) zur Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) zusammengeschlossen. Zur Vereinheitlichung hat die DGUV ab dem 01.05.2014 ein neues Regelwerk der DGUV-Vorschriften, DGUV-Regeln, DGUV-Informationen und DGUV-Grundsätzen erlassen. Zugleich wurde die Nummerierung neu strukturiert.
- Für die Planung und den Betrieb verfahrenstechnischer Anlagen sind die folgenden DGUV-Vorschriften besonders relevant:

DGUV Vorschrift 1	Grundsätze der Prävention
DGUV Vorschrift 2	Betriebsärzte und Fachkräfte für Arbeitssicherheit
DGUV Vorschrift 3	Elektrische Anlagen und Betriebsmittel
DGUV Vorschrift 6	Arbeitsmedizinische Vorsorge
DGUV Vorschrift 15	Elektromagnetische Felder
DGUV Vorschrift 21	Abwassertechnische Anlagen
DGUV Vorschrift 23	Wach- und Sicherungsdienste
DGUV Vorschrift 30	Wärmekraftwerke und Heizwerke
DGUV Vorschrift 38	Bauarbeiten
DGUV Vorschrift 43	Müllbeseitigung
DGUV Vorschrift 52	Krane
DGUV Vorschrift 54	Winden, Hub- und Zuggeräte
DGUV Vorschrift 68	Flurförderzeuge
DGUV Vorschrift 79	Verwendung von Flüssiggas

- Von grundlegender Bedeutung, insbesondere für die Arbeitssicherheit während der Baustellenabwicklung und Inbetriebnahme, ist die DGUV Vorschrift 1 [52] (s. Tab. 2.18). Sie muss unmittelbare Handlungsanleitung für alle mitwirkende Unternehmen und Personen sein.

Soweit sich aus den DGUV-Vorschriften Konsequenzen für die Engineeringarbeiten ergeben, wird an der konkreten Stelle im Buch darauf verwiesen.

**b) Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) [53]**

- Das Arbeitsschutzgesetz dient dazu, Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten bei der Arbeit durch Maßnahmen des Arbeitsschutzes zu sichern und zu verbessern. Es gilt in allen Tätigkeitsbereichen. Die Maßnahmen des Arbeitsschutzes werden in § 2 (Begriffsbestimmungen) wie folgt definiert:

§ 2 (1) Maßnahmen des Arbeitsschutzes im Sinne dieses Gesetzes sind Maßnahmen zur Verhütung von Unfällen bei der Arbeit und arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren einschließlich Maßnahmen der menschengerechten Gestaltung der Arbeit.

**Tabelle 2.18** Gliederung der DGUV Vorschrift 1 (Grundsätze der Prävention) (Auszug)**1. Kapitel: Allgemeine Vorschriften**

§ 1 Geltungsbereich von Unfallverhütungsvorschriften

**2. Kapitel: Pflichten des Unternehmers**

§ 2 Grundpflichten des Unternehmers

§ 3 Beurteilung der Arbeitsbedingungen, Dokumentation, Auskunftspflichten

§ 4 Unterweisung der Versicherten

§ 5 Vergabe von Aufträgen

§ 6 Zusammenarbeit mehrerer Unternehmer

§ 7 Befähigung für Tätigkeiten

§ 8 Gefährliche Arbeiten

§ 9 Zutritts- und Aufenthaltsverbote

§ 10 Besichtigung des Unternehmens, Erlass einer Anordnung, Auskunftspflicht

§ 11 Maßnahmen bei Mängeln

§ 12 Zurverfügungstellung von Vorschriften und Regeln

§ 13 Pflichtenübertragung

§ 14 Ausnahmen

**3. Kapitel „Pflichten des Versicherten“**

§ 15 Allgemeine Unterstützungsvereinbarungen und Verhalten

§ 16 Besondere Unterstützungsvereinbarungen

§ 17 Benutzung von Einrichtungen, Arbeitsmitteln und Arbeitsstoffen

§ 18 Zutritts- und Aufenthaltsverbote

**4. Kapitel „Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes“***1. Abschnitt: Sicherheitstechnische und betriebsärztliche Betreuung,**Sicherheitsbeauftragte*

§ 19 Bestellung von Fachkräften für Arbeitssicherheit und Betriebsärzten

§ 20 Sicherheitsbeauftragte

*2. Abschnitt: Maßnahmen bei besonderen Gefahren*

§ 21 Allgemeine Pflichten des Unternehmers

§ 22 Notfallmaßnahmen

§ 23 Maßnahmen gegen Einflüsse des Wettergeschehens

*3. Abschnitt: Erste Hilfe*

§ 24 Allgemeine Pflichten des Unternehmers

§ 25 Erforderliche Einrichtungen und Sachmittel

§ 26 Zahl und Ausbildung der Ersthelfer

§ 27 Zahl und Ausbildung der Betriebssanitäter

§ 28 Unterstützungsvereinbarungen der Versicherten

*4. Abschnitt: Persönliche Schutzausrüstung*

§ 29 Bereitstellung

§ 30 Benutzung

§ 31 Besondere Unterweisungen

---

- Das ArbSchG macht somit auch prinzipielle Vorgaben für die Anlagenplanung, insbesondere für die 3D-Anlagenplanung sowie für die Planung Bau und Technische Gebäudeausrüstung (TGA).

- In § 5 (Beurteilung der Arbeitsbedingungen) und § 6 (Dokumentation) wird die Erarbeitung von Gefährdungsbeurteilungen gefordert.

§ 5 (1) Der Arbeitgeber hat durch eine Beurteilung der für die Beschäftigten mit ihrer Arbeit verbundenen Gefährdung zu ermitteln, welche Maßnahmen des Arbeitsschutzes erforderlich sind.

§ 6 (1) Der Arbeitgeber muss über die je nach Art der Tätigkeit und der Zahl der Beschäftigten Unterlagen verfügen, aus denen das Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung, die von ihm festgelegten Maßnahmen des Arbeitsschutzes und das Ergebnis ihrer Überprüfung ersichtlich sind.

Diese Festlegungen wurden u.a. in der Betriebssicherheitsverordnung (BertrSichV) [8] (s. Abschn. 2.3.2.3 Buchstabe c)) für die Benutzung von Arbeitsmitteln und in der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) [18][19] (s. Abschn. 2.3.2.2 Buchstabe d)) für den Umgang mit Gefahrstoffen weiter unterstellt.

- Im ArbSchG sind darüber hinaus zum Arbeitsschutz auch Aussagen gemacht zu:
  - Übertragung von Aufgaben (§ 7),
  - Zusammenarbeit mehrerer Arbeitgeber (§ 8),
  - Besondere Gefahren (§ 9),
  - Erste Hilfe und sonstige Notfallmaßnahmen (§ 10),
  - Arbeitsmedizinische Vorsorge (§ 11),
  - Unterweisung (§ 12),
  - Verantwortliche Personen (§ 13),
  - Pflichten der Beschäftigten § 15),
  - Besondere Unterstützungspflichten (§ 16),
  - Rechte der Beschäftigten (§ 17).
- Verordnungen, die aus den ArbSchG [53] abgeleitet wurden, sind u.a.
  - Teile der Betriebssicherheitsverordnung [8],
  - Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) [54],
  - Baustellenverordnung (BaustellV) [55],
  - Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (LärmVibrationsArbSchV) [56],
  - PSA-Benutzungsverordnung (PSA-BV) [57].

Für das Engineering sind neben der BertrSichV vor allem die ArbStättV und die LärmVibrationsArbSchV zutreffend.

Die ArbStättV macht u.a. abhängig von *der Anzahl der beschäftigten Arbeitnehmer* und der *Beschäftigungsduauer* bau- und TGA-relevante Vorgaben über:

- Umkleide-, Wasch- und Aufwärmmöglichkeiten,
- Möglichkeiten zum Wärmen von Speisen sowie zur Einnahme von Mahlzeiten,
- abschließbaren Schränken mit Lüftungsöffnungen,
- Waschgelegenheiten, u.U. zu Waschräumen, Dusche u.a.,
- Einrichtungen zum Trocknen der Arbeitskleidung,
- Toilettenräumen mit Toilette.

Die LärmVibrationsArbSchV, die durch Technische Regeln weiter präzisiert ist, formuliert Richtwerte für den Lärm (sog. Auslösewerte in Bezug auf die Tages-Lärmexpositionspegel und den Spitzenschalldruckpegel) und für die Vibration (sog. Expositionsgrenzwert und Auslösewert) von Hand-Arm-Vibrationen bzw. Ganzkörper-Vibrationen.

Diese Vorgaben sind insbesondere Input für die Maschinen-, Rohrleitungs- und Bauplanung, z.B. betreffs Schall- und Schwingungsentkopplung.

### c) *Arbeitszeitgesetz (ArbZG)* [58]

- Das Arbeitszeitgesetz ist ein wichtiges Gesetz für die Anlagen-Projektabwicklung insgesamt, insbesondere auch für Projekte im Ausland. Es dient zunächst zur Erhaltung der Gesundheit der Beschäftigten, inkl. der Führungskräfte, aber nicht zuletzt auch der Qualitätssicherung.
- Im Arbeitszeitgesetz steht in § 1 (Zweck des Gesetzes):

Zweck des Gesetzes ist es,

1. die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Arbeitnehmer in der BRD und in der ausschließlichen Wirtschaftszone bei der Arbeitsgestaltung zu gewährleisten und die Rahmenbedingungen für flexible Arbeitszeiten zu verbessern sowie
2. den Sonntag und die staatlich anerkannten Feiertage als Tage der Arbeitsruhe und der seelischen Erhebung der Arbeitsnehmer zu schützen.

Zur Arbeitszeit wird in § 2 (Begriffsbestimmungen), § 3 (Arbeitszeit der Arbeitnehmer) und § 5 (Ruhezeit) formuliert:

§ 2 (1) Arbeitszeit im Sinne dieses Gesetzes ist die Zeit von Beginn bis Ende der Arbeitszeit ohne Ruhepausen; Arbeitszeiten bei mehreren Arbeitgebern sind zusammenzurechnen. Im Bergbau unter Tage zählen die Ruhepausen zur Arbeitszeit.

§ 3: Die werktägliche Arbeitszeit der Arbeitnehmer darf acht Stunden nicht überschreiten. Sie kann auf bis zu zehn Stunden nur verlängert werden, wenn innerhalb von sechs Kalendermonaten oder innerhalb von 24 Wochen im Durchschnitt acht Stunden werktäglich nicht überschritten werden.

§ 5 (1) Die Arbeitnehmer müssen nach Beendigung der täglichen Arbeitszeit eine ununterbrochene Ruhezeit von mindestens elf Stunden haben.

Die tägliche Arbeitszeit beträgt somit maximal 10 Stunden und die wöchentliche Arbeitszeit von Montag bis Samstag maximal 48 Stunden.

Im Ausnahmefall sind wöchentlich 60 Stunden zulässig, wobei gemäß § 3 der maximale Durchschnittswert von 8 Stunden in 6 Monaten bzw. 24 Wochen zu beachten ist. Ausnahmen davon sind möglich, aber streng reglementiert.

Grundsätzlich gilt die Empfehlung, auch für die Führungskräfte während der Projektabwicklung:

*Erteilen Sie keine Weisungen/Aufträge bzw. unterschreiben Sie keine Belege, Emails u.ä., die gegen das Arbeitszeitgesetz verstößen bzw. in denen Sie Verstöße gegen das Arbeitszeitgesetz dokumentieren.*

- Abschließend zur Thematik sollen noch einige Fragen erörtert werden, die bei der Projektabwicklung immer wieder eine Rolle spielen. Die nachfolgenden

Ausführungen fassen im Wesentlichen die zahlreichen Diskussionsergebnisse im Kreise der Fachkollegen zusammen.

*Welche Personen zählen zu den leitenden Angestellten, da nach § 18 (Nichtanwendung des Gesetzes) auf diese das ArbZG nicht anwendbar ist?*

Bem.: In § 5 Abs. 3 des Betriebsverfassungsgesetzes [59] ist der Begriff des Leitenden Angestellten wie folgt definiert:

- (3) Leitender Angestellter ist, wer nach Arbeitsvertrag und Stellung im Unternehmen oder im Betrieb
  - 1. zur selbständigen Einstellung und Entlassung von in Betrieb oder in der Betriebsabteilung beschäftigten Arbeitnehmern *oder*
  - 2. Generalvollmacht oder Prokura hat und die Prokura auch im Verhältnis zum Arbeitgeber nicht unbedeutend ist *oder*
  - 3. regelmäßig sonstige Aufgaben wahrnimmt, die für den Bestand und die Entwicklung des Unternehmens oder eines Betriebs von Bedeutung sind und deren Erfüllung besondere Erfahrungen und Kenntnisse voraussetzt, wenn er dabei entweder die Entscheidungen im Wesentlichen frei von Weisungen trifft oder sie maßgeblich beeinflusst; dies kann auch bei Vorgaben insbesondere auf Grund von Rechtsvorschriften, Plänen oder Richtlinien sowie bei Zusammenarbeit mit anderen leitenden Angestellten gegeben sein.

Insgesamt ist der Personenkreis somit deutlich kleiner, als allgemein angenommen.

*Ist die Wegezeit des Arbeitnehmers von seiner Wohnung zur Arbeitsstätte auch Arbeitszeit im Sinne des ArbZG?*

Bem.: Die häufig geäußerte Meinung besagt, dass die Wegezeit keine Arbeitszeit ist. Unabhängig davon, sind die Tätigkeiten während der Wegezeit versichert, z. B. bei einen sog. *Wegeunfall* (s. § 8 Abs. 2 SGB, VII [35]).

Der Autor kennt aber mehrere Unternehmen, die die Fahrt von der Wohnung zur Baustelle oder umgekehrt als Arbeitszeit werten. Die Anreise- bzw. Heimreisezeit ist Bestandteil der maximal 10 Stunden Arbeitszeit.

In anderen Fällen wird eine Rückreise, z. B. von der entfernten Baustelle zur Wohnung, nach getaner 8-stündiger Arbeit untersagt bzw. an vorherige Ruhezeiten geknüpft.

*Ist die Reisezeit des Arbeitnehmers auf Dienstreisen auch Arbeitszeit im Sinne des ArbZG?*

Bem.: Die häufig geäußerte Meinung besagt, dass Dienstreisen als Arbeitszeit gemäß ArbZG gelten, wenn sie in der vereinbarten Arbeitszeit stattfinden oder der Beschäftigte selbst mit dem PKW fährt.

Sie gelten auch als Dienstzeit, wenn dies mit dem Arbeitgeber vor Reiseantritt vereinbart wurde. Andere individuelle Regelungen sind möglich.

*Welches Arbeitssicherheits- und Arbeitszeitrecht gilt bei Auslandseinsätzen für Beschäftigte, die in einem in der BRD ansässigen Unternehmen angestellt sind?*

Bem.: Für die Beantwortung ist aus Sicht des Autors, zumindest für das europäische Wirtschaftsgebiet, die sog. Rom-I-Verordnung [60] geeignet. Die Rom-I-Verordnung regelt das Internationale Privatrecht der EU betreffs der Schuldverhältnisse.

Diese Verordnung (Artikel 3: Freie Rechtswahl) lässt für den Arbeitsvertrag des Beschäftigten eine Rechtswahl zu. Das heißt, Arbeitgeber und Arbeitnehmer können sich im Arbeitsvertrag auf das deutsche, aber auch auf das ausländische Recht einigen.

Da dies aber aus Sicht des Autors häufig nicht passiert, gilt i.d.R. auch für den Auslandseinsatz das im normalen Arbeitsvertrag (der für seinen Arbeitsort in der BRD gilt) vereinbarte Recht. Dies wird bei einem in der BRD ansässigen Unternehmen überwiegend das Recht der BRD sein.

Ist im Arbeitsvertrag keine eindeutige Rechtswahl erfolgt, so sei auf die folgende Formulierung in Artikel 8 (Individualverträge), Abs. (2) der Rom-I-Verordnung verwiesen:

(2) Soweit das auf den Arbeitsvertrag anzuwendende Recht nicht durch Rechtswahl bestimmt ist, unterliegt der Arbeitsvertrag dem Recht des Staates, in dem oder anderenfalls von dem aus der Arbeitnehmer in Erfüllung des Vertrags gewöhnlich seine Arbeit verrichtet.

Der Staat, in dem die Arbeit gewöhnlich verrichtet wird, wechselt nicht, wenn der Arbeitnehmer seine Arbeit vorübergehend in einem anderen Staat verrichtet.

Es ist ratsam, dass all diese und ähnliche Fragestellungen rechtzeitig (z. B. vor Antritt der Reise oder des Auslandseinsatzes oder anderer Sondereinsätze) zwischen Arbeitgeber und Arbeitnehmer besprochen und die abgestimmten Ergebnisse verbindlich vereinbart werden.

## 2.4 Lastenheft inklusive Dokumentation

### 2.4.1 Definition und Aufgaben des Lastenhefts

Die Aufgabenstellung des Investors (Projektträgers, Auftraggebers) für das Projekt wird bei verfahrenstechnischen Anlagen in Form eines Lastenhefts erarbeitet.

Das **Lastenheft** ist die Zusammenstellung der Anforderungen an die herzustellende Anlage aus Sicht des Auftraggebers.

Synonyme: Aufgabenstellung bzw. Spezifikation für Anlage, Scope-Definition, Fundamental Specification, Requirement Specification

Im Lastenheft formuliert der Investor seine „Wunschvorstellungen“. Es ist die Arbeitsgrundlage für die Engineeringarbeiten in den Phasen 2 bis 5.

In der weiteren Projektabwicklung bis zur Investitionsentscheidung zeigt sich dann, was davon fachlich und wirtschaftlich umsetzbar ist. Letztlich entwickelt sich somit aus dem Lastenheft das **Pflichtenheft** (s. Abschn. 4.4).

Gemäß seinem ureigenen Interesse sollte der Investor die Erarbeitung des Lastenhefts nicht nur verantworten, sondern zugleich leiten sowie umfänglich und auch im Detail mitwirken. Wenn nötig, muss er Expertise hinzukaufen. Dies können z. B. Spezialisten sein, die in seinem Team mitwirken. Es gilt die Erfahrung:

*Wer nicht genau vorgibt, was er braucht,  
sollte sich nicht wundern, wenn er das Benötigte nicht erhält!*

## 2.4.2 Inhalt des Lastenhefts

Der Umfang sowie die fachlichen und gestalterischen Vorgaben im Lastenheft können von Projekt zu Projekt sehr unterschiedlich sein. In Abschn. 2.1 wurden dazu bereits grundlegende Überlegungen angestellt.

In Tabelle 2.19 ist eine Checkliste zur Identifizierung der inhaltlichen Schwerpunkte eines Lastenhefts verfahrenstechnischer Anlagen enthalten.

**Tabelle 2.19** Checkliste zum Ermitteln relevanter Inhalte des Lastenhefts

Fachgebiet	Thema	Projekt	Lastenheft
Projekt-management	Projektgegenstand		
	Verantwortlichkeiten		
	Marktsituation		
Projektziele	Produktqualitäten		
	Kapazität		
	Verfügbarkeit / Nutzungsdauer		
	Flexibilität		
	Investitionskosten / Wirtschaftlichkeit		
	Termine		
Rahmen- bedingungen	Anlagenstandort		
	Schnittstellen / OSBL und ISBL		
	Verknüpfungen mit anderen Projekten		
	Besondere Rechtsvorschriften		
	Unternehmensrichtlinien / Normen		
	Vertragliche Vereinbarungen		
	Patente & Lizenzen		
	Vertraulichkeit / Geheimhaltung		
Rohstoffe	Menge		
	Qualität		
	Verfügbarkeit		
Verfahren / Anlage	Stoffe, Stoffeigenschaften/-daten		
	Verfahrensgestaltung		
	3D-Anlagenplanung		
	Ausrüstungswahl		
	Rohrleitungsplanung		
	Bedienung		
	Instandhaltung		
PLT, inkl. ET, NAT, PAT, LAT	Spezifikation Feldgeräte		
	Spezifikation PNK / ABK		
	Spezifikation PLS (Hard- und Software)		
	PLT-Schutzeinrichtungen u. Steuerungen		
	Prozessgerichtete Steuerungen		
	Stromversorgung PLT		
	Stromversorgung ET		

**Tab. 2.19** (Fortsetzung)

Fachgebiet	Thema	Projekt	Lastenheft
<b>(Fortsetzung)</b> <b>PLT,</b> inkl. ET, NAT, PAT, LAT	Nachrichtentechnik		
	Blitzschutz, Erdung		
	Instrumentenluftversorgung		
	Verkabelung, Kabel-/Bus-Systeme		
	Analysentechnik		
<b>Rohrleitungen</b>	Rohrleitungsführung		
	Rohrhalterungen		
<b>Bau / Stahlbau</b>	Gebäudekonzept		
	Umwelt- / Witterungseinflüsse		
	Brandschutz		
	Sozialräume, Büros		
	Schalträume und Messwarte		
<b>Technische Gebäudeaus- rüstung</b>	Be- und Entlüftung		
	Klimatisierung		
	Entwässerung		
<b>Logistik</b> (inner-/außer- betrieblich)	Rohstoffe / Antransport		
	Innerbetriebliche Logistik		
	Endprodukte / Versand		
	Abprodukte / Entsorgung		
<b>Infrastruktur</b>	Medien / Energien		
	Verkehrswege		
	Kommunikation (Telefon, Internet, Funk)		
	Aufzüge, Hebezeuge		
<b>Sicherheit / Gesundheit</b>	Risikobeurteilung		
	Gefährdungsbeurteilungen		
<b>Umweltschutz</b>	Abluft		
	Abwasser		
	Abprodukte / Abfall		
	Lärm / Vibration		
<b>Genehmigung</b>	Genehmigungsantrag		
	Genehmigungsverfahren		
<b>Beschaffung</b>	Anlagenvertrag		
	Bestellungen von Komponenten		
	Beistellleistungen Investor		
<b>Baustellen- abwicklung</b>	Nachbarschaft		
	Bau- / Montageleitung		
<b>Inbetrieb- nahme</b>	Inbetriebnahmeleitung		
	Inbetriebnahmeunterstützung		
<b>Dokumentation</b>	Werkzeuge / Tools		
	Abwicklungsstruktur		
	Bestandsunterlagen		
	Qualitätsanforderungen		

In der Tabellenspalte *Projekt* wird vermerkt, ob der Checkpunkt für das Projekt relevant ist und in der Spalte *Lastenheft* wird ausgedrückt, ob es im Lastenheft zu diesen Checkpunkt Vorgaben gibt. Auf Basis der ausgefüllten Tabelle 2.19 kann anschließend die Erarbeitung des Lastenheftes geplant und ausgeführt werden.

Schwachpunkte beim Erarbeiten von Lastenheften sind entsprechend den eigenen Erfahrungen:

- Der Investor wirkt am Lastenheft nicht ausreichend mit, sodass seine Projektziele und Projekt-Randbedingungen nicht ganzheitlich sowie nicht genügend präzise und eindeutig im Lastenheft dokumentiert werden. Diese Versäumnisse müssen später während der Projektabwicklung nachgeholt werden und beinhalten viel Konflikt- und Claim-Potential.
- Die Bedingungen am Standort (s. auch Abschn. 2.2), wie z. B.
  - *Rechtsvorschriften, Richtlinien, Normen u.ä.,*
  - *Klima, Bodenverhältnisse, Witterungsunbilden,*
  - *Versorgungs- und Entsorgungssicherheit, Infrastruktur, Kommunikation,*
  - *Werkstätten, Labors, Ersatzteilsituation, Arbeitsbedingungen,*
  - *Bildungsgrad, Erfahrungsschatz, Gewohnheiten, Mentalitäten*
 werden nicht präzise mitgeteilt.

Die Standortbedingungen haben i. Allg. einen größeren Einfluss auf den Anlagenbetrieb und das Engineering als gedacht (s. Abb. 2.11).



**Abb. 2.11** Zerstörte Verkehrsinfrastruktur durch das Hochwasser 2002

Die Schnittstellen an der Anlagengrenze zwischen der zu investierenden Anlage (sog. Inside Battery Limits – **ISBL**) und der vorhandenen bzw. außerhalb des Anlagen-Projekts zu schaffenden Standort-Infrastruktur (sog. **Outside Bat-**

tery Limits – OSBL) werden quantitativ und/oder qualitativ nicht ausreichend definiert. Es sind meistens mehr Schnittstellen als vermutet (s. auch „Checkliste an der Anlagengrenze in Abschn. 4.2.8). Ihre technische Einbindung muss engenzt und i.d.R. in einem engen Zeitfenster realisiert werden.

Da die Schnittstellen meistens Leistungs- und Verantwortungsgrenzen zwischen mehreren Partnern und unterschiedlichen Kostenträgern darstellen, beinhalten sie viel Konflikt- und Claim-Potential.

- Die Mitwirkungspflichten und -leistungen des Investors, wie z. B.
  - *Einholen der Genehmigung für Errichtung und Betrieb,*
  - *Bereitstellen aktueller Bestandsunterlagen,*
  - *Heranführen der Outsite-Batterie-Limits an Anlagengrenze,*
  - *Bereitstellen der Rohstoffe und Energien sowie Abnahme der Endprodukte,*
  - *Bereitstellen von ausreichend geeigneten Betriebs- und Servicepersonal,*
  - *ggf. die feststehende Beschaffung (Komponenten, Bau und Montage) durch den eigenen Einkauf*

werden nicht genügend spezifiziert. Dies trifft insbesondere auf Investitionen in vorhandenen Anlagen (Investitionen im Bestand) zu.

- Die Dokumentationsleistungen werden häufig unterschätzt bzw. vernachlässigt und sind entsprechend nur ungenügend im Lastenheft spezifiziert. In manchen Großprojekten gab es mehrere Ordner mit technischen Spezifikationen aber nur wenige Vorgaben zu den Dokumentationsleistungen (s. Abschn. 2.4.3).
- Mitunter wird das PLT-Fachgebiet aus dem Gesamtlastenheft ausgeklammert und ein eigenes PLT-Lastenheft erarbeitet. Beim Pflichtenheft wird später analog verfahren. Der Autor sieht dies kritisch, da somit viele zusätzliche Schnittstellen geschaffen werden. Die Prozessleittechnik sollte während des gesamten Engineeringprozesses keine Sonderrolle erfahren, auch wenn es ein sehr wichtiges Gewerk ist. Dies gilt auch für alle anderen Fachdisziplinen.

Für ein „determiniertes Projekt“, analog dem Beispiel 2.2 in Abschn. 2.1, zeigt Tabelle 2.20 die Gliederung des Lastenhefts.

Die Gliederung kann auch für „offene Projekte“ genutzt werden, jedoch sind in einigen Abschnitten gegebenenfalls nur wenige Angaben gemacht. Diese sind gestaltbar und werden erst später während der Vorplanung (Phase 2) erarbeitet.

**Tabelle 2.20** Gliederung eines Lastenhefts (Praxisbeispiel)

---

- 1 Allgemeine Projektinformationen**
  - 1.1 Kurzbeschreibung Istzustand
  - 1.2 Standort der Anlage und detaillierte Standortbedingungen/-verhältnisse
  - 1.3 Projektgegenstand
  - 1.4 Zielprodukte, Kapazität, Technische Verfügbarkeit
  - 1.5 Wirtschaftlichkeit (Investitionskosten, Betriebskosten)
  - 1.6 Termine (Endtermin, Meilensteine)
  - 1.7 Verantwortlichkeiten, Befugnisse und Zuständigkeiten
  - 1.8 Zusammenhang mit anderen Projekten bzw. bestehenden Verträgen
  - 1.9 Management Statements zu Projektanforderungen

**Tab. 2.20** (Fortsetzung)

<b>2 Entwurfsdaten (Design Basis)</b>
2.1 Produktspezifikationen
2.2 Maximale Produktionskapazität (stündlich, jährlich)
2.3 Betriebszeiten (wöchentlich, monatlich, jährlich)
2.4 Spezifikation verfügbarer Medien und Energien (Stoff, Durchsatz, Qualität)
2.5 Vorgaben zu Neben- und Abprodukten
2.6 Auslegungswerte Emissionen
2.7 Vorgaben zum Anlagenbetrieb inkl. Inbetriebnahme/Außerbetriebnahme
2.8 Vorgaben zur Anlageninstandhaltung und Shutdown
<b>3 Vorgaben zu Verfahren und Anlage</b>
3.1 Vorgaben zu Anlagendesign und Aufstellung
3.2 Vorgaben zum Verfahren (u.a. genehmigungsrelevante)
3.3 Vorgaben zu Grundoperationen inkl. Verfahrensparameter
3.4 Vorgaben zu Haupt- bzw. Spezialausrüstungen inkl. Auslegungsdaten
3.5 Vorgaben zu Schnittstellen an Anlagengrenzen
3.6 Angaben zum verfügbaren Betriebs- und Servicepersonal
<b>4 Sonstige Rahmenbedingungen für Projektabwicklung</b>
4.1 Zu beachtende Rechtsvorschriften (international und national)
4.2 Genehmigungsrechtliche u.a. behördliche Vorgaben
4.3 Anforderungen an Umweltschutz
4.4 Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen
4.5 Vorgaben zur Sicherheitstechnik
4.6 Vorgaben zur Alarm- und Gefahrenabwehr am Standort
4.7 Vorgaben zu Qualitätsstandards und Qualitätssicherung
4.8 Zu beachtende Unternehmensrichtlinien und -standards
4.9 Vorgaben zu Stand der Technik
4.10 Vorgaben zu Patente und Lizzenzen
<b>5 Projektanforderungen nach Fachdisziplinen</b>
5.1 Tiefbau, Hochbau, Stahlbau
5.2 Apparate, Maschinen, Behälter
5.3 Rohrleitungen inkl. Halterungen und Trassenverlauf
5.4 Prozessleitechnik (ohne Elektrotechnik/ET)
5.5 Elektrotechnik
5.6 Nachrichtentechnik
5.7 Labor- und Prozessanalysentechnik
5.8 Lager- und Transporteinrichtungen
5.9 Technische Gebäudeausrüstung sowie Labor- und Büroausstattung
5.10 Vorgaben zur Dokumentation
<b>6 Administrative Anforderungen</b>
6.1 Bestehende Verträge, Vereinbarungen, Bestellungen
6.2 Vorgaben zum Projektmanagement
6.3 Vorgaben zum Projektablauf
6.4 Vorgaben zum Procurement
6.5 Vorgaben zur Baustellenabwicklung und Inbetriebnahme
6.6 Vorgaben zum Projektcontrolling

Der Projektleiter des Investors sollte möglichst vor Projektbeginn, spätestens während der Lastenhefterarbeitung, grundlegende Projektanforderungen (Prämissen) identifizieren und zusammenstellen.

Die Checkliste in Tabelle 2.21 kann dazu als Grundlage dienen. In der Spalte **Priorität** werden die Bewertungen **0** (= nichtzutreffend), **1** (= gering), **2** (= mittel) und **3** (= hoch) empfohlen. Bei **Bemerkung** sind Erläuterungen, Einschränkungen, Hinweise u.ä. denkbar.

**Tabelle 2.21** Checkliste zu Management Statements für ein Anlagenprojekt

Nr.	Wichtige Projektanforderung	Priorität	Bemerkung
1	Auswahl der Lieferanten		
2	Auswahl der Dienstleister für Engineering		
3	Auswahl der Dienstleister für Bau und Montage		
4	Nutzungsdauer der Anlage und Einrichtungen		
5	Vorsehen von Kapazitätsreserven		
6	Beachtung späterer Anlagenerweiterungen		
7	Einhalten der Sicherheitsstandards		
8	Einhalten der Umweltschutzstandards		
9	Öffentlichkeitsarbeit (Kommune, Bevölkerung, Presse)		
10	Einhalten von Technischen Spezifikationen und Normen des Investors		
11	Anzuwendender Technischer Qualitätsstandard		
12	Grad der Anlagenautomatisierung		
13	Anlagenzuverlässigkeit und -verfügbarkeit		
14	Bedienungsfreundlichkeit der Anlage		
15	Instandhaltungsfreundlichkeit der Anlage		
16	Beachtung von GMP-Gesichtspunkten		
17	Beachtung der Dokumentation		

Die Prämissen, die zugleich wichtige Projektziele darstellen sowie kosten- und terminrelevant sind, sollten vom Vorgesetzten des Projektleiters INVESTOR und vom Lenkungskreis (Steering Committee) schriftlich bestätigt/genehmigt werden. Sie stellen de facto „Management Statements für das Projekt XYZ“ dar.

Für den Projektleiter sind sie verbindliche Handlungsgrundlagen auf die er sich jederzeit berufen kann.

Auszüge aus den Management Statements, die nicht vertraulich sind, werden ins Lastenheft aufgenommen (s. Tab. 2.20, Punkt 1.9).

### 2.4.3 Vorgaben zur Dokumentation im Lastenheft

Analog zur Anlage sind im Lastenheft auch umfassende Vorgaben zur Dokumentation zu machen. In Abschnitt 1.8.3 dieses Buchs wurden bereits projektübergrei-

fende Hinweise zur Beachtung der Dokumentation im Projekt gegeben, die auch das Lastenheft betreffen. Im Weiteren werden diese konkretisiert und ergänzt.

Die Angaben im Lastenheft müssen grundsätzlich folgende zwei Schwerpunkte berücksichtigen:

- Vorgaben zur *Qualität/Spezifikation der Dokumentationsprodukte*, die während der Abwicklung bis zur Vertragsbeendigung benötigt werden, sowie
- Vorgaben zum *Dokumentationsprozess* betreffs Aufgaben, Termine, Verantwortung und Befugnisse, Prüfmöglichkeiten und Freigaben, Beistellleistungen des Auftraggebers, Vertraulichkeit und Geheimhaltung, Close-out usw.

In der Checkliste in Tabelle 2.22 sind diese beiden Hauptaufgaben nochmals unterstellt. Die Fragestellungen und Hinweise sind dabei sowohl für die Erarbeitung des Lastenhefts als auch später (entsprechend der Planungstiefe inhaltlich ergänzt) für die Erarbeitung des Pflichtenhefts bzw. des Anlagenvertrags zu nutzen.

**Tabelle 2.22** Checkliste zur Beachtung der Dokumentation im Lastenheft und ggf. auch im Pflichtenheft und Anlagenvertrag [61]

---

### 1 Spezifikation der Dokumentationsprodukte (sog. Phasendokumentationen)

- 1.1 Vorgaben zur Qualität der AS BUILT-Dokumentation (Final Documentation)
  - Bezeichnung und Begriffsdefinitionen wesentlicher Dokumentarten
  - Struktur und Inhalt der AS BUILT-Dokumentation
  - detaillierte Qualitätsanforderungen an die AS BUILT-Dokumentation, inkl. an einzelne Teile und Dokumentarten
  - Liste der Dokumentarten, die als bearbeitbare Dateien zu liefern sind, inkl. Angaben bzgl. Erstellungssoftware, Dateiformat usw.
  - Kennzeichnung der Dokumente
  - Form und Exemplarzahl der Papierversion
- 1.2 Vorgaben für andere Dokumentationsprodukte (neben AS BUILT-Dokumentation), die während des Engineering zu erarbeiten sind
  - Dokumente für den Genehmigungsantrag
  - Dokumente für Investitionsentscheidung (Basic Engineering-Dokumentation bzw. FEL-Documentation, Unterlagen über die Kostenermittlung)
  - Dokumente für Beschaffungsleistungen des Investors
  - Dokumente für die Baustellenabwicklung
  - Dokumente für die Inbetriebnahme
  - Dokumente für die Instandhaltung
- 1.3 Vorgaben und Angaben zu den Dokumentationsprodukten, die der Investor beizustellen hat
  - Dokumente für AS BUILT-Dokumentation (z. B. aus eigenen Beschaffungsvorgängen)
  - Dokumente zum Standort, inkl. Infrastruktur
  - Dokumente zu Schnittstellen an der Anlagengrenze
  - Richtlinien, Normen u.a. Vorgaben des Investors, die für 1.1 und 1.2 gelten

**Tab. 2.22** (Fortsetzung)

---

<b>2 Vorgaben zum Dokumentationsprozess</b> (inhaltlich, organisatorisch, administrativ)
2.1 Vorgaben zur fachlichen Ausführung
– Angaben zur Dokumentationsstruktur (-gliederung), die im Projekt genutzt wird
– Angaben zur Arbeitsplattform bzw. zu den Tools, die im Dokumentationsprozess zu nutzen sind
– Angaben zu den einzelnen Dokumentationsleistungen, die im gesamten Projekt zu erbringen sind
– Angaben zur Dokumentenkennzeichnung
2.2 Vorgaben zu vertragsrechtlichen Aspekten
– Festlegungen zu grundsätzlichen werkvertraglichen Regelungen für die Dokumentationsleistungen
– Festlegung der Konsequenzen, die sich bei nicht vorgabegerechter Erbringung der Dokumentationsleistungen ergeben
– Festlegungen zu Gewährleistung und Haftung für die verschiedenen Dokumentationsleistungen
– Festlegungen zum Eigentum der Dokumentation und ihrer Teile, inkl. der daraus resultierenden Konsequenzen
2.3 Vorgaben zu organisatorisch-administrativen Aspekten
– Vorgaben bzgl. der Verantwortlichkeiten für die angeführten Dokumentationsleistungen und den Mitwirkungspflichten (Erarbeiten, Prüfen, Freigeben) des anderen Partners
– Festlegungen zur Geheimhaltung im Dokumentationsprozess sowie im Umgang mit vertraulichen Dokumenten
– Vorgaben zum Umgang mit der Dokumentation nach Projektabschluss (Close-Out)

---

Wie detailliert die Vorgaben aus Tabelle 2.22 im Lastenheft ausgestaltet sind, hängt insbesondere davon ab, ob es sich um ein von Anfang an *determiniertes* bzw. ein *offenes Projekt* handelt (s. Abschn. 2.1). Im letzteren Fall werden viele Vorgaben zur Dokumentation erst während der Vorplanung erarbeitet und im *Dokumentationskonzept* zusammengefasst (s. Abschn. 3.2).

Das Endprodukt aller Dokumentationsleistungen im Projekt ist die AS BUILT-Dokumentation gemäß folgendem Begriffsverständnis:

**AS BUILT-Dokumentation** ist die Gesamtdokumentation der Anlage, die den Sachstand über die Anlage zum Zeitpunkt ihrer werkvertraglichen Abnahme richtig (as built) und vollständig gemäß vertraglicher Vereinbarung beschreibt.  
(Synonym: Enddokumentation, Final Documentation)

Der spätere Anlagenbetreiber möchte die AS BUILT-Dokumentation effizient nutzen und in Übereinstimmung mit der Anlage fortschreiben. Um diese Ziele zu erreichen, muss die AS BUILT-Dokumentation möglichst im Lastenheft, aber zumindest im Pflichtenheft umfassend und nutzergerecht spezifiziert werden. Tabelle 2.23 zeigt beispielhaft eine solche Spezifikation.

**Tabelle 2.23** Inhaltsverzeichnis einer Spezifikation für die AS BUILT-Dokumentation (Praxisbeispiel)

---

<b>1000 Ziel und Zweck</b>
<b>2000 Anwendungsbereich</b>
<b>3000 Begriffsdefinitionen mit Erläuterungen</b>
3100 Begriffsdefinitionen
3200 Definitionen übergeordneter Begriffe
3300 Definitionen wesentlicher Dokumentarten
<b>4000 Struktur der AS BUILT-Dokumentation</b>
4100 Gesamtdokumentation
4200 Anlagendokumentation
4300 Betriebsdokumentation
<b>5000 Qualitätsanforderungen an die AS BUILT-Dokumentation</b>
5100 Vorbemerkungen
5200 Grundsätzliche Forderungen
5300 Ganzheitlichkeit / Vollständigkeit
5400 Widerspruchsfreiheit / Eindeutigkeit
5500 As built-Gerechtigkeit
5600 Nutzergerechtigkeit / Ergänzungsfreundlichkeit
<b>6000 Ordnungskriterien</b>
6100 Gliederung / Systematik
6200 Schriftfelder
6300 Dokumentenkennzeichen
6400 Papierdokumentation
6410 Ablageform
6420 Inhaltsverzeichnis
6430 Ordnerkennzeichnung
6500 Elektronische Dokumentation
6510 Grundsätzliches
6520 Software / Datenträger
6530 Systematik / Inhaltsverzeichnis / Kennzeichnung
<b>7000 Übergabeprotokoll zur AS BUILT-Dokumentation</b>
7100 Kopf des Protokolls
7200 Angaben/Erklärung zur übergebenen Dokumentation
7300 Unterschriften / Firmenstempel
<b>8000 Spezifikationen wesentlicher Dokumentationsteile bzw. Dokumentarten</b>
8100 Prüfhandbuch der Anlage
8200 Prüfbücher für Anlagenkomponenten
8210 Prüfbuch für Druckgeräte
8220 Prüfbuch für WHG-Behälter
8230 Rohrleitungsbuch
8240 Kranbuch
8250 Prüfbuch für kraftbetätigtes Fenster, Türen und Tore
8300 Wartungs- und Inspektionsplan der Anlage
8400 Betriebsanweisungen

---

**Tab. 2.23** (Fortsetzung)

---

**9000 Mitgeltende Dokumente**

---

**Beilagen:**

- Beilage 01 Glossar
  - Beilage 02 Checkliste zur Qualitätsprüfung der AS BUILT-Dokumentation
  - Beilage 03 Codierung der Kennzeichnungsböcke
  - Beilage 04 Schriftfelder für Dokumente
  - Beilage 05 Beispiel "Inhaltsverzeichnis Datenträger"
  - Beilage 06 Beispiel "Übergabeprotokoll zur AS BUILT-Dokumentation"
  - Beilage 07 Beispiel "Inhaltsverzeichnis des Prüfbuches eines Druckgeräts"
  - Beilage 08 Beispiel "Inhaltsverzeichnis des Prüfbuchs eines WHG-Behälters"
  - Beilage 09 Beispiel "Betriebsanweisung"
- 

Hauptmangel derartiger Spezifikationen ist häufig, dass für die AS BUILT-Dokumentation keine bzw. keine praxistaugliche Qualitätsmerkmale definiert und vorgegeben werden (s. Beispiel in Tab. 8.4, Abschn. 8.3).

Bekanntlich gilt aus Erfahrung:

*Wer anfangs keine Qualitäts- bzw. Erfüllungsmerkmale für ein Produkt bzw. eine Leistung definiert, kann am Ende die Qualität des Produkts bzw. die Erfüllung der Leistung nicht messen!*

Der Investor muss, analog wie bei den Technischen Spezifikationen, auch für die Dokumentationsprodukte/-leistungen verbindliche Spezifikationen in Form von DOKU-Richtlinien/DOKU-Werknormen erarbeiten und im Lastenheft vorgeben.

Später im Projekt werden diese Spezifikationen im *Pflichtenheft* und im *Anlagenvertrag* wiederum genutzt und i.d.R. ergänzt.

In diesem Buch sind weitere Ausführungen sowie Checklisten und Praxisbeispiele zur Dokumentationsthematik im Abschn. 3.2 (Erarbeiten des Dokumentationskonzepts) und im Abschn. 4.4 (Basic Engineering-Dokumentation und Pflichtenheft) enthalten. Darüber hinaus wird auf [61] verwiesen.

## 2.5 Vertragsmodelle für Engineeringleistungen

### 2.5.1 Rechtsformen von Verträgen nach Bürgerlichen Gesetzbuch

Eine rechtliche Systematisierung von Verträgen bzw. Bestellungen ist nach BGB (Bürgerlichem Gesetzbuch) [30] [62] in Abhängigkeit vom Schuldverhältnis zwischen Gläubiger (Investor, Auftraggeber) und Schuldner (Kontraktor, Auftragnehmer) möglich.

Für die Anlagen-Projektentwicklung sind die Schuldverhältnisse nach *Werkvertrag*, *Kaufvertrag* oder *Dienstvertrag* bedeutungsvoll. Die angeführten Vertragsbeziehungen drücken die Rechtsform eines Vertrages aus; in diesem Buch als **Vertragsform** definiert.

Hinsichtlich der Gültigkeit der BGB-Aussagen über die Schuldverhältnisse gemäß den o. g. Vertragsformen sind die folgenden Vorbemerkungen wichtig:

- Das im BGB formulierte Recht der Schuldverhältnisse ist *dispositiv*, d. h. die Vertragsparteien können etwas anderes vereinbaren als im Gesetz steht (sog. Gestaltungsfreiheit).  
Oder anders formuliert, wenn nichts Andres vereinbart ist, gelten die Rechtsnormen des BGB bzw. wenn andere Regelungen als im BGB gewollt sind, muss dies ausdrücklich im Anlagenvertrag vereinbart werden.
- Sofern durch das Recht aber die Interessen einer Vertragspartei oder Dritter geschützt werden sollen, ist die Rechtsnorm *zwingend formuliert*, d. h. sie ist für die Vertragsparteien im Sinne eines Gesetzes bindend.
- Der Gesetzgeber macht im BGB sowie in anderen Vorschriften nur relativ wenige Vorgaben zu vertraglichen Normen. Im Unterschied zum Ordnungs- und Genehmigungsrecht beispielsweise, überlässt er Vieles den Vertragsparteien.

Zusammenfassend lässt sich aus den Ausführungen unter a) bis c) folgern:

*Im Vertrag sind die wichtigen rechtsrelevanten Aspekte, die insbesondere Aussagen und Regelungen:*

- zu Verantwortlichkeiten und Befugnissen,
- über die zugesicherten Eigenschaften (vereinbarte Beschaffenheit),
- zu Gewährleistungen bzw. Garantien,
- zu Haftung und Schadenersatz,
- zu Abnahme, Vergütung, Zahlungszielen usw.

*betreffen, zwischen den beiden Partnern projektbezogen und ausführlich zu vereinbaren. Davon sind die Leistungen aller Projektphasen betroffen.*

*Die vertraglichen Vereinbarungen sind nötig, da der Gesetzgeber bewusst den Vertragsparteien einen großen Gestaltungsspielraum belässt.*

Auch wenn viele Regelungen zu den Schuldverhältnissen im BGB für die Vertragsparteien nicht zwingend sind, so stellen sie doch bewährte Rechtsnormen und somit Orientierungen für die konkrete Vertragsgestaltung dar.

Die drei wichtigsten rechtlichen Vertragsformen für Anlagenprojekte inkl. der Engineeringleistungen werden nachfolgend kurz erläutert.

Im Bauwesen und insbesondere bei öffentlichen Bauinvestitionen bilden häufig die Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB [63]) die Vertragsgrundlage.

### a) Werkvertrag (BGB, §§ 631 – 651)

Zum *Werkvertrag* ist im BGB, § 631 (Vertragstypische Pflichten beim Werkvertrag) formuliert:

- (1) Durch den Werkvertrag wird der Unternehmer (d. Verf.: Auftragnehmer) zur Herstellung des versprochenen Werkes, der Besteller (d. Verf.: Auftraggeber) zur Entrichtung der vereinbarten Vergütung verpflichtet.

- (2) Gegenstand des Werkvertrages kann sowohl die Herstellung oder Veränderung einer Sache als auch ein anderer durch Arbeit oder Dienstleistung herbeizuführender Erfolg sein.

Im Anlagenbau sind häufig die Engineering- und Dokumentationsleistungen und/ oder die Herstellung der Anlage der Gegenstand des Werkvertrags.

*Gemäß der Aussage in Abs. (2), § 631 BGB schuldet im Werkvertrag der Auftragnehmer den Auftraggeber einen vereinbarten Erfolg, nicht nur sein Mitwirken bzw. sein Bemühen.*

Wie die Qualität (juristisch: Beschaffenheit, Erfolg) des Werkes sein muss, wird im BGB, § 633 (Sach- und Rechtsmangel) wie folgt formuliert:

- (1) Der Unternehmer hat dem Besteller das Werk frei von Sach- und Rechtsmängeln zu verschaffen.
  - (2) Das Werk ist frei von Sachmängeln, wenn es die vereinbarte Beschaffenheit hat. Soweit die Beschaffenheit nicht vereinbart ist, ist das Werk frei von Sachmängeln,
    1. wenn es sich für die nach dem Vertrag vorausgesetzte, sonst
    2. für die gewöhnliche Verwendung eignet und eine Beschaffenheit aufweist, die bei Werken der gleichen Art üblich ist und die der Besteller nach der Art des Werkes erwarten kann.
- Einem Sachmangel steht es gleich, wenn der Unternehmer ein anderes als das bestellte Werk oder das Werk in zu geringer Menge herstellt.
- (3) Das Werk ist frei von Rechtsmängeln, wenn Dritte in Bezug auf das Werk keine oder nur die im Vertrag übernommenen Rechte gegen den Besteller geltend machen können.

Die vom Auftragnehmer im Werkvertrag zugesicherten *Gewährleistungen* und *Garantien* sind wichtige Bestandteile der in Abs. (2) angeführten vereinbarten Beschaffenheit. Ihre Nichterfüllung stellt einen wesentlichen Sachmangel dar.

Gravierende Rechtsmängel, die der Auftragnehmer von Engineeringleistungen unbedingt ausschließen muss, sind beispielsweise Patent- bzw. Lizenzansprüche Dritter (s. auch Abschn. 3.7).

Bei Nichterfüllung des Werkvertrages seitens des Auftragnehmers, egal ob Sach- oder Rechtsmängel, resultieren Forderungen des Auftraggebers. Mögliche Maßnahmen bei Nichterfüllung sowie die üblichen Verjährungsfristen dieser Versprechen sind im Abschn. 2.5.4 angeführt.

Von besonderem Interesse bei Leistungsstörungen sind oft die *Regelungen zum Schadenersatz*, inkl. Schadenersatz für entgangenen Gewinn (BGB, § 252) oder für andere Folgeschäden.

Die Grundaussage zum Schadenersatz steht im BGB, § 280 (Schadenersatz wegen Pflichtverletzung) und betrifft alle Schuldverhältnisse. Danach hat der Schuldner, der eine Leistungspflicht verletzt, dem Gläubiger den hierdurch entstehenden Schaden zu ersetzen. Es sei denn, dass er die Pflichtverletzung nicht (im Sinne von § 276) zu vertreten hat (Beweis beim Schuldner).

Unter welchen Voraussetzungen die Schadenersatzforderung konkret durchsetzbar ist, wird im BGB, § 281 (Schadenersatz statt der Leistung) formuliert.

Einen *Schadenersatz statt der Leistung* kann der Gläubiger nur unter den zusätzlichen Voraussetzungen des § 281 (erfolglose Fristsetzung), des § 282 (Unzumutbarkeit der Leistung für den Gläubiger) oder des § 283 (vom Schuldner zu vertretende Unmöglichkeit der Leistung) verlangen. In besonderen Fällen kann es auch einen *Schadenersatz neben der Leistung* geben.

Die praktischen Erfahrungen im Anlagenbau zeigen, dass ein Schadenersatz statt der Leistungen sehr selten ist. In aller Regel bessert bei einer Leistungsstörung im Werkvertrag der Schuldner (Auftragnehmer) die Leistung gemäß BGB, § 635 (Nacherfüllung) nach. Das Beispiel 2.3 soll diese Aussage belegen und zugleich zeigen, dass Schadenersatz für Folgeschäden schwer durchsetzbar ist.

### **Beispiel 2.3 Schaden durch fehlerhafte Schwimmerkörper**

Zur Füllstandüberwachung an Behältern einer Erdgasanlage waren außerhalb der Behälter kommunizierende Standrohre mit Schwimmerkörpern und sog. Reed-Ketten angeordnet.

Die Schwimmerkörper aus Edelstahl enthielten einen Permanentmagnet, der über verstellbare und verschieden farblich markierte Magnetblättchen den Füllstand vor Ort anzeigen. Zugleich dienten die Reed-Ketten zur Signalübertragung und Grenzwertüberwachung.

In den Datenblättern für die Füllstandmessungen war ein maximal zulässiger Betriebsüberdruck von 64 barü angegeben.

Zugleich war im Datenblatt aber ein Auslegungsdruck für diese PLT-Stellen von 100 barü angeführt, da der Betreiber den Abscheider im Sonderfall auch bei der höheren Druckstufe nutzen wollte.

Der Lieferant des Schwimmerkörpers hatte im PLT-Stellenblatt diesen erhöhten Auslegungsdruck nicht wahrgenommen und für nur 64 barü geeignete Schwimmerkörper geliefert, die auch montiert wurden. Anschließend wurden die Standmessungen komplett wärme- bzw. kälteisoliert.

Vor Inbetriebnahme der Anlage wurde das Rohrleitungssystem in Form sog. Presskreise, inkl. der eingebauten Standmessung, einer Druckprüfung mit Wasser unterzogen. Der Prüfdruck betrug ca. das 1,3-fache des höheren Auslegungsdrucks. Die eingebauten Schwimmerkörper wurden dabei alle mechanisch zerstört (s. Abb. 2.12).

Während der relativ späten Funktionsprüfungen kurz vor Inbetriebnahme wurde festgestellt, dass die Standmessungen nicht arbeiten. Die anschließende Ursachensuche bis hin zur Demontage der Standmessung und Inaugenscheinnahme der beschädigten Schwimmerkörper dauerte einige Tage. Anschließend vergingen nochmals mehrere Tage um neue und gemäß dem Prüfdruck nach BetrSichV vorgeprüfte und zertifizierte Schwimmerkörper zu beschaffen und einzubauen.

Der Lieferant bedauerte das Versehen und lieferte die neuen Schwimmerkörper auf seine Kosten nach. Die ca. 100-fachen Kosten, die für die Fehlersuche und Störungsbehebung anfielen, aber insbesondere durch die verzögerte Inbetriebnahme entstanden, trug der Investor als Besteller der Standmessungen.

Die Erfolgsaussichten einer Schadenersatzklage gegenüber dem Lieferant wurden als gering eingeschätzt und eine solche vom Besteller nicht angestrengt.



**Abb. 2.12** Zerstörte Schwimmerkörper analoger Füllstandsmessungen

Für die Vertragserfüllung im Werkvertrag ist die **Abnahme** der Vertragsleistung von besonderer Bedeutung.

Dabei gilt:

*Die Durchführung einer Abnahmehandlung nach erbrachter Vertragsleistung ist ein Wesensmerkmal des Werkvertrags. Dabei wird die Vertragserfüllung geprüft und durch die Abnahme der Vertragsleistung bestätigt.*

Im BGB, § 640 (Abnahme) wird dazu formuliert:

- (1) Der Besteller ist verpflichtet, das vertragsmäßig hergestellte Werk abzunehmen, sofern nicht nach der Beschaffenheit des Werkes die Abnahme ausgeschlossen ist. Wegen unwesentlicher Mängel kann die Abnahme nicht verweigert werden. Der Abnahme steht es gleich, wenn der Besteller das Werk nicht innerhalb einer ihm vom Unternehmer bestimmten angemessenen Frist abnimmt, obwohl er dazu verpflichtet ist.
- (2) Nimmt der Besteller ein mangelhaftes Werk gemäß Absatz 1 Satz 1 ab, obschon er den Mangel kennt, so stehen ihm die in § 634 Nr. 1 bis 3 bezeichneten Rechte (d. Verf.: Nacherfüllung, Selbstvornahme, Minderung, Vertragsrücktritt) nur zu, wenn er sich seine Rechte wegen des Mangels bei der Abnahme vorbehält.

und im § 641 (Fälligkeit der Vergütung):

- (1) Die Vergütung ist bei der Abnahme des Werkes zu entrichten. Ist das Werk in Teilen abzunehmen und die Vergütung für die einzelnen Teile bestimmt, so ist die Vergütung für jeden Teil bei dessen Abnahme zu entrichten.

Weitere gesetzliche Regelungen zur Abnahme und Vergütung sind kurz gefasst gemäß § 641 (Fälligkeit der Vergütung):

- Der Werkunternehmer kann für fertige Teile eines erstellten Werkes Abschlagszahlungen für die erbrachten vertragsmäßigen Leistungen verlangen.
- Die Vergütung eines Subunternehmers ist spätestens dann fällig, sobald sein Auftraggeber vom Bauherrn seine Vergütung oder Teile davon erhalten hat.
- Bei mangelnder Ausführung kann der Besteller in der Regel den 2-fachen Betrag der für die Beseitigung von Mängeln erforderlichen Kosten einbehalten.
- Eine in Geld festgesetzte Vergütung hat der Besteller von der Abnahme des Werkes an zu verzinsen, sofern nicht die Vergütung gestundet ist.

Im internationalen Recht sowie im nationalen Recht anderer Staaten sind der Begriff der Abnahme und die damit verbundenen Inhalte, Rechtsfolgen u. a. teilweise unterschiedlich geregelt. Insbesondere bei internationalen Anlagenverträgen ist es wichtig, dass, die Details zur Abnahme ausführlich vertraglich vereinbart werden.

Konkret heißt das, die *Voraussetzungen*, der *Inhalt*, der *Ablauf* und die *Rechtsfolgen* der **Abnahme** müssen aus dem Text des Vertrags erkennbar sein. Die wenigen gesetzlichen Abnahmeregelungen werden dadurch näher ausgestaltet und zugleich eine einheitliche Rechtsbasis zwischen Käufer und Verkäufer zu diesen Fragen hergestellt.

Abschließend zur Abnahmethermatik sei noch auf die erheblichen Rechtsfolgen verwiesen, die mit der Abnahme verbunden sind bzw. sein können.

Zunächst resultiert aus der Abnahme per Gesetz, dass der Käufer die Leistung des Verkäufers als im Wesentlichen vertragsgemäß anerkennt.

Ferner kann die *Abnahme*, entweder abgeleitet aus dem anzuwendenden Recht bzw. laut vertraglicher Vereinbarung auch die folgenden Rechtsfolgen bewirken:

- Mit der Abnahme eines Vertragsgegenstandes gelten die entsprechenden vom Verkäufer zugesicherten Eigenschaften (lt. BGB: vereinbarte Beschaffenheit), als erbracht.
- Nach der Abnahme stehen dem Käufer bezüglich der Qualität der Leistung des Verkäufers nur noch Gewährleistungen und Garantie zu. Aus dem bisherigen Erfüllungsanspruch wird somit ein Mängelbeseitigungsanspruch (sofern eine Mängelhaftung des Verkäufers nach der Abnahme fortbesteht).
- Mit der Abnahme ist meistens der **Gefahrenübergang** bzw. Verantwortungsübergang für die Anlage vom Verkäufer an den Käufer verbunden (s. auch BGB, § 644 – Gefahrtragung); sofern dieser nicht bereits zu einem früheren Zeitpunkt vereinbart und erfolgt ist (z. B. nach Erbringen des Leistungsnachweises).
- Mit erfolgter Abnahme ändert sich spätestens die **Beweislast**.

Während vor der Abnahme der Auftragnehmer die Vertragsgemäßheit der Leistung beweisen muss, sind Mängel nach der Abnahme durch den Auftraggeber zu beweisen.

Bei einem Mangel im Gewährleistungszeitraum muss beispielsweise der Auftraggeber nachweisen, dass die Mangelursache vom Auftragnehmer zu vertre-

ten ist. Dies kann erfolgen, indem er belegt, dass die Schadensursache bzw. der Mangel bereits zum Zeitpunkt des Gewährleistungsbeginns vorlag.  
In der Praxis ist dieser Nachweis mitunter schwierig.

- Der Abnahmetermin ist meistens für die vertragsgemäße Terminerfüllung wichtig.
- Der Zeitpunkt der Abnahme kann als spätester Zeitpunkt für den Beginn von Garantie- und/oder Gewährleistungsfristen gelten.
- Das Abnahmeprotokoll stellt häufig eine Zahlung auslösendes Dokument dar. Die Abnahme gibt somit dem Verkäufer das Recht zur Rechnungslegung (z. B. für einen vereinbarten Zahlungsmeilenstein oder für Kreditzinsen).
- Mit der Abnahme und der anschließenden Zahlung der vereinbarten Vergütung kann ein Eigentumsübergang des Vertragsgegenstandes verbunden sein.

Engineeringleistungen werden i.d.R. in Werkverträgen vereinbart, egal ob in reinen Ingenieurverträgen oder in Generalverträgen zusammen mit anderen Lieferungen und Leistungen. Sie können aber im speziellen Fall auch im Rahmen eines Dienstvertrags eingekauft werden (s. Punkt c) dieses Abschnitts).

### b) Kaufvertrag (BGB, §§ 433 – 479)

Der *Kaufvertrag* verpflichtet gemäß BGB, § 433 den Verkäufer, den Kaufgegenstand an den Käufer zu übergeben und zu übereignen. Der Kaufgegenstand muss frei von Sach- und Rechtmängeln sein.

Gleichzeitig wird der Käufer verpflichtet, den vereinbarten Kaufpreis zu zahlen und den Kaufgegenstand abzunehmen.

Die Abgrenzung zwischen Kaufvertrag und Werkvertrag ist nach BGB, § 651 (Anwendung des Kaufrechtes) wie folgt geregelt:

Auf einen Vertrag, der die Lieferung herzustellender oder zu erzeugender beweglicher Sachen zum Gegenstand hat, finden die Vorschriften über den Kauf Anwendung.

Nicht selten erfolgt jedoch im Anlagenbau, trotz dieser Abgrenzung, die Beschaffung beweglicher Anlagenkomponenten über einem Werkvertrag, da im Vertrag neben der Produktlieferung zugleich noch Konstruktions-, Montage-, Inbetriebnahme- oder andere Serviceleistungen des Kontraktors vereinbart sind.

*Analog zum Werkvertrag schuldet im Kaufvertrag der Verkäufer dem Käufer einen vereinbarten Erfolg (vereinbarte Beschaffenheit) an der Sache.*

Grundsätzlich sind die rechtlichen Regelungen bei einem Kaufvertrag, wie beispielsweise betreffs:

- Sachmangel (BGB, § 434), Rechtsmangel (§ 435),
- Rechte des Käufers bei Mängeln (§ 437),
- Verjährung der Mängelansprüche (§ 438),
- Nacherfüllung (§ 439), Minderung (§ 441),
- Besondere Bestimmungen für Rücktritt und Schadenersatz (§ 440),
- Beschaffenheits- und Haltbarkeitsgarantie (§ 443), Haftungsausschluss (§ 444)

ähnlich denen des Werkvertrags.

Besonderheiten gelten u.a. für die Haftung (sog. Gefährdungshaftung) und den Schadensersatz bei Produkten gemäß Produkthaftungsgesetz [33] (s. Abschn. 2.3.2.3, Buchst. b)).

Ist die gemäß Kaufvertrag erworbene Sache mangelhaft, so muss der Käufer zunächst Nacherfüllung verlangen. Diese kann nach seiner Wahl entweder durch Mängelbeseitigung (Reparatur) oder Lieferung einer mangelfreien Sache (§§ 437, 439) erfolgen. Ist die Nacherfüllung nicht durchführbar, kann er vom Vertrag zurücktreten oder den Kaufpreis anteilig mindern (§§ 437, 441).

*Eine Abnahmeprozedur zur Prüfung und Bestätigung der Vertragserfüllung ist im Kaufvertrag nicht üblich. Man spricht stattdessen von der „Übergabe und Entgegennahme der verkauften bzw. gekauften Sache“.*

*Sobald die Sache vom Käufer entgegengenommen und vergütet wurde, hat der Käufer die Erfüllung der Vertragsleistung bestätigt und trägt zukünftig die Gefahr und Beweislast. Die Gewährleistungsfrist beginnt i.d.R. ebenfalls.*

Die Spezifität des Verbrauchgüterkaufs (BGB, §§ 474 – 479), die insbesondere die zweijährige Garantie (§ 475, Abs. 2) und die Beweislastumkehr in den ersten 6 Monaten (§ 476) betreffen, ist für den Anlagenbau nicht relevant, da die beteiligten Unternehmen keine *Verbraucher* im Sinne des BGB, § 13 sind.

Für Engineeringleistungen sind Kaufverträge dann interessant, wenn der Hersteller bzw. Lieferant einer beweglichen Sache (Produkt) im Kaufvertrag auch Engineeringleistungen zu erbringen hat und für das Ergebnis gewährleistet. Dies kann beispielsweise die Konstruktion und gegebenenfalls auch die verfahrenstechnische Auslegung eines Apparats (Kolonne, Wärmeübertrager, Rührkessel, Abscheider usw.) betreffen.

In diesen Fällen gilt i. Allg. das Kaufvertragsrecht, sofern z.B. der Hersteller keine Inbetriebnahmeleistungen mit vereinbartem Leistungsnachweis und Endabnahme gemäß Werkvertragsrecht erbringen muss.

Im Kaufvertrag sind die Engineeringleistungen sowie die dadurch begründete vereinbarte Beschaffenheit (Festigkeit, Funktion, Zuverlässigkeit u.a. Qualitätsmerkmale) der Sache/des Kaufgegenstands präzise zu definieren und zu vereinbaren. Zugleich ist festzulegen, wie die vereinbarte Beschaffenheit geprüft wird und wie bei Sach- bzw. Rechtsmängeln zu verfahren ist.

### c) Dienstvertrag (BGB, §§ 611 – 630)

Gegenüber dem Werk- bzw. Kaufvertrag weist der *Dienstvertrag* gravierende Unterschiede auf. Er ist nach BGB, § 611 wie folgt definiert:

- (1) Durch den Dienstvertrag wird derjenige, welcher Dienste zusagt, zur Leistung der versprochenen Dienste, der andere Teil zur Gewährung der vereinbarten Vergütung verpflichtet.
- (2) Gegenstand des Dienstvertrages können Dienste jeder Art sein.

Schwierig ist mitunter die Abgrenzung zwischen Dienstvertrag und Werkvertrag. Grundsätzlich wird beim Dienstvertrag nur ein *Bemühen* aber beim Werkvertrag ein *Erfolg* geschuldet.

Wenn beispielsweise der Mitarbeiter einer Fremdfirma als Planungsingenieur im Projektteam des Generalplaners tätig wird, so erfolgt dies i.d.R. im Rahmen eines Dienstvertrags. Er muss sich nach „besten Wissen und Gewissen“ bemühen und einen möglichen Fahrlässigkeitsvorwurf unbedingt vermeiden (s. Abschn. 1.5), wird aber nicht für ein bestimmtes Ergebnis (Erfolg) haften bzw. gewährleisten.

Das Leasing von Spezialisten und deren Einbindung ins eigene Team ist deshalb bezüglich der Erfolgschaftung (Gewährleistung) aber auch aus versicherungsrechtlichen Gründen problematisch. Dies gilt insbesondere, wenn diese Person

- ausschließlich für den neuen Arbeitgeber tätig ist,
- der Arbeitsort beim neuen Arbeitsgeber liegt und
- der neue Arbeitgeber gegenüber der delegierten Person weisungsbefugt ist.

Aus dem Gesagten kann umgekehrt gefolgert werden, wenn der Auftraggeber vom Auftragnehmer für die Vertragsleistung eine Gewährleistung möchte, muss er die Leistung über einen Werkvertrag einkaufen.

Der Dienstvertrag (sprachlich: Arbeitsvertrag) ist der klassische Vertrag zwischen einem Arbeitgeber und einem nichtselbstständigen Arbeitnehmer. Er kann aber auch vom Arbeitgeber mit einem Selbstständigen, z. B. einem freiberuflichen Ingenieur, abgeschlossen werden.

Bei einem Dienstvertrag und bei Haftung des Arbeitnehmers trägt entsprechend folgender Formulierung im BGB, 619a (Beweislast bei Haftung des Arbeitnehmers) der Arbeitgeber die Beweislast.

Abweichend von § 280 Abs. 1 (d. Verf.: Beweislast beim Schuldner) hat der Arbeitnehmer dem Arbeitgeber Ersatz für den aus der Verletzung einer Pflicht aus dem Arbeitsverhältnis entstehenden Schaden nur zu leisten, wenn er die Pflichtverletzung zu vertreten hat.

Begeht ein über einen Dienstvertrag beschäftigter Freiberufler bzw. Fremdfirmenmitarbeiter einen Schaden, z. B. indem er eine Kolonne verfahrenstechnisch falsch auslegt, so gelten grundsätzlich die Ausführungen gemäß Abschn. 1.5.

Kann ihm der Geschädigte im Schadensfall keine Pflichtverletzung nachweisen, aber ggf. einen fachlichen Fehler oder ein Versäumnis, so ist gegebenenfalls der Fahrlässigkeitsvorwurf zivilrechtlich bzw. strafrechtlich relevant.

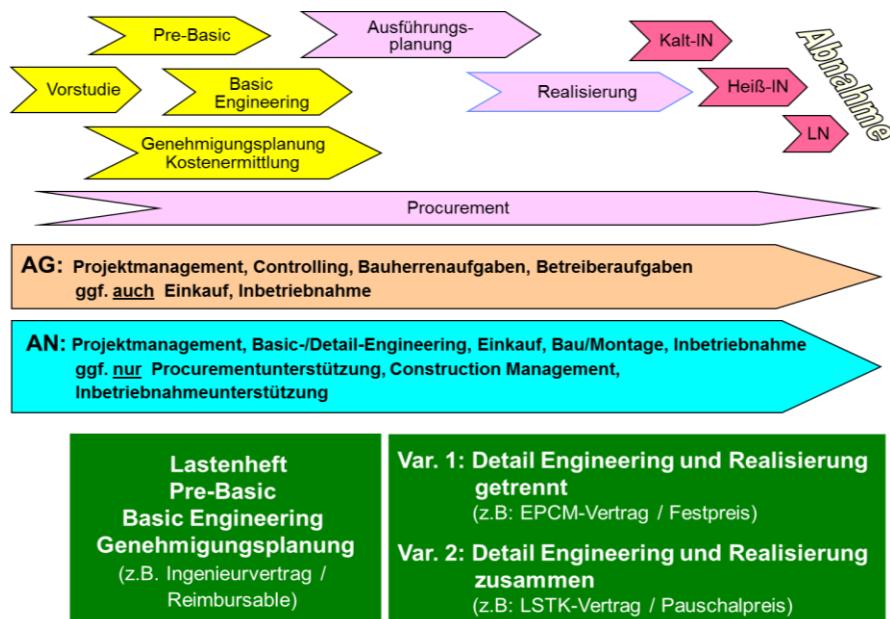
## 2.5.2 Vertragsarten im Anlagenbau

Unabhängig von der Rechtsform eines Vertrages, werden im Anlagenbau auch verschiedene **Vertragsarten** definiert. Deren Bezeichnung spiegelt den Vertragsgegenstand bzw. die Vertragsleistung wider; mitunter auch die Vergütungsform.

Ausgehend vom Phasenmodell der Anlagen-Projektabwicklung werden nachfolgend zwei grundlegende Vertragsarten vorgestellt. Auf andere Vertragsarten (z.B. Liefer- und Montageverträge) bzw. Mischformen von Verträgen wird nicht eingegangen und auf die Fachliteratur verwiesen [64] [65].

Die Übersicht in Abb. 2.13 zeigt für typische Anlagenprojekte aus der Chemie inkl. Kunststoffindustrie sowie aus der Pharmazie inkl. Gesundheitsprodukt die vertraglich zu regelnden Leistungen und einige Vertragsarten. Sie soll für die

folgenden Ausführungen zu den beiden Vertragsarten als Grundlage dienen. Die angeführten Abkürzungen werden nachfolgend im Text erklärt.



**Abb. 2.13** Übersicht zu Vertragsleistungen und Vertragsarten bei der Anlagen-Projektabwicklung

### a) Ingenieurvertrag (Engineeringvertrag, Engineering contract)

- Die Rechtsform des Ingenieurvertrags ist in den meisten Anlagenprojekten der Werkvertrag; im Sonderfall kann es auch ein Dienstvertrag sein.

Der **Engineeringvertrag** kann ausschließlich Ingenieurleistungen umfassen, wie es z.B. bei Verträgen über die Mitwirkung am Lastenheft bzw. beim Behörden-Engineering oder über die Erarbeitung des Pre- und Basic-Engineering nicht selten der Fall ist.

Er kann aber im klassischen Fall bei der Anlagenausführung (auf Basis des Pflichtenhefts) auch komplexer sein und die Leistungen für:

- die Planung (Engineering),
- das Procurement-Unterstützung,
- die Bau-/Montageleitung und Bau-/Montageüberwachung,
- die Inbetriebnahmeleitung und -durchführung (ggf. nur Unterstützung).

beinhalten. Entsprechend dem vertraglichen Leistungsumfang von Engineering, Procurement, Construction Management spricht man von einem **EPCM-Vertrag**.

Erbringt nur ein Auftragnehmer diesen komplexen Leistungsumfang, so wird er als **Generalplaner (GP)** oder **General-Engineer** bezeichnet.

- Typische Engineeringverträge sind solche, die auf Grundlage der **Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI)** [66] im Bauwesen abgeschlossen werden, wobei folgende Besonderheiten der HOAI-Verträge zu beachten sind:
  - Ingenieurverträge nach HOAI trennen konsequent zwischen Planungs- und Realisierungsleistungen. Dies wiederum hängt eng mit der Auftragsvergabe durch die öffentliche Hand auf dem Weg der Ausschreibung zusammen.
  - Ingenieurleistungen für das Procurement (Technischen Einkauf) sind in der HOAI nicht enthalten. Sie können aber nochmals 10 bis 20 Prozent des Gesamthonorars nach HOAI ausmachen.
  - Die Preisbildung für Ingenieurleistungen nach HOAI erfolgt überwiegend als Prozentsatz von der Investitionssumme für die technische Ausrüstung/ Anlage (sog. anrechenbare Kosten), wobei der Schwierigkeitsgrad anhand von drei Honorarzonen berücksichtigt wird.
- Gravierenden Einfluss auf die Engineeringverträge hat die Beantwortung folgender Fragen:
  - *Wer ist der Eigentümer und Know-how-Träger des Verfahrens? Ist es der Auftraggeber selbst, der Generalplaner oder ein dritter Partner?*
    - Davon hängt i.Allg. ab, wer die risikobehafteten Leistungsgarantien am Ende der Inbetriebnahme vertreten muss.
  - *Sind es Engineeringleistungen während des Entscheidungszeitraums (in den Phasen 1 bis 5) oder während des Realisierungszeitraums (in den Phasen 6 bis 9) oder über alle Phasen 1 bis 9?*
    - Bei den klassischen Prozessanlagen sind die Leistungen während des Basic Engineering und der Genehmigungsplanung meistens „sehr kunden-nah“. Das heißt, der Kunde bringt selbst wesentliches Know-how ein bzw. kauft sich die Leistungen über einen sog. *Owner-Engineer* (kundenseitigen Planer) ein (s. auch Abschn. 2.5.3.1).  
Ferner sind diese Leistungen oft nicht exakt zu spezifizieren, sodass eine Beauftragung zum Fest- bzw. Pauschalpreis nicht zweckmäßig ist.
    - Die Engineeringleistungen für die Anlagenausführung (Execution) sind i.Allg. besser spezifizierbar, weniger Know-how-trächtig und z.T. standarisert bzw. ähnlich. Sie lassen sich vorteilhaft einem externen Kontraktor (sog. *Contractor-Engineer*) übertragen (s. Abschn. 2.5.3.2).
    - Dass alle Engineeringleistungen während der Projektentwicklung in einen Vertrag gebündelt werden, ist für komplexe Prozessanlagen selten (s. Abschn. 2.5.3.3).
- Die Vergütung des Ingenieurunternehmens erfolgt in den ersten Phasen (bis zur Investitionsentscheidung) häufig nach Aufwand (Reimbursable contract) und für die späteren Phasen (nach der Budgetfreigabe) häufig zum Festpreis (fix price).  
Ist der Leistungsumfang bei Vertragsabschluss nicht ausreichend spezifizierbar, wird zweckmäßig nach Aufwand (Kostenerstattungspreis) vergütet.

Der Aufbau eines komplexen EPCM-Vertrags ist weitgehend ähnlich zur Gliederung des Muster-LSTK-Vertrags in der nachfolgenden Tabelle 2.24, Buchst. b).

- Die Beschaffung der Lieferungen und Leistungen für die Anlagenerrichtung übernimmt außerhalb des Engineeringvertrags der Investor selbst. Dies erfolgt in Form separater Liefer- bzw. Bau-/Montageverträge. Der Investor beschafft somit eigenverantwortlich die Anlage.

Das Ingenieurunternehmen haftet nur für die Planungsleistung und wird, da es nicht für die Investitionskosten verantwortlich ist, im Zweifel stets qualitativ höherwertige und damit kostenintensivere planerische Lösungen vorschlagen.

Der Investor muss (z.B. durch eine *Zielpreisvereinbarung* mit Bonus-/Malus-Regelung) versuchen, dass Ingenieurunternehmen hinsichtlich geringer Investitionskosten zu motivieren.

Das Ingenieurunternehmen trägt keine Haftung bei Lieferverzug und bei Nichterfüllung der Technischen Gewährleistung (z.B. während des 24-monatigen Gewährleistungszeitraums). Die Durchsetzung von Garantie- und Gewährleistungsansprüchen gegenüber Drittunternehmen, die vom Auftraggeber betreffs Lieferungen und Leistungen direkt (außerhalb des Engineeringvertrags) beauftragt wurden, obliegt dem Auftraggeber selbst. Mitunter wird dies nicht ausreichend beachtet.

Die eventuell im Engineeringvertrag eingekaufte Mitwirkung des Ingenieurpartner während der Phasen 7 (Beschaffung) und 8 (Bau/Montage) ändern nicht die Rechtssituation, solange der Auftragnehmer dabei keine Pflichtverletzungen begeht bzw. grob fahrlässig einen Schaden verursacht (s. Abschn. 1.5.1).

- Die Haftungsregelungen bezüglich des Nachweises der Leistungsgarantien/-werte sind beim EPCM-Vertrag analog zum Generalvertrag (s. Buchst b) dieses Abschnitts und Abschn. 2.5.4).

In den Engineeringverträgen während des Konzeptabschnitts sind Haftungsregelungen (z.B. Vereinbarungen zu Gewährleistung und Garantien für die Entwurfsplanung) schwieriger durchsetzbar und weniger ausgeprägt.

Grundsätzlich ist für den EPCM-Vertrag festzustellen:

*Da neben dem Ingenieurvertrag noch weitere Verträge (z. B. Liefer- und Montageverträge) im Rahmen der gesamten Anlagenrealisierung bestehen, ist im Projekt eine besonders exakte juristische und inhaltliche Formulierung und Abgrenzung der Leistungen, Gewährleistungen und Garantien zwischen den Vertragspartnern notwendig.*

## b) Generalvertrag (Turnkey contract)

- Die Rechtsform eines Generalvertrags im Anlagenbau ist der Werkvertrag. Er wird insbesondere für die Anlagenausführung (Phasen 6 bis 9) angewandt.

Im **Generalvertrag** verpflichtet sich der **Generalunternehmer (GU)** (General-Auftragnehmer, General-Contractor) gegenüber dem **Auftraggeber** (Investor, Bauherr) eine funktionstüchtige (schlüsselfertige) Anlage gegen Zahlung eines Pauschal- bzw. Festpreises zu errichten.

Es existiert somit eine einheitliche und umfassende Leistungsverpflichtung des Auftragnehmers, die häufig beinhaltet:

- *die Ausführungsplanung (Detail Engineering),*
- *die Fertigung und Lieferung der Komponenten zur Baustelle (Procurement),*
- *den Bau und die Montage inkl. Baustellenleitung (Construction),*
- *Inbetriebnahmedurchführung und/oder -leitung (Commissioning) (optional).*

Diese Vertragsart minimiert die Schnittstellen zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer. Sie setzt eine detaillierte Leistungsbeschreibung und Vorgabe der Rahmenbedingungen im Pflichtenheft bzw. den Ausschreibungsunterlagen voraus.

- Die häufigste Modifikation eines Generalvertrags im Anlagenbau ist der **LSTK-Vertrag**. Dabei steht LSTK für Lump-Sum-Turn-Key und bedeutet *Schlüsselfertige Anlage zum Pauschalpreis*.

Die Vergütung erfolgt im LSTK-Vertrag zum Pauschalpreis gemäß folgender Definition:

**Pauschalpreis** (Lump Sum) ist eine vereinbarte Vergütung für eine definierte Leistung (auch für Herstellung einer Anlage), die ohne Nachweis des erfolgten Aufwands (Stunden) und ohne Mengenermittlung, (Aufmaße, Mengengerüste) zu zahlen ist.

Die Ausführungsplanung kann zum Vertragsumfang gehören, muss aber nicht.

Im verfahrenstechnischer Anlagenbau gehört die Ausführungsplanung (Detail Engineering) oftmals mit zum Leistungsumfang des LSTK-Vertrags. Andrerseits wird die Ausschreibung und Vergabe öffentlicher Vorhaben häufig auf Basis einer zuvor stattgefundenen Ausführungsplanung durchgeführt.

Den grundsätzlichen Aufbau eines Generalvertrags enthält Tabelle 2.24.

**Tabelle 2.24** Aufbau eines LSTK-Anlagenvertrags (Praxisbeispiel)

---

**1. Formale Vertragsbestimmungen**

- Vertragsabschluss, Vertragsparteien, Inkrafttreten des Vertrages, Bestandteile des Vertrages, Vertragssprache, Vertragsänderungen

**2. Begriffsdefinitionen**

- Vertrag, Vertragsleistung, Partner, Anlage, Mechanische Fertigstellung, Inbetriebnahme, Leistungsnachweis, Abnahme, AS BUILT-Dokumentation

**3. Leistungen der Vertragspartner** (Dokumentation jeweils eingeschlossen!)

- Lieferungs- und Leistungsgegenstand (Planung, Beschaffung, Montage, Inbetriebnahme, inkl. Dokumentation und Qualitätssicherung)
- Lieferungs- und Leistungsausschlüsse, Leistungsgrenzen
- Mitwirkungspflichten des Auftraggebers u.a.

**4. Subunternehmer des Auftragnehmers**

**5. Informations- und Prüfungsrechte sowie Informations- und Prüfpflichten**

**6. Weisungsrecht des Auftraggebers**

**7. Projektorganisation**

---

**Tab. 2.24 (Fortsetzung)**

- 
- 8. Vergütung und Zahlungsbedingungen**
  - 9. Änderungen und zusätzliche Leistungen**
  - 10. Vorschriften und Normen**
  - 11. Gewährleistung, Haftung, Vertragsstrafen, Pönale**
  - 12. Abnahme der Vertragsleistung**
  - 13. Beschränkung der Vertragshaftung**
  - 14. Gesetzliche Haftpflicht, Versicherungen**
  - 15. Eigentum der Dokumente, Schutzrechte**
  - 16. Geheimhaltung, Veröffentlichungen**
  - 17. Kündigung, Unterbrechung, Rechtsnachfolge**
  - 18. Höhere Gewalt**
  - 19. Sonstige Bestimmungen**
- 

**Anhang**

- |           |   |
|-----------|---|
| Anhang 1  | Grundlagen und Vorleistungen                        |
| Anhang 2  | Planungsleistungen                                  |
| Anhang 3  | Vorschriften und Normen                             |
| Anhang 4  | Beschaffungsleistungen                              |
| Anhang 5  | Baustellenabwicklung                                |
| Anhang 6  | Inbetriebnahmeleistungen                            |
| Anhang 7  | Dokumentation                                       |
| Anhang 8  | Projektabwicklung/-controlling                      |
| Anhang 9  | Projektterminplan                                   |
| Anhang 10 | Formblätter   |
| Anhang 11 | GSU-Management (Gesundheit-Sicherheit-Umweltschutz) |
| Anhang 12 | Zahlungsplan  |
| Anhang 13 | Optionen  |
- 

Das vollständige Muster eines Generalvertrages zur Erstellung einer schlüsselfertigen Industrieanlage ist von der UNIDO unter der Bezeichnung „Unido Model Form of Turnkey Lump Sum Contract for the Construction of a Fertilizer Plant“ [67] erarbeitet worden .

- Neben der Errichtung einer schlüsselfertigen Anlage werden die Generalverträge, insbesondere bei Auslandsprojekten, zunehmend um Leistungen erweitert. Diese betreffen z.B. die:
  - technisch-technologische Assistenz während des Dauerbetriebes,
  - Übergabe einer technisch und kommerziell in voller Leistung fahrenden Produktionsanlage,
  - Gestellung des Managements und/oder wahrnehmen der Betriebsführerschaft für einen vereinbarten Zeitraum,
  - Ausführung des Kundendienstes und der Ersatzteilversorgung,
  - Dokumentation und Auswertung zum Dauerbetrieb der Anlage,

- Bezahlung der Anlage durch Übernahme des Verkaufs der Erzeugnisse, ggf. mit Aufbau der dafür benötigten Vertriebsorganisation.

Die angeführten Erweiterungen bewirken i. Allg. größere Risiken für den Generalunternehmer und stellen hohe Anforderungen an sein Management.

- Der Nachweis der vertraglich fixierten Garantiever sprechen stellt die Hauptpflicht des Auftragnehmers im Generalvertrag dar (s. Abschn. 2.5.4).

Da die wesentlichsten Qualitätsmerkmale der zu errichtenden verfahrenstechnischen Anlage durch den Auftragnehmer in Form der Leistungsgarantien zugesichert werden, stellen die Leistungsnachweise die wichtigsten Abnahmeprüfungen (im Rechtssinn) dar.

### 2.5.3 Vertragsmodelle für Engineering und Realisierung

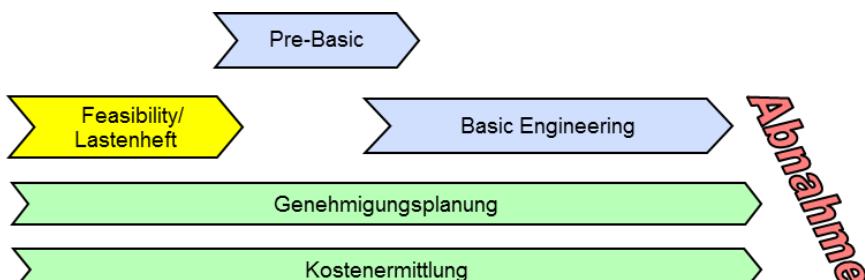
Ausgehend vom Phasenmodell der Anlagen-Projektabwicklung werden nachfolgend einige Vertragsmodelle vorgestellt. Die Modelle sollen grundlegende Vertragsbeziehungen zwischen den Partnern abbilden, die Engineeringleistungen näher betrachten sowie die bisherigen Ausführungen über **Vertragsarten** vertiefen.

Im Allgemeinen wird ein Projekt, auch aus vertraglicher Sicht, zweigeteilt abgewickelt. Der erste Teil umfasst den Zeitraum bis zur Investitionsentscheidung (s. Abschn. 2.5.3.1) und der zweite den Zeitraum nach der Investitionsentscheidung bis zur werkvertraglichen Abnahme der Anlage und AS BUILT-Dokumentation (s. Abschn. 2.5.3.2). Dies bedeutet, dass i.d.R. die beiden Projektabschnitte auch vertraglich separat gestaltet werden.

In besonderen Fällen kann ein Projekt von Anfang an auch ganzheitlich vertraglich gestaltet und abgewickelt werden (s. Abschn. 2.5.3.3).

#### 2.5.3.1 Vertragsmodelle vor der Investitionsentscheidung

Der Zeitraum bis zur Investitionsentscheidung umfasst die Projektphasen 1 bis 5, gegebenenfalls auch eine vorbereitende Durchführbarkeitsstudie (s. Abb. 2.14).



Vergabe/Vergütung über:

- Engineering-Vertrag nach Aufwand und/oder Festpreis

**Abb. 2.14** Vertragsmodell A für das Engineering vor der Investitionsentscheidung

Der in Abb. 2.14 dargestellte Zeitraum entspricht dem Konzept- und Entscheidungsabschnitt des Projekts (s. Abschn. 1.2).

Alle Aufgaben in diesen Phasen erfordern ausschließlich Dienstleistungen, überwiegend Engineeringleistungen. Es werden keine Anlagenkomponenten gefertigt bzw. montiert. Gegebenenfalls erforderliche Labor- und/oder Technikumsanlagen ausgenommen.

Im beschriebenen Projektabschnitt wird zunächst die Basic Engineering-Dokumentation, im Allg. als sog. *Extended Basic*, erarbeitet.

Während des Genehmigungsverfahrens und der Investitionsentscheidung wird diese Dokumentation zum verbindlichen **Pflichtenheft** (Requirement Specification) des Investors weiterentwickelt, welches die Basis für die Ausschreibung der Anlage inkl. Ausführungsplanung darstellt.

Die typische Vertragsart in diesen Projektabschnitt ist in Übereinstimmung mit der Vertragsleistung der **Engineeringvertrag**, wobei folgende Hauptvarianten unterschieden werden:

**Variant A1: Investor/Auftraggeber ist selbst Verfahrens- und Know-how-Träger**

- Der Investor hat das Verfahren, speziell von der Synthesestufe entwickelt und verfügt (z.B. aus dem Betrieb ähnlicher Anlagen) über wesentliches Verfahrens-Know-how. Es ist auch möglich, dass er von einem Dritten eine Verfahrenslizenz mit zugehörigem Know-how erworben hat.

- Aus strategischen Überlegungen möchte der Investor gegebenenfalls, dass dieses Know-how firmenintern vertraulich bleibt und nicht nach außen gelangt.
- Da bis Ende der Phase 3 schwerpunktmäßig die **Verfahrensplanung (Basic Design)** stattfindet, muss der Investor selbst diese Ergebnisse, z. B. die Verfahrensgarantien, verantworten.

Ferner ist er auch für die Einholung der Genehmigung verantwortlich und muss im eigenen Interesse bezüglich der Kostenermittlung sachkundig sein.

- Aus den Vorhergehenden folgt, dass der Investor die Arbeiten bis zur Investitionsentscheidung verantwortlich und fachlich leiten sollte. Dazu kann er gegebenenfalls eine firmeninterne Engineeringabteilung bzw. einen exklusiv gebundenen Engineeringpartner (*Owner-Engineer*) nutzen. Wenn nicht verfügbar, muss er ein spezialisiertes, externes Ingenieurbüro binden, das unter seiner Leitung und Verantwortung arbeitet.

- Die Vergütung der Spezialisten erfolgt i.d.R. nach Aufwand gemäß Stundennachweis und vereinbarten Stundenverrechnungssatz. Weiterer Aufwendungen werden gegen Nachweis bezahlt. Die Vergütungsform entspricht dem Reimbursable Contract (Aufwanderstattungsvertrag).

Diese Vergütungsform ist für den Investor flexibel handhabbar und entspricht den Charakter der Planungstätigkeiten bis zur Investitionsentscheidung.

- Bei Wiederholungsprojekten bzw. wiederkehrenden Engineeringleistungen, bei denen die Fremdleistungen (z. B. für die Mitwirkung am Basic Engineering) zu Beginn ausreichend exakt definiert werden können und nur wenige Projektänderungen zu erwarten sind, kann im Engineeringvertrag die Vergütung auch zum Pauschalpreis vereinbart werden.

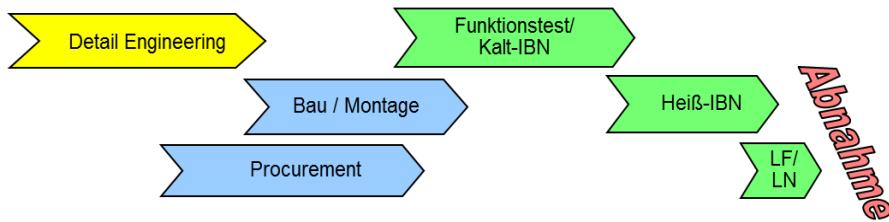
- Der Investor haftet für die wichtigsten Ergebnisse des Basic Design und damit auch des Basic Engineerings selbst. Die Verantwortung und Gewährleistung mitwirkender Engineeringpartner (intern bzw. extern) ist eingeschränkt (s. auch Abschn. 2.5.4).
- Die vorgenannte Verfahrens- und Know-how-Konstellation ist auch der Grund, weshalb bei derartigen Projekten bereits zum *Zeitpunkt Mechanische Fertigstellung* bzw. spätestens *Ende Kalt-Inbetriebnahme* der Gefahren- und Verantwortungsübergang vom Generalplaner (im **EPCM-Vertrag**) bzw. vom Generalunternehmer (im **LSTK-Vertrag**) auf den Investor übergeht.

#### Variante A2: Investor/Auftraggeber ist nicht Verfahrens- und Know-how-Träger

- Das Lastenheft sollte auch in diesen Fall vom Investor organisatorisch und fachlich verantwortlich erarbeitet werden. Der spätere Engineeringpartner kann gegebenenfalls punktuell mitwirken (s. Abschn. 2.4).
- Der Investor kauft das Verfahren und Know-how von einem externen Engineeringunternehmen (sog. *Kontraktor-Engineer*) im Rahmen eines Ingenieurvertrages ein. Zu diesem Zweck beauftragt der Investor das Engineeringunternehmen zugleich mit der Erarbeitung des Pre-Basic und des Basic Engineerings sowie zur Mitwirkung an der Genehmigungsplanung/-verfahren und (s. Kap. 5) und an der Kostenermittlung (s. Kap. 6).
- Der Investor arbeitet seine Leistungen und Ergebnisse gemäß Lastenheft für das Pre-Basic und Basic Engineering zu, während er bei der Genehmigungsplanung und Kostenermittlung maßgeblich und verantwortlich mitwirkt.
- Für seine Planungsergebnisse, insbesondere der Verfahrens- bzw. Prozessplanung, übernimmt der Engineeringpartner die verfahrenstechnischen Garantien (sog. Verfahrens- bzw. Leistungsgarantien) und haftet zu den vertraglich vereinbarten Bedingungen für deren Einhaltung (s. Abschn. 2.5.4).
- Problematisch ist, wenn die Engineeringfirma, die das Basic Engineering erarbeitet hat und die Ergebnisse verantwortet, nicht auch die Ausführungsplanung macht (s. auch Abschn. 2.5.3.2, Var. B1/b).
- Da der Ingenieurvertrag die Rechtsform eines Werkvertrages hat, sollte zu Vertragsende (z.B. nach Fertigstellung Pflichtenheft) entsprechend den vertraglichen Vereinbarungen eine werkvertragliche Abnahme der Vertragsleistung (juristisch: der vereinbarten Beschaffenheit des Werks) erfolgen.
- Die Vergütung des Engineeringpartners erfolgt abhängig von der Projekt-situation nach Aufwand bzw. zum **Pauschalpreis**. Entscheidend hierfür ist, wie genau die Leistungen zu Vertragsbeginn definiert werden können und wie groß deren Änderungswahrscheinlichkeit (Change-Potential) ist.

#### **2.5.3.2 Vertragsmodelle nach der Investitionsentscheidung**

Der Zeitraum nach der Investitionsentscheidung umfasst die Projektphasen 6 bis 9 (s. Abb. 2.15) und entspricht den Ausführungs-/Errichtungsabschnitt des Projekts.

Vergabe/Vergütung über:

- EPCM-Vertrag zum Pauschalpreis und/oder nach Aufwand, ggf. mit GMP
- LSTK-Vertrag zum Pauschalpreis

**Abb. 2.15** Vertragsmodell B für Detail Engineering und Realisierung nach der Investitionsentscheidung

In diesen Phasen sind sowohl Engineering-, Fertigungs-, Montage- und Inbetriebnahmefähigkeiten zu erbringen. Entsprechend dieser Vielfalt sind die möglichen Vertragsarten unterschiedlich. Die wichtigsten sind nachfolgend charakterisiert.

Variante B1: *Alle Engineeringleistungen werden mit Hilfe eines EPCM-Vertrags erbracht*

- Der Engineeringpartner erledigt im **EPCM-Vertrag**:
  - die Ausführungsplanung (Detail Engineering),
  - das Procurement (Technischen Einkauf),
  - die Bau-/Montageüberwachung und ggf. die Bau-/Montageleitung (Construction Management),
  - ggf. Inbetriebnahmeunterstützung bzw. Inbetriebnahmeleitung (Commission Management).
- In Tabelle 2.25 sind mögliche Einzelleistungen des Auftragnehmers im EPCM-Vertrag zusammengestellt.
- Die Beschaffung der Lieferungen und Leistungen für die Anlagenerrichtung übernimmt verantwortlich der Investor selbst. Dies erfolgt durch separate Liefer- bzw. Bau-/Montageverträge.
- Das Ingenieurunternehmen haftet nur für die Planungsleistung und wird, da es nicht für die Investitionskosten verantwortlich ist, im Zweifel stets höherwertige und kostenintensivere planerische Lösungen vorschlagen.

Der Investor muss deshalb (z. B. durch eine *Zielpreisvereinbarung* mit Bonus-/Malus-Regelung) versuchen, dass Ingenieurunternehmen hinsichtlich geringerer Investitionskosten zu motivieren.

- Das beschriebene Vertragsmodell enthält insgesamt viele Schnittstellen zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer.
- Die Vergütung des Ingenieurunternehmens erfolgt, insbesondere für die Ausführungsplanung, zum Pauschalpreis.

Die Mitwirkung bei Bau/Montage und/oder Inbetriebnahme kann auch nach Aufwand mit GMP (Grantierter Maximal-Preis) vergütet werden. Diese Vergütungsform wird den größeren Unwägbarkeiten in diesen Phasen gerecht.

- Das Ingenieurunternehmen ist, falls es der Verfahrens- und Lizenzgeber ist, gegebenenfalls auch für die Durchführung der Kalt- und Heiß-Inbetriebnahme bis zur werkvertraglichen Abnahme verantwortlich. Es stellt in dieser Verantwortung auch den ersten Inbetriebnahmleiter.

**Tabelle 2.25** Mögliche Leistungen des Auftragnehmers im EPCM-Vertrag in den Phasen 6 bis 9 (Praxisbeispiel)

---

### **1 Ausführungsplanung** (Detail Engineering) (Phase 6) (s. Kap. 7)

---

- 1.1 Wahrnehmung aller bzw. einzelner Fachplanungsfunktionen bei der Ausführungsplanung (Detail Engineering)
  - Engineeringunternehmen führen das Detail-Engineering nur zum Teil selbst aus, häufig binden sie aus Kostengründen Subunternehmen in aller Welt.
  - Mitunter werden Fachplanungsleistungen auch in Verbindung mit der Lieferung und Montage der entsprechenden Ausrüstungen bzw. Teilanlagen (sog. Package units) vergeben.
  - Die o. g. Leistung beinhaltet auch die Erarbeitung der Inbetriebnahmedokumentation.

### **2 Beschaffung** (Procurement) (Phase 7)

---

- 2.1 Ausarbeitung der Ausschreibungsunterlagen/Anfragespezifikationen zur Realisierung der Gesamtanlage bzw. einzelner Package units/Arbeitspakete/Lose
- 2.2 Mitwirkung bei der Lieferantenauswahl und Anfrage
- 2.3 Mitwirkung bei Angebotseinhaltung und -vergleich
- 2.4 Mitwirkung bei Vergabeverhandlungen und Erarbeiten des Vergabevorschlags
- 2.5 Mitwirkung beim Controlling zum Auftrag (Kosten, Termine, Qualität) sowohl für Komponentenlieferungen als auch für Bau-/Montageleistungen
- 2.6 Mitwirkung bei Freigabe zur Auslieferung und bei Eingangskontrolle der Lieferung (z. B. auf der Baustelle)
- 2.7 Mitwirkung bei Rechnungsprüfung auf sachliche Richtigkeit

### **3 Bau- und Montage** (Construction) (Phase 8)

---

- 3.1 Ggf. Bau- und Montageleitung im Auftrag des Bauherrn bzw. Investors
- 3.2 Durchführung von Bau-/Montagekontrollen und Inspektionen
- 3.3 Mitwirkung beim Controlling (Kosten, Termine, Qualität) während der Anlagenerrichtung
- 3.4 Mitwirkung bei Rechnungsprüfung auf sachliche Richtigkeit
- 3.5 Ausbildung des Leit-, Bedienungs- und Fachpersonals des Betreibers
- 3.6 Bildung und Leitung des Inbetriebnahmeteams gegen Ende der Montagephase
- 3.7 Mitarbeit an Sicherheits- und Funktionsprüfungen u. a. inbetriebnahmeverbundenden Arbeiten
- 3.8 Mitarbeit beim Erstellen der Restpunktliste am Montageende sowie des Protokolls *Mechanische Fertigstellung*

**Tab. 2.25** (Fortsetzung)

<b>4 Inbetriebnahme</b> (Commissioning) (Phase 9) (als verantwortlicher Verfahrensgeber oder Lizenzgeber)	
4.1	Stellen des Inbetriebnahmleiters sowie notwendiger Inbetriebnahmingenieure
4.2	Planung, Leitung und verantwortliche Durchführung der Inbetriebnahme einschließlich Controlling (Inbetriebnahmemangement)
4.3	Verantwortliche Durchführung und Protokollierung des Leistungsnachweises
4.4	Revision der Anlagendokumentation gemäß Bearbeitungsstatus: <i>As-built</i>
4.5	Verantwortliche Mitarbeit bei den Übergabe/Übernahmeverhandlungen sowie bei der Ausarbeitung und Unterzeichnung des Abnahmeprotokolls

Im Weiteren sollen zu Var. B1 noch einige Untervarianten (Sonderfälle) angeführt und kurz diskutiert werden.

Variante B1/a: *Engineeringleistungen vor und nach der Investitionsentscheidung werden vom gleichen Engineeringunternehmen erbracht*

- Dieser Fall ist nicht selten und hat den Vorteil, dass weniger Projekt-Schnittstellen existieren und ein Engineeringunternehmen als Generalplaner durchgängig über alle Projektphasen in der Verantwortung ist. Für die Minimierung der Schnittstellenprobleme und die Durchsetzung der Garantien und Gewährleistungen sind dies günstige Voraussetzungen.
- Nachteilig ist, dass die Kosten für die Planungsleistungen in den Ausführungsphasen gegebenenfalls überhöht sind, da der Engineeringpartner prinzipiell das Pflichtenheft sowie die nachfolgende Leistungsausschreibung für die Phasen 6 bis 9 (s. Tab. 2.25) zu seinen Vorteil gestalten kann. Manche Investoren untersagen aus diesem Grund, dass sich der „Basic-Erststeller“ an der Ausschreibung für die nachfolgenden Engineeringleistungen während der Ausführung beteiligt.
- Aus Sicht des Autors überwiegen aber i.d.R. die Vorteile gegenüber den Nachteilen, letztlich auch bezüglich der Kosten.

Variante B1/b: *Engineeringleistungen vor und nach der Investitionsentscheidung werden von verschiedenen Engineeringunternehmen erbracht*

- Die vorherigen Bemerkungen unter Var. B1/a sind im umgekehrten Sinne gleichermaßen zutreffend.
- Problematisch ist, dass der Basic-Erststeller auch noch am Ende des Projekts während des Leistungsnachweises für seine verfahrenstechnischen Garantien (sog. Verfahrensgarantien) und zum Teil auch für die Technische Gewährleistung der Anlage und ihrer Komponenten haften soll. Dies ist a priori konflikträchtig, da er an der Ausführung nicht beteiligt ist. Selbst wenn er konsultativ mitwirkt, sind im Problemfall gegenseitige Schuldzuweisungen beider Engineeringunternehmen wahrscheinlich. Der Investor,

aber auch die beiden Ingenieurunternehmen, laufen Gefahr, zwischen zwei Malsteine zu geraten.

- Mitunter ist eine durchgängige Engineering-Partnerschaft aber nicht möglich, wenn beispielsweise der Lizenzgeber und Basic-Ersteller die Detail-Planung nicht kann bzw. nicht machen will.
- Zur Bewältigung dieser Konfliktsituation muss im Projekt klar geregelt sein, wie bei Abweichungen zwischen der Ausführung und den Vorgaben im Pflichtenheft zu verfahren ist. In jedem Fall sollte der Basic-Ersteller die Abweichungen prüfen und genehmigen. Ansonsten droht seine vertraglich vereinbarte Haftung (Garantie, Gewährleistung) zu erlöschen.  
Zur diesem Zweck sollte zwischen Basic-Ersteller und Investor ein entsprechender Beratervertrag (Consulting Contract) abgeschlossen werden.  
Letztlich sind damit aber neue Zusatzkosten verbunden.

Variante B1/c: Investor kauft die Gesamtanlage von einem Generalunternehmen ein

- Dies bedeutet, dass die Herstellung der Anlage (ohne Ausführungsplanung) über einen einzigen Vertrag (z. B. **LSTK-Vertrag**) vereinbart ist.
- Für den Investor ist das Procurement dadurch vereinfacht. Es wird letztlich auf den Generalunternehmer verlagert.
- Da der Generalunternehmer i.d.R. auch die Bau- und Montageleitung übernimmt sowie den Baustellenleiter (Construction Manager) stellt, entfällt diese Leistung für das Engineeringunternehmen im EPCM-Vertrag.
- Grundsätzlich ändert sich für das Engineeringunternehmen in diesem Fall aber nichts.

Variante B2: Alle Leistungen zur Ausführungsplanung und Herstellung der Anlage werden über einen LSTK-Vertrag erbracht

- Der Generalunternehmer erledigt im **LSTK-Vertrag**:
  - die Ausführungsplanung (Detail Engineering),
  - das gesamte Procurement (Einkauf),
  - den Bau- und die Montage inkl. Baustellenleitung,
  - ggf. Inbetriebnahmeleitung und -durchführung.
- Diese Vertragsart minimiert die Schnittstellen zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer.
- Sie setzt zugleich eine detaillierte Leistungsbeschreibung und Vorgabe der Rahmenbedingungen im Pflichtenheft bzw. den Ausschreibungsunterlagen voraus.
- Die Vergütung erfolgt im LSTK-Vertrag zum Pauschalpreis. Die Leistungen für die Ausführungsplanung werden i.d.R. in Form eines bzw. mehrerer Zahlungsmeilensteine erstattet.
- Das Generalunternehmen ist häufig nicht das Engineeringunternehmen, dass das Basic-Engineering erarbeitete. Viele Planungsbüros (auch Architekten), die

sich auf die Vor- und Entwurfsplanung spezialisiert haben, sehen sich nicht als Einkäufer und Errichter von Anlagen.

Die Ausführungen unter Variante B1/b treffen deshalb auch hier voll zu.

### **2.5.3.3 Vertragsmodell über alle Projektphasen**

In der Praxis gibt es nicht selten Projekte, die die wiederholte Realisierung von Typen- bzw. Standardanlagen zum Ziel haben. Beispiele sind u.a.:

- Anlagen zur Biogas- und Biodieselerzeugung,
- Recyclinganlagen für Kunststoffabfall bzw. für Elektronikschrott,
- Kläranlagen für kommunale bzw. private Abwässer,
- kommunale Gas-und Dampfkraftwerke (GuD-Kraftwerke),
- modulare Block-Heizkraftwerke (BHKW),
- Sanitär-, Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlagen in öffentlichen Gebäuden,
- Steamreforminganlagen zur Wasserstofferzeugung in Raffinerien,
- Anlagen zur Meerwasserentsalzung.

Alle derartige verfahrenstechnische Anlagen werden in größereren Stückzahlen gebaut. Ihre Unterschiede sind, trotz verschiedener Investoren und Standorte relativ gering und die Projektablaufe ähnlich. Sie werden mehr oder weniger „von der Stange“ verkauft.

Diese Aussage trifft auch auf viele Package-unit-Anlagen, wie z. B.:

- Verdichteranlagen in vielen Industriezweigen,
- Anlagen zur Wasseraufbereitung in Kraftwerken oder Pharmabetrieben,
- Anlagen zur Dampferzeugung,
- Anlagen zur Kältebereitstellung,
- Abluftreinigungsanlagen,
- Luftzerlegungsanlagen,
- Anlagen zur Steuerlifterzeugung und -verteilung

sowie auf die Duplikierungen bestehender Anlagen zu.

Die Anlagenhersteller verfügen über viel Know-how bezüglich Planung, Fertigung und Errichtung derartiger Typenanlagen und sind auf Basis einer funktionalen Anfrage in der Lage, ohne aufwendige Vor-/Entwurfsplanung ein Pauschalpreisangebot abzugeben. Eingehende vorherige Abstimmungen zur Anfrage sowie Vor-Ort-Besichtigungen selbstverständlich vorausgesetzt.

Das heißt, die Investition wird bereits nach der Phase 1 entschieden und für die gesamte Projektentwicklung frühzeitig ein ganzheitlicher Anlagenvertrag, meistens als LSTK-Vertrag, abgeschlossen. Abb. 2.16 zeigt dieses Modell C.

Ergänzend dazu seien noch einige Bemerkungen angefügt.

- Der Generalunternehmer für die Typenanlage unterbreitet auf Basis einer kurzen Vor- und Entwurfsplanung gemäß seinen Erfahrungen und Know-how ein Pauschalpreisangebot für die Herstellung einer schlüsselfertigen Anlage.
- Der Generalunternehmer ist i.d.R. auch der Generalplaner; u.U. arbeitet er exklusiv mit einem externen Ingenieurbüro zusammen.

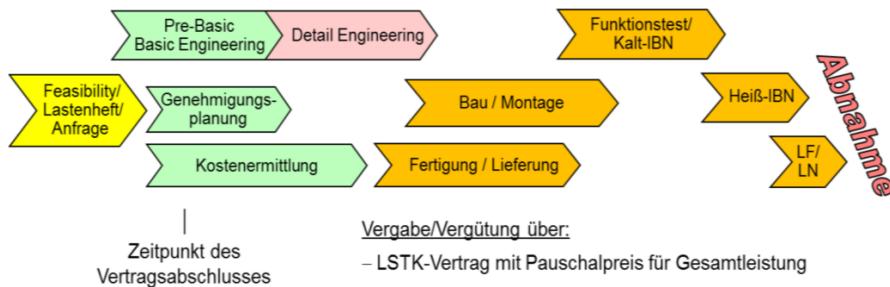


Abb. 2.16 Vertragsmodell C für Engineering und Realisierung über alle Projektphasen

- Der Investor muss zu Projektbeginn in der Lage sein, seine Anforderungen an die Anlage exakt und verbindlich zu definieren und in der Anfrage vorzugeben.
- Änderungen in der Aufgabenstellung des Investors und in der vertraglichen Leistung sind während der Projektabwicklung tunlichst zu vermeiden. Dafür ist dieses Vertragsmodell nicht geeignet.
- Der Generalunternehmer übernimmt Garantien und Gewährleistungen und hafte gegenüber dem Investor zu den vertraglichen Bedingungen. Er versucht diese Garantien und Gewährleistungen an die Subunternehmen weiterzugeben.
- Die Vergütung erfolgt zum Pauschalpreis, wobei ca. zehn Zahlungsmeilensteine über die Vertragslaufzeit üblich sind.
- Die Vertragsleistung inkl. der zugehörigen Dokumentation wird am Ende werkvertraglich abgenommen.

#### 2.5.4 Gewährleistung und Garantie im Anlagenvertrag

Die Begriffe **Gewährleistung** und **Garantie** werden in der Praxis mitunter gleichgesetzt, aber

*Gewährleistung ist keine Garantie!*

Zur näheren Erläuterung dieser Behauptung werden im Weiteren einige Ausführungen gemacht, die aus einer Internetrecherche, aus zahlreichen Gesprächen mit Fachkollegen und nicht zuletzt aus den praktischen Erfahrungen des Autors resultieren.

Einleitend seien noch einige Vorbemerkungen gestattet:

- Die meisten der Aussagen gelten grundsätzlich für alle Leistungen aus Werk- bzw. Kaufverträgen während der Projektabwicklung; unabhängig davon, ob es Engineering- oder Realisierungsleistungen sind.  
Trotzdem stehen entsprechend der Thematik dieses Buchs die Planungsleistungen im Mittelpunkt.
- Welche konkreten Gewährleistungen bzw. Garantien für welche Teilleistung gemäß dem Phasenmodell zutreffend sind, kann im Detail nicht gesagt werden. Dies ist projektspezifisch und letztlich auch Verhandlungssache.

Grundsätzlich sind zum Projektende, insbesondere in Verbindung mit der werkvertraglichen Abnahme der Anlage und der AS BUILT-Dokumentation, die meisten Gewährleistungen und Garantien relevant. Dies ergibt sich aus der Komplexität und wirtschaftlichen Tragweite der zu diesem Zeitpunkt erbrachten Leistungen.

Aber auch zuvor, am Ende des Basic Engineering, sollte der Auftragnehmer i.Allg. für die Sach- und Rechtsmängelfreiheit seiner Leistung gewährleisten und für die Ergebnisse der Verfahrensplanung (Basic Design) auch Verfahrensgarantien übernehmen.

#### **2.5.4.1 Ausführungen zu GEWÄHRLEISTUNG**

Die **Gewährleistung** ist sowohl für Werkverträge (z.B. EPCM-Vertrag oder LSTK-Vertrag über eine verfahrenstechnische Anlage inkl. Inbetriebnahmleistungen) als auch für Kaufverträge (u.a. Liefervertrag über eine Anlagenkomponente) zutreffend und wichtig.

Ihre Definition lautet:

Die **Gewährleistung** bzw. Mängelhaftung (im Werk und Kaufvertrag) definiert eine zeitlich befristete Nachbesserungspflicht für Mängel am hergestellten Werk bzw. am Kaufgegenstand, die zum Zeitpunkt der Abnahme bzw. des Kaufs bereits bestanden.

Die Gewährleistung resultiert aus gesetzlichen Regelungen.

##### **a) Gewährleistung im Werkvertrag**

Für werkvertragliche Leistungen im Allgemeinen sowie für Engineeringleistungen im Besonderen, die ebenfalls überwiegend in Werkverträgen erbracht werden oder ein Bestandteil des herzustellenden, gegenständlichen Werks (sprich: Anlage und zugehörige Dokumentation) sind, gilt es bezüglich der Gewährleistung folgende Aspekte zu beachten:

- 1) Gewährleistungsmängel und -ansprüche sind erst nach erfolgter werkvertraglicher Abnahme relevant. Ist die Abnahme noch nicht erfolgt, so handelt es sich um einen normalen Leistungsmangel gemäß Vertrag.
- 2) Planungsfehler vor der Abnahme sind nachzubessern, ansonsten erfolgt keine Vergütung für diese Leistung (sog. Erfüllungsanspruch).
- 3) Zum Zeitpunkt der Abnahme hat der Auftragnehmer zu gewährleisten, dass das Werk (sprich: die erbrachte Leistung) frei von Sach- und Rechtsmängeln ist (s. § 633 BGB in Abschn. 2.5.1, Buchst. a)).
- 4) Ein Sachmangel des Werks (der Leistung) liegt nach [68] vor, wenn
  - es nicht die zwischen Besteller (Auftraggeber) und Unternehmer (Auftragnehmer) vereinbarte Beschaffenheit hat,
  - es sich nicht für die im Vertrag vorausgesetzte Verwendung eignet,
  - es sich nicht für die gewöhnliche Verwendung eignet und nicht eine Beschaffenheit aufweist, die bei Werken der gleichen Art üblich ist und die der Besteller nach der Art des Werkes erwarten kann, oder

- ein anderes als das bestellte Werk oder das Werk in zu geringer Menge hergestellt worden ist.
- 5) Ein Rechtsmangel liegt dann vor, wenn ein
- ein Dritter aufgrund eines privaten oder öffentlichen Rechts das Eigentum, den Besitz oder den Gebrauch der Sache oder des Rechts beeinträchtigen kann [69].
- 6) Die Gewährleistung ist zeitlich befristet. Dazu sollten im Vertrag entsprechende Regelungen getroffen werden.  
Im deutschen Recht gibt es im BGB [30] in Verbindung mit Werkverträgen (§ 634a) und Kaufverträgen (§ 438) indirekt auch Angaben zur Gewährleistung. Der Gesetzgeber spricht dabei nicht von Gewährleistung, sondern in der umgekehrten Sprachlogik von einer Verjährung der Mängelansprüche.  
Für den Werkvertrag steht dazu im § 634a (Verjährung der Mängelansprüche):

- (1) Die in § 634 Nr. 1, 2 und 4 bezeichneten Ansprüche (d. Verf.: Nacherfüllung, Selbstvornahme, Schadenersatz) verjähren
  1. vorbehaltlich der Nummer 2 in zwei Jahren bei einem Werk, dessen Erfolg in der Herstellung, Wartung oder Veränderung einer Sache oder in der Erbringung von Planungs- oder Überwachungsleistungen hierfür besteht,
  2. in fünf Jahren bei einem Bauwerk und einem Werk, dessen Erfolg in der Erbringung von Planungs- und Überwachungsleistungen hierfür besteht und
  3. im Übrigen in der regelmäßigen Verjährungsfrist (d. Verf.: 3 Jahre n. § 195).
- (2) Die Verjährung beginnt in den Fällen des Absatzes 1 Nr. 1 und 2 mit der Abnahme.

Im Umkehrschluss heißt dies, dass der Auftragnehmer bzw. laut BGB der Unternehmer für die Mangelfreiheit der vereinbarten

- *Bauplanungsleistungen bis zu 5 Jahre* und der
- *anderen Planungsleistungen bis zu 2 Jahre*

und der zugehörigen Dokumentation nach deren Abnahme gewährleistet.

- 7) Vertragliche Regelungen, die von diesen Angaben in § 634a abweichen, sind möglich, da die Angaben zum Werkvertragsrecht im BGB *dispositiv* sind (s. Abschn. 2.5.1). Beispielsweise können nach VOB [63] für Bauleistungen nur 4 Jahre Gewährleistungsfrist vereinbart werden.
- 8) Entsprechend der folgenden Formulierung in § 363 BGB (Beweislast bei Annahme als Erfüllung):

Hat der Gläubiger eine ihm als Erfüllung angebotene Leistung als Erfüllung angenommen, so trifft ihn die Beweislast, wenn er die Leistung deshalb nicht als Erfüllung gelten lassen will, weil sie eine andere als die geschuldete Leistung oder weil sie unvollständig sei.

muss der Auftraggeber nachweisen, dass der reklamierte Gewährleistungsmangel bereits zum Abnahmepunkt vorlag. Er trägt die **Beweislast**. Dies gilt auch im Kaufvertrag.

Ausnahmen bezüglich einer sog. Beweislastumkehr sind u.a. gemäß Umwelt-

haftungsgesetz (s. Abschn. 2.3.2.2, Buchst. e) und Produkthaftungsgesetz (s. Abschn. 2.3.2.3, Buchst. b) zu beachten.

- 9) Von zentraler Bedeutung für den Gewährleistungsumfang sind die Vereinbarungen zur sog. *vereinbarten Beschaffenheit* im Werkvertrag.

Mögliche Beschaffenheitsmerkmale von Vertrags- inkl. Engineeringleistungen sind u.a.:

- die Beachtung von relevanten Rechtsvorschriften,
- die Beachtung von Festlegungen im Genehmigungsbescheid, z. B. bezüglich zulässiger Schadstoff- und Schallemissionen,
- die Beachtung vereinbarten Spezifikationen, Normen sowie Regeln zum Stand der Technik,
- Nachweis der Anlagensicherheit,
- die Richtigkeit und Vollständigkeit der Ergebnisse,
- die Nutzbarkeit (z. B. Lesbarkeit, Bearbeitbarkeit) der Ergebnisse,
- weitere Qualitätsmerkmale zur Dokumentation.

Wesentliche Leistungsmerkmale des Verfahrens (u.a. Kapazität, Qualitäten, Verbräuche) und der Anlage (Verfügbarkeit) werden i. Allg. nicht unter den Begriff *Gewährleistung* sondern als *Garantien* vereinbart.

- 10) Bestimmte Gewährleistungsansprüche können an die Einhaltung definierter Gewährleistungsvoraussetzungen geknüpft sein. Letztere sind i. Allg. im Vertrag, im Angebot oder in Betriebsanleitungen des Anlagenbauers bzw. Herstellers vorgegeben.

- 11) Die Maßnahmen bei Nichterfüllung der Gewährleistung können u. a. sein:

- Mängelbeseitigung durch Auftragnehmer (Nachbesserung),
- Mängelbeseitigung durch Auftraggeber bzw. von ihm beauftragte Dritte auf Kosten des Auftragnehmers (Selbstvornahme),
- Herabsetzung der Vergütung (Minderung),
- Rückgängigmachung des Vertrages (Wandlung),
- Schadenersatz wegen Nichterfüllung des Vertrages (Vertragsstrafe),
- Schadenersatz/Sanktion wegen Terminverzug (Pönale),
- Freistellen des Auftraggebers von Rechten Dritter.

## b) Gewährleistung im Kaufvertrag

Nachfolgend einige Ergänzungen zur Gewährleistung bei Kaufverträgen, die nach § 651 BGB für *bewegliche Sachen* gelten (s. Abschn. 2.5.1, Buchst. b)).

- 1) Im Kaufvertrag wird der Verkäufer verpflichtet, dem Käufer die Sache frei von Sach- und Rechtsmängeln zu verschaffen (§ 433 BGB).

Der Begriff *Sachmangel* wird in § 434 BGB folgendermaßen definiert:

- (1) Die Sache ist frei von Sachmängeln, wenn sie bei Gefahrenübergang (d. Verf.: z. B. *frei Baustelle* oder *ex works*) die vereinbarte Beschaffenheit hat.  
Soweit die Beschaffenheit nicht vereinbart ist, ist die Sache frei von Sachmängeln,

1. wenn sie sich für die nach dem Vertrag vorausgesetzte Verwendung eignet, sonst

2. wenn sie sich für die gewöhnliche Verwendung eignet und eine Beschaffenheit aufweist, die bei Sachen der gleichen Art üblich ist und die der Käufer nach der Art der Sache erwarten kann.

Zu der Beschaffenheit nach Satz 2 Nr. 2 gehören auch Eigenschaften, die der Käufer nach den öffentlichen Äußerungen des Verkäufers, des Herstellers (§ 4 Abs. 1 und 2 des Produkthaftungsgesetzes) oder seines Gehilfen insbesondere in der Werbung oder bei der Kennzeichnung über bestimmte Eigenschaften der Sache erwarten kann .....

- (2) Ein Sachmangel ist auch dann gegeben, wenn die vereinbarte Montage durch den Verkäufer oder dessen Erfüllungsgehilfen unsachgemäß durchgeführt worden ist.

Ein Sachmangel liegt bei einer zur Montage bestimmten Sache ferner vor, wenn die Montageanleitung mangelhaft ist, es sei denn, die Sache ist fehlerfrei montiert worden.

In den Anfragen und Angeboten sowie später in der Hersteller- bzw. Lieferantendokumentation sind die bestellten und gelieferten Anlagenkomponenten ausführlich zu spezifizieren, z. B. in Form von Ausrüstungsdatenblättern.

Diese Spezifikationen gehören aus Sicht des Autors zur *vereinbarten Beschaffenheit* des Kaufgegenstands.

Das heißt, der Hersteller bzw. Lieferant einer Pumpe muss beispielsweise für das Erreichen der im Datenblatt angegebenen Fördermenge und -höhe bei Einhaltung der Gewährleistungsvoraussetzungen für eine Dauer von zwei Jahren gewährleisten (s. § 438 im nachfolgenden Punkt 2)).

- 2) Zur Gewährleistungsfrist bei Kauf steht in BGB § 438 (Verjährung der Mängelansprüche):

- (1) Die in § 437 Nr. 1 und 3 bezeichneten Ansprüche (d. Verf.: Nacherfüllung, Zurücktreten vom Kauf, Kaufpreisminderung, Schadenersatz) verjähren

1. in 30 Jahren, wenn der Mangel

- a) in einem dinglichen Recht eines Dritten (d. Verf.: vorrangig: Eigentumsrecht), auf Grund dessen Herausgabe der Kaufsache verlangt werden kann, oder

- b) in einem sonstigen Recht, das im Grundbuch eingetragen ist,

2. in fünf Jahren

- a) bei einem Bauwerk und

- b) bei einer Sache, die entsprechend ihrer üblichen Verwendungsweise für ein Bauwerk verwendet worden ist und dessen Mängelhaftigkeit verursacht hat, und

3. im Übrigen in der regelmäßigen Verjährungsfrist (d. Verf.: 3 Jahre n. § 195).

- (2) Die Verjährung beginnt bei Grundstücken mit der Übergabe, im Übrigen mit der Ablieferung der Sache.

Die Regelungen zur Verjährung von Mängelansprüchen bzw. de facto die Gewährleistungsfristen sind im Werk- und Kaufvertrag somit ähnlich.

- 3) Zu den Rechten des Käufers bei Mängeln wurden bereits in Abschn. 2.5.1 Ausführungen gemacht.

### 2.5.4.2 Ausführungen zu GARANTIE

Der Begriff **Garantie** wird im BGB in Verbindung mit Werkverträgen nicht und betreffs Kaufverträge nur selten (§§ 442, 443) gebraucht.

In der Praxis versuchen einige Unternehmen diesen Begriff zu vermeiden, da ihnen die Abgrenzung zur Gewährleistung schwierig erscheint. Dies kann Unklarheit bewirken, sodass nachfolgend einige Ausführungen angebracht erscheinen. Zunächst zur Begriffsdefinition aus der Fachliteratur:

Die **Garantie** ist eine freiwillig übernommene und vereinbarte Verpflichtung eines Garanten (Vertragspartners).

Das Wort „freiwillig“ gilt insofern, dass es keine gesetzlichen Regelungen und Zwänge für ein Garantiever sprechen/Garantiezusage gibt. Der Auftragnehmer unterliegt aber den marktwirtschaftlichen Regeln des Wettbewerbs und geht deshalb diese Verpflichtung ein.

In Anlagenprojekten ist der Garant (Garantiegeber) i.Allg. der Auftragnehmer, z. B. der Generalplaner oder der Generalunternehmer.

Im Weiteren zur Vertiefung der Thematik noch einige Bemerkungen.

1) Die Garantiezusage kann eine gesetzliche Gewährleistung nicht ersetzen und auch nicht in Umfang und Frist verringern. Sie ist neben bzw. zusätzlich zur gesetzlichen Gewährleistung zu verstehen.

2) Das Garantiever sprechen ist eine bestimmte Zusage, die nicht an den Zustand des Werks inkl. Inbetriebnahmeleistung zum Zeitpunkt der Abnahme gebunden ist.

3) Die Garantie sichert dem Auftraggeber eine unbedingte Schadenersatzleistung gemäß der Garantievereinbarung zu.

Im Gewährleistungsfall, z.B. bei einem Pumpenschaden, wird i.Allg. nachgebessert (repariert).

Bei einer Verfügbarkeitsgarantie kann auch vereinbart werden, dass die Pumpe im Störungsfall gegen eine bessere getauscht wird.

4) Garantien sind besondere Versprechen des Auftragnehmers gegenüber den Auftraggeber, um ihn von seiner Leistungskraft zu überzeugen. Sie sind wichtige Punkte bei den Vergabe- bzw. Vertragsverhandlungen. Je nachdem, ob der Garantiefall vor oder nach der werkvertraglichen Abnahme der Vertragsleistung eintritt, hat der Auftragnehmer oder der Auftraggeber die **Beweislast**.

5) Mögliche Garantien in Werkverträgen zu verfahrenstechnischen Anlagen, die aber nicht als Standardgarantien jedes Werkvertrags verstanden werden sollen, sind u.a.:

- die *Leistungs-* bzw. *Verfahrensgarantien*, wie beispielsweise unter definierten Bedingungen das Erreichen:
  - einer vereinbarten Menge des Zielprodukts (Kapazität, Leistung, Produktionsmenge usw.),
  - einer vereinbarten Menge des Zielprodukts bezogen auf den Rohstoffeinsatz (Ausbeute),

- der vereinbarten Qualität des Endprodukt,
- der vereinbarten Menge und Qualität von Neben- und Abprodukten,
- der vereinbarten spezifischen Energie- und Hilfsstoffverbräuche.

Die Verfahrensgarantien werden in verfahrenstechnischen Anlagen i.Allg. während des Leistungsnachweises über eine Dauer von 72 Stunden nachgewiesen.

Der Leistungsnachweis findet am Ende der Inbetriebnahme (Phase 9) vor der werkvertraglichen Abnahme statt und ist die wichtigste Voraussetzung für die Abnahme bzw. die schriftliche Bestätigung der Vertragsfüllung.

- die *Standzeit- bzw. Lebensdauergarantien*, wie beispielsweise unter definierten Bedingungen das Erreichen:
  - einer vereinbarten Katalysatoraktivität über xxxx Betriebsstunden,
  - einer vereinbarten Adsorbenskapazität über xxxx Betriebsstunden,
  - einer vereinbarten Wärme- bzw. Kälteleistung über xxxx Betriebsstunden für eine Package-unit (z.B. bei Schmutzablagerungen an Oberflächen/Fouling),
  - einer vereinbarten Nutzungsdauer (sog. Reisezeit) für kritische Ausrüstungen (z.B. mit Ausmauerung bei hohen Temperaturen oder abtragender Korrosion an der Innenwand).

Die Standzeit- bzw. Lebensdauergarantien gelten nicht selten für die Dauer von 8000 Betriebsstunden.

- die *Produktionsgarantien*, wie beispielsweise unter definierten Bedingungen das Erreichen bzw. Produzieren:
  - einer vereinbarten kumulierten Gesamtmenge an Zielprodukt über xxxx Betriebsstunden,
  - eines vereinbarten Produktsortiments in bestimmter Menge über xxxx Betriebsstunden (Mehrproduktanlagen).
- die *Technischen Garantien*, wie beispielsweise unter definierten Bedingungen das Erreichen:
  - einer vereinbarten Betriebsstundenzahl im ersten Jahr nach Abnahme,
  - einer vereinbarten **Technischen Verfügbarkeit** über einen definierten Zeitraum (z. B. bei Anlagen die nur zeitweise betrieben werden und häufig an- und abgefahrt werden).

Dieser Art von Garantien werden mitunter auch die *Funktionalen Garantien* zugeordnet, die über 24 Monate wirken und aussagen, dass die Gesamtanlage in diesem Zeitraum „funktionieren“ muss.

Der Autor sieht diese Verpflichtung, wobei der Begriff „funktionieren“ nicht eindeutig ist und im Vertrag definiert werden muss, als **Technische Gewährleistung** für die Gesamtanlage.

- 6) Die Einhaltung der *Grenzwerte* für *Schadstoff-* und *Schallemissionen*, für Schwingungen u.ä. sieht der Autor als Gewährleistung, da sie aus Rechtsvor-

schriften bzw. aus dem Genehmigungsbescheid resultieren und keine freiwilligen Verpflichtungen des Auftragnehmers sind.

- 7) Die Verpflichtungen des Verkäufers sind immer an die Einhaltung definierter Garantievoraussetzungen gebunden.  
Ist der Garantiefall zeitlich nach der werkvertraglichen Abnahme, so muss der Auftraggeber (Betreiber) nachweisen, dass er zu jeder Zeit die Garantievoraussetzungen eingehalten hat. Dies fällt mitunter schwer bzw. gelingt nicht.
- 8) Die zuvor gemachten Aussagen gelten prinzipiell auch für Garantien in Kaufverträgen.

Insgesamt sind die Garantien sehr wichtige, kosten- und wettbewerbsrelevante Verpflichtungen in Verträgen.

Dies ist auch darin begründet, da im Garantiefall i.d.R. die Kosten für beide Partner hoch sind. Für den Auftragnehmer u.a. die Mängelbeseitigungskosten und für den Auftraggeber die Folgekosten wegen des entgangenen Gewinns.

## Literatur

- [1] Richtlinie 2006/42/EG (Maschinen-Richtlinie – MRL) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17.05.2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG
- [2] Neunte Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Maschinenverordnung) (9. ProdSV) vom 12.05.1993
- [3] Richtlinie 2014/68/EU (Druckgeräte-Richtlinie) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15.05.2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten über die Bereitstellung von Druckgeräten auf dem Markt
- [4] Richtlinie 2010/75/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24.11.2010 über die Industrieemissionen (Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IE-RL) (Abl. EG L 334, S. 17-119)
- [5] Richtlinie 1999/92/EG (ATEX-Betriebsrichtlinie) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16.12.1999 über Mindestvorschriften zur Verbesserung des Gesundheitsschutzes und der Sicherheit der Arbeitnehmer, die durch explosionsfähige Atmosphären gefährdet werden können (Abl. L 23/57)
- [6] Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und Rates vom 16.12.2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006

- [7] Vierzehnte Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Druckgeräteverordnung – 14. ProdSV) vom 17.06.1998 (BGBl. I S. 1393)
- [8] Verordnung zur Neuregelung der Anforderungen an den Arbeitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln und Gefahrstoffen – *Artikel 1*: Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln (Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV) vom 03.02.2015 (BGBl. I S. 49)
- [9] Richtlinie 2014/34/EU (ATEX-Herstellerrichtlinie) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26.02.2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten für Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen (ABI. L 96/309)
- [10] Elfte Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Explosionsschutzverordnung – 11. ProdSV) vom 12.12.1996 (BGBl. I S. 1914)
- [11] Richtlinie 22014/35/EU (Niederspannungsrichtlinie) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26.02.2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten über die Bereitstellung elektrischer Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen (ABI. L 96/357)
- [12] Erste Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Verordnung über die Bereitstellung elektrischer Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen auf dem Markt – 1. ProdSV) vom 11.06.1979 (BGBl. I S. 629)
- [13] Richtlinie 2014/30/EU (EMV-Richtlinie) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26.02.2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten über die elektromagnetische Verträglichkeit
- [14] Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmittel (EMVG) vom 09.11.1993 (BGBl. I S. 1864)
- [15] Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 09.03.2011 zur Festlegung harmonischer Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates (ABI. L 88/5)
- [16] Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH-Verordnung) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18.12.2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH) (ABI. L 396)
- [17] Gesetz zum Schutz vor gefährlichen Stoffen (Chemikaliengesetz – ChemG) vom 16.09.1980 (BGBl. I S. 1718)
- [18] Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV) vom 26.11.2010 (BGBl. I S. 1643)

- 
- [19] Verordnung zur Neuregelung der Anforderungen an den Arbeitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln und Gefahrstoffen – *Artikel 2:* Änderung der Gefahrstoffverordnung vom 03.02.2015 (BGBl. I S. 49)
  - [20] Umweltbundesamt: Bedeutung und Gliederung der BVT-Merkblätter in Deutschland, Information vom 29.01.2013
  - [21] Umweltbundesamt: Nutzung der BVT-Merkblätter in Deutschland, Information vom 29.01.2013
  - [22] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) vom 26.09.2002 (BGBl. I S. 3830)
  - [23] Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – WHG) vom 31.07.2009 (BGBl. I S. 2585)
  - [24] Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG) vom 24.02.2012 (BGBl. I S. 212)
  - [25] Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen – 4. BImSchV) vom 14.03.1997 (BGBl. I S. 504)
  - [26] Neunte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über das Genehmigungsverfahren – 9. BImSchV) vom 29.05.1992 (BGBl. I S. 1001)
  - [27] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA-Luft) vom 24.07.2002 (GMBL S. 511)
  - [28] Anzeige des BMU über das „Fortschreiten des Standes der Technik für bestimmte Vorsorgeaufwendungen der TA-Luft; Merkblätter über die besten verfügbaren Techniken:... (BAnz AT 09.01.2014 B3 vom 16.12.2013)
  - [29] Richtlinie 1999/92/EG (ATEX-Betriebsrichtlinie) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16.12.1999 über Mindestvorschriften zur Verbesserung des Gesundheitsschutzes und der Sicherheit der Arbeitnehmer, die durch explosionsfähige Atmosphären gefährdet werden können (ABl. L 23/57)
  - [30] Bürgerliches Gesetzbuch (BGB), Beck-Texte im dtv (2013) Verlag Beck, München
  - [31] Gesetz über Ordnungswidrigkeiten (OWiG) vom 19.02.1987 (BGBl. I S. 602)
  - [32] Lackner K, Kühl K (2004) Strafgesetzbuch mit Erläuterungen, Verlag Beck, München

- [33] Gesetz über die Bereitstellung von Produkten auf dem Markt (Produktsicherheitsgesetz – ProdSG) vom 06.01.2004 (BGBl. I S. 2)
- [34] [www.doku.net/artikel/notwendige.htm](http://www.doku.net/artikel/notwendige.htm), Notwendiges Wissen um Recht für Prüfingenieure
- [35] Siebtes Buch Sozialgesetzbuch (SGB), Gesetzliche Unfallversicherung vom 07.08.1996 (BGBl. I S. 1254)
- [36] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA-Lärm) vom 26. 08.1998 (GMBL S. 503)
- [37] Zwölfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Störfall-Verordnung – 12. BImSchV) vom 08.06.2005 (BGBl. I S. 1598)
- [38] Dreizehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Großfeuerungs- und Gasturbinenanlagen – 13. BImSchV) vom 20.07.2004 (BGBl. I S. 2847)
- [39] Siebzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen – 17. BImSchV) vom 14.08.2003 (BGBl. I S. 1633)
- [40] Dreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Anlagen zur biologischen Behandlung von Abfällen – 30. BImSchV) vom 20.02.2001 (BGBl. I S. 305)
- [41] Zweiunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Geräte- und Maschinenlärmenschutzverordnung – 32. BImSchV) vom 29.08.2002 (BGBl. I S. 3478)
- [42] Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen – 39. BImSchV) vom 02.08.2010 (BGBl. I S. 1065)
- [43] Entwurf der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV) vom Juli 2013
- [44] Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Wasserhaushaltsgesetz über die Einstufung wassergefährdender Stoffe (Verwaltungsvorschrift wassergefährdender Stoffe – VwVwS) vom 17.05.1999
- [45] Verordnung über die Nachweisführung bei der Entsorgung von Abfällen (Nachweisverordnung – NachwV) vom 20.10.2006 (BGBl. I S. 2298)
- [46] Gesetz zur Ausführung der Verordnung (EG) Nr. 1013/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14.06.2006 über die Verbringung von Abfällen (Abfallverbringungsgesetz – AbfVerbrG) vom 19.07.2007 (BGBl. I S. 1462)

- 
- [47] Umwelthaftungsgesetz (UmweltHG) vom 10.12.1990 (BGBl. I S. 2634)
  - [48] Gesetz über die Haftung für fehlerhafte Produkte (Produkthaftungsgesetz – ProdHaftG) vom 15.12.1989 (BGBl. I S. 2198)
  - [49] Röger A. (2003) Der Weg zur haftungssicheren Dokumentation, Schulz-Verlag, Abtsgmünd
  - [50] Kullmann H. J. (2004) Produkthaftungsgesetz (Kommentar), Schmidt-Verlag, Berlin
  - [51] Struktur und Anwendung der Technischen Regeln für Betriebssicherheit Technische Regel für Betriebssicherheit – TRBS 1001 vom 09.12.2006 (Banz. 232a)
  - [52] BGV A1 (2004) Grundsätze der Prävention
  - [53] Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz – ArbSchG) (BGBl. 07.08.1996)
  - [54] Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV) vom 20.03.1975 (BGBl. I S. 729)
  - [55] Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz auf Baustellen (Baustellenverordnung – BaustellV) vom 10.06.1998 (BGBl. I S. 1283)
  - [56] Verordnung Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen (Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung - LärmVibrationsArbSchV) vom 06.03.2007 (BGBl. I S 261)
  - [57] Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Benutzung persönlicher Schutzausrüstungen bei der Arbeit (PSA-Benutzungsverordnung – PSA-PV) vom 04.12.1996 (BGBl. I S. 1841)
  - [58] Arbeitszeitgesetz (ArbZG) vom 06.06.1994 (BGBl. I S. 1170)
  - [59] Betriebsverfassungsgesetz (BetrVG) vom 11.10.2952 (BGBl. I S. 681)
  - [60] Verordnung (EG) Nr. 593/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates über das auf vertragliche Schuldverhältnisse anzuwendende Recht (Rom-I-Verordnung) vom 17.06.2008
  - [61] Weber K. H. (2008) Dokumentation verfahrenstechnischer Anlagen. Praxishandbuch mit Checklisten und Beispielen, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
  - [62] Brox H, Walker W-D (2013) Allgemeines Schuldrecht und (2013) Besonderes Schuldrecht, Verlag Beck, München
  - [63] Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB) vom 2012, Beuth Verlag, Berlin

- [64] Hilgers M O, Kaminsky S (2013) Anlagenbau im In- und Ausland, Werner Verlag
- [65] Mallmann R A (2002) Bau- und Anlagenverträge nach den FIDIC-Standardeinrichtungen, Verlag Beck, München
- [66] Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure – HOAI), Bundesrat vom 10.07.2013
- [67] FIDIC Conditions of Contract for Plant and Design-Build; General Conditions (1999), Federation Internationale des Ingénieurs Conseils
- [68] Industrie- und Handelskammer Aachen, (2014), <http://m.aachen.ihk.de> (Rechtsinformation)
- [69] <http://www.rechtwoerterbuch.de> (Rechtsmangel)

### 3 Vorplanung (Pre-Basic)

Die **Vorplanung** (Pre-Basic, Preliminary Planning) entspricht der 2. Phase des Anlagen-Phasenmodells entsprechend Abb. 1.2 in Abschn. 1.2. Sie hat zum Ziel, auf Basis des Lastenhefts (Input) prinzipielle Lösungsvorschläge für das Verfahren, die Anlagengestaltung inkl. wichtiger Anlagenkomponenten sowie für die Projektabwicklung zu erarbeiten.

Die Ergebnisse der Vorplanung sind das Input für das Basic Engineering sowie für die projektbegleitende Genehmigungsplanung und Kostenermittlung.

Die zu erarbeitenden Dokumente haben letztlich den Bearbeitungsstatus: AFB (Approved für Basic) (s. Tab. 1.9 in Abschn. 1.8.2).

Während der Vorplanung werden vorrangig die folgenden Planungsleistungen erbracht:

- a) Erarbeiten möglicher Alternativen zur
  - Verfahrensgestaltung inkl. einzelner Verfahrens- bzw. Prozessstufen;
  - 3D-Anlagengestaltung (Anlagenkonzept) inkl. der 2D-Aufstellungsanordnung,
  - grundlegenden technischen Ausgestaltung der Anlage und ihrer Hauptkomponenten, strukturiert für die Hauptgewerke,
  - Abwicklung des Projekts, insbesondere hinsichtlich vertraglicher Beziehungen während des Engineerings, der Beschaffung und Errichtung der Anlage.entsprechend den Zielen und Bedingungen für das Projekt; auch unter den Aspekt der Genehmigungsfähigkeit der Anlage,
- b) Bewertung der Lösungsalternativen und Auswahl von Vorzugsvarianten für die Schwerpunkte gemäß Buchstaben a).
- c) Dokumentation der Planungsergebnisse inkl. fachspezifischer Konzepte als Input für das Basic Engineering sowie für die Genehmigungsplanung und Kostenermittlung.

Die Vorplanung bzw. treffender das Pre-Basic sucht im möglichen Ziel- und Lösungsraum, der im Lastenheft definiert und mehr oder weniger eingegrenzt ist, die zweckmäßigsten technologisch-technischen und organisatorisch-administrativen Lösungen aus.

Außerdem ist zu prüfen, inwieweit die gewählten Lösungen frei von Rechten Dritter sind und was zum eigenen Schutz des geistigen Eigentums notwendig ist.

Die Vorplanung schafft damit die Voraussetzungen, sich während des Basic Engineering und der Genehmigungsplanung auf ein vorteilhaftes, projektspezifisches Verfahrens- und Anlagenkonzept fokussieren zu können.

Der Begriff *Vorplanung* wird in der Fachliteratur [1] [2] mitunter auch als projektvorbereitende Phase im Sinne von *Vorplanung des Projekts* verstanden. In diesem Buch wird in diesem Zusammenhang von *Projektvorbereitung* gesprochen, die u.a. zur Erarbeitung einer Durchführbarkeits-/Machbarkeitsstudie dienen kann. (s. Abschn. 2.1 und 2.2).

Einführend zu diesem Kapitel sei noch vermerkt, dass den weiteren Ausführungen ein „offenes Projekt“ mit vielen Freiheitsgraden gemäß den Ausführungen in Abschn. 2.1 zugrunde gelegt wird. Damit sollen die planerische Vielfalt und die fachlichen Herausforderungen gezeigt werden.

### 3.1 Aufbau der Projektorganisation

Auch wenn die Erarbeitung des Lastenheftes bereits eine interdisziplinäre Projektarbeit erforderte, so steigen deren Umfang und Vielfalt während der Vorplanung deutlich an. Entsprechend den erhöhten Anforderungen ist schrittweise, sowohl seitens des Investors als auch des Generalplaners (Owner- bzw. Kontraktor-Engineer), eine adäquate Projektorganisation aufzubauen.

Im Einzelnen sind schwerpunktmäßig folgende Aufgaben zu erfüllen:

- Identifizierung der Hauptaufgaben des Projektteams,
- Grobplanung der Projektabwicklung (Rahmenterminplan mit Hauptzielen, Meilensteinen und Hauptaktivitäten/-vorgängen),
- Grobressourcenplanung gemäß Rahmenterminplan,
- Grobstrukturierung des Projektteams bis Projektende (Ende Phase 9),
- Untersetzen der Projektstruktur bis Investitionsentscheidung (Ende Phase 6),
- Stellenbeschreibungen für wichtige Teammitglieder bis zur Investitionsentscheidung (Ende Phase 6),
- Sicherung der notwendigen Ressourcen für die Vorplanung (Personal im Team und „aus Linie“, Finanzen, Arbeitsmittel, Räume usw.),
- Auswahl und Festlegung der Software-Werkzeuge (Tools), die für das Projektmanagement (Projektplanung und -controlling, Office) sowie für das Engineering genutzt werden,
- Auswahl, Freigabe und Verfügbarmachen der notwendigen, vorhandenen Unterlagen und Werkzeuge für die Projektabwicklung,
- Klärung und Einführung der Prozeduren zum Gesundheit-Sicherheit-Umweltschutz-Management (Abk.: GSU- bzw. HSE-Management),
- Klärung und Einführung der Prozeduren zum Qualitätsmanagement,
- Erarbeiten des Projekthandbuchs und/oder relevanter Projektrichtlinien,
- ggf. notwendigen Entscheidungsbedarf identifizieren und dessen Klärung herbeiführen,

- ggf. fehlende Unterlagen identifizieren und deren Erarbeitung veranlassen.

Betreffs weiterer Details wird auf die Ausführungen in Kapitel 1 und auf die umfangreiche Fachliteratur zum Projektmanagement verwiesen.

## 3.2 Erarbeiten des Dokumentationskonzepts

Eine **Dokumentation** ist die Gesamtheit aller Dokumente zu einem Projekt bzw. Objekt. Während des Projekts durchläuft die Dokumentation in Übereinstimmung mit dem Anlagenphasenmodell verschiedene Phasen.

Ausgewählte Arbeitsergebnisse dieser Projektphasen werden in **Phasendokumentationen** zusammengefasst (s. Abschn. 1.8.1). Manche Phasendokumentationen, wie das Extended Basic (FEL-Dokumentation) und die Genehmigungsdokumentation sind relativ eigenständig, andere, wie die Pre-Basic Dokumentation oder die Baustellendokumentation, weniger.

Betreffs wesentlicher Begriffsdefinitionen zur Dokumentationsthematik wird auf die Tabelle 1.8 in Abschnitt 1.8.1 sowie auf das Glossar verwiesen.

Während des Engineerings werden hauptsächlich Dokumente für die Herstellung und Nutzung der Anlage erarbeitet, verwaltet, genutzt und gepflegt.

Dabei geht es in verfahrenstechnischen Anlagen nicht selten um viele tausend Dokumente. Der Dokumentationsumfang eines Exemplars der AS BUILT-Dokumentation in Papierversion beträgt in größeren Anlagen häufig zwischen 500 bis 2000 Ordner. Das ist nur der Umfang eines Exemplars mit den Bearbeitungsstatus *as-built*. Bis es aber soweit ist, sind das Vielfache an Projektdokumenten unterschiedlicher Art und Revisionsstände zu bewältigen.

Neben den Umfang sind u.a. auch die inhaltlichen, gestalterischen und administrativen Aufgaben im Dokumentationsprozess verfahrenstechnischer Anlagen erfolgreich zu erarbeiten.

Welche Herausforderungen zu bewältigen sind, zeigt sich nicht zuletzt daran, dass die Gesamt-Dokumentationskosten in Anlagen-Neubauprojekten nahezu 10 Prozent der Investitionssumme ausmachen [3].

Die einleitenden Fakten sollen das Unternehmens- und Projektmanagement sensibilisieren, die Dokumentationsleistungen von Projektbeginn bis -ende ausreichend zu wichtigen und zu managen. Die eigenen Erfahrungen aus vielen Projekten belegen, dass diese Aufgabe schwieriger und fachlich anspruchsvoller ist, als mancher Projektleiter und Leadingenieur denkt. Nicht selten, werden in Projekten die Dokumentationsleistungen anfangs vernachlässigt und am Ende mit Mehrkosten nachgebessert.

Um dies zu vermeiden, sind die Dokumentationsleistungen von Anfang an

- umfassend im Projektmanagement zu berücksichtigen und zu planen (s. auch Abschn. 1.8),
- ausreichend im Lastenheft zu spezifizieren (s. auch Abschn. 2.4.3) und
- während der Vorplanung ein Lösungsvorschlag zu ihrer effizienten inhaltlichen sowie organisatorisch-administrativen Ausführung zu erarbeiten.

Dem letztgenannten Anliegen dient die Erstellung des *Dokumentationskonzepts für das gesamte Projekt*.

Das **Dokumentationskonzept** ist de facto die Richtlinie zum Erbringen der Dokumentationsleistungen im Projekt. Es gibt Antwort auf die nachfolgend angeführten Fragen. Ergänzende Aspekte und Schwerpunkte sowie mögliche Lösungsalternativen wurden den einzelnen Fragestellungen als Anstriche beigefügt.

Dem Autor ist wohl bewusst, dass einige der Fragestellungen bereits im Lastenheft beantwortet sein können. Falls es gründlich erfolgte, umso besser!

1) Wie sind der Umfang und die Abwicklungsstruktur der Dokumentation während des Projekts zu definieren?

- Findet die Abwicklung während des Projekts in der Dokumentationsstruktur des Auftragnehmers, des Auftraggebers oder nutzt jeder Partner seine eigene Struktur?
  - Die Engineeringunternehmen möchten i.d.R. ihre eigene Standardstruktur verwenden und somit jedes Projekt in ihrer „eigenen Welt“ abwickeln. Dies ist hinsichtlich der Fehlervermeidung, kurzer Such- und Ablagezeiten usw. auch begründet.  
Die später notwendige Transformation/Umsetzung der AS BUILT-Dokumentation sowie gegebenenfalls anderer Dokumentationsprodukte in die Auftraggeber-Struktur ist den Beteiligten bewusst, aber i. Allg. nicht das große Problem.
  - Drängt der Auftraggeber zwingend auf die Nutzung seiner Struktur, müssen die Mehraufwendungen für den Auftragnehmer bedacht, kalkuliert und in der Projektplanung berücksichtigt werden.
- Erfolgt die Abwicklung und Ablage aller Dokumentationsleistungen innerhalb der Projektdokumentation oder werden alternativ auch andere Hauptdokumentationen als Arbeitsplattform genutzt (z.B. eigene Plattform für Genehmigungsdokumentation)?
- Wie sollte die Projektdokumentation, die als ganzheitliche Arbeitsplattform empfohlen wird, zweckmäßig strukturiert sein?

Einige Hinweise:

- Die Struktur muss den Engineering- und Abwicklungsprozess abbilden.
- Es werden drei Strukturierungsebenen (Teildokumentation – Dokumententyp – Dokument) empfohlen.
- Es sind eindeutige Bezeichnungen für die Dokumentarten zu verwenden.

Die Struktur muss vor allem nutzergerecht sein, d.h. die Projekt- und Planungingenieure müssen sie akzeptieren. Unterstützung liefern die Normen [4] [5], die Empfehlungen zur Strukturierung, Klassifizierung und Kennzeichnung von Dokumenten geben.

2) Welche Software-Werkzeuge werden für das Erstellen der unterschiedlichen Dokumente während der Projektabwicklung genutzt?

- Für Office-Dokumente sind die firmeninternen Regelungen zu beachten. Im Rahmen größerer Anlagenverträge gibt es mitunter Vereinbarungen, dass Auftraggeber und Auftragnehmer beim Schriftverkehr im Projekt auf die gleiche Arbeitsplattform und Software zurückgreifen.
- Analoges gilt für Projektmanagement-Dokumente, z.B. für die Projekttermin- und -ressourcenplanung, die Beschaffung und das Controlling.
- Zu den Engineering-Werkzeugen sind i.d.R. im Lastenheft Vorgaben gemacht, zumindest zu den Formaten (Originalformate) der bearbeitbaren Dateien. Zielstellung betreffs des Softwareeinsatzes sollte sein:

*Umfassende Nutzung eines Software-Produktes für möglichst viele Engineeringarbeiten sowie für alle Fachdisziplinen und alle Projektphasen.*

- Benötigt werden Softwarereprodukte, die für unterschiedliche Fachdisziplinen (Gewerke) gleichermaßen CAD- und CAE-Funktionalitäten haben, nutzerfreundlich sind, gut gepflegt werden und bezahlbar sind.  
Die Grundanforderungen an derartige Softwarereprodukte sind:
  - 2D-CAD-Planung, z.B. für Fließschemata, Schaltpläne, Bauzeichnungen, Lagepläne,
  - 3D-CAD-Planung (3D-Anlagenmodell) mit der Möglichkeit, gewerke-spezifische 3D-Modelle für Rohrleitungen, Stahlbau usw. sowie grafi-sche Dokumente vieler Gewerke aus den 3D-Modell zu selektieren bzw. zu generieren (z.B. Aufstellungspläne, Schnitte, Etagenpläne, Rohrpläne, Rohrleitungsisometrien, Unterflursummenpläne),
  - eine einheitliche, konsistente Datenbankarbeit aus der 2D- und der 3D- Planung heraus, z.B. zum Generieren bzw. Ausfüllen von unterschiedli- chen Datenblättern, Listen, Datenblättern, Mengengerüsten.

Die Software-Firmen bieten i.d.R. sog. Basismodule (AutoCAD, MicroStation, COMOS, SmartPlant u.a.) an und ergänzen diese um Zusatzmodule für spezielle Anwendungen (P&ID-Erstellung, 3D-Modellierung, Elektro- planung, Bau-/Stahlbauplanung, Rohrleitungsplanung inkl. Isometrieren usw.).

- 3) Wie wird neben der elektronischen Dokumentenform (Dateien), die im Arbeitsprozess grundsätzlich genutzt wird, mit den gegenständlichen Dokumen- ten (Papierdokumente) verfahren?
  - In welchen Anwendungsfällen sind neben der elektronischen Form auch Papierdokumente zu erstellen und zu nutzen?  
Das Ziel muss eine möglichst papierarme Projektabwicklung sein!
  - Welche Regelungen sind dafür gültig bzw. vorgesehen?
  - Welche Dokumentenform hat im Zweifel das Pramat?
- 4) Welche Phasendokumentationen, Dokumentationspakete bzw. sonstige wich- tige Einzeldokumente sind während des Projekts zu erarbeiten?
  - Hauptprodukte sind je nach Vertrag die Basic Engineering-Dokumentation am Ende Phase 3 sowie das Pflichtenheft nach der Mittelfreigabe (Ende

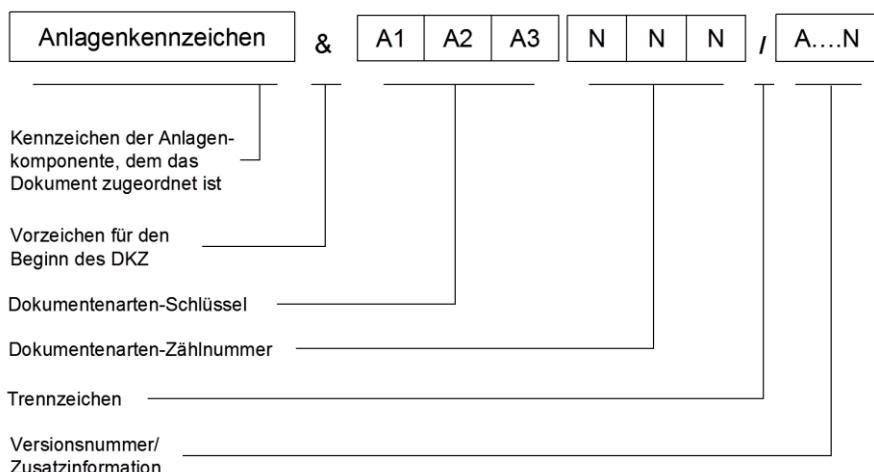
Phase 5) und/oder die AS BUILT-Dokumentation am Ende der Inbetriebnahme (Phase 9) zum Zeitpunkt der werkvertraglichen Abnahme bzw. der schriftlichen Bestätigung der erbrachten Vertragsleistung.

- Während der Genehmigungsplanung (Phase 4) ist ein Genehmigungsantrag inkl. zugehöriger Antragsunterlagen zu erarbeiten, der zusammen mit weiteren Dokumenten aus dem Genehmigungsverfahren in der Genehmigungsdokumentation abgelegt und verwaltet wird.  
Es empfiehlt sich, die Genehmigungsdokumentation gleich in der zukünftigen Dokumentationsstruktur und ggf. auch im System des Anlageninvestors zu erstellen. Der Auftraggeber, der i.Allg. späteren Anlagenbetreiber stellt, ist dafür verantwortlich und sollte federführend sein.
- In vielen Projekten wird auch eine eigenständige Ausführungsdokumentation (Ende Phase 6) in der vereinbarten Struktur und mit dem Dokumentenstatus: AFC (Approved for Construction) erarbeitet, da
  - sie als Ausschreibungsgrundlage benötigt wird, wenn die Gesamtrealisierung der Anlage nach Phase 6 im Rahmen eines LSTK-Vertrags ausgeschrieben wird,
  - große Teile als Anfragespezifikationen (**TBU-Technische Beschaffungsunterlagen**) für den Einkauf der Lieferungen und Leistungen benötigt werden,
  - Auftragnehmer und Auftraggeber sie später archivieren möchten, um sie bzw. Teile davon für zukünftige Projekte zu nutzen.

- 5) Wie sind die Inhalte, Strukturen, Formate, Grobtermine u.ä. dieser Phasendokumentationen definiert?
  - Aussagen zum Inhalt einer Basic Engineering-Dokumentation sind in Abschn. 4.4 und zur Ausführungsdokumentation in Abschn. 7.4 gemacht.
  - Die Gliederung der „Spezifikation einer AS BUILT-Dokumentation“ ist in Tabelle 2.23, Abschn. 2.4.3 angeführt.
- 6) Welche Vorgaben gibt es für die Beschaffung der Hersteller-/Lieferantendokumente und wie erfolgt deren Einordnung in die Gesamtdokumentation?
  - Die Hersteller- bzw. Lieferantendokumente sind die produktbeschreibenden und/oder produktbegleitenden Dokumente des Herstellers bzw. Lieferanten. Sie beziehen sich i.Allg. auf Produkte und müssen in der Anfrage und in der Bestellung hinsichtlich Gliederung, Form, Dateiformat usw. spezifiziert werden.
  - Ziel muss es sein, diese Produktdokumentationen bzgl. Gliederung, Form u.ä. weitgehend einheitlich zu realisieren, um die Nutzung und Pflege zu erleichtern.Zweckmäßig ist eine *Beschaffungsrichtlinie*, in der u.a. die Handhabung der Hersteller-/Lieferantendokumente geregelt wird (s. auch Abschn. 8.2 und [3]).
- 7) Welche Vorgaben (Richtlinien, Normen, Templates u. ä.) sind betreffs der Form inkl. Schriftfeld der Dokumente zu beachten?

- In diesem Zusammenhang wird auf die Normen [6] zur formellen Dokumentationsgestaltung verwiesen.
  - Für die Gestaltung der fachspezifischen Dokumente sind die Normen für Symboldarstellungen (s. Abschn. 3.3.1 und 4.2.1.1) bzw. Werknormen zu nutzen.
  - Für wichtige Dokumente sind firmen- bzw. projektspezifische Dokumentvorlagen (Templates) bzw. Musterdokumente zu erstellen.
- 8) Wie erfolgen die Benennung und Kennzeichnung der Dokumente?
- Benennung und Kennzeichnung der Dokumente ist zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer abzustimmen und zu vereinbaren. In der Praxis gibt es im Schriftfeld häufig nur eine Benennung aber zwei Dokumentenkennzeichen. Dies ist insbesondere dadurch bedingt, dass jeder Partner in seinem System mittels seines Dokumentenkennzeichens das Dokument verwaltet.
  - Das **Dokumentenkennzeichen (DKZ)** ist der Identifikator für ein bestimmtes Dokument in Beziehung zu einem Objekt (Anlagenkomponente), dem das Dokument zugeordnet ist [4].

Abb. 3.1 zeigt den möglichen Aufbau eines Dokumentenkennzeichens.



**Abb. 3.1** Möglicher Aufbau eines Dokumentenkennzeichens

- Zur Benennung der Dokumentarten und zur Vergabe der drei Buchstaben des Dokumentarten-Schlüssels (sog. **DCC – Document Classification Code**) sind in [4] [5] Angaben enthalten.
- Je nachdem, wie viele Zeichen das Anlagenkennzeichen hat und welche Informationen ansonsten noch im Kennzeichen abgebildet werden sollen (z.B. der Bearbeitungsstatus), kann ein Dokumentenkennzeichen insgesamt bis zu 40 Zeichen umfassen. Dies ist hinsichtlich der Akzeptanz beim Nutzer nicht unproblematisch, wird aber zunehmend durch Barcode bzw. QR-Code (**Quick Response-Code**) unterstützt.

- Zur Kennzeichnung eines elektronischen Dokuments gehört ferner der Dateiname. Viele Firmen haben für die Generierung des Dateinamens eine eigene Systematik, manche wählen den Dateinamen identisch mit dem Dokumentenkennzeichen.  
In jedem Fall, müssen aber ausreichende Informationen (sog. Attribute), die das Dokument und die Ablage im System charakterisieren, im Dateinamen enthalten sein.
- 9) Auf welcher Arbeitsplattform (z.B. Fileserver bzw. **Dokumenten Management-System/DMS**) und mit welchen Werkzeugen und Formaten erfolgt die Abwicklung der Dokumentationsleistungen?
- Diese Frage ist firmenspezifisch zu beantworten.
- 10) Wie erfolgen die Revisionierung der Dokumente und die Verwaltung der Dokumente unterschiedlicher Revisionsstände?
- Der Bearbeitungsstatus bzw. die Revisionierung ist konsequent gemäß den Ausführungen in Abschn. 1.8.2 und Tabelle 1.9 zu pflegen. Die Änderung des Revisionsindex macht aus dem alten ein neues Dokument.
  - Der Bearbeitungsstatus sollte als eigener Block im Dateinamen enthalten sein, um Dokumente selektieren und Phasendokumentationen effektiv zusammenstellen zu können.
  - Alle Dokumente, die noch *nicht zur Nutzung freigegeben* sind, haben im Dateinamen den Status: *Draft*. Nur freigegebene Dokumente können einen phasenspezifischen Bearbeitungsstatus gemäß Tabelle 1.9 erhalten.
- 11) Wie erfolgen die Kommunikation und der Workflow (intern und extern) von Dokumenten?
- Diese Frage ist firmen- und projektspezifisch zu beantworten.
- 12) Wie erfolgen die Pflege und Fortschreibung der Dokumentation während der Phasen 8 (BAU/MONTAGE) und Phase 9 (INBETRIEBNAHME)?
- Änderungen an den Ausführungsdokumenten, die sich während der Baustellenabwicklung und Inbetriebnahme ergeben, sind unter Verantwortung des Baustellen- bzw. Inbetriebnahmleiters einzupflegen. Dies erfolgt z.T. vor Ort (Handeintragungen) und i.d.R. abschließend im Stammhaus.
  - Zugleich werden in den Phasen 8 und 9 neue baustellen- und inbetriebnahmespezifische Dokumente erarbeitet, die in die Projektdokumentation eingepflegt werden müssen. Verantwortlich dafür ist auch der Baustellen- bzw. Inbetriebnahmleiter.
- 13) Wie sind Inhalt, Struktur, Formate u.a. Qualitätsmerkmale der AS BUILT-Dokumentation (Enddokumentation) definiert?
- s. Tab. 2.23 in Abschn. 2.4.3 sowie die Ausführungen in den Abschnitten 7.4 und 8.3.
  - Am Ende des Projekts werden die Dokumente für die AS BUILT-Dokumentation mit dem Bearbeitungsstatus *as-built* aus der Projektdoku-

mentation selektiert und in der Dokumentationsstruktur des Auftraggebers abgespeichert bzw. in Papierform abgeheftet.

- 14) Wie sind Verantwortung, Befugnisse und Zuständigkeiten für die Dokumentationsleistungen während des Projekts bzw. der Projektphasen geregelt?
  - Die Projektverantwortung für die Dokumentationsleistungen liegt beim Projektleiter und den Leadingenieurern. Bei größeren Projekten ist ein Document Controller ins Team integriert und dem Projektleiter unterstellt. Mitunter wird die Koordinierung der Dokumentationsleistungen auch einem externen DOKU-Dienstleister übertragen.
  - In der **Liste wichtiger Dokumentarten** (LwD), die sich aus der Abwicklungsstruktur gemäß Punkt 1) generieren lässt, wird für jede Dokumentenart eine verantwortliche Person schriftlich festgelegt.
- 15) Wie ist das Rechte-Konzept beim Erbringen der Dokumentationsleistungen und wie wird es umgesetzt und eingehalten?
  - Die Frage, wer im Umgang mit der Projektdokumentation (elektronisch und gegenständlich) welche Rechte/Befugnisse bekommt, ist firmen- und projektspezifisch zu beantworten.
- 16) Welche Festlegung gibt es im Umgang mit vertraulichen Dokumenten?
  - Diese Frage ist firmen- und projektspezifisch zu beantworten.
- 17) Wie sind die Eigentumsverhältnisse an der Dokumentation?
  - Im Vertrag ist zu klären, wer Eigentümer der erarbeiteten Dokumentation ist, ggf. auch für verschiedene Bestandteile unterschiedlich.
  - Ferner ist zu vereinbaren, in welcher Weise der Auftraggeber und der Auftragnehmer die Dokumentation bzw. spezielle Teile davon nutzen dürfen (z. B. duplizieren der Anlage oder von Teilen ohne Einbeziehen des bisherigen Partners).
- 18) Welche Maßnahmen bezüglich der Dokumentation sind bei Projektabschluss (Close-Out) durchzuführen?
  - Was passiert mit den Projektdokumentationen des Auftragnehmers und Auftraggebers nach Projektabschluss?
  - Welche Teile werden wie archiviert und welche gelöscht bzw. vernichtet? Die Beantwortung ist auch in Zusammenhang mit Punkt 16) zu sehen.

Die Ergebnisse der vorgenannten Fragestellungen können in einer Ausarbeitung mit dem Titel *Dokumentationskonzept für Projekt XYZ* zusammengefasst werden. Zweckmäßiger erscheint:

- die generellen, projektübergreifenden Regelungen aus Punkt 1) bis 18) in einer Unternehmensrichtlinie bzw. einer Werksnorm zu verarbeiten und
- die speziellen, projektspezifischen Festlegungen in einer Projektrichtlinie DOKUMENTATION zusammenzufassen.

Beide Richtlinien zusammen machen das **Dokumentationskonzept** aus.

### 3.3 Erarbeiten von Lösungsalternativen und -vorschlägen

Die Planungstiefe der einzelnen Fachdisziplinen ist sehr unterschiedlich. Die weitaus größte und zeitlich vorausgehende Planungstiefe erreicht die *Verfahrens- oder Prozessplanung*.

Dies ist dadurch bedingt, dass

- die Verfahrensplanung (Basic Design) zunächst die Arbeitsgrundlagen für die anderen Fachdisziplinen schaffen muss und
- die Ergebnisse der Verfahrensplanung wichtig sind für
  - die Wirtschaftlichkeit der Investition und des späteren Anlagenbetriebs,
  - erste Sicherheits-, Gesundheits- und Umweltschutzbetrachtungen,
  - die Genehmigungsplanung sowie
  - die Kostenermittlungen und Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen.

Entsprechend dieser größeren Planungstiefe wird im Buch bewusst von einem *Verfahrensentwurf* (nicht: Verfahrenskonzept) gesprochen, der während der Vorplanung erarbeitet wird.

Die anderen Fachdisziplinen werden nur soweit vorgeplant, wie für die Auswahl und Beschreibung des prinzipiellen Planungsvorschlags der jeweiligen Fachdisziplin nötig ist. Entsprechend der geringen Planungstiefe werden die Ergebnisse als fach- bzw. gewerkespezifische Konzepte (im Sinne grundlegender Vorgaben/Aufgabenstellungen für die fachspezifische Entwurfsplanung) dargestellt.

#### 3.3.1 Verfahrensauswahl und Verfahrensentwurf

Ein **Verfahren** ist die Gesamtheit der physikalischen, chemischen, biologischen und nuklearen Wirkungsabläufe (*Synonym: Prozess*).

Das Gesamtverfahren wird in *Verfahrensstufen* bzw. *Prozessstufen/-einheiten* unterteilt. Die Wirkungsabläufe werden durch Grundoperationen (Unit Operation) charakterisiert.

Die **Grundoperation** ist derjenige verfahrenstechnische bzw. technologische Einzelschritt-/vorgang, der letztlich eine physikalische Stoffänderung bzw. eine chemische oder biologische Stoffwandlung realisiert. Die Grundoperation ist ein typischer, in vielen Verfahren wiederkehrender Basisvorgang.

Das Verständnis über die Grundoperationen ist grundlegend für die Verfahrensentwicklung und Verfahrensplanung, da

- im 1. Planungsschritt zunächst geeignete Grundoperationen ausgewählt und in *Grundfließschemata* grafisch, in richtiger Zuordnung zueinander, dargestellt werden,
- im 2. Planungsschritt diesen Grundoperationen geeignete Hauptausrüstungen zugeordnet werden,
- im 3. Planungsschritt die Hauptausrüstungen mittels Symbolen in *Verfahrensfließschemata* grafisch, in richtiger Zuordnung sowie gemeinsam mit verbindenden Rohrleitungen u.a. Komponenten dargestellt werden,

- in weiteren Planungsschritten die Grundoperationen und die zugehörigen Hauptausrüstungen verfahrenstechnisch ausgelegt werden.

In Tabelle 3.1 sind jeweils einer bestimmten verfahrenstechnischen Aufgabe, die zu ihrer Lösung möglichen Grundoperationen zugeordnet. Die ebenfalls angeführten Phasenverhältnisse sollen deutlich machen, in welchem Aggregatzustand die Stoffe bzw. Gemische normalerweise verarbeitet werden.

Die Angaben sind bei weitem nicht vollständig und sollen keinen wissenschaftlichen Anspruch erheben. Beispielweise sind die angeführten Grundoperationen für *chemische Umsetzungen* nur ein Bruchteil der möglichen.

Die Absicht von Tabelle 3.1 ist vielmehr, die Vielfalt und die Kompliziertheit der Grundoperationen zu verdeutlichen. Zugleich wird sichtbar, wieviel innovatives und schutzzrechtliches Potential die Verfahrensplanung und insbesondere die **Verfahrensentwicklung** (s. Abschn. 2.2) beinhaltet.

**Tabelle 3.1** Zusammenstellung ausgewählter Grundoperationen (Unit Operations)

Aufgabe	Grundoperation	Phasenverhältnisse
<b>Chemische Umsetzung</b>	Heterogene katalytische Gasphasenreaktion	gasförmig/fest
	Heterogene katalytische Flüssigphasenreaktion	flüssig/fest
	Heterogene katalytische 3-Phasenreaktion	gasförmig/flüssig/fest
	Homogene katalytische Gasphasenreaktion	gasförmig
	Homogene katalytische Flüssigphasenreaktion	flüssig
	Gasphasenreaktionen	gasförmig
	Flüssigphasenreaktionen	flüssig
	Massepolymerisation	gasförmig, flüssig
	Lösungspolymerisation	flüssig
	Fällungspolymerisation	flüssig/fest
	Suspensionspolymerisation	flüssig/flüssig
	Aerobe Bioreaktion	flüssig/gasförmig/fest
<b>Stoff-trennung</b>	Anaerobe Bioreaktion	flüssig/gasförmig/fest
	Rektifikation, Verdampfung	flüssig/dampfförmig
	Absorption, Desorption	gasförmig/flüssig
	Adsorption, Desorption	fest/gasförmig, fest/flüssig
	Kristallisation	flüssig/fest
	Abscheidung, Filtration, Koagulieren, Sedimentieren, Dekantieren, Zentrifugieren	gasförmig/flüssig, fest/flüssig, fest/gasförmig
<b>Stoff-vereinigung</b>	Trocknung	fest, flüssig, gasförmig/flüssig
	Mischen	fest/fest, flüssig/flüssig
	Kneten, Extrudieren	fest/fest
<b>Stoff-transport</b>	Lösen	fest/flüssig
	Fördern, Transportieren, Verladen	gasförmig, flüssig, fest

**Tab. 3.1** (Fortsetzung)

<b>Stoff-lagerung</b>	Behälter, Tanks, Lager	gasförmig, flüssig, fest
<b>Energie-gewinnung</b>	Verbrennung Kernspaltung	gasförmig, flüssig, fest fest
<b>Zustands-änderungen</b>	Verdampfen, Kondensieren Sublimieren, Desublimieren Pumpen Verdichten Erwärmen Kühlen	flüssig/dampfförmig fest/gasförmig flüssig/gasförmig gasförmig fest, flüssig, gasförmig fest, flüssig, gasförmig

Im Weiteren wird näher auf das schrittweise Vorgehen bei der verfahrenstechnischen Vorplanung eingegangen.

### a) Verfahrensauswahl

Der Begriff **Verfahren** beinhaltet per Definition die Gesamtheit aller Verfahrensstufen und Grundoperationen. Da aber während der Planung eine differenzierte Betrachtung nötig ist, wird nochmals zwischen Hauptverfahren und Neben- bzw. Teilverfahren unterschieden.

Das *Hauptverfahren* ist meistens das Syntheseverfahren, welches das „Herz des Gesamtverfahrens“ ausmacht, viel Know-how beinhaltet und häufig patentiert ist.

Die *Nebenverfahren* sind i.d.R. periphere Verfahren bzw. Verfahrensstufen, die nicht selten zum Stand der Technik gehören, frei zugänglich sind und häufig als Standardverfahren in Verbindung mit **Package Units** (Teilanlagen), Nebenanlagen für Medien, Ver-/Entsorgung, Logistik, Infrastruktur (Utilities) engineert und eingekauft werden. Ausnahmen von diesem Normalfall sind möglich.

Die *Verfahrensauswahl*, die im Ergebnis noch zwei bis vier Basisvarianten umfassen kann, beinhaltet u.a. folgende Schritte.

- 1) Ausgehend von den Entwurfsdaten des Lastenhefts (Design Basis) (s. Tab. 2.20 in Abschn. 2.4.2) ist durch den Auftraggeber bzw. den Generalplaner nach einem geeigneten Hauptverfahren zu recherchieren, falls man nicht selbst Verfahrensträger ist. Anschließend ist gegebenenfalls zu entscheiden, wie man die Nutzungsrechte an diesen Hauptverfahren erlangen kann.

Häufig sind diese Grundsatzentscheidungen schon vor Projektbeginn getroffen worden, sodass das Hauptverfahren zu Projektbeginn feststeht.

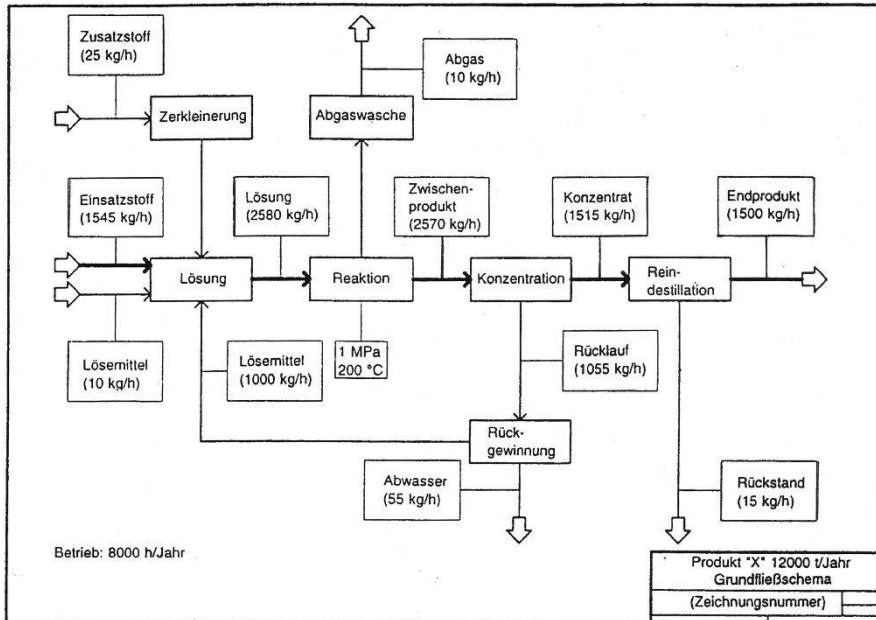
Eine Verfahrensneuentwicklung ist meistens während der Projektabwicklung nicht möglich; dazu fehlt die Zeit (s. Abschn. 2.2).

Möglich sind Verfahrensanpassungen bzw. -modifizierungen gemäß den spezifischen Projektbedingungen. Dies kann auch mit Labor-, Technikums-, Pilotanlagen- und Großversuchen verbunden sein.

- 2) Mit dem Input des Lastenhefts und zum Hauptverfahren konzipiert der Verfahrensplaner mittels der verfügbaren Grundoperationen und mit viel Wissen und Erfahrung die Grobstruktur des Verfahrens und der Anlage.

Diese Grobstruktur wird in Grundfließschemata (-fließbildern) (s. Abb. 3.2) mit Grund- und Zusatzinformationen gemäß folgender Begriffsdefinition [7][8] und Inhalte abgebildet:

Das **Grundfließschema (GF)** (Block diagram) ist die Darstellung eines Verfahrens oder einer verfahrenstechnischen Anlage in einfacher Form. Die Darstellung erfolgt mit Rechtecken, die durch Linien verbunden werden.



**Abb. 3.2** Grundfließschema mit Grund- und Zusatzinformationen [7]

- 3) Auf den Grundfließschemata werden außer dem Hauptverfahren auch die wichtigen Nebenverfahren, die Hauptstoff- und Hauptenergieströme sowie wichtige Prozessparameter angegeben (s. Tab. 3.2).

**Tabelle 3.2** Informationen auf dem Grundfließschema (Block diagram) [7][8]

Grundinformationen	Zusatzformationen
a) Benennung der Rechtecke	a) Benennung der Hauptstoffe zwischen den Rechtecken
b) Benennung der Ein- und Ausgangsstoffe	b) Durchflüsse bzw. Mengen der Ein- und Ausgangsstoffe
c) Fließrichtung der Hauptstoffe zwischen den Rechtecken	c) Durchflüsse bzw. Mengen von Energien bzw. Energieträgern d) Hauptstoffe zwischen den Rechtecken von Energien bzw. Energieträgern e) charakteristische Betriebsbedingungen

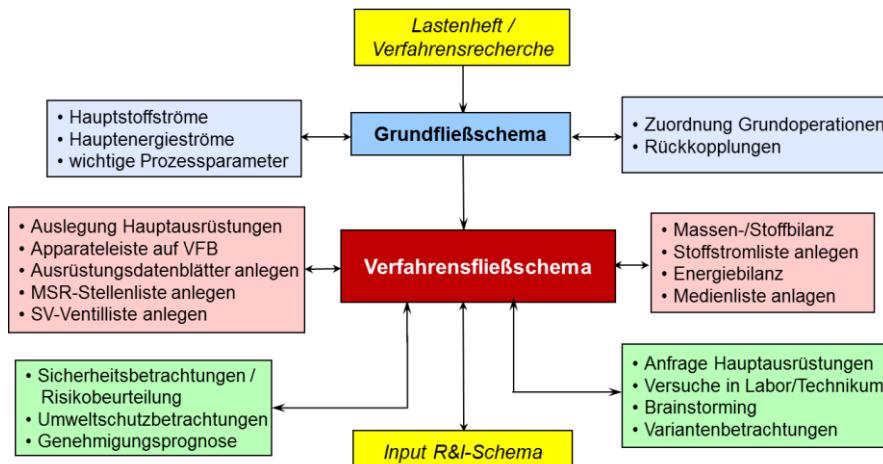
- 4) Für verschiedene Verfahrensalternativen werden jeweils zugehörige Grundfließschemata und die Hauptstoffströme überschläglich ermittelt.
- 5) Die einzelnen Varianten werden im Team diskutiert und ggf. einige verworfen. Die restlichen werden in der Verfahrensentwurfsplanung vertieft.

Sollte sich später, z. B. während des „Basic“ oder im Genehmigungsverfahren, herausstellen, dass das gewählte Verfahrens ungünstig ist, muss der Planer „unter Schmerzen“ nochmals einen Schritt zurück und die Leistungsstufe „Verfahrensauswahl und Grundfließschemata erstellen“ erneut durchlaufen.

### b) Verfahrens- bzw. Prozessentwurfsplanung

Die zuvor ausgewählten Varianten sind alle planerisch zu vertiefen, um letztlich eine Vorzugsvariante auswählen zu können. Die dabei durchzuführenden Engineeringarbeiten sind in Abb. 3.3 dargestellt.

Inwieweit die dargestellte Planungstiefe (z.B. das Anlagen der Datenblätter und Listen) auf Grund der im speziellen Fall gegebenen Variantenvielfalt zweckmäßig ist, muss projektspezifisch entschieden werden.



**Abb. 3.3** Ablauf und Ergebnisse der verfahrenstechnischen Entwurfsplanung

Im Einzelnen kann wie folgt vorgegangen werden:

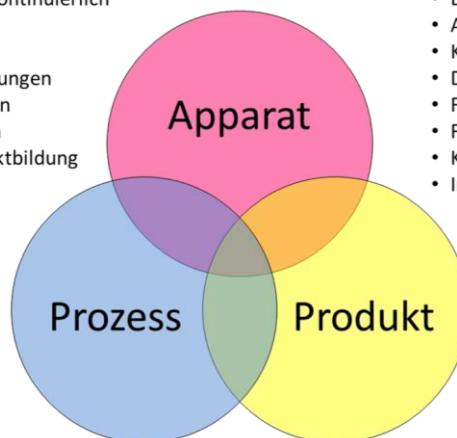
- 1) Die Blöcke auf den Grundfließschemata sind bis ins Detail in Grundoperationen aufzuteilen und die Zusammenhänge (funktional, stofflich, energetisch) zwischen den Grundoperationen zu ermitteln.
  - Jeder Grundoperation ist gemäß dem nachfolgenden Grundsatz eine geeignete Ausrüstungsart zuzuordnen.

*Das Verfahren findet in der Anlage und die Grundoperation findet in einer Hauptausrüstung statt!*

- Bei der Wahl der Ausrüstung sind neben den Verfahrensbedingungen auch die Produkteigenschaften zu berücksichtigen.
- Die Abb. 3.4 zeigt diesen Zusammenhang zwischen Verfahren und Anlage bzw. zwischen Grundoperation und Hauptausrüstung.
- Ein erfahrener Verfahrensplaner denkt ohnehin nicht nur an die Grundoperation, sondern auch an die Ausrüstung, in der die eine bzw. mehrere Grundoperationen stattfinden sollen. Umgekehrt denkt ein erfahrener Ingenieur für **Maschinen und Apparate** (MuA) bzw. **Equipment** (EQP) auch an die Grundoperation/-en, die in „seiner“ Ausrüstung erfolgen.

### Prozess/Verfahren

- kontinuierlich, diskontinuierlich
- mit/ohne Reaktion
- Prozessparameter
- Kapazitätsschwankungen
- mögl. Gefährdungen
- mögl. Instabilitäten
- mögl. Nebenproduktbildung
- Belagsbildung
- Probeentnahme



### Apparatedesign

- Betriebsparameter
- Auslegung (Teillast)
- Konstruktion
- Druckabsicherung
- Festigkeitsberechnung
- Festigkeitsprüfung
- Korrosion
- Inspektion

### Produkt

- Stoffdaten
- Gefahrstoff
- Ex-Gefahren
- Qualitätsparameter
- Produktsensibilität
- Verkaufspreis

**Abb. 3.4** Zusammenhang zwischen Prozess, Apparat und Produkt

- Die *Hauptausrüstungen* verfahrenstechnischer Anlagen sind **Apparate, Maschinen und Behälter** inkl. Tanks.

Im Einzelnen sollen folgende Begriffsdefinitionen gelten:

**Apparat** ist eine Ausrüstung/Vorrichtung zur Durchführung von Stoffänderungen und/oder Stoffwandlungen.

(Bsp.: Reaktoren, Öfen, Kessel, Kolonnen, Wärmeübertrager, Abscheider, Filter, Sprühtröckner)

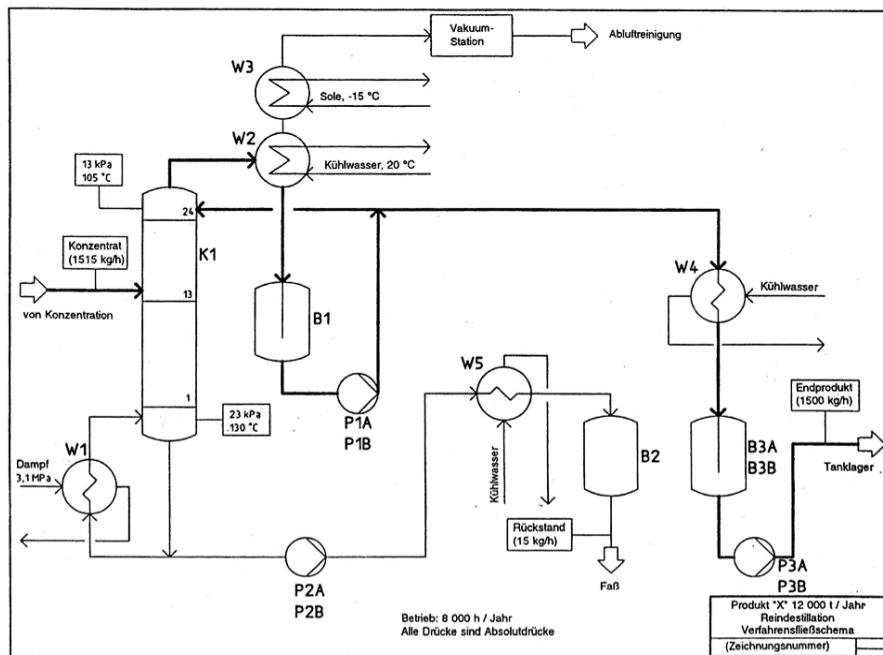
**Maschine** ist eine mit einem anderen *Antriebssystem* als der unmittelbar eingesetzten menschlichen oder tierischen Kraft ausgestattete oder dafür vorgesehene *Gesamtheit miteinander verbundener Teile* oder Vorrichtungen, von denen *mindestens eines beweglich* ist und die für eine bestimmte Anwendung zusammengestellt sind [9] (Wesensmerkmale kursiv!)

(Bsp.: Pumpe, Verdichter, Gebläse, Turbinen, Rührbehälter, Zentrifugen, Filtertrockner, Drehscheibenextraktoren, Extruder, Förderband)

**Behälter** ist eine geschlossene, ortsfeste Ausrüstung/Vorrichtung zur Aufbewahrung von Stoffen.

(Bsp.: Betriebsbehälter, Lagerbehälter, Lagertank, Silo)

- Ein Tank ist im Prinzip ein sehr großer stehender oder liegender Behälter.
  - Mancher Apparat oder Behälter wird durch den Anbau eines Antriebs zur Maschine, sodass die Abgrenzung teilweise schwierig ist. Mitunter werden Behälter durch „intelligente“ Einbauten auch zu einem Apparat.
- 2) Die Hauptausrüstungen sind durch grafische Symbole nach [7][10] zu charakterisieren und auf den Verfahrensfließschemata (VF) in funktionaler Zuordnung (i. Allg. von links nach rechts in Fließrichtung vom Rohstoff zum Endprodukt) zeichnerisch darzustellen. Die VF sind, falls dies zum Verständnis notwendig ist, zu beschreiben.
- Das Verfahrensfließschema (-fließbild) ist das Hauptdokument der Verfahrensentwurfsplanung und in [7][8] folgendermaßen definiert:
- Das **Verfahrensfließschema (VF)** (Process flow diagram) ist die Darstellung eines Verfahrens oder einer verfahrenstechnischen Anlage mit Hilfe von grafischen Symbolen, die durch Linien verbunden sind.
- Die grafischen Symbole bedeuten Anlagenteile, die Linien Fließlinien für Stoffe und Energien bzw. Energieträger.
- Das Beispiel eines vereinfachten Verfahrensfließschemas mit Grundinformationen zeigt Abb. 3.5.



**Abb. 3.5** Einfaches Verfahrensfließschema mit Grundinformationen [7]

- Tabelle 3.3 enthält eine Zusammenstellung der Informationen, die auf den Verfahrensfließschema (VF) abgebildet sind.

- In Abb. 3.6 ist ein ausführliches Verfahrensfließschema mit Zusatzinformationen, insbesondere mit Darstellung der PLT-Stellen inkl. der verfahrensspezifischen Regelkreise sowie einer sog. *Stoffstromleiste* dargestellt.

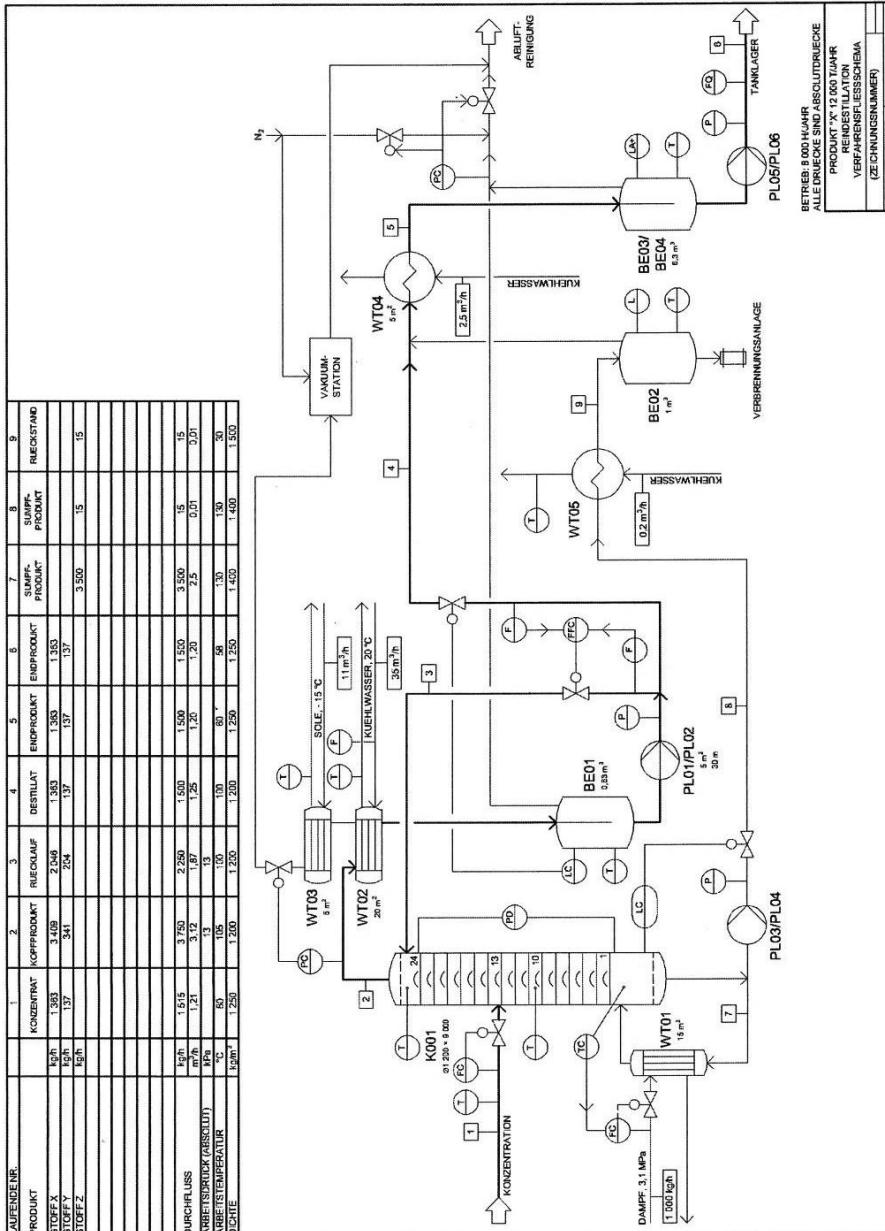


Abb. 3.6 Ausführliches Verfahrensfließschema mit Grund- und Zusatzinformationen [8]

**Tabelle 3.3** Informationen auf dem Verfahrensfließschema (Process flow diagram) [7]

Grundinformationen	Zusatzformationen
<p>a) Art der für das Verfahren erforderlichen Apparate und Maschinen außer Antriebsmaschinen</p> <p>b) Bezeichnung der Apparate und Maschinen außer Antriebsmaschinen</p> <p>c) Fließweg und Fließrichtung der Ein- und Ausgangsstoffe und Energien</p> <p>d) Benennung und Durchflüsse bzw. Mengen der Ein- /Ausgangsstoffe</p> <p>e) Benennung von Energie bez. Energieträgern</p> <p>f) charakteristische Betriebsbedingungen</p>	<p>a) Benennung und Durchflüsse bzw. Mengen der Stoffe zwischen den Verfahrensstufen</p> <p>b) Durchflüsse bzw. Mengen von Energien bzw. Energieträgern</p> <p>c) Anordnung wesentlicher Armaturen</p> <p>d) Aufgabenstellung für Messen, Steuern, Regeln an wichtigen Stellen</p> <p>e) Ergänzende Betriebsbedingungen</p> <p>f) Kennzeichnende Größen von Apparaten und Maschinen (außer Antriebsmaschinen) ggf. in getrennten Listen</p> <p>g) Kennzeichnende Daten von Antriebsmaschinen, ggf. in getrennten Listen</p>

- Von den Maschinen werden die Antriebe (Motoren) nicht dargestellt.
  - Von den Rohrleitungen, den Armaturen und den PLT-Stellen werden nur die *verfahrensrelevanten* gezeichnet (z.B. Verhältnisregelung der Reaktionspartner, Temperaturregelung im Reaktor, Messung der Produktqualität).
  - Außer in der Vorplanungsphase werden die Verfahrensfließschemata noch vorrangig als Unterlage für die Behörde im Genehmigungsantrag sowie als Schulungs-unterlage für das Betreiberpersonal genutzt.
- In anderen Projektsituationen dominiert das **Rohrleitungs- und Instrumentenfließschema** (R&I) bzw. **Piping and Instrumentation Diagram** (P&ID).
- Nähere Angaben zu den grafischen Symbolen sind in Verbindung mit dem R&I in Abschn. 4.2.1.1 (Fließschemaarbeit) enthalten.
  - Zu den möglichen Software-Werkzeugen, die für die Anlagenplanung und speziell auch für die 2D-Fließschamataerstellung genutzt werden können, wurden bereits in Abschn. 3.2, Punkt 2) Ausführungen gemacht.
- 3) Die weiteren Schritte der Verfahrensentwurfsplanung sind aus den Angaben in Abb. 3.3 ersichtlich. Sie beinhalten, i. Allg. noch für mehrere Varianten, kurzgefasst:
- Grob-Bilanzieren der Stoff- und Energieströme sowie anlegen (eröffnen) der *Stoffstrom-, Massenstrom- und Medienlisten*; mitunter auch ergänzt um grafische Darstellungen in Form von *Massen- und Energiebilanz-Schemata*. Wichtige Stoffströme sind in das Verfahrensfließschema einzutragen, ggf. ist eine separate *Stoffstromleiste* zu erstellen und oben oder unten auf dem Verfahrensfließschema darzustellen.
  - Genutzt werden dafür *Systemprogramme*, die u.a. über Stoffdatenbanken, Phasengleichgewichtsmodelle, Auslegungsmodelle für Apparate und ggf. über hydraulische Modelle zur Druckverlustberechnung verfügen.  
Mit diesen Programmen werden gleichzeitig Bilanzgleichungssysteme mathematisch gelöst sowie die Apparate verfahrenstechnisch berechnet.

Stehen derartige Tools nicht zur Verfügung, muss mit speziellen Tools alternierend bilanziert und ausgelegt werden.

- Auswahl und verfahrenstechnische Grob-Auslegung der Hauptausrüstungen.
- Die *Apparateleiste* auf den Verfahrensfließschemata erstellen. Verfügbare Basisdaten der Ausrüstung in die Apparateleiste eintragen, wie z.B.

*Benennung, maximal/Minimal zulässiger Betriebsüberdruck, maximal/minimal zulässige Betriebstemperatur, Volumeninhalt, Volumenstrom, übertragene Wärmemenge, Druck-verlust, Antriebsleistung, Werkstoff, Typ/Hersteller*

- Ausrüstungsdatenblätter und Ausrüstungsliste für Hauptausrüstungen anlegen und verfügbare Daten eintragen; gegebenenfalls Anfrage-/Entwurfs-skizzen anfertigen.
- MSR-Stellenliste für Anlage/Teilanlage anlegen und Daten der verfahrens-relevanten PLT-Stellen eintragen, gegebenenfalls das Gleiche für Sicher-heitsarmaturen (Sicherheitsventile, Berstscheiben) tun.
- Betrachtungen zu GSU (Gesundheit-Sicherheit-Umweltschutz) anstellen; eventuell Grob-Risikobeurteilung durchführen (s. Abschn. 3.4).
- Genehmigungssituation analysieren und beurteilen; *Genehmigungsprognose* erarbeiten.
- Einholen von Angeboten für besondere Kern-/Prozessausführungen, die für die Variantenauswahl wesentlich sind (potentielle Anbieter, Kosten, Liefer-termin).
- Durchführung von Labor- und/oder Technikumsversuchen entsprechend Bedarf und Möglichkeit.
- Nutzung von Best practice, Braunstroming u.a. Methoden zur Problemlö-sung und Variantenauswahl.
- Grob-Kalkulation der Investitionskosten und Betriebskosten sowie Investitionsrechnung.

### 3.3.2 Lageplanung und Grob-Layoutplanung

Eine **Anlage** ist die Gesamtheit der zur Durchführung eines Verfahrens notwendigen Ausrüstungen und Einrichtungen in ihrer funktionsbedingten Kopplung und räumlichen Anordnung.

Die Anlage wird im „klassischen“ Fall unterteilt:

- aus *technischer Sicht* in
  - prozesstechnische Hauptanlage,
  - prozessrelevante Teilanlagen (Package-units),
  - Nebenanlagen (Utilities),
  - Infrastruktur, Logistik u.ä.,
  - Aggregate (Funktionseinheiten bestehend aus Hauptausrüstung mit peripheren Komponenten),

- Anlagenkomponenten (Ausrüstungen, Rohrleitungen, Armaturen, Sensoren, Aktoren, Lüftungskanäle usw.),
- aus *baulicher Sicht* in
  - Hochbauten bzw. Gebäude (Produktions-/Versorgungshallen und -trakte, Lager, Speicher, Messwarte, Schalträume, Trafogebäude, Werkstätten, Laborräume, Garagen, Aufenthalts-/Sozialräume, Büroräume),
  - Tiefbauten (Fundamente, Kanäle, Schächte, Gräben, erdverlegte Rohrleitungen und Kabel),
  - Stahlbauten (Stahlbaugerüste, Bühnen, Podeste, Rohrbrücken, Rohr-/Kabeltrassen, Zäune),
  - Flucht-/Verkehrswege (Treppen, Steigleitern, Straßen, Wege, Gleise),
  - befestigte Flächen (Verkehrsflächen, Parkplätze, Montage-/Demontageflächen, Sammel-/Stellplätze).

Die ersten Vorstellungen zum Lageplan und Groblayout finden zeitnah zur Verfahrensplanung statt, da es oft gegenseitige Beeinflussung bzw. Abhängigkeit gibt.

Ein vorgegebenes, beengtes Grundstück, welches sich in eine vorhandene Werksstruktur einfügt oder ein ehemaliges Maschinenhaus, welches erneut für die Neuanlage genutzt werden soll, können erhebliche Zwänge auf die Verfahrenswahl und -gestaltung und ggf. sogar auf die gesamte Projektabwicklung ausüben.

Im Einzelnen wird die Layout-Planung in der Projektphase 2 nur soweit vertieft, wie für die Variantenbetrachtung und -auswahl notwendig. Die wesentlichen Arbeiten zum 3D-Anlagenmodell und zur Aufstellungsplanung finden im Basic Engineering (s. Abschn. 4.2.4) und Detail Engineering (s. Abschn. 7.2.3) statt.

Die grundlegenden Zusammenhänge bei der Grundstücksplanung für den zu projektierten Betrieb zeigt Abb. 3.7.

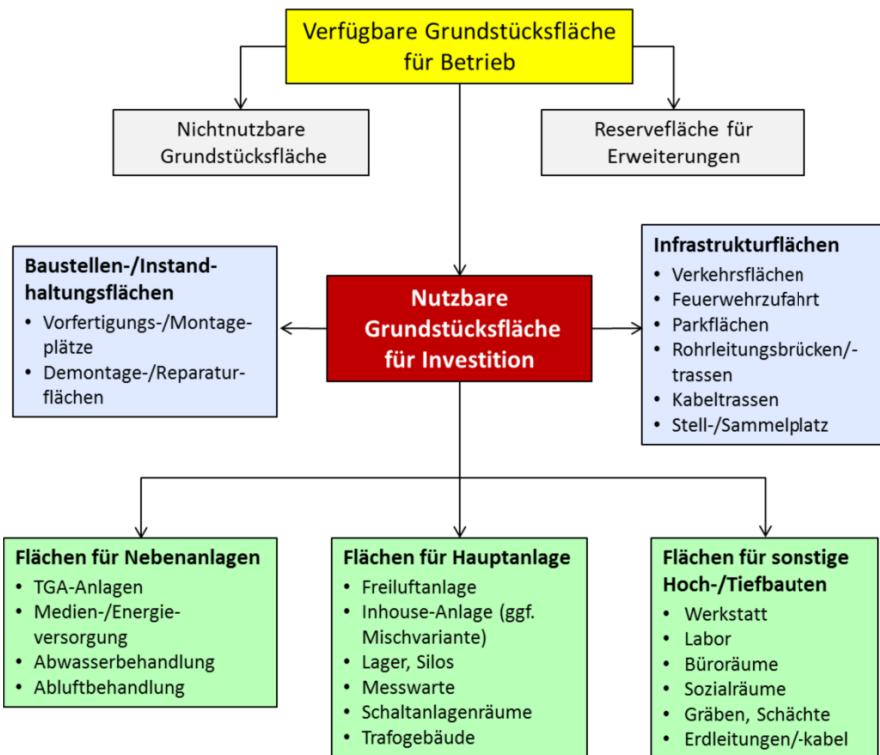
### a) Lageplanung

Ein *Lageplan* ist eine maßstäbliche 2D-Darstellung (z.B. M 1:100 bis 1:1000), die zeigt wie Werke, Anlagenkomplexe, Anlagen oder Teilanlagen und Verkehrswege lagemäßig zusammengehören.

Er beinhaltet:

- vereinfacht dargestellte Umrisse/Grenzen der Anlagen bzw. Teilanlagen,
- vereinfacht dargestellte Verkehrswege,
- Hauptrohrleitungstrassen, Hauptkabeltrassen,
- Maße oder Koordinaten für die eindeutige Lagebestimmung der Verkehrswege und Grenzen der Anlage oder Teilanlage,
- Bezugshöhen (Koten),
- Kennzeichen der Anlagen, Teilanlagen und Verkehrswege,
- geographischer Nordpfeil.

Der Lageplan kann ein Werks- und/oder ein Betriebsgelände abbilden. Er stellt den *Mikro-Standort* (s. Abschn. 2.2) der Anlage im Verbund dar. Die Erarbeitung des Lageplans ist eine interdisziplinäre Aufgabe. Zur Erstellung wird i.Allg. ein 2D-CAD-Softwaremodul genutzt.



**Abb. 3.7** Einflussfaktoren und Vorgehensweise bei der Grundstücksplanung

Der Übersichtslageplan eines Erdgasspeicher-Betriebs ist in Abb. 3.8 dargestellt.

Das Flächenraster diente zur örtlichen Gliederung der Baustelle und des Betriebsplatzes. Wichtige Planungsdokumente, wie Aufstellungs-, Unterflursummen- und Oberflächenbefestigungspläne, wurden Rasterflächen zugeordnet.

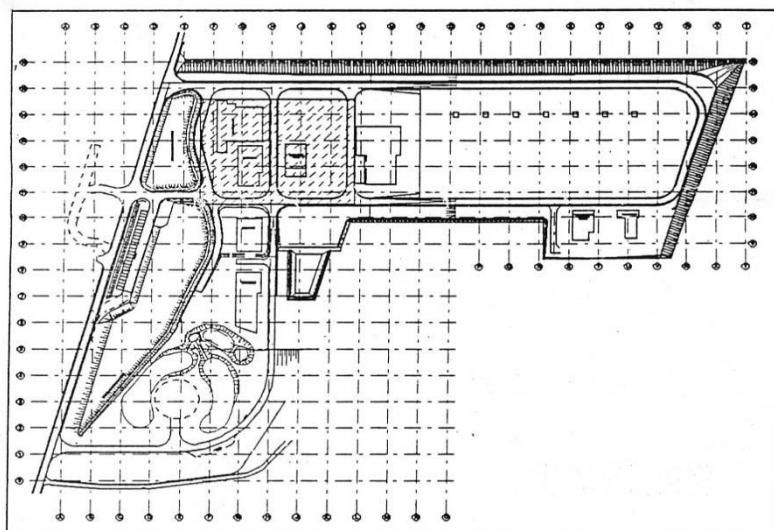
### b) Grob-Layoutplanung

Die *Anlagen-Layoutplanung* umfasst alle Engineeringarbeiten, die mit der räumlichen Anordnung der wesentlichen Teilanlagen, Bauwerke und Einrichtungen sowie ihrer Verbindungen (Rohre, Kabel, Straßen usw.) verbunden sind.

In den weiteren Ausführungen dieses Buchs wird angenommen, dass während des Engineering eine 3D-CAD-Anlagenplanung stattfindet und umfassend genutzt wird. Diese Vorgehensweise minimiert die Schnittstellen im Projekt und damit auch die Fehlerwahrscheinlichkeit. Die Software-Tools werden zugleich immer komfortabler und auch auf PCs nutzbar.

Das 3D-CAD-Anlagenmodell wird während der Vorplanung, relativ zeitnah mit dem Beginn der (Verfahrens-)Fließschemaarbeit, planerisch begonnen und schrittweise bis zur Anlagenübergabe ergänzt und präzisiert.

In großen Projekten gibt es einen eigenen *Leadingenieur Anlagenmodellierung*.



**Abb. 3.8** Übersichtslageplan eines Speicherbetriebs für Erdgas

Das 3D-Anlagenmodell (s. Abschnitte 4.2.4 und 7.2.3) ist ein Gewerke übergreifendes Planungsprodukt, aus dem heraus sich die unterschiedlichen Dokumentarten (grafische und nichtgrafische) selektieren bzw. generieren lassen.

Dies schließt nicht aus, dass zweckmäßigerweise bestimmte Engineeringdokumente (Fließschemata, Rohrleitungsisometrien, Bauzeichnungen, Schaltpläne u.a.) mit speziellen Software-Modulen, die jedoch alle auf das gleiche Basissystem aufsetzen bzw. mit diesem kompatibel sein sollten, erstellt werden.

Die Grob-Layoutplanung basiert auf der Lageplanung und ergänzt de facto die vertikale Dimension; statt Flächen werden Volumina geplant. Sie entspricht einer groben Anlagengestaltung und beinhaltet u.a.:

- 1) Entscheidung über die Realisierung als *Freianlage* oder *Inhouseanlage* oder als Mischvariante. Dies muss in Übereinstimmung mit dem Baukonzept erfolgen (s. Abschn. 3.3.3).
  - Bei Freianlagen sind die Ausrüstungen im Freien aufgestellt, bei Inhouseanlagen sind sie umbaut bzw. zumindest eingehaust. Die Vor- und Nachteile beider Bauformen sind in Tabelle 3.4 zusammengestellt.
  - Bei der Gebäudeplanung sind neben den technischen auch die architektonischen und bauphysikalischen Aspekte zu beachten.
  - In vielen Anlagen-Projekten werden Mischvarianten zwischen Frei- und Inhouseanlage realisiert; beispielsweise
    - *inhouse* die Prozessanlage (Betriebsgebäude) und Maschinen (Maschinenhalle) sowie
    - *im Freien* die Nebenanlagen (Wärmeträgerölanlage mit Ofen, Tanklager, Verladestation usw.).

**Tabelle 3.4** Vor- und Nachteile von Frei- bzw. Inhouseanlagen

<b>Vorteile bzw. Nachteile von Freianlagen gegenüber Inhouseanlagen</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- geringere Baukosten</li> <li>- geringere Kosten für die Technische Gebäudeausrüstung</li> <li>- geringere Explosionsgefahr</li> <li>- geringere Gefährdung bei Bränden (geringere Erstickungsgefahr)</li> <li>- geringere Gefährdung bei Explosionen (bessere Druckentlastung, geringere Einsturzgefahr)</li> <li>- geringere Gefährdung bei Leckagen bzw. erhöhten Emissionen</li> <li>- geringerer Aufwand, um den Gefährdungen bei Brand/Explosion/Leckagen/erhöhten Emissionen zu begegnen</li> <li>- bessere Zugänglichkeit bei Montage, im Betrieb und bei Instandhaltung</li> <li>- bestimmte Ausrüstungen können wegen ihrer Größe (Kolonnen, Wäscher, Adsorber, Reaktoren u.a.) oder ihrer Funktion (Öfen, Fackeln, Klärbecken u.a.) nur frei aufgestellt werden</li> <li>- günstigere Rahmenbedingungen für Anlagenerweiterungen</li> </ul> <hr/> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ erhöhte Witterungseinflüsse auf Anlagenbetrieb (witterungsempfindliche Substanzen, erhöhte Wärme-/Kälteverluste, größere Tag-/Nachtschwankungen)</li> <li>▪ erhöhte Korrosionsbeanspruchung der Anlage durch Witterung (Maschinen, PLT-Technik, Stahlbau)</li> <li>▪ erhöhte Witterungsbeanspruchung des Personals, insbesondere bei Vor-Ort-Arbeitsplätzen und häufigen Bedienhandlungen</li> <li>▪ bessere Schallausbreitung bzw. erhöhte Aufwendungen für Schallschutz</li> <li>▪ bessere Ausbreitung von Emissionen, insbesondere geruchsintensiver Stoffe</li> <li>▪ Fernansicht der Anlage i. Allg. weniger ansprechend als bei Inhouse</li> <li>▪ Akzeptanz der Anwohner i. Allg. geringer als bei Inhouse</li> </ul>

2) Entscheidung über Hoch- und/oder Flachbauweise

*Flachbau:* größere Grundfläche, kleinere Fundamente, geringere Ansprüche an Baugrund, geringere Montagekosten, höherer Förderaufwand durch wiederholte Aufwärtsförderung der Medien, höherer Aufwand für Heizung/Klima/Lüftung

*Hochbau:* kleinere Grundfläche, größere Fundamente, höhere Ansprüche an Baugrund, höhere Bau-/Montagekosten, Produktfluss im natürlichen Gefälle möglich, weniger Aufwand für Heizung/Klima/Lüftung

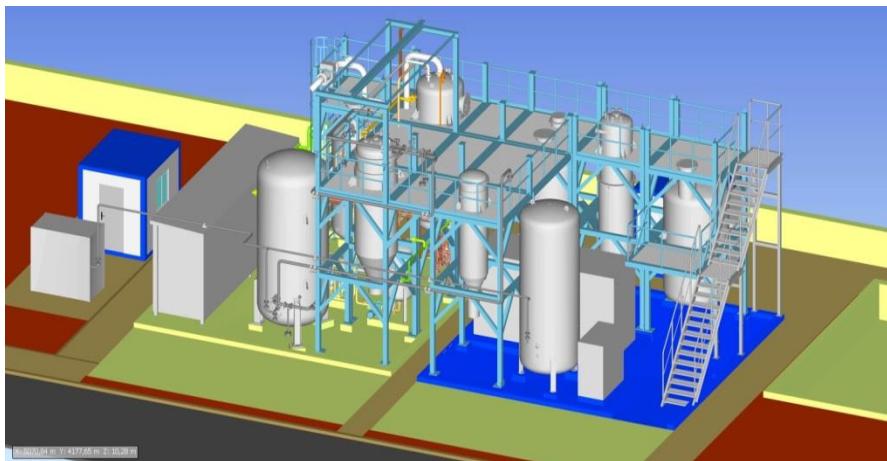
3) Umsetzung von Vorgaben zur Industriearchitektur und Außenansicht für die Bauleitplanung

- siehe auch Ausführungen zur Industriearchitektur in Abschn. 5.5.1

4) Ausführen der 3D-Groblayoutplanung (s. Beispiel in Abb. 3.9)

- Eintragen der in Abb. 3.7 ausgewiesenen Flächen ins 3D-Modell und platzieren der Hochbau- und Stahlbauwerke.
- Prinzipielle Darstellung der Geschosse und Apparatebühnen.

- Anordnen der Hauptausrüstungen im 3D-Modell, ggf. als Platzhalter (Dummy).
- Einplanen der Verkehrs- und Fluchtwege.
- Einplanen der Hauptrohrbrücken und -kabelrassen inkl. der Stützen.
- Ggf. Hauptrohrleitungen, Hauptarmaturen, Lüftungskanäle u.a. platz- und kostenrelevante Anlagenkomponenten ins 3D-Modell einplanen.
- Ggf. Ansichten von 3D-Layout ausdrucken sowie Grob-Aufstellungspläne, Seitenansichten, Schnitte u.ä. generieren und ausdrucken.



**Abb. 3.9** Beispiel eines Grob-Anlagenlayout einer Package-unit-Anlage

### 3.3.3 Baukonzept

Der Begriff *Baukonzept* vereint im Weiteren alle Leistungen der Teildisziplinen *Tiefbau* (civil), *Architektur* (architecture), *Hochbau* (structural) und *Stahlbau* (steel construction), die während der Vorplanung zu erbringen sind.

Nicht integriert sind die Leistungen der Technischen Gebäudeausrüstung, die in diesem Buch als eigene Fachdisziplin behandelt wird; in manchen Engineeringunternehmen aber auch dem Bau und in Sonderfällen auch der Verfahrens bzw. Prozesstechnik zugeordnet ist.

Die Planungsleistungen im Bauwesen sind in der HOAI (**Honorarordnung für Architekten und Ingenieure**) [11] spezifiziert. Die HOAI basiert auf einem Phasenmodell für Bauprojekte, das dem im Buch präsentierten Anlagen-Phasenmodell hinsichtlich der Phasen-Bezeichnung, nicht aber bezüglich der zugeordneten fachlichen Leistungen, ähnelt.

Betreffs der Bau-Planungsleistungen wird deshalb weitgehend auf die HOAI zurückgegriffen. Fachliche Grundlagen und spezifische Aspekte für verfahrenstechnische Anlagen werden ergänzt.

In der HOAI werden beispielsweise in § 43 für das Leistungsbild *Ingenieurbauwerke* und für die **Leistungsphase LPH 2 (Vorplanung)** insgesamt „stattliche“ 20 Prozent des Gesamthonors angegeben.

In Anlage 12 zu § 43 Absatz 5 und § 44 Absatz 5 sind zugeordnet zu diesem Honoraranteil folgende Leistungen der LPH 2 angeführt:

Grundleistungen:

- a) Analysieren der Grundlagen
- b) Abstimmen der Zielvorstellungen auf die öffentlichrechtlichen Randbedingungen sowie Planungen Dritter
- c) Untersuchen von Lösungsmöglichkeiten mit ihren Einflüssen auf bauliche und konstruktive Gestaltung, Zweckmäßigkeit, Wirtschaftlichkeit unter Beachtung der Umweltverträglichkeit
- d) Beschaffen und Auswerten amtlicher Karten
- e) Erarbeiten eines Planungskonzepts einschließlich Untersuchung der alternativen Lösungsmöglichkeiten nach gleichen Anforderungen mit zeichnerischer Darstellung und Bewertung unter Einarbeitung der Beiträge anderer an der Planung Beteiligter
- f) Klären und Erläutern der wesentlichen fachspezifischen Zusammenhänge, Vorgänge und Bedingungen
- g) Vorabstimmung mit Behörden und anderen an der Planung fachlich Beteiligten über die Genehmigungsfähigkeit, gegebenenfalls Mitwirken bei Verhandlungen über die Bezuschussung und Kostenbeteiligung
- h) Mitwirken beim Erläutern des Planungskonzepts gegenüber Dritten an bis zu 2 Terminen
- i) Überarbeiten des Planungskonzepts nach Bedenken und Anregungen
- j) Kostenschätzung, Vergleich mit den finanziellen Rahmenbedingungen
- k) Zusammenfassen, Erläutern und Dokumentation der Ergebnisse

Besondere Leistungen:

- Erstellen von Leitungsbestandsplänen
- vertiefte Untersuchung zum Nachweis von Nachhaltigkeitsaspekten
- Anfertigen von Nutzen-Kosten-Untersuchungen
- Wirtschaftlichkeitsprüfung
- Beschaffen von Auszügen aus Grundbuch, Kataster und anderen amtlichen Unterlagen

Insgesamt sind in der HOAI für 15 Leistungsbilder analoge Angaben, wie für Ingenieurbauwerke, angeführt. Diese betreffen u.a. die folgenden Leistungsbilder und bilden alle Leistungsphasen für Bauprojekte gemäß HOAI ab.

- |  |   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Flächennutzungsplan</i></li> <li>▪ <i>Bebauungsplan</i></li> <li>▪ <i>Landschaftsplan</i></li> <li>▪ <i>Flächenplanung</i></li> <li>▪ <i>Gebäude und Innenräume</i></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Freianlagen</i></li> <li>▪ <i>Ingenieurbauwerke</i></li> <li>▪ <i>Verkehrsanlagen</i></li> <li>▪ <i>Tragwerksplanung</i></li> <li>▪ <i>Technische Ausrüstung</i></li> </ul> |
|--|---|

Grundsätzlich sind die Leistungen, die für die Phase 2 bei diesen Leistungsbildern angeführt sind, ähnlich den zuvor zitierten für *Ingenieurbauwerke*.

Ergänzend zur HOAI sowie aus der Sicht und in der Sprache des Anlagenplanners beinhalten die Vorplanungsleistungen für Bau/Stahl zusammenfassend:

- 1) Mitwirken bei der Standortfindung (s. auch Abschn. 2.2).
  - Neubau auf „grüner Wiese“ oder auf sanierten Baugrund oder vollständige/teilweise Nutzung vorhandener Bauten
  - Einsehen und Analyse von Bestandsunterlagen betreffs: *klimatischer Verhältnisse inkl. Extremwetterlagen, zukünftige Projekte im Umfeld, Gefährdungen im Umfeld (Sicherheitsabstände, Emissionen usw.), Baugrund, Altlasten, Bodenuntersuchungen, Grundwasserdaten, Kampfmittelräumung, erdverlegte Rohrleitungen/Kabel.*
- 2) Wahl der Bauweise der Anlage (s. auch Abschn. 3.3.2, Buchs. b))
  - Freianlage oder Inhouseanlage oder Mischvariante / Betrachtung
  - Betrachtungen Geschosszahl und -höhe (Grundstückspreise, Fernansicht, Energieverluste, Nutzung natürliches Gefälle für Produktfluss)
  - Nutzung vorgefertigter, standardisierter Bauelemente bzw. Individualbau, ggf. Mischvarianten
  - Ausführung als Stahlbau bzw. Betonbau; ggf. Mischvarianten
- 3) Mitwirken bei der Grob-Layoutplanung (s. auch Abschn. 3.3.2, Buchst. b))
  - Anordnen der Baukörper auf der verfügbaren Grundstücksfläche
  - Erarbeiten von *Vorentwurfszeichnungen* gemäß der Definition in Abschn. 4.2.5.
  - Realisieren einer vorgabegerechten, ansprechenden Industriearchitektur und Außen-bzw. Fernansicht
  - Möglichkeit einer kostengünstigen Erweiterung
  - Beachtung der Bau-/Montageausführung
- 4) Variantenbetrachtung zu grundlegenden Fragen der fachlichen Ausführung
  - Art des Korrosionsschutzes für Stahlbau
  - Art der Fassadengestaltung
  - vorbereitende Arbeiten zum baulichen Brandschutz und zum Brandschutz- und Schallschutzkonzept (sind Teil des Extended Basic und des Genehmigungsantrags)
  - Art der Wärme- und Kältedämmung
- 5) Durchführung vorbereitender Arbeiten für nächste Engineeringphasen
  - Erstellen eines Grob-Terminplans für die Vorgänge des Planungs- und Bauablaufs
  - Mitwirkung bei Vorabstimmungen mit Behörde, Kommune u.ä.
  - überschlägliche Kostenschätzungen nach DIN 276

Der Autor versteht die dokumentierten Ergebnisse der Leistungsphase 2 (Vorplanung) zugleich als das *Baukonzept* für die weitere Projektabwicklung.

### 3.3.4 PLT-Konzept

Die **Prozessleitechnik (PLT)** wird als übergreifende Fachdisziplin verstanden. Sie vereint im Wesentlichen alle Gewerke, die elektrischen Strom (ggf. unterschiedlicher Spannungsebenen) nutzen. Dieses Begriffsverständnis setzt sich zunehmend in der Fachliteratur und Praxis durch, muss aber im Projekt vereinbart werden.

Entsprechend dieser Festlegung umfasst die PLT-Fachplanung ganzheitlich die nachfolgend angeführten Komponenten und Einrichtungen (s. auch Abb. 3.10).

#### Mess-/Steuer-/Regeltechnik (MSR) und Prozessleitsystem (PLS)

- PLT-Feldtechnik für Prozess
- Brand- und Rauchmelder sowie Gaswarneinrichtungen vor Ort
- Komponenten für Signalübertragung zwischen Feld und Warte und umgekehrt
- Prozessnahe Komponenten (auch: Prozessstationen, Automatisierungsstationen, Central Processing Unit/CPU)
- Prozessleitsystem (PLS), als die leittechnische Komponente (Teilsystem) im eigentlichen Sinne
- Stromversorgung der PLT-Geräte und PLT-Einrichtungen, inkl. USV (Unterbrechungsfreie Spannungsversorgung)
- Instrumentenluft(Steuerluft)-Versorgung der PLT-Geräte
- PLT-Ortswelt (Wartenräume, Schalträume, Vor-Ort-Stationen u.ä.)
- PLT-Infrastruktur (Kabeltrassen, Kabelschächte, Kabelrohre u.ä.)

#### Elektrotechnik (ET)

- Stromeinspeisung, Umspannstationen, Hochspannungsschaltanlagen
- Trafostationen, Mittelspannungsschaltanlagen
- Stromversorgung der elektrischen Verbraucher
- Notstromversorgung
- Kabeldimensionierung und -verlegung
- Beleuchtung und elektrische Begleitheizung
- Blitzschutz und Erdung
- elektrischer Explosionsschutz
- kathodischer Korrosionsschutz

#### Nachrichtentechnik (NAT), Prozessanalysentechnik (PAT), Laboranalysentechnik (LAT)

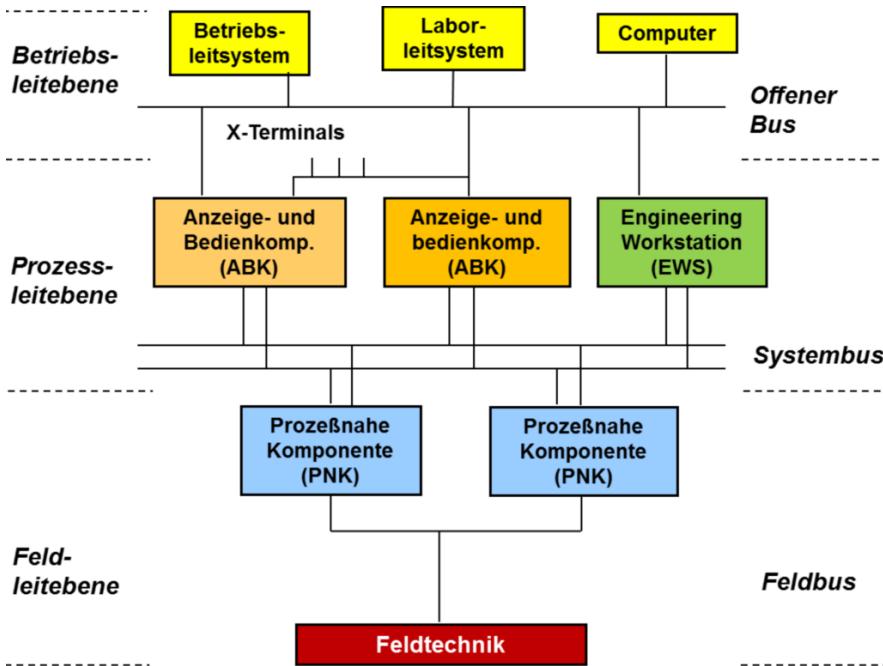
- innerbetriebliche Kommunikation (Telefon, Sprechfunk, Internet, Bereit-schaftsdienst)
- außerbetriebliche Kommunikation (Nachbarbetriebe, Feuerwehr, Kommune)
- Auswahl der Analysenmethoden und -geräte für Prozess- und Laboranalytik
- Planen der Installation der Prozessanalysentechnik
- komplexe Planung des Betriebslabors inkl. der Laboreinrichtungen und -geräte

Im Weiteren werden im Sinne der PLT-Vorplanung zu einigen Problemstellungen mögliche Alternativen aufgezeigt und diskutiert. Die ausgewählten Vorzugslösungen bilden in der Zusammenfassung das *PLT-Konzept*.

### a) Varianten zu Prozessleitsystem und MSR-Technik

#### 1) Art der Strukturierung des Prozessleitsystems (PLS)

- Die klassische Grundstruktur eines Prozessleitsystems bestehend aus den drei Ebenen: *Feldleit-, Prozessleit- und Betriebsleitebene* zeigt Abb. 3.10. Die Feldtechnik (Aktoren, Sensoren, Komponenten zur Signalübertragung zwischen Feld und Warte bzw. Schaltraum) gehört im eigentlichen Sinne nicht zum Prozessleitsystem.



**Abb. 3.10** Ebenenstruktur eines Prozessleitsystems [12]

- Zusätzlich möglich wäre eine *Unternehmensleitebene*, die über den offenen Systembus angebunden ist (s. Abschn. 4.2.6, Punkt 11)) und Abb. 4.46). Insbesondere bei weltweit tätigen Unternehmen sind damit komplexe, globale Optimierungen gemäß Markterfordernissen, Preisen, Währungskursen u.a. möglich.
- Der offene Bus in Abb. 3.10 hat mitunter auch eine sog. TEO-Schnittstelle (**T**echnical **E**ngineering **O**nline) zu einem Kontraktor oder Service-Partner, sodass dieser sich über den Anlagenzustand informieren und u.U. gemäß Vereinbarung auch online Veränderungen vornehmen kann.
- Zur Erhöhung der Zuverlässigkeit führen manche PLS-Hersteller den *PLS-Systembus* redundant aus. Einerseits einen sog. *LAN-Bus* (Local Area Network), an dem die Anzeige-/Bedienkomponenten und die Workstation angeschlossen sind, und andererseits einen sog. *Anlagen-Bus*. Letzterer heißt

so, weil er das System zur Anlage über die Prozessnahen Komponenten anbindet. Beide Busse sind über Server miteinander gekoppelt.

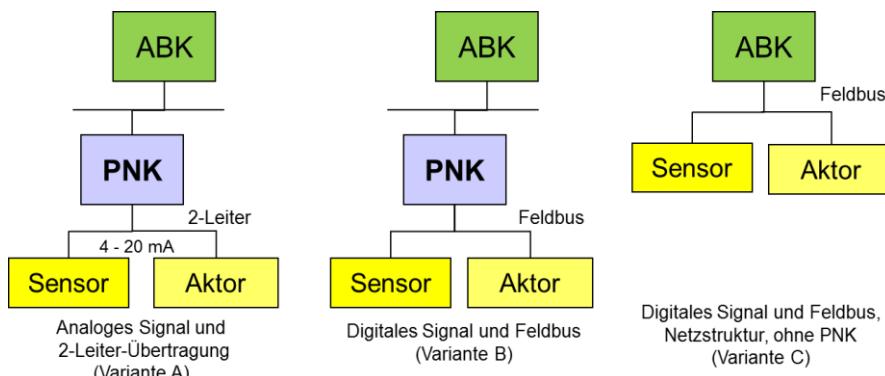
- Seitens des Kunden ist grundsätzlich zu entscheiden, ob zusätzlich zum PLS auch SPC (Speicherprogrammierbare Steuerungen) zugelassen werden. Derartige Steuerungen erhöhen die Gerätevielfalt, den Aufwand bei der Ersatzteilhaltung, verkomplizieren den Service und bewirken mitunter Schnittstellenprobleme bei der Signalübertragung. Andererseits bieten manche Package-Unit-Lieferanten ihre Leistung nur zusammen mit einer SPS an. Der Trend geht aus Sicht des Autors zu ganzheitlichen Lösungen mit Hilfe des PLS, möglichst ohne separate SPS.
- Es ist zu entscheiden, wie die *sicherheitsgerichteten Steuerungen* grundsätzlich realisiert werden; konservativ mittels einer speziellen SPS (z.B. HIMA) und hartverdrahtet (Parallelverdrahtung bei der jedes Feldgerät über eine eigene Leitung verfügt) oder mittels einer ausfallsicheren (failsafe) PLS-Komponente und einem speziellen, ausfallsicheren Feldbus-System. Kombinationen sind möglich.
- Geplante Erweiterungsoptionen können die Struktur des PLS ebenfalls beeinflussen.

## 2) Bedienmöglichkeiten am Prozessleitsystem

- Außer der Bedienmöglichkeit zentral in der Warte sind auch zusätzliche dezentrale Bedienplätze vor Ort in der Anlage denkbar. Dies trifft vorwiegend auf Inhouseanlagen mit hohem Bedienaufwand vor Ort zu.
- Grundsätzlich ist auch zu entscheiden, ob eine Workstation für die Programmierung des PLS parallel zum Anlagenbetrieb notwendig ist.

## 3) Wahl der Informationsübertragung vom Feld in die Warte und umgekehrt

- Mögliche Optionen zeigt Abb. 3.11. Der Normalfall ist die Variante B mit Feldbus und mit der „Intelligenz“ in den PNK. Gegenüber Var. A ist der Verdrahtungsaufwand, der Schrankbedarf sowie die Schaltraumgröße reduziert. Trotzdem wird bei sicherheitsrelevanten PLT-Stellen die Var. A mit Parallelverdrahtung auch noch genutzt.



**Abb. 3.11** Entwicklung der Signalübertragung vom Feld in die Warte und umgekehrt

- Nachteil der Variante B gegenüber der früheren Variante A ist die serielle Datenübertragung.  
Innerhalb der Zykluszeit der Datenabfrage wird jede Größe nur einmal übertragen. Bei einer Zykluszeit von beispielsweise 500 ms kann diese Abfragehäufigkeit für die Regelung oder die sicherheitsgerichtete Überwachung einer sehr dynamischen Prozessgröße zu gering sein. In diesen Fällen muss die Anzahl der übertragenen Signale reduziert werden; im Extremfall nur 1 Signal pro PNK und Feldbus.
- Das Feldbus-Kabel kann als 2-Leiter-Kabel in Kupfer (z. B. Profibus) oder als Lichtwellenleiter (LWL) ausgeführt werden (s. Tab. 3.5).

**Tabelle 3.5** Vor- und Nachteile von Kupfer-Feldbus- und Lichtwellenleiter-Feldbuskabel

Kupfer-Feldbuskabel	LWL-Feldbuskabel
<ul style="list-style-type: none"> <li>– geringere Kosten für Anschaffung und Montage</li> <li>– gute Möglichkeit zur Übertragung von Hilfsenergie an die Feldgeräte</li> <li>– weniger eingeschränkter Biegeradius</li> <li>– pro Querschnitt geringere Signaldichte möglich</li> <li>– größere Dämpfung (schlechter geeignet für lange Strecken)</li> <li>– empfindlich gegen elektro-magnetische Felder</li> <li>– schlechter hinsichtlich der Zündschutzart „Eigensicher“</li> <li>– geringere Reparaturkosten bei mechanischer Beschädigung/Zerstörung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– höhere Kosten für Anschaffung und Montage</li> <li>– eingeschränkte Möglichkeit zur Übertragung von Hilfsenergie an die Feldgeräte</li> <li>– eingeschränkter Biegeradius</li> <li>– pro Querschnitt bis 3-fach größere Signaldichte möglich</li> <li>– geringere Dämpfung bei Übertragung (gut geeignet für lange Strecken)</li> <li>– unempfindlich gegen elektro-magnetische Felder</li> <li>– besser hinsichtlich der Zündschutzart „Eigensicher“</li> <li>– höhere Reparaturkosten bei mechanischer Beschädigung/Zerstörung</li> </ul>

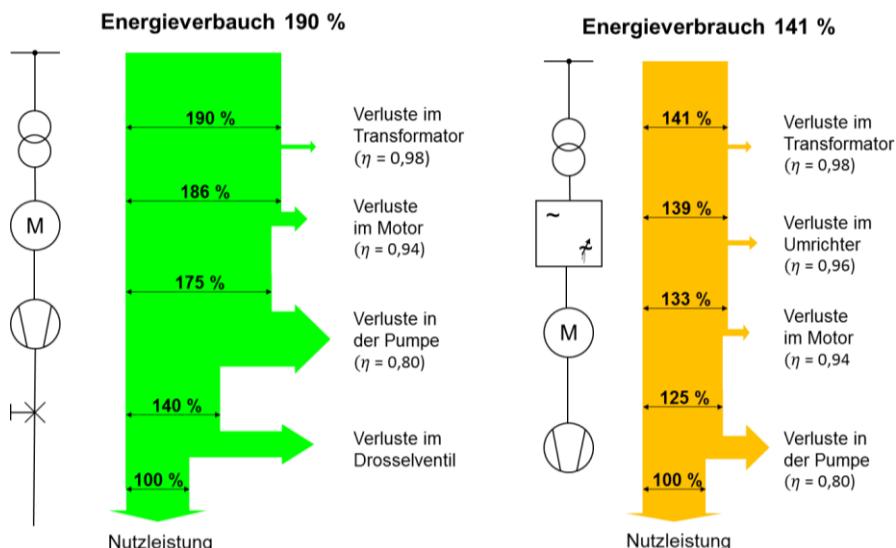
- Die Variante C in Abb. 3.11, mit einer „peripheren Intelligenz“ der Feldgeräte, steht noch am Anfang, wird aber mit dem Entwicklungstrend zur vernetzten Produktion (Industrie 4.0), immer interessanter und wichtiger.
  - Eingesetzt werden u.a. Sensoren, die neben der Messfunktion weitere Aufgaben (Mittelwertbildung, Selbstüberwachung/-kalibrierung), erledigen.
  - Die Integration der PNK-Funktion in den Sensor oder Aktor ist noch selten, wird sich aber auch weiter verbreiten. Mögliche Einsatzfälle, die bereits genutzt werden, sind z.B. die Integration der PNK
    - in den elektrischen Antrieb eines Regelventil, um vor Ort die Regelfunktionen zu realisieren oder die optimalen Reglerparameter zu ermitteln und einzustellen (sog. Regler-Tuning) oder
    - in den Frequenzumrichter (FU) eines Motors, um vor Ort die Parametrierung vorzunehmen und den Motor optimal betriebstechnisch anzupassen.
- Neben den Anschaffungskosten begrenzen u.a. noch Probleme des Explosionsschutzes sowie eingeschränkte Reparaturmöglichkeiten durch betriebliches Personal die Anwendung der „intelligenten Feldgeräte“.

- Ebenfalls am Beginn einer zunehmenden Nutzung steht die drahtlose Datenübertragung vom Feld in die Warte und umgekehrt mittels WLAN (Wireless Local Area Network). Allgemein ist die Skepsis betreffs der Zuverlässigkeit und Störempfindlichkeit noch groß; aber erste Anwendungsfälle und positive Rückmeldungen werden die Akzeptanz erhöhen.
- 4) Anordnen der PLT-Gebäude (Einspeisestationen, Umspann- bzw. Trafostationen, Messwartengebäude, Schaltgebäude) auf dem Grundstück sowie prinzipielle Raumplanung innerhalb der Gebäude
- 5) Auswahl der Feldgeräte sowie der Aufstellung ausgewählter Komponenten
  - Für die Sensoren (Messfühler) sind das Messprinzip und die Signalart (analog oder digital) zu wählen.
  - Bei den Aktoren (Stellantriebe) ist im Einzelfall vor allem hinsichtlich der Explosionsgefährdungen zwischen pneumatischen und elektrischen Antrieben zu entscheiden.
  - Wie zuvor ausgeführt, ist über die Zweckmäßigkeit der Verwendung intelligenter Feldgeräte, ggf. im Sonderfall, zu entscheiden.
  - Die Aufstellungsorte der PNK und SPC (Warten-/Schaltgebäude oder Vor-Ort) ist festzulegen. Wesentliches Kriterium ist die mögliche Explosionsgefährdung durch diese Komponenten.
  - Die Anordnung und Aufstellung der Prozessanalysatoren in Abhängigkeit vom Grob-Analysenplan (-konzeption) und den Möglichkeiten der Laboranalytik am Standort.
- 6) Art der Kabelverlegung für MSR-Geräte bzw. Betriebsmittel
  - Ausführen der Kabelschächte, Kabeltrassen, Kabelrohre, Kabelisolierung
  - Varianten der Kabelisolierung und Kabelabschirmung gegen elektrische Felder, UV-Strahlung u.a. Einflüsse
- 7) Wahl der Automatisierungsstruktur und des Automatisierungsgrades
  - Wahl der Regelung und/oder Steuerung; Realisieren einer einfachen oder vermaschten Regelung
  - Anfahren der Anlage von Hand oder mittels Anfahrsteuerung
  - Normaler Anlagenbetrieb oder weitgehend automatisierter Betrieb; ggf. von der Warte eines entfernten Betriebs bzw. von einer Dispatcherzentrale und ohne Bediener vor Ort (sog. BoB – Betrieb ohne ständige Beaufsichtigung)
- 8) Varianten zum Brandschutz mittels Brand- und/oder Rauchmelder
  - Prüfen der Notwendigkeit derartiger Warneinrichtungen in Abstimmung mit den Leadingenieuren *Prozess* und *Bau*
  - Grundsätze zur Ausführung bzgl. Ort, Gerätetyp, Anbringen u.ä.
  - Grundsätze bzgl. Weiterleitung der Meldungen (Warte, Feuerwehr, Kommune) sowie deren Konsequenzen
- 9) Varianten zum Gasschutz inkl. Explosionsschutz durch Gaswarneinrichtungen
  - analoge Hinweise wie unter Punkt 8) (Brandschutz)

## b) Varianten zu Elektro-, Nachrichten- und Prozessanalysentechnik

### 1) Varianten zur Planung Elektrotechnik (ET)

- Alternativen zur Einspeisespannung in die Anlage; ggf. mit Direktanschluss großer Verbraucher an Mittelspannung (1 kV bis 50 kV)
- Alternativen zur Einspeisespannung ins Stromnetz der Kraftwerksanlagen und entsprechende Ausführung der Hochspannungsschaltanlagen
- Alternativen zur Betriebsspannung in der Anlage im Bereich bis 1000 V (Niederspannung)
- Möglichkeiten zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit (Ring einspeisung, Netzumschaltung, Notstromaggregat, Batterien)
- Art der Antriebsmotoren inkl. Wirkungsgrade, ggf. für Sonderfälle (Drehstrom-Asynchronmotor, Gleichstrommotor, Hydraulikmotor)
- Grundsätze bzgl. Realisieren der Drehstrom-Asynchronmotoren-Antriebe mit oder ohne Frequenzumrichter (s. Abb. 3.12).



**Abb. 3.12** Energiebedarf bei Mengenregelung über Regelventil (links) und Drehzahl mittels Frequenzumrichter (rechts) (Praxisbeispiel)

Bem.: Die dargestellten Unterschiede im Energiebedarf können bei extremer Teillastfahrtweise noch deutlich größer sein.

- Grundsätze zum elektrischen Explosionsschutz verschiedener Spannungsebenen
- Grundsätze der Kabelverlegung bzgl. ober- und unterirdisch oder nur oberirdisch
- Varianten zur Elektro-Kabelverlegung (Kabelschächte, -kanäle, -trassen und -rohre)
- Varianten der Art der Kabelisolierung und Kabelabschirmung

- Alternativen zur Ausführung der Beleuchtung im Freien und in Gebäuden
  - Varianten zur Realisierung des Blitzschutzes und der Erdung für Anlagen- teile und Gebäude
  - Zweckmäßigkeit eines kathodischen Korrosionsschutzes prüfen und ggf. in Abstimmung mit dem Leadingenieur *Bau* bei der Tiefbau-Planung beachten
- 2) Varianten zur Planung *Nachrichtentechnik (NAT)*
- Alternativen für die innerbetriebliche Kommunikation (Telefon, Sprechfunk, Internet, Intranet, Standleitung, Bereitschaftsdienst)
  - Alternativen für die außerbetriebliche Kommunikation (Nachbarbetriebe, Feuerwehr, Kommune)
- 3) Varianten zur Planung *Prozessanalysentechnik (PAT)* und *Laboranalysentechnik (LAT)*sowie zur *Laborplanung*
- Wahl der Messgröße und der Analysenmethode für die Bestimmung mittels PAT und/oder Laboranalyse
  - Wahl der Probenahmestelle im R&I und vor Ort für die Messung mittels Prozessanalysator und Vorgaben zur Entnahme der Probe aus dem Prozess
  - Alternativen zum Aufstellen/Anbringen des Prozessanalysators inkl. Witte- rungsschutz
  - Wahl der Probenahmestelle im R&I und vor Ort für die Laboranalysen und Vorgaben zur Ausführung der händischen Probenahme sowie des Proben- transports ins Labor
- 4) Varianten zur *Laborplanung* (in enger Abstimmung mit dem Bau)
- Alternativen zur Anordnung und Ausführung des Laborgebäudes
  - Alternativen zur Anordnung und Ausführung/Ausstattung der Laborräume (Labortische/-schränke, Abzüge, Analyseneinrichtungen usw.)

### 3.3.5 TGA-Konzept

Die **Technische Gebäudeausrüstung** (TGA) umfasst alle technischen Maßnahmen, die in *Gebäuden und Räumen* sowie in *Betriebsstätten und Einrichtungen* (die keine Gebäude sind) für die

- *energetische Versorgung* (z.B. Beheizung und Beleuchtung),
- *stofflichen Versorgung* (z.B. Trinkwasser, Löschwasser, Luft),
- *Entsorgung der Abfallprodukte* (z.B. Schmutzwasser, Oberflächenwasser, Müll),
- *Teilaufgaben der Sicherheitstechnik* (z.B. Einbruch- und Diebstahlsicherung, Erste-Hilfe-Einrichtungen),
- *Aufzugstechnik* (z.B. Personen- und Lastenaufzug)

erforderlich sind.

Neben diesen „klassischen“ Aufgaben plant die TGA in enger Abstimmung mit der Verfahrenstechnik auch wichtige sicherheits- und prozessrelevante Teilanla- gen, wie z. B.

- *Feuerlöschanlagen inkl. Löschwasserrückhaltung und -entsorgung,*
- *Absaugungsanlagen* zur Entfernung gesundheitsschädlicher Stoffe (Gase, Dämpfe, Stäube),
- *Belüftungsanlagen*, die innerhalb eines Gebäudes (Verdichterhalle, Produktionsstrakt) einen ausreichenden Luftwechsel sichern,
- *Entrauchungsanlagen* für Gebäude bzw. Räume,
- *Spezial-Einrichtungen* zur Ausstattung von Laborräumen, Reinräumen u.ä.

Die Teilgebiete *Brand-/Feuermelder*, *Gaswarneinrichtungen* sowie *Blitzschutz* und *Erdung* werden nicht der TGA, sondern der PLT-Technik zugeordnet (s. Abschn. 3.3.4).

Auch wenn die TGA noch sehr mit dem Bau verbunden ist, so macht sie heute im Anlagenbau viel mehr aus, als der ältere Begriff *Haustechnik* ausdrückt.

Die TGA wird zunehmend bedeutender für den Gesamtanlagenbetrieb. Dies gilt beispielsweise für die Gewährleistung

- eines ausreichenden Luftwechsels in Maschinen- und/oder Lagerhallen, um bei Leckagen die Bildung einer explosionsfähigen Atmosphäre zu vermeiden,
- der Absaugung von gesundheitsschädigenden und/oder von explosionsgefährdenden Stoffen in Produktionsgebäuden/-räumen während des Betriebs und/oder der Instandhaltung von Anlagen/Ausrüstungen (s. Abb. 3.13),
- der ausreichenden Entrauchung bei einem Brand innerhalb eines Gebäudes, um die Erstickung bzw. gesundheitliche Schädigung von Personen zu verhindern,
- eines vorgegebenen Raumklimas (Temperatur, Luftfeuchte, Luftreinheit, Überdruck u.a.) für das Personal und/oder den Prozess,
- einer genehmigungsfähigen Ableitung der Abluft und/oder des Abwassers aus der Anlage.



**Abb. 3.13** Absaugung von gesundheits- und explosionsgefährdenden Stoffen an mehreren Absaugstellen eines Produktionstrakts

Störungen an TGA-Ausrüstungen, die sicherheitsrelevanten Aufgaben realisieren, wirken i.d.R. direkt auf den Prozess und verursachen u.U. gravierende Produktionsunterbrechungen.

Die angeführten Aspekte sind darüber hinaus auch genehmigungs- und umweltrelevant. Nicht zuletzt hat die TGA viele Schnittstellen zur Infrastruktur am Standort, da sie oftmals Medien an der Anlagengrenze übergibt bzw. übernimmt.

Alle angeführten Gesichtspunkte waren Grund, die Technische Gebäudeausrüstung in diesem Buch als eigenständige Fachdisziplin zu betrachten (s. auch Abschn. 1.6.2).

Zugleich gibt es in manchen Projekten aber eine zu starke Verselbständigung der TGA. Dies zeigt sich beispielsweise an einem eigenen Gebäudeleitsystem, parallel zum Anlagenleitsystem; teilweise noch von einem anderen Hersteller. Der Sachverhalt, dass die TGA häufig eigene R&I-Fließbilder zeichnet und pflegt, die neben den TGA-Anlagenkomponenten auch prozessrelevante Komponenten mit darstellen, schafft zusätzliche Schnittstellen zur Verfahrenstechnik und potentielle Fehlerquellen.

So wie für alle anderen Gewerke gilt auch für die TGA:

*Der Projekterfolg hängt wesentlich vom interdisziplinären Zusammenwirken aller Fachdisziplinen ab.*

*Eine Verselbständigung führt zu Missverständnissen, zu Insellösungen, zu Redundanz und häufig zu erhöhten Instandhaltungskosten.*

Welche fachspezifischen Aufgaben die TGA-Vorplanung im Projektteam zu erbringen hat, sollen die nachfolgenden Variantenbetrachtungen aufzeigen.

- 1) Ausführung der Beheizung der Gebäude und/oder Betriebsstätten (fossile/ regenerative Energien, Art des Wärmeträgers (Warmwasser, Dampf, Heißluft, Kältemittel)
- 2) Gestaltung der Trinkwasser- und Warmwasserbereitstellung
- 3) Entscheidung zur Klimatisierung (mit/ohne Klimaanlage, Nutzung für Kühlung/Heizung/ Befeuchtung/Entfeuchtung)
- 4) Art der Be- und Entlüftung für Gebäude und/oder Betriebsstätten (einfache Belüftung/ Zwangsbelüftung mit/ohne Mindestluftwechsel, Belüftung mit/ ohne Wärmerückgewinnung, mit/ohne Abluftreinigung) sowie die mögliche Anordnung der platzintensiven Lüftungskanäle
- 5) Ausführung der Absaugungsanlage für explosions- und/oder gesundheitsgefährdende Stoffe (zentral/dezentral, mit/ohne Abluftreinigung)
- 6) Art der Feuerlöscheinrichtungen und der Feueralarm-Meldung (Handfeuerlöscher, Springleranlage, Schaumlösch-Anlage, Kohlendioxid--Löschanlage bzw. Inergen-Löschanlage, Meldesystem, Feuerwehrtableau)
- 7) Gestaltung der Entrauchungsanlagen in Gebäuden (zentral/dezentral)
- 8) Art der Behandlung von Schmutzwasser (örtliche Behandlung, Einleitung in Kläranlage am Standort/der Kommune)

- 9) Art der Behandlung des Oberflächenwassers (Regenwasser-Kanalisation/Ver-sickern auf Grundstück bzw. im Schönungsteich)
- 10) Art der Müllbeseitigung (Sammlung und ggf. Behandlung, Abtransport)
- 11) Gestaltung der Sicherheitseinrichtungen für Einbruch- und Diebstahlsicherung sowie der Einrichtungen für Arbeits- und Gesundheitsschutz
- 12) Ausführung der **Gebäudeleittechnik (GLT)**, z. B. integriert ins Prozessleitsystem oder als **Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)** oder mit einem separaten **Gebäudeleitsystem (GLS)**)
- 13) Auswahl der Aufzugsanlagen in Gebäuden und Betriebsstätten (Lastenaufzug/ Personenaufzug, Anzahl und Größe)

Die TGA-Planung sollte umfassend in die 3D-Anlagenplanung integriert werden, analog der anderen Gewerke. Damit können wichtige TGA-Dokumente, wie Lüftungskanalpläne, Isometrien für TGA-Rohrleitungen, Ansichten zur Anordnung von Abzugshauben, Ansichten von Augen- und Körperduschen, aus dem 3D-Anlagenmodell generiert werden.

Ergänzend zu den Ausführungen zum Dokumentationskonzept in Abschn. 3.2 sollten die TGA-Planungsergebnisse in unterschiedlicher und zweckmäßiger Weise gemäß den folgenden Varianten dokumentiert werden:

Var. 1: Die Ergebnisse der TGA-Planung werden in die übergreifenden Planungsdokumente zum Projekt integriert, zum Beispiel in

- Rohrleitungs- und Instrumentenfließschemata,
- 3D-Anlagenmodell,
- Aufstellungspläne,
- Bauzeichnungen,
- Unterflursummenpläne,
- Oberflächenbefestigungspläne.

Var. 2: Die TGA erstellt für ihre fachspezifischen Anlagenkomponenten eigenständige Dokumente, nutzt dabei aber allgemein gebräuchliche Dokumentarten, wie u.a.

- Verfahrens- und R&I-Fließschemata analog einer Package-Unit (z. B. für eine Heizungs- oder Klimaanlage),
- Ausrüstungsdatenblätter,
- PLT-Stellendatenblätter,
- Ausrüstungs- und Rohrleitungslisten,
- Betriebsmittel- und Kabellisten,
- Klemmen- und Stromlaufpläne,
- Wartungs- und Inspektionslisten,
- Ersatz- und Verschleißteillisten.

Var. 3: Die TGA erarbeitet zur Darstellung spezifischer TGA-Sachverhalte neue Dokumentarten, die es in anderen Gewerken nicht gibt, wie beispielsweise

- Wärmebedarf- und Kühllastberechnungen,
- Luftmengen- und Kanalnetzberechnungen,
- h-x-Diagramme (Enthalpie-Luftfeuchte),
- Strangschemata Heizung,
- Strangschemata Sanitär,
- Lüftungskanalpläne.

In der Praxis kommen im Normalfall alle drei Varianten zum tragen.

Alle TGA-Planungsdokumente sind in das Dokumentationskonzept gemäß Abschn. 3.2 und in die Abwicklungsstruktur der Projektdokumentation einzubinden.

Abschließend sei noch angefügt, dass es in der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) [11] ein Leistungsbild *Technische Ausstattung* gibt, das die TGA-Planungsleistungen im Bauwesen beschreibt. Außer den *Grundleistungen* und *Besonderen Leistungen* ist auch eine Objektliste mit fachspezifischen *Anlagengruppen* (Anlagenarten) angeführt.

### 3.3.6 Logistik- und Infrastrukturkonzepte

Die **Logistik** beschäftigt sich mit Transport, Lagerung und Umschlag von Gütern (Produkten, Stoffen, Materialien) und Personen; mitunter auch von Informationen. Bei der Bewirtschaftung von verfahrenstechnischen Anlagen dient sie vorrangig der Ver- bzw. Entsorgung der Anlage bzw. ihrer Komponenten außerhalb und innerhalb der Anlagengrenzen. Die Logistik ist ein spezieller Arbeitsprozess.

Im Unterschied dazu beinhaltet die **Infrastruktur** einer verfahrenstechnischen Anlage langlebige Einrichtungen/Objekte/Systeme (z.B. Verkehrs- und Transportwege, Rohrleitungen, Kommunikationssysteme), die für das Funktionieren der Gesamtanlage und insbesondere auch der logistischen Prozesse benötigt werden. Die Infrastruktur ist gegenständlich. Sie wird ebenfalls innerhalb und außerhalb der Anlagengrenze benötigt.

*Logistik* und *Infrastruktur* werden im vorliegenden Buch auf Grund ihrer fachlichen Spezifik (s. Abschnitte 4.2.8 und 7.2.8) als eigenständige Fachdisziplinen abgehandelt (s. auch Abschn. 1.6.2). Grundsätzlich wäre es auch möglich, sie in andere Fachdisziplinen (z.B. Verfahrenstechnik und Bau) zu integrieren; zumindest die innerbetriebliche Logistik und Infrastruktur.

Beide Fachgebiete sind miteinander verwandt. Einerseits benötigt und nutzt die Logistik die Infrastruktur und andererseits unterscheiden beide zwischen einen *innerbetrieblichen* und *außerbetrieblichen Bereich*. Die Darstellung in Abb. 3.14 soll diese Unterteilung veranschaulichen.

Die Begriffe ISBL (**I**nside **B**attery **L**imits) und OSBL (**O**utside **B**attery **L**imits) beziehen sich auf die Anlagengrenze. Mitunter wird auch von *innerhalb Anlagengrenze (On-Site)* und *außerhalb Anlagengrenze (Off-Site)* gesprochen.

Die in Abb. 3.14 beispielhaft dargestellten Übergänge (Schnittstellen, Einbindepunkte, Tee-in) an der Anlagengrenze betreffen zum Teil die Logistik und teils die Infrastruktur. Weitere detaillierte Einbindepunkte sind als Checkliste in Tabelle 4.28, Abschn. 4.2.8 angegeben.

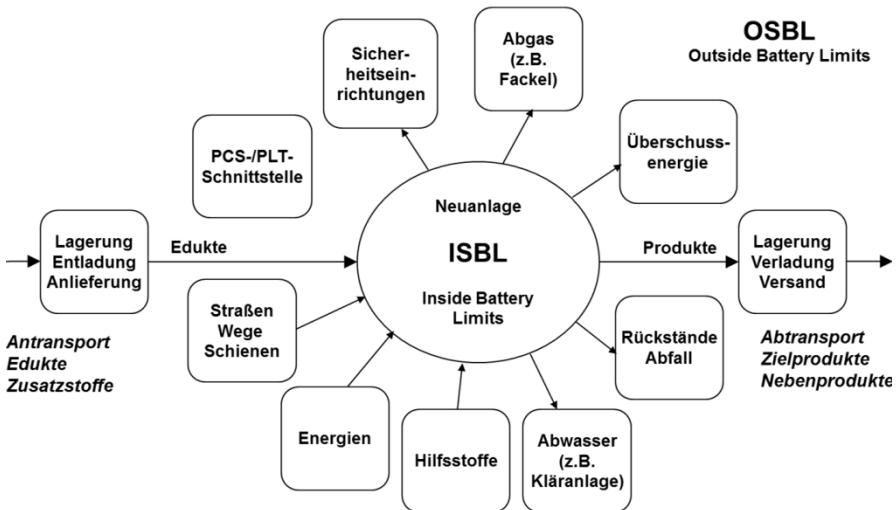


Abb. 3.14 Abgrenzung zwischen ISBL und OSBL

### a) Logistikkonzept

Als Grundaufgabe der Logistik wird in [13] formuliert:

*Bereitstellung benötigter Objekte in den geforderten Mengen in der richtigen Zusammensetzung, zur richtigen Zeit und am richtigen Ort.*

In verfahrenstechnischen Anlagen sind die Objekte vorrangig Einsatzstoffe, Energien, Hilfsstoffe sowie Endprodukte, Neben-/Abprodukte, Überschussenergien. Die Logistik befasst sich im Prinzip mit dem Transport dieser „Objekte“ vom Erzeuger zum Verbraucher.

Man spricht von der *Logistikkette* bzw. vom *Logistikprozess*, der zu planen ist, und den definierten *Logistikeinheiten* durchlaufen. Beispiele von Logistikeinheiten und zugehörigen *Ladungsträgern*, die schrittweise für den Transport vorbereitet und genutzt werden, zeigt Tabelle 3.6.

In verfahrenstechnischen Anlagen werden Endprodukte nicht selten innerbetrieblich in Tanks und Silos gespeichert bzw. als Gebinde (eingeschweißte Sack-Palette, BigBag, Container, Fass) zwischengelagert. Aus diesen Verpackungseinheiten gelangen sie dann häufig direkt in die Transporteinheiten zum Versand.

Die Variantenbetrachtung bezüglich der Logistik hängt wesentlich

- vom Makro- und Mikro-Standort inkl. der Lageplanung der Anlage (s. Abschn. 2.2.),
- von den betrachteten Verfahrensalternativen inkl. den verwendeten Produkten, Hilfsstoffen und Energien,
- vom Anlagen-Layout und der Aufstellungsplanung der Anlage,
- von den Anforderungen des Händlers und Endkunden ab.

**Tabelle 3.6** Zusammenstellung von Logistikeinheiten und Ladungsträgern [13]

<b>Logistikeinheit</b>	<b>Ladungsträger</b>
Mengeneinheit	Feststoff, Flüssigkeit, Gas, Meterware, Massenware
Verkaufseinheit	Stück, Packung, Dose, Sack, BigBag, Fass, Flasche,
Verpackungseinheit (Gebinde)	Paket, Karton, Kasten, Kiste, Kanister, BigBag, Palette, Tank, Silo
Versandeinheit (Packstück, Colli)	Paket, Karton, Behälter, BigBag, Box, Palette, Kiste, Container
Ladungseinheit (Frachtstück)	Paket, Kiste, Palette, Container
Transporteinheit (Transportgefäß)	LKW-, Schiffs-, Flugzeug-Laderaum, Sattelaufleger, Container-Fahrzeug, Silofahrzeug, Tank-Kraftwagen (TKW), Waggon, Kesselwagen

Insbesondere die außerbetriebliche Logistik z.B. An-/Abtransport der Edukte/Produkte über Straße oder Schiene oder Schiff) kann die Investitions- und Betriebskosten, aber u.U. auch die Genehmigungsfähigkeit der Anlageninvestition, gravierend beeinflussen.

In verfahrenstechnischen Anlagen der Grundstoffindustrie werden die Roh- und Zusatzstoffe häufig über Rohrleitungen, Kesselwagen, Straßentank- und/oder Straßensilofahrzeuge, Schiffe angeliefert. Zusatzstoffe werden i.d.R. kleineren Logistikeinheiten bezogen.

Zwischen- und Endprodukte werden nicht selten innerbetrieblich in Tanks und Silos gespeichert bzw. als Gebinde (eingeschweißte Sack-Palette, BigBag, Container, Fass) zwischengelagert. Aus diesen Verpackungseinheiten gelangen sie dann häufig direkt in die Transporteinheiten zum Versand.

Insgesamt sind die Vielfalt der Logistikeinheiten und -träger groß und die Entwicklung, ähnlich wie beim Konsumgüterversand, dynamisch.

Beim Engineering der Logistik sind u. a. folgende Alternativen zu betrachten:

## 1) Varianten für die Roh-/Zusatzstofflogistik

- Varianten der Roh-/Zusatzstoffanlieferung
- Varianten für die Entladetechnik
- Varianten für die Transporttechnik zum Lager bzw. Einsatzort
- Varianten für die Transporttechnik vom Lager zum Verwendungsort
- Varianten für die Einfülltechnik in die Produktionsanlage
- Varianten bei der Lagerkapazität für Roh- und Zusatzstoffe
- Varianten bei der Automatisierung der Roh-/Zusatzstofflogistik

## 2) Varianten für die Zwischen-/Endproduktlogistik

- Zu planende Varianten (Logistikeinheiten) des Endproduktversands
- Varianten für die Zwischenlagerung (Tank, Silo) der erzeugten Produkte
- Varianten für die Abfüllung/Absackung der erzeugten Produkte
- Varianten für die Gebinde

- Varianten für Gebindebeschaffung, Lagerung und Bereitstellung vor Ort
- Varianten für Wiederverwendung und Reinigung der Gebinde
- Varianten bei der Produktbereitstellung für die Abfüllung/Absackung
- Varianten bzgl. Abfüll-/Absacktechnik einschl. Wägetechnik
- Varianten für die Transporttechnik der Gebinde
- Varianten für die Lagerung der Gebinde
- Varianten für die Verladung zum Versand
- Varianten bei der Automatisierung der Endproduktlogistik
- Varianten der Abfallentsorgung

Die angeführten Variantenbetrachtungen und -auswahl, sofern sie nicht wesentlichen Einfluss auf die Investitionsentscheidung haben, werden häufig erst während der Entwurfsplanung, mitunter auch erst im Detail Engineering, durchgeführt.

Ein Teil der innerbetrieblichen Logistikplanung, insbesondere was den Transport von Flüssigkeiten und Gasen betrifft, wird von der Verfahrensplanung erledigt. Andererseits hat die Logistikplanung, insbesondere von Feststoffen, doch ihre Spezifika, sodass eine eigene Fachdisziplin gerechtfertigt erscheint.

Von den Fachspezialisten *Logistik* werden ggf. geplant:

- Be-/Entladestationen von LKW, Silofahrzeugen, Tank-Kraft-Wagen für Flüssigkeiten und fluide/körnige Feststoffe,
- Be-/Entladestationen von Kesselwagen für Flüssigkeiten und fluide/körnige Feststoffe,
- Be-/Entladestationen von Schiffen für Flüssigkeiten und fluide/körnige Feststoffe,
- Abfüllanlagen für Flüssigkeiten und fluide/körnige Feststoffe,
- Absackanlagen für Granulate u.ä. Stoffe,
- Stromförderer, Förderbänder, Becherförderer u.ä. für Feststoffe.

Schwerpunkt der innerbetrieblichen Logistikplanung ist der Umgang mit Feststoffen (Feststoff-Handling). Dieses Fachgebiet ist rechnerisch nur schwer zugänglich und stark experimentell geprägt.

Die Anlagen zum Feststoff-Handling werden häufig als **Package-units** eingekauft. Das Engineering führt in diesen Fällen der Package-Units-Hersteller aus. Nicht selten werden bei ihm Versuche mit dem Originalprodukt durchgeführt.

Der Besteller muss diese Versuche begleiten und das Engineering des Package-Unit-Herstellers in seine Qualitätssicherungsmaßnahmen einbeziehen.

Die Planung der *außerbetrieblichen Logistik* erfolgt häufig in einem extra Projekt, z.B. unter Verantwortung eines Standortbereichs, außerhalb des eigentlichen Anlagenprojekts.

Die wesentlichen Entscheidungen und Angaben zu den ausgewählten Maßnahmen betreffs der inner- und außerbetrieblichen Logistik werden im *Logistikkonzept* dokumentiert.

Nicht zuletzt sei noch vermerkt, dass die Logistikplanung auch die Erarbeitung des *Entsorgungskonzepts*, insbesondere wenn es sich um *Abfall* gemäß Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) [14] (s. Abschn. 2.3.2.2, Buchst. c)) handelt, entscheidend beeinflusst.

### b) Infrastrukturkonzept

Die *technische Infrastruktur* in Anlagenprojekten kennzeichnet Anlagen und Einrichtungen zur Grundversorgung von Werksstandorten (außerbetrieblich) und Betrieben (innerbetrieblich).

Zur Grundversorgung dienen u.a.

- Einrichtungen zur stofflichen Ver- und Entsorgung,
- Energieversorgungsanlagen,
- Kommunikationseinrichtungen,
- Verkehrsinfrastruktur.

Auf die Belange der *innerbetrieblichen Infrastrukturplanung* wurde bereits in Abschn. 3.3.2 (Lageplanung) und Abschn. 3.3.5 (TGA-Konzept) eingegangen.

Die *außerbetriebliche Infrastrukturplanung*, die i. Allg. unter Leitung und Verantwortung des Bereichs *Standortentwicklung* und außerhalb des Anlagenprojekts abgewickelt wird, bedient sich im Wesentlichen der gleichen Planungsmethoden.

Wichtig ist, dass die zahlreichen Schnittstellen zwischen der innerbetrieblichen und außerbetrieblichen Infrastrukturplanung exakt identifiziert und definiert sowie mit den verantwortlichen Bereichen abgestimmt werden. Diesen Ziel dient u.a. die Mitwirkung eines kompetenten Vertreters aus dem Standortbereich im Projektteam (s. Abb. 1.6 in Abschn. 1.4.1) sowie die umfassende Beachtung der Schnittstellen und Einbindepunkte (s. Abschn. 4.2.8).

### 3.3.7 Beschaffungskonzept

Das *Beschaffungskonzept* soll entsprechend dem Planungsstand *Ende Vorplanung* mögliche Varianten zur Beschaffung der wichtigsten Leistungen und Lieferungen für die Projektabwicklung analysieren und beurteilen. Damit sollen frühzeitig die Weichen für ein effektives Vertragsmanagement seitens des Investors gestellt werden. Gegebenenfalls können daraus auch noch Folgerungen für die Vergabe der Basic Engineering-Leistungen abgeleitet werden.

Das Beschaffungskonzept ist vom Projektleiter des Investors zusammen mit dem Projektkaufmann (Einkäufer) vertraulich zu erarbeiten. Der Engineeringpartner wirkt gegebenenfalls beratend mit. Dabei ist alternativ zu prüfen und zu fixieren, wie und welche grundlegenden Vertragsarten für welche Leistungen/Lieferungen vorteilhaft sind und angewandt werden sollten.

Wesentliche Zielstellungen bei der Vertragsgestaltung sind:

- Minimierung der Abwicklungsrisiken (Kosten, Termine, Qualität)
- Einsparung an Investitionskosten
- Gewährleistung eines effektiven Projektmanagements
- Minimierung des Know-how-Verlustes
- Entlastung von bzw. Koordinierung mit Engineering-Ressourcen
- Zielstellung einer längerfristigen Auftraggeber/Auftragnehmer-Partnerschaft

Aus Sicht des Investors sind u.a. für die Erarbeitung des Beschaffungskonzepts die nachfolgend angeführten Fragen zu beantworten (s. auch Abschn. 2.5.1

(Rechtsformen von Verträgen) und Abschn. 2.5.3 (Vertragsmodelle für Engineering und Realisierung):

- 1) Erarbeitet das gleiche Unternehmen, welches die Engineeringleistungen bis zur Investitionsentscheidung erbringt, auch das Detail Engineering oder wird dies im Rahmen einer Ausschreibung neu entschieden oder a priori ausgeschlossen?
  - Gibt es einen Owner-Engineer, der das Detail Engineering kann und mit dem der Investor bereits ähnliche Projekte erfolgreich abgewickelt hat?
  - Ist aus Know-Gründen eine ganzheitliche Engineering-Partnerschaft über alle Projektphasen hinweg vorteilhaft?
  - Bietet der Owner-Engineer seine Leistungen für die Ausführungsplanung zum Pauschalpreis an?
  - Darf sich der Basic-Ersteller auch an der Ausschreibung für das „Detail“ beteiligen?
  - Gibt es gute Gründe das „Basic“ und „Detail“ von verschiedenen Firmen erarbeiten zu lassen?  
Wenn ja, welche besonderen Anforderungen muss für diesen Fall das Extended Basic erfüllen?
  - Gibt es einen Generalunternehmer, der neben der Ausführungsplanung auch die Herstellung der Anlage kann und in einem **LSTK-Vertrag** zum Pauschalpreis anbietet?  
Wenn ja, welche Anforderungen muss das Extended Basic bzw. Pflichtenheft zum Zeitpunkt Investitionsentscheidung erfüllen, um die Gesamtleistung zum Pauschalpreis zu vereinbaren?
- 2) Sollte der Investor die Anlage (Lieferungen und Leistungen) „in einem Stück“ von einem Generalunternehmer oder „in Teilen“ selbst einkaufen?
  - Ist die vertragliche Leistung zum Zeitpunkt des Vertragsabschlusses ausreichend verbindlich definierbar? Sind die Change-Order-Risiken vertretbar?
  - Gibt es auf dem Markt einen potentiellen Generalunternehmer, der die benötigte Anlage in Rahmen eines LSTK-Vertrags anbietet?  
Wenn ja, bietet er das „Detail“ mit an und sollte er es mit ausführen?
  - Kann der Investor gemäß seiner Marktstellung günstigere Einkaufspreise realisieren als der Generalunternehmer?
  - Ist der Investor in der Lage (fachlich, kaufmännisch, personell), den Einkauf und das Controlling aller Lieferungen und Leistungen erfolgreich abzwickeln?
  - Sind der Investor und insbesondere der spätere Betreiber in der Lage, die Gewährleistungs- und Garantieansprüche gegenüber allen Kontraktoren (Hersteller, Lieferanten, Bau-/Montagefirmen) und über den gesamten Gewährleistungszeitraum durchzusetzen? Wer kann ihn ggf. dabei unterstützen?
- 3) Falls der Investor selbst „in Teilen“ einkauft, ist zu prüfen:
  - Welche Teilanlagen als Package-Units geeignet sind und wer diese als Komplettleistung zum Pauschalpreis anbietet?

- Wie der Engineeringpartner im Rahmen eines **EPCM-Vertrags** beim Procurement, bei der Bau-/Montageleitung und -überwachung und bei der Gewährleistungsbetreuung mitwirken sollte?
- Wie der Engineeringpartner während der Anlagenrealisierung an der Minimierung der Investitionskosten interessiert werden kann (z. B. über Zielpreisvereinbarung mit Bonus-/Malusregelung im EMCM-Vertrag)?

Insgesamt beinhalten die Überlegungen und Festlegungen zum Einkauf aller Planungs- und Realisierungsleistungen viel Einspar- aber auch Konfliktpotential.

Das *Beschaffungskonzept* muss während der nachfolgenden Projektphasen regelmäßig überprüft und angepasst werden. Es ist ein wichtiges Dokument für die Investitionsentscheidung und sollte später in eine *Projektrichtlinie Beschaffung* einfließen (s. Praxisbeispiel in Abschn. 8.2).

## 3.4 Sicherheitstechnische Grundlagenermittlung

Ausgangspunkt der weiteren Ausführungen ist das in Abschn. 1.7.2 vorgestellte Ablaufmodell für die **Sicherheitsarbeit** im Projekt.

Die angeführten Sicherheitsbetrachtungen betreffen die Gesundheit – Sicherheit – Umwelt (GSU/HSE) als Ganzes. Es werden **Gefährdungen** und **Risiken** beurteilt, die vom Verfahren und von der Anlage ausgehen. Schutzziele sind der Mensch, die Umwelt, das Vermögen und immaterielle Werte. Bei Bedarf werden zusätzliche Schutzvorkehrungen getroffen, um die Gefährdungen und Restrisiken auszuschließen bzw. auf ein vertretbares Maß zu verringern.

Die Sicherheitsarbeit wird über die Projektaufzeit in vier Schritte unterteilt und am Ende jedes Schritts werden in einem **Sicherheitstestat** die Ergebnisse überprüft und testiert. Der 1. Schritt ist die *Sicherheitstechnische Grundlagenermittlung*, die die Phasen 1 und 2 umfasst. Sie mündet im *Konzepttestat* (s. Abb. 3.15).

Die Sicherheitstechnische Grundlagenermittlung beginnt mit der Erarbeitung des Lastenhefts, indem beispielsweise

- Grundsätze für die GSU-Arbeit im Projekt festgelegt werden (s. Tab. 1.7 in Abschn. 1.7.1) und als Management Statements (s. Tab. 2.21 in Abschn. 2.4.2) bestätigt werden,
- Entwurfsdaten (Design Basis) und Rahmenbedingung für die Projektentwicklung hinsichtlich GSU festgeschrieben werden (s. Lastenheft in Tab. 2.20, Abschn. 2.4.2).

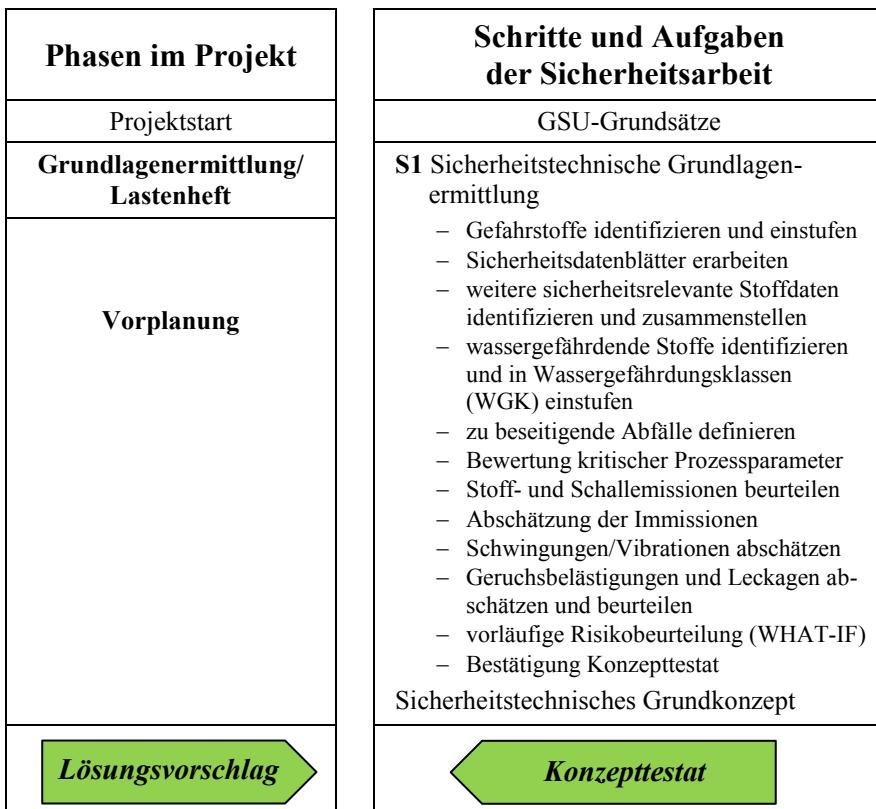
Entsprechend den Planungsinhalten der Phasen 1 und 2 stehen im Mittelpunkt der Betrachtungen mögliche Gefährdungen und Risiken, die

- von den bezogenen, erzeugten, abgeführten *Stoffen, Gemischen und Medien*,

- von den *Verfahrensbedingungen*

ausgehen.

Dazu werden Verfahrensfließschemata und andere Basisdokumente (Lageplan, 3D-Anlagen-Layout, Grobaufstellungsplan, Übersichtspläne für PLT, TGA, Logistik, Infrastruktur u.a.) als Grundlage für erste Risikobeurteilungen genutzt.



**Abb. 3.15** Sicherheitstechnische Grundlagenermittlung in den Phasen 1 und 2

Dabei sind verschiedene Lösungsvarianten auch GSU-seitig zu betrachten und die Ergebnisse bei der Lösungsauswahl zu berücksichtigen.

Im Einzelnen sind, ggf. für verschiedene Planungsvarianten, zu erledigen:

- 1) Identifizieren und definierten der Stoffe, Zubereitungen und Gemische, die nach Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) [15][16] als *Gefahrstoffe* einzustufen sind (s. Abschn. 2.3.2.2, Buchst. d)).
- 2) Beschaffen oder Erarbeiten der *Sicherheitsdatenblätter* für die Gefahrstoffe nach § 5, GefStoffV bzw. der REACH-Verordnung [17].  
Das Sicherheitsdatenblatt muss nach Artikel 31, Anhang II, Teil B der REACH-Verordnung die in Tabelle 2.8, Abschn. 2.3.1.2, Buchst. g) angeführten Angaben enthalten. Der Umfang eines Sicherheitsdatenblatts kann zum Teil 20 Seiten A4 ausmachen.  
Verantwortlich für die Bereitstellung des Sicherheitsdatenblatts ist der Inverkehrbringer des Gefahrstoffs. Das ist häufig der Hersteller/Lieferant, kann aber bei neuartigen Stoffen oder Gemischen (z. B. Zwischen-, Neben-, Abprodukte) auch der Betrieb bzw. der beauftragte Projektleiter sein.

- 3) Zusammenstellen ergänzender, *sicherheitsrelevanter Stoffdaten/Eigenschaften* für alle Stoffe oder Gemische, wie z. B. Dampfdrucke, Flammpunkt, Zündtemperatur und -energie, **untere Explosionsgrenzwerte (UEG)**, **obere Explosionsgrenzwerte (OEG)**.
- 4) Identifizieren und Einstufung der *wassergefährdenden Stoffe* und Gemische gemäß Wasserrecht sowie Vorgaben für die Ausführung von Anlagen zum Umgang mit diesen Stoffen nach Wasserrecht (s. Abschn. 2.3.2.2, Buchst. b)) erarbeiten.
  - Nach der im Entwurf vorliegenden, bundesweiten Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV), § 3 [18] und der Verwaltungsvorschrift zum Wasserhaushaltsgesetz (VwVwS) [19] werden Stoffe und Gemische als nicht wassergefährdend oder in eine der folgenden *Wassergefährdungsklassen (WGK)* eingestuft:
    - Wassergefährdungsklasse 1 (WGK 1): schwach wassergefährdend**
    - Wassergefährdungsklasse 2 (WGK 2): deutlich wassergefährdend**
    - Wassergefährdungsklasse 3 (WGK 3): stark wassergefährdend**
  - Wassergefährdend sind alle in Anhang 2 der VwVwS [19] genannten Stoffe. Soweit ein Stoff nicht in Anhang 2, VwVwS aufgeführt ist, ergibt sich die Einstufung gemäß den in Anhang 3, VwVwS ermittelten Eigenschaften und angeführten Vorgehensweise.
  - Für Gemische gelten auch die drei Wassergefährdungsklassen. Speziell für einige Gemische sind in [19] die Einstufungen angeführt; ansonsten sind die Einstufungen der Gemische entsprechend ihrer Bestandteile vorzunehmen. Die Vorgaben in der AwSV sind ähnlich denen in der VwVwS.  
Insgesamt ist die Einstufung, sofern der Stoff oder das Gemisch nicht explizit aufgeführt sind, aufwendig.
  - Für die Dokumentation der Einstufungsergebnisse gibt es in Anhang 3 der VwVwS ein 2-seitiges Formblatt.
  - In der AwSV sind auch zahlreiche technische und organisatorische Anforderungen an Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen und Gemischen enthalten. Diese betreffen u. a.
    - Grundsatzanforderungen (§ 15),
    - Anforderungen an die Rückhaltung wassergefährdender Stoffe (§ 16),
    - Anforderungen an die Entwässerung (§ 17),
    - Rückhaltung bei Brandereignissen (§ 19),
    - Besondere Anforderungen an die Rückhaltung bei Rohrleitungen (§ 20),
    - Anforderungen an das Befüllen und Entleeren (§ 21),
    - Besondere Anforderungen an die Rückhaltung bei bestimmten Anlagen (§§ 24 bis 38).
  - Insgesamt ist die Ausführung derartiger Anlagen stark reglementiert und mit erheblichem Aufwand verbunden. Mögliche stoffliche und verfahrenstechnische Alternativen sind aus Wirtschaftlichkeitsgesichtspunkten zu betrachten.

- 5) Identifizieren und Definieren von *Abfällen* gemäß Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) [14], die außerhalb der Anlage verwertet oder beseitigt werden müssen.
  - Können die Abfälle verwertet werden oder müssen sie beseitigt werden?  
Falls eine Beseitigung nötig wird, ist ein *Entsorgungsnachweis* gemäß Nachweisverordnung (NachwV) [20] zu erarbeiten; ggf. für unterschiedliche Verfahrensvarianten.
- 6) Bewertung *kritischer Prozessparameter* (Druck, Temperatur, Konzentration, Durchsatz) hinsichtlich möglicher Gefährdungen, die sie auslösen können.
  - Sind diese verfahrensbedingten Gefährdungen mit normalen technischen Maßnahmen beherrschbar? Welche Sondermaßnahmen und -aufwendungen sind notwendig?
  - Gibt es Verfahrensvarianten, die derartige Gefährdungen und Risiken nicht aufweisen?
  - Festlegung der Grundanforderungen an Sicherheitseinrichtungen
- 7) Identifizieren, Definieren und Beurteilung der *Emissionen* aus der Anlage.
  - Ermittlung und Beurteilung der verfahrensbedingten Emissionen von Stoffen und Gemischen bezüglich Ort, Art und Menge
  - Abschätzung und Beurteilung der Schallemissionen?
  - Immissionen nach Möglichkeit identifizieren und abschätzen
  - Schwingungen (z. B. Kolbenverdichter) und Erschütterungen, die von der Anlage ausgehen können, abschätzen
  - Geruchsbelästigungen, die von der Anlage ausgehen können, abschätzen und beurteilen
  - Gefährdungen durch Leckagen abschätzen und beurteilen
- 8) Durchführen einer *vorläufigen Risikobeurteilung* auf Basis der Verfahrensfließschemata inkl. Beschreibung sowie anderer Planungsdokumente.
  - Ziel ist eine erste systematische Analyse und Bewertung der Gefährdungen und Risiken, die sich aus den Arbeiten zu den Punkten 1) bis 7) ergeben haben. Betrachtete Lösungsalternativen, insbesondere zu Verfahren und zur Sicherheitstechnik, sind in die Beurteilung einzubringen.
  - Für die Durchführung der Risikobeurteilung erscheint die WHAT-IF-Methode besonders geeignet (s. Abschn. 4.3.2, Buchst. b)).
  - Abgeleitete Aktionspunkte, sind in die Planungsunterlagen einzuarbeiten bzw. als Vorgabe für die Entwurfsplanung (Phase 3) zu formulieren und zu dokumentieren.
- 9) Diskussion der GSU-relevanten Arbeitsergebnisse im Team und Ausstellen des *Konzepttestats*.
  - Bestätigung, dass ein ganzheitliches Sicherheitskonzept (besser: GSU-Konzept) existiert und im Projekt umgesetzt werden kann.
  - Testieren der Ergebnisse in einem Formblatt Konzepttestat und Bestätigung und Freigabe der Ergebnisse für die Entwurfsplanung (Phase 3).

### 3.5 Bewertung der Lösungsvarianten, Lösungsvorschlag

Grundsätzlich sind für die Bewertung von Lösungsvarianten die folgenden Kriterien wichtig:

- Erfüllung der Zielvorgaben (Kapazität, Ausbeute, Produktqualität, Leistungskennziffern u.ä.)
- Erfüllung gesetzlicher Auflagen und Eigenverpflichtungen (Verfahrens- und Anlagensicherheit, Arbeitssicherheit, Umweltschutz u.ä.)
- geschätzter Kapitalbedarf
- Kosten-Nutzen-Vergleich u.a. Wirtschaftlichkeitskennziffern
- überschlägig ermittelte Betriebs-/Instandhaltungskosten
- Risiken bzgl. Kosten, Technik, Terminen, Qualität
- Funktionalität, Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit
- Genehmigungssituation
- Schutzrechtssituation

Die Ausführung geschieht je nach Entscheidungsumfang jedoch unterschiedlich und auf verschiedenen Ebenen.

a) Entscheidungen auf der *Arbeitsebene*

- Die meisten Variantenbetrachtungen sind vom Planungsingenieur im täglichen Arbeitsprozess anzustellen. Bekanntlich ist das Engineering in erster Linie ein Auswahlprozess.
- Auszuwählen sind während der Vorplanung z. B. Grundoperationen inkl. Verfahrensparameter, stoffliche und energetische Kopplungen/Rückkopplungen, Hauptausrüstungen, Hauptrohrleitungen, verfahrensbedingte Armaturen und PLT-Geräte, die Art der Bauausführung, TGA-Ausrüstungen u.v.a.
- Die Auswahl- bzw. Gestaltungsentscheidungen macht der Planer i. Allg. eigenständig gemäß seines Wissens und seiner Erfahrungen. Er entscheidet, wessen Hilfe er ggf. benötigt.

b) Entscheidungen auf der *interdisziplinären Fachebene*

- Betroffen sind Entscheidungen, die mehrere Fachdisziplinen betreffen. Beispielsweise zwischen Verfahrenstechnik/PLT oder zwischen 3D-Planung/Bau oder zwischen Bau/TGA oder zwischen Logistik/Infrastruktur.
- Diese Entscheidungen treffen die zuständigen Fachdisziplinen selbst. Sie entscheiden, wen sie ggf. helfend hinzuziehen.

c) Entscheidungen auf der *Projektebene*

- Dies sind Entscheidungen die fachlich das gesamte Team betreffen und die Entscheidungskompetenz des Projektleiters erfordern. Beispiel sind:
  - Varianten zur Gestaltung von Verfahrensstufen,
  - Festlegungen über zu betrachtende Bilanzfälle,

- Varianten zur Minimierung der Emissionen,
- sicherheitsrelevante Entscheidungen zur Planungsausführung,
- grundlegende Varianten zur Lage- und 3D-Anlagenplanung,
- Varianten zur Strukturierung und Ausführung des Prozessleitsystems,
- Varianten zur Architektur der Bauausführung, Fernansicht u.ä.,
- Varianten über die Gestaltung (Leistungsumfang, Vertragsform, Partner) einzelner Beschaffungsvorgänge.
- Die Entscheidungen über die Variantenbetrachtungen sind i.d.R. begründet zu protokollieren.

d) Entscheidungen auf der *Unternehmensebene*

- Die Unternehmensebene kann beispielsweise die Geschäftsführung des Investors, des Generalunternehmers, des Generalplaners und/oder der Lenkungskreis (Steering Committee) für das Projekt sein.
- Derartige Entscheidungen sind üblich bei:
  - Varianten zur Wahl des Hauptverfahrens und ggf. des Lizenzgebers,
  - Entscheidungen zur grundlegenden Layout-Anlagengestaltung und zur Grob-Bebauung des Grundstücks,
  - Entscheidungen zur Logistik und/oder Infrastruktur außer der Anlagengrenze und ggf. außerhalb des Werksstandorts,
  - Entscheidungen zu kosten- und terminrelevanten Alternativen,
  - Entscheidungen zu Risiken bzgl. GSU im Ergebnis der Sicherheitsbetrachtungen inkl. der Risikobeurteilung,
  - Entscheidungen, die nach Außen wirken (Öffentlichkeit, Presse, Kommune),
  - weitere genehmigungsrelevante Entscheidungen zu Planungsvarianten,
  - Varianten zur Strukturierung und beabsichtigten vertraglichen Ausführung wesentlicher und monetär umfangreicher Beschaffungsvorgänge.
- Die Entscheidungen auf der Unternehmensebene sind leitergerecht vorzubereiten und die Ergebnisse nachvollziehbar zu protokollieren.

Die Auswahl eines Lösungsvorschlags in den Entscheidungsfällen b) bis d) kann durch Reduzierung der Alternativen mittels Ausschlussverfahren erfolgen, wie zum Beispiel:

- *Verwerfen negativ bewerteter Konzepte.*
- *Ausscheiden indifferent bewerteter Konzepte.*
- *interner Vergleich unterschiedlicher Konzepte.*

Die restlichen Konzepte werden anschließend „positiv“ bewertet und i.d.R. durch interdisziplinäre Besprechungen diskutiert und bewertet sowie letztlich ein Lösungsvorschlag ausgewählt. Das Ergebnis sowie die Gründe, die zur Auswahl einer Vorzugsvariante geführt haben, werden kurzgefasst protokolliert.

Bewertungsverfahren mittels Punktbewertung können zur besseren Identifizierung der Unterschiede und ihrer Auswirkungen beitragen. Die Punktvergabe bleibt aber subjektiv, sodass die quantifizierenden Bewertungsverfahren aus Sicht des Autors für die Variantenauswahl im Engineeringprozess selten genutzt werden.

## 3.6 Ergebnisse der Vorplanung

Die wichtigsten Ergebnisse und Dokumente der Vorplanung sind in Tabelle 3.7 aufgeführt. Die Vorgaben des Lastenhefts (s. Tab. 2.20 in Abschn. 2.4.2) sind nicht enthalten.

**Tabelle 3.7** Ergebnisse und Dokumente der Vorplanung (ohne Angaben aus Lastenheft)

<b>1 Projektplanung/-organisation</b>
1.1 Grob-Terminplan und Grob-Ressourcenplan
1.2 Projektorganigramm und Stellenbeschreibungen
1.3 Entscheidungsmatrix, Unterschriftsregelung
1.4 Projekthandbuch und/oder Projektrichtlinien
<b>2 Dokumentationskonzept</b>
<b>3 Verfahrensplanung</b>
3.1 Grundfließschemata inkl. Beschreibung
3.2 Verfahrensfließschemata mit Apparate- und Stoffstromleiste sowie Beschreibung
3.3 Stoff- und Energiestromliste inkl. der stofflichen Emissionen
3.4 Liste der Hauptausrüstungen
3.5 Datenblätter für Hauptausrüstungen
3.6 Ggf. Berichte über Versuche im Labor und/oder Technikum
3.7 Angaben/Hinweise zu Gewährleistung und Garantien
<b>4 Lage- Layout- und Aufstellungsplanung</b>
4.1 Lageplan für Werksgelände und/oder Baugrundstück
4.2 3D-Anlagenlayout
4.3 Grob-Aufstellungsplan, Ansichten, Schnitte
<b>5 Ergebnisse technischer Fachplanungen</b>
5.1 Baukonzept (Bauleitplanung)
5.2 PLT-Konzept inkl. Energie-Versorgungskonzept
5.3 TGA-Konzept
5.4 Konzept für innerbetriebliche Logistik sowie Vorgaben/Hinweise für außerbetriebliche Logistik
5.5 Vorgaben/Hinweise zur Standort-/Infrastrukturplanung (außerbetrieblich)
<b>6 Sicherheitstechnisches Grundkonzept</b>
6.1 Sicherheitsdatenblätter für Gefahrstoffe und Gemische
6.2 Zusammenstellung ergänzender, sicherheitsrelevanter Stoffdaten
6.3 Dokumente für WGK-Einstufung wassergefährdender Stoffe und Gemische
6.4 Dokumente für zu beseitigende Abfälle (ggf. Entsorgungskonzept)
6.5 Ergebnisse über die Beurteilung kritischer Prozessparameter
6.6 Dokumente und Beurteilung der Emissionen, die von der Anlage ausgehen, und ggf. der Immissionen,
6.7 Abschlussbericht über die durchgeführte Risikobeurteilung inkl. Aktionspunktliste
6.8 Protokoll/Formblatt zum Konzepttestat

**Tab. 3.7** (Fortsetzung)

<b>7</b>	<b>Beschaffungskonzept</b>
<b>8</b>	<b>Sonstiges</b>
8.1	Eingeholte Angebote zu Leistungen und Lieferungen
8.2	Grobabschätzung der Investitionskosten und Betriebskosten
8.3	Überschlägliche Wirtschaftlichkeitsberechnungen
8.4	Sonstige Vorgaben/Hinweise zur Entwurfsplanung

Die Inhalte zum Dokumentationskonzept sowie zu den anderen fachspezifischen Konzepten sind den Ausführungen in den Abschnitten 3.2 und 3.3.3 bis 3.3.7 zu entnehmen.

Am Ende der Vorplanung wird i. Allg. keine eigenständige Phasendokumentation erarbeitet. Der Übergang zur Entwurfsplanung ist gleitend, da meistens die fachliche Verantwortung und Zuständigkeit nicht wechselt.

Viele Planungsdokumente gehen als Arbeitsdokumente direkt in die Entwurfsplanung über. Andere Dokumente, die im Ergebnis von Variantenbetrachtungen entstanden sind, erhalten den Bearbeitungsstatus AFB (Approved for Basic) und werden als Input für die Entwurfsplanung (Phase 3) freigegeben.

Die Freigabe-Prozedur ist notwendig, damit eindeutig ist, welche Lösungsvariante und welche zugehörigen Dokumente ausgewählt wurden und in die Entwurfsplanung einfließen sollen.

## 3.7 Schutzrechtliche Sicherung der Ergebnisse

Unternehmen und Personen müssen ihr materielles aber auch ihr immaterielles (geistiges) Eigentum schützen. Zum immateriellen Eigentum gehören *Fähigkeiten, Wissen* und *Erfahrungen*, um die notwendigen Leistungen erfolgreich zu erbringen bzw. die anstehenden Probleme zu lösen.

Man spricht auch vom organisatorischen und fachlichen *Know-how*, welches praktisch bei der Problemlösung angewandt wird. Im Engineeringprozess wird vorrangig technologisches und technisches aber auch naturwissenschaftliches und organisatorisches Know-how benötigt.

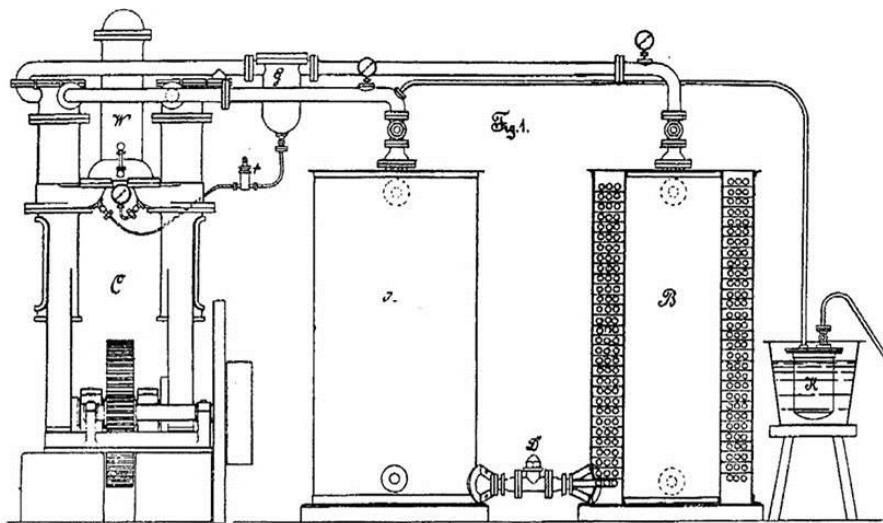
Der Schutz des geistigen Eigentums wird für die meisten Unternehmen im Zeitalter der Globalisierung zunehmend wichtiger und von strategischer Bedeutung. Dazu dienen vorrangig die Anmeldungen Technischer Schutzrechte in Form von Patenten. Sie ermöglichen den Unternehmen, ihren Marktanteil zu sichern und Wettbewerbsvorteile zu erzielen. Dies gilt auch für Investoren und Betreiber sowie für Generalunternehmer und Generalplaner verfahrenstechnischer Anlagen.

Eine Unternehmensstrategie, das eigene Know-how geheim zu halten und keine Schutzrechte anzumelden, ist in der heutigen, vernetzten Welt und des häufigen Wechsels der Führungskräfte und Mitarbeiter riskant. Zudem besteht die Gefahr, dass ein Wettbewerber unabhängig dieselben oder ähnliche Erfindungen macht und zum Patent anmeldet.

Bei der Projektabwicklung sollte deshalb regelmäßig geprüft werden, ob die erarbeiteten planerischen Lösungen schutzwürdig und patentfähig sind. Während der innovativen Vorplanungsphase, in der schwerpunktmäßig die Verfahrensentwurfsplanung erfolgt und fachspezifische Varianten untersucht werden, ist dies besonders wichtig und möglich.

In der Praxis werden diese Aufgaben mitunter nicht ausreichend wahrgenommen. Viele Ingenieure vertreten die Meinung, dass ihre planerischen Lösungen nicht patentfähig sind. Sie sind oft der Ansicht, dass es eine „bahnbrechende“ erfinderische Lösung, vergleichbar mit der von Karl Linde in Abb. 3.16 sein muss, um für ein Patent zu taugen.

Zugleich wissen die Ingenieure nicht selten zu wenig über das Patentwesen und haben zu wenige Erfahrungen bei der Patentrecherche sowie bei der Ausarbeitung einer Patentschrift.



Patentschrift Nr 1250  
**KARL LINDE**  
in München  
**Kälteerzeugungsmaschine**

Die technische Entwicklung des Kühlschranks, der heute aus nahezu keinem Haushalt wegzudenken ist, hatte ihren Ursprung in der Wärmelehre und der Thermodynamik, ein für den technischen Laien verwirrender Anfang. Carl von Linde, Ingenieur und Unternehmer aus Oberfranken, ist der Vater dieser „Kältemaschine“ (wärmetheoretische Arbeiten von 1873–76). Er gründete 1879 die »Gesellschaft für Linde's Eisemaschinen AG«. 1895 erfand er ein Verfahren zur Verflüssigung der Luft und 1902 eine Methode zur Herstellung reinen Sauerstoffs.

**Abb. 3.16** Auszug aus Patentschrift No. 1250 (Erfinder: Karl Linde) [21]

Letztlich wird dadurch geistiges Eigentum nicht ausreichend geschützt.

Sicherlich ist es für Chemiker und Reaktionstechniker, die im Labor bzw. Technikum neue Verfahren entwickeln und die Maßstabsübertragung (scale-up) durchführen, einfacher, eine erforderliche Lösung zu finden und zu patentieren.

Aber der Ingenieur sollte bedenken:

- Die „erfinderischen Schritte“ sind i. Allg. kleine Schritte. Eine Patentrecherche auf dem eigenen Arbeitsgebiet wird ihm dies bestätigen.
  - Vieles, was für eine erfolgreiche Patentanmeldung nötig ist, sind „handwerkliches Rüstzeug“ und Erfahrung. Das kann sich jeder Ingenieur aneignen.
- Ferner bieten die meisten Unternehmen dem Erfinder professionelle Unterstützung beim Erkennen einer erforderlichen Lösung sowie der Ausarbeitung und Anmeldung eines Patents an.
- Ein Patent ist per Gesetz eine technische Erfindung, d.h. die Arbeitsergebnisse des Ingenieurs sind aus dieser Sicht a priori patentfähig. Damit ist er gegenüber vielen Spezialisten anderer nicht-technischer Fachdisziplinen privilegiert.
  - Mit einem erteilten und genutzten Patent kann nicht nur das Unternehmen sondern auch der Erfinder Geld verdienen, d.h. es existiert für beide Seiten eine sog. Win-win-Situation.
  - Etwas zu erfinden und erfolgreich zum Patent anzumelden macht Spaß, getreu der Erkenntnis eines sehr erfolgreichen Erfinders:

*Erfinden ist schöner als erfunden haben!*

*Karl Benz*

In Abb. 3.17 sind beispielhaft vier bedeutende, bahnbrechende Erfindungen und deren Erfinder dargestellt, die ganze Branchen und Unternehmen sowie unser aller Leben nachhaltig verändert haben.

Um den Leser zu ermutigen und zu helfen, eigene schutzwürdige Arbeitsergebnisse zu erkennen und gegebenenfalls mit Unterstützung anderer zu patentieren, sind im Weiteren noch einige Ausführungen und Erfahrungen zur Schutzrechts-thematik angefügt.

Die Aussagen basieren überwiegend auf der eigenen erforderlichen Tätigkeit und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit und fachliche Tiefe, wie es beispielsweise ein Patentanwalt tun würde.

Sie beziehen sich auch ausschließlich auf das deutsche Patentrecht und Patentverfahren [22].

### a) Überlegungen zur Schutzrechtsstrategie

Schutzrechts- bzw. Patentstrategien spielen in Unternehmen zunehmend eine größere Rolle. Eine *Schutzrechtsstrategie* gibt vor

- welche Markt- und Produktionsgebiete durch Schutzrechte gesichert werden sollen,
- auf welchen Arbeitsgebieten dafür technische Schutzrechte geplant sind,
- welches Budget und welche Ressourcen dafür bereitstehen und
- wie und mit welchen Mitteln der Schutz überwacht und durchgesetzt werden soll.



**Abb. 3.17** links: oben: Düsentriebwerk, Erfinder: Hans von Ohain, 1936  
unten: Zündkerze, Erfinder: Robert Bosch, 1902  
rechts: oben: Fernsehübertragung, Erfinder: Manfred von Ardenne, 1930  
unten: MP3-Format, Erfinder: Fraunhofer-Institut, 1987

Die Schutzrechtstrategie ist i. Allg. auf eine der beiden bzw. auf beide Hauptzielstellungen ausgerichtet:

- Eine Zielsetzung ist es, durch eigene Schutzrechtsanmeldungen die *Handlungsfreiheit* (Freedom to operate) des Unternehmens (z. B. des Ingenieurunternehmens oder des Produzenten) langfristig zu gewährleisten.

Dies kann beispielsweise gelingen, indem man als Unternehmen möglichst viele Patente, z. B. nur in Deutschland, anmeldet und veröffentlicht.

Damit werden die patentierten Verfahren und/oder Vorrichtungen sowie die offengelegten Patentanmeldungen/-schriften zum Stand der Technik erhoben und sind für spätere Patentanmeldungen weltweit neuheitsschädigend. Unter Umständen reicht an Stelle einer Patentanmeldung auch schon eine sog. Sperrveröffentlichung aus.

Allerdings setzt diese Strategie voraus, dass man als Unternehmen im Wettbewerb, trotz der fachlichen Offenbarung und ohne Patenschutz, erfolgreich bestehen kann. Dies trifft im Normalfall nur auf regional tätige Unternehmen zu.

- Eine andere Zielsetzung ist offensiver und darauf gerichtet, mit weltweit patentierten Erfindungen den *Know-how-Vorsprung* zu sichern, einen *Marktvorsprung* zu erlangen und anderen Unternehmen die gewerbliche Nutzung zu verbieten.

Diese Zielstellung ist anspruchsvoller und risikoreicher aber auch chancenreicher. Sie verspricht im Erfolgsfall u. U. eine marktbeherrschende Stellung und einen Extraertrag. Bei einer solchen Strategie ist verständlicherweise mit erheblichem „Gegenwind“ der Wettbewerber, z. B. im Verfahren zur Patenterteilung sowie bei der Durchsetzung des Patenschutzes in der Praxis, zu rechnen.

Diese Strategie erfordert Gestaltungs- und Durchsetzungskraft.

Bei der Ausarbeitung der Schutzrechtstrategie und bei deren Umsetzung während der Projektabwicklung sind u.a. folgende Überlegungen anzustellen und gegeneinander abzuwägen:

- Worin besteht das besondere Know-how des eigenen Unternehmens?
- Ist dieses Know-how schutzwürdig?
- Sind alle Vorkehrungen zur Geheimhaltung dieses Know-how gegenüber Dritten getroffen und werden sie umgesetzt?
- Erfüllt dieses Know-how die Voraussetzungen für ein technisches Schutzrecht, insbesondere für ein Patent?
- Führen Wettbewerber ähnliche Entwicklungen durch, die ggf. parallel zu ähnlichen Erfindungen und Patenten führen können (sog. Parallelentwicklung)?
- Ist die eigene Handlungsfreiheit gefährdet, z. B. indem Dritte die erfundsgemäße Idee in Erfahrung bringen und illegal selbst zum Patent anmelden (u. U. mit geringen Modifizierungen) und eventuell später sogar als Patentverletzung vorhalten?
- Welche erforderlichen Merkmale können geschützt werden? Wie groß wird der mögliche Schutzmfang eingeschätzt?
- Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit der Patenterteilung?
- In welchen Ländern sollte ggf. das Patent angemeldet werden und welche Markt- und Produktziele werden dadurch erreicht?
- Wieviel Know-how wird mit der Patentveröffentlichung offenbart?
- Ist diese Know-how-Offenbarung in der Patentschrift entscheidend für die weitere Unternehmenstätigkeit/-entwicklung am Markt?
- Besteht die Gefahr einer Nachahmung (Verletzung) der patentierten Erfindung?
- Gelingt es eine Patentverletzung durch einen Dritten (Wettbewerber) zu erkennen?
- Ist beispielsweise am Produkt des Dritten die Anwendung der patentierten Lösung erkenn- und nachweisbar?

- Gelingt es, die eigenen Rechts-/Patentansprüche gegenüber dem unrechtmäßigen Nachahmer, ggf. auf juristischem Weg durchzusetzen?
- Wie groß ist der Nutzen eigener Schutzrechte im Marketing bzw. für Werbung?
- Wie wird das Kosten-Nutzen-Verhältnis einer Patentanmeldung eingeschätzt?

### b) Technische Schutzrechte

Abb. 3.18 zeigt eine Übersicht der gewerblichen Schutzrechte, wobei schwerpunktmäßig nur auf die technischen Schutzrechte eingegangen wird.



**Abb. 3.18** Einteilung der gewerblichen Schutzrechte

Das *Patent* und das *Gebrauchsmuster* sind beides Schutzrechte für technische Erfindungen. Zu den nichttechnischen Schutzrechten gehören das *Eingetragene Design* und die *Marke*.

Das Eingetragene Design schützt die zweidimensionale oder dreidimensionale Erscheinungsform eines ganzen Erzeugnisses oder eines Teils davon [23]. Eine Marke ist ein rechtlich geschütztes Zeichen, das Waren oder Dienstleistungen eines Unternehmens kennzeichnen und hervorheben soll [24].

Bevor im Weiteren näher auf das Patent eingegangen wird, noch einige wenige Bemerkungen zum Gebrauchsmuster [25].

- „Als Gebrauchsmuster werden Erfindungen geschützt, die neu sind, auf einem erfinderischen Schritt beruhen und gewerblich anwendbar sind“ (nach § 1, Abs. (1) des **Gebrauchsmustergesetzes** (GebrMG)).
- Im Unterschied zum Patent werden *keine Verfahren* geschützt.
- Vor der Schutzrechtserteilung eines Gebrauchsmusters werden nur die formalen Voraussetzungen geprüft (ungeprüftes Schutzrecht).
- Der Schutz des Gebrauchsmusters beginnt mit der Eintragung.
- Die Prüfung der sachlichen Voraussetzungen (Neuheit, erfinderischer Schritt) erfolgt erst auf Antrag eines Dritten.
- Die Rechtsbeständigkeit ist geringer, da sich u.U. im Ergebnis der sachlichen Prüfung eine Löschung des Gebrauchsmusters ergeben kann.
- Die Eintragung als Gebrauchsmuster ist schneller (ca. 3 Monate) als beim Patent. Der Anmelder kann somit schnell Schutzrechte geltend machen.
- Das Gebrauchsmuster ist maximal 10 Jahre geschützt (Patent: max. 20 Jahre).

- Im Unterschied zum Patent gibt es keine europäische und keine internationale Gebrauchsmusteranmeldung. Zudem haben nicht alle Länder einen Gebrauchsmusterschutz.
- Das Geschmacksmuster wird aus Sicht des Autors im verfahrenstechnischen Anlagenbau relativ wenig genutzt. Die Gründe sind u. a. in den Einschränkungen beim Verfahrensschutz, in den schlechteren internationalen Schutzmöglichkeiten und in der kürzeren Laufzeit (Schutzdauer) zu sehen.

### c) Patente und Voraussetzungen der Erteilung

Das Patent ist die häufigste Form des gewerblichen Schutzrechts, die im Engineering, im Anlagenbau und im Anlagenbetrieb genutzt wird.

Im Patentgesetz, § 1 (Voraussetzungen der Erteilung) [22] ist formuliert:

- (1) Patente werden für Erfindungen auf allen Gebieten der Technik erteilt, sofern sie neu sind, auf einer erforderlichen Tätigkeit beruhen und gewerblich anwendbar sind.

Nicht patentierbar sind gemäß PatG, §§ 1 und 2 u.a.

- Entdeckungen sowie wissenschaftliche Theorien und mathematische Methoden,
- Pläne, Regeln und Verfahren für gedankliche Tätigkeiten, für Spiele oder für geschäftliche Tätigkeiten sowie Programme für Datenverarbeitungsanlagen,
- die Wiedergabe von Informationen und ästhetische Formschöpfungen.

Patente schützen technische Erfindungen, insbesondere Verfahren und Vorrichtungen. Zu den beiden wichtigen Kriterien der **Neuheit** bzw. **erforderlichen Tätigkeit** steht im PatG [22], § 3 (Begriff der Neuheit) bzw. § 4 (Erfindungen auf Grund erforderlicher Tätigkeit):

§ 3 (1) Eine Erfindung gilt als neu, wenn sie nicht zum Stand der Technik gehört. Der Stand der Technik umfasst alle Kenntnisse, die vor dem für den Zeitraum der Anmeldung maßgeblichen Tag durch schriftliche oder mündliche Beschreibung, durch Benutzung oder in sonstiger Weise der Öffentlichkeit zugänglich gemacht worden sind.

(Bem. d. Verf.: Im Abs. (2) nähere Ausführungen zum Stand der Technik)

§ 4 Eine Erfindung gilt als auf einer erforderlichen Tätigkeit beruhend, wenn sie sich für den Fachmann nicht in naheliegender Weise ergibt. Gehören zum Stand der Technik auch Unterlagen im Sinne des § 3 Abs. 2 (d. Verf.: ältere Patenanmeldung, die erst am Anmeldetag oder später öffentlich wurden), so werden diese bei der Beurteilung der erforderlichen Tätigkeit nicht in Betracht gezogen.

Aus den Formulierungen in § 3 und 4 ist für den Erfinder abzuleiten:

#### 1) Ein Patent muss *weltweit neu* sein.

- Vor der Patentanmeldung muss somit sehr gründlich recherchiert werden. Dazu stehen im Internet sog. Freie Patent-Datenbanken der Patentämter (s. Tab. 3.8) sowie anderer externer Anbieter [26][27] zur Verfügung.
- Insbesondere muss die Recherche zeigen, dass die angedachten Patentansprüche (technische Merkmale) neu sind.

**Tabelle 3.8** Übersicht zu Freien Patent-Datenbanken (Auswahl)

<b>Freie Patent-Datenbanken</b>	
<u>Vorteile:</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kostenfrei, lediglich Internetkosten</li> <li>- oft direkte Volltextanzeige</li> </ul>
<u>Nachteile:</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Frage der Serverüberlastung/Störung/Zugriffzeit</li> <li>- komplexe Suchabfrage, Suchbegriffe eingeschränkt</li> </ul>
<b>DPMA (Deutsches Patent- u. Markenamt)</b>	<a href="http://www.depatisnet.de">http://www.depatisnet.de</a>
<b>EPA (Europäisches Patentamt)</b>	<a href="http://de.espacenet.com">http://de.espacenet.com</a>
<b>PAJ (Patent Abstracts of Japan)</b>	<a href="http://www.jpo.go.jp">http://www.jpo.go.jp</a>
<b>WIPO (Worlds Intellectual Property Organisation)</b>	<a href="http://www.wipo.int">http://www.wipo.int</a>

- Die sog. Neuheitsrecherche ist somit der erste, wichtige Schritt, um die Patentierbarkeit einer technischen Lösung/Maßnahme zu prüfen.
  - Der Erfinder sollte vor dem Anmeldedatum mit Veröffentlichung, Vorträgen, Beschreibungen, Angebotsunterlagen u.a. Informationen über Inhalte seiner geplanten Erfindung sehr vorsichtig sein, damit diese nicht später als Stand der Technik der Erfindung entgegengehalten werden.
- 2) Ein Patent muss auf einer *erfinderischen Tätigkeit* beruhen (*Erfindungshöhe*).
- Die Erfindung darf für den Fachmann nicht naheliegend sein. Sie muss eine gewisse Originalität aufweisen bzw. einen Aha-Effekt auslösen.
  - Die Bedeutung dieses Merkmals führt beim Ersteller nicht selten zu „überraschenden Formulierungen“ in der Patentschrift.

#### d) Prüfung der Erfindung

- Die Prüfung der Erfindung auf *Neuheit* und *erfinderische Tätigkeit* erfolgt zum Beispiel beim Deutschen Patent- und Markenamt (DPMA) entsprechend von Richtlinien für die Prüfung von Patentanmeldungen [28].
- Die Prüfung kann
  - der Prüfer nach Prüfantrag bzw. Rechercheantrag und/oder
  - Dritte nach Offenlegung der Patentschrift
durchführen.
- Die „absolute Neuheit“ der Erfindung wird durch Einzelvergleich geprüft. Dazu wird die Erfindung mit dem aktuellen Stand der Technik (sog. Entgegenhaltungen) verglichen. Dabei handelt es sich um einen Einzelvergleich, d.h. die Merkmale der Erfindung und der Entgegenhaltung werden einzeln verglichen.

*Erst wenn alle technischen Merkmale der Erfindung mit den Merkmalen in einer Entgegenhaltung übereinstimmen, ist die Neuheit der Erfindung nicht gegeben.*
- Die Prüfung auf erfinderische Tätigkeit erfolgt auf Basis einer Gesamtschau/Gesamtbetrachtung des Standes der Technik.

- Wenn der Durchschnittsfachmann mindestens zwei Dokumente kennen und auch heranziehen würde, die in Kombination alle technischen Merkmale der Erfindung enthalten, dann spricht der Prüfer von „Mangelnder erforderlicher Tätigkeit“.
- Argumente für eine erforderliche Tätigkeit (Gegenbeweis) können u.a. sein:
  - eine einfache Lösung im Vergleich zum Stand der Technik,
  - ein überraschender Effekt,
  - Überwindung eines allgemeinen Vorurteils bei der Lösung,
  - Lösung eines seit langem bekannten technischen Problems,
  - Übertragung einer bekannten Lösung auf ein anderes technisches Gebiet.

#### e) Schutzmumfang und Schutzbereich des Patents

- Im Patentgesetz, § 9 (Wirkung des Patents) [22] steht zum *Schutzmumfang* des Patents:

Das Patent hat die Wirkung, dass allein der Patentinhaber befugt ist, die patentierte Erfindung im Rahmen des geltenden Rechts zu benutzen.

Jedem Dritten ist verboten, ohne seine Zustimmung

1. ein Erzeugnis, das Gegenstand des Patents ist, herzustellen, anzubieten, in Verkehr zu bringen oder zu gebrauchen oder zu den genannten Zwecken entweder einzuführen oder zu besitzen;
2. ein Verfahren, das Gegenstand des Patents ist, anzuwenden oder, wenn der Dritte weiß oder es auf Grund der Umstände offensichtlich ist, dass die Anwendung des Verfahrens ohne Zustimmung des Patentinhabers verboten ist, zur Anwendung im Geltungsbereich dieses Gesetzes anzubieten;
3. das durch ein Verfahren, das Gegenstand des Patents ist, unmittelbar hergestellte Erzeugnis anzubieten, in Verkehr zu bringen oder zu gebrauchen oder zu den genutzten Zwecken entweder einzuführen oder zu besitzen.

- Mit einem Patent hat der Inhaber das Recht, über seine Erfindung allein zu verfügen. Er kann es selbst verwerten oder Lizenzen vergeben. Somit kann er, allerdings räumlich begrenzt und zeitlich befristet, von Rechts wegen jedem anderen verbieten, die geschützte Erfindung ohne seine Einwilligung zu benutzen. Der Patentinhaber muss aber auch die Kraft haben, seinen Rechtsanspruch in der Praxis geltend zu machen und durchzusetzen.
- Der angeführte Schutz gilt jedoch nur für die Länder, für die ein Schutzrecht erworben wurde (sog. Territorialprinzip).
- Ein wichtiges Datum für eine nationale Patentanmeldung ist das sog. Prioritätsjahr. Innerhalb von 12 Monaten ab Anmeldetag ist es möglich, die nationale Patentanmeldung unter Beanspruchung des Anmeldetags international weiterzuverfolgen (z.B. regional in Europa oder national in den USA).
- Die volle Schutzwirkung des Patents beginnt erst mit dem Tag seiner Erteilung.
- Die angeführte Schutzwirkung des Patents gilt inhaltlich für den *Schutzbereich* des Patents, der im PatG [25] § 14 (Schutzbereich) wie folgt definiert ist:

Der Schutzbereich des Patents und der Patentanmeldung wird durch die Patentansprüche bestimmt. Die Beschreibung und die Zeichnungen sind jedoch zur Auslegung der Patentansprüche heranzuziehen.

Das unterstreicht die große Bedeutung der Patentansprüche, sowohl beim Verfassen der Patentschrift als auch im Prüfungsverfahren.

- Je mehr der Schutz- bzw. Geltungsbereich des Patents eingeengt werden muss, z. B. um im Rahmen des Prüfungsverfahrens die Kriterien der Neuheit und/oder der erforderlichen Tätigkeit zu erfüllen, je weniger ist das Patent wert.
- Die Laufzeit eines in Deutschland erteilten Patents beträgt 20 Jahre; in anderen Ländern ebenfalls. Das Patent erlischt u.a. sobald der Inhaber keine Jahresgebühr mehr zahlt.

#### f) Anmeldung einer Erfindung

- Eine Erfindung ist zur Erteilung eines Patents beim Patentamt anzumelden. Dazu steht im Patentgesetz § 34 Abs. (3) bis (5) [22]:

- (3) Die Anmeldung muss enthalten:
  1. den Namen des Antragstellers;
  2. einen Antrag auf Erteilung des Patents, in dem die Erfindung kurz und genau bezeichnet ist;
  3. einen oder mehrere Patentansprüche, in denen angegeben ist, was als patentfähig unter Schutz gestellt werden soll;
  4. eine Beschreibung der Erfindung;
  5. die Zeichnungen, auf die sich die Patentansprüche oder die Beschreibung beziehen.
- (4) Die Erfindung ist in der Anmeldung so deutlich und vollständig zu offenbaren, dass ein Fachmann sie ausführen kann.
- (5) Die Anmeldung darf nur eine einzige Erfindung enthalten oder eine Gruppe von Erfindungen, die untereinander in der Weise verbunden sind, dass sie eine einzige allgemeine erforderliche Idee verwirklichen.

- Detaillierte Vorgaben zur Anmeldung einer Erfindung sind in der **Patentverordnung (PatV)** [29] gemacht. Den grundlegenden Aufbau und Inhalt eines Patentdokuments in Deutschland zeigt Abb. 3.19.

Nachfolgend zur Anmeldung noch einige Ergänzungen und Erläuterungen.

##### 1) Ausführungen zu den *Patentansprüchen*

- Die Patentansprüche definieren den Schutzbereich des Patents. Sie sind die Grundlage für die sachliche Prüfung des Patentamts. Alle Merkmale der Erfindung, für die Schutz beansprucht werden soll, müssen in den Ansprüchen aufgeführt werden.
- In § 9 (Patentansprüche) der PatV steht auszugsweise:

(1) In den Patentansprüchen kann das, was als patentfähig unter Schutz gestellt werden soll (§ 34 Abs. 3 Nr. 3 des Patentgesetzes) einteilig oder nach Oberbegriff und kennzeichnenden Teil geteilt (zweiteilig) gefasst sein. In beiden Fällen kann die Fassung nach Merkmalen gegliedert sein.

(Bem. d. Verf.: Die zweiteilige Fassung wie in Abb. 3.19 ist i. Allg. üblich.)

(2) Wird die zweiteilige Anspruchsfassung gewählt, sind in den Oberbegriff die durch den Stand der Technik bekannten Merkmale der Erfindung aufzunehmen;

in den kennzeichnenden Teil sind die Merkmale der Erfindung aufzunehmen, für die in Verbindung mit den Merkmalen des Oberbegriffs Schutz begehr wird. Der kennzeichnende Teil ist mit den Worten „dadurch gekennzeichnet, dass“ oder „gekennzeichnet durch“ oder einer sinngemäßen Wendung einzuleiten.

(3) Werden Patentansprüche nach Merkmalen oder Merkmalsgruppen gegliedert, so ist die Gliederung dadurch äußerlich hervorzuheben, dass jedes Merkmal oder jede Merkmalsgruppe mit einer neuen Zeile beginnt. Den Merkmalen oder Merkmalsgruppen sind deutlich vom Text abzusetzende Gliederungszeichen voranzustellen.

(4) Im ersten Patentanspruch (Hauptanspruch) sind die wesentlichen Merkmale der Erfindung anzugeben.

<b>1. Bibliographische Daten</b>	Dokumentennummer, Anmelde-, Veröffentlichungs- und/oder Erteilungstag, Anmelder, Erfinder usw.
<b>2. Titel</b>	
<b>3. Patentansprüche</b> (zweiteilige Fassung)	
<b>Oberbegriff:</b>	durch den Stand der Technik bekannte Merkmale der Erfindung
	<b>dadurch gekennzeichnet</b>
<b>Kennzeichnender Teil:</b>	Merkmale der Erfindung, für die in Verbindung mit den Merkmalen des Oberbegriffs Schutz begehr wird.
<p>Der erste Patentanspruch (<b>Hauptanspruch</b>) enthält die wesentlichen Merkmale der Erfindung. Eine Anmeldung kann mehrere unabhängige Patentansprüche (<b>Nebenansprüche</b>, z. B. für Verfahren, Vorrichtung, Verwendung und Erzeugnis) enthalten.</p> <p><b>Unteransprüche</b> sind abhängige Ansprüche von Haupt- oder Nebenanspruch.</p>	
<b>4. Beschreibung:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Titel</li> <li>– <b>Anwendungsgebiet</b> (in das die Erfindung gehört); evtl. gewerbliche Anwendbarkeit</li> <li>– <b>Stand der Technik</b> mit den Fundstellen und <b>Kritik des Standes der Technik</b></li> <li>– Angabe des <b>Problems</b> (= <b>Aufgabe</b>), das der Erfindung zugrunde liegt</li> <li>– Darstellung der technischen <b>Lösung des Problems</b></li> <li>– Darstellung der <b>vorteilhaften Wirkungen</b> (Bezug zum Stand der Technik)</li> <li>– wenigstens ein <b>Weg zur Ausführung</b> (Ausführungsbeispiele)</li> <li>– bevorzugte und weitere <b>Ausführungsformen</b></li> <li>– weitere <b>Ausgestaltung</b> (gemäß Unteransprüchen)</li> </ul>
<b>5. Zeichnungen</b>	
<b>6. Zusammenfassungen</b>	

**Abb. 3.19** Aufbau und Inhalt des Patentdokuments

(5) Eine Anmeldung kann mehrere unabhängige Patentansprüche (Nebenansprüche) enthalten, soweit der Grundsatz der Einheitlichkeit gewahrt ist (§ 34 Abs. 5 des Patentgesetzes). Absatz 4 ist entsprechend anzuwenden.

Nebenansprüche können eine Bezugnahme auf mindestens eine der vorangehenden Patentansprüche enthalten.

(6) Zu jedem Haupt- bzw. Nebenanspruch können ein oder mehrere Patentansprüche (Unteransprüche) aufgestellt werden, die sich auf besondere Ausführungsarten der Erfindung beziehen. Unteransprüche müssen eine Bezugnahme auf mindestens einen der vorangehenden Patentansprüche enthalten. Sie sind soweit wie möglich und auf die zweckmäßigste Weise zusammenzufassen.

(7) Werden mehrere Patentansprüche aufgestellt, so sind sie fortlaufend mit arabischen Ziffern zu nummerieren.

(8) Die Patentansprüche dürfen, wenn dies nicht unbedingt erforderlich ist, im Hinblick auf die technischen Merkmale der Erfindung keine Bezugnahme auf die Beschreibung oder die Zeichnungen enthalten, z. B. „wie beschrieben in Teil ... der Beschreibung“ oder „wie in Abbildung ... der Zeichnung dargestellt“.

(9) Enthält die Anmeldung Zeichnungen, so sollen die in den Patentansprüchen angegebenen Merkmale mit ihren Bezugszeichen versehen sein.

- Da die *Patentansprüche* die erforderlichen Merkmale und den Schutzmfang definieren und dieser möglichst groß sein sollte, sind Verallgemeinerungen und Abstraktionen erforderlich.

Zu diesem Zweck werden oft Formulierungen verwendet, die im allgemeinen Sprachgebrauch oder in der Fachsprache unüblich sind und „konstruiert“ anmuten. Häufig werden Synonyme und Umschreibungen verwendet. Dies bewirkt mitunter Schwierigkeiten beim Lesen und Verstehen der Patentdokumente und ist beim Recherchieren (Suchbegriffe) zu beachten.

- Eine umfassende Formulierung von Unteransprüchen gemäß dem zuvor zitierten Abs. (6) der PatV ist auch deshalb ratsam, da die Unteransprüche dem Erfinder im Prüfungsverfahren zusätzliche Optionen schaffen.

Bei berechtigten Einwänden des Prüfers betreffs der Neuheit, können während des Prüfungsverfahrens ein oder mehrere Unteransprüche „nach oben“ in den Hauptanspruch einbezogen werden. Dies macht die Patentansprüche spezieller und grenzt gleichzeitig den Schutzbereich ein.

Dies kann dazu führen, dass das Patent neu gegenüber dem vom Prüfer zitierten Stand der Technik wird und das Patent erteilt wird. Selbstverständlich ist der Schutzmfang der geänderten Patentansprüche kleiner.

- Manchmal kann es zur Abgrenzung gegenüber dem im Prüfbescheid zitierten Stand der Technik erforderlich sein, weitere neue Merkmale in den Anspruch aufzunehmen.

Allerdings müssen die neuen Merkmale im Beschreibungsteil ausreichend offenbart sein. Sonst wäre es eine unzulässige Erweiterung, die zur Zurückweisung der Patentanmeldung führen kann.

Diese Ausführungen unterstreichen, wie wichtig der Offenbarungsgehalt im Beschreibungsteil ist.

## 2) Ausführungen zur *Beschreibung*

- Die Beschreibung ist der wesentliche Teil der Offenbarung. In § 10 (Beschreibung) der PatV [29] steht auszugsweise:
  - (1) Am Anfang der Beschreibung nach § 34 Abs. 3 Nr. 4 des Patentgesetzes ist als Titel die im Antrag angegebene Bezeichnung der Erfindung anzugeben.
  - (2) Ferner sind anzugeben:
    1. das technische Gebiet, zu dem die Erfindung gehört, soweit es sich nicht aus den Ansprüchen oder den Angaben zum Stand der Technik ergibt;
    2. der dem Anmelder bekannte Stand der Technik, der für das Verständnis der Erfindung und der Schutzhfähigkeit in Betracht kommen kann, unter Angabe der dem Anmelder bekannten Fundstellen;
    3. das der Erfindung zugrunde liegende Problem, sofern es sich nicht aus der angegebenen Lösung oder den zu Nummer 6 gemachten Angaben ergibt, insbesondere dann, wenn es zum Verständnis der Erfindung oder für ihre nähere inhaltliche Bestimmung unentbehrlich ist;
    4. die Erfindung, für die in den Patentansprüchen Schutz begehr wird;
    5. in welcher Weise der Gegenstand der Erfindung gewerblich anwendbar ist, wenn es sich aus der Beschreibung oder der Art der Erfindung nicht offensichtlich ergibt;
    6. gegebenenfalls vorteilhafte Wirkungen der Erfindung unter Bezugnahme auf den bisherigen Stand der Technik;
    7. wenigstens ein Weg zum Ausführen der beanspruchten Erfindung im Einzelnen, gegebenenfalls erläutert durch Beispiele und anhand von Zeichnungen unter Verwendung der entsprechenden Bezugszeichen.
- Die Beschreibung gibt das gesamte Umfeld der Erfindung wieder. Sie beinhaltet insbesondere die Angaben und die Kritik zum Stand der Technik. Daraus leitet sich die Aufgabenstellung ab.
- Hauptteil der Beschreibung ist die Darlegung der *technischen* und *erfinderischen Lösung*. Einerseits leiten sich daraus die Patentansprüche (erfinderischen Merkmale) ab und andererseits wird die erfinderische Tätigkeit begründet.

## 3) Ausführungen zur *Offenlegung, Prüfung und Erteilung von Patentschriften*

- Patente werden nach Einreichen beim **Deutschen Patent- und Markenamt** (DPMA) nur auf formelle Voraussetzungen sowie auf das Merkmal „Technische Erfindung“ vorgeprüft.
- Die Patentanmeldung bleibt, sofern nicht vorher eine Patenterteilung erfolgt, 18 Monate lang geheim. Danach wird sie offengelegt und im DPMA-Register darüber informiert, auch wenn kein Prüfungsauftrag gestellt wurde.  
Die ungeprüfte Offenlegungsschrift wird in Deutschland mit den Buchstaben „A“ gekennzeichnet, z.B. DE 100 05 200 A 1 (gemäß dem Schriftartencode von Patentdokumenten).
- Der Anmelder hat 7 Jahre ab Anmeldetag Zeit, einen Prüfungsantrag zu stellen. Er kann dies auch sogleich mit der Anmeldung tun.

- Vor dem Prüfungsantrag kann der Anmelder einen Rechercheantrag stellen. Im Recherchebericht werden vom DPMA die Dokumente mitgeteilt, die für die Prüfung der Patentfähigkeit relevant sind (sog. kritischer Stand der Technik/Entgegenhaltungen).
- Ist die Prüfung durch das DPMA erfolgreich, wird das Patent erteilt und die Patentschrift (PS) veröffentlicht. Die Erteilung wird im Amtsblatt des jeweiligen Patentamts bekanntgemacht.  
Die geprüfte und erteilte Patentschrift wird in Deutschland mit den Buchstaben „C“ (z.B. DE 100 05 200 C 1) und in Europa mit dem Buchstaben „B“ gekennzeichnet
- Gegen die Patenterteilung eines deutschen bzw. europäischen Patents kann jedermann innerhalb von 9 Monaten nach Veröffentlichung der Patentschrift beim DPMA bzw. Europäischen Patentamt (EPA) Einspruch einlegen.  
Das zuständige Patentamt prüft diesen Einspruch und entscheidet letztlich, ob das Patent aufrechterhalten, beschränkt aufrechterhalten oder widerufen wird.
- Wird in dieser Frist kein Einspruch eingelegt, ist das Patent rechtskräftig mit einer Laufzeit von maximal 20 Jahren; sofern in diesem Zeitraum kein Nichtigkeitsverfahren eingeleitet wird.

#### 4) Hinweise zur *Vorgehensweise beim Erarbeiten einer Patentanmeldung*

- Den ersten Entwurf zu den *Patentansprüchen* sollte der Erfinder persönlich erarbeiten.  
Er ist der Fachmann und zwingt sich außerdem, die erforderliche Idee und die erforderlichen Merkmale präzise zu durchdenken und zu formulieren.  
Zugleich ist dieser Entwurf eine gute Grundlage für eine erste Recherche hinsichtlich der Neuheit der Erfindung.
- Kann der Erfinder dies nicht leisten, so sollte der Erfinder zumindest:
  - prinzipiell analysieren und klären, was geschützt werden soll und aus unternehmerischer Sicht geschützt werden muss,
  - die technischen Merkmale seiner Erfindung definieren und zu den ihm bekannten Schriften/Veröffentlichungen abgrenzen; insbesondere die Unterschiede aufzeigen,
  - die Beschreibung/Offenbarung der Erfindung erstellen,
  - die Begründung für die erforderliche Tätigkeit durchdenken.
- Im zweiten Schritt sollte der Erfinder persönlich eine erste Neuheits-Recherche für Deutschland auf Basis der formulierten Patentansprüche machen.
- Wenn die Neuheitsrecherche erfolgreich ist, d.h. keine deutschen Patente entgegenstehen, sollte professioneller Hilfe genutzt werden. Dann muss
  - umfassender recherchiert werden,
  - die Erfindungshöhe analysiert und herausgearbeitet werden,
  - die Beschreibung erarbeitet werden,
  - Beispiel und Zeichnungen angefertigt werden usw.

Die Unternehmen haben dafür i.d.R. Patentingenieure und/oder Patentanwälte zu Verfügung. Auch im Internet sind hilfreiche Formblätter und Checklisten für die Erfindungsmeldung zu finden.

- Es gilt der berühmte Ausspruch von Thomas A. Edison:

*Genius is 1 % inspiration and 99 % perspiration!*

aber zugleich auch die Aussage von Hennry Ford::

*Es gibt mehr Leute, die kapitulieren, als solche, die scheitern!*

Das nachfolgende Beispiel aus dem Berufsleben des Autors soll diese Aussage nochmals bestätigen.

### ***Beispiel 3.1 Verfahrenspatent zur Aufbereitung und Einspeisung von Wasser in Untertagegasspeicher***

#### **a) Problemstellung**

Zur Speicherung von Gas, insbesondere Erdgas, werden häufig unterirdische poröse Gesteinsformationen genutzt. In derartige Untertagegasspeicher wird über Speicherbohrungen trockenes Gas eingespeichert und bei Bedarf, insbesondere im Winterhalbjahr, wieder entnommen.

Die Untertagegasspeicher stehen oft in Verbindung mit salinären Schichtwässern oder anderer Lagerstättenflüssigkeit. Gemäß den Feuchteverhältnissen u.a. Bedingungen im Speicher ist das entnommene Gas mehr oder weniger mit Wasser gesättigt. Auf diese Weise werden während der Entnahmperiode aus dem Speicher erhebliche Wassermengen abgeführt.

Da der Dampfdruck der Salze vergleichsweise sehr gering ist, sättigt sich die Lagerstättenflüssigkeit nach und nach auf. Sobald die Sättigungsgrenze erreicht ist, kristallisieren Salzkristalle aus. Dies passiert insbesondere im Umfeld der Bohrung und führt zu einer Verstopfung/Verlegung der Bohrungen.

Die Einspeicher- und Entnahmeraten des Speichers sinken deutlich. Unter Umständen ist die Bohrung nicht mehr nutzbar.

Der Eigentümer eines Erdgasspeichers, der mit diesem Problem konfrontiert war, hatte aus diesem Grund die Vorstellung, in das trockene Gas während der Einspeicherperiode vorbehandeltes Wasser zu injizieren.

Die Wassermenge war so zu regeln, dass das einzuspeichernde Gas weitgehend gesättigt war und somit unter Tage die Wassermenge konstant gehalten wurde.

Die Umsetzung der technischen Maßnahmen sollte über ein entsprechendes Projekt im Rahmen eines EPCM-Vertrages erfolgen.

Nach Informationen des Projektträgers war eine vergleichbare Anlage bisher nicht bekannt.

#### **b) Aufgabenstellung für das Projekt**

Die Aufgabenstellung für das Projekt sah vor, eine Anlage zu planen und zu errichten in der Trinkwasser als Einsatzprodukt:

- bis auf einen Restwert enthärtet wird,

- bis auf eine Restwert an Sauerstoff entgast wird,
- ausreichend entkeimt wird und
- in den Gesamt-Erdgasstrom in Menge und Ausführung derart injiziert wird, dass das Gas vor der Einspeicherung zu mindestens 90 Prozent gesättigt ist.

Mit der Planung wurde im Rahmen eines EPCM-Vertrages ein Ingenieurbüro beauftragt. Die Beschaffung übernahm der Projektträger.

Im Engineeringvertrag war u.a. vereinbart:

„Falls ein Dritter eine Schutzrechtsverletzung geltend macht, wird der Auftragnehmer auf eigene Kosten im Einvernehmen mit dem Auftraggeber die geltend gemachten Ansprüche abwehren. Gelingt das nicht, so hat der Auftragnehmer das Recht, den betreffenden Anlagenteil auf seine Kosten umzubauen oder auszutauschen oder durch berechtigte Ansprüche durch Zahlung von Lizenzgebühren abzugelten.“

Die Konsequenzen bei einem Rechtsmangel der werkvertraglichen Leistung des Auftragnehmers waren somit erheblich.

### c) Verfahrenstechnische Lösung

Die auf Basis des Engineeringvertrags und einer Grobrecherche durchgeföhrte Verfahrensentwicklung und -planung ergab die folgenden Ergebnisse:

Das Gesamtverfahren und die Anlage bestehen aus 3 Verfahrensstufen bzw. Teilanlagen.

1. Stufe: Enthärtung des Trinkwassers mittels Ionenaustauscher.
2. Stufe: Entgasung des enthärteten Wasser in einer Desorptionskolonne im Gegenstrom mit Dampf, der *in situ* mittels elektrischen Einschubheizkörpers erzeugt wird und  
Entkeimung des Wassers auf Grund der thermischen Behandlung des Wassers während der Entgasung,
3. Stufe: Injektion des konditionierten Wassers derart, dass die Mindestsättigung des Gases erreicht wird.

Für dieses Gesamtverfahren waren die Rechtsmängelfreiheit und damit die Handlungsfreiheit für das Ingenieurbüro nachzuweisen.

### d) Nachweis der Rechtsmängelfreiheit

Durchgeführt wurde eine Patentrecherche für Deutschland, Europa und die USA. Dabei wurde festgestellt, dass das Problem der möglichen Versalzung in Porespeichern bekannt ist.

Als patentierte Lösungen wurden u.a.

- operative Spülmaßnahmen bei beginnender Verstopfung,
- Zusätze von Chemikalien als Lösungsvermittler,
- bergmännische Maßnahmen zur Reinigung des bohrlochnahen Bereichs

vorgeschlagen, aber die Maßnahme, der Wasserinjektion in den Erdgasstrom während der Einspeicherperiode war bisher nicht beschrieben und nicht patentiert.

Auf Grund dieses Ergebnisses waren Schutzrechtsverletzungsansprüche Dritter nicht zu befürchten. Die konsequente Folgerung des Ingenieurbüros aus diesem Recherchergebnis war, das neu entwickelte Verfahren selbst zum Patent anmelden, um damit alle Zweifel bzgl. der Rechtsmängelfreiheit auszuschließen und zugleich die eigene Wettbewerbsposition zu verbessern.

#### e) Erarbeiten der Patentanmeldung

Ausgehend von den Ergebnissen der eigenen Verfahrensentwicklung und der Patentrecherche, die die Neuheit des Verfahrens bestätigte, wurde der Text einer Patentanmeldung vom Erfinder in Zusammenarbeit mit einem Patentanwalt ausgearbeitet.

Im Weiteren sind die Beschreibung sowie der Hauptanspruch und die ersten fünf Unteransprüche aus der Patentschrift [30] angeführt:

#### Beschreibung (Auszug) (s. Abb. 3.20)

Die Erfindung wird anhand eines Beispiels für einen Erdgasspeicher und einer Zeichnung (Fig. 1) näher erläutert, ohne darauf beschränkt zu sein.

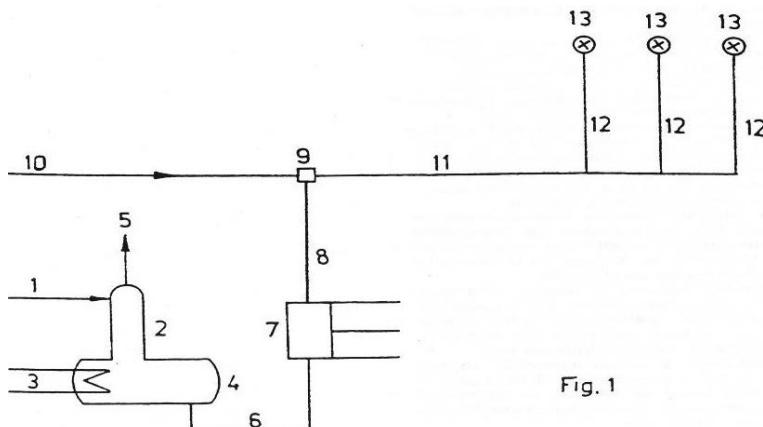


Fig. 1

**Abb. 3.20** Fig. 1 aus Patentschrift [30]

Darin bedeuten die Bezugszeichen:

- |                             |                                 |
|-----------------------------|---------------------------------|
| 1 Leitung                   | 8 Leitung                       |
| 2 Kolonnenkopf              | 9 zentrale Injektionsstelle     |
| 3 Einschubheizkörper        | 10 Erdgasstrom                  |
| 4 Kolonnensumpf             | 11 zentraler Einspeisungsstrang |
| 5 Leitung                   | 12 Bohrungsstränge              |
| 6 Leitung                   | 13 Bohrungen                    |
| 7 Hochdruck-Injektionspumpe |                                 |

Über die Leitung 1 gelangen 650 kg/h entwässertes und vorgewärmtes Trinkwasser auf den Kopf der Kolonne 2, die im oberen Teil mit Packungen und im unteren Teil mit Böden versehen ist. Durch das in der Kolonne nach unten strömende Wasser werden zugleich 13 kg/h Dampf geleitet, der mittels eines elektrischen Einschubheizkörper 3 im Kolonnenzumpp 4 erzeugt wird. Der Restdampf verlässt am Kopf über die Leitung 5 die Kolonne und kann gegebenenfalls einer Abwärmenutzung zugeführt werden. Die Temperatur in der Kolonne einschließlich Sumpf beträgt 100 °C und die mittlere Verweilzeit des Wassers ca. 3 h.

Das derart entkeimte und entgaste Wasser hat einen Restsauerstoffgehalt von weniger als 5 ppb und gelangt über die Leitung 6 auf die Saugseite der Hochdruck-Injektionspumpe 7, die das Wasser auf einen Druck von 115 bar fördert. Anschließend gelangt das Wasser über die Leitung 8 zur zentralen Injektionsstelle 9, wo es über 2 parallel angeordnete Düsen in den einzuspeichernden Erdgassstrom 10 injiziert wird. Bei der Verdüsing entstehen über Wassertröpfchen mit Durchmessern zwischen 10 und 30 Mikrometern.

Der Volumenstrom 10 des trockenen Erdgases beträgt 18500 m<sup>3</sup> i.N./h. An der Stelle der Wasserinjektion liegt ein Erdgasdruck von 110 bar und eine Erdgastemperatur von 70 °C an. Damit liegt die Erdgastemperatur um 2 °C oberhalb der Speichertemperatur von 68 °C.

Unter den gegebenen Bedingungen entspricht die injizierte Wassermenge zu ca. 110 Prozent der Sättigungswassermenge des Erdgasstroms bei den Bedingungen an der Wasser-Injektionsstelle und zu ca. 122 Prozent der Sättigungswassermenge des Erdgasstroms bei Speichertemperatur und -druck.

Die feindispersen Wassertröpfchen werden vom Erdgasstrom mitgerissen und verdampfen weitgehend im zentralen Einspeicherstrang 11 auf dem Weg von der Wasser-Injektionsstelle bis zur Aufteilung auf die einzelnen Bohrungsstränge 12 kurz vor dem Bohrsammelplatz. Das geringfügig überschüssige Wasser verbleibt in Form kleinster Tröpfchen dispergiert im Erdgasstrom und verteilt sich auf die einzelnen Bohrungen 13.

Auf den Weg in den Untertageerdgasspeicher aus Buntsandstein erhöht sich einerseits innerhalb der Bohrungen bis zur Teufe von ca. 1500 m der Druck des Erdgases und andererseits kühlst sich das Erdgas auf den Weg in das Speichergestein auf die Speichertemperatur von 68 °C ab. Dabei bilden sich überraschenderweise trotz des Druckabfalls in der Lagerstätte teilkondensierte, aerosolartige Wassertröpfchen, die mit dem Gasstrom in kleinste Hohlräume des Gesteins getragen werden und vorhandene Salzablagerungen lösen.

Andererseits wird an alle Stellen des Speichers so viel Wasser gleichmäßig eingetragen, dass bei der nachfolgenden Gasentnahme keine Salzausscheidung, auch nicht örtlich, stattfindet.

Die gewählten Sättigungsverhältnisse bewirken insbesondere, dass die primär durch Übersättigung an der Wasser-Injektionsstelle erzeugten Wassertröpfchen bereits das Bohrrohr und den bohrungsnahem Speicherbereich entsalzen, während die sich innerhalb des Speichergesteins neu bildenden Tröpfchen vorrangig Tiefenwirkung entfalten.

### *Patentansprüche*

1. Verfahren zur Aufbereitung und Einspeisung von Wasser in Untertagegasspeichern durch Behandlung von mechanisch vorgereinigten und entwässerten Wasser, dessen Injektion in Gas und die anschließende Einspeisung des wasserhaltigen Gases in Untertagegasspeicher aus porösen Gesteinsformationen, dadurch gekennzeichnet, dass durch das Wasser zur Entgasung und Entkeimung in einer Kolonne Wasserdampf geleitet wird, das Wasser anschließend in den einzuspeichernden Gasstrom, der eine Temperatur in der Nähe der Speichertemperatur aufweist, eingeführt wird, in einer solchen Menge, dass die Sättigungsgrenze im Gas unter Speicherbedingungen fast erreicht oder übertroffen wird, und das mit dem Wasser beladene Gas unter Druck in die Bohrungen des Untertagegasspeichers eingespeist wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Wasserdampf thermisch im unteren Teil der Kolonne (im Kolonnensumpf) erzeugt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wasserdampfbehandlung zur Entkeimung bei Temperaturen von 100 bis 125 °C erfolgt.
4. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wasserpartikel durch Eindüsung in den einzuspeichernden Gasstrom eingeführt werden und einen mittleren Partikeldurchmesser von kleiner als 100 Mikrometer, vorzugsweise kleiner 30 Mikrometer aufweisen.
5. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die eingeführte Wassermenge zu 89 bis 200 Prozent, vorzugsweise 100 bis 130 Prozent, der Sättigung des Gasstromes bei Speichertemperatur und -druck führt.

Darüber hinaus hat das Patent weitere 5 Unteransprüche, davon 2 Vorrichtungsansprüche zur Ausführung der Kolonne.

*Abschließend soll noch die Frage erörtert werden, worin die Vorzüge und die erfinderische Leistung der Erfindung im Vergleich zum Stand der Technik gesehen wurden.*

*Als Antwort sei der folgende Auszug aus der Beschreibung der technischen Lösung in der Patentschrift angeführt.*

Für die Vermeidung und Beseitigung von Salzablagerungen in Gaspeicher ist besonders vorteilhaft, wenn der einzuspeichernde Gasstrom annähernd Speichertemperatur besitzt und die Wasserinjektion betreffs Menge und Art der Einführung derart erfolgt, dass die Sättigungsgrenze des Wassers im Gas unter Speicherbedingungen fast erreicht oder übertroffen wird.

Durch diese erfindungsgemäßen Maßnahmen kann erreicht werden, dass das zunächst in den Gasstrom verdampfte Wasser auf dem Weg in den Untertagegasspeicher, zum Beispiel wegen des zunehmenden statischen Druckes oder einer Temperaturabkühlung, teilweise wieder auskondensiert.

Im Unterschied zu den bekannten Verfahren der einfachen Zudosierung von Süßwasser in den Gasstrom, ohne ausreichend Beachtung der physikalischen Bedingungen Ober- und Untertage, werden durch das erfindungsgemäße Verfahren feinste Wassertröpfchen kurz vor Eintritt bzw. erst innerhalb des Speichergesteins erzeugt.

Derartige Wasserpartikel wirken wie Aerosole und gelangen zusammen mit dem Gas in feinster Nebel auch in kleinste Poren, Kapillaren u.ä. engste Hohlräume. Somit werden insbesondere die kleinsten Hohlräume im Gestein, die zuerst zur Verstopfung neigen, freigehalten und auch andere Hohlräume, die nahezu verstopft sind und nur noch eine geringe Gasdurchlässigkeit aufweisen, wieder von Salzablagerungen gereinigt.

Die sehr kleinen Tropfendurchmesser im Mikrometerbereich sind in der Gasphase homogen verteilt und verhalten sich ähnlich fluid wie Gas.

Eine Verschlechterung der Gasdurchlässigkeit durch freies Wasser, wie bei den bekannten Verfahren, tritt nicht auf.

Ferner tritt das Problem der Kanal- oder Kurzschlusströmung, wie es bei normalen Gas-Flüssigkeitsströmungen in porösen Feststoffen bzw. Schüttsschichten bekannt ist, nicht auf.

Die Nebelbildung erst kurz vor Eintritt bzw. innerhalb des Gesteins verhindert auch die Gefahr der Tropfenkoagulation, die bei den bekannten Verfahren zum Beispiel an der Innenwandung des Bohrrohres gegeben ist.

*Das in Deutschland angemeldete Patent, das ein rein physikalisches Verfahren beinhaltet, wurde mit gleichem Wortlaut als Patentschrift DE 19903508 C1 – „Verfahren zur Aufbereitung und Einspeisung von Wasser in Untertagegasspeicher“ erteilt und ohne Einsprüche rechtskräftig.*

## Literatur

- [1] Sattler K, Kasper W (2000) Verfahrenstechnische Anlagen: Planung, Bau und Betrieb, Wiley-VCH Verlag, Weinheim
- [2] Wagner W (2009) Planung im Anlagenbau, Vogel Verlag, Würzburg
- [3] Weber K H (2008) Dokumentation verfahrenstechnischer Anlagen. Praxishandbuch mit Checklisten und Beispielen, Springer-Verlag, Berlin
- [4] DIN EN 61355 (IEC 61355), Klassifikation und Kennzeichnung von Dokumenten für Anlagen, Systeme und Einrichtungen
- [5] DIN 28000, Chemischer Apparatebau – Dokumentation im Lebensweg von Prozessanlagen  
Teil 1: Erfassung der grundlegenden und ergänzenden Dokumentation  
Teil 2: Inhalte der Dokumentation
- [6] DIN ISO 7200, Technische Produktdokumentation – Datenfelder in Schriftfeldern und Dokumentenstammdaten
- [7] DIN EN ISO 10628: Fließschemata für verfahrenstechnische Anlagen, Allgemeine Regeln
- [8] DIN 28000, Chemischer Apparatebau – Dokumentation im Lebensweg von Prozessanlagen  
Teil 3: Fließschemata und Anlagenkennzeichnung
- [9] Richtlinie 2006/42/EG (Maschinen-Richtlinie – MRL) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17.05.2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG
- [10] DIN 28000, Chemischer Apparatebau – Dokumentation im Lebensweg von Prozessanlagen  
Teil 4: Graphische Symbole für Armaturen und Rohrleitungen
- [11] Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure – HOAI) vom 10.07.2013
- [12] Früh K F (Hrsg) (2009) Handbuch der Prozeßautomatisierung – Prozessleitechnik für verfahrenstechnische Anlagen, Oldenbourg Industrieverlag, München
- [13] Gudehus T (2010) Logistik – Grundlagen, Strategien, Anwendungen, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg

- [14] Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG) vom 24.02.2012 (BGBl. I S. 212)
- [15] Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV) vom 26.11.2010 (BGBl. I S. 1643)
- [16] Verordnung zur Neuregelung der Anforderungen an den Arbeitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln und Gefahrstoffen – *Artikel 2*: Änderung der Gefahrstoffverordnung vom 03.02.2015 (BGBl. I S. 49)
- [17] Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH-Verordnung) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18.12.2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH) (ABl. L 396)
- [18] Entwurf der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV) vom 31.08.2012
- [19] Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Wasserhaushaltsgesetz über die Einstufung wassergefährdender Stoffe (Verwaltungsvorschrift wassergefährdender Stoffe – VwVwS) vom 17.05.1999
- [20] Verordnung über die Nachweisführung bei der Entsorgung von Abfällen (Nachweisverordnung – NachwV) vom 20.10.2006 (BGBl. I S. 2298)
- [21] Informationsmaterial Patentinformationszentrum, Technische Universität Dresden, <http://www.tu-dresden.de/piz/>
- [22] Patentgesetz (PatG) vom 16.12.1980 (BGBl I S. 1981)
- [23] Gesetz über den rechtlichen Schutz von Design (Designgesetz – DesignG) vom 24.02.2014 (BGBl. I S.122)
- [24] Gesetz über den Schutz von Marken und sonstigen Kennzeichen (Markengesetz – MarkenG) vom 25.10.1994 (BGBl. I S. 3082)
- [25] Gebrauchsmustergesetz (GebrMG) vom 28.08.1986 (BGBl. I S. 1455)
- [26] Google Patents: <https://patents.google.com>
- [27] Patent Lens: <https://www.lens.org>
- [28] Richtlinie für die Prüfung von Patentanmeldungen (Prüfrichtlinien DPMA vom 01.03.2004, [www.dpma.de/docs/service/formulare/patent/p2796.pdf](http://www.dpma.de/docs/service/formulare/patent/p2796.pdf))
- [29] Verordnung zum Verfahren in Patentsachen vor dem Deutschen Patent- und Markenamt (Patentverordnung – PatV) vom 01.09.2003 (BGBl. I S. 1702)
- [30] Patentschrift DE 199 03 508 C1: Verfahren zur Aufbereitung und Einspeisung von Wasser in Untertagespeicher, Veröffentlichungstag: 10.08.2000

## 4 Entwurfsplanung (Basic Engineering)

### 4.1 Begriffsdefinitionen, Aufgaben, Trends

Die **Entwurfsplanung** (Basic Engineering) umfasst die Verfahrensplanung (Basic Design) und die Erarbeitung eines verbindlichen Gesamtentwurfs für die Anlage und Technik sowie für die Abwicklung des Projekts. Sie entspricht der 3. Phase im Anlagen-Phasenmodell gemäß Abschn.1.2.

Die Entwurfsplanung führt keine grundlegenden Variantenbetrachtungen mehr durch. Dies war Gegenstand der Vorplanung. Sie greift vielmehr die während der Vorplanung erarbeiteten Lösungsvorschläge auf und gestaltet sie planerisch soweit aus, dass auf Basis der Engineering-Dokumente

- die *Investitionsentscheidung* (Investitionskostenermittlung, Wirtschaftlichkeitsberechnung) fundiert vorbereitet werden kann,
- der *Genehmigungsantrag* erarbeitet und das *Genehmigungsverfahren* durchgeführt werden können,
- die *Ausführungsplanung* (Detail Engineering) und insbesondere die detaillierten *Fachplanungen* möglich sind,
- die *Bestellung terminkritischer Lieferungen und Leistungen* vor der Investitionsentscheidung durchgeführt werden kann.

Entsprechend diesen Anforderungen, die an das Basic Engineering gestellt werden, sind folgende Planungsleistungen zu erbringen:

#### a) Durchführen der Verfahrensplanung und erarbeiten der Verfahrensunterlagen

Die **Verfahrensplanung** (Basic Design) umfasst die Erarbeitung projektspezifischer, insbesondere kapazitäts- und standortbezogener Verfahrensunterlagen.

- Die Verfahrensplanung wird im Basic Engineering (im Unterschied zu den anderen Fachdisziplinen) schon weitgehend abgeschlossen, da die Ergebnisse u.a. benötigt werden für
  - die Ermittlung der Investitionskosten (z. B. mittels Zuschlagfaktorenmethode ausgehend von den Kosten der Hauptausrüstungen) und der Betriebskosten (ausgehend von Verbräuchen und spezifischen Kosten),
  - die Durchführung der Risikobeurteilung hinsichtlich Gesundheit-Sicherheit-Umweltschutz (GSU bzw. HSE) (z. B. für das Entwurfstestat),
  - die Erarbeitung des Explosionsschutzdokuments und des Brandschutzkonzepts,
  - die Durchführung von Ausbreitungsrechnungen für Schadstoffe,

- die Erarbeitung des Genehmigungsantrags (z. B. stoffliche und verfahrensspezifische Gefährdungen, Emissionen, Sicherheitsbetrachtungen, gegebenenfalls auch Sicherheitsbericht, Inbetriebnahme-/Außerbetriebnahmeverträge) sowie für die Begleitung im Genehmigungsverfahren,
  - die 3D-Anlagenplanung und als Vorgabe für die Fachplanungen der Gewerke,
  - die Auswahl der Werkstoffe, insbesondere unter Berücksichtigung möglicher Korrosionsgefährdungen,
  - die Erarbeitung von Anfragespezifikationen für die Bestellung termin-/lieferkritischer Anlagenkomponenten (z.B. Spezialapparate, -maschinen, Sonderarmaturen, Rohrleitungssonderteile),
  - die fundierte und verbindliche Projektplanung (Budget, Termine, Partner, Verantwortlichkeiten, Zuständigkeiten, Risiken u.a.) in Vorbereitung der Investitionsentscheidung.
- Zentrale und wichtigste Dokumentenart der Verfahrensplanung sind die **Rohrleitungs- und Instrumentenfließschemata(-fließbilder)** (R&I-FB), die am Ende des „Basic“ alle Prozessinformationen enthalten und auch sonst schon sehr detailliert ausgeführt sind.

- b) Fortführen der 3D-Planung vom Grob-Anlagenlayout zum 3D-Anlagenentwurf
- Die 3D-Planung wird parallel zur Fließschemaarbeit fortgeführt und ist zunehmend die ganzheitliche Planungsgrundlage für alle Gewerke.
  - Der 3D-Anlagenentwurf dient zur Präsentation der Anlage (optisch, baulich, betrieblich, sicherheitstechnisch) während des Genehmigungsverfahrens.
  - Die 3D-Anlagenplanung wird u.a. benötigt für Schallprognosen und das Schallschutzkonzept sowie für ggf. notwendige Schwingungsstudien.
- c) Entwurfsplanung für Fachdisziplinen Bau, PLT, TGA, Logistik inkl. Abfallentsorgung und für die Infrastrukturmaßnahmen
- Die Planungstiefe hängt wesentlich von den benötigten Informationen für die Kostenermittlung und für die Genehmigung ab.
  - Nach HOAI [1] beträgt z.B. der Anteil der Bau-Entwurfsplanung für das Leistungsbild *Ingenieurbauwerke* am Gesamthonorar *25 Prozent*; im Leistungsbild *Technische Ausrüstung* wird für die Entwurfsplanung *17 Prozent* angegeben.
  - In Projekten, die von Anfang an nicht sicher sind, wird für den Konzeptabschnitt eine möglichst geringe Planungstiefe angestrebt.
- d) Beachtung von Aspekten einer montage-, inbetriebnahme- und instandhaltungsgerechten Planung bei allen Engineeringarbeiten in dieser Phase
- e) Ausführungsplanung und Procurement für Prozessapparate u.a. lieferkritische Anlagenkomponenten
- Beispielsweise Konstruktion inkl. Werkstoffwahl und Festigkeitsberechnung für Reaktoren, Kolonnen, Wärmeübertrager usw..
  - Einholen verbindlicher Angebote von potentiellen Herstellern/Lieferanten dieser Komponenten.

Die Planungskosten für das Basic Engineering verfahrenstechnischer Anlagen betragen ca. 20 bis 25 Prozent der gesamten Engineeringkosten.

Insgesamt ist diese Phase, sowohl als Basis für die Investitionsentscheidung als auch als Grundlage für das Pflichtenheft bzw. die Ausschreibung zur Anlagenrealisierung sehr wichtig.

Die gegenwärtigen Trends

- zur *Front-End-Loading-Strategie* bei der Projektabwicklung,
- dass *Projekte in kurzer Zeit, schnittstellenarm und zum Pauschalpreis*, z.B. über einen **LSTK-Vertrag** (Generalvertrag), realisiert werden sollen,
- dass *Projekte weltweit und auch weltweit-arbeitsteilig* abgewickelt werden,
- dass die *Genehmigungsverfahren aufwendiger* werden und *länger* dauern

machen die Entwurfsplanung immer wichtiger und umfangreicher. In vielen Projekten wird heute ein sog. *Extended Basic* erarbeitet (s. Abschn. 4.4).

Ferner gehen aus diesen Gründen die Investoren nicht selten, bereits vor Erteilung der Genehmigung und vor der Gesamtbudget-Freigabe, ins Risiko und beginnen in erheblichem Umfang mit dem Detail Engineering.

Die kumulierten Engineeringleistungen am Ende der Entwurfsplanung (sog. Planungstiefe bzw. Planungsgrad) verfahrenstechnischer Anlagen machen ca. 25 bis 40 Prozent der Gesamt-Engineeringkosten aus; Tendenz steigend.

## 4.2 Ausführen der Entwurfsplanung

Die nachfolgende Untergliederung erfolgt analog zu Kapitel 3 (Vorplanung) nach Fachdisziplinen, da die Ablauffolge ähnlich ist und die Entwurfsplanung auf den Ergebnissen der Vorplanung aufsetzt. Damit erscheint die Zuordnung der Engineeringleistungen zwischen den Phasen 2 und 3 eindeutig. Querverweise werden nur in besonderen Fällen angegeben.

### 4.2.1 Verfahrensplanung (Basic Design)

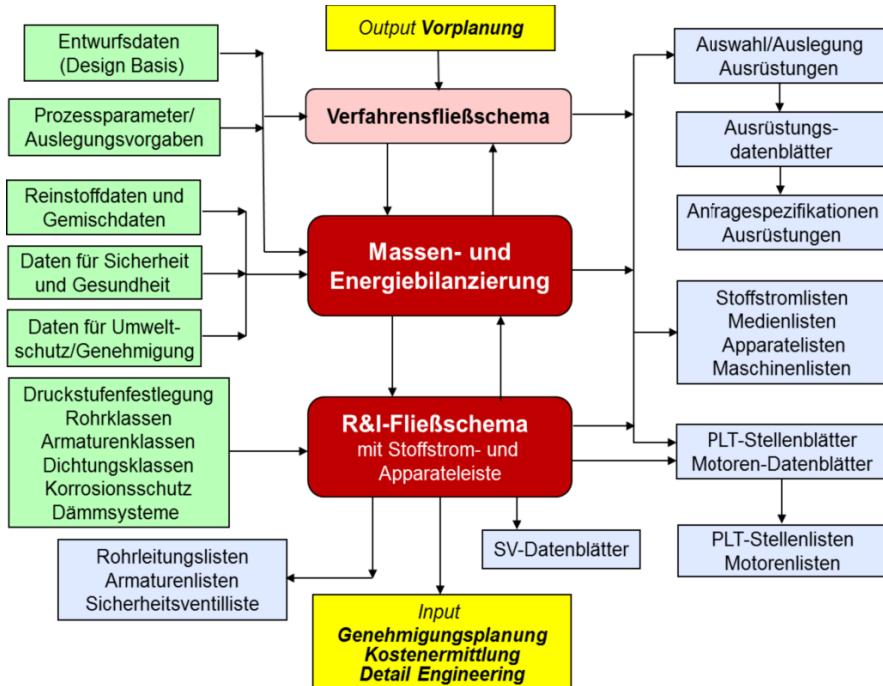
Auf Grund der großen Planungstiefe *Verfahrenstechnik* im „Basic“, die zum großen Teil schon fachspezifische Ausführungsunterlagen liefert, wird im vorliegenden Buch bewusst nicht der Begriff *Verfahrensentwurfsplanung* gebraucht, sondern allgemeiner der Begriff *Verfahrensplanung* benutzt.

Das Basic Design beinhaltet schon wesentliche Teile der verfahrenstechnischen Ausführungsplanung, aber auch nicht Alles (s. auch Abschn. 7.2.1).

Eine Übersicht zur Verfahrensplanung während des Basic Engineering, die nachfolgend fachlich näher erläutert wird, ist in Abb. 4.1 dargestellt.

Das Input sind zunächst die Ergebnisse der Vorplanung, wie

- Grund- und Verfahrensfließschemata,
- Grobbilanzierung der Masse- und Energieröme,
- Hauptabmessungen der ausgewählten Apparate und Behälter,



**Abb. 4.1** Ablauf und Ergebnisse der Verfahrensplanung

- ausgewählte Maschinentypen,
- erste angelegte Datenblätter und Listen für Ausrüstungen und PLT-Stellen.

Weiterer Input sind:

- die Entwurfsdaten (Design Basis) und Auslegungsvorgaben des Lastenhefts,
- die ermittelten Verfahrensparameter,
- Stoffdaten für Einzelstoffe und Gemische (zur Überprüfung der Bilanzierungstools),
- die Vorgaben/Daten für GSU (Gesundheit-Sicherheit-Umweltschutz) aus dem Lastenheft,
- die zulässigen Grenzwerte für Emissionen,
- die Festlegungen zu Druckstufen, Rohr-, Armaturen-, Dichtungsklassen u.ä.
- die Legende (Grafische Symbolik) für Darstellung auf Fließschemata,
- die Software-Tools zur Fließschemearstellung und
- die Software-Tools zur Massen- und Energiestrombilanzierung sowie zur Auslegung der Ausrüstungen.

Im Ergebnis der *Fließschemearbeit*, die den Arbeitsschwerpunkt darstellt, und im Zusammenwirken mit der *Massen- und Energiestrombilanzierung*, werden erarbeitet:

- ausführliche R&I-Fließschemata,
- Schemata für Massen- und Energiestrome inkl. zugehöriger Daten,
- ausführliche Stoffstromlisten inkl. Nebenprodukte und Spurenelemente,

- komplettierte Ausrüstungsdatenblätter und Ausrüstungslisten,
- ergänzte Datenblätter für PLT-Stellen und Motoren,
- Datenblätter für Sicherheitsventile mit Prozessbedingungen,
- Datengrundlagen für Rohrleitungs- und Armaturenlisten,
- Datengrundlagen für die Erarbeitung des Explosionsschutzdokuments, des Brandschutzkonzepts, der Risikobeurteilungen u.a. Planungsleistungen.

Welche Arbeiten dabei zu erledigen und welche Erfahrungen zu berücksichtigen sind, wird in den folgenden Abschnitten näher erörtert.

#### **4.2.1.1 Fließschemaarbeit inklusive Beschreibung**

Die Fließschemaarbeit während der Entwurfsplanung beinhaltet hauptsächlich die Erarbeitung der Rohrleitungs- und Instrumentenfließschemata (R&I), aber auch die Pflege der Verfahrensfließschemata (VF) für die Genehmigungsplanung.

Das R&I ist nach [2] wie folgt definiert:

Das **Rohrleitungs- und Instrumentenfließschema (R&I-Fließschema)** (Piping and instrument diagram (P&ID)) basiert auf dem Verfahrensfließschema und illustriert durch grafische Symbole für Anlagenteile und Rohrleitungen sowie grafische Symbole für die Mess-, Regel- und Steuerfunktionen die technische Realisierung eines Verfahrens.

Die auf den R&I-Schema enthaltenen Grund- und Zusatzinformationen sind in Tabelle 4.1 zusammengestellt.

**Tabelle 4.1** Informationen auf den Rohrleitungs- und Instrumentenfließschema [2][3]

Grundinformationen	Zusatzformationen
<p>a) Funktion und Art der Apparate und Maschinen, einschließlich Antriebsmaschinen, Fördereinrichtungen und installierte Reserve</p> <p>b) Identifikations-Nummer der Apparate und Maschinen einschließlich Antriebsmaschinen</p> <p>c) Kennzeichnende Größen von Apparaten und Maschinen, gegebenenfalls in Form getrennter Listen</p> <p>d) Bezeichnung von Nennweite, Druckstufe, Werkstoff und Ausführung der Rohrleitungen, z. B. durch Rohrleitungsnr. und Rohrleitungsklasse oder Identifikations-Nummer</p> <p>e) Angaben zu Apparaten, Rohrleitungen und Armaturen</p> <p>f) Mess-, Regel- und Steuerfunktionen mit Identifikations-Nummer</p> <p>g) Kennzeichnende Daten von Antriebsmaschinen, gegebenenfalls in Form getrennter Listen</p>	<p>a) Benennung und Durchflüsse bzw. Mengen von Energie bzw. Energieträgern</p> <p>b) Fließweg und Fließrichtung von Energien bzw. Energieträgern</p> <p>c) Art wichtiger Geräte für Messen, Steuern, Regeln</p> <p>d) Wesentliche Werkstoffe von Apparaten und Maschinen</p> <p>e) Plattformhöhe und ungefähre relative vertikale Position der Anlagenteile</p> <p>f) Referenzkennzeichnung von Armaturen</p> <p>g) Benennung von Anlagenteilen</p>

Das R&I ist die zentrale Dokumentenart in der Anlagenplanung. Es veranschaulicht nicht nur das Verfahren und die Funktion der Anlage, sondern beinhaltet auch eine Vielzahl von technischen Detailinformationen über unterschiedlichste Anlagenkomponenten.

Das R&I ist Arbeitsunterlage für den Planer, aber auch für die Baustellenabwicklung und insbesondere für die Inbetriebnahme.

Der Trend der letzten Jahre war und ist, immer mehr Informationen auf den R&I darzustellen.

Aus diesen Gründen gilt:

*Jeder Fachingenieur im Projekt (im Betrieb auch die Meister- und Operatorebene) muss R&Is lesen können und verstehen.*

*Dies erfordert vor allem, dass er bzw. sie die „Sprache“, sprich die Symbolik verstehen.*

Vor Beginn der R&I-Arbeit sind in einer Legende 1 die häufig gebrauchten *Grafischen Symbole* zu definieren und in einer Legende 2 die *Identifizierung und Strukturierung aller R&I-Fließschemata* der zu planenden Anlage durchzuführen. Insbesondere das Letztere wird mitunter versäumt.

### a) Grafische Symbole für Fließschemata (Legende 1)

Die grafischen Symbole für die Fließschemata und andere zeichnerische Darstellungen einzelner Gewerke sind in Normen (s. Tab. 4.2) angegeben.

**Tabelle 4.2** Ausgewählte Normen mit Angaben zu graphischen Symbolen für die Darstellung auf Fließschemata

Norm	Titel und Inhalt	
DIN EN ISO 10628	Fließschemata für verfahrenstechnische Anlagen	
	Anhang C.4.2	Graphische Symbole für Anlagenteile, Maschinen und Rohrleitungen <u>Bem.:</u> inkl. Armaturen ohne / mit Sicherheitsfunktion, Rohrleitungsteile, Rohrleitungsbeheizung, Mauerwerk, Sonderzeichen u.ä.
	Anhang D.2	Kennbuchstaben für Apparate und Maschinen
	Anhang D.3	Kennbuchstaben für Armaturen
	Anhang D.4	Kennbuchstaben für Rohrleitungen
	Anhang D.5	Kennbuchstaben für Messen, Steuern, Regeln
DIN 28000	Chemischer Apparatebau – Dokumentation im Lebensweg von Prozessanlagen	
	Teil 3:	Fließschemata und Anlagenkennzeichnung
	Teil 4:	Graphische Symbole für Armaturen und Rohrleitungen
DIN EN 62424 VDE 0810-24	Darstellung von Aufgaben der Prozessleittechnik – Fließbilder und Datenaustausch zwischen EDV-Werkzeugen zur Fließbilderstellung und CAE-Systemen	

**Tab. 4.2** (Fortsetzung)

DIN 2429	Graphische Symbole für technische Zeichnungen; Rohrleitungen
DIN EN 61082	Dokumente der Elektrotechnik
EN 60617	Graphische Symbole für Schaltpläne
DIN 1356-1	Bauzeichnungen Teil 1: Arten, Inhalte und Grundregeln der Darstellung

Beispielsweise wird in der DIN 28000-3 [3] in Abschnitt 4 (Klassifikation, Informationsgehalt und Darstellung von Fließschemata) vorgegeben:

Alle Apparate, Maschinen, Fließlinien (Rohrleitungen, Transportwege) und Armaturen sind nach DIN EN ISO 10628 darzustellen.

Die Anlagenteile können nach Anhang B (d. Verf.: Aufbau einer Anlagenkennzeichnung) bezeichnet werden.

Die Aufgabenstellung für Messen, Steuern, Regeln ist nach IEC 62424 darzustellen.

In den folgenden Tabellen sind aus der DIN 28000-3 Vorschläge zur Kennzeichnung von Anlagen, Teilanlagen und Anlagenkomponenten (Equipments) zusammengestellt.

**Tabelle 4.3** Kennbuchstaben für ANLAGE nach Anhang C.1[3]

Kennung	Gruppe	Group
A	Abgas-, Abwasser-, Abfall-Entsorgungsanlage	Disposal system for exhaust gas, waste water, waste
E	Energieversorgungsanlage	Energy supply system
F	Forschungsanlage (Labor, Technikum)	Research facility (laboratory, pilot plant station)
K	Kanalnetz außerhalb des Gebäudes	Channel system outside the building
P	Rohrbrücke, -netze außerhalb des Gebäudes	Pipe rack or pipeline system outside the building
S	Speicher-, Lager <sup>a</sup> , Tank-, Abfüllanlage	Storage system <sup>a</sup> , fuelling system, tank farm, filling system
V	Verfahrenstechnische Produktionsanlage	Chemical and process plant
X	Sonstige funktionale Anlagenkomplexe/Anlagen	Other functional industrial complexes/systems

<sup>a</sup> Außer Lager für technische Ausrüstungsteile.  
Except for stores for technical accessories.

**Tabelle 4.4** Kennbuchstaben für TEILANLAGE nach Anhang C.2 [3]

Kennung	Gruppe	Group
A	Abgas-, Abwasser-, Abfall-Entsorgungsteilanlage	Disposal subsystem for exhaust gas, wastewater, waste
B	Bau, Gebäude	Building, construction
D	Destillation	Distillation
E	Energieversorgungsteilanlage	Energy supply subsystem
H	Hilfseinrichtung <sup>a</sup>	Auxiliary facility <sup>a</sup>

**Tab. 4.4** (Fortsetzung)

K	Kanalnetz innerhalb des Gebäudes	Channel system inside the building
N	Nachrichtentechnische Anlage	Telecommunication system
L	Leittechnische Anlage	Process control system
P	Rohrbrücke, -netz innerhalb des Gebäudes	Pipe rack or pipeline system inside the building
R	Reaktion	Reaction
S	Speicher-, Lager. <sup>b</sup> , Tank-, Abfüllteilanlage	Storage subsystem <sup>b</sup> , fuelling subsystem, tank farm, filling subsystem
T	Teilanlage allgemein	Subsystem in general
V	Verpacken	Packing
X	Sonstige funktionale Anlagenkomplexe/Anlagen	Other functional industrial complexes/systems
Z	Zerkleinern	Size reduction, comminution

<sup>a</sup> Technisch mechanische Einrichtungen, die sich in anderen Kennbuchstaben nicht eindeutig zuordnen lassen (z. B. Hebezeuge, Flurförderzeuge).  
 Technical-mechanical facilities which cannot be clearly attributed to other code letters (e.g. lifting/holisting equipment, industrial trucks).

<sup>b</sup> Außer Lager für technische Ausrüstungsteile.  
 Except for stores for technical accessories.

**Tabelle 4.5** Kennbuchstaben für APPARATE/MASCHINEN nach Anhang C.3 [3]

Kennung	Gruppe	Code	Group	Nummer <sup>a</sup> Number <sup>a</sup>
BE	Behälter und Tank	VE	Vessel and tank	5 ohne 5.27
BR	Rührbehälter	VA	Agitated Vessel	5.27
KO	Kolonne mit Einbauten	CO	Column with internals	6
WT	Wärmeaustauscher	HE	Heat exchanger	7
DE	Dampferzeuger, Ofen, Rück-kühlapparat	SG	Steam generator, furnace, recooling device	8
KT	Kühlturm	CT	Cooling tower	10
FL	Filter, Flüssigkeitsfilter, Gasfilter	FL	Filter, liquid filter, gas filter	11
SA	Siebapparat und Rechen	SD	Screening device, sieve and rake	12
SB	Abscheider	SE	Separator	13
ZE	Zentrifuge	CE	Centrifuge	14
TR	Trockner	DR	Drier	15
ZM	Zerkleinerungsmaschine	GM	Crushing/Grinding machine	16
MK	Mischer/Kneter	MK	Mixer/Knader	17
FV	Formgebungsmaschine — Verarbeitung in vertikaler Richtung	SV	Shaping machine — processing in vertical direction	18
FH	Formgebungsmaschine — Verarbeitung in horizontaler Richtung	SH	Shaping machine — processing in horizontal direction	19
PL	Flüssigkeitspumpe	PL	Liquid pump	20
PC	Kompressor, Verdichter, Vakuumpumpe	PC	Compressor, vacuum pump	21

**Tab. 4.5** (Fortsetzung)

PG	Gebläse, Ventilator	PG	Blower, fan	22
TE	Hebe-, Förder- und Transport-einrichtung	TE	Lifting, conveying and transport equipment	23
WA	Waage	SC	Scale	24
ZE	Zuteil-, Verteileinrichtung	FE	Proportioner, feeder and distribution facilities	25
AM	Kraft- und Arbeitsmaschine	EN	Engine	26
RW	Rührer	AG	Agitator, stirrer	53

<sup>a</sup> Abschnittsnummerierung nach ISO/CD 10628-2.  
Numbering of paragraphs to ISO/CD 10628-2.

**Tabelle 4.6** Kennbuchstaben für ARMATUREN nach Anhang C.5 [3]

Kennung	Gruppe	Group	Nummer <sup>a</sup> Number <sup>a</sup>
VV	Armatur	Valve	27 ohne 27.14
VC	Regelventil	Control Valve	27.14
VH	Rückschlagarmatur	Check valve	28
VY	Armatur mit Sicherheitsfunktion	Valves and Fittings with safety function	29
VG	Schauglas	Viewing glass	30.1, 30.2
VT	Kondensatableiter	Steam Trap	30.15
VS	Schalldämpfer	Silencer	30.3
VF	Sieb, Schmutzfänger	Strainer	30.6, 30.7
VB	Scheibe	Plate, disk	30.8, 30.9

<sup>a</sup> Abschnittsnummerierung nach ISO/CD 10628-2.  
Numbering of paragraphs to ISO/CD 10628-2.

**Tabelle 4.7** Kennbuchstaben für ROHRLEITUNGEN nach Anhang C.6 [3]

Kennung	Gruppe	Group
LP	Rohr, Rohrleitung, Leitungskanal	Pipe, pipeline, duct
LR	Rohrleitungsteil	Piping item
LS	Schlauch	Hose
LT	Rinne (offen), Graben	Conduit (open), trench
LU	Kanal (unterirdisch)	Channel (underground)

Zur vollständigen Kennzeichnung von Rohrleitungen sind zusätzlich zu den Buchstaben in Tab. 4.7 noch die **Rohrklasse** anzugeben (s. Abschn. 4.2.2.1).

Detaillierte Vorschläge für grafische Symbole von Armaturen und Rohrleitungen, ergänzend zu Tabellen 4.6 und 4.7, sind in [4] enthalten.

Ein Praxisbeispiel, wie die für die Fließschemaarbeit angewandte Kennzeichnung und Symbolik für Anlagenkomponenten zweckmäßig in einer Legende 1 zusammengestellt werden kann, zeigt Abb. 4.2.

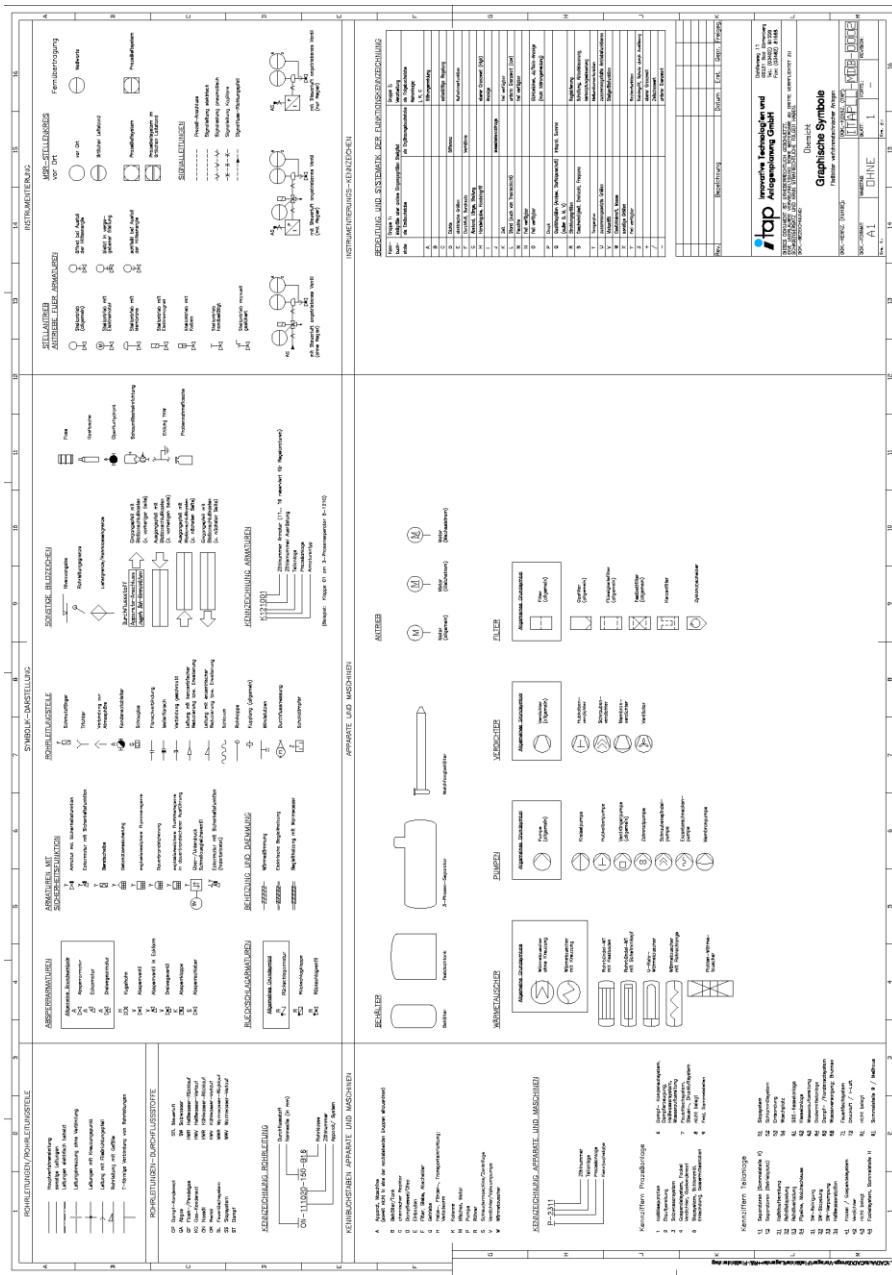


Abb. 4.2 Legende „Grafische Symbole für Fließschemata“ (Praxisbeispiel)

Für das Zeichnen der Fließschemata mittels R&I-Tools werden umfangreiche Symbolbibliotheken genutzt, wie beispielhaft in Abb. 4.3 dargestellt.

50AA01 	50VR01 	50VE01 	50AH01 	50AK01 	50AK05 	50AV01 	50AV02 
Absperrarmatur allgemein	Rückschlagventil	Absperventil	Absperrhahn allgemein	Absperrkugelhahn	Absperrkegelhahn	Über- / Unterdruck-Ausgleichsventil	Über- / Unterdruck-Ausgleichsventil
50AA02 	50VR03 	50VE02 	50AH02 	50AK02 	50AK06 	50MKH1 	50MKH2 
Absperrarmatur in Eckform allg.	Rückschlagventil in Eckform	Absperventil in Eckform	Absperrhahn in Eckform allg.	Absperrkugelhahn in Eckform	Absperrkegelhahn in Eckform	Molkugelhahn	Molkugelhahn
50AA03 	50VR04 	50VE03 	50AH03 	50AK03 	50AK07 	50MKH3 	53BS01 
Dreiwegearmatur allgemein	Rückschlagventil (Dreiwege)	Dreiwegeventil	Dreiwegehahn allgemein	Dreiwegekugelhahn	Dreiwegekegelhahn	Molkugelhahn	Berstscheibe
50AA04 	50VR05 	50VE04 	50AH04 	50AK04 	50AK08 	50AS01 	53BS02 
Vierwegearmatur allgemein	Freilauf- Rückschlagventil (Mindestmengenventil)	Vierwegeventil	Vierwegehahn allgemein	Vierwegekugelhahn	Vierwegekegelhahn	Absperrschieber allgemein	Brandschutzklappe
50AR01 	50AR02 	50VE05 	50FS01 	50KP01 	50KP02 	50KP03 	50KP04 
Rückschlagarmatur allgemein	Rückschlagarmatur in Eckform allg.	Absperventil (federbeloset)	Flüssigkeitssperre	Kompensator allg.	Welirohrkompensator	Lyrakompensator	Kompensator

Abb. 4.3 Auszug aus einer Symbolbibliothek ARMATUREN

Während die Symbol-Darstellungen für Apparate, Maschinen, Rohrleitungen und Armaturen in der Praxis weitgehend einheitlich gehandhabt wird, ist die Darstellung der MSR-Feldgeräte (Symbole) und MSR-Funktionen (Signalwege), in vielen Projekten noch unterschiedlich (s. auch Tabelle 4.8 und 4.9 dieses Abschnitts).

Eine darstellerische Möglichkeit der MSR-Technik, wie sie der Autor häufig genutzt hat, ist im Beispiel 4.1 dargestellt; aber mit Anwendung der DIN EN 62424 [6] (s. Beispiel 4.2) wird sich die Fließschemaarbeit gravierend ändern.

#### Beispiel 4.1 Darstellung von MSR-Funktionen und MSR-Feldgeräten im R&I-Fließschema (Praxisbeispiel)

In Abb. 4.4 ist die rechte Kammer eines Schwerkraft-Abscheiders für ein Öl-Wasser-Gemisch dargestellt.

Die über das Wehr abgeschiedene leichtere Ölphase wird mit Hilfe des Betriebsdrucks von ca. 5 barü über die Regelklappe LV 110072 in einen nachfolgenden Stapeltank gefördert.

Die dargestellten MSR-Funktionen und MSR-Geräte (-Bausteine, -Elemente) lassen sich, unterteilt in prozessgerichtete und sicherheitsgerichtete, wie folgt beschreiben:

##### a) Prozessgerichtete bzw. prozessrelevante Funktion

1) Der LICA HL-110024 regelt den Stand in der Kammer über die Regelklappe LV 110072 mit einem Doppel-Schenkantrieb.

Zu diesem Zweck wird das primäre Signal des Füllstand-Sensors 110024 zum Regler 110024 in der Automatisierungsstation übertragen und im Regler entsprechend der Regelabweichung ein 0-20 mA-Ausgangssignal erzeugt.

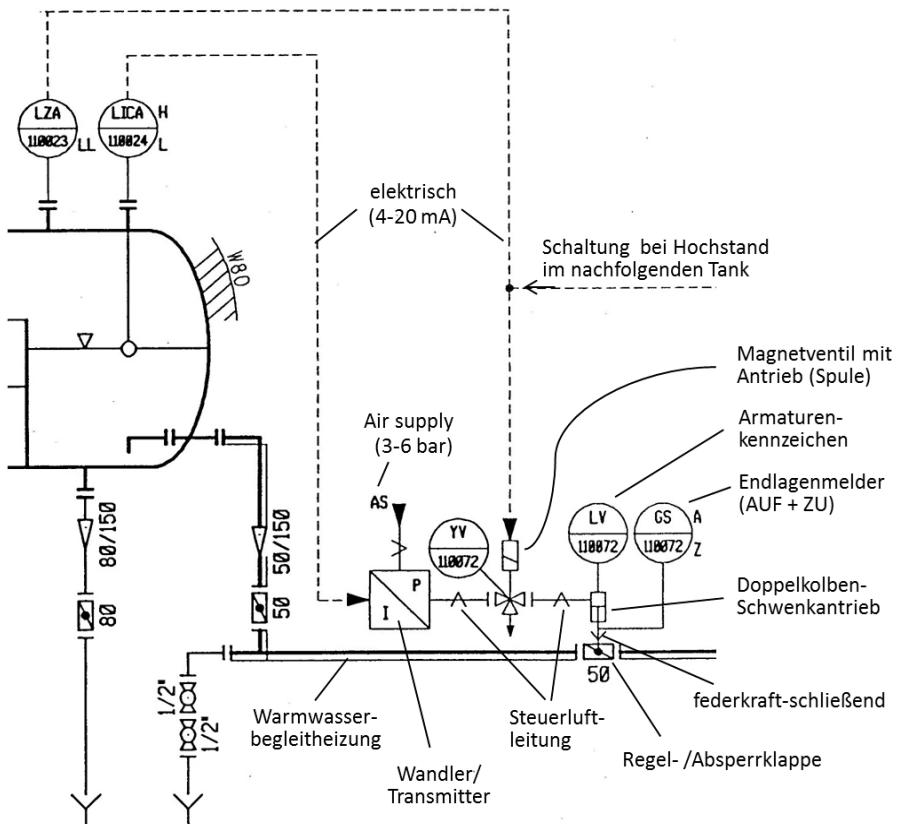


Abb. 4.4 Darstellung von MSR-Funktionen und MSR-Feldgeräten im R&I-Fließschema

- 2) Das Ausgangssignal des Reglers wird zurück ins Feld zum Wandler übertragen und im Wandler in ein pneumatisches Einheitssignal umgeformt. Der Wandler wird mit Steuerluft mit einem Druck von 3 bis 6 barü beaufschlagt.
- 3) In Abhängigkeit von der Regelabweichung wird somit am Austritt des Wandlers ein unterschiedlicher Steuerluft-Stelldruck erzeugt, der über das durchgängige 3-Wege-Magnetventil den Doppelkolben-Schwenkantrieb (Schwenkkolbenantrieb) in die gewünschte Regelposition steuert.  
Der Endlagenmelder(-schalter) GS 110072 signalisiert, dass die Klappe nicht geschlossen ist.
- 4) Bei Hoch- bzw. Tiefstand gibt der LICA 110024 ein optisches Signal im Prozesseleitsystem.

#### b) Sicherheitsgerichtete bzw. sicherheitsrelevante Funktion

- 1) Der LZA LL-110023 ist ein separater Signalkreis. Die Ausführung aller Elemente des Signalkreises ist aus Gründen der Zuverlässigkeit nach SIL (Safety Integrity Level) eingestuft/klassifiziert und ausgeführt.

- 2) Das Ausgangssignal des Füllstands-Sensors 110023 wird in die Warte übertragen und dort in einem Sicherheitstechnisches System (SIS) [5] verarbeitet. Das SIS kann eine SPS (SpeicherProgrammierbare Steuerung) bzw. PLC (Programmable Logic Controller) sein.
- Bem.: Früher kamen überwiegend spezielle Steuerungen zum Einsatz, wie z.B. die sog. HIMA-Steuerungen.
- 3) Falls ein vorgegebener Tiefstand LZA-LL erreicht wird, erzeugt die SPS ein elektrisches Ausgangssignal, welches den Magnet (Spule) am Magnetventil erregt und das 3-Wege-Magnetventil derart schaltet, dass die Steuerluft ins Freie abgeblasen wird.
- 4) Da keine Steuerluft mehr zum Schwenkantrieb gelangt, fehlt die Stellkraft für die Klappe und die Klappe wird durch die Federkraft ausreichend schnell geschlossen. Der Pfeil an der Spindel symbolisiert dies.
- 5) Über den Endlagemelder GS A-110072 wird die geschlossene Stellung der Klappe ins Prozessleitsystem gemeldet.
- 6) Das Symbol „Z“ im MSR-Oval kennzeichnet, dass es sich um eine sicherheitsrelevante Schaltfunktion handelt.
- Bem.: Bei einer prozessgerichteten Schaltung müsste das Symbol „S“ stehen.
- 7) Da rechts vom MSR-Oval kein „L“ steht, bedeutet dies, dass Alarm und Sicherheitsschaltung den gleichen Wert haben. Die Alarmierung signalisiert in diesem Fall die erfolgte Schaltung.
- 8) Eine gleichartige sicherheitsgerichtete Absperrung der Klappe erfolgt bei Hochstand im nachfolgenden Tank.

Auch dann, wenn auf dem R&I-Fließschema in Abb. 4.4 der Wandler und das 3-Wege-Steuerluftventil nicht dargestellt werden sollten, so sind der abgebildete Informationsumfang und die zugehörige MSR-Symbolik doch erheblich.

Darüber hinaus ist festzustellen, dass in Abb. 4.4 viele weitere MSR-Informationen, wie z.B.

- die Signalwege und die zugehörigen Bauelemente vom Sensor ins Prozessleitsystem (PLS),
- die Signalverarbeitung im PLS,
- die Signalwege und die zugehörigen Bauelemente aus dem PLS zurück ins Feld zum Wandler bzw. zum Antrieb des 3-Wege-Ventils,
- die möglicher Feldbus-Alternativen inklusive zugehöriger Bauelemente gar nicht dargestellt sind.

Ferner sei vermerkt, dass die Energieversorgung der Feldgeräte ohnehin nicht auf den R&I-Fließschemata, sondern auf den Stromlaufplänen, abgebildet ist.

Neue Akzente in der Darstellung der MSR-Funktionalität auf den R&I-Fließschemata wird zukünftig die Anwendung der DIN EN 62424 [6] bewirken. Aus diesem Grund einige Ausführungen zu dieser Norm, die gegenwärtig schrittweise in die Anlagen-Praxis umgesetzt wird, in Form eines Beispiels.

**Beispiel 4.2 Darstellung der PCE-Funktionalität in R&I-Fließschemata nach DIN EN 62424 [6]**

Die DIN EN 62424 beschreibt, wie

Aufgaben der Prozessleittechnik in einem R&I-Fließschema darzustellen sind, so dass ein automatischer Datenaustausch zwischen dem R&I- und dem PCE-Werkzeug (Process Control Engineering) möglich wird und Fehlinterpretationen der grafischen R&I-Symbole durch das PCE-Werkzeug vermieden werden.

Die DIN EN 62424 resultiert somit primär aus dem Anliegen der PLT-Technik, den Datenaustausch zwischen Prozess- und PLT-Technik zu automatisieren bzw. zumindest fehlerärmer zu gestalten. Die Norm ist Nachfolger der DIN 19227 und weist folgende wesentliche Änderungen auf:

- a) Erst- und Folgebuchstaben für Prozessanforderungen wurden teilweise geändert (s. Tab. 4.8).

**Tabelle 4.8** Kennbuchstaben für PCE-Kategorien und PCE-Verarbeitungsfunktionen [6]

1. Buch- stabe	PCE-Kategorie	2. Buch- stabe	Verarbeitungsfunktion
A	Analyse	A	Alarm, Meldung
B	Flammenüberwachung	B	Beschränkung, Eingrenzung
C	(für Anwender frei)	C	Regelung
D	Dichte	D	Differenz
E	Elektrische Spannung	E	N.A.
F	Durchfluss	F	Verhältnis
G	Abstand, Länge, Stellung	G	N.A.
H	Handeingabe, Handeingriff	H	oberer Grenzwert, an, offen
I	Elektrischer Strom	I	Analoganzeige
J	Elektrische Leistung	J	N.A.
K	Zeitbasierte Funktionen	K	N.A.
L	Füllstand	L	unterer Grenzwert, aus, geschlossen
M	Feuchte	M	N.A.
N	Motor	N	N.A.
O	(für Anwender frei)	O	Lokale oder PCS-Statusanzeige von Binärsignalen
P	Druck	P	N.A.
Q	Menge oder Anzahl	Q	Integral oder Summe
R	Strahlungsgrößen	R	Aufgezeichneter Wert
S	Geschwindigkeit, Drehzahl, Frequenz	S	Binäre Steuerfunktion oder Schaltfunktion (nicht sicherheitsrelevant)
T	Temperatur	T	N.A.
U	N.A.	U	N.A.
V	Schwingung	V	N.A.
W	Gewicht, Masse, Kraft	W	N.A.
X	(frei für nicht aufgeführte Bedeutungen)	X	(frei für nicht klassifizierte Bedeutungen)
Y	Stellventil	Y	Rechenfunktion
Z	(für Anwender frei)	Z (a)	Binäre Steuerfunktion oder Schaltfunktion (sicherheitsrelevant)

Der 1. Buchstabe in Tabelle 4.8 bezeichnet die PCE-Kategorie, d. h. die physikalische Größe/Eigenschaft. Der 2. Buchstabe kennzeichnet die PCE-Verarbeitungsfunktion.

Für Aktoren gibt es spezielle Verarbeitungsfunktionen gemäß Tabelle 4.9.

**Tabelle 4.9** PCE-Verarbeitungsfunktionen und Kennbuchstaben für Aktoren [6]

PCE-Kategorien und PCE-Verarbeitungsfunktionen	Bedeutung
YS	Auf/ZU-Ventil
YC	Stellarmatur
YCS	Stellarmatur mit Auf/Zu-Funktion
YZ	Auf/Zu-Ventil (sicherheitsrelevant)
YIZ	Stellarmatur mit kontinuierlicher Stellungsanzeige
NS	An/Aus-Motor
NC	Motorsteuerung

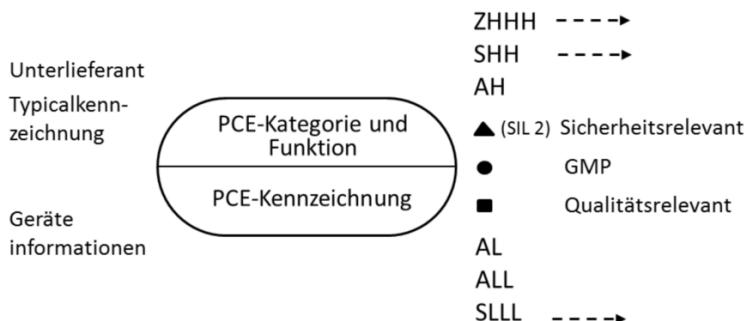
- b) Für sicherheits-, GMP- und qualitätsrelevante Prozessanforderungen wurden neue Symbole festgelegt.
- c) Der elektronische Datenaustausch einschließlich Festlegung einer Datenübertragungssprache (CAEX) wurde beschrieben.

Der Begriff: **PCE – Process Control Engineering** wird mit „Ingenieurtechnische Auslegung der Prozessleittechnik“ übersetzt.

Die **PCE-Aufgabe** ist diejenige Aufgabe, die der PLT-Ingenieur in Umsetzung der Darstellungen auf dem R&I-Fließschema erledigt.

In der PCE-Kategorie darf wegen eines eindeutigen, automatischen Datentransfers kein Zweitbuchstabe verwendet werden. Weitere Unterschiede zur bisherigen Praxis nach DIN 19227 sind zu beachten.

Gravierendere Unterschiede, die insbesondere die Darstellung sicherheitsrelevanter MSR-Informationen auf den R&I-Fließschemata betreffen und den abzubildenden Umfang und notwendigen Platzbedarf wesentlich erweitern, beinhalten die veränderte Darstellung der PCE-Aufgabe gemäß Abb. 4.5 sowie die erweiterte Wiedergabe der Bausteine des PCE-Kreises entsprechend Abb. 4.6.



**Abb. 4.5** Graphische Darstellung der PCE-Aufgabe auf dem R&I-Fließschema [6]

Im Einzelnen ergeben sich nach Abb. 4.5 folgende Änderungen:

- Die PCE-Verarbeitungsfunktionen **A**, **H**, **L**, **O**, **S** und **Z** dürfen nur außerhalb des Ovals angeordnet werden.
- Von den Verarbeitungsfunktionen **S** und **Z** ausgehend werden Signallinien zum angesteuerten Bauelement (z. B. direkt zum Aktor oder zu einer PCE-Leitfunktion) gezeichnet.
- Rechts neben das Oval können über Dreiecksymbol bzw. Kreissymbol bzw. Quadratssymbol ergänzende Angaben gemacht werden, ob es sich um einen sicherheitsrelevanten bzw. einen GMP-relevanten bzw. einen qualitätsrelevanten Sensor oder Aktor handelt.
- Ergänzend zum Dreieckssymbol (Sicherheitsrelevanz) kann noch das SIL-Level angegeben werden.
- Links vom Oval können Geräte-/Lieferanteninformationen dargestellt werden.

Grundlegend neu ist die zusätzliche Darstellung einer sog. PCE-Leitfunktion als Baustein eines PCE-Kreises (s. Abb. 4.6).

Die PCE-Leitfunktion soll den funktionalen Zusammenhang zwischen Sensor und Aktor, die miteinander über weitere PLT-Elemente verbunden sind, veranschaulichen. Das 6-eckige Symbol steht somit für weitere Elemente der gesamten PLT-Funktionalität; besser Leitfunktionalität.

Bei einfachen Funktionen, z.B. ein Sensor steuert einen Antrieb, kann die Darstellung der PCE-Leitfunktion entfallen.

Bei sicherheitsrelevanten Leitfunktionen soll das SIL-Level (Safety Integrity Level) außerhalb des Sechsecks, links unten stehen.

Links neben dem Sechseck können noch Geräte-/Lieferanteninformationen angegeben werden.

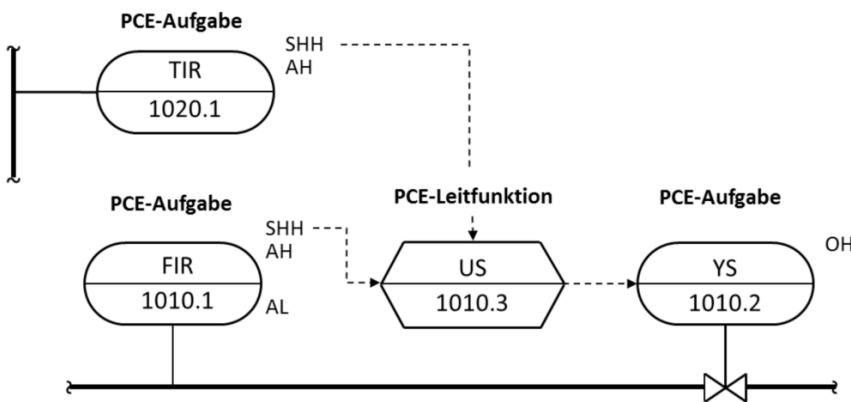


Abb. 4.6 Graphische Darstellung des PCE-Kreises auf dem R&I-Fließschema [6]

Für das Engineering, insbesondere für die Schnittstelle zwischen Verfahrens- und PLT-Planung, ergeben sich aus den neuartigen und erweiterten grafischen Darstellungen die Fragen:

*Wie und in welchem Umfang sollte die MSR- bzw. PCE-Funktionalität auf den R&I-Fließschema dargestellt werden, sodass*

- *die sicherheits- und prozessrelevanten Funktionen und die wichtigsten Bauelemente eindeutig erkennbar sind,*
- *die prozesstechnischen Informationen weiterhin den Hauptinhalt der R&I-Fließschemata ausmachen und auf dem Schema klar erkennbar sind,*
- *die R&I-Fließschemata als vielfältige Arbeitsunterlage noch überschaubar und handhabbar bleiben?*

Der Trend wird in Umsetzung der DIN EN 62424 zu einer noch größeren Informationsdichte auf dem R&I-Fließschema führen. Dabei muss aber das R&I-Fließschema in erster Linie eine verfahrenstechnische Dokumentenart bleiben.

In jeden Fall sollte auf den R&I-Fließschema so viel MSR-Funktionalität dargestellt werden, dass die sicherheitsrelevanten und prozessrelevanten Funktionen eindeutig nachvollziehbar sind. Dies zeigen auch die Erfahrungen aus zahlreichen Risikobeurteilungen mit Hilfe der HAZOP-Methode (s. Abschn. 4.3.2).

Gegebenenfalls können auch ergänzende Einzeldarstellungen, z.B. auf PCE-Schemata oder Regelschemata (s. Abschn. 4.2.6, Punkte 8) und 9)), zweckmäßig sein. Dabei ist jedoch zu bedenken, dass jedes neue Dokument auch neue Schnittstellen und neue Fehlermöglichkeiten bewirkt. Eine dadurch mögliche Redundanz in einer Dokumentation ist ungünstig und zu vermeiden.

In der konkreten Situation sind „Augenmaß“ und eine gut durchdachte Strukturierung und Splittung der R&I-Fließschemata in Form einer Legende 2 nötig.

### b) Strukturierung und Definition der R&I-Fließschemata (Legende 2)

Bevor mit dem Erarbeiten der R&Is begonnen wird, muss sehr gut über deren Unterteilung nachgedacht werden.

*Eine Neustrukturierung der R&Is während des Projekts darf nicht passieren!*

Die gewählte Unterteilung der Verfahrensfließschemata kann i. Allg. nicht übernommen werden, da sie viel weniger Informationen enthalten und dies zu einer „Überfrachtung“ der R&Is führen würde.

Mögliche Kriterien für die Identifizierung, Strukturierung und Definition der R&I-Fließschemata sind:

- Übersichtlichkeit der Informationsdarstellung
  - Die wichtigen Komponenten und Funktionen einer Teilanlage (Package-Unit) sollten auf einen R&I dargestellt sein.
  - Im Allgemeinen kommt mehr dazu als man zunächst denkt. Im Zweifel lieber etwas weniger darstellen, auch wenn das R&I anfangs relativ leer ist.
- Handhabbarkeit des Fließschemas in der vor-Ort-Arbeit
  - Die R&Is sind in Papierform u.a. wichtige Grundlage für Montagekontrollen, für das Kennenlernen der gegenständlichen Anlage vor Ort und für die Durchführung von Inbetriebnahmehandlungen. Der Betrieb benötigt sie später über einen langen Zeitraum analog.

- Maximale Formatgröße sollte DIN A1 sein, ggf. nur DIN A2.  
Auf einen R&I, welches in A0 gezeichnet und dann auf A1 verkleinert ausgedruckt wurde, sind die grafischen Darstellungen (z. B. Armaturen, MSR-Geräte) entsprechend klein und z.T. missverständlich bzw. nichterkennbar.
- Ein zu kleines Format (z.B. A3) führt andererseits zu einer größeren Stückzahl an R&Is. Bei kleineren Anlagen ist das kein Problem, bei größeren ergeben sich viele Schnittstellen/Übergänge.
- Handhabbarkeit der Fließschemata in der CAD-/CAE-Arbeit
  - Die Kriterien sind ähnlich wie für die Papierversion.  
Auch wenn die Bildschirme immer größer werden, muss man das gewünschte Detail erst mal finden.
  - Ferner werden Vor-Ort-Begehungen zunehmend auch mit Notebook und ohne Papier-R&I durchgeführt.
- Flexibilität bei Änderungen, Ergänzungen, Erweiterungen usw.
  - Kleine DIN-Formate sind a priori änderungsfreundlicher als größere.
  - Man kann davon ausgehen, dass sich auf Grund von Änderungen, Ergänzungen usw. bis zur Version „as-built“ die darzustellende Informationsmenge auf den R&Is im Vergleich zu Beginn verdoppeln kann.
  - Falls Erweiterungsinvestitionen bekannt sind (z.B. eine 2. Ausbaustufe), so sind dafür R&Is vorzusehen.
- Konformität zwischen Fließschema-Strukturierung und Unterlagen zum Genehmigungsantrag
  - Die Antragsunterlagen für die Genehmigung werden i.d.R. nach Betriebseinheiten gegliedert.  
Aus diesem Grund ist zu prüfen, ob den Betriebseinheiten definierte R&Is zugeordnet werden können.
  - Im Allgemeinen trifft dies aber stärker auf die Verfahrensfließschemata zu.
- Minimierung der Schnittstellen hinsichtlich Verantwortung und Zuständigkeit
- Konformität zwischen der Strukturierung der R&I-Fließschemata und der Beschaffungskonzeption
  - Entsprechend der Beschaffungskonzeption, die am Ende der Vorplanung erarbeitet wurde, sind Beschaffungspakete separat auf R&Is darzustellen.  
Damit werden ebenfalls die Schnittstellen verringert.

Die nach diesen Kriterien definierten R&Is können in Blöcken, ähnlich einem Grundfließschema, grafisch dargestellt werden. Abb. 4.7 soll dies an einem Praxisbeispiel prinzipiell veranschaulichen.

### c) Erarbeiten der R&I-Fließschemata bzw. R&I-Fließbilder

Die methodische Vorgehensweise ist grundsätzlich ähnlich wie für die Verfahrensfließschemata (VF) in Abschn. 3.3.1, Buchst. b) beschrieben. Im Unterschied zu den VF sind in den R&I-Fließschemata wesentlich mehr sowie präzisere Grund- und Zusatzinformationen darzustellen (s. auch Tab. 4.1).

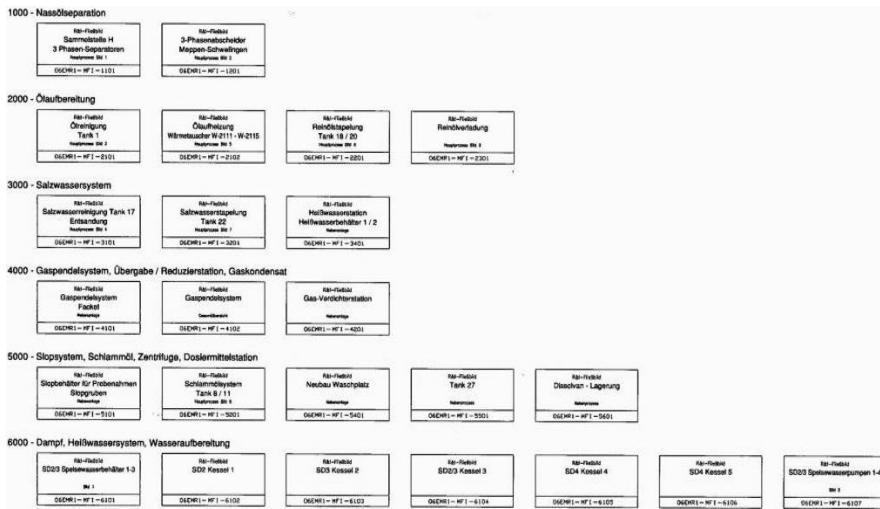


Abb. 4.7 Legende „Strukturierung der R&I-Fließschemata“ (Auszug Praxisbeispiel)

Die Aufgaben der kontinuierlichen Fließschemaarbeit beinhalten u.a.:

- Verrohrung der Apparate, Behälter und Maschinen auf den R&I-Fließschemata planen und gemäß Symbol-Normen darstellen,
- Sensoren und Aktoren sowie Regelkreise und Steuerungen mit Signallinien gemäß den Prozess- und Sicherheitsanforderungen in den R&I-Fließschemata planen und gemäß Symbol-Normen darstellen,
- Technische Daten der Hauptausrüstungen in die Apparateleiste eintragen,
- Anlagenkennzeichen (AKZ) aller dargestellten Apparate, Behälter, Maschinen und PLT-Einrichtungen sowie Rohr- und Armaturenklassen in den R&I-Fließschemata eintragen,
- R&I-Fließschemata für die Risikobeurteilung (Bearbeitungsstatus: Approved for HAZOP) fertigstellen,
- Ergebnisse der Risikobeurteilung in die R&I-Fließschemata einpflegen,
- R&I-Fließschemata für die Basic Engineering-Dokumentation (Extended Basic) mit Bearbeitungsstatus AFD (Approved for Design) „einfrieren“,
- spezifische Fließschemata für Genehmigungsantrag erarbeiten.

Im Einzelnen wird auf die Fachliteratur [7][8] verwiesen, in der ausführliche Checklisten zum Ausarbeiten und Kontrollieren von Verfahrens- und R&I-Fließschemata angegeben sind.

In jeden Fall gilt dabei die einfache Wahrheit:

*Jeder Strich im Fließschema kostet Geld!*

In Abb. 4.8 ist beispielhaft das R&I-Schema der Anlage zur Wasserentgasung und -entkeimung angeführt, die in Beispiel 3.1, Abschn. 3.7 aus schutzrechtlicher Sicht betrachtet wurde. Die Vorgaben der DIN EN 62424, wie in Beispiel 4.2 erläutert, sind in der Darstellung in Abb. 4.8 nicht umgesetzt.

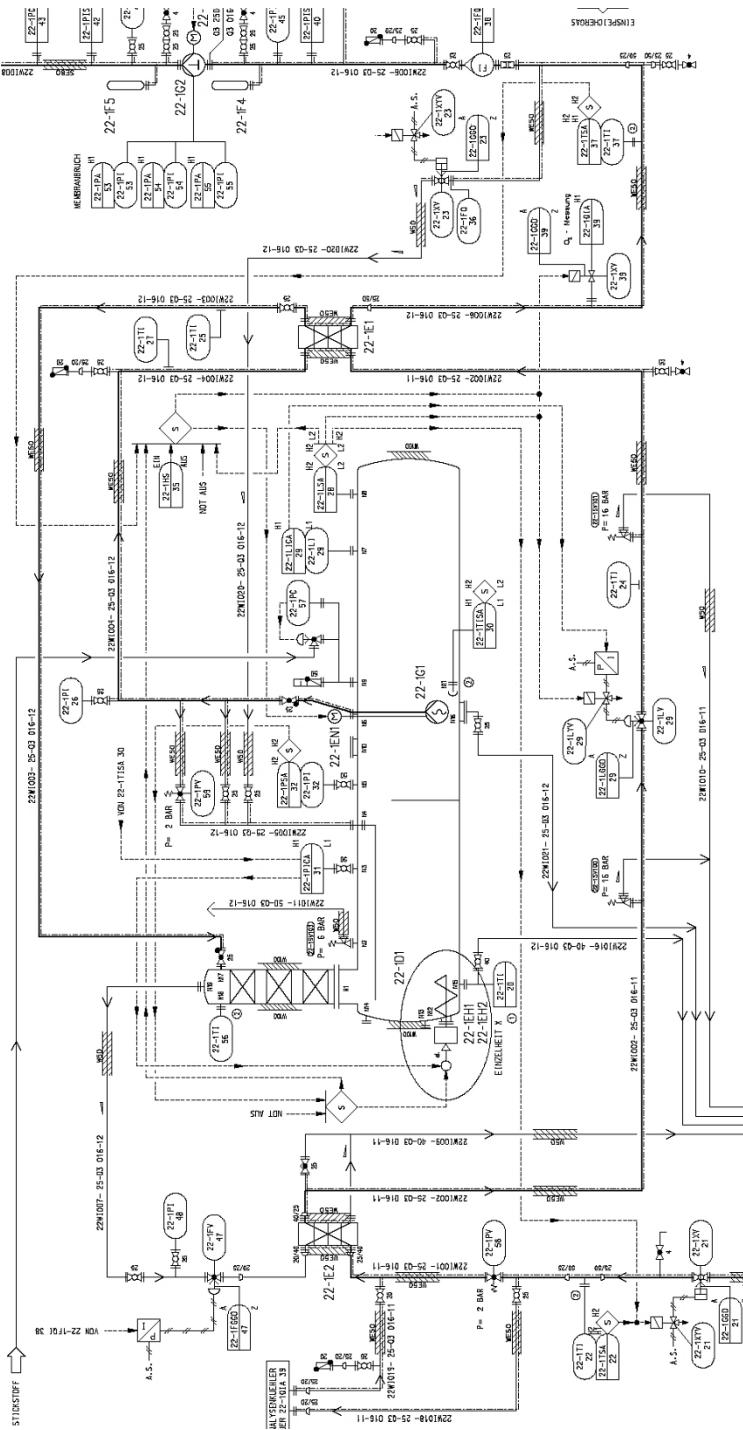


Abb. 4.8 R&I-Fließschema einer Anlage zur Wasserentgasung und -entkeimung (Ausschnitt)

#### d) Verfahrens- und Anlagenbeschreibung

Das Verfahrens- und das R&I-Fließschema allein sind nicht ausreichend selbsterklärend. Diese Erfahrung hat der Autor in Vorbereitung von HAZOP-Studien, wo ihm nur die R&Is verfügbar waren, häufig gemacht.

Es bedarf ergänzend zu den R&Is einer *Verfahrens- und Anlagenbeschreibung*, deren Ausführung (Detailliertheit) sich in der Phase „Basic“ am Projektingenieur als Nutzer orientieren kann.

Die Verfahrens- und Anlagenbeschreibung sollte sich streng auf das Fließschema beziehen und gleichermaßen das Verfahren (Prozess) und die Anlage (Komponenten) inkl. der PLT-Funktionen umfassen. Anhand der Beschreibung müssen die grafischen Darstellungen auf dem zugehörigen Fließschema bzgl. Inhalt und Funktion eindeutig und fachlich nachvollziehbar sein.

Die Verfahrens- und Anlagenbeschreibung sollte möglichst so formuliert werden, dass sie auch als Arbeitsgrundlage für den Genehmigungsantrag genutzt werden kann. Ferner kann sie gegebenenfalls später für die Erarbeitung der Inbetriebnahmeanleitung und des Betriebshandbuchs herangezogen werden.

##### **4.2.1.2 Massen-, Stoff- und Energiebilanzierung**

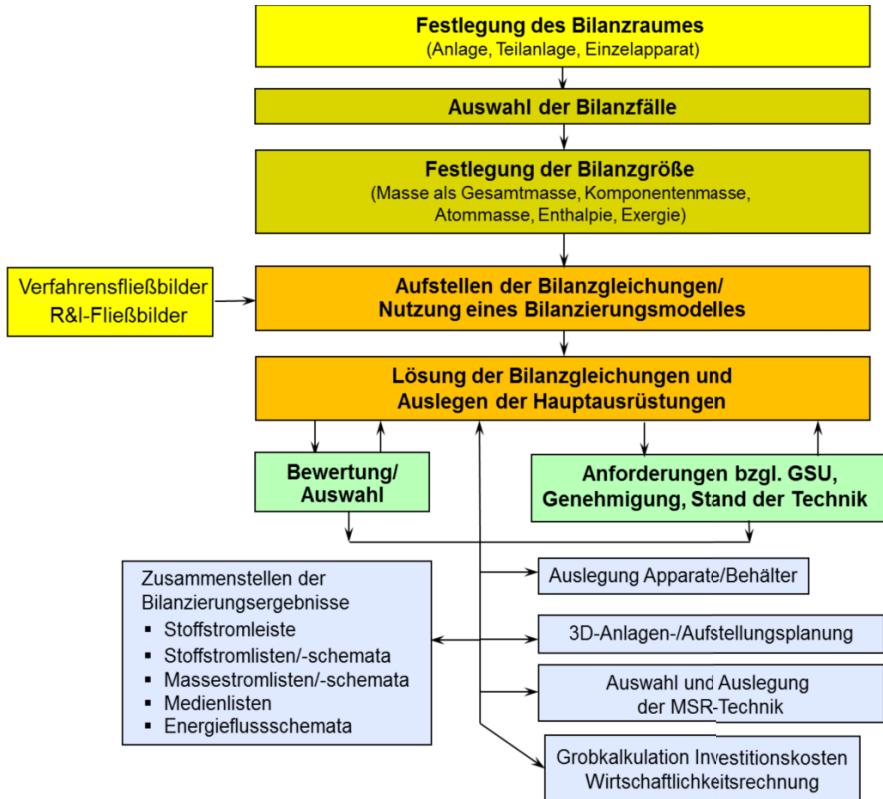
Die Berechnung der Massen-, Stoff- und Energieströme erfolgt in enger Wechselwirkung mit der Fließschemearbeit und der Auswahl und Auslegung der Hauptausrüstungen. Innerhalb der verfahrenstechnischen Planung kommt der Bilanzierung und verfahrenstechnischen Auslegung eine große Bedeutung zu.

Die Vorgehensweise ist in Abb. 4.9 veranschaulicht.

Die Bilanzierung während des „Basic“ setzt auf den Grob-Bilanzierungen der Vorplanung, die primär eine Variantenauswahl zum Ziel hatten, auf und führt sie entscheidend weiter.

Dies betrifft u.a.:

- die Konzentration auf die ausgewählte Lösungsvariante,
- die Verwendung der R&I-Schemata, neben den Verfahrensfließschemata, für die Systembilanzierung,
- die gleichzeitige Bilanzierung größerer Anlagensysteme (Bilanzräume),
- die Beachtung aller Fahrweisen der Anlage während des Lebenszyklus,
- die Beachtung aller Stoffkomponenten, auch der Spurenelemente,
- die detaillierte Beachtung der Auslegungswerte für Stoff-Emissionen,
- die Berücksichtigung aller stofflichen und energetischen Rückkopplungen (Kreislaufführung, Rückgewinnung, Zwischenstapelung),
- die detailliertere verfahrenstechnische Berechnung und Auslegung von Hauptkomponenten (Reaktoren, Kolonnen, Wärmeübertrager) und die Einbeziehung der Ergebnisse in die Bilanzierungen,
- die hydraulische Auslegung (Druckverlustberechnung) der Hauptkomponenten und die Einbeziehung der Ergebnisse in die Bilanzierung,
- die Berücksichtigung der gewählten Bauart der Hauptkomponenten bei der Bilanzierung (sofern von Einfluss).



**Abb. 4.9** Ablauf der Bilanzierung und Grobauslegung einzelner Hauptausrüstungen [9]

Entsprechend Abb. 4.9 sind folgende Arbeitsschritte zu durchlaufen:

1) Festlegung des *Bilanzraumes* (Bilanzkreises)

- Grundsätzlich ist eine Bilanz über die gesamte Anlage zu erstellen; aber das ist häufig bei großen Anlagen softwareseitig, mathematisch nicht machbar.
- Auf Basis der R&Is zu entscheiden, welches Anlagensystem als Ganzes bilanziert werden soll.
- Die Ergebnisse der Teilbilanzen müssen dann als Input für andere Teilsysteme genutzt werden. Bei Rückführungen ergibt sich u.U. eine iterative Vorgehensweise, d.h. die Bilanz muss mit neuem Input bzw. Randbedingungen wiederholt werden.
- Der Trend geht zu immer größeren Bilanzräumen (Anlagensystemen), da die Software-Tools immer mehr ermöglichen.

2) Auswahl der *Bilanzfälle*

- Mit der Auswahl der Bilanzfälle wird festgelegt, für welche Betriebszustände die Anlage und alle ihre Komponenten engineert werden.
- Bei der Auswahl sind nicht nur der Nennzustand, sondern auch alle anderen

möglichen Zustände und Fahrweisen während des **Bestimmungsgemäßen Betriebs** der Anlage zu berücksichtigen. Dazu zählen gegebenenfalls:

- Anfahrzustände, z.B. im Bypass zum Reaktor oder im „geraden Durchgang“ ohne stoffliche Rückführung,
- Sonderfahrweisen während der Inbetriebnahme (Aktivieren von Katalysatoren, Regenerieren von Trocknungsmitteln, Sauberfahren der Anlage mit Produkt, Erzeugung aktiven Biomasse u.ä.),
- Teillastfahrweisen der Anlage (z. B. bei geringen Absatz).
- Beachtung alternativer Auslegungswerte für Stoff-Emissionen (s. auch Abschn. 5.1).
- Schwierig ist die Festlegung zu beachtender Bilanz- bzw. Lastfälle in Mehrproduktanlagen [10], insbesondere wenn in der Anlage mehrere Produkte gleichzeitig produziert werden können.  
In solchen Anlagen können i.d.R. nicht mehr alle denkbaren Varianten bilanziert werden, sondern müssen wahrscheinliche Produktionsplanungen zugrunde gelegt werden.

### 3) Festlegung der *Bilanzgröße*

- In verfahrenstechnischen Anlagen werden i. Allg. durchgeführt:
  - die Massenbilanzierung gemäß dem Gesetz von der Erhaltung der Masse,
  - die Energiebilanzierung für die Enthalpie gemäß dem 1. Hauptsatz der Thermodynamik,
  - die Stoffbilanzierung für Stoffe bzw. Moleküle (kg und/oder kmol).
- Seltener sind Exergiebilanzen nach dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik.
- Bei Stoffbilanzen mit chemischer Reaktion ist die Stöchiometrie der Reaktion zu beachten.

### 4) Aufstellen und *Lösen der Bilanzgleichungen* und *Grobauslegung* der Hauptausrüstungen

- Für die Bilanzierung verfahrenstechnischer Anlagen werden i.d.R. leistungsfähige Systemprogramme genutzt. Mittels dieser Programme können problemspezifische Bilanzierungsmodelle konfiguriert und gelöst werden. Insbesondere haben diese Programme auch komplexe Phasengleichgewichtsmodelle sowie robuste mathematische Lösungsalgorithmen.
- Zugleich haben einige dieser Programme auch Berechnungsmodelle (Prozessmodelle) für verfahrenstechnische Grundoperationen, wie z. B. für Verdampfung, Rektifikation, Wärmetübertragung, Abscheidung. Für chemische Reaktionen können stöchiometrische Bilanzen und Reaktionswärmen berechnet werden.  
Überschlägige Druckverlustberechnungen sind i. Allg. möglich.
- Im Zusammenwirken von Bilanzierung und Modellierung kann somit zugleich bilanziert und verfahrenstechnisch ausgelegt werden.  
Das heißt, im Ergebnis werden auch apparative Stammdaten (Wärmeübertragungsfläche, Anzahl theoretischer Kolonnenböden, Durchmesser, Höhen, Volumina u.a.) von Hauptausrüstungen, zumindest überschlägig, errechnet.

- Die wachsende Leistungsfähigkeit der Systemprogramme ermöglicht die ganzheitliche Bilanzierung immer komplexerer Anlagensysteme.

**5) Bewertung, Auswahl und Dokumentation der Ergebnisse**

- Die Bilanzierungs- und Auslegungsergebnisse sind kritisch zu überprüfen. Insbesondere die Einhaltung von Vorgaben betreffs Gesundheit–Sicherheit–Umweltschutz (GSU) und gemäß dem Stand der Technik ist zu kontrollieren. Bei Abweichungen ist mit geänderten Vorgaben neu zu bilanzieren.
- Die berechneten Emissionswerte sind hinsichtlich der Genehmigung und späterer Fortschreibungen bei wesentlichen Änderungen zu bewerten.
- Der Nutzer von Systemprogrammen, muss die Rechenergebnisse entsprechend seiner Erfahrungen und eventueller Vergleichsrechnungen/-messungen kritisch überprüfen. Es gilt der Spruch eines erfahrenen Fachkollegen:

*Man kann nicht so falsch schätzen, wie man falsch rechnen kann!*

**6) Darstellung und Nutzung der Bilanzierungsergebnisse**

- Die Bilanzierungsergebnisse werden in die Stoffstrom-, Massestrom- und Medienstromlisten, die i.d.R. bereits im „Basic“ eröffnet wurden eingetragen. Mitunter werden ergänzend sog. Massen- und/oder Energiebilanz-Schemata erarbeitet. Diese ähneln Verfahrensfließschemata, in denen vorrangig die Daten der Massen-, Stoff- bzw. Energieströme an den jeweiligen Bilanzpunkten aufgeführt sind. Für die Darstellung von Energiebilanzen sind auch sog. Sankey-Diagramme üblich.
- Die Ergebnisse der Bilanzierung liefern insbesondere das Input für:
  - die Prozess- bzw. Betriebsparameter für der Anlagenkomponenten,
  - die Festlegung der maximal zulässigen Drücke und Temperaturen der Hauptkomponenten,
  - die Auswahl der Bauart und der Spezifikation der Hauptausrüstungen,
  - die Festlegung der Druckstufen des Rohrleitungssystems inkl. Armaturen und Feldgeräte,
  - der Wahl der Rohr-, Dichtungs- und Armaturenklassen,
  - Hinweise zur zweckmäßigen Anordnung der Hauptkomponenten im 3D-Anlagenmodell,
  - die Ermittlung der Schadstoffemissionen,
  - Abschätzung der Investitionskosten (Apparatekosten), Betriebskosten (Roh-, Hilfsstoff-, Energiebedarf) und der Wirtschaftlichkeit.

#### **4.2.1.3 Festlegen der Betriebsparameter und Druckstufen**

Auf Basis der Informationen über die:

- Prozessparameter,
- Stoffdaten für Gefahrstoffe u. a. Stoffe und Gemische,
- Energieparameter,
- Gefährdungen und Risiken bezüglich möglicher Druck- und/oder Temperaturerhöhungen,

- mögliche Änderungen der Prozessparameter u.a. Bedingungen in der Zukunft sind festzulegen:
- *Betriebsdrücke* und *Betriebstemperaturen* für die Ausrüstungen.
  - Betriebsdruck** bzw. **Betriebstemperatur** sind der prozesstechnisch günstige Druck bzw. Temperatur, bei dem die Anlage bzw. Ausrüstung betrieben wird.
- *Maximal zulässige Betriebsdrücke* sowie die *maximal und minimal zulässigen Betriebstemperaturen* für die Ausrüstungen (Apparate, Maschinen, Behälter, Tanks).
  - Um Missverständnisse zu vermeiden, wird mitunter auch vom „*maximal zulässigen Betriebsüberdruck*“ gesprochen.
  - In der Regel wird für diesen Druck bzw. diese Temperaturen die Hauptausrüstung bestellt und ausgelegt.
  - In der Druckgeräte-Richtlinie [11] sind definiert:
    - Maximal zulässiger Druck (PS):** den vom Hersteller angegebenen höchsten Druck, für den das Druckgerät ausgelegt ist.
    - Zulässige minimale/maximale Temperatur (TS):** die vom Hersteller angegebene minimale/Maximale Temperatur, für die das Druckgerät ausgelegt ist.
  - Die Ausrüstung ist gegen ein Überschreiten der maximal zulässigen Parameter abzusichern.
  - Im Sonderfall kann der Auslegungsdruck bzw. die Auslegungstemperatur auch von dem maximal zulässigen Druck bzw. der maximal/minimal zulässigen Temperatur abweichen.  
Im Beispiel 2.3, Abschn. 2.5.1 war dies beispielsweise der Fall, um die Anlage zukünftig (optional) bei einem höheren Druck betreiben zu können.
  - Die minimal zulässige Betriebstemperatur ist u.a. für einen Anlagenbetrieb, insbesondere während der Inbetriebnahme, in Winterregionen signifikant.
- *Druckstufen* (Nenndruck (PN), Pressure Nominal) für die Rohrleitungen, Rohrleitungsteile, Armaturen, Dichtungen.
  - Die Druckstufen werden zwecks Standardisierung für ganze Rohrleitungssysteme festgelegt. Bei Änderung der Druckstufe im Anlagensystem wird von einer Druckstufentrennung gesprochen.
  - Für jede Druckstufe ist ein Nenndruck PN nach [12] in der Stufung:
 
$$2,5 - 6 - 10 - 16 - 25 - 40 - 63 - 100 - 160 - 250 - 320 - 400$$
 auszuwählen. Die Begriffsdefinition lautet:
 

**Nenndruck (PN)** ist der maximal zulässige Druck bei der Temperatur von 20 °C.
- Die Druckstufe orientiert sich an den maximal zulässigen Betriebsdrücken der Ausrüstungen, die sich im betrachteten Rohrleitungssystem befinden.
- Bei Einsatztemperaturen oberhalb 20 °C ist die temperaturbedingte Verringerung der Festigkeit zu beachten und gegebenenfalls eine höhere Druckstufe PN zu wählen.

- Jede Druckstufe ist vor Drucküberschreitung, z. B. über das Sicherheitsventil der Ausrüstung oder über eine separate Druckabsicherung, zu schützen.
- Der festgelegte Nenndruck ist ein wichtiger Parameter für die Wahl der Rohr-, Dichtungs- und Armaturenklasse.
- Die Nenndrücke PN für die *Sensoren* und *Aktoren* analog festzulegen.

#### 4.2.1.4 Auswahl und Auslegung der Hauptausrüstungen

Zu den Hauptausrüstungen gehören die Apparate, Maschinen, Behälter und Tanks.

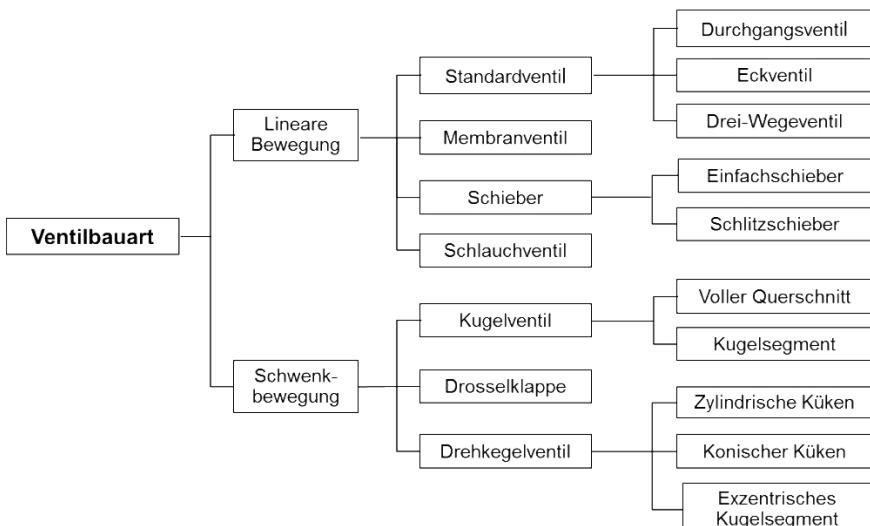
Die Wahl der Ausrüstungsart (Typ, Bauart, Bauform) einer Hauptausrüstung und die Ermittlung der Hauptabmessungen und Betriebsparameter hat bereits während der Verfahrensentwurfsplanung in der Phase 2 begonnen (s. Abschn. 3.3.1, Buchst. b)). Zusammen mit dem Verfahrensfließschema wurde die zugehörige *Apparateleiste* erarbeitet sowie erste *Ausrüstungsdatenblätter* und -*listen* angelegt.

Während des Basic Engineering müssen diese Arbeiten nochmals überprüft sowie verbindlich und vertieft werden, sodass eine ausführliche Anfragespezifikationen erarbeitet werden kann. Mit diesen Spezifikationen sind anschließend für die Investitionskostenermittlung verbindliche Angebote inkl. Preise einzuholen.

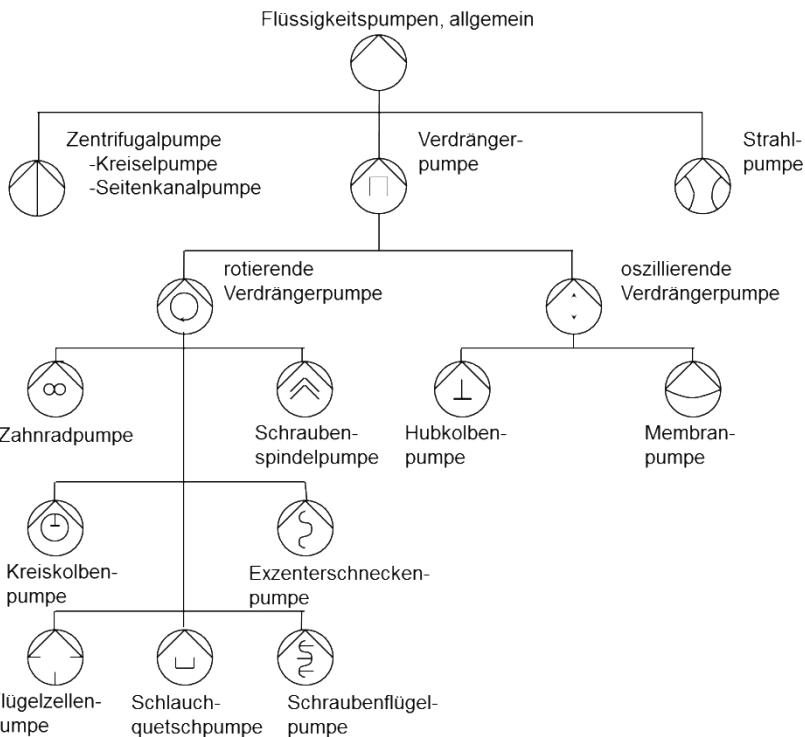
##### a) Wahl der Ausrüstungsart

Die Ausrüstungs- bzw. Bauart beeinflussen entscheidend die Funktionalität und die Kosten einer Ausrüstung. Die Herausforderung besteht in der Mannigfaltigkeit der Möglichkeiten und aus der Vielfalt die Richtige zu finden.

Abb. 4.10 belegt diese Aussage am Beispiel der *Ventilbauarten* und Abb. 4.11 der *Verdrängungspumpen*, nur einer Unterart der Flüssigkeitspumpen. Prinzipiell gilt dies aber für nahezu alle Ausrüstungsarten bzw. Anlagenkomponenten.



**Abb. 4.10** Mögliche Bauarten von Ventilen



**Abb. 4.11** Mögliche Bauarten von Verdrängungspumpen [13]

Praktische Hinweise zur Auswahl und Auslegung von Armaturen sind u.a. in [14] und für Kreiselpumpen in [14][15] angegeben. Die Auswahl der Pumpen und Verdichter setzt i. All. eine Druckverlustberechnung für den Förderweg voraus

Für jede Ausrüstung, die auf den R&I-Fließschema dargestellt ist, ist die zweckmäßigste Bauart zu finden.

### b) Auslegung der Hauptausrüstungen

Unter **Auslegung** wird die verfahrenstechnische Berechnung der Stammdaten (Durchmesser, Höhe, Druck, Temperatur, Durchsatz, Volumen, Energiebedarf usw.) einer Ausrüstung verstanden.

Im Unterschied dazu versteht man unter **Dimensionieren** die festigkeitsgerechte Konstruktion inkl. Festigkeitsberechnung (z.B. Werkstoff, Wanddicke, Stutzenausführung, Schweißausführung usw.) der Ausrüstung.

Man unterscheidet zwischen verfahrensspezifischen Ausrüstungen, die individuell ausgelegt und konstruiert werden, und Standardausrüstungen (z.B. Pumpen, Gebläse, Wärmeübertrager), die gleichfalls ausgelegt werden müssen, aber anschließend aus Typenreihen ausgewählt werden.

Welche vielschichtigen Kriterien bei der Auslegung spezieller Ausrüstungen zu beachten sind, veranschaulicht Abb. 4.12 am Beispiel eines Wärmeübertragers.

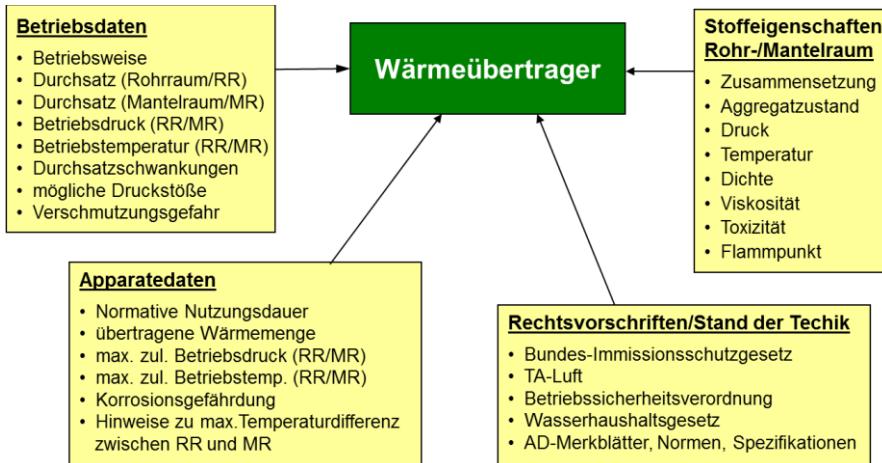


Abb. 4.12 Einflussfaktoren auf die Auslegung und Konstruktion eines Wärmeübertragers

Die bei der Bilanzierung schon ermittelten Grobabmessungen (s. Abschn. 4.2.1.2) werden als Ausgangswerte genutzt. Eine detaillierte Berechnung mit Hilfe spezieller Auslegungsprogramme ist in jeden Fall angeraten.

Wie bei der Auslegung eines Wärmeübertragers vorzugehen ist, zeigt das Ablaufschema in Abb. 4.13.

Input sind vorrangig die Ergebnisse der Fließschemaarbeit und der Bilanzierung. Output der Auslegung sind das Ausrüstungsdatenblatt und die Anfragezeichnung/-skizze, die zunächst für die Kostenermittlung benötigt werden.

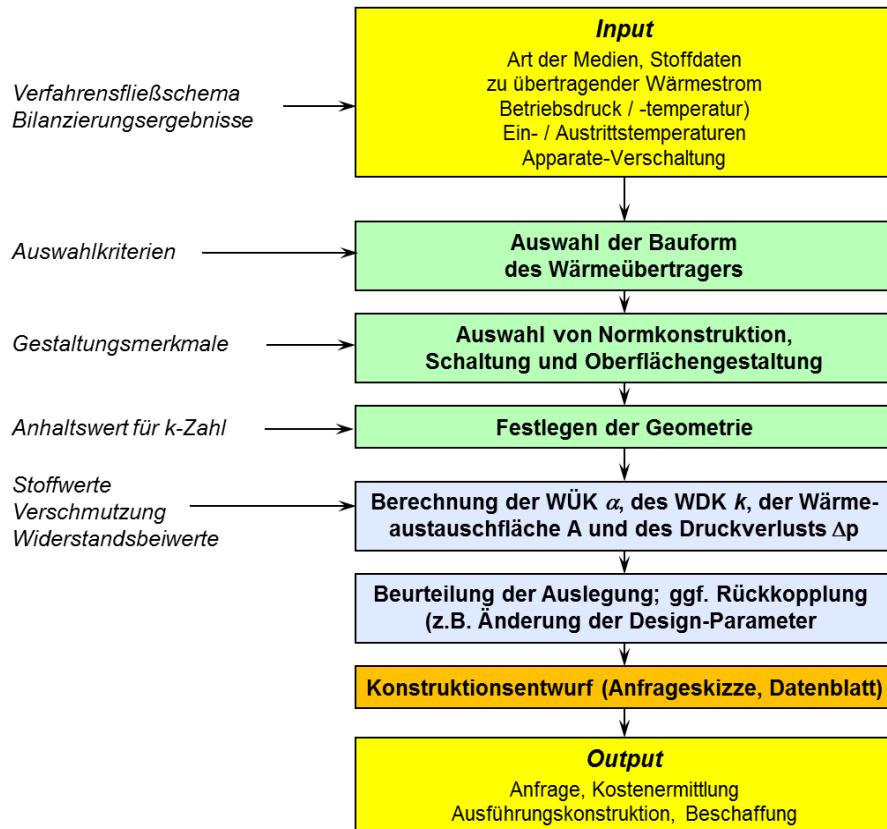
Falls die Auslegungsergebnisse unbefriedigend sind, muss u.U. ein anderer Apparatetyp gewählt und die Rechnung mit diesem wiederholt werden. Beispielsweise kann es sein, dass bei der Berechnung eines gekühlten Vollraum-Schüttschichtreaktors zu große Temperaturgradienten in der Katalysatorschüttung errechnet werden und aus diesem Grund ein Röhrenreaktor mit Zonenkühlung gewählt werden muss.

### c) Anlagen und Ausrüstungen mit wassergefährdenden Stoffen

(Teil-)Anlagen und zugehörige Hauptausrüstungen (Behälter, Tanks, Apparate) in denen wassergefährdende Stoffe oder Gemische zum Einsatz kommen, müssen besondere Anforderungen erfüllen. In Abschn. 2.3.2.2, Buchst. b) wurde bereits auf die Rechtsgrundlagen und in Abschn. 3.4 auf die Identifizierung und Einstufung der wassergefährdenden Stoffe eingegangen.

In der Praxis sind diese Komponenten häufig Behälter oder Tanks mit Zubehör, die zum Lagern, Abfüllen, Umschlagen, Herstellen und Behandeln wassergefährdender Stoffe und/oder Gemische dienen.

In den zugehörigen Rechtsvorschriften wird dafür der Begriff *Anlage zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen* benutzt, der in § 2 Abs. (9) des Entwurfs der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV) [16] folgendermaßen definiert ist:



**Abb. 4.13** Ablaufschema für die Auslegung von Wärmeübertragern

(9) Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (Anlagen) sind

1. selbständige und ortsfeste oder ortsfest benutzte Einheiten, in denen wassergefährdende Stoffe gelagert, abgefüllt, umgeschlagen, hergestellt, behandelt oder im Bereich der gewerblichen Wirtschaft oder im Bereich öffentlicher Einrichtungen verwendet werden, sowie
2. Rohrleitungen nach § 62 Absatz 1 Satz 2 des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) [17].

Als ortsfest oder ortsfest benutzt gelten Einheiten, wenn sie länger als ein halbes Jahr an einem Ort zu einem bestimmten betrieblichen Zweck betrieben werden; Anlagen können aus mehreren Anlagenteilen bestehen.

Zur Einordnung der WHG-Anlagen in das Engineering sind noch einige Vorbemerkungen nötig.

- In Rechtsvorschriften zum Wasserrecht wird stets von Anlagen gesprochen. Gemeint sind aber keine verfahrenstechnischen Anlagen im Sinne dieses Buchs, sondern „ortsfeste Einheiten“ gemäß der angeführten Definition. Das sind innerhalb der komplexen verfahrenstechnischen Anlage meistens Teil-

- anlagen bzw. Funktionseinheiten (z.B. Behälter oder Tanks mit Peripherie bzw. Be- und Endladstationen für TKW (**Tank-Kraft-Wagen**) oder Kesselwagen).
- Im Entwurf der AwSV [16] wird nicht mehr zwischen **LAU-Anlagen** (Lagern – Abfüllen – Umschlagen) und **HBV-Anlagen** (Herstellen – Behandeln – Verwenden) unterschieden, wie dies bisher in den Länder-VAwS der Fall war. Die angeführten Begriffe sind in der AwSV definiert.
  - Die nachfolgenden Ausführungen basieren schon auf dem Entwurf der AwSV, die bald erwartet wird, aber de jure noch nicht in Kraft ist. Solange dies nicht passiert, gelten die länderspezifischen VAwS (z. B. [18] [19]).
  - Auch wenn die AwSV in Kraft ist, bleibt das Wasserrecht in der Kompetenz der Länder. Viele Regelungen zur Planung von Anlagen mit wassergefährdenden Stoffen werden auf Länderebene und insbesondere auf kommunaler Ebene (für Wasserschutzgebiete u.ä.) fortbestehen und Planungsgrundlage bleiben.

Konkret sind während der Entwurfsplanung die folgenden Leistungen für Anlagen mit wassergefährdenden Stoffen zu erbringen (n. AwSV [16]):

- 1) Ausgehend von den R&Is, den Massenbilanzen und der Identifizierung und Einstufung der wassergefährdenden Stoffe und Gemische (s. Abschn. 3.4, Punkt 4)) ist zu ermitteln, welche „ortsfesten Einheiten“ als sog. wassergefährdende Anlage zu betrachten und entsprechend zu planen sind. In der Regel werden dies Behälter, Tanks, Abfüllanlagen, Ver- und Endladestationen u.ä. für wassergefährdende Stoffe und Gemische sein.
- 2) Entwurfsplanung dieser identifizierten WHG-Einheiten (Teilanlagen) analog zu den anderen Ausrüstungen. Im Besonderen sind nach AwVS zu beachten:
  - Grundsatzanforderungen (§ 15).
    - u.a. sind einwandige unterirdische Behälter für wassergefährdende Stoffe unzulässig
  - Anforderungen an die Rückhaltung wassergefährdender Stoffe (§ 16)
    - Anlagen müssen austretende wassergefährdende Stoffe auf geeignete Weise zurückhalten. Dazu sind sie mit einer Rückhalteinrichtung gemäß folgender Definition auszurüsten:
 

§ 2 Abs. (16) „Rückhalteinrichtungen“ sind Anlagenteile zur Rückhaltung von wassergefährdenden Stoffen, die aus undicht gewordenen Anlagenteilen, die bestimmungsgemäß wassergefährdende Stoffe umschließen, austreten; dazu zählen insbesondere Auffangräume, Auffangwannen, Auffangtassen, Auffangvorrichtungen, Rohrleitungen, Schutzrohre, Behälter oder Flächen, in oder auf denen Stoffe zurückgehalten oder in oder auf denen Stoffe abgeleitet werden.
    - Eine Rückhalteinrichtung ist nicht erforderlich, wenn es sich um eine doppelwandige Anlage im Sinne von § 2 Abs. 17 handelt.
 

§ 2 Abs. (17) „Doppelwandige Anlagen“ sind Anlagen, die aus zwei unabhängigen Wänden bestehen, deren Zwischenraum als Überwachungsraum ausgestaltet ist, der mit einem Leckanzeigesystem ausgestattet ist, das ein Undichten der inneren und äußeren Wand anzeigen.

Abb. 4.14 zeigt die Ausführung eines doppelwandigen Tanks mit wassergefährdem Produkt ohne Tanktasse aber mit Drucküberwachung des Mantelraums und einer Ablaufrinne für die Leckflüssigkeit.



**Abb. 4.14** Doppelwandiger Tank mit Lecküberwachung und ohne Tanktasse

- In § 16 sind u.a. weitere Vorgaben enthalten zur Gestaltung der Rückhalteinrichtungen, der Aufstellung einwandiger Behälter und der Rückhaltung der Leckflüssigkeit.
- Anforderungen an die Entwässerung (§ 17)
  - u.a. zum Sammeln, Ableiten und ggf. Rückhalten von Niederschlagswasser
- Vorgaben zur Rückhaltung bei Brandereignissen (§ 19)
  - Dies betrifft u.a. die Rückhaltung von wassergefährdenden Stoffen, von Lösch-, Berieselungs- und Kühlwasser sowie die entsprechenden Verbrennungsprodukte.
  - Grundlage für die Auslegung sind die **Löschwasser-Rückhalte-Richtlinien (LöRüRi)** [20] der Länder, die Verwaltungsvorschriften sind.
- Besonderen Anforderungen an die Rückhaltung bei Rohrleitungen (§ 20)
  - Für oberirdische Rohrleitungen gilt gemäß § 29 Abs. (1):
 

§ 20 Abs. (1) Oberirdische Rohrleitungen zum Befördern flüssiger wassergefährdender Stoffe sind mit Rückhalteinrichtungen auszurüsten. Das Rückhaltevolumen muss dem Volumen wassergefährdender Stoffe entsprechen, das bei Betriebsstörungen bis zum Wirksamwerden geeigneter Sicherheitsvorkehrungen freigesetzt werden kann.

Satz 1 und Satz 2 gelten nicht, wenn auf der Grundlage einer Gefährdungsabschätzung durch Maßnahmen technischer oder organisatorischer Art sichergestellt ist, dass ein vergleichbares Sicherheitsniveau erreicht ist.....

- In § 20 sind u.a. weitere Ausführungen zu unterirdischen Rohrleitungen zum Befördern flüssiger oder gasförmiger wassergefährdender Stoffe, zu Rohrleitungen in Springleranlagen und zu Rohrleitungen zum Befördern fester wassergefährdender Stoffe gemacht.
- Anforderungen bei der Nutzung von Abwasseranlagen als Auffangvorrichtung (§ 20a)
- Anforderungen an das Befüllen und Entleeren (§ 22)
  - Wer eine Anlage befüllt hat diesen Vorgang zu überwachen und sich vor Beginn der Arbeiten vom ordnungsgemäßen Zustand der dafür erforderlichen Sicherheitseinrichtungen zu überzeugen (Abs. (1)).
  - Behälter in Anlagen zum Umgang mit flüssigen wassergefährdenden Stoffen dürfen nur mit festen Leitungsanschlüssen unter Verwendung einer Überfüllsicherung befüllt werden..... (Abs. (2) usw.)
- Besondere Anforderungen an die Rückhaltung bei besonderen Anlagen bei der Nutzung von Abwasseranlagen als Auffangvorrichtung (Abschn. 3)
  - Vorgaben bzgl. Umschlagflächen, Anforderungen an Fass- und Gebinde lager, Abfüllflächen usw.

#### d) Ausrüstungsdatenblätter und -listen

Die Auslegungsergebnisse für die Hauptausstattungen werden in die Ausrüstungsdatenblätter eingetragen. Auf einem *Ausrüstungsdatenblatt*, das aus einer Engineering-Datenbank generiert wird, ist für nur eine Ausrüstungskomponente ein umfangreicher Satz von technisch-technologischen Daten abgebildet (s. Abb. 4.15).

Die entsprechenden Templates gehören zum „Handwerkzeug“ eines Ingenieurs. Mehrere Beispiele sind in [7] und [21] enthalten.

Dem Datenblatt werden häufig noch sog. *Anfrage- bzw. Entwurfszeichnungen* mit *Stützentabellen*, *Maßzeichnungen/-skizzen* u.ä. grafischen Informationen beigefügt, sodass die Vorgaben für den Konstrukteur und/oder Hersteller eindeutig sind. Mitunter werden diese Angaben auch in das Datenblatt integriert.

Die Stamm- bzw. Kerndaten der Ausrüstungen werden, z.B. strukturiert nach Teilanlagen und R&Is, in Form von *Ausrüstungslisten* zusammengefasst.

Die Kopfzeile mit den Apparateparametern einer Druckbehälter-Liste ist in Tabelle 4.10 angeführt.

**Tabelle 4.10** Mögliche Daten einer Ausrüstungsliste für Druckbehälter

Lfd.Nr.	Bezeichnung	Hersteller	Fabrik-Nr.	AKZ	R&I	Aufstellungsort	Medium	
Werk stoff	zul. Druck	zul. Temp.	Länge	Durchmesser	Volumen	Produkt PV	Prüf druck	Prüf gruppe

DOKUMENTATIONSTEIL:		DATENBLATT:	
		<b>KOLBENPUMPE</b>	
		<b>Verfahrenstechnik</b>	
		<b>22 – 11P2</b>	
BESCHREIBUNG	<b>Injektionspumpe</b>		
ANZAHL	1	SAUGSTUTZEN [DN/PN]	25/40 DIN 2635
R&I BLATT-NR.	23/12-Z/08 - 392	DRUCKSTUTZEN [DN/PN]	1" /1500 lbs ANSI RTJ
BAUART	Membranpumpe (Triplex)	GEWICHT (LEER) [kg]	1800
FÖRDERMEDIUM	Wasser enthärtet, entgast	ÖLMEIGE [l]	28
Arbeitstemperatur [°C]	40 - 70	<b>Werkstoffe</b>	
Dichte [g/cm³]	0,992 – 0,978	GEHÄUSE	St 52 – 3/1.4462
VISKOSITÄT [mPas]	0,65 – 0,40	KOLBEN / MEMBRAN	1.4034/PTFE
Fördermenge [l/h]	123 - 1230	VENTILGEHÄUSE	1.4462
DRUCK SS [bar(a)]	2 - 5	VENTILSITZ	Stellite 6
Druck Druckseite [bar(a)]	max. 251	VENTILPLATTE	Stellite 20
Umgebungstemperatur [°C]	-20 - +35	VENTILDICHTUNG	1.4462
<b>Mechanische Daten</b>		<b>Antrieb</b>	
ZUL. BETRIEBSÜBERDRUCK bar(ü)]	250	MOTOR	Fabrikat ..... FU - geeignet
Zul. Betriebstemperatur [°C]	70	STROMART	Drehstrom
Prüfdruck [bar(ü)]	325	Spannung [V]	400
EINSTELLDRUCK ÜBERSTRÖMV. [bar(ü)]	285	LEISTUNG [kW]	22,0
VENTILBAUART	Cone	FREQUENZ [Hz]	50
SAUGVENTIL FEDERDRUCK [bar(ü)]	0,2	DREHZAHL [1/min]	1450
Druckventil Federdruck [bar(ü)]	0,2	Veränderl. Drehzahl	1 : 10
Hubzahl [1/min]	12 - 112	SCHUTZART	IP 55
		Ex - Schutz	EEx de II CT4
<b>Bemerkungen:</b>	Anbauten: Winkelgetriebe, Pulsationsdämpfer saug - und druckseitig max. Arbeitstemperatur: 110 °C (kurzzeitig) Auslegungstemperatur: 180 °C (drucktragende Teile) Abnahmzeugnis: 3.1 C Außenaufstellung; für FU-Betrieb geeignet		

Abb. 4.15 Ausrüstungsdatenblatt einer Kolbenpumpe (nach Basic Engineering)

#### 4.2.1.5 Auslegung der Rohrleitungen

Die **Auslegung** der Rohrleitungen beinhaltet die Berechnung des Innendurchmessers bzw. der Nennweite (DN) der Rohrleitung.

Über die **Nennweite** ist in [22] ausgeführt:

**Nennweite (DN – Diameter Nominal)** ist eine Kenngröße, die bei Rohrleitungssystemen als kennzeichnendes Merkmal zueinander gehörender Teile, z.B. Rohre, Rohrverbindungen, Formstücke und Armaturen, benutzt wird.

Die Nennweiten entsprechen annähernd den lichten Durchmessern der Rohrleitungsteile. Da im Allgemeinen die Außenabmessungen der Rohre, Formstücke und Armaturen mit Rücksicht auf die Herstellung festliegen, können die lichten Durchmesser je nach den ausgeführten Wanddicken Unterschiede gegenüber den Kenngrößen (d. Verf.: angegebenen Zahlenwert) der Nennweiten aufweisen.

Die Nennweite entspricht somit fertigungsbedingt nicht exakt dem Innendurchmesser. Die Toleranzen sollten aber so gering sein, dass Rohrleitungsteile gleicher Nennweite miteinander kompatibel sind.

Die Ermittlung der Rohrnennweite ist eine Teamarbeit zwischen Verfahrenstechniker und Rohrplaner. Input sind die

- die Rohrleitungsdarstellungen auf den R&I-Fließschemata und
- die Massenströme und Zusammensetzungen aus der Bilanzierung.

Die überschlägige Ermittlung erfolgt auf Basis von bewährten Richtwerten für Strömungsgeschwindigkeiten in Rohrleitungen. Tabelle 4.11 enthält eine Auswahl für bestimmte Medien und Prozessbedingungen.

Die Richtwerte sind de facto eine „wirtschaftliche Strömungsgeschwindigkeit“ in Abwägung der Investitionskosten für die Rohrleitungen auf der einen Seite sowie der Maschinenkosten (Pumpen, Verdichter) und der Betriebskosten (Energie, Service) auf der anderen Seite.

Für korrosive Stoffe sind in Abhängigkeit vom Rohrleitungswerkstoff besondere Bedingungen zu beachten. Gleches gilt für Mehrphasengemische sowie für Kunststoffleitungen bzw. Stahlleitungen mit Innenbeschichtung bzw. Innenliner.

Hinsichtlich genauerer Auslegungs-Berechnungen, auch für Vakuumleitungen u.a. spezielle Leitungsarten, wird auf die Fachliteratur [14][23][24] verwiesen.

**Tabelle 4.11** Richtwerte für Strömungsgeschwindigkeiten [m/s] in Rohrleitungen (keine Vakuum-Rohrleitungen)

Medium	bis DN 50	DN 80 bis 250	DN 250 bis 500
Wasser: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Saugleitung</li> <li>▪ Druckleitung</li> </ul>	0,3 bis 0,6 0,6 bis 1,5	0,6 bis 1,2 0,9 bis 2,5	0,9 bis 1,8 1,2 bis 3,0
Kohlenwasserstoffe	0,4 bis 0,8	0,6 bis 1,2	0,9 bis 1,8
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Saugleitung</li> <li>▪ Druckleitung</li> <li>▪ Entleerungen</li> <li>▪ Zähflüssige Öle (Saugleitung)</li> </ul>	0,8 bis 1,1 0,9 bis 1,2 – –	0,9 bis 1,5 0,9 bis 1,5 0,4 bis 0,9 0,1 bis 0,2	1,2 bis 2,1 – 0,7 bis 1,5 0,25 bis 0,3
Dampf: bis 10 bar	13 bis 30	15 bis 35	20 bis 42

**Tab. 4.11 (Fortsetzung)**

<b>Medium</b>	<b>DN für Industrieanlagen<sup>1)</sup></b>
Dampf: 10 bis 40 bar	20 bis 40
40 bis 125	30 bis 60
Dampfkondensat	4 bis 6
Abdampf	15 bis 30
Druckluft (Netz)	15 bis 25
Kolbenverdichter (Saugleitung)	16 bis 20
Kolbenverdichter (Druckleitung)	25 bis 30
Kreiselverdichter (Saugleitung)	18 bis 23
Kreiselverdichter (Druckleitung)	25 bis 30
Vakuumpumpen (Saugleitung)	10 bis 30
Öle	
▪ Schweröl-Saugleitung, beheizt	0,5 bis 1,0
▪ Schweröl-Druckleitung, beheizt	1,0 bis 2,0
▪ Schmieröl-Druckleitung	1,0 bis 2,0
▪ Schmieröl-Ablaufleitung	bis 1,0
Chemische Produkte (flüssig)	3,0 bis 5,0
Schlämme	
▪ Asche-Schlämme	0,5 bis 2,5
▪ Abschlamm	1,0 bis 2,0
Pneumatische Förderung: ▪ körniger Stoffe	15 bis 30
▪ Stäube	über 20
Dichtstromförderung: Granulat	2 bis 4

<sup>1)</sup> tendenziell höhere zulässige Geschwindigkeiten bei größeren DN

Für Vakuum-Rohrleitungen wird in [14] vorgeschlagen:

Eine einfache Methode zur Auslegung von Vakuumleitungen ist die Ermittlung der zulässigen Strömungsgeschwindigkeit  $w_{zul}$  für einen Druckverlust von ca. 10 % des Gesamtdruckes.

Für die rechnerische Ausführung werden i. Allg. einfache Rechenprogramme genutzt. Die komplexen Programme zur Berechnung von Rohrleitungsnetzen kommen im Normalfall erst beim Detail Engineering zum Einsatz (s. Abschn. 7.2.5).

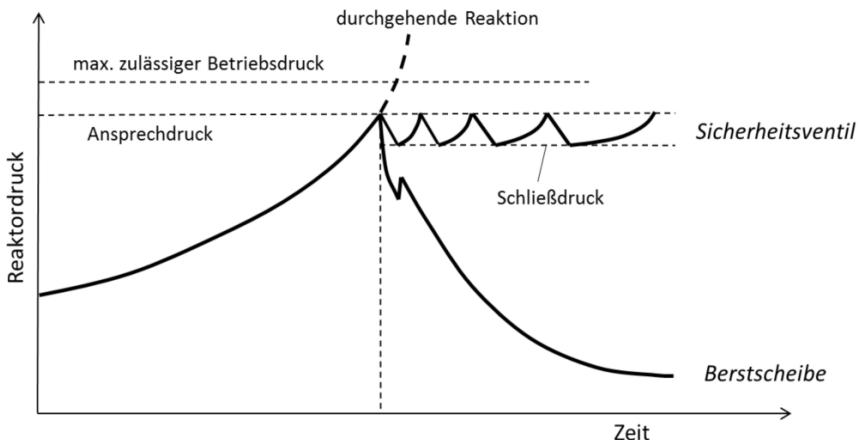
Entsprechend den berechneten Innendurchmesser wird aus den Rohr-Normen eine standardisierte Nennweite ausgewählt, immer die nächst größere.

Die ermittelten Nennweiten sind ein wichtiges Input für die in Abschn. 4.2.2 beschriebene Ermittlung der *Rohr-, Dichtungs- und Armaturenklassen*.

#### **4.2.1.6 Auswahl und Auslegung der Sicherheitsarmaturen gegen Drucküberschreitung**

Zu den Sicherheitsarmaturen gegen Drucküberschreitung gehören die Sicherheitsventile und die Berstsicherungen. Sie gehören in verfahrenstechnischen Anlagen zu den wichtigsten sicherheitstechnischen Anlagenkomponenten.

Die Wirkung eines Sicherheitsventils (SV) und einer Berstscheibe (BS) bei der Druckabsicherung eines Reaktors veranschaulicht Abb. 4.16.



**Abb. 4.16** Druckabsicherung eines Reaktors mit stark exothermer Reaktion [25]

Sollte im Reaktor, z.B. auf Grund einer unerwartet starken Reaktionswärme, der Druck plötzlich ansteigen, so spricht beim *Ansprechdruck* kurz unterhalb des maximal zulässigen Reaktordrucks das Sicherheitsventil an. Das Sicherheitsventil muss so gewählt sein, dass der zulässige Betriebsdruck nicht überschritten wird.

Die Abströmung über das SV bewirkt schließlich einen Druckabfall und das SV schließt. Zugleich wirkt die Reaktion weiter, sodass der Druck wieder steigt, das SV wieder öffnet usw. usf. Letztlich entsteht die dargestellte Druckschwingung.

Bei einer Berstscheibe passiert dies nicht. In diesen Fall fällt der Druck rasch bis auf den Ausgleichsdruck im Entspannungssystem ab.

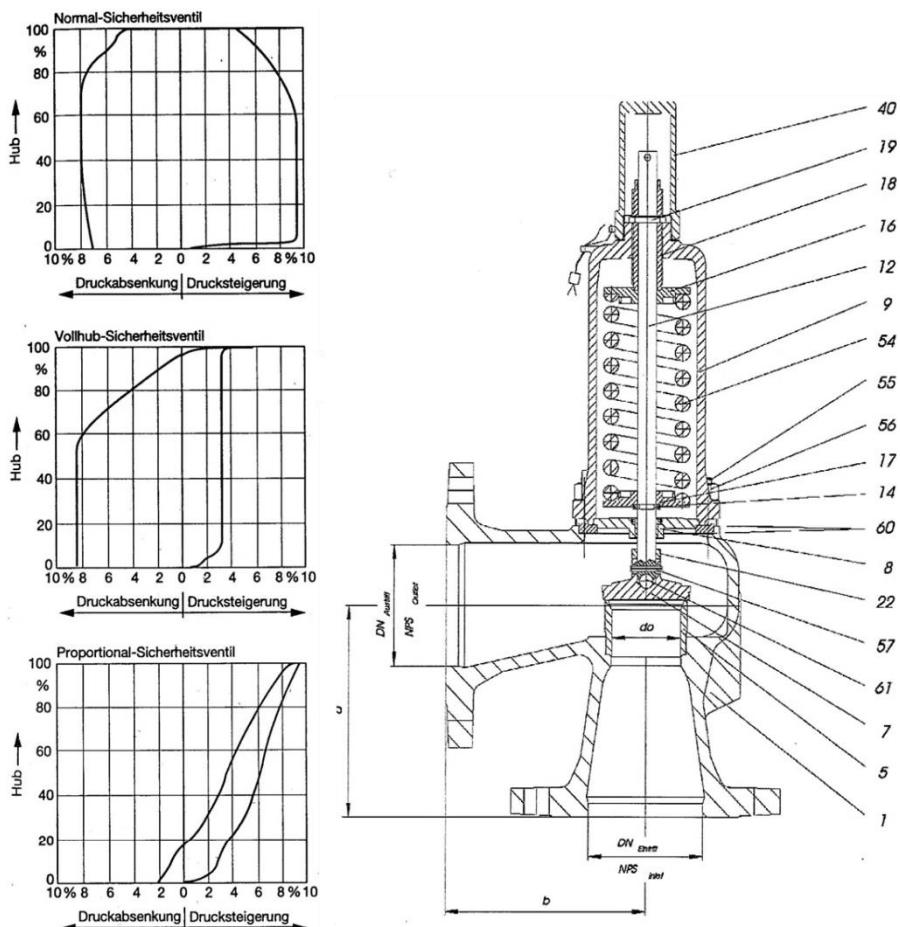
Das Beispiel zeigt den Vorteil eines Sicherheitsventils gegenüber der Berstscheibe, indem es nach dem Ansprechen und erfolgter Druckabsenkung wieder schließt. Dadurch kann der Produktverlust begrenzt und ggf. eine größere Produktionsunterbrechung für den Einbau einer neuen Berstscheibe vermieden werden. Die Vorteile der Berstscheibe oder Berstkappe (im Hochdruckbereich) sind andererseits:

- hohe Dynamik der Produktabführung und Druckentlastung,
- absolut dicht,
- unempfindlicher gegenüber Verschmutzungen, Verklebungen u.ä.,
- geringere Vereisungsgefahr,
- geringere Investitionskosten.

#### a) Bauarten von Sicherheitsventilen

Hinsichtlich ihrer Öffnungscharakteristik und Bauart werden nach AD-Merkblatt A2 [26] drei Sicherheitsventile unterschieden.

Die Kennlinien verschiedener Bauarten sowie die Bauteilzeichnung eines Proportional-Sicherheitsventils sind in Abb. 4.17 gezeigt.



**Abb. 4.17** Kennlinien von Normal-, Vollhub- und Proportional-Sicherheitsventil [25] sowie Aufbau eines Proportional-Sicherheitsventsils

#### a) Normal-Sicherheitsventil

- Sie erreichen nach dem Ansprechen innerhalb einer Druckerhöhung von max. 10 % den für die Massenstromabführung notwendigen Hub.
- Bei Unterschreiten des Ansprechdrucks um ca. 5 % schließen die Normal-SV wieder.

#### b) Vollhub-Sicherheitsventil

- Sie öffnen nach dem Ansprechen innerhalb von 5 % Druckerhöhung schlagartig bis zum Anschlag. Der Proportionalbereich bis zum Anschlag darf nicht mehr als 2 % des Gesamthubs betragen.
- Bei ca. 8 % Ansprechdruck-Unterschreitung ist das Vollhub-Sicherheitsventil wieder geschlossen.

c) *Proportional-Sicherheitsventil*

- Sie öffnen in Abhängigkeit nahezu stetig und sind bei max. 10 % Überschreiten des Ansprechdrucks soweit offen, dass der erforderliche Massenstrom abgeführt wird.

Vollhub- und z.T. auch Normal-Sicherheitsventile geben sehr schnell einen großen Querschnitt frei und haben eine relativ große Hysterese. Dies kann beim Ansprechen des SV, wie in Abb. 4.16 gezeichnet, Druck-Schwingungen bewirken.

Das Proportional-SV hat diese Eigenschaft nicht, muss aber mit einer größeren Nennweite ausgelegt werden, um im Extremfall die gleiche Abblasemenge zu gewährleisten.

Interessant erscheinen noch zwei kombinierte Anwendungen. Die erste betrifft den Einbau einer Berstscheibe vor dem Sicherheitsventil, um

- eine Leckage oder einen Produktverlust über ein undichtes SV zu vermeiden,
- das Ansprechen des SV, auch bei kleinen Abblasemengen, zu diagnostizieren, indem im Raum zwischen Berstscheibe und SV der Druck überwacht wird,
- eine mögliche Verschmutzung/Verklebung des SV zu vermeiden.

Abb. 4.18 zeigt ein praktisches Beispiel mit vorgebauter Berstscheibe und Drucküberwachung zwischen Berstscheibe und Sicherheitsventil. Die SVe sind aus Gründen hoher Versorgungssicherheit, z.B. bei der SV-Prüfung und Inspektion, doppelt ausgeführt. Das Umschaltgestänge sowie die Kette mit Schloss sind TÜV-geprüft und gesichert.



**Abb. 4.18** Doppel-Sicherheitsventile mit vorgebauter Berstscheibe und Drucküberwachung des Zwischenraums

Die zweite Spezifik betrifft die kombinierte Verwendung einer Druckentlastungseinrichtung mit einer PLT-Schutzeinrichtung.

Das Sicherheitsventil begrenzt die Auswirkungen eines Druckanstiegs, nicht aber die Entstehungsursache. Sein Ansprechen ist i.d.R. mit Produktverlust und gegebenenfalls auch mit Emissionen verbunden.

Die PLT-Schutzeinrichtung, deren Schaltwert niedriger als der Ansprechdruck des SV sein sollte, kann im Unterschied dazu „das Übel an der Wurzel packen“. Beispielsweise kann die unerwünschte chemische Reaktion, die den Druckanstieg verursachte, durch Quenching sofort unterbrochen und ein Ansprechen des Sicherheitsventils verhindert werden.

### b) Ermitteln der maximalen Abblaseleistung

Die *maximale Abblaseleistung* ist der maximale Beanspruchungsfall für das Sicherheitsventil bzw. für die Berstscheibe. Sie wird für jede einzelne Sicherheitsarmatur in folgenden Schritten ermittelt:

- 1) Identifizieren der potentiellen Möglichkeiten einer Drucksteigerung im abzusichernden Druckraum
  - Prinzipiell kommen folgende Möglichkeiten infrage:
    - vorgeschalteter Druckraum oder Netz mit höherem Druck
    - vorgeschalteter Verdichter oder vorgeschaltete Pumpe
    - direkte oder indirekte (unmittelbare) Beheizung
    - thermische Ausdehnung
    - Lagerung verflüssigter Gase bei einer Betriebstemperatur unterhalb der Umgebungstemperatur
    - exotherme Reaktion
  - Für jede Sicherheitseinrichtung sind die möglichen Auslösefälle zu ermitteln, zu berechnen und der maximale Beanspruchungsfall auszuwählen.
  - Im Einzelfall können die Ursachen für die Druckerhöhung unterschiedlich sein, ggf. auch mehrere gleichzeitig. In der Stoffwirtschaft sind exotherme Reaktionen, dazu gehören auch die Explosionen, nicht selten die kritischen Fälle.
- 2) Berechnen der Leistungsdaten (Mengen- und Volumenströme, Ansprechzeiten u.a.) für den maximalen Beanspruchungsfall (kritischer Auslösevorgang)

### c) Auswahl der Sicherheitseinrichtung und Anlegen der SV-Datenblätter

Auf Basis der berechneten Beanspruchungsfälle bzw. Auslösevorgänge erfolgen:

- 1) Wahl der Sicherheitseinrichtung sowie der Bauart der gewählten Einrichtung
  - Mögliche Sicherheitseinrichtungen sind Sicherheitsventil, Berstscheibe, Tauchung, PLT-Schutzeinrichtung bzw. Kombinationen dieser.
  - Bauarten sind z.B. Vollhub- oder Proportional-Sicherheitsventil
- 2) Eintragen der Betriebsbedingungen für den Auslegungsfall in das Spezifikationsblatt zum Sicherheitsventil (sog. Sicherheitsventil-Datenblatt)
  - Die meisten Ingenieurunternehmen haben Rechenprogramme für Sicherheitsventile, mit denen sie selbst die SV, gegebenenfalls für verschiedene

Lastfälle, berechnen können. Die Daten des ausgelegten SV werden in einem SV-Datenblatt ausgedruckt und an den SV-Ventil-Hersteller verschickt.

- Die verbindliche Auslegung des SV sollte in jedem Fall der Hersteller tun. Er gewährleistet später mit Lieferung eines vollständig ausgefüllten SV-Datenblatts und der zugehörigen Einstellbescheinigung für die sachgerechte Funktion des Sicherheitsventils.
- Die Stammdaten der einzelnen SV-Spezifikations-/Datenblätter werden in *Sicherheitsventil-Listen* zusammengefasst.

## 4.2.2 Entwurfsplanung Rohrleitungstechnik

Die Rohrleitungsplanung wird im Basic Engineering nur soweit ausgeführt, wie es für das Erreichen der grundlegenden Zielstellungen des Basic Engineering (s. Einführung zu Abschn. 4.2) notwendig ist. Dazu gehören insbesondere:

- Die Darstellung der Rohrleitungen und Armaturen in den Fließschemata.
  - s. Abschn. 4.2.1.1: Fließschemaarbeit
  - s. Abschn. 4.2.1.3: Festlegung der Betriebsparamater und Druckstufen
  - s. Abschn. 4.2.1.5: Auslegung der Rohrleitungen
- Die Einbeziehung der Rohrleitungen und Rohrleitungsteile in die Aspekte der Werkstoffauswahl und des Korrosionsschutzes.
  - s. Abschn. 4.32.3: Werkstoffauswahl und Korrosionsschutz
- Die Einbindung der Rohrleitungstrassen und Haupt-Rohrleitungen in die 3D-Anlagenentwurfplanung, inkl. Aufstellungsentwurf.
  - s. Abschn. 3.3.2: Lageplanung und Grob-Layoutplanung
  - s. Abschn. 4.2.4: 3D-Anlagenentwurfsplanung und Aufstellungsentwurf
- Die Berücksichtigung der Rohrbrücken in die Stahlbau-Entwurfsplanung.
  - s. Abschn. 4.2.5: Entwurfsplanung Bau und Stahlbau
- Die Beachtung der GSU-Gefährdungen (Gesundheit-Sicherheit-Umwelt), die von Rohrleitungen ausgehen können, bei der Sicherheitsarbeit und im Genehmigungsverfahren.
  - s. Abschn. 4.3.2: Durchführen der Risikobeurteilung und SIL-Einstufung
  - s. Abschn. 4.3.3: Erarbeiten des Explosionsschutzdokuments
  - s. Abschn. 5.5.: Genehmigungsverfahren nach BImSchG
- Die Erfassung der Rohrleitungskosten bei der Investitionskostenermittlung
  - s. Abschn. 6.2.3: Zuschlagsfaktorenmethoden

Die meisten Planungsleistungen für Rohrleitungen und Zubehör finden im Detail Engineering statt (s. Ablaufschema und Ausführungen in Abschn. 7.2.5).

Im Weiteren werden nur diejenigen Planungsleistungen ergänzt, die dem Basic Engineering zuzuordnen sind und nicht in den o.g. Schwerpunkten und Abschnit-

ten erfasst sind. Dies betrifft vorrangig die Wahl bzw. Erarbeitung der *Rohr-, Dichtungs- und Armaturenklassen*.

Die Rohr-, Dichtungs- und Armaturenklassen, die im Projekt zu nutzen sind, müssen im Lastenheft, sowie für die Ausführung im Pflichtenheft, vorgegeben werden. Im Allgemeinen hat der Auftraggeber eigene Klassen, die er zugrunde legt. Besitzt er keine, muss er diese zusammen mit der Rohrleitungsplanung einkaufen bzw. neue erstellen lassen.

#### **4.2.2.1 Rohrklassen und Rohrleitungs-Kennzeichen**

##### **a) Begriffsbestimmung und Inhalt**

Die Rohrplaner arbeiten seit Jahrzehnten mit Planungs-Typicals in Form von *Rohrklassen*.

**Rohrklaasse (RKL)** ist eine Zusammenstellung und Beschreibung aller Rohrleitungsteile, die einem bestimmten Werkstoff sowie einem Druck- und Temperaturbereich zugeordnet sind.

Innerhalb einer Rohrklaasse sind die *Rohrleitungsteile* für verschiedene Nennweiten bezogen auf die angeführten Einsatzgrenzen eindeutig definiert.

Zu den erfassten Rohrleitungsteilen gehören die

- eigentlichen *Rohre*,
- *Formstücke* (Bögen, T-Stücke, Reduzierstücke, Abzweige, Blindflansche) und *Rohrverbindungen* (Flansche, Schrauben, Muttern).

Nicht zur Rohrklaasse gehören *Rohrhalterungen* und *Rohrleitungssonderteile* (Düsen, Lochblenden, Drosselscheiben, Steckscheiben, Siebe, Trichter, Mischelemente u.ä.), die i.Allg. erst während des „Detail“ konstruiert werden (s. Abschn. 7.2.5)

Indem mit Rohrklassen gearbeitet wird, kommen für definierte Einsatzbedingungen (Medium, Druck, Temperatur) standardisierte sowie exakt dimensionierte und nachgeprüfte Rohrleitungsteile (-normteile) zum Einsatz. Dadurch wird der Planungsaufwand, aber auch der Beschaffungs-, Montage und Instandhaltungsaufwand verringert. Tabelle 4.12 zeigt das Inhaltsverzeichnis einer Rohrklaasse.

**Tabelle 4.12** Inhaltsverzeichnis einer Rohrklaasse (Praxisbeispiel)

---

#### **1 Anwendungsbereich**

- 1.1 Basisdaten
    - 1.1.1 Druck- und Temperaturbereich
    - 1.1.2 Werkstoff
    - 1.1.3 Nennweitenbereich
  - 1.2 Rohrverbindungen
  - 1.3 Dimensionierungsdaten
    - 1.3.1 Angewandte Normen, Richtlinien
    - 1.3.2 Sicherheitsbeiwert
    - 1.3.3 Wanddickenunterschreitung
    - 1.3.4 Festigkeitskennwerte
    - 1.3.5 Korrosionszuschlag
-

**Tab. 4.12** (Fortsetzung)**2 Listen**

- 2.1 Liste der Rohrleitungsstandardteile
- 2.2 Liste der Rohrleitungssonderteile
- 2.3 Liste der rohrklassenzugeordneten Armaturen

**3 Angaben zu Rohrleitungsteilen**

- 3.1 Wanddickentabellen
- 3.2 Rohre
- 3.3 Rohrbögen
- 3.4 Rohrbiegung
- 3.5 T-Stücke
- 3.6 Reduzierstücke
- 3.7 Kappen
- 3.8 Maßtabellen für Flansche
- 3.9 Vorschweißflansche
- 3.10 Blindflansche
- 3.11 Steckscheiben
- 3.12 Schrauben und Muttern

**b) Vorgehensweise beim Erarbeiten neuer Rohrklassen**

- Ausgangspunkt bei der Erstellung einer Rohrklaasse (auch für die Dichtungs- und Armaturenklaasse) sind die Prozessbedingungen in der Rohrleitung, insbesondere Medium, Zusammensetzung, Druck, Temperatur und Strömungsgeschwindigkeit inkl. deren Schwankungsbreite.
- Entsprechend diesen Bedingungen ist ein geeigneter Werkstoff auszuwählen bzw. durch Versuche zu finden (s. auch Abschn. 4.2.3).
- Mit diesem Rohrwerkstoff werden auf Basis des geltenden Regelwerks die Rohrleitungsteile festigkeitsmäßig dimensioniert, d.h. die geometrischen Abmessungen (Wanddicke) ermittelt.
- Unter Berücksichtigung von ausreichenden Sicherheiten (Sicherheitsbeiwert, Korrosionszuschläge, mögliche fertigungsbedingte Wanddickenunterschreitungen usw.) werden letztlich die Nennweiten bzw. andere Standardabmessungen ausgewählt.
- Da viele Rohrleitungen der Druckgeräte-Richtlinie [11] und Betriebssicherheitsverordnung [27] unterliegen, sind die Rechenergebnisse zu den Rohrklassen (i.d.R. auch von den Dichtungs- und Armaturenklassen) von einer zugelassenen Stelle zu prüfen und zu bestätigen.

Die Ausführungen belegen, dass viel Know-how und ein erheblicher Aufwand notwendig sind, um die Rohrklassen zu erarbeiten.

**c) Standardisierung der Rohrklassen**

Insgesamt ist die aktuell praktizierte Situation auf diesem Fachgebiet, national und international, sehr heterogen.

Wenn man bedenkt, wie verschieden beispielsweise die Prozessbedingungen in der chemischen bzw. pharmazeutischen Industrie, der Öl- und Gasindustrie und der Kraftwerksindustrie sind, so ist die große Vielzahl unterschiedlicher Rohrklassen (auch Armaturen- und Dichtungsklassen) verständlich. Es geht um viele hunderte Klassen, die historisch gewachsen sind und seit vielen Jahren planerisch genutzt werden sowie in zahlreichen Anlagen „verbaut“ sind.

Seit 2002 existiert die EU-Norm EN 13480 [28] mit der Absicht, die Rohrleitungsplanung in Europa gemäß den Anforderungen der Druckgeräte-Richtlinie [11] zu vereinheitlichen. Weitere Normen sind in Tabelle 4.13 angeführt.

**Tabelle 4.13** Ausgewählte Normen für die Rohrleitungsplanung

Norm	Titel und Inhalt
EN 13480	Metallische industrielle Rohrleitungen Teil 1: Allgemeines Teil 2: Werkstoffe Teil 3: Konstruktion und Berechnung Teil 4: Fertigung und Verlegung Teil 5: Prüfung Teil 6: Zusätzliche Anforderungen an erdgedeckte Rohrleitungen Teil 7: Anleitung für den Gebrauch des Konformitätsbewertungsverfahrens
EN 1092-1	Flansche und ihre Verbindungen – Runde Flansche für Rohre, Armaturen, Formstücke und Zubehörteile, Teil 1: Stahlflansche
EN 1514	Flansche und ihre Verbindungen; Masse für Dichtungen für Flansche
PAS 1057	Rohrklassen für verfahrenstechnische Anlagen Teil 1: Grundlagen für das Erstellen von Rohrklassen basierend auf EN 13480 Teil 5: Formstücke – Sonderform
PAS 1085	Gemeinsame Lieferbedingungen für Armaturen, Stellgeräte und PLT-Feldgeräte
AD-2000 HP100R	Bauvorschriften – Rohrleitungen aus metallischen Werkstoffen

Der Umsetzungsprozess der EN 13480 steht, auch in der BRD, erst am Anfang. Eine europaweite Harmonisierung der Rohrleitungsplanung ist sicher wünschenswert, aber sehr aufwendig und verursacht grundlegende Änderungen für die Planer und insbesondere für die Anlagenbetreiber.

Die Anwendung der EU 13480 bewirkt zum Teil den Einsatz anderer metallischer Werkstoffe und führt tendenziell, nach Meinung mehrerer Fachkollegen, zu einem höheren Aufwand.

Die Armaturen und Dichtungen sind, mit Ausnahme der Dichtflächenform, nicht Teil der Rohrklasse und müssen eigenständig spezifiziert werden. Über die zweckmäßige Zuordnung der neuen Armaturen- und Dichtungsklassen zu den neuen Rohrklassen muss neu entschieden werden.

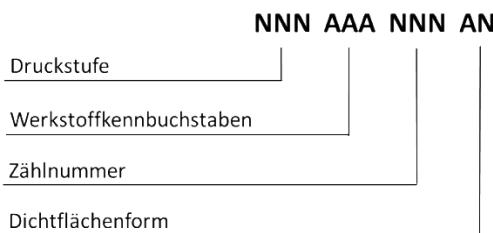
Um trotzdem bei der europaweiten Harmonisierung voran zu kommen, haben die chemische Industrie (Betreiber) und der betroffene Anlagenbau im GVC-Arbeitskreis „Rohrklassen“ beschlossen, einheitliche Grundlagen zu firmenübergreifenden Standardrohrklassen in verfahrenstechnischen Anlagen zu erarbeiten.

Die vom Arbeitskreis erarbeiteten Grundlagen, die die EN 13480 als einheitliche Basis für Standardrohrklassen in Europa respektieren, werden als **PAS** (**P**ublicly **A**vailable **S**pecification) veröffentlicht. Tabelle 4.13 enthält einige PAS.

Die üblichen 3D-Planungstools verfügen zum Teil über die EN-Rohrklassen bzw. können i. Allg. auf die neuen EN-Rohrklassen umgestellt werden.

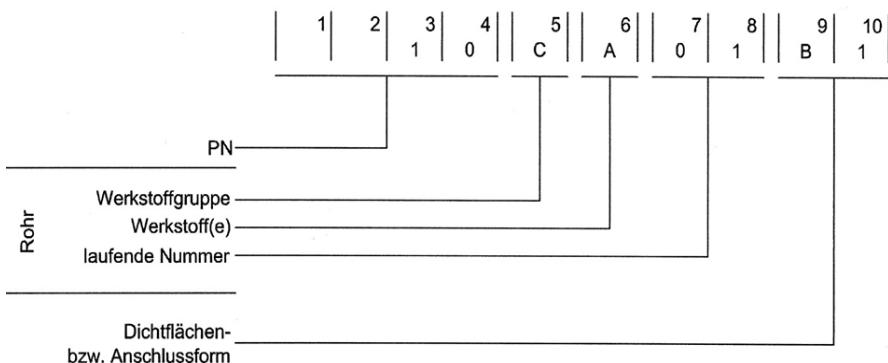
#### d) Kennzeichnung bzw. Benennung der Rohrklasse

In Abb. 4.19 ist der Aufbau eines Rohrklassen-Kennzeichens nach EN 13480 [28] dargestellt.



**Abb. 4.19** Gliederung der Rohrklasse nach EN 13480 [28]

Der o.g. GVC-Arbeitskreis „Rohrklassen“ hat daraus, als Vorschlag für die praktische Umsetzung, das Kennzeichen gemäß Abb. 4.20 generiert und in der PAS 1057-1 [29] sowie in der DIN 28000-3 [3] veröffentlicht.



**Abb. 4.20** Gliederung der Rohrklasse nach PAS 1057-1 [29]

In beiden Fällen setzt sich das Kennzeichen bzw. die Benennung einer Rohrklasse aus der Druckstufe (Nenndruck PN), den Kennbuchstaben für den Rohrwerkstoff, einer laufenden Nummer (Zählnummer) und der Bezeichnung für die Dichtflächen- bzw. Anschlussform zusammen.

Die Zählnummer kann beispielsweise die Nummer der Standardrohrklasse sein, aber auch eine projektspezifische Spezifikation charakterisieren.

Entsprechend den Gestaltungsmöglichkeiten, die die EN 13480 zulässt, wurden bei der Rohrklasse nach PAS die Zeichen pro kennzeichnenden Block den Bedarf angepasst. Neben der *Dichtflächenform* ist rechts noch ein Zeichen für die *Dichtungsgruppe* angefügt. Weitere Zeichenerweiterungen, z.B. zur näheren Charakterisierung der Dichtung (Dichtungswerkstoff, Dichtungsart) sind möglich.

Im Planungsprozess wird die richtige Rohrklasse schließlich wie folgt ausgewählt:

1. Bestimmen der Mediennummer bzw. der Stoffkennzahl für den Durchflussstoff durch die Rohrleitung.
  2. Mit der Mediennummer sowie den Nenndruck PN und der maximalen Betriebstemperatur in der Rohrleitung kann die Rohrklasse ausgewählt werden.
- Gibt es für diese Prozessbedingungen keine Rohrklasse, muss eine erarbeitet bzw. die Rohrleitung individuell werkstoffseitig dimensioniert werden.

#### e) Rohrwerkstoff der Rohrklasse [29]

Maßgeblich für die Festlegung der Werkstoffbezeichnung einer Rohrklasse ist der Rohrwerkstoff. Die Gruppeneinteilung der Werkstoffe (entspricht Kennbuchstabe für Werkstoffgruppe in Rohrklasse gemäß Abb. 4.20) erfolgt nach Tabelle 4.14.

**Tabelle 4.14** Einteilung der Stahlsorten in Werkstoffgruppen

Gruppe	Stahlsorte
B	Unlegierte Stähle mit festgelegten Eigenschaften bei Raumtemperatur
C	Unlegierte und legierte Stähle mit festgelegten Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen
F	Legierte Feinkornbaustähle und legierte Stähle mit festgelegten Eigenschaften bei tiefen Temperaturen
H	Nichtrostende Stähle
X	Sonstige Werkstoffe

Durch einen 2. Kennbuchstaben, der ebenfalls ins Rohrklassen-Kennzeichen einge-fügt wird, ist der eigentliche Werkstoff einer Gruppe identifiziert (s. Tab. 4.15 und 4.16).

**Tabelle 4.15** Kennbuchstaben für Werkstoffe der Gruppen B und C

Unlegierte Stähle mit festgelegten Eigenschaften bei Raumtemperatur		Unlegierte und legierte Stähle mit festgelegten Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen	
Kennbuchstaben	Bezeichnung	Kennbuchstaben	Bezeichnung
BA	P235GH	CA	P235GH
BX	Sonstige	CB	P265GH
		CC	16Mo3
		CD	13CrMo4-5
		CE	10CrMo9-10
		CX	Sonstige

**Tabelle 4.16** Kennbuchstaben für Werkstoffe der Gruppen F und H

Legierte Feinkornbaustähle u. legierte Stähle mit festgelegten Eigenschaften bei tiefen Temperaturen		Nichtrostende Stähle	
Kennbuchstaben	Bezeichnung	Kennbuchstaben	Bezeichnung
FA	P215NL	HA	1.4301 (X5CrNi18-10)
FB	P255QL	HB	1.4306 (X2CrNi19-11)
FC	P355NH	HC	1.4541 (X6CrNiTi18-10)
FD	P355NL1	HD	1.4571 (X6CrNiMoTi17-12-2)
FE	P355NL2	HE	1.4401 (X5CrNiMo17-12-2)
FF	12Ni14	HF	1.4404 (X2CrNiMo 17-13-2)
FX	Sonstige	HG	1.4462 (X2CrNiMoN22-5-3)
		HX	Sonstige

Die Einteilung der Werkstoffe erfolgte in Anlehnung an die EN 10020 und das Bezeichnungssystem für Stähle nach EN 10027-1.

Die in den Tabellen 4.15 und 4.16 gelisteten Werkstoffe entsprechen den grundlegenden Sicherheitsanforderungen der Druckgeräte-RL (DGRL).

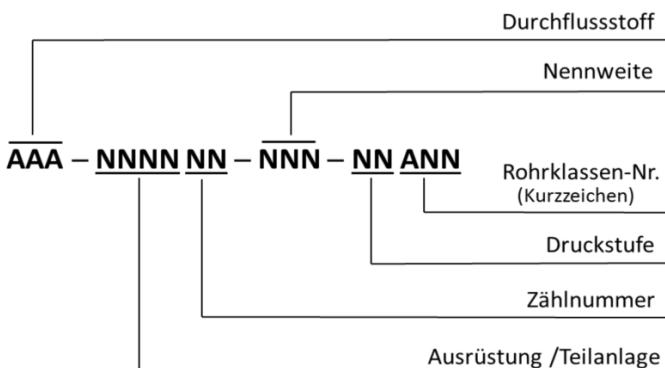
### f) Kennzeichnung der Rohrleitungen

Auf den R&I-Fließschemata u.a. Dokumenten (z.B. Rohrleitungsliste, Rohrleitungsisometrie) wird zur eindeutigen Identifizierung der Rohrleitung ein Rohrleitungs-Kennzeichen benötigt. Die Rohrklasse allein reicht dazu nicht.

Weitere ergänzende Stammdaten der Rohrleitung, die im Kennzeichen abgebildet werden müssen, sind z. B.

- den Nenndurchmesser DN,
- die Zuordnung der Rohrleitung zu einer Teilanlage/R&I-Fließschema,
- eine fortlaufende Zählnummer der Rohrleitung bezogen auf die Teilanlage, ggf. auch auf die Gesamtanlage.

Abb. 4.21 zeigt beispielhaft ein Rohrleitungs-Kennzeichen.

**Abb. 4.21** Gliederung eines Rohrleitungs-Kennzeichens (Praxisbeispiel)

### 4.2.2.2 Dichtungs- und Armaturenklassen sowie Kennzeichnung

#### a) Dichtungsklassen

**Dichtungsklasse (DKL)** ist eine Zusammenstellung und Beschreibung von Dichtflächen- bzw. Anschlussformen sowie von Dichtungen, die einem bestimmten Werkstoff sowie einem Druck- und Temperaturbereich zugeordnet sind und zum Abdichten von Verbindungen (Flansche, Gewinde) in Rohrleitungen dienen.

In der Regel werden auch *Dichtungen* in der Rohrklasse aufgenommen. Dies kann im einfachsten Fall nur die Dichtflächen- bzw. Anschlussform betreffen (s. Abb. 4.20), kann aber durch zusätzliche Zeichen auch die Dichtungsgruppe und den Dichtungswerkstoff darstellen.

*Zur eindeutigen Beschreibung einer Dichtung müssen Nenndurchmesser DN, Druckstufe PN, Dichtungsgruppe, laufende Nummer und Dichtflächenform angegeben werden.*

Mögliche Dichtflächenformen und Dichtungsgruppen sind in Tabelle 4.17 zusammengestellt.

**Tabelle 4.17** Dichtflächenformen/Anschlussformen und Dichtungsgruppen [29][30]

Kennbuchstabe	Dichtflächen und Anschlussformen	Kennbuchstabe	Dichtungsgruppen bzw. Dichtungsarten
A	ohne Dichtleiste	F	Faserdichtungen, auch mit Innenbördel
B	Dichtleiste		
C	Feder	G	Graphitdichtungen, auch mit Innenbördel
D	Nut		
E	Vor- und Rücksprung	K	Kammprofildichtungen
M	Membran-Schweißdichtung	M	Metalldichtungen (z.B. Dichtlinse, Ringjoint)
L	Linsendichtung		
J	Ringjoint	R	Elastomerdichtungen
S	Anschweißende	S	Spiraldichtungen
W	Schneid- und Klemmring	T	PTFE-Dichtungen, auch ummantelte Dichtungen
Y	Innengewinde		
Z	Außengewinde	X	Sonstige Dichtungen

Die Auswahl der Dichtungsmerkmale erfolgt gemeinsam mit der Wahl der Rohrklasse. Bei Änderung des Dichtungswerkstoffes kann es erforderlich sein, auch die Zuordnung der Flansche und Schrauben zu ändern (Dichtflächenform, Flächenpressung).

#### b) Auswahl von Armaturen

In verfahrenstechnischen Anlagen kommen die verschiedensten Arten von Armaturen zu unterschiedlichsten Zwecken zum Einsatz, wie z.B.

- Absperrarmaturen (Ventile, Schieber, Klappen, Kugelhähne),
- Regelarmaturen (Regelventile, Regelklappen, Überström-/Druckhalteventile),

- Sicherheitsarmaturen (Sicherheitsventil, Berstscheibe, Sicherheits-Absperr-armatur-/ventil (SAV), Überdruck-/Unterdruck-Sicherheitsarmatur, Flammen-rückschlagarmatur),
- Kondensatableiter bzw. Kondensomat,
- Rückschlagarmaturen (Rückschlagklappe, Rückschlagventil).

Die Bauform kann sehr verschieden sein. Armaturen können mit Hand betätigt oder mittels Antrieb automatisiert betrieben werden.

Das Engineering der sicherheits- und verfahrensspezifischen Armaturen erfolgt im Basic Engineering in Verbindung mit dem Komplettieren der Verfahrensfließ-schemata und insbesondere mit dem Erarbeiten der R&I-Fließschemata.

Die „normalen“ Armaturen werden im Normalfall im Detail Engineering bei der Rohrleitungsplanung (s. Abschn. 7.2.5) und für die Aktoren bei der PLT-Ausführungsplanung (s. Abschn. 7.2.6) engineert. Wie anspruchsvoll die Planung ist, zeigen beispielhaft die Angaben in Tabelle 4.18 nach [14].

**Tabelle 4.18** Kriterien und Hinweise für die Auswahl von Absperrarmaturen [14]

1. Für die reine Auf-Zu-Funktion sind Klappen, Kugelhähne und Schieber gut geeignet; zum Drosseln sind Ventile oder Klappen vorteilhafter.
2. Der Werkstoff muss unter allen, gegebenen Prozessbedingungen (Medium, Druck, Temperatur, Strömungsbedingungen) geeignet sein.  
Mögliche Korrosion, auch bei Nebenfahrweisen ist zu beachten.  
Bei Elastomerabdichtungen ist zu beachten, dass bei höheren Temperaturen die zulässige Druckbelastung abnimmt.
3. Ein absolut dichter Abschluss ist mit metallischer Abdichtung nur schwer zu erreichen. Mit Hilfe von Weichstoffdichtungen (PTFE, Viton, Silikon) ist ein dichter Abschluss möglich.
4. Die Leckage der Armatur ist ein wichtiges Auswahlkriterium, um Emissionen zu vermeiden bzw. zu vermindern.  
Bei Armaturen nach TA-Luft (mit Zertifikat) erfolgt die Abdichtung mit Faltenbalg oder geprüfter Stopfbuchse, die möglichst federbelastet sein sollten.
5. Auf der Saugseite von Pumpen mit Kavitationsgefahr sind Auf-Zu-Armaturen mit geringem Druckverlust zu verwenden, keine Ventile.
6. Geringe Baulängen und Gewichte werden mit Zwischenflanscharmaturen in kurzer Baulänge erreicht.
7. Die Automatisierung kann mit pneumatischen, elektrischen oder hydraulischen Antrieben erfolgen. Kriterien sind vorrangig die Vorgaben zur Schließ- und/oder Öffnungszeit sowie Anforderungen an die Ex-Sicherheit.
8. Die bis zu Drücken von 16 bar eingesetzten weichgedichteten Kugelhähne und Absperrklappen haben folgende Vorteile:
  - hervorragende Dichtigkeit im Abschluss, auch im Vakuum und nach langer Betriebszeit,
  - geringe Druckverluste, geringe Kavitationsgefahr,
  - einfache Automatisierung wegen 90°-Drehung,
  - geringe Verstopfungsgefahr, insbesondere in Kugelhähnen,
  - geringe erforderliche Drehmomente, insbesondere bei Absperrklappen.

### c) Armaturenklassen und Armaturenkennzeichen

**Armaturenklaße (AKL)** ist eine Zusammenstellung und Beschreibung aller Armaturen, die einem bestimmten Werkstoff sowie einem Druck- und Temperaturbereich zugeordnet sind und zum Absperren bzw. Regeln von Stoffströmen in einer Rohrleitung dienen.

Die Armaturenklaße muss die Wesensmerkmale der Armatur kennzeichnen, wie Bauart, Nenndruck PN, Nenndurchmesser DN, Werkstoff, Bauform, Anschluss.

Das Kennzeichen einer Armaturenklaße besteht häufig aus zwei Zeichen: Nenndruck PN und Zählnummer für die Armaturenklaße.

Zur eindeutigen Identifizierung einer Armatur dient das Armaturenkennzeichen, dass sich z.B. zusammensetzt aus

- dem Kennbuchstaben der Armatur (s. Tab. 4.19 und Tab. 4.6, Abschn. 4.2.1.1),
- dem Nenndruck PN bzw. einer entsprechenden Kennzahl,,
- der Kennzahl für den Gehäusewerkstoff,
- der Zählnummer,
- der Kennzahl für die Spindel- und Gehäusedichtung,
- dem Kennbuchstaben für den Armaturenanschluss.

**Tabelle 4.19** Kennbuchstaben für Armaturen [2]

Kennbuch-stabe	Sachgruppe	Kennbuch-stabe	Sachgruppe
B	Absperrventil	S	Armatur mit Sicherheitsfunkti-on (z. B.. Berstscheibe)
F	Filter, Sieb, Schmutzfänger		
G	Sichtscheibe	V	Ventil, allgemein
H	Regelventil	X	andere definierte Armaturen
K	Kondensomat	Y	andere definierte Armaturen mit Sicherheitsfunktion
R	Rückschlagventil	Z	Blende, Blindscheibe

Abschließend zu diesem Abschnitt sei noch ergänzt, dass die ermittelten Daten zu den Rohr-, Armaturen- und Dichtungsklassen und Rohrleitungs- bzw. Armaturenkennzeichen in die R&I-Fließschemata einzupflegen sind.

Ferner sind die Daten der Rohrleitungen, z.B. nach R&Is geordnet, in Rohrleitungslisten bzw. -verzeichnissen zusammenzufassen.

Die mögliche Kopfzeile mit den Rohrleitungsparametern einer Rohrleitungsliste zeigt Tabelle 4.20.

**Tabelle 4.20** Mögliche Daten einer Rohrleitungsliste (-verzeichnis)

Lfd. Nr.	R&I	AKZ	Verlauf von – nach	DN	RKL	Medium	Aggregatzustand	max. zul. Druck	max. zul. Temp.
Einstufung n. BetrSichV	Prüfung durch	Prüfdruck	Schweißprüfung	Dämmung/ Beheizung	Anstrich	Isomtrie-Nr.			

Im Einzelfall können, insbesondere bei erdverlegten Leitungen, weitere Rohrleitungsdaten hinzukommen, wie z.B. Strömungsgeschwindigkeit, Dichtungs- und Armaturenklassen, Innenbeschichtung, Liner, kathodischer Korrosionsschutz.

### 4.2.3 Werkstoffauswahl und Korrosionsschutz

Die Werkstoffe sind in verfahrenstechnischen Anlagen hohen Beanspruchungen ausgesetzt. Die wichtigsten Einflussfaktoren und mögliche Reaktionen des Werkstoffs zeigt Tabelle 4.21. Nicht selten wirken mehrere Beanspruchungsarten gleichzeitig.

**Tabelle 4.21** Beanspruchungen und Reaktionen des Werkstoffs [31]

Art der Beanspruchung	Reaktion des Werkstoffes	
<b>mechanisch</b>	<i>massiv</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– plastische Verformung</li> <li>– Riss, Bruch</li> </ul>
	<i>oberflächlich</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Verschleiß</li> <li>– Kavitation</li> <li>– Abrasion, Tropfenschlag</li> </ul>
<b>thermisch</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Erweichung, Versprödung</li> <li>– Gefügeänderung</li> <li>– Zersetzung</li> </ul>	
<b>chemisch/ physikalisch</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Stoffaufnahme/-abgabe</li> <li>– Korrosion (flächig, örtlich)</li> </ul>	

Praktische Beispiele für die angeführten Werkstoffreaktionen bzw. -schädigungen sind:

- die Überdehnung der Schrauben an heißen Apparate- oder Rohrflanschen, z. B. wegen zu großer Anzugsmomente oder zu großen Temperaturgradienten beim Anfahren,
- das „Fließen“ von nichtgekapselten PTFE-Dichtungen ohne Kern,
- Risse an Stutzen bzw. Abzweigen an Rohrleitungen oder Impulsleitungen durch Schwingungen (Kolbenpumpe),
- Gewaltbruch an Turbinenwellen durch nicht sachgerechte Ausrichtung/Auswuchtung der Turbine im kalten Zustand,
- Schäden an Kreiselpumpen durch Saugseiten-Kavitation, z. B. wegen fehlenden bzw. nichtfunktionsfähigen Trockenlaufschutz,
- Abrasion an Pumpen und Rohrleitungen zur Förderung von Ascheschlamm,
- Tropfenschlag an Laufrädern von Dampfturbinen durch Nassdampf,
- Erweichen von Innenbeschichtungen bzw. Inlinern aus Kunststoff bei erhöhten Temperaturen,
- verringerte zulässige Betriebsdrücke von Druckbehältern bei Temperaturen unterhalb  $-15^{\circ}\text{C}$ ,
- Verspröden von Kunststoffrohren durch Ausdünnen des Weichmachers,

- Rohrreißer an Dampferzeugerrohren durch Werkstoffermüdung,
- Hochtemperatur-Korrosion im Kessel von Müllverbrennungsanlagen durch Chlor (z.B. durch Polyvinylchlorid-Abfälle),
- die sog. *Betonkorrosion* an Betonbauwerken in Form der Carbonatisierung des Zementsteins, die mitunter die Bewehrung freilegt und deren Korrosion begünstigt,
- der sog. *Betonkrebs* auf Autobahnen als Langzeit-Alkali-Kieselsäure-Reaktion mit nachfolgender Rissentstehung (s. Abb. 4.31 in Abschn. 4.2.5, Buchst. d)).

Die angeführten Praxisbeispiele zeigen, welch unterschiedlichen Belastungen die Werkstoffe ausgesetzt sind und gerecht werden müssen.

Schäden durch Werkstoffversagen sind i.d.R. gravierend und können den Projekterfolg stark gefährden. Dies gilt in verfahrenstechnischen Anlagen und insbesondere in der stoffwirtschaftlichen Industrie vor allem bei Korrosionsschäden.

Im Weiteren deshalb zur Korrosion, aber auch zu anderen möglichen Schadenszenarien (z.B. Abrasion, Kavitation) einige vertiefende Ausführungen und Erfahrungen.

### a) Beeinträchtigung metallischer Werkstoffe durch Korrosion

Der Korrosionsbegriff ist in [32] wie folgt definiert:

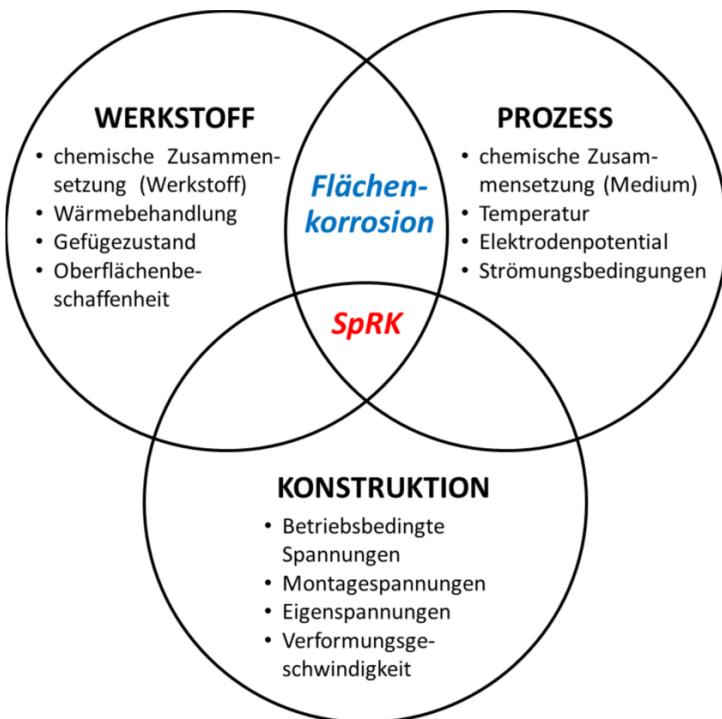
**Korrosion** ist die Reaktion eines metallischen Werkstoffs mit seiner Umgebung, die eine messbare Veränderung des Werkstoffs bewirkt und zu einer Beeinträchtigung der Funktion eines Bauteils oder eines ganzen Systems führen kann.

In den meisten Fällen ist diese Reaktion elektrochemischer Natur, in einigen Fällen kann sie jedoch auch chemischer oder metallphysikalischer Natur sein.

Der angeführte Korrosionsbegriff gibt Anlass zu zwei Bemerkungen.

- Die Korrosion wird nur auf Metalle bezogen.  
Dies ist nicht ganz umfassend. Beispielsweise wird bei Polyethylen auch von Spannungsrißkorrosion gesprochen.
- Als Hauptursache für die Korrosion wird eine elektrochemische Reaktion angeführt.
  - Dies bedeutet die Existenz eines Dissoziationsmittels (Wasser) und eines Elektrolyt (Stoff, der in Ionen dissoziiert). In der Praxis ist dies i. Allg. eine wässrige Phase, in der Salze dissoziiert sind.  
Das heißt, eine Korrosion ist i.d.R. an das Vorliegen einer ionenhaltigen wässrigen Phase (wässriger Elektrolyt) gebunden.
  - Ausnahmen einer chemischen Korrosion ohne wässrige Phase sind beispielsweise Hochtemperatur-Korrosionen bei ca. 500 °C an Dampferzeuger-Rohren (rauchgasseitig). Durch Reaktion des Rohrmaterials mit dem Rauchgas, das u.a. Sauerstoff sowie Halogen-, Schwefel- und Stickstoffverbindungen enthalten kann, kommt es zu heftigen flächigen aber z.T. auch örtlichen Korrosionserscheinungen [33].

Für das bessere Verständnis der Metall-Korrosionsmechanismen in wässrigen Elektrolyten ist Abb. 4.22 hilfreich.



**Abb. 4.22** Dreieinigkeit von WERKSTOFF – PROZESS – KONSTRUKTION

Die Grafik soll u.a. verdeutlichen, dass die Korrosion nicht nur vom Werkstoff und den Prozessbedingungen, sondern auch von der Konstruktion, insbesondere von den Spannungen im Bauteil, abhängen kann.

Ausgehend vom Schadensbild wird grundsätzlich zwischen einer *Flächenkorrosion* und einer *örtlichen Korrosion* unterschieden.

- Die *Flächenkorrosion* oder *abtragende Korrosion* oder *ebenmäßige Korrosion* ist eine chemische Reaktion der Metallatome, in der Regel Eisen, mit einem aktiven Reaktionspartner. Sofern der Reaktionspartner die Oberfläche gleichmäßig benetzt, erfolgt ein annährend einheitlicher Flächenabtrag.

Typische Beispiele sind das Rosten (Reaktion von Eisen mit Sauerstoff zu Eisenoxid) oder die Säurekorrosion (Reaktion von Metall mit Säure zu Metallsalz und Wasserstoff).

Die *Flächenkorrosion* findet vorrangig an unlegierten und niedriglegierten Stählen statt.

Der Prozessplaner muss für seine Bedingungen die Korrosionsrate kennen oder experimentell ermitteln und entsprechende Korrosionszuschläge auf die Wanddicke wählen. Bei Korrosionsraten von 0,1 mm/a ist beispielsweise ein Korrosionszuschlag von 2 mm üblich.

Durch geeignete Wanddickenzuschläge kann man sich somit vorbeugend auf die Gefährdungen durch Flächenkorrosion einstellen.

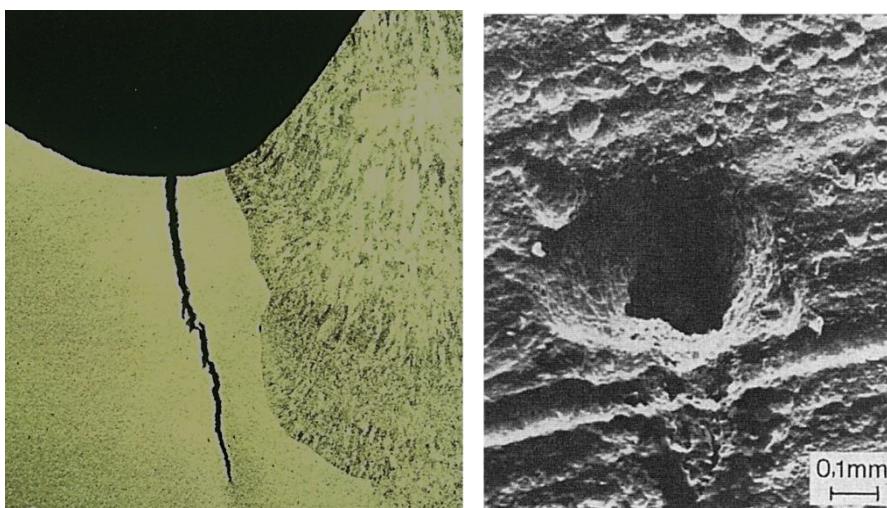
- Wesentlich unangenehmer und gefährlicher als die Flächenkorrosion ist die *örtliche* oder *selektive Korrosion*, die vorrangig an nichtrostenden und insbesondere austenitischen Stählen auftritt.

Im Unterschied zur abtragenden Korrosion bleibt bei dieser Korrosionsart der größte Teil der Oberfläche unbeschädigt, während gleichzeitig an bevorzugten Stellen eine schnelle Werkstoffschädigung erfolgt. Zugleich ist der zeitliche Verlauf der örtlichen Korrosion nicht vorhersehbar und somit nicht planbar. Ein Riss im Werkstoff kann sich über tausende Betriebsstunden „ruhig verhalten“, er kann aber auch plötzlich und ohne Vorwarnung zum Gewaltbruch führen.

Nachfolgend sind die wichtigsten Korrosionserscheinungen, die zur örtlichen Korrosion gehören und in verfahrenstechnischen Anlagen anzutreffen sind, kurz erläutert.

– *Lochkorrosion* oder *Lochfraß*

- Die rechte Darstellung in Abb. 4.23 zeigt ein typisches Lochfraß-Schadensbild; mit ca. 0,2 mm Durchmesser und ca. 10 mm Lochtiefe.



**Abb. 4.23** links: Schadensbild einer Spannungsrißkorrosion im Grenzbereich zwischen Grundwerkstoff und Schweißgut (sog. Schweißnahrandzone)  
rechts: Lochkorrosion (Lochfraß) am Werkstoff 1.4541 (V2A) durch chloridhaltiges Wasser

- Der Lochfraß findet bevorzugt an austenitischen Stählen (z.B. 1.4541 – V2A oder 1.4571 – V4A), die eine Passivschicht (Chromoxid) aufweisen, statt.
- Hauptverantwortlich für den Lochfraß, bei dem sich tief, vereinzelte Löcher bilden, die die ganze Wandung „durchbohren“, sind Halogen-Ionen (meistens Cl-Ionen) in einer wässrigen Phase.
- Die Cl-Ionen nisten sich an Fehlstellen (z.B. an Fremdatomen) in die Passivschicht ein, verdrängen den Sauerstoff und heben die passivierende Wirkung

des Chromoxids auf. Durch Anlagerung weiterer Cl-Ionen vergrößert sich die nichtpassivierte Fläche. Die Cl-Ionen reagieren letztlich mit dem Eisen zu wasserdurchlässigen, porösen Salzen und „durchbohren“ die Wandung.

- Das Fortschreiten der Lochkorrosion wird noch dadurch beschleunigt, dass die Anode (Schadstelle) sehr klein und die Kathode (restliche Oberfläche) groß ist.
- Ferner hydrolysiert das im Loch gebildete Eisenchlorid und senkt den pH-Wert des Elektrolyten ab. Dies erhöht ebenfalls die Korrosionsgeschwindigkeit.
- Werkstofftechnisch kann dem Lochfraß durch den Einsatz höher chrom-legierter und vor allem molybdän-legierter Stähle entgegengewirkt werden.

#### – *Spannungsrisskorrosion (SpRK)*

- Von Spannungsrisskorrosion sind vorwiegend Edelstähle (auch V<sub>2</sub>A und V<sub>4</sub>A), aber auch andere Stahlarten, Messing u.a. Legierungen betroffen.
- Außer einem *empfindlichen Werkstoff* müssen noch *Spannungen im Werkstoff* und ein *spezifisches Medium* vorliegen.
- Temperaturen oberhalb 50 °C wirken beschleunigend.
- Die Spannungen im Werkstoff können durch äußere Beanspruchung (Innendruck, Zugbeanspruchung) aber auch durch innere Spannungen (Aufhärtungen, konstruktiv bedingte Krafteinleitungen) verursacht sein.
- Die Spannungsrisskorrosion ist somit an die genannten drei Voraussetzungen gebunden und ein gutes Beispiel für die „Dreieinigkeit“ nach Abb. 4.22.
- Bei der SpRK bewirken das Medium, insbesondere Cl-Ionen, und die Spannung im Werkstoff (z.B. im Bereich von Schweißnähten) eine Rissentstehung.

Der Riss kann innerhalb kurzer Zeit zum Gewaltbruch führen, kann aber auch zum Stehen kommen.

- Versprödungen/Aufhärtungen des Werkstoffs begünstigen die Rissbildung.
- Die linke Darstellung in Abb. 4.23 zeigt ein typisches Schadensbild einer Rissentstehung in der Schweißnahtrandzone.
- H<sub>2</sub>S-haltige Gase (sog. Sauergas), die häufig in der Öl-/Gasindustrie vorkommen, können in wässriger Phase starke Spannungsrisskorrosion verursachen. Man spricht in den Korrosionsfällen, in denen Wasserstoff-Ionen vorliegen, auch von der *wasserstoffinduzierten Spannungsrisskorrosion*.

Die vorhandenen kleinen Wasserstoff-Protonen diffundieren in den Werkstoff, rekombinieren zu größeren Wasserstoff-Molekülen und bewirken damit enorme innere Kräfte, die schließlich die Rissbildung verursachen. Im Fall eines sehr harten Verdichter-Laufrads mit hohen inneren Werkstoffspannungen hat sogar destilliertes Wasser eine Spannungsrisskorrosion ausgelöst.

- Kennzeichnend für die SpRK ist ein plötzlicher und nahezu verformungsloser Bruch.
- Da in vielen Einsatzfällen die Cl-Belastung nicht gänzlich vermieden werden kann und die Spannungen im Bauteil ebenfalls nicht, muss ein geeigneter Werkstoff gewählt werden. Empfohlen werden Stähle mit 25 bis 30 % Nickel oder sog. Duplex-Stähle (1.4462/austenitisch-ferritisch).

– *Interkristalline Korrosion*

- Verweilen Edelstähle unsachgemäß, über längere Zeit zwischen 600 und 800 °C, so kann sich aus Kohlenstoff und Chrom sog. Chrom-Karbid bilden und an den Korngrenzen ausscheiden. Dadurch kommt es neben den Korngrenzen zu einer Chromverarmung und zur Zerstörung der Passivschicht.
- Kohlenstofffreie Stähle sind besonders anfällig.
- Der Korrosionsangriff der Medien beginnt an den Korngrenzen und kann als Rosterscheinungen bis nach außen sichtbar sein.
- Derartig ungünstige Wärmebehandlungen, die zur interkristallinen Korrosion führen, können bei unsachgemäßen Schweißvorgängen auftreten.
- Ist eine ungünstige Wärmebehandlung nicht sicher auszuschließen, sind kohlenstoffarme Stähle zu verwenden.

Hinsichtlich weiterer Korrosionsformen, wie *Spaltkorrosion*, *Kontaktkorrosion* und *mikrobiologische Korrosion* wird auf die Fachliteratur verwiesen.

**b) Materialverschleiß durch Abrasion oder Kavitation**

**Abrasiv** ist der Oberflächenabtrag durch schleifende Medien. Mitunter wird auch von Erosion gesprochen. Man unterscheidet zwischen

- *adhäsiven Verschleiß* (erhöhte Reibung durch mangelnde Schmierung, zu hohe Flächenpressung, fehlende Oberflächengüte usw.) und
- *abrasiven Verschleiß* (Abtrag/Abrieb an festen Grundkörpern durch Relativbewegung mit anderen festen Partikeln).

Im Anlagenbetrieb gibt es derartige Beanspruchungen nicht selten

- bei der pneumatischen Förderung von Feststoffpartikeln, z.B. Stromförderung von Sand, Kohle, Salz, Zement, Beton, Zuschlagstoffe, Kunststoffgranulat beim Be- und Entladen von Transporteinheiten,
- bei der Förderung feststoffhaltiger Flüssigkeiten, z.B. von sandhaltiges Kühlwasser, Schlamm, Suspensionen usw.

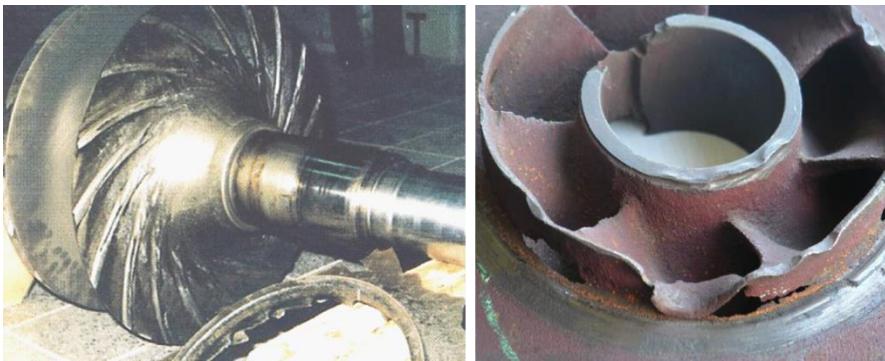
In der Kraftwerkstechnik kann beispielsweise Nassdampf (tropfenhaltig), der im Störungsfall auf die Dampfturbine gelangt, erhebliche Schäden durch sog. Tropfenschlag verursachen. Das Erscheinungsbild ist ähnlich wie bei der Abrasion. Der Tropfen wirkt auf Grund der hohen Relativgeschwindigkeit zur Laufraoberfläche wie ein Feststoffpartikel.

Bei der Kreiselpumpe auf dem linken Foto in Abb. 4.24, die zur Förderung von aschehaltigen Abwässern (sog. Dünn-Schlämme) genutzt wurde, ist der Saugring durch abrasiven Verschleiß vollständig vom Laufrad abgetrennt worden.

Im Engineering müssen derartige Bauteil- bzw. Werkstoffbeanspruchungen erkannt und berücksichtigt werden. Möglichkeiten sind u.a.:

- Nutzung alternativer Fördermöglichkeiten (u.a. Becherwerke),
- Verringerung der Relativgeschwindigkeiten (z.B. pneumatische Dichtstromförderung),
- Wahl abriebfester Materialien (Hart-Stähle, Keramik, Glas) für Rohrleitungen, Armaturen, Maschinenteile usw.,

- gezielte konstruktive Realisierung von Verschleißteilen, die nach einer definierten Nutzungsdauer gewechselt werden.



**Abb. 4.24** links: Total zerstörtes Laufrad einer Kreispumpe zur Förderung von Asche-Suspensionen (Ursache: Abrasion bzw. Erosionsverschleiß)  
rechts: Verschlissenes Flügelrad einer Pumpe (Ursache: Kavitation) [34]

Die **Kavitation** (lat.: cavitare = aushöhlen) ist die Bildung und Auflösung von Hohlräumen in Flüssigkeiten. Bestehten die Hohlräume aus Dampf der umgebenden Flüssigkeit, so spricht man von Dampfkavitation bzw. „harter Kavitation. Befinden sich in den Hohlräumen Gase, die zuvor in der Flüssigkeit gelöst waren, so handelt es sich um eine Gaskavitation oder „weiche Kavitation“.

In der Praxis ist vor allem die Dampfkavitation kritisch und schädigend (s. Abb. 4.24, rechtes Bild).

*Die Dampfkavitation tritt in strömenden Flüssigkeiten auf, sobald der statische Druck örtlich unter dem Dampfdruck der Flüssigkeit absinkt und anschließend sich wieder Bedingungen einstellen, unter denen der Dampf schlagartig (Implosion kondensiert).*

Aber auch die „weiche Kavitation“ in gasbeladenen Flüssigkeiten, wie z.B. mit

- Erdgas gesättigtes Erdöl oder Salzwasser,
- Luft gesättigtes Rückkühlwasser,
- Pendelgas (Stickstoff, Kohlenwasserstoffe) gesättigte Flüssigkeiten in Tanks oder Lagerbehältern,
- $H_2S$  gesättigtes Sauerwasser,
- Erdgas gesättigte Waschflüssigkeit (Glykol)

kann störend sein bzw. den statischen Druck absenken und somit eine Dampfkavitation begünstigen.

Der klassische Fall einer Dampfkavitation ist die Förderung von siedenden Flüssigkeiten aus einer Pumpenvorlage (z.B. aus einem Kolonnensumpf oder Behälter) mittels Kreiselpumpen. Bedingt durch den Druckverlust und/oder die Beschleunigung des Mediums von der Vorlage bis in das Pumpen-Laufrad verdampft örtlich (Rohrleitung, Armatur, Messblenden, Pumpen-Saugstutzen/-mund) etwas

Flüssigkeit (sog. Kavitationsblasen), die anschließend wegen der Druckerhöhung im Pumpen-Laufrad wieder implodiert.

Ähnlich potentielle Verursacher von Kavitation können Regelventile/-klappen, Rückschlagklappen/-ventile, Drosselscheiben u.a. hydraulische Engpässe in flüssigkeitsführenden Rohrleitungen sein.

*Bei der Förderung von Flüssigkeiten in der Nähe ihres Siedepunkts besteht immer Kavitationsgefahr!*

Die Implosion der Dampfphasen verursacht heftige, örtlich fokussierte Kräfte (ähnlich wie beim Sandstrahlen) und markante Geräusche (als wären Kieselsteine in der Pumpe). Am Bauteil entsteht ein sog. Kavitationsfraß (s. Abb. 4.24, rechts).

Im Fall einer kaviterenden Pumpe sind die Folgen:

- Verschleiß am Laufrad und Gehäuse bzw. am Kolben und Zylinder,
- Abfall der Förderhöhe und des Wirkungsgrads; bis zum Abreißen der Strömung und Förderung,
- Geräusche, Schwingungen mit Dichtungs- und Lagerschäden.

Die planerische Lösung, sowohl im „Basic“ bei der Fließschemaarbeit und 3D-Anlagenplanung als auch im „Detail“ bei der Rohrleitungsplanung, muss Kavitationsgefahren ausschließen.

Bei Pumpen muss der vorhandene NPSH-Wert (**N**et **P**ositive **S**uction **H**ead) der Anlage (Zulaufhöhe) deutlich (mindestens 0,5 bis 1 m FS (Flüssigkeitssäule)) über den erforderlichen NPSHR-Wert (**R**=Required) der Pumpe liegen.

Im Problemfall, wenn keine ausreichende Zulaufhöhe gegeben ist, wäre u.U. auch die Kühlung der Saugleitung (Mantel-Rohr) eine planerische Alternative.

Eine Systematisierung und Darstellung weiterer Schadensursachen im Leben einer verfahrenstechnischen Anlage sind abschließend in Abb. 4.25 angeführt.

### c) Werkstoffauswahl

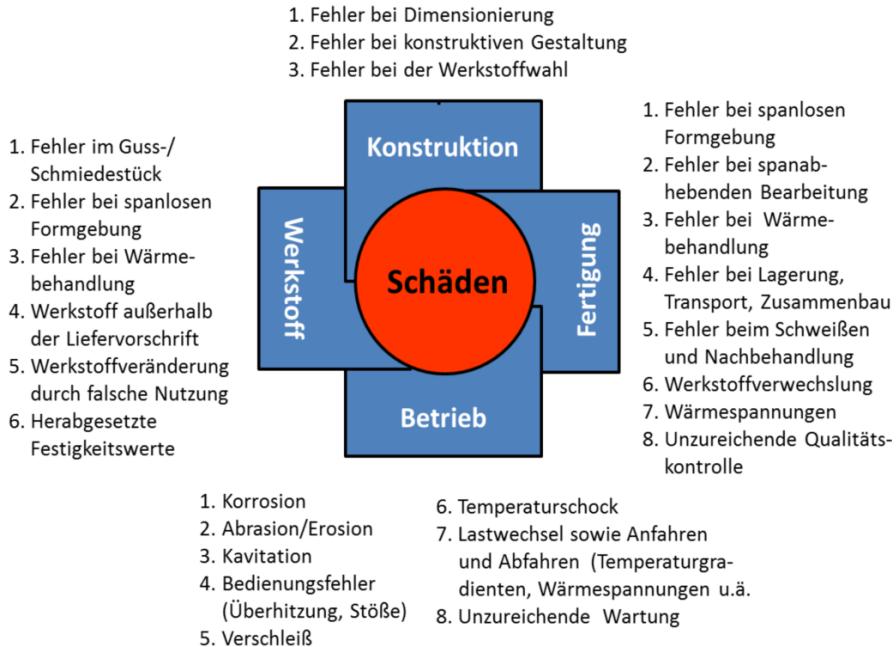
Grundsätzlich müssen die Werkstoffe im Team, gemeinsam von Werkstoffspezialisten mit den jeweils zuständigen Leadingenieuren *Prozess, Maschinen/Apparate, Rohrleitungen* oder *Bau* ausgewählt werden. Eine Übersicht möglicher Werkstoffe und Korrosionsschutzmaßnahmen zeigt Abb. 4.26.

Die Wahl der Werkstoffe für Rohre und Rohleitungsteilen, für Armaturen Dichtungen wurde in Verbindung mit der Ermittlung der Rohr-, Dichtungs- und Armaturenklassen in Abschn. 4.2.2 behandelt.

Zu entscheiden ist demgemäß über die Werkstoffe für Apparate, Maschinen und Behälter/Tanks.

Arbeitsunterlagen für die Teams sind u.a.:

- Werknormen, Richtlinien u.ä. unternehmensspezifische Unterlagen,
- die DIN 6601: Beständigkeit der Werkstoffe von Behältern/Tanks aus Stahl gegenüber Flüssigkeiten (Positiv-Flüssigkeitsliste),
- die STAHL-EISEN-Werkstoffblätter (SEW) des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute,
- die Werkstoffdatenblätter u.a. Einsatzempfehlungen der Hersteller,



**Abb. 4.25** Übersicht zu möglichen Schadensursachen im Leben der Anlage und Anlagenkomponenten

- die DECHEMA-Werkstofftabellen,
- das Stahlschlüssel-Taschenbuch 2013: Wissenswertes über Stähle [35],
- die STAHLFIBEL des Stahlinstituts VDEh),
- Ergebnisse experimenteller Untersuchungen bzw. Expertisen zur Werkstoffbeständigkeit,
- Erfahrungsberichte aus bisherigen Anwendungen.

Die größten Probleme bereitet i.d.R. nicht die Festlegung der Werkstoffe, sondern die Ermittlung der Prozessbedingungen, insbesondere der Medienzusammensetzung, die die höchsten Anforderungen an den Werkstoff stellen. Gravierend sind u.U. nicht erkannte Risiken einer örtlichen bzw. selektiven Korrosion.

Aus den eigenen leidvollen Erfahrungen einige Hinweise zur Ermittlung von *Gefährdungen durch örtliche Korrosion*:

- Da die örtliche Korrosion bekanntlich einen wässrigen Elektrolyt voraussetzt, muss sicher ermittelt werden, ob in der zu planenden Anlage ein solcher Zustand eintreten kann.
  - Mögliche Handlungen und Fahrweisen während der Montage und Inbetriebnahmevorbereitung, wie z. B.:
    - Ausblasenhandlungen, ggf. mit feuchter Luft oder mit Dampf,
    - Spülhandlungen zum Reinigen der Anlage, ggf. mit Trink- oder Brunnenwasser,

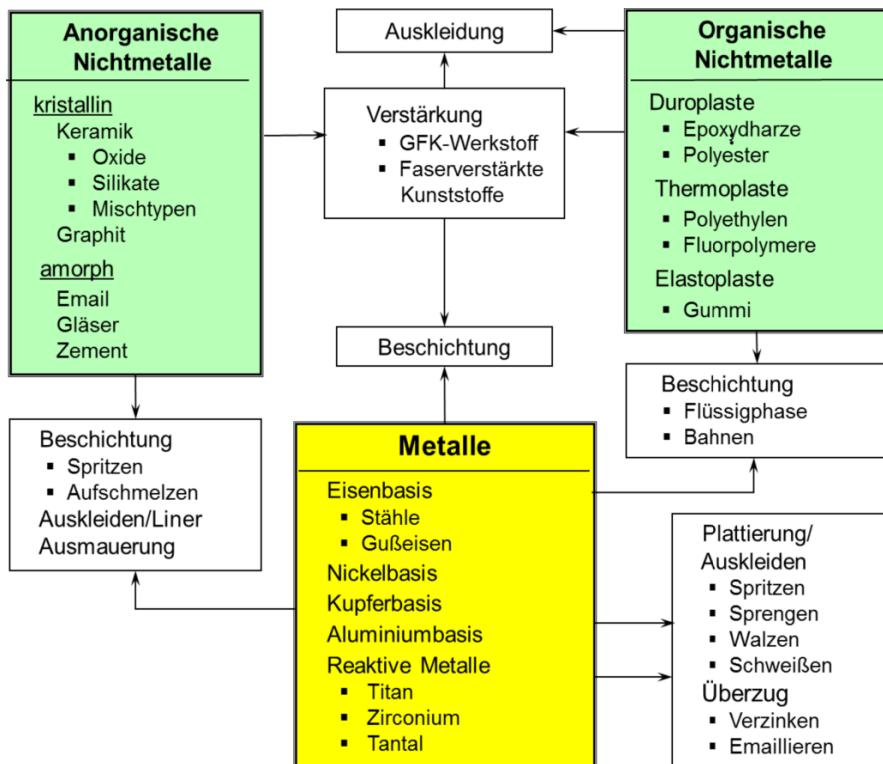


Abb. 4.26 Übersicht zu Werkstoffen und Korrosionsschutz im Anlagenbau [31]

- eventuelle Maßnahmen zum Beizen einzelner Anlagenteile,
- Druckprüfungen der Rohrleitungen (Presskreise), ggf. nicht mit Deionat,
- Schwitzwasser durch „Atmung“ an Atmosphäre,
- Regenwasser bei Freiluftanlage,
- gezielte Funktionsprüfungen mit Wasser vor der Mechanischen Fertigstellung,
- Ansammlungen von feuchtem Rost, eisenhaltigen Schlammten u.a. Rückständen an bestimmten Stellen in der Anlage.
- Neben den Nennzustand sind alle anderen möglichen Fahrweisen, inkl. denkbare Störungen während der Inbetriebnahme und des Dauerbetriebs zu bedenken und u. U. mit zu bilanzieren, wie z. B.:
  - „Wasserfahrt“ während der Kalt-Inbetriebnahme, u. U. im Kreislauf,
  - Sonderfahrweisen während der Inbetriebnahme, ggf. zum Aktivieren des Katalysators oder zum Trocknen des Silicagels,
  - Teillastfahrweise während der Inbetriebnahme und des Dauerbetriebs,
  - Inselbetrieb einzelner Anlagenteile, ggf. Kolonnen im totalen Rücklauf,
  - unerwarteter Wassereintrag in Anlage, ggf. über Rohr- und Hilfsstoffe oder wegen innerer Leckage,

- Ausfall des Gaspendelsystems,
  - Ausfall des Fackelsystems,
  - Lufteinbruch in Anlagenteile, die unter Vakuum stehen,
  - Zustände bei kurzzeitiger bzw. längerer Außerbetriebnahme.
- Bei Vorhandensein wasserdampfhaltiger Gase, sollte immer angenommen werden, dass sich ein wässriger Elektrolyt bilden kann, z. B. durch:
    - Abkühlung des Gases auf Grund von Wärmeverlusten an die Umgebung,
    - Kältebrücken an besonderen Orten in der Ausrüstung,
    - Kondensationskeime in der Anlage,
    - Druckerhöhung im Gasstrom.
- Gemäß der Analyse sind Gegenmaßnahmen prozess- und/oder werkstoffseitig zu ergreifen.
- Die mechanische Abscheidung tropfbaren Wassers (auch mit sehr hohen Abscheidegraden) aus einem Gasstrom ist keine geeignete Maßnahme, um sicher eine wässrige Phase (z.B. Nebel und/oder Aerosole) zu vermeiden. Besser ist eine Gastrocknung bzw. eine Gaserwärmung.
  - Da bereits Elektrolytkonzentrationen (Chloride, H<sub>2</sub>S, Sulfide usw.) im ppm-Bereich eine Spannungsrißkorrosion oder einen Lochfraß auslösen können, müssen die Bildungsmöglichkeiten dieser Spurenelemente sorgfältig analysiert werden, wie z. B.:
    - Einbeziehen dieser Stoffe in die Fein-Bilanzierung,
    - Beachtung von Kreislauffahrweisen bei der Bilanzierung, bei denen sich diese Stoffe anreichern können,
    - Beachtung von thermischen Spaltprodukten bei längerer thermischer Belastung bestimmter Stoffe (Teillast- oder Kreislauffahrweise),
    - Beachtung einer möglichen unerwünschten Nebenproduktbildung dieser Stoffe bei Normal- und Nebenfahrtsway.

Die ausgewählten Werkstoffe sind in die Ausrüstungsdatenblätter einzutragen. Für Rohrleitungen, Armaturen und Dichtungen sind, falls es neue Werkstoffentscheidungen gibt, neue Rohr-, Dichtungs- und Armaturenklassen zu erarbeiten.

Bei größeren und werkstofftechnisch anspruchsvollen Anlagen sollte eine *Werkstoffkonzeption* erarbeitet werden, die Teil der Basic Engineering-Dokumentation ist. In ihr sind die Ergebnisse der Werkstoffauswahl inkl. zum Korrosionsschutz zu begründen und zusammenzufassen.

Schwerpunkte einer Werkstoffkonzeption sind u.a.:

- Grundlagen/Unterlagen, die für die Werkstoffauswahl genutzt wurden,
- Zusammenfassung der Ergebnisse zu den Standardfällen,
- Erläuterung der Entscheidung zu den besonderen und verfahrensspezifischen Werkstoffentscheidungen,
- Hinweise/Empfehlungen zur Umsetzung der werkstoffspezifischen Festlegungen im Projekt (z. B. Qualitätssicherung während Konstruktion, Fertigung, Montage),

- Restrisiken bzgl. Werkstoffeinsatz und Aktionspunkte zu deren Minimierung, z. B. zusätzliche Versuche, Werkstoffuntersuchungen, Recherchen.

Die Gefährdungen durch Werkstoffversagen sind unbedingt bei der Risikobeurteilung am Ende des Basic Engineering (s. Abschn. 4.3.2) zu berücksichtigen.

In verfahrenstechnischen Anlagen sind die Anforderungen an die Werkstoffe zum Teil extrem hoch und daraus resultierende Gefährdungen signifikant gegeben.

#### d) Korrosionsschutz

Der beste Korrosionsschutz ist ein Werkstoff, der unter Betriebsbedingungen beständig, kostengünstig zu beschaffen und gut zu verarbeiten ist. Ist dies nicht gegeben, werden alternative Maßnahmen des Korrosionsschutzes gesucht. Die prinzipiellen Möglichkeiten sind in Abb. 4.26 zusammengestellt.

In der Praxis sind i. Allg. zwei Situationen anzutreffen, die zu einer gezielten Korrosionsschutzmaßnahme führen.

Entweder der Grundwerkstoff ist unter den betrieblichen Bedingungen nicht geeignet oder er ist zu teuer. Der letztere Fall ist u.a. bei Tanks und Behältern gegeben, die sehr materialintensiv sind.

Generell wird zwischen *inneren* und *äußeren Korrosionsschutz* unterschieden. Der äußere ist besonders relevant für den Stahlbau (s. Abschn. 4.2.5) sowie für die erdverlegten Rohrleitungen (z.B. Pipelines). Nicht zuletzt gilt es aber auch, alle anderen Anlagenkomponenten und Bauwerke gegen atmosphärische Einflüsse zu schützen.

Der innere Korrosionsschutz ist insbesondere wichtig für Ausrüstungen (Apparate, Maschinen, Behälter, Tanks) und für Rohrleitungen.

Wichtige Begriffe sind in diesem Zusammenhang:

**Beschichtung** ist ein Sammelbegriff für eine oder mehrere in sich zusammenhängende Schichten auf einen Stahluntergrund (Grundwerkstoff), die aus nicht vorgeformten Stoffen hergestellt sind, deren Bindemittel meist organischer Natur ist [36].

**Überzug** ist ein Sammelbegriff für eine oder mehrere Schichten aus Metall auf einem Stahluntergrund (Grundwerkstoff), z. B. Verzinken, Emaillieren.

Beide Definitionen kommen aus dem Stahlbau, wo es meistens um äußere Beschichtungen geht.

Im Behälter- und Rohrleitungsbau spricht man häufig von der *Innenbeschichtung* und *Auskleidung* bzw. *Ausmauerung* sowie von der *Außenbeschichtung* und dem *Außenanstrich*.

Der Autor konnte u. a. Erfahrungen sammeln mit:

- Reaktoren mit Ausmauerung als Schutz vor Chlor-Hochtemperatur-Korrosion (s. Abb. 4.27, links),
- Öfen und Kamine mit Ausmauerungen aus Schamottesteinen,
- Reaktoren mit Auskleidung (sog. Hemd) aus Nickel,
- Wäscher und Behältern aus GFK (Glasfaserverstärktem Kunststoff),
- Wärmeübertragern aus Graphit,
- duroplastbeschichteten Wärmeübertragern,
- Behältern und Tanks mit Epoxidharz-Auskleidung,



**Abb. 4.27** links: Ausmauerung eines Reaktorteils zur Methanchlorierung (nach über 30 Betriebsjahren)  
rechts: Fehlerhafte Innenbeschichtung eines Tanks

- Rohrleitungen mit Inlinern aus Polyvinylchlorid (PVC), Polyethylen PE), Polytetrafluorethylen (PTFE) u.a. Kunststoffen,
- Rohrleitungen mit innerer Epoxidharzbeschichtung,
- Rohrleitungen mit Zementauskleidung.

*Jede angeführte Werkstofflösung war sorgfältig und begründet gewählt!!*

In vielen Fällen waren die Systeme aber schwierig und relativ kostenintensiv in der Herstellung sowie meistens „sensibel“ in der betrieblichen Nutzung sowie bei der Wartung und Instandsetzung (s. Abb. 4.27, rechts).

Wenn man bedenkt, dass beispielsweise bei einer Tankwand-Innenbeschichtung:

- die Tankwandung gestrahlt und entfettet werden muss (ggf. mit Glaskugeln und unter Atemschutz),
- die blanke, hochreaktive Wand schnell beschichtet werden muss,
- die Wandtemperatur während der Beschichtung weit genug von der Taupunkttemperatur der Luft entfernt sein muss,
- die vorgegebene Rezeptur des Beschichtungsstoffs genau einzuhalten ist,
- mehrere Schichten in bestimmten Fristen unter Atemschutz aufzubringen sind,
- die Ausführung und Beschichtungsdicke von einer unabhängigen Stelle zu überwachen sind,
- die Beschichtung hinsichtlich der zulässigen Betriebstemperatur eng begrenzt und empfindlich gegen mechanische Beanspruchungen ist,
- bei einer Schadstelle an der Beschichtung und deren möglicher Hinterrostung die Reparatur schnell nötig und nicht einfach ist,

so wird diese Einschätzung verständlich.

Im Weiteren werden auf die Ausführungen zur Beschichtung des Stahlbaus in Abschn. 4.2.5 sowie zum Feuerfestbau und Säureschutz in Abschn. 7.2.4, Buchst. c) und d) verwiesen; darüber hinaus auf die Fachliteratur [37].

#### 4.2.4 3D-Anlagenentwurfsplanung und Aufstellungsentwurf

In den weiteren Ausführungen wird davon ausgegangen, dass die Anlage in 3D-Darstellung, d.h. räumlich geplant wird. Der Autor betrachtet diese Vorgehensweise nicht als Dogma, hält sie aber für zeitgemäß und in vielerlei Hinsicht vorteilhaft.

Die aktuellen Trends, dass

- die Rechner immer leistungsfähiger werden und auch mobile Rechner die Hardwareanforderungen der 3D-Software-Tools erfüllen,
- die Software-Tools zunehmend besser die 2D-CAD-Planung, die 3D-CAD-Planung (**computer-aided design**), die CAE-Planung (**computer-aided engineering**) und das Dokumentenmanagement miteinander verbinden,
- die Software-Tools immer besser die Anforderungen verschiedener Fachdisziplinen bedienen,
- die heutigen Planer zunehmend mit diesen Tools vertraut sind,
- die Anlagenbauprojekte in immer kürzeren Fristen und mit zunehmender, internationaler Arbeitsteilung (mehr Schnittstellen) abzuwickeln sind,

werden die Anwendung der 3D-CAD-Anlagenplanung, weiter fördern.

Viele Engineeringunternehmen haben sich grundsätzlich für die Methodik der 3D-Anlagenplanung entschieden, auch wenn der Auftraggeber dies nicht vorgibt und auch später das 3D-Anlagenmodell nicht mehr nutzt und pflegt.

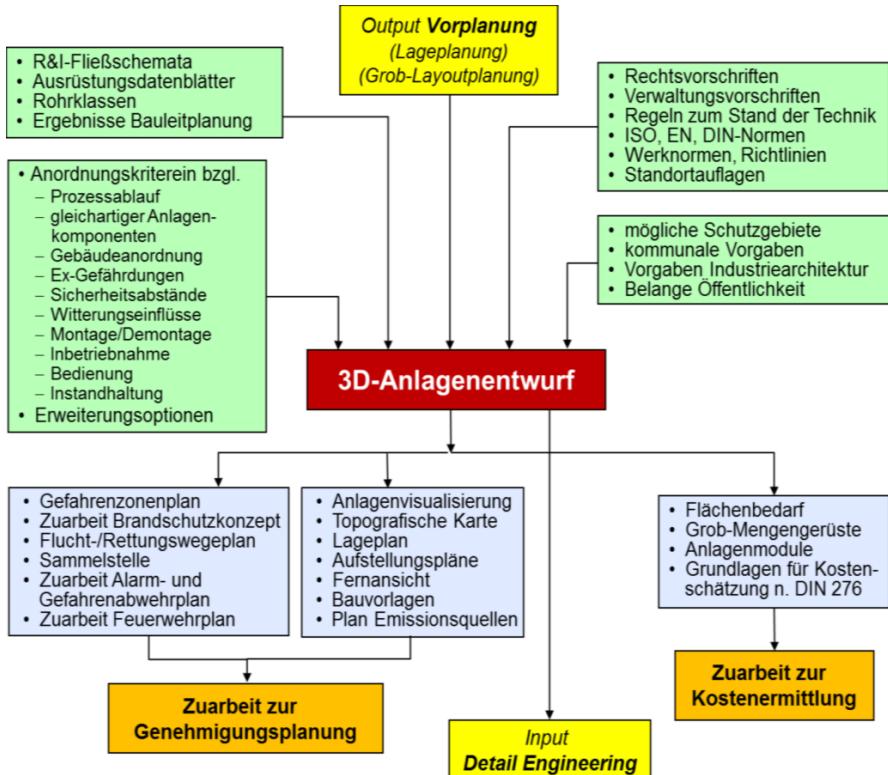
Problematisch ist die 3D-Anlagenplanung häufig bei Investitionen in bestehenden Anlagen, z.B. zwecks Modernisierung und/oder Erweiterung. In diesen Fällen ist zu prüfen, ob sich eine 3D-Bestandsaufnahme (zumindest der Anschluss- bzw. Einbindepunkte) lohnt. Die Nutzung moderner Methoden der 3D-Vermessung mittels Laser-Scannen oder Fotogrammetrie sollte geprüft werden.

Die Entwurfsplanung des 3D-Anlagenmodells setzt die Layoutplanung aus der Vorplanung fort und konzentriert sich dabei auf den ausgewählten ganzheitlichen Lösungsvorschlag. Im Ergebnis werden aus dem 3D-CAD-Modell zahlreiche Dokumente für den Genehmigungsantrag und die Projektpräsentation generiert.

Zugleich werden aus der 3D-Planung in Verbindung mit dem vorliegenden Lageplan die Aufstellungspläne abgeleitet. Die Aufstellungspläne wiederum bilden die zeichnerische Basis für eine Reihe weiterer sicherheits- und genehmigungsrelevanter 2D-Dokumente.

Die Einflussfaktoren sowie die Ergebnisse der 3D-Anlagenentwurfsplanung sind aus Abb. 4.28 ersichtlich. Bezugnehmend auf das dargestellte Ablaufschema (Workflow) seien noch folgende Erläuterungen und Ergänzungen angefügt:

- Input für die 3D-Entwurfsplanung sind neben den Ergebnissen der Vorplanung (Grob-Layout, und Lageplan) insbesondere:
  - die R&I-Fließschemata, da die Fließschemaarbeit und die 3D-Anlagenplanung als Einheit zu verstehen sind,
  - die Ausrüstungsdatenblätter der Hautausrüstungen, aus denen die Abmessungen und Entwurfsskizzen der Ausrüstungen ersichtlich sind,
  - die Rohrklassen, zumindest für die im 3D-Anlagenentwurf erfassten Haupt-



**Abb. 4.28** Einflussfaktoren und Ergebnisse der 3D-Anlagenentwurfsplanung

- rohrleitungen, ggf. auch die zugehörigen Armaturenklassen,
- die Ergebnisse der Bauleitplanung, d.h. das Input für die Anordnung, die Größe, die geometrische Form u.a. Informationen zu Gebäuden und Stahlbauten,
- die Vorgaben aus Rechtsvorschriften u.a. verbindlichen Dokumenten,
- die Vorgaben, Randbedingungen, Wünsche, Befindlichkeiten u.ä. Aspekte, die seitens Kommune zu beachten und aus Sicht der Öffentlichkeit wichtig und ggf. wünschenswert sind.
- Grundsätzlich beinhaltet die 3D-Entwurfsplanung i. Allg. folgende Aufgaben:
  - Strukturieren der Grundfläche entsprechend Lageplan sowie der verschiedenen Ebenen/Bühnen,
  - Positionieren der Gebäude und Nebengebäude (Werkstatt, Garage, Sozialgebäude),
  - Positionieren der Stahlbauten (z. B. Rohrbrücken, Stützkonstruktionen für Haupt- und Auflageträger),
  - Darstellung der Geschosse und Apparatebühnen,
  - Positionieren der Hauptausrüstungen inkl. Öfen, Kamine, Fackel u. ä.,

- Positionieren der Rohr- und Kabeltrassen inkl. Stützkonstruktionen,
  - Planen der Lager-, Abstell- und Reparaturflächen,
  - Planen der Straßen, Schienen, Gehwege, Flucht- und Rettungswege, Sammelplätze, Zufahrtswege für Feuerwehr, Parkplätze usw.,
  - Planen der umweltschutz- und sicherheitsrelevanten Einrichtungen, wie z.B. Gruben, Tank-/Behältertassen, Wasserentnahmestellen/Hydranten, Löschwasserrückhaltebecken, Ver-/Entladestationen, Frei-/Augenduschen,
  - Grobplanung der Hauptrohrleitungen, inkl. zugehöriger Stahlträger für Halterungen,
  - Grobplanung ggf. vorhandener Be-/Entlüftungskanäle inkl. Halterungen.
- Bei der konkreten planerischen Ausführung im 3D-Modell sind die sog. *Anordnungsbeziehungen* der verschiedenen Objekte zu prüfen und ggf. zu berücksichtigen, wie beispielsweise:
  - Hauptausrüstungen nach Prozessfolge anordnen,
  - Teilanlagen bzw. Funktionseinheiten zusammen anordnen,
  - Hauptausrüstung und Zubehör zusammen anordnen,
  - örtliche Übergabe-/Übernahmepunkte für Produkte, Medien und Energien an Anlagengrenze beachten,
  - Nutzung von natürlichen Gefälle für Stofffluss,
  - Zulaufhöhe bei Kavitationsgefahr beachten,
  - gleichartige Anlagenkomponenten (Behälter, Kolonnen, Pumpen, Verdichter) auf gleichen Baufeld bzw. in einer Halle/Maschinenhaus aufstellen,
  - Ex-Bereiche (Gefahrenzonen) bündeln, d.h. Anlagenkomponenten von denen Ex-Gefährdungen ausgehen, zusammen aufstellen,
  - Anlagenkomponenten mit Zündquellen (Fackel, Brenner) örtlich separat aufstellen und Windrichtung beachten (Leckage aus Prozessanlage sollte nicht zur Fackel geweht werden!),
  - Sicherheitsabstände einhalten; insbesondere zwischen Anlagenkomponenten (Druckbehälteranlagen, WHG-Anlagen) von denen Gefährdungen ausgehen,
  - Beachtung der Gegebenheiten des Baufelds/der Bauwerke (Rastermaße, Montageöffnung, Stützen, zulässige Deckenlast, Türen, Aufgänge),
  - bei der Anordnung der Bauwerke/Anlagenkomponenten die Fernansicht beachten,
  - Anordnung der Objekte montage- und demontagegerecht planen (s. Abschn. 4.2.9),
  - Anordnung der Objekte inbetriebnahme und bedienungsgerecht planen (s. Abschn. 4.2.9),
  - Anordnung der Objekte instandhaltungsgerecht planen (s. Abschn. 4.2.10).
- Der 3D-Anlagenentwurf und später das 3D-Anlagenmodell entwickeln sich zunehmend zu einem der wichtigsten Planungsdokumente.  
Es dient primär als Informationsbasis, um eine Vielzahl wichtiger Dokumente und Daten zu generieren. Zugleich wird es aber als virtuelles Abbild der Anlage auch für immer mehr andere Zwecke genutzt.

Beispiele sind u.a.:

- Durchführung von Kollisionsprüfungen,
- Kontrolle und Freigabe von Engineeringleistungen, z. B. der Rohrleitung- und Bauplanung,
- Klärung von Fragen der Montage- und Demontagegerechtigkeit sowie der Bedienbarkeit, z. B. durch virtuelle Anlagenrundgänge,
- Durchführen eines Instandhaltungsaudits (s. Abschn. 4.2.10),
- Klärung von Gefährdungen und Erarbeiten möglicher Schutzvorkehrungen während der Risikobeurteilung,
- attraktive Präsentation der Anlage, z. B. vor der Genehmigungsbehörde, vor Vertretern kommunaler Stellen und vor den Budget-Verantwortlichen im Lenkungskreis.
- Aus den 3D-Anlagenentwurf werden die *Aufstellungspläne* im Entwurf extrahiert, die wie folgt definiert sind [38]:

Ein **Aufstellungsplan** ist eine maßstäbliche Darstellung in Grundrissen, Ansichten und/oder kennzeichnenden Schnitten, die zeigt wie Anlagenteile, Gebäude und Stützkonstruktionen Lage mäßig zusammengehören.

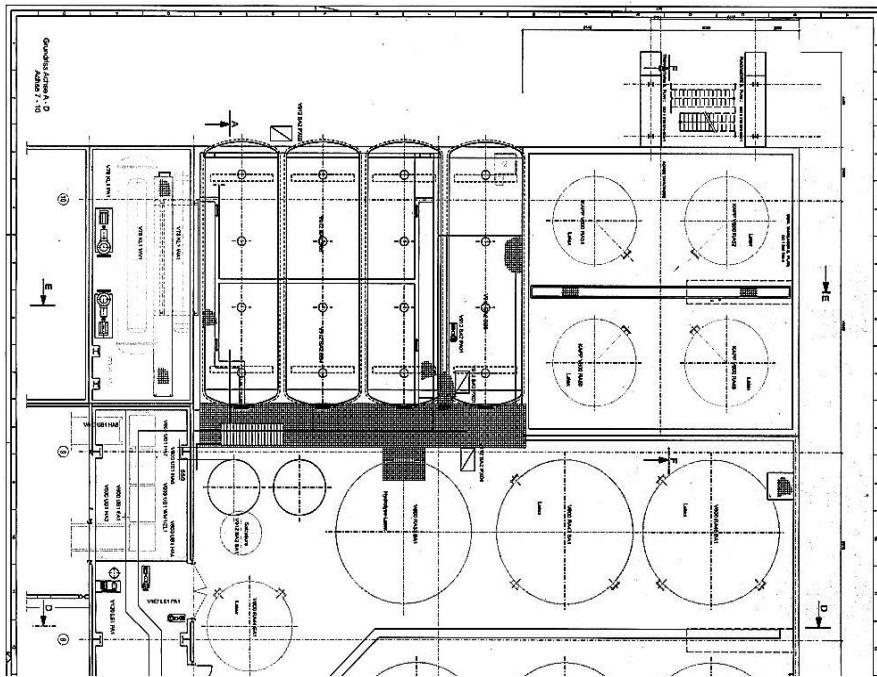
Der Aufstellungsplan veranschaulicht:

- vereinfacht dargestellte Umrisse der Anlagenteile, Gebäude, Stützkonstruktionen (z. B. Apparategerüste, Rohrleitungsbrücken) und wesentlicher Rohrleitungs- und Kabeltrassen sowie Angaben über Verkehrs- und Fluchtwiege,
- Maße oder Koordinaten für die Lagebestimmung der Anlagenteile, Gebäude und Stützkonstruktionen,
- Kennzeichen der Anlagenteile,
- Kennzeichen der Gebäude, Stützkonstruktionen und Trassen,
- Anlagenord (Nordpfeil).

Der Aufstellungsplan (z.B. Maßstab 1:15 bis M 1:50) ist die Grundlage für weitere grafische Dokumente, die den Anlagengrundriss bzw. die Etagen-/Bühnengrundrisse als Vorlage nutzen und mit Hilfe von 2D-CAD-Tools fachspezifisch weitergeplant werden.

Beispiele sind der Aufstellungsplan in Abb. 4.29 und der *Gefahrenzonenplan* in Abb. 4.59, Abschn. 4.3.3. Weitere 2D-Dokumente werden im Detail Engineering erarbeitet (s. Abschn. 7.2.3).

- Der 3D-Anlagenentwurf wird im Detail Engineering, gegebenenfalls von einem anderen Engineeringunternehmen, zum ausführlichen 3D-Anlagenmodell weiterentwickelt.
- Nicht zuletzt werden aus dem 3D-Anlagenentwurf zahlreiche Informationen entnommen, die
  - für die Bau- und Stahlbauentwurfsplanung benötigt werden,
  - für die „Anbindung“ der Anlage an den Standort (Werksinfrastruktur) gebraucht werden,
  - für weitere Fachplanungen (Technische Gebäudeausrüstung, innerbetriebliche Logistik und Infrastruktur) erforderlich sind,



**Abb. 4.29** Aufstellungsplan (Auszug) eines innerbetrieblichen Behälter-Lagers

- in die Erarbeitung sicherheits- und genehmigungsrelevanter Dokumente einfließen,
  - im Genehmigungsverfahren genutzt werden,
  - für die Ermittlung der Investitionskosten benötigt werden.

Das zuvor in Abb. 4.28 dargestellte Ablaufschema zur 3D-Anlagenentwurfsplanung enthält dafür typische Beispiele.

## **4.2.5 Entwurfsplanung Bau und Stahlbau**

### a) Übersicht zu Bau- und Stahlbauarbeiten

Eine Zusammenstellung der wesentlichen Tiefbau-, Hochbau- und Stahlbauarbeiten, die in verfahrenstechnischen Anlagenprojekten zu leisten und entsprechend zu planen sind, enthält Tabelle 4.22.

<sup>1</sup> In der HOAI (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure) [1] werden für das Leistungsbild *Ingenieurbauwerke* und die Leistungsphase LPH 3 – *Entwurfsplanung* anteilig 25 Prozent des Gesamthonorars (§ 43) angegeben.

Dies ist der höchste Anteil einer Leistungsphase innerhalb des Leistungsbilds *Ingenieurbauwerke* und belegt den hohen Arbeitsumfang für die Bauplanung während des „Basic“. Für die LPH 5 (Ausführungsplanung) werden im Vergleich nur 15 Prozent angegeben.

**Tabelle 4.22** Typische Bau- und Stahlbauarbeit im verfahrenstechnischen Anlagenbau [39]

- 
- 1 Fundamente für Hauptausrüstungen, Stahlbaustützen, Rohrträger, Zäune u.ä.
  - 2 Stahlbeton- und Stahlgerüste für Hauptausrüstungen, Rohrbrücken, Rohr- und Kabeltrassen, Einzelrohre u.ä.
  - 3 Bauarbeiten für Produktions- und Servicetrakte, Aufzugsschächte, Maschinenhallen, Läger, Verladerampen
  - 4 Bauarbeiten für Messwarte, Schalträume, Umspann-/Trafostationen, Analysenlabor, Werkstatt, Büro- und Sozialräume
  - 5 Bauarbeiten für baulichen Brandschutz (Trenn-/Brandschutzwände, Wanddurchführungen, Fluchttreppen)
  - 6 Feuerschutzmantelungen von tragenden Stahlgerüststützen oder -trägern, Kolonnen- oder Behälterfußzargen
  - 7 Säureschutzarbeiten und Ausmauerungen
  - 8 Bauarbeiten für Tassen, Wannen, Gruben, Schächte usw.
  - 9 Arbeiten für Bühnen, Podeste, Übergänge, Laufstege, Treppen, Steigleitern
  - 10 Tiefbauarbeiten für Ver- und Entsorgungsleitungen, Kabelrohre, Blitzschutz und Erdung, kathodischen Korrosionsschutz u.ä.
  - 11 Erdarbeiten für Slopbehälter und Slopleitungen
  - 12 Oberflächenbefestigung im Anlagenbereich inkl. Entwässerung
  - 13 Arbeiten für Be- und Entladeflächen, Straßen, Schienen, Wege, Parkplätze usw.
- 

Für Entwurfsplanung von *Ingenieurbauwerken* werden in der HOAI [1] die nachfolgenden Leistungen angegeben:

Grundleistungen:

- a) Erarbeiten des Entwurfs auf Grundlage der Vorplanung durch zeichnerische Darstellung im erforderlichen Umfang und Detaillierungsgrad unter Berücksichtigung aller fachspezifischen Anforderungen, Bereitstellen der Arbeitsergebnisse als Grundlage für die anderen an der Planung fachlich Beteiligten sowie Integration und Koordination der Fachplanungen
- b) Erläuterungsbericht unter Verwendung der Beiträge anderer an der Planung fachlich Beteiliger
- c) fachspezifische Berechnungen ausgenommen Berechnungen aus anderen Leistungsbildern
- d) Ermitteln und Begründen der zuwendungsfähigen Kosten, Mitwirken beim Aufstellen des Finanzierungsplans sowie Vorbereiten der Anträge auf Finanzierung
- e) Mitwirken beim Erläutern des vorläufigen Entwurfs gegenüber Dritten an bis zu drei Terminen, Überarbeiten des vorläufigen Entwurfs auf Grund von Bedenken und Anregungen
- f) Vorabstimmung der Genehmigungsfähigkeit mit Behörden und anderen an der Planung fachlich Beteiligen
- g) Kostenberechnung einschließlich zugehöriger Mengenermittlung, Vergleich der Kostenberechnung mit der Kostenschätzung

- h) Ermitteln der wesentlichen Bauphasen unter Berücksichtigung der Verkehrslenkung und der Aufrechterhaltung des Betriebs während der Bauzeit
- i) Bauzeiten- und Kostenplan
- j) Zusammenfassen, Erläutern und Dokumentieren der Ergebnisse

**Besondere Leistungen:**

- Fortschreiben von Nutzen-Kosten-Untersuchungen
- Mitwirken bei Verwaltungsvereinbarungen
- Nachweis der zwingenden Gründe des überwiegenden öffentlichen Interesses der Notwendigkeit der Maßnahmen
- Fiktivkostenberechnungen (Kostenteilung)

**b) Grafische Dokumente der Bau- und Stahlentwurfsplanung**

Das Input für die Bau-Entwurfsplanung ist das *Baukonzept*, welches während der Vorplanung (s. Abschn. 3.3.3) erarbeitet wurde. Dazu gehören insbesondere die **Vorentwurfszeichnungen** entsprechend folgendem Begriffsverständnis:

**Bau-Vorentwurfszeichnungen** sind Bauzeichnungen mit zeichnerischen Darstellungen eines Planungskonzepts für eine geplante bauliche Anlage.

Vorentwurfszeichnungen dienen im Rahmen der Vorplanung der Erläuterung des Planungskonzepts unter Berücksichtigung der Leistung anderer an der Planung fachlich Beteiligter. Sie können auch als Grundlage für einen ersten Kostenüberschlag und zur Beurteilung der baurechtlichen Genehmigungsfähigkeit dienen [40].

In Abhängigkeit von Art und Umfang der Planungsaufgabe, sind Vorentwurfszeichnungen ohne Maßstab oder z.B. im Maßstab 1:500 bzw. 1:200 anzufertigen. Sie sollen mindestens enthalten:

- Einbindung der baulichen Anlage in ihre Umgebung, z. B. Darstellung des Bauwerks auf dem Baugrundstück mit Angabe der Haupterschließung und der Nordrichtung,
- Darstellung der Grundrisse der Hauptgeschosse, Schnitte sowie Baukörper- und Fassadengestaltung,
- Zuordnung der im Raumprogramm genannten Räume zueinander,
- angenäherte Maße der Baukörper und Räume, auch als Grundlage für die Berechnung der Grundflächen und Rauminhalte sowie der Bauwerkskosten.

Weiterhin enthalten sie, soweit notwendig:

- konstruktive Angaben,
- Verdeutlichung der räumlichen Wirkung durch Perspektiven und Modelle.

Darüber hinaus sind vom Bau-/Stahlbauplaner die Vorgaben aus der Prozess- und 3D-Planung umzusetzen. Zu diesem Zweck sind vom Leadingenieur *Prozess* und dem 3D-Anlagenplaner in Abstimmung mit dem Leadingenieur *Bau* eine „Aufgabenstellung für die Fachplanung *Bau/Stahlbau*“ zu erarbeiten.

Die Aufgabenstellung an die Bau-/Stahlbauplanung kann beispielsweise beinhalten:

- Anforderungen an Bühnenabmessungen, Geschoßhöhen, Trägerachsen und an die Bühnenentwässerung,

- Anforderungen an die Ausführung, Abmaße und Lage der Treppen bzw. Treppehäuser sowie der Aufzüge,
- Anforderungen an die Ausführung, Abmaße und Lage der Fenster, Türen, Tore, Montageöffnungen,
- physikalische und chemische Beanspruchung des Bauwerks, z. B. der Fußböden, Wände und Decken,
- Nutzlasten der Bühnen und Decken sowie wesentliche Einzellasten aus technischen Einrichtungen,
- Vorgaben zum Raumprogramm und zum Raumbuch.

Im Weiteren werden die wichtigsten zeichnerischen Ergebnisse der Bau-/Stahlbauentwurfsplanung sowie die Inhalte einzelner Dokumentarten angegeben.

### 1) **Bau-Entwurfszeichnungen** nach folgendem Begriffsverständnis und Inhalt:

**Bau-Entwurfszeichnungen** sind Bauzeichnungen mit zeichnerischen Darstellungen des durchgearbeiteten Planungskonzepts der geplanten baulichen Anlage.

Entwurfszeichnungen berücksichtigen die Beiträge anderer, an der Planung fachlich Beteiligter und lassen die Gestaltung und Konstruktion erkennen [40].

Sie dienen als Grundlage für die Bau-Kostenermittlung.

In Abhängigkeit von Art und Umfang der Bauaufgabe, sind Entwurfszeichnungen z.B. im Maßstab 1:100, bei größeren Objekten im Maßstab 1:200 anzufertigen. Sie sollten darstellen [41]:

#### In den Grundrissen:

- Bemaßung der Lage des Bauwerkes auf Grundstück, Hinweise auf die Erschließung, Angabe der Nordrichtung,
- Hauptmaße der Baukörper und Bauteile ,
- lichte Raummaße des Rohbaus, Höhenlage des Bauwerkes über NN, Raumflächen,
- Bezeichnung der Raumnutzung und ggf. die Raumnummern,
- Angabe der Bauart und der wesentlichen Baustoffe,
- Farb- und Lichtgestaltung,
- Bauwerksfugen,
- Türöffnungen mit Bewegungsrichtung der Türen, Fensteröffnungen und besondere Kennzeichnung der Gebäudezugänge,
- Treppen und Rampen mit Angabe der Steigungsverhältnisse, Anzahl der Steigungen und Steigungsrichtung,
- Schornsteine, Kanäle und Schächte, Einrichtungen des technischen Ausbaus,
- betriebliche Einbauten,
- bei Änderung baulicher Anlagen die zu erhaltenden, zu beseitigenden und die neuen Bauteile,
- die geplante Gestaltung der Freiflächen auf dem Baugrundstück (Verkehrsflächen, Grünflächen),
- die bestehenden und zu berücksichtigenden baulichen Anlagen; falls vorhanden,
- Lage der vertikalen Schnittebenen.

In den Schnitten:

- Geschosshöhen, ggf. auch lichte Raumhöhen,
- Höhenlage der baulichen Anlage über NN,
- konstruktive Angaben zur Gründung und zum Dachaufbau,
- Treppen und Rampen mit Angabe der Steigungsverhältnisse, Anzahl der Steigungen,
- den vorhandenen und geplanten Geländeverlauf.

In den Ansichten:

- Gliederung der Fassade, einschließlich Gebäudefugen,
- Fenster- und Türeinteilungen,
- Dachrinnen und Regenfallleitungen,
- Schornsteine und sonstige technische Aufbauten,
- Dachüberstände,
- den vorhandenen und geplanten Geländeverlauf,
- ggf. die zu berücksichtigende anschließende Bebauung.

Aus den Entwurfszeichnungen heraus werden für die Genehmigungsunterlagen die **Bau-Vorlagezeichnungen** gemäß folgendem Verständnis entwickelt:

**Bau-Vorlagezeichnungen** sind Entwurfszeichnungen, die dem Antrag auf Erteilung einer Baugenehmigung beizufügen sind.

Sie enthalten ergänzende Angaben, die nach den jeweiligen Bauvorlageverordnungen der Länder oder nach den Vorschriften für andere öffentlich-rechtliche Verfahren gefordert werden. Als Maßstab wird häufig M 1:100 gewählt.

Den Genehmigungsunterlagen ist i. Allg. auch ein Lageplan (z.B. Maßstab 1:500) auf Grundlage der amtlichen Flurkarte und mit Darstellung der Grundstücksentwässerung beizufügen.

2) **Stahlbau-Entwurfszeichnungen** nach folgendem Begriffsverständnis und Inhalt:

In **Stahlbau-Entwurfszeichnungen** sind Konstruktions- und Hauptmaße einer Stahlbaukonstruktion für Anlagenteile festgelegt. Weiterhin sind Art und Zusammenwirken der funktionsbestimmenden Bauglieder, die insgesamt die Stahlbaukonstruktion charakterisieren, deutlich erkennbar.

Berührungspunkte mit anderen bautechnischen Bereichen, die Forderungen an die Stahlbaukonstruktion stellen, sind eindeutig, maßlich und konstruktiv darzustellen.

Wie die Entwicklung der Fertigungsverfahren sowie der Montage- und Materialkosten grundlegend die Stahlbaukonstruktion und Tragwerksplanung beeinflussen können, belegt das Beispiel der Hohenzollernbrücke in Köln (s. Abb. 4.30).

Während beim ursprünglichen Brückenbau 1911 die Hauptträger der Fahrbahnplatte durch genietete Fachwerkstäbe (hoher Arbeitsaufwand, wenig Material) verbunden wurden, wählte der Konstrukteur für die Verbreiterung im Jahre 1989 verschweißte Querträger (weniger Arbeitsaufwand, mehr Material).

Hauptgründe sind einerseits die gegenläufige Kostenentwicklung bei Lohn bzw. Material und andererseits die Weiterentwicklung der Schweißtechnologie inkl. möglicher Vorfertigung.



**Abb. 4.30** Hohenzollernbrücke Köln (Fachwerkbögenbrücke für Eisenbahn) [42]  
(Erstfertigung: 1911, Wiederaufbau: 1948, Verbreiterung: 1989)

Eine Spezifik der Stahlbau-Planung für verfahrenstechnische Anlagen bildet der sog. *apparative Stahlbau* bzw. *technologische Stahlbau* für Bühnen, Laufstege, Podeste u. ä., die zum Bedienen und Warten der Anlagenkomponenten gebraucht werden. Die entsprechenden Stahlbaudokumente werden häufig den Ausrüstungen zugeordnet und i.d.R. erst im Detail Engineering zusammen mit der Apparatekonstruktion erarbeitet.

- 3) Weitere Zeichnungsdokumente der Bau-/Stahlbauentwurfsplanung sind in Tabelle 4.23 zusammengestellt.

**Tabelle 4.23** Zeichnungsdokumente der Bau-/Stahlbauentwurfsplanung

#### 1 Bauübersichtszeichnung Massivbau

(z. B. Maßstab 1:50, 1:100)

Darstellung der Bauwerke des Massivbaus in Grundrissen, Ansichten, Schnitten. Angabe der zusätzlich zu den örtlichen Vorschriften an die Bauwerke gestellten Anforderungen für die verfahrens- und betriebsgerechte Aufstellung der Ausrüstungen wie:

- Verkehrswege,
- Lichtraumprofile,
- Montageöffnungen und Laufbahnträger für Hebezeuge,
- Art und Menge der abzuführenden Flüssigkeiten,
- Beanspruchungen durch aggressive Medien: Beanspruchungsart, erforderlicher Oberflächenschutz,
- Schutz gegen mechanischen Verschleiß,
- besondere örtliche Temperaturbeanspruchung,
- Maßnahmen für Schall- und Wärmedämmung,
- natürliche Belichtung,
- natürliche Belüftung
- Durchbrüche und Kanäle für Ausrüstungen, Rohrleitungen, Rohrleitungs- und Kabeltrassen,
- Liefergrenzen.

Dieser Zeichnung liegt keine statische Berechnung zugrunde.

**Tab. 4.23 (Fortsetzung)****2 Belastungsplan für Abtragungen von Ausrüstungen**

(z.B. Maßstab 1:50, 1:100)

Bei kleineren Anlagen werden die Informationen dieser Unterlage in der Regel in die Bauübersichtszeichnung integriert.

Belastungsplan für Fundamente und Unterstützungskonstruktionen einschließlich Gebäudebühnen und Brücken durch Ausrüstungsteile in Einliniendarstellung mit folgenden Eintragungen:

- Bauwerksumrisse und Angabe der Achsen, der statischen und dynamischen Lasten nach Größe, Lage und Richtung aus Maschinen, Apparaten, Rohrleitungen, sonstigen Ausrüstungen und Montagelasten,
- Verkehrslasten, die außer den gültigen Vorschriften und Normen zu berücksichtigen sind,
- zulässige Betonpressung in der Lagerfuge.

**3 Verankerungszeichnung für Ausrüstungsteile**

(z.B. Maßstab: 1:10, 1:20, 1:50, 1:100)

Je nach Größe der Anlage und Praxis des Abwicklungsstils können diese Informationen auch in die Bauübersichtszeichnung oder den Belastungsplan aufgenommen werden.

Zeichnung für die Verankerung und Befestigung von Maschinen, Apparaten und sonstigen Ausrüstungsteilen mit Darstellung bzw. Angabe der

- Verankerungsdetails wie Ankerlöcher, Ankerschrauben, Ankerbarren bzw. -schielen usw.,
- Größe der Fußplatten,
- Dicke der Vergussfugen,
- Höhenkoten,
- Achsen von Bauwerk und Ausrüstungsteil mit Bezeichnung.

**4 Bauübersichtszeichnung Stahlbau**

(z.B. Maßstab: 1:50, 1:100; Details: 1:10, 1:20)

Darstellung der Bauwerke des Stahlbaus in Grundrissen, Ansichten und Schnitten mit:

- Darstellung des statischen Systems,
- Darstellung der Konstruktionsteile,
- Eintragung der für die Anfertigung von Werkstattzeichnungen erforderlichen Maße und Höhenkoten aufgrund der verfahrens- und betriebsbedingten Angaben,
- Darstellung der Verankerungs- und Befestigungsdetails für Maschinen, Apparate und sonstige Ausrüstungsdetails,
- Angabe der statischen und dynamischen Lasten nach Größe und Lage der Maschinen, Apparate, Rohrleitungen und sonstige Ausrüstungsteile,
- Angabe der Verkehrslasten, die außer den örtlich gültigen Vorschriften und Normen zu berücksichtigen sind,
- Angabe von Werkstoff- und Ausführungsvorschriften für Konstruktionsteile, wie Geländer, Leitern, Treppen, Lampenbefestigung usw.

Dieser Zeichnung liegt keine statische Berechnung zugrunde, sondern sie ist die Grundlage für die Anfertigung falls keine Systemzeichnung angefertigt wird.

**Tab. 4.23** (Fortsetzung)**5 Systemzeichnung für Stahlbau**

Schematische Darstellung der statischen Systeme in Grundrissen, Ansichten und Schnitten mit Achsenmaßen, Riegelhöhen usw.

Diese Systemzeichnung ist bei größeren Anlagen für größere Stahlbaukonstruktionen Grundlage der statischen Berechnung. Für einfache Stahlbaukonstruktionen ist die Systemzeichnung häufig im Belastungsplan enthalten.

**6 Terrassierungsplan**

Darstellung des Bodenauf- bzw. -abtrag herzustellenden Werksplanums.

**7 Übersichtslageplan**

(z.B. Maßstab: 1:500, 1:1000)

Darstellung der Eintragung der:

- Lage der Neuanlage mit Bauwerksgrundrissen,
- Linienführung der Verkehrswege,
- Trassen der Versorgungs- und Abflussleitungen bzw. der Kabel innerhalb der Anlagengrenzen in Einliniendarstellung,
- Bezugsachsen, Bezugshöhen und Nordrichtung.

**c) Sonstige Aufgaben der Bau- und Stahlbauentwurfsplanung**

Neben den vorgenannten Zeichnungen sind während der Bau-/Stahlbauentwurfsplanung i. Allg. an weiteren Leistungen zu erbringen:

- *Raumprogramm* erarbeiten
  - Auflisten der zu erstellenden Räume in tabellarischer Form
  - jeder Raum wird durch nutzungsabhängige Attribute charakterisiert
  - das Raumprogramm ist das Übersichtsdokument für das im Detail Engineering zu erstellende *Raumbuch*
- Erarbeiten des *Brandschutzkonzepts* nach den Bauordnungen der zuständigen Bundesländer
  - Das *Brandschutzkonzept* für die Gebäude enthält Angaben, die für eine zielorientierte Gesamtbewertung des
    - vorbeugenden baulichen und anlagentechnischen Brandschutzes,
    - betrieblichen Brandschutzes,
    - abwehrenden Brandschutzes
 erforderlich sind.
  - Im Land Nordrhein-Westfalen fordert die Verordnung über bautechnische Prüfungen (BauPrüfVO) [43] in § 9 Abs. (2) in detaillierter und Form:
    - Das Brandschutzkonzept muss insbesondere folgende Angaben enthalten.
    1. Zu- und Durchfahrten sowie Aufstell- und Bewegungsflächen für die Feuerwehr,
    2. den Nachweis der erforderlichen Löschwassermenge sowie den Nachweis der Löschwasserversorgung,
    3. Bemessung, Lage und Anordnung der Löschwasser-Rückhalteanlagen,

4. das System der äußeren und der inneren Abschottung in Brandabschnitte bzw. Brandbekämpfungsabschnitte sowie das System der Rauchabschnitte mit Angaben über die Lage und Anordnung und zum Verschluss von Öffnungen in abgeschotteten Bauteilen,
  5. Lage, Anordnung, Bemessung (ggf. durch rechnerischen Nachweis) und Kennzeichnung der Rettungswege auf dem Baugrundstück und in Gebäuden mit Angaben zur Sicherheitsbeleuchtung, zu automatischen Schiebetüren und zu elektrischen Verriegelungen von Türen,
  6. die höchstzulässige Zahl der Nutzer der baulichen Anlage,
  7. Lage und Anordnung haustechnischer Anlagen, insbesondere der Leitungsanlagen, ggf. mit Angaben zum Brandverhalten im Bereich von Rettungswegen,
  8. Lage und Anordnung der Lüftungsanlagen mit Angaben zur brandschutztechnischen Ausbildung,
  9. Lage, Anordnung und Bemessung der Rauch- und Wärmeabzugsanlagen mit Eintragung der Querschnitte bzw. Luftwechselraten sowie der Überdruckanlagen zur Rauchbefreiung von Rettungswegen,
  10. die Alarmierungseinrichtungen und die Darstellung der elektro-akustischen Alarmierungsanlage (sog. ELA-Anlage),
  11. Lage, Anordnung und ggf. Bemessung von Anlagen, Einrichtungen und Geräten zur Brandbekämpfung (wie Feuerlöscher, Steigleitungen, Wandhydranten, Schlauchanschlussleitungen, Feuerlöschgeräte) mit Angaben zu Schutzbereichen und zur Bevorratung von Sonderlöschmitteln,
  12. Sicherheitsstromversorgung mit Angaben zur Bemessung und zur Lage und brandschutztechnischen Ausbildung des Aufstellraumes, der Ersatzstromversorgungsanlagen (Batterien, Stromerzeugungsaggregate) zum Funktionserhalt der elektrischen Leitungsanlagen,
  13. Hydrantenpläne mit Darstellung der Schutzbereiche,
  14. Lage und Anordnung von Brandmeldeanlagen mit Unterzentralen und Feuerwehrtableaus, Auslösestellen,
  15. Feuerwehrpläne,
  16. betriebliche Maßnahmen zur Brandverhütung und Brandbekämpfung sowie zur Rettung von Personen (wie Werksfeuerwehr, Betriebsfeuerwehr, Hausfeuerwehr, Brandschutzordnung, Maßnahmen zur Räumung, Räumungssignale),
  17. Angaben darüber, welchen materiellen Anforderungen der Landesbauordnung oder in Vorschriften aufgrund der Landesbauordnung nicht entsprochen wird und welche ausgleichenden Maßnahmen stattdessen vorgesehen werden,
  18. verwendete Rechenverfahren zur Ermittlung von Brandschutzklassen nach Methoden des Brandschutzingenieurwesens.
- Das Brandschutzkonzept ist unter Leitung des Leadingenieurs *Bau* im Team mit anderen Fachspezialisten (*PLT, Prozess, TGA, Feuerwehr, Standort*) zu erarbeiten. Es ist ein wichtiger Bestandteil der Engineering-Dokumentation und der Unterlagen zum Genehmigungsantrag.
  - In Verbindung mit der Festlegung und Abschottung der *Brandabschnitte* gemäß Punkt 4. der zitierten Vorgaben zum Brandschutzkonzept sind wichtig [44] [45]:
- Brandabschnitt:** ist ein Bereich, der im Brandfall bestimmungsgemäß ausbrennt und keinen Feuerüberschlag auf andere Brandabschnitte zulässt.  
Die Brandausbreitung (inkl. die statische Übertragung/Beeinflussung) auf angrenzende Abschnitte wird durch feuerbeständige Bauteile verhindert.

**Abschottungssysteme/Brandschotte:** sind Abschlüsse von Öffnungen, die ein Übertragen von Feuer und Rauch in andere Brandabschnitte oder Geschosse für einen definierten Zeitraum verhindern (z. B. Wände, Decken, Verglasung, Türen, Klappen, Rohrdurchführungen)

**Feuerwiderstandsklasse:** ist eine Gruppe, in der Bauteile nach ihrer Feuerwiderstandsdauer eingestuft werden (z. B. F 90 – Wand: größer 90 min oder T 30 – Tür: größer 30 min)

Bem.: Gilt auch für den tragenden bzw. statischen Stahlbau, der z.B. mit einer Brandschutzdämmung versehen werden muss (sog. Konstruktiver Brandschutz).

**Funktionserhaltungsklasse:** gibt bei einer Brandprüfung an, wie lange kein Kurzschluss und keine Stromunterbrechung in der geprüften elektrischen Kabelanlage auftritt (z. B. E 30 – Elektrokabel mit Funktionserhalt und Feuerwiderstandsdauer größer 30 min)

Bem.: Definiert brandschutztechnische Anforderungen an PLT-Technik.

**Rauchabschnitt:** ist ein Bereich, der mit abschließbaren, selbstschließenden und rauchdichten Abschlüssen (z.B. Rauchschutztüren) versehen ist und somit bei Rauchentwicklung ein Rauchdurchtritt in andere Bereiche/Abschnitte für eine bestimmte Zeit verhindert wird.

- Durchführen fachspezifischer Berechnungen u.ä. Leistungen, wie z. B.:
  - Aufstellen der *prüffähigen statischen Berechnungen* für das Tragwerk unter Beachtung der vorgegebenen bauphysikalischen Anforderungen sowie Nachweise zum konstruktiven Brandschutz.  
Welche Vorgaben dazu die HOAI [1] macht, zeigen am Beispiel der Leistungsphase *Tragwerksplanung* die Angaben in Tabelle 4.24, die auch Vorgaben zur Genehmigungsplanung mit einschließen.
  - Berechnung erforderlicher Auffangvolumina, Treppenräume, Aufzugschächte, Energieschächte und Immission- und Emissionsschutzmaßnahmen sowie Überprüfung der vorgegebenen Randbedingungen auf Aktualität (z. B. Sanitärbereiche).
  - Festlegung von Dämmschichtdicken für die Wärme- und Kältedämmung auf Basis von Vorgaben aus dem Lastenheft sowie hinsichtlich der Genehmigungsfähigkeit der Bau-/Anlageninvestition.
  - Festlegung von baulichen Maßnahmen zur Schalldämmung
    - gemäß den vorhandenen Schallquellen in der Anlage und
    - auf Basis der Vorgaben aus dem Lastenheft sowie hinsichtlich der Genehmigungsfähigkeit der Bau-/Anlageninvestition.
- Für ausgewählte Räume, die genehmigungs- und besonders kostenrelevant sind, ist das Raumbuch erarbeiten.
- Gegebenenfalls statische Berechnung und zeichnerische Darstellung für Bergschadenssicherungen und Bauzustände bei Ingenieurbauwerken, soweit diese Leistungen über das Erfassen von normalen Bauzuständen hinausgehen.
- Mitwirken bei der Objektbeschreibung bzw. beim Erläuterungsbericht.

**Tabelle 4.24** Auszug aus der HOAI, Leistungsbild *Tragwerksplanung* [1]

<b>Leistungsphase (LPH) 3: Entwurfsplanung (System- und Integrationsplanung)</b>	
<i>Grundleistungen</i>	<i>Besondere Leistungen</i>
a) Erarbeiten der Tragwerkslösung, unter Beachtung der durch die Objektplanung integrierten Fachplanungen, bis zum konstruktiven Entwurf mit zeichnerischer Darstellung	– Vorgezogene, prüfbare und für die Ausführung geeignete Berechnung der Gründung
b) Überschlägliche statische Berechnung und Be-messung	
<b>Leistungsphase (LPH) 4: Genehmigungsplanung</b>	
<i>Grundleistungen</i>	<i>Besondere Leistungen</i>
a) Aufstellen der prüffähigen statischen Berechnungen für das Tragwerk unter Beachtung der vorgegebenen bauphysikalischen Anforderungen	– Nachweise zum konstruktiven Brandschutz, soweit erforderlich unter Berücksichtigung der Temperatur (Heißbemessung) – Erfassen von Bauzuständen bei Ingenieurbauwerken, in denen das statische System von dem des Endzustand abweicht – Statische Nachweise an nicht zum Tragwerk gehörende Konstruktionen (z.B. Fassaden)
b) Bei Ingenieurbauwerken: Erfassen von normalen Bauzuständen	

- Abstimmung des Bauentwurfs sowie Mitwirkung an der Erarbeitung des Genehmigungsantrags sowie bei Verhandlungen mit Behörden und anderen an der Planung fachlich Beteiligten über die Genehmigungsfähigkeit.
- Mitwirken bei Kostenberechnung auf Basis der Entwurfszeichnungen und des Raumprogramms sowie bei der Terminplanung und beim Zusammenfassen und Erläutern der Ergebnisse.

#### d) Korrosionsschutz im Bau und Stahlbau

Der Korrosionsschutz beeinflusst entscheidend die Lebensdauer aber auch das Aussehen von Bauwerken. Dabei gibt es auf Grund neuer Bau- und Zuschlagsstoffe, aber auch auf Grund ständig steigender Anforderungen an die herkömmlichen Baustoffe, immer wieder neue Herausforderungen und Einsatzrisiken.

Das Beispiel des sog. *Betonkrebs* (s. Abb. 4.31, links) auf Autobahnen oder von Eisenbahn-Betonschwellen belegt diese Aussage.

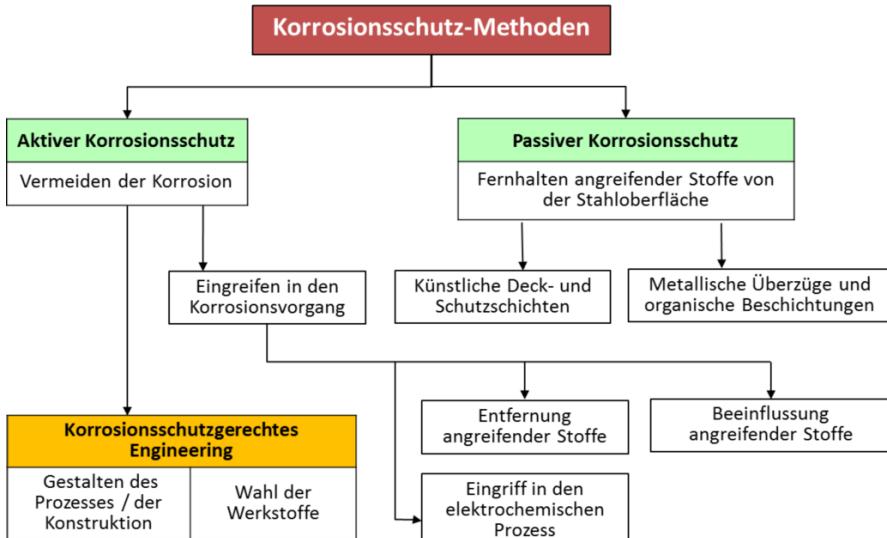
Der Betonkrebs ist eine Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR). Reaktionsfähiges Silizium, welches in bestimmten Kieselsteinen enthalten ist, reagiert sehr langsam mit Alkalien im Beton und Betonzuschlagsstoffen. Es bildet sich nach 5 bis 10 Jahren im Beton ein quellfähiges Gel, das durch Volumenvergrößerung zu inneren Spannungen im Beton und zu Rissen führt.

Wie bei den prozessbedingten Korrosionserscheinungen (s. Abschn. 4.2.3), ist auch im Bauwesen der Korrosionsschutz eine wichtige und anspruchsvolle Aufgabe. Die Übersicht in Abb. 4.32, die grundsätzlich auch für den Korrosionsschutz im Apparate- und Rohrleitungsbau zutrifft, veranschaulicht die Möglichkeiten.



**Abb. 4.31** links: Autobahnschaden durch Betonkrebs  
rechts: Schutz einer Ankerschraube durch Graphitpaste und Schutzkappe

Das primäre Ziel sollte immer ein *aktiver Korrosionsschutz* sein, d.h. die Korrosion a priori zu vermeiden. Dies wäre beispielsweise möglich durch Einsatz eines korrosionsbeständigen Werkstoffs oder durch Fernhalten korrosiver Bedingungen (z. B. Inhouse-Anlage).



**Abb. 4.32** Übersicht der verschiedenen Korrosionsschutzmethoden [46]

Lässt sich die Korrosionsgefahr nicht gänzlich ausschließen muss ein passiver Korrosionsschutz betrieben werden. Das rechte Beispiel in Abb. 4.24 belegt, wie

mit wenig Aufwand die Korrosion einer statisch tragenden Ankerschraube vermieden werden kann. Der Planer muss es nur vorgeben und der Fachbauleiter verantwortlich umsetzen.

Im Weiteren soll schwerpunktmaßig der *passive Korrosionsschutz* im Stahlbau betrachtet werden.

Die Korrosion an Stahlbauteilen im verfahrenstechnischen Anlagenbau ist häufig kein statisches und auch kein Lebensdauerproblem, sondern eine Frage des Aussehens.

Ein attraktives Aussehen des Stahlbaus kann, vor allem bei Freiluftanlagen, sehr öffentlichkeitswirksam und projektfördernd sein. Umgekehrt gilt das Gleiche. Nachfolgend dazu einige Erfahrungen und praktizierte Vorgehensweisen.

- Analog zur Fertigung verlagert sich der Korrosionsschutz aus Qualitäts- und Kostengründen von der Baustelle zum Hersteller bzw. in einem Spezialbetrieb. Man spricht vom Korrosionsschutz ab Werk.

Tabelle 4.25 zeigt aus dem Anlagenbau einige typische Maßnahmen des Korrosionsschutzes, die zunehmend im Werk und nicht mehr auf der Baustelle stattfinden.

**Tabelle 4.25** Beispiele für mögliche Verlagerung von Korrosionsschutzarbeiten zum Hersteller bzw. Fachbetrieb

Verfahren	Oberflächen-vorbehandlung	Korrosions-schutz	Art der Objekte
Feuerverzinken	Beizen	Feuerverzinkung	Stückverzinkung Profilstahl, Konstruktionen, Behälter
Kunststoffüberzüge Wirbelsintern Pulverspritzten	Beizen oder Strahl-entrostung	verschiedene Kunststoffpulver	Stahlrohre
Stationäre Korrosionsschutzanlagen	Strahlentrostung	Beschichtungen Lackierungen Einprennlacke	Stahlkonstruktionen Behälter, Apparate Maschinenteile
Lackieranlagen	verschiedene	Lackierung	Träger, Tore, Fassadenelemente

- Im Allgemeinen werden Stahlbauteile durch Beschichten vor Korrosion geschützt.
  - Ein Beschichtungssystem besteht i.d.R. aus mehreren Beschichtungen, die sich auf eine oder mehrere Grund- und Deckbeschichtungen und ggf. auch Kantenschutz- und Bodenzonenbeschichtungen verteilen.
  - Die Grundbeschichtungen haben die Aufgabe den Stahl vor Korrosion zu schützen.  
Es gibt aktive Grundbeschichtungen mit Inhibitorpigmenten (corrosive coatings) und passive Beschichtungen mit reiner Abschirmfunktion (barrier coatings).

- Die Deckbeschichtungen sollen
  - die Grundbeschichtungen vor äußeren Einflüssen schützen,
  - eine Signalwirkung, Kennzeichnung, Reflektion u.ä. bewirken,
  - eine Schmuckwirkung erzielen.
- Das Beschichtungsmaterial für die Kanten ist meistens pastöser, um besser anzuhaften und das für Bodenteile besonders gegen Feuchtigkeit beständig.
- Der klassische Beschichtungsfall für Stahlbauteile ist das sog. *Duplex-System* bestehend aus einem metallischen Überzug und zusätzlich einer organischen Beschichtung.
  - Als metallischer Überzug kommt vorwiegend Zink zum Einsatz, das durch Feuerverzinken (Tauchen im Zinkbad) mit einer Schichtdicke von < 200 µm aufgebracht wird.
  - Grundsätzlich kann eine ausreichende Zinkdicke, bei normaler atmosphärischer Belastung, allein eine Korrosionsbeständigkeit bewirken.
  - Nachteilig sind jedoch:
    - Zink ist sehr anfällig gegen Kontaktkorrosion (u.a. bei eisenhaltigen Partikeln vom Flexen, Bohren usw.),
    - das Ausbessern von Schadstellen nach Montage ist mitunter schwierig,
    - der graue Anblick.
  - Das Zink wird deshalb häufig geschützt durch eine für Zink entwickelte Deckschicht, die ausreichend dick sein und einen hohen Diffusionswiderstand aufweisen muss.
  - Die Deckschicht wird i.d.R. im Werk aufgebracht. Gegebenenfalls wird auf der Baustelle nach der Montage ausgebessert bzw. noch eine 2. Deckschicht aufgebracht.
  - Es gibt auch Fälle, in denen die Stahlbauteile verzinkt angeliefert und montiert werden und erst danach die Deckschicht aufgebracht wird.
- Außer dem erwähnten Duplex-System gibt es den zweiten typischen Fall der Grund- und Deckbeschichtung mit organischen Beschichtungsstoffen.
  - Die Grund- und Deckbeschichtungen werden i. Allg. im Herstellerwerk auf die Stahlbauteile aufgebracht und diese anschließend geliefert und montiert. Nach der Montage wird ausgebessert oder gegebenenfalls eine 2. Deckschicht aufgebracht.
  - Varianten mit nur Grundbeschichtung im Werk und Deckbeschichtung nach der Montage vor Ort werden ebenfalls praktiziert.

Insgesamt sind die Vorgehensweisen beim baulichen Korrosionsschutz unterschiedlich, wobei ein Trend zu einer weitgehenden Vorbeschichtung im Werk erkennbar ist.

Die Herausforderung ist dabei:

*Wie werden die fertigbeschichteten Stahlbauteile während Transport, Zwischenlagerung, Bau und Montage vor mechanischer, thermischer und elektro-chemischer Beschädigungen geschützt?*

Die Antwort ist vorrangig in

- einem qualifizierten Transportunternehmen,
- einer montagegerechten Konstruktion (Bauteil wie Stahlbauwerk),
- einer zweckmäßigen Montagetechnologie und
- in einen gewissenhaften und konsequenten Projekt- und Baustellenmanagement zu suchen.

#### 4.2.6 Entwurfsplanung Prozessleittechnik (PLT)

Grundlage für die PLT-Entwurfsplanung ist das in Abschn. 3.3.4 betrachtete PLT-Konzept, in dem Vorgaben zur PLT-Planung, bestehend aus den Teildisziplinen:

- MSR (**Mess-/Steuer-/Regelungstechnik**),
- PLS (**Prozessleitsystem**),
- ET (**Elektrotechnik**),
- NAT (**Nachrichtentechnik bzw. Kommunikationstechnik**),
- PAT (**Prozessanalysentechnik**),
- LAT (**Laboranalysentechnik**)

enthalten sind.

In den weiteren Ausführungen werden die Aufgaben und Ergebnisse der PLT-Entwurfsplanung ganzheitlich, d.h. unter Einbeziehung aller o.g. fachlichen Teildisziplinen dargelegt. Dabei wird von einem komplexen Anlagenneubau ausgegangen, sodass alle Fachaufgaben, unter Leitung der Leadingenieure, nötig sind.

Wie die zahlreichen Dokumentarten der PLT-Technik eines Anlagenbau-Projekts zweckmäßig strukturiert werden können, zeigt Abb. 4.33.

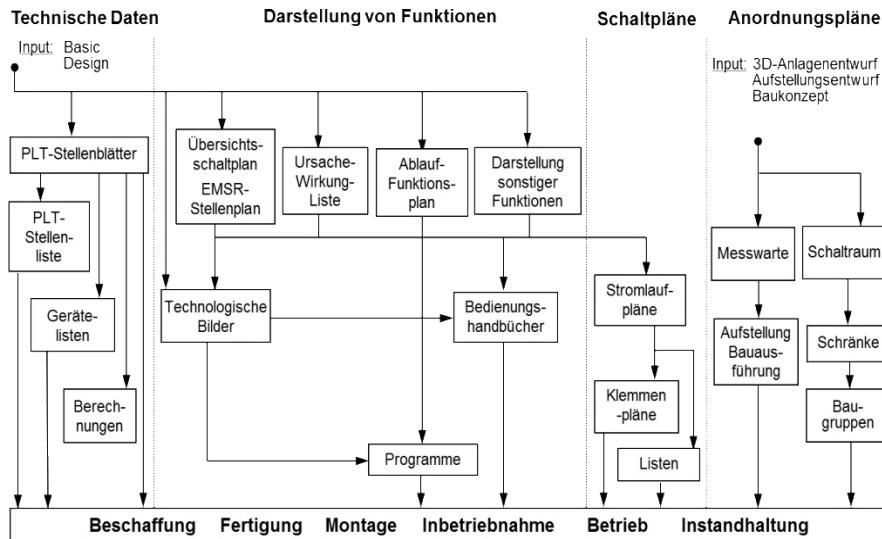


Abb. 4.33 Strukturierung der Dokumentarten der PLT-Technik

Die Vielfalt der PLT-Funktionen und der zugehörigen Geräte verdeutlicht die Abb. 4.34 am Beispiel der Feldtechnik.

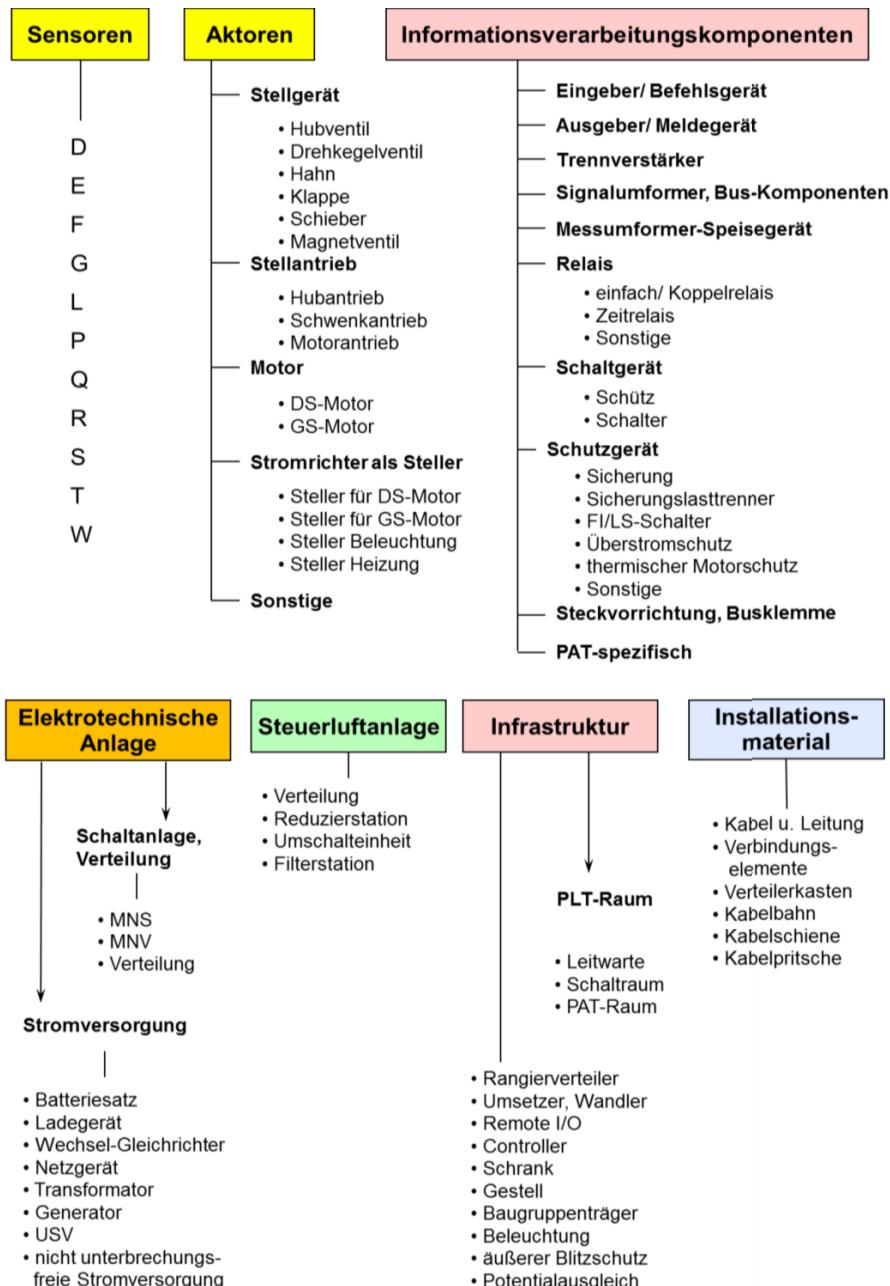


Abb. 4.34 Ausgewählte Geräte der PLT-Feldebene [47]

Abb. 4.34 belegt, dass die PLT-Planung ein großes Auswahlproblem darstellt.

Den weiteren Ausführungen wird eine ausführliche PLT-Entwurfsplanung im Rahmen eines Extended Basic zugrunde gelegt und betrachtet, welche PLT-Arbeiten im „Basic“ erledigt und welche Dokumentenarten erarbeitet werden.

Das Ablaufschema zur PLT-Entwurfsplanung zeigt Abb. 4.35. Eine Vertiefung der Fachthematik ist in [48] ausgeführt.

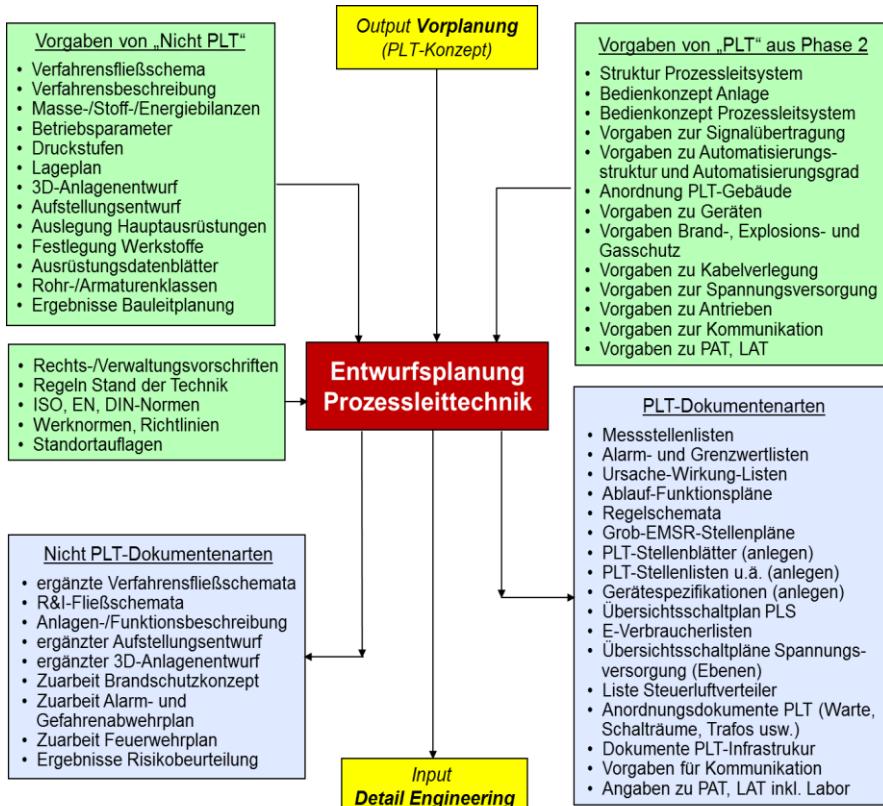


Abb. 4.35 Ablauf und Ergebnisse der PLT-Entwurfsplanung

Die nachfolgende Auflistung der Aufgaben erfolgt annähernd chronologisch, wobei parallele und auch iterative Tätigkeiten möglich sind.

*Die Leistungsgrenze zwischen „Basic“ und „Detail“ kann sich dabei projektabhängig verschieben, z.B. mehr in Richtung Detail Engineering.*

- 1) Mitwirken beim Fortschreiben der Verfahrensfließschemata (VF) für die Genehmigungsunterlagen
  - In Abstimmung mit der Genehmigungsplanung sind alle verfahrens-, sicherheits- und genehmigungsrelevanten PLT-Einrichtungen, inkl. Sensoren, Aktoren, Regelkreise, Steuerungen in die VF einzupflegen.

- 2) Mitwirken beim Erarbeiten der **Rohrleitungs- und Instrumentenfließschemata** (R&I bzw. P&ID) (s. auch Abschn. 4.2.1.1)

- Auswahl und grafische Darstellung aller Akteure und Sensoren
- Erarbeiten von zweckmäßigen *Regelstrukturen* (s. Beispiel 4.3)
- Darstellung der Regelkreise und Steuerungen, inkl. der Signallinien

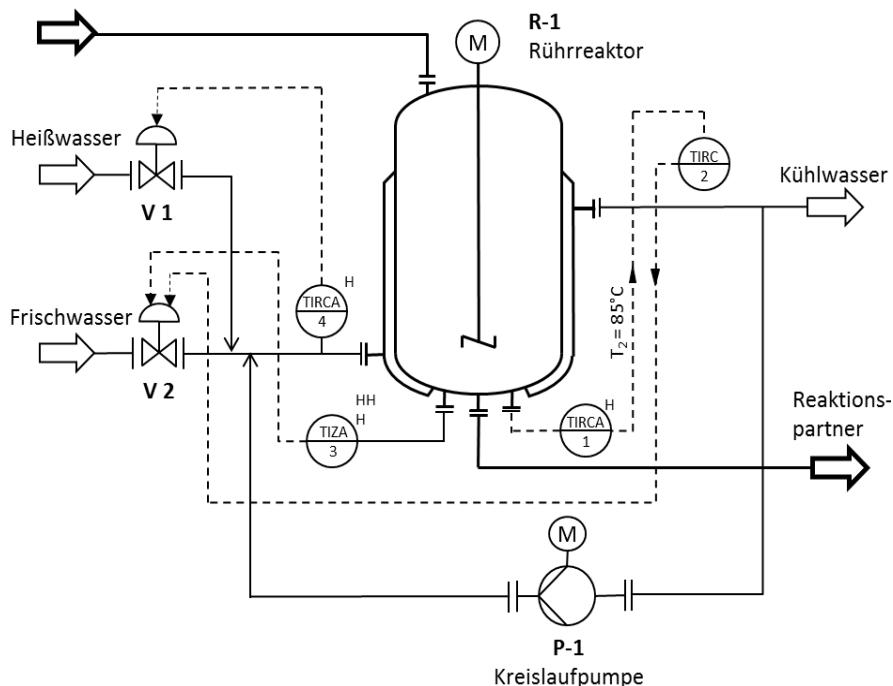
**Beispiel 4.3 Temperatur-Kaskadenregelung in einem Rührreaktor zur Suspensionspolymerisation von Styrol**

**a) Problemstellung**

Die Suspensionspolymerisation von Styrol dient zur Herstellung von Styrolperlen (Granulat). Sie findet in einem diskontinuierlichen Rührkessel (s. Abb. 4.36) in folgenden Schritten statt:

- Im Rührkessel R-1 wird Reinwasser mit Dispersator bei Normaltemperatur unter ständigem Rühren in entsprechender Menge vorgelegt.
- Anschließend wird Styrol (flüssig) als Monomeres mit gelöstem Peroxid dem Rührkessel unter ständigem Rühren zugeführt. Auf Grund des Dispersators und des Rührens verteilt sich das Styrol tropfenförmig im Dispersierwasser.

Styrol, Reinwasser  
Dispersator, Initiator



**Abb. 4.36** Vereinfachtes Verfahrensfließschema der Suspensionspolymerisation von Styrol

- Nachdem die Reaktionspartner bei Normaltemperatur und im gewünschtem Verhältnis im Rührkessel vorliegen, beginnt die Aufheizung des Reaktorinhalts mittels Heißwasser und dem Regler TIRCA 1 über eine sog. „Rampe“.
- Ab ca. 70 °C Reaktortemperatur zerfällt das im Styrol gelöste Peroxid und startet die radikalische Styrolpolymerisation. Das heißt, in den Styroltropfen beginnt die Polymerisation. Da die Polymerisationsreaktion exotherm ist, muss die Aufheizung bei ca. 80 °C gestoppt werden, um die Reaktion „abzufangen“.
- Das Polystyrol, was anfangs noch kurzkettig ist, bleibt im Monomeren gelöst, erhöht aber zunehmend die Viskosität der flüssigen Tropfen. Im Verlauf der Polymerisation wird aus dem anfänglichen Styrol-Tropfen eine Polystyrol-Perle.
- Nachdem die Reaktion bei ca. 80 °C abgefangen wurde, soll im weiteren Reaktionsverlauf, der mehrere Stunden dauert, die Reaktionstemperatur möglichst konstant bei 85 °C gehalten werden.
- Steigt die Temperatur über diese Grenztemperatur von 85 °C, verringert sich die Dispergierwirkung des Wassers, die Styroltropfen kontaktieren und verschmelzen. Die größeren viskosen Tropfen lassen sich nicht mehr dispergieren, die Reaktion „geht durch“. Es entstehen Polymerklumpen und Polymeranbackungen. Der Rührkesselansatz muss verworfen und der Reaktor aufwendig gereinigt werden.
- Fällt die Temperatur zu stark bis unter 80 °C, verringert sich die Polymerisationsgeschwindigkeit und damit produzierte an Polystyrolmenge.

### b) Aufgabenstellung und Lösung

Es ist eine Temperaturregelung derart zu realisieren, dass während der Polymerisation die Reaktortemperatur zwischen 83 und 87 °C gehalten wird.

Variante 1: **Einfache Reaktortemperaturregelung**, indem der Regler TIRCA 1 in Abhängigkeit von der Regelabweichung die Frischwassermenge über das Regelventil V 2 verstellt.

Da der Wärmeübergang vom – Inneren des Styroltropfens → an das Wasser → an die Innenwand → durch die Wand → an das Kühlwasser – insgesamt sehr träge ist, würde die Reaktortemperatur stark über- bzw. unterschwingen.

Variante 2: **Kaskadenregelung der Reaktortemperatur** wie folgt (s. Abb. 4.35):

- Es wird über die Pumpe P-1 ein intensiver Kühlwasser-Kreislauf realisiert, sodass im Mantelraum ein hoher Wärmeübergang gegeben ist.
- Die Frischwassermenge wird, anders als bei Variante 1, über den Kühlwassertemperatur-Regler TIRC 2 am Austritt verstellt. Zugleich wird der Reaktortemperaturregler TIRCA 1 dem Regler TIRC 2 „aufgeschaltet“.
- Die „Aufschaltung“ erfolgt derart, dass bei 85 °C Reaktortemperatur der Sollwert der Kühlwassertemperatur 60 °C ist. Steigt die Reaktortemperatur zum Beispiel um 1 grd auf 86 °C, so verändert der TIRC 2 den Sollwert für die Kühlwassertemperatur um minus 10 grd auf 50 °C. Gemäß der großen Regelabweichung steuert der TIRC 2 das Regelventil V2 voll auf.
- Das ist das Funktionsprinzip einer Kaskadenregelung;

*der wichtige, aber träge Hauptregelkreis steuert  
den Sollwert eines schnellen Hilfsregelkreises.*

- Im Ergebnis wurde eine Regelabweichung von nahezu 1 grd erreicht.

*Am Ende der Reaktionszeit, nachdem sich die Reaktionswärme verringert, wird über den Temperaturregler TIRCA 3 geheizt.*

*Da der Rückgang der Reaktionswärme langsam über Stunden erfolgt, kann ein einfacher und träger Regler TIRCA 3 genutzt werden.*

### 3) Klassifizieren der PLT-Sicherungseinrichtungen [5][49]

- Die auf den R&Is vorgesehenen PLT-Stellen sind unter der Leitung des Leadingenieurs *PLT* und unter Mitwirkung der Leadingeniere *Prozess*, *TGA* sowie ggf. des später verantwortlichen Betriebsingenieurs in die folgenden vier Klassen einzuteilen:

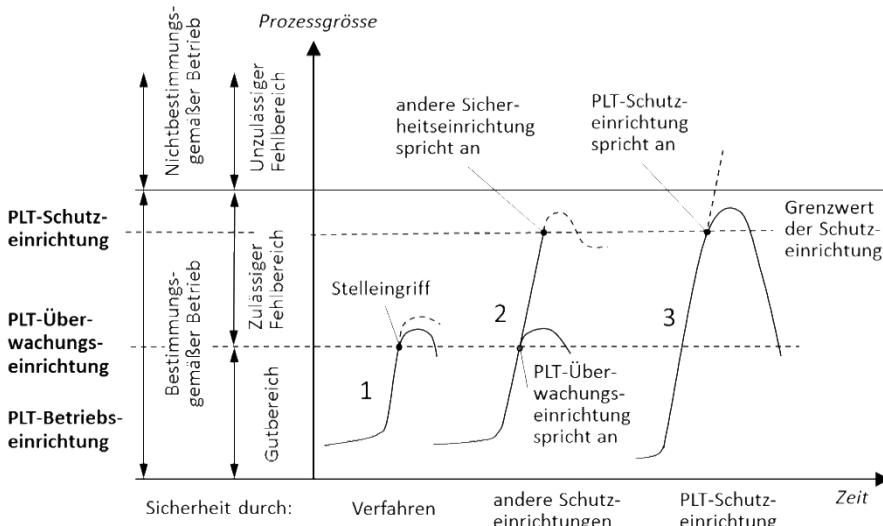
**PLT-Betriebseinrichtungen** sind PLT-Einrichtungen, die den bestimmungsgemäßen Betrieb einer Anlage in ihrem Gubereich dienen. Mit ihnen werden die Automatisierungsfunktionen Messen, Steuern, Regeln, Melden, Registrieren u. a. realisiert.

**PLT-Überwachungseinrichtungen** sind PLT-Einrichtungen, die an der Grenze zwischen Gubereich und unzulässigen Fehlbereich ansprechen und das Bedienpersonal durch eine Meldung informieren und ggf. zu einem Eingreifen veranlassen.

**PLT-Schutzeinrichtungen** sind PLT-Einrichtungen, die das Erreichen eines unzulässigen Fehlbereiches durch einen selbsttätigen Eingriff in den Prozess verhindern.

**PLT-Schadensbegrenzungseinrichtungen** sind PLT-Einrichtungen, die im Fall des Eintritts eines unerwünschten Ereignisses die möglichen Auswirkungen dieses Ereignisses begrenzen.

- Zum besseren Verständnis dient die Darstellung in Abb. 4.37, die folgenderweise zu verstehen ist:



**Abb. 4.37** Darstellung der Wirkungsweise von PLT-Sicherungseinrichtungen

- Beim Kurvenverlauf 1 kann die Prozessgröße verfahrensbedingt den unzulässigen Fehlbereich nicht erreichen. Die PLT-Stelle hat keine Überwachung oder Schutzfunktion. Sie dient ausschließlich zur prozessbedingten Information, Registrierung, Regelung und/oder Steuerung.
- Beim Kurvenverlauf 2 kann die Prozessgröße die Grenze zum unzulässigen Fehlbereich überschreiten.

Da aber eine andere Sicherungseinrichtung (wie Sicherheitsventil, Berstscheibe, Schnellöffnungsventil, Schnellschlussventil) existiert bzw. das Eingreifen des Operators, gegebenenfalls nach vorheriger Alarmierung, für ausreichend eingeschätzt wird, ist eine *PLT-Überwachungseinrichtung*, die das Erreichen des Alarmwertes meldet, ausreichend.

Die grafische Darstellung der Überwachungsfunktion erfolgt mit den Buchstaben „A“ = Alarm und den Buchstaben „H“ = High-Alarm bzw. „L“=Low-Alarm.

Mehrere Alarne bei verschiedenen Alarmwerten sind möglich.

- Im Kurvenverlauf 3 wird durch eine technische Maßnahme in Form der PLT-Einrichtung verhindert, dass die Prozessgröße den unzulässigen Fehlbereich erreicht. Sie ist deshalb eine sog. *PLT-Schutzeinrichtung* zur Vermeidung von Personenschäden, von Sachschäden oder von Umweltschäden.

Der Eingriff des Operators zur Vermeidung des unzulässigen Anstiegs der Prozessgröße wird als nicht sicher/zuverlässig genug beurteilt.

Man spricht in diesem Fall von einem sicherheitsrelevanten bzw. sicherheitsgerichteten *Eingriff*, der über eine sicherheitsgerichtete Steuerung realisiert wird. Statt Eingriff wird mitunter auch von *Verriegelung* gesprochen.

Die grafische Darstellung der PLT-Schutzeinrichtung erfolgt mit den Buchstaben „Z“ = sicherheitsrelevante Schaltfunktion und den Buchstaben „HH“=High-Schaltung/Verriegelung bzw. „LL“=Low-Schaltung/Verriegelung.

- Die grafische Darstellung der PLT-Einrichtungen und Funktionalitäten auf den R&Is wurde in Abschn. 4.2.1.1 und im Beispiel 4.2 erläutert.
- Die *PLT-Schadensbegrenzungseinrichtungen*, die nicht in Abb. 4.37 dargestellt sind, begrenzen nach Eintritt eines Schadensereignisses dessen Auswirkungen.

Beispiele sind:

- Huption oder Sirene, die zum Verlassen der Anlage auffordern,
- Anspringen einer Springleranlage und/oder Tankberieselungsanlage über einen Brand-/Rauchmelder,
- Fluten einer Maschinenhalle mit Löschgas, ausgelöst über einen Brand- oder Rauchmelder,
- „setzen“ von Wasserschleier bzw. Dampfnebel in der Anlage, um z.B. Schadstoff-Emissionen niederzuschlagen, die Bildung von explosionsfähigen Gemischen und/oder die Brandausbreitung zu verhindern.

- Die Klassifizierung der PLT-Sicherungseinrichtungen inkl. identifizieren und definieren der PLT-Schutzeinrichtungen wird erstmalig beim Erstellen der R&Is im Beisein der Prozess- und PLT-Spezialisten vorgenommen. Sie wird später während der Risikobeurteilung (s. Abschn. 4.3.2) gründlich überprüft, gegebenenfalls korrigiert und während der SIL-Einstufung aller Bauteile des sicherheitsgerichteten Schaltkreises (Sicherheitskette) in entsprechende Gerätespezifikationen umgesetzt (s. Abschn. 4.3.2, Buchst. c))
- 4) Anlegen/Eröffnen der *PLT-Stellendatenblätter* und *PLT-Stellenlisten*
- Die technischen Daten jeder PLT-Stelle (Sensoren und Aktoren) werden zeitnah zur Fließschemaarbeit in einem zugehörigen *PLT-Stellendatenblatt* (Synonym: PLT-Stellenblatt) in übersichtlicher Form zusammengefasst.
  - Im Detail beinhaltet das PLT-Stellendatenblatt (s. Abb. 4.38) folgende Angaben:
    - allgemeine Kennzeichnung der Stelle,
    - Prozess-/Stoffdaten (Bezeichnung, Medium, Stoffeigenschaften u.a.),
    - Gerätedaten inkl. Zubehör und Einbauort.
  - Im Basic Engineering werden nur die Prozessdaten und gegebenenfalls einige Zubehör-Daten eingegeben. Die restlichen Daten werden im Detail Engineering erarbeitet und eingetragen.
  - Für andere PLT-Einrichtungen und Geräte/Betriebsmittel, wie z. B. *Elektromotoren, Transformatoren, Frequenzumrichter, USV-Einrichtungen, Schaltanlagen, Beleuchtungsanlagen, Funkanlagen, Videoanlagen, Uhrenanlagen, Notstromaggregate, Batterieanlagen*, werden ebenfalls technische Datenblätter eröffnet bzw. angelegt.
  - Die PLT-Stellenliste (Synonym: PLT-Stellenverzeichnis) ist eine ganzheitliche Zusammenstellung der Stammdaten aller PLT-Stellen der Anlagen, egal welcher Teildisziplin (EMSR, ET, NAT, PAT) sie zuzuordnen sind. Sie ist ein wichtiges Übersichtsdokument der Prozessleittechnik.
- 5) Anlegen/Eröffnen der *Messstellenlisten* und der *Alarm- und Grenzwertlisten*
- Die *Messstellenliste* (s. Tab. 4.26) ist eine Zusammenstellung der Stammdaten mehrerer MSR-Stellen zugeordnet zu einem R&I oder Teilanlage.
  - Die Aktoren (Regel-/Absperrarmaturen) werden oft in der Messstellenliste mit gelistet, während die Stellmotoren in der Motorenliste erfasst werden.
  - Die Alarm- und Grenzwertlisten (Synonym: Alarm-/Verriegelungsliste, Set-Point-List) enthält nur die MSR-Stellen mit Überwachungsfunktion (Alarm) und mit sicherheitsrelevanter Schutzfunktion (Grenzwerte).

**Tabelle 4.26** Mögliche Daten einer Messstellenliste

Lfd. Nr.	AKZ	Benennung	R&I	Medium	Messbereich	Einheit
Signaltyp	Binär-geberart	Typ Sensor bzw. Aktor	Fabrikat	Nr. des PLT-Stellenblatts	Nr. des Hook-up	

1	Geräte Nr.	Tag Nr.	Repère	<b>22-1LIZA 28</b>			1			
2	Anzahl	Number	Nombre	1			0			
3	<b>Gerät</b>	<b>Instrument</b>	<b>Instrument</b>				<b>Rev.</b>			
4	Typ	Model	Modèle	Radarfüllstandsmessung VEGAPULS 53 K			2			
5	Bauart	Design	Construction	mit Flansch und örtlicher Anzeige			0			
6	Montageort	Location	Emplacement	Entgaserkolonne 22-1D1			2			
7	Ser.-nummer	Ser.-numb.	Ser.-nomb.							
8	Anschlüsse	Connections	Raccordments	DN50/PN16			0			
9	Material	Material	Matériaux	Fl. 1.4571 mit PTFE-Auflage			2			
10				Stabantenne mit PTFE zur Messung im Schutzrohr			2			
11	Meßbereich	Range	Range	einstellbar bis 20 m			2			
12	Signal	Signal	Echelle	4...20 mA			0			
13	Umgeb.-temp	Ambient Temp.	Temp. Ambient	-30...50 °C			0			
14	Ausführung			Kompacktsensor			2			
16	Speisung	Supply	Alimentation	Zweileiter / 4-20 mA			1			
17	Schutza.	Protection	Protection	IP67			2			
19	Ex-Schutz	Ex-Protection	Ex-Protection	EExia II C T3			2			
21	Zusatzeinr.			Schwallrohr (d=50mm) lt. VEGA-Zeichn.			2			
22	<b>Zubehör</b>	<b>Optionals</b>	<b>Accessories</b>				<b>Rev.</b>			
23	Typ	Model	Modèle	Speisegerät			1			
24	Bauart	Design	Construction							
25	Ser.-nummer	Ser.-numb.	Ser.-nomb.							
26	Meßbereich	Range	Range	einstellbar bis 20 m			2			
27	Anzeige	Indication	Indication	örtl. Anzeige eingebaut (Display)			2			
28	Genaugkeit	Accuracy	Exactitude							
29	Ex-Schutz	Ex-Protection	Ex-Protection	EExia II C T3			2			
30	Speisung	Supply	Alimentation							
31	Ausgang	Output	Sortire	Zweileiter / 4-20 mA			1			
32	Signalauswertung			Echoanalyse mit Fuzzy-Logic			2			
33	Typ	Model	Modèle	abnehmbares Bedienmodul am Sensor			2			
34	Bauart	Design	Construction							
35	Alarne	Alarms	Alarme							
37	Ser.-nummer	Ser.-numb.	Ser.-nomb.							
39	<b>Prozessdaten</b>	<b>Proces Data</b>	<b>Données Tech.</b>	<b>min.</b>	<b>norm.</b>	<b>max.</b>	<b>Rev.</b>			
40										
41	Temperatur	Temperature	Température		110 °C	165 °C	2			
42	Druck	Pressure	Pression	-0,5 bar(ü)	0,4 bar(ü)	6 bar(ü)	2			
43										
44	Druckabfall	Pressuredrop	Perte de charge							
45										
47	Medium	Fluid	Fluide	Dampf/Wasser			0			
48	Spez. Gew.	Spec. gravity	Densité	950 kg/m3			2			
49	Viskosität	Viscosity	Viscosité	Dampfdichte 0,826 kg/m3			1			
50	Zulassung	Qualification								
51	Lieferant	Contractor	Fournisseur				2			
52	Kunde	Customer	Client				2			
A				<b>PLT-Stellenblatt Niveaumessgerät Levelmeter</b>	Rev	Datum	Erst.	Gepr.	Freig.	
B										
C										
E										Blatt 1/1

Abb. 4.38 PLT-Stellendatenblatt eines Standmessgeräts (Praxisbeispiel)

- Ergänzend zur MSR-Stellenliste enthält die Alarm- und Grenzwertliste noch die Angaben der Alarmwerte (hoch, tief, ggf. mehrere von Beiden) und der Grenz- bzw. Schaltwerte (hoch, tief, ggf. mehrere von Beiden).
- 6) Anlegen/Eröffnen der *Gerätelisten* bzw. der *BetriebsmittelListen*
- Die *Gerätelisten* ist eine Zusammenstellung der Stammdaten aller Geräte; in der Regel zugeordnet zu einer Teilanlage. Die mögliche Kopfzeile einer solchen Liste zeigt Tabelle 4.27.
  - Der Geräteträgerbegriff nach ATEX-Herstellerrichtlinie [57] (s. Abschn. 2.3.1.2, Buchst. c)) schließt die elektrischen Geräten und die Maschinen ein.
  - Mitunter werden für elektrische Geräte eigene Listen unter den Begriff „Liste elektrischer Betriebsmittel“ bzw. „E-Verbraucherliste“ erarbeitet.
  - In manchen Projekten werden die technischen Daten der Motoren auch separat in Motorenlisten zusammengestellt (s. Punkt 13)).

**Tabelle 4.27** Mögliche Daten einer Geräteliste

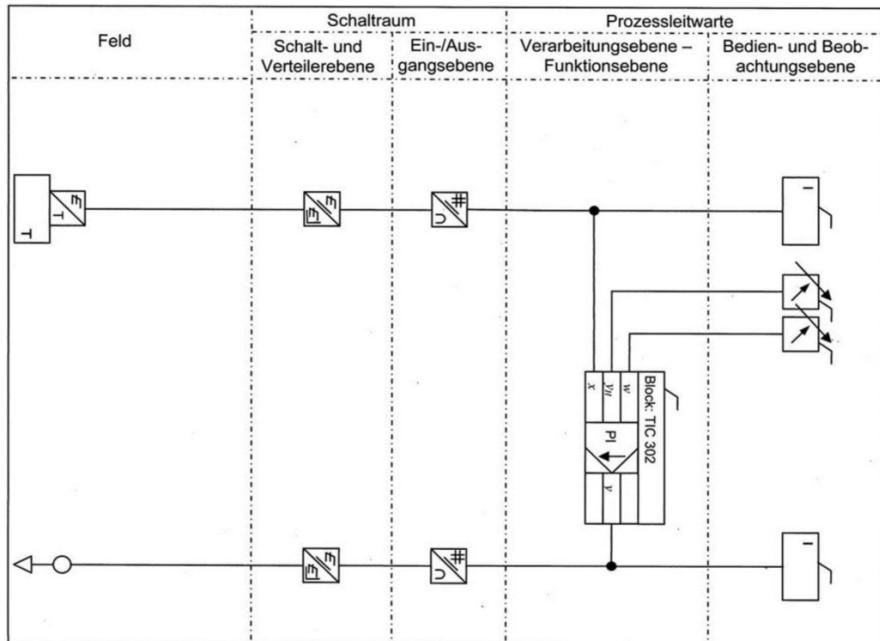
Lfd. Nr.	AKZ	Benennung	Ex-Zone	Hersteller	Geräte-Typ	Nr. ATEX-Bescheinigung
Ex-Kennzeichen	Feuchteschutz	Anschlussleistung	Nennspannung	Nennstrom	Kabel-Typ	

- Die Gerätelisten werden im Basic Engineering, z.B. auf Grundlage der R&I-Fließ-schemata, der PLT-Stellenblätter und des Explosionsschutzdokuments angelegt und im Detail Engineering gemäß der dann vollzogenen detaillierten Gerätespezifizierung ergänzt (s. Abschn. 7.2.2 und 7.2.6).
  - Aus den Gerätelisten kann gegebenenfalls ein Grob-Mengengerüst für die PLT-Geräte abgeleitet werden, welches als Basis für die Investitionskostenermittlung des PLT-Gewerks genutzt werden kann.
- 7) Anlegen/Eröffnen weiterer Listen
- Weitere spezielle Listen sind für Kabel, Steuerluftverteiler, Schaltschränke, PLS-Schränke, Prozessanalysatoren, Rezepte u.a. Anlagen- bzw Softwarekomponenten üblich.
  - Je nach Informationsumfang werden die Listen einem oder mehreren R&I-Fließschemata bzw. Anlagenteilen zugeordnet. In der Regel werden diese Listen im „Basic“ begonnen und während des „Detail“ vervollständigt.
  - Die Elektro-Kabelliste in Abb. 4.39 zeigt den Stand „Ende Detail Engineering“. Sie wurde für wichtige Kabel (Versorgungskabel von Maschinen, Feldbus-Kabel) im Basic Engineering eröffnet.
- 8) Erstellen von *Grob-MSR-Stellenplänen* [48]
- Ein MSR-Stellenplan stellt allgemein eine MSR-Funktion je nach Zweck mit ausgewählten wesentlichen Eigenschaften (grob) oder mit allen erforderlichen Details (fein) durch grafische Symbole dar.

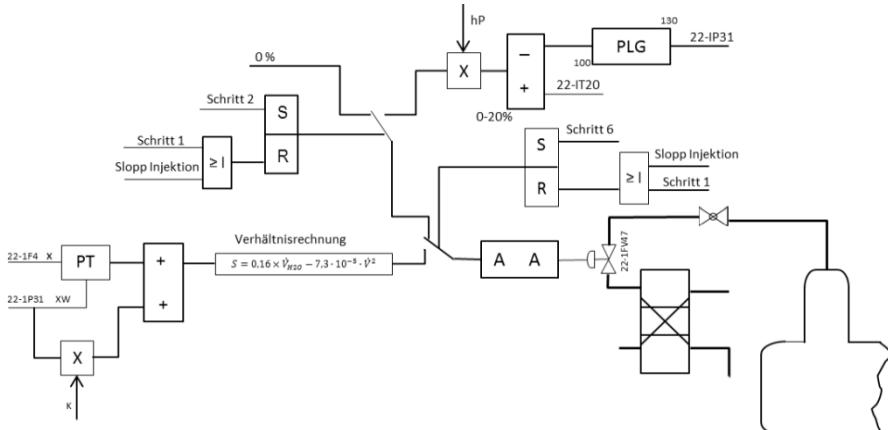
Ifd. Nr.	Kennz.	Kabel-typ	Quer-schnitt	Spannung (V)	Länge (m)	Kabelverlauf von	Kabelverlauf nach	Bemerkungen	Rev.
1	Kennz.	NYCWY	3x50/25	400	25	A 07 D	52 - 2 +EU 19	Thyrotakt - Schrank	0
2	Kennz.	NYCWY	3x35/16	400	25	A 07 F	52 - 2 +EU 18	FU-Schrank	0
3	-W003N	NYCWY	3x50/25	400	260	52 - 2 +EU 19	22 - 1 EH1	E-Heizung (40kW)	0
4	-W004N	NYCWY	3x50/25	400	260	52 - 2 +EU 19	22 - 1 EH2	E-Heizung (40kW)	0
5	-W005N	NYCWY	3x35/16	400	260	52 - 2 +EU 18	22 - 1 EN2	Pumpe (FU-Antrieb)	0
6	-W006N	NYCY	3x2,5re/2,5	400	260	A 07 G1	22 - 1 EN1	Pumpe	0
7	-W007N	NYCY	3x4re/4	400	260	52 - 6 +EV 15 / Einsch. B11 - G	Verteiler Begleitheizung	Einspeis. Begleitheizung	0
8	-W008N	NYCY	2x2,5re/2,5	230	50	Verteiler Begleitheizung L1	Begleitheizung	HK 1	0
9	-W009N	NYCY	2x2,5re/2,5	230	25	Verteiler Begleitheizung L2	Begleitheizung	HK 2	0
10	-W010N	NYCY	2x2,5re/2,5	230	25	Verteiler Begleitheizung L3	Begleitheizung	HK 3	0
11	-W011S	NYCY	7x2,5re/2,5	230	260	52 - 2 +EU 19	22 - 1 EH1	örtliche Steuerstelle	0
12	-W012S	NYCY	7x2,5re/2,5	230	260	52 - 2 +EU 19	22 - 1 EH2	örtliche Steuerstelle	0

**Abb. 4.39** Elektro-Kabelliste einer Reinstwasseranlage (Auszug)

- Der MSR-Stellenplan (s. Abb. 4.40) enthält an Grundinformationen:
  - die Darstellung der MSR-Funktion mit Hilfe von grafischen Symbolen,
  - die Benennung der Ein- und Ausgangsvariablen,
  - die Angabe über die Wirkung jeder Aktion,
  - an Abbruchstellen die vollständige Hinweisbezeichnung,
  - Hinweise zur Realisierung der MSR-Funktionen wie: Programme, Datenadressen, Programmanweisungen, Kommentare, Anschlüsse,
  - Hinweise auf andere Unterlagen wie z. B. Programmdokumentationen.

**Abb. 4.40** Grob-MSR-Stellenplan der MSR-Stelle TIC 302 [48]

- ist eine übersichtliche, grafische Darstellung zur Erläuterung der Bauelemente (Automatisierungsmittel) und der Arbeitsweise (Funktion) des MSR-Kreises (s. Abb. 4.40). Er stellt ein „Bindeglieder“ zwischen den Prozesstechniker und den PLT-Ingenieur dar.
- Der Grob-MSR-Stellenplan ist ähnlich zu verstehen wie der Übersichtsschaltplan zur Erläuterung der Arbeitsweise elektrischer Einrichtungen.
- Aus dem Grob-MSR-Stellenplan entwickelt sich im Detail Engineering der sog. Fein-MSR-Stellenplan oder der PLT-Stromlaufplan (s. Abschn. 7.2.6).
- 9) Erarbeiten von *Regelschemata* zur Darstellung der Funktion und des Aufbaus komplizierter und wichtiger Regelungen
- Die Darstellung komplizierter Regelstrukturen, z.B. mit Rechenfunktionen, ist auf dem R&Is aus Platz- und Übersichtsgründen ungünstig.  
Man beschränkt sich auf den R&Is deshalb i.Allg. auf die Angabe einer Black-Box, in die Signale hinein- und herausführen.
  - Ergänzend zu den PLT-Darstellungen auf den R&Is und zu einer möglichen Darstellung des Regelkreises als MSR-Stellenplan werden nicht selten sog. *Regelschemata* erarbeitet (s. Abb. 4.41).
  - Das Regelschema erscheint als Dokument auch geeignet, um ergänzend zum R&I und/oder zum MSR-Stellenplan den PCE-Kreis (PCE – Process Control Engineering) darzustellen [6] (s. Beispiel 4.2 in Abschn. 4.2.1.1).



**Abb. 4.41** Regelschema Dampf-Durchflussregelung eingebunden in eine Anfahrsteuerung (Praxisbeispiel)

- 10) Erarbeitung von *Planungsdokumenten* (Ursache-Wirkung-Listen, NOT-AUS-Konzept, Ablauf-Funktionspläne u.ä.) für *Steuerungen*
- Ursache-Wirkung-Listen* (s. Abb. 4.42)
    - Die Ursache-Wirkung-Liste (UWL) ist ein Dokument zur Erläuterung sicherheitsrelevanter bzw. sicherheitsgerichteter Steuerungen.

		Wirkung	Benennung						
1 Melde- und Steueranlage				Ursache	(Ex)j - Trennung	Störung Anzeige E-/MSR Schrank Tableauanzeige	Förderpumpe M1 EIN	Regenwasserpumpe M2 EIN	
Meßstelle	Benennung								
LSA1H	Niveau Wassergrube hoch	x							1
LSA1L	Niveau Wassergrube tief	x							O
P5H	Druck Regenwasserleitung	x							O
LSA1HH	Niveau Wassergrube maxmax	x		o					
--	Störung Regenwasserpumpe ( Schalterfall )			o o					
S13	Taster Förderung STOP								O
S11	Taster TKP Pumpe EIN								1
S12	Taster TKP Pumpe AUS								O
K14/K15	TKP Stromüberwachung								O
F11	TKP Motorschutz				G				O
F10	TKP Fehlerstromschutzschalter								O
K16	TKP Pumpe EIN Schütz								
PISA2L	Druck Förderleitung min	x		o					O
PISA2H	Druck Förderleitung max	x		o					O
PIA1H/L	Druck Sondenkopf max/min	x		o					GW

Abb. 4.42 Ursache-Wirkung-Liste des Sondenplatzes eines Ölbetriebs (Auszug)

- In der UWL werden dargestellt:
  - links der Auslöser (die überwachte Messstelle oder gegebenenfalls die erfolgte Bedienhandlung) sowie
  - rechts die Aktion, die daraufhin stattfindet.
- Mitunter werden auf den Ursache-Wirkung-Listen die Grenz- bzw. Schaltwerte mit angeführt.
- Erfolgt die Darstellung der kausalen Abhängigkeit in grafischer Form, wird von einem Ursache-Wirkung-Schema gesprochen.

#### b) NOT-AUS-Schaltungen und NOT-HALT-Schaltungen

- Wichtige sicherheitsrelevante Steuerungen stellen die NOT-AUS-Schalter und die NOT-HALT-Schalter dar. Sie ermöglichen dem Menschen, von Hand die Anlage bzw. Anlagenteile in einen gefahrlosen Zustand zu überführen.

- Wie der gefahrlose Zustand definiert ist, z. B.

- Anlage und/oder Maschine *spannungsfrei* schalten,
- Anlage und/oder Maschine *anhalten*,
- Anlage und/oder Maschine *einblocken*,
- Anlage und/oder Maschinen *produktseitig entspannen*,
- eine Kombination der vorgenannten Anlagenzustände

ist projektspezifisch und in Abstimmung mit dem späteren Betreiber zu entscheiden.

- Durch einen NOT-HALT-Befehl bzw. NOT-STOP-Befehl bleibt gemäß üblicher Definition das betroffene Objekt (Anlage, Maschine) im bisherigen Zustand stehen. Das Wiederanfahren erfolgt im Normalfall automatisch, sobald die Störungsursache behoben ist (s. Abb. 4.43, links).
  - Durch einen NOT-AUS-Befehl wird die Anlage bzw. Komponente in einen gefahrlosen Zustand gesteuert und i.Allg. spannungsfrei geschaltet. In bestimmten Fällen wird die Anlage auch entspannt, um das Gefahrenpotential zu verringern (s. Abb. 4.43, rechts). Das Wiederanfahren setzt eine definierte Bedienhandlung voraus und dauert deutlich länger.
- Mitunter wird in diesem Sinne auch von einem ANLAGEN-AUS gesprochen.



**Abb. 4.43** links: NOT-STOP-Schalter für die Dampfturbine eines Kraftwerks  
rechts: NOT-AUS-Schalter für die oberflächen Anlagen eines Erdgasspeichers  
(Gesamtanlage wird eingeblockt und über die Fackel entspannt.)

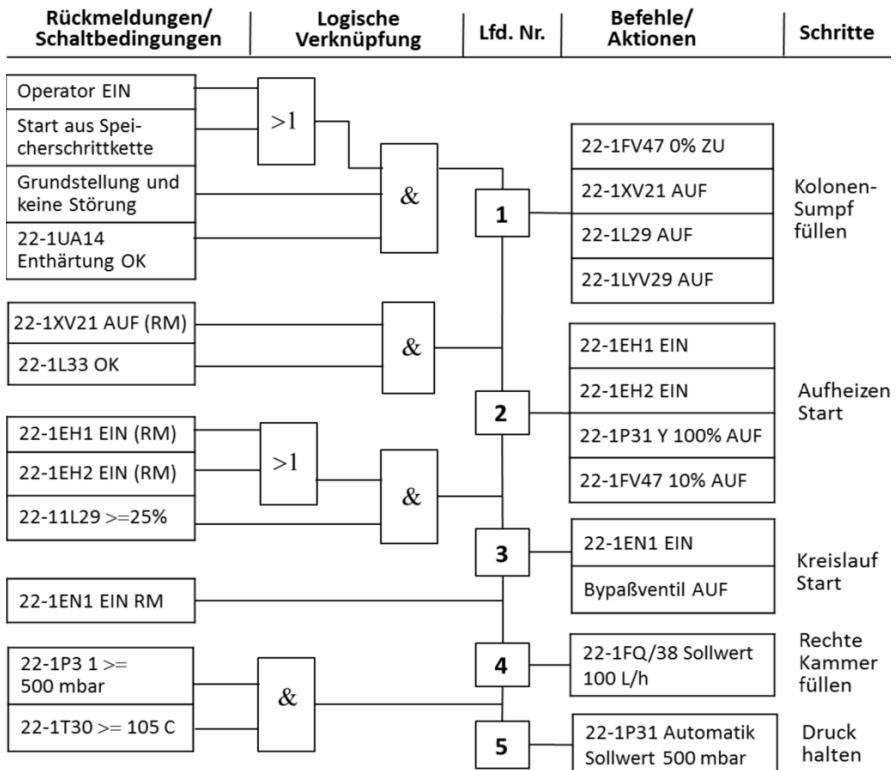
- Prinzipiell sind ein NOT-AUS für die Gesamtanlage, Teilanlage, Aggregat, Maschine u.a. Ausrüstungen möglich. Welche Variante gewählt wird, ist in Abhängigkeit von den Gefährdungen und Schutzzielen zu entscheiden und während der Risikobeurteilung (s. Abschn. 4.3.2) zu überprüfen.  
Grundsätzlich geht der Trend zu weniger NOT-AUS-Optionen (z.B. nur Gesamtanlage-NOT-AUS) stattdessen zu einer bevorzugten Nutzung von PLT-Schutzeinrichtungen zur Anlagensicherung.

#### c) Ablauf-Funktionspläne

- In der Praxis wird der Begriff *Funktionsplan* häufig im engeren Sinne als grafische Darstellung der Funktion einer Ablaufsteuerung benutzt.
- Dabei gilt folgende Begriffsbestimmung:

Eine **Ablaufsteuerung** ist eine Kette von Steuerschritten, welche durch Weiterschaltbedingungen (Transitionen) miteinander verbunden ist. Man spricht auch von einer sog. Schrittketten-Steuerung.

- Die grafische Darstellung einer Ablaufsteuerung in Form eines Ablauf-Funktionsplanes, die den Normen [50][51][52] über Programmier-/Spezifikationssprachen für Steuerungen folgt, zeigt Abb. 4.44.



**Abb. 4.44** Ablaufsteuerung für das Anfahren einer Wasser-Entgasungsanlage (Auszug)

- Bei komplexen Steuerungen, wie es beispielsweise die prozessgerichteten Anfahr- und Rezeptsteuerungen sind, werden ergänzend zu den grafischen Darstellungen noch sog. *Grundfunktionsbeschreibungen* erarbeitet. Diese stellen grafische Ablauf-Funktionspläne dar, die ausführlich beschrieben sind und mit zusätzlichen, eindeutigen Erläuterungen, Befehlen, Hinweise u.ä. Vermerken (möglichst in der Muttersprache des späteren Programmierers) versehen wurden.
- Da in verfahrenstechnischen Anlagen
  - die sicherheitsrelevanten aber insbesondere die prozessrelevanten Steuerungen immer zahlreicher werden (z.T. prozessgerichtete Schrittketten mit mehreren tausend Schritten),

- die zuvor beschriebenen Basic Engineering-Dokumente die Vorgaben (Input) für den Programmierer darstellen,
- die Programmierarbeiten i.d.R. nicht vom Basic-Planer gemacht werden,
- die Programmierfehler bei komplexen Steuerungen vor der Inbetriebnahme, trotz FAT (Factory Acceptance Test) und SAT (Site Acceptance Test), nur sehr schwer erkannt und eliminiert werden können,

müssen die Dokumente für die Entwurfsplanung der Steuerungen *eineindeutig* sein.

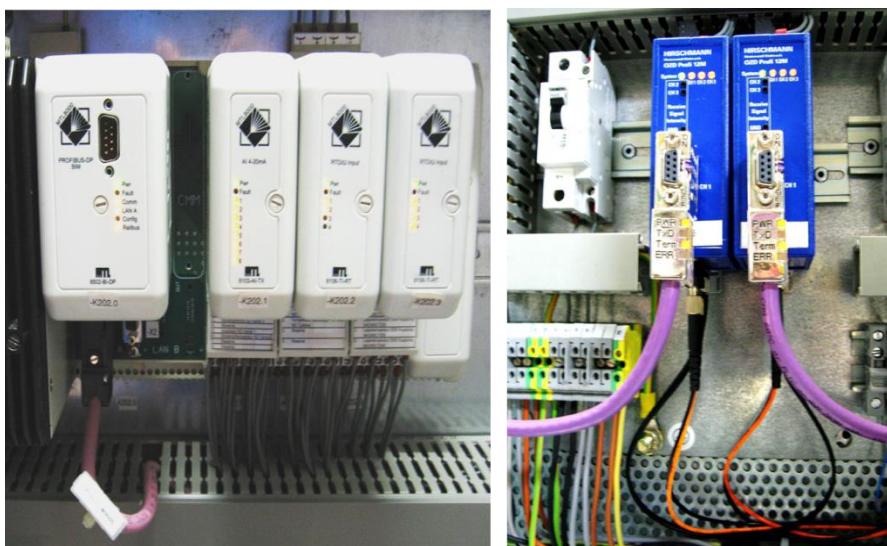
Dies gilt insbesondere, da manche Programmierer nur über wenig projektspezifisches Wissen und über wenige Erfahrungen verfügen.

- Das Erarbeiten der zuvor erwähnten *Grundfunktionsbeschreibungen* inkl. *Ablauf-Funktionsplan* dient exakt dieser Zielstellung.

11) Gesamtstruktur des Prozessleitsystems (PLS) inkl. Komponenten sowie die zugehörige Signalübertragung übersichtlich darstellen und beschreiben.

- Zur Strukturierung des PLS und zu den Möglichkeiten der Signalübertragung wurden in Abschn. 3.3.4 (PLT-Konzept) ausführliche Angaben gemacht.

Ein Trend zum verstärkten Einsatz von Lichtwellen-Leitern ist erkennbar. Wie weit die Entwicklung der Signalwandler ist und wie einfach und elegant Signalarten wechselseitig gewandelt werden können, zeigen die Geräte in Abb. 4.45.



**Abb. 4.45 links:** Wandlung/Umsetzung analoger 4-20 mA-Signale (2-Leiter-Kupfer) von den Sensoren in ein digitales elektrisches Signal (Kupfer-Feldbus)

**rechts:** Wandlung/Umsetzung digitaler, optischer Signale von Lichtwellenleiter-Feldbuskabel (dünn-mittig) auf digitale, elektrische Signale mit Kupfer-Feldbuskabel (dick nach links und rechts verlaufend)

- Von grundsätzlicher Bedeutung für den Betrieb und für das gesamte Unternehmen ist die zu planende *Leitebenenstruktur* des Prozessleitsystems.

Abb. 4.46 zeigt neben der normalen Prozess- und Betriebsebene noch die zunehmend realisierte Unternehmensebene mit den möglichen Funktionen. Damit sind mehrere Anlagen und Betriebe eines Unternehmens weltweit vernetzt. Übergreifende Optimierungen sind möglich.

- Nicht zuletzt sind Maßnahmen zur Gewährleistungen einer USV (Unterbrechungsfreien Spannungsversorgung) zu konzipieren.
- Die Strukturierung, die Bausteine sowie die prinzipielle Signalübertragung innerhalb des PLS und bis in die Anlage sind in einem oder mehreren *Übersichtsschaltplänen Prozessleitsystem* darzustellen.

Führen des Unternehmens	Führen des Betriebs	Führen des Prozesses
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Strategische Planung</li> <li>• Logistische Systeme <ul style="list-style-type: none"> <li>– Auftragsabwicklung</li> <li>– Bestandsführung</li> <li>– Disposition</li> <li>– Beschaffung</li> </ul> </li> <li>• Informationssysteme <ul style="list-style-type: none"> <li>– Vertrieb <ul style="list-style-type: none"> <li>Umsatz</li> <li>Partner</li> <li>Vertriebsplanung</li> </ul> </li> <li>– Produktion <ul style="list-style-type: none"> <li>Produktionsplanung grob</li> <li>Kapazitätsplanung</li> <li>Investitionsplanung</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>• Qualitätssicherung</li> <li>• Betriebliches Rechnungswesen <ul style="list-style-type: none"> <li>– Controlling</li> <li>– Rechnungslegung/-bezahlung</li> <li>– Wirtschaftlichkeitsberechnung</li> </ul> </li> <li>• Personalwesen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Administration und Produktionslogistik <ul style="list-style-type: none"> <li>– Produktionsplanung fein</li> <li>– Teilanlagendisposition</li> <li>– Personaldisposition</li> <li>– Produktionsflussverfolgung</li> <li>– Chargen-/Partiefreigaben</li> <li>– Bilanzierung</li> <li>– Terminüberwachung</li> </ul> </li> <li>• Betriebswirtschaftliche Aufgaben <ul style="list-style-type: none"> <li>– Kostenfunktionen</li> <li>– Kostenanalysen</li> <li>– Statistiken</li> </ul> </li> <li>• Technische Aufgaben <ul style="list-style-type: none"> <li>– Produktionssteuerung</li> <li>– Kampagnenverwaltung</li> <li>– Rezeptverwaltung</li> <li>– Auswertung von Prozeß- und Produkteigenschaften</li> <li>– Maschinenumstellung</li> <li>– Verfahrenstechn. Prozeduren</li> <li>– Qualitätssicherung</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Übergeordnete Funktionen: Führen von Verfahren und Anlagen <ul style="list-style-type: none"> <li>– Rezeptfahrweise</li> <li>– Prozeßbedienung</li> <li>Beobachten</li> <li>Eingreifen</li> <li>Dokumentieren</li> </ul> </li> <li>– Prozeßlogistik <ul style="list-style-type: none"> <li>An- und Abfahren</li> <li>Last- und Produktwechsel</li> <li>Pufferstrategien</li> </ul> </li> <li>– Störungsbehandlung</li> <li>• Feldnahe Funktionen, wie: Messen, Steuern, Regeln, Sicherheit <ul style="list-style-type: none"> <li>– Erfassen der Prozesseigenschaften</li> <li>– Erfassen der Produkteigenschaften</li> <li>– Regeln nach Sollwert</li> <li>– Steuern nach Ablaufschema</li> <li>– Melden von Abweichungen</li> <li>– Abschalten</li> <li>– Bedienen und Beobachten</li> </ul> </li> </ul>

Abb. 4.46 Leitebenen-Modell eines Unternehmens [47]

- 12) Mitwirken bei der *Risikobeurteilung* (HAZOP) und der abschließende Festlegung der notwendigen PLT-Schutzeinrichtungen, inklusive der NOT-AUS- und/oder /NOT-HALT-Einrichtungen (s. Abschn. 4.3.2).

Die PLT-Schutzeinrichtungen sind darüber hinaus, sofern dies nicht erst im Detail Engineering vorgesehen ist, nach SIL (Safety Integrity Level) einzustufen/zu klassifizieren (s. Abschn. 4.3.2, Buchst. c)).

- 13) Erarbeiten der *Motorenliste* für die Gesamtanlage
- In der Regel wird auf Grundlage der Geräteliste und der Motoren-Datenblätter für die Gesamtanlage eine Liste der Motoren inkl. der Frequenzumrichter und Sanftanlaufgeräte erarbeitet.

- Beim Einsatz von Drehstrom-Asynchronmotoren liegen bekanntlich die Anfahrströme des Motors mit Pumpe bis zum 6fachen des Nennstroms. Dies kann zu einer unzulässigen Wärmebildung in der Motorwicklung führen, insbesondere bei Einsatz im explosionsgefährdeten Bereich.

Planerische Möglichkeiten dem entgegen zu wirken, sind:

a) Nutzung eines *Frequenzumrichter (FU)*

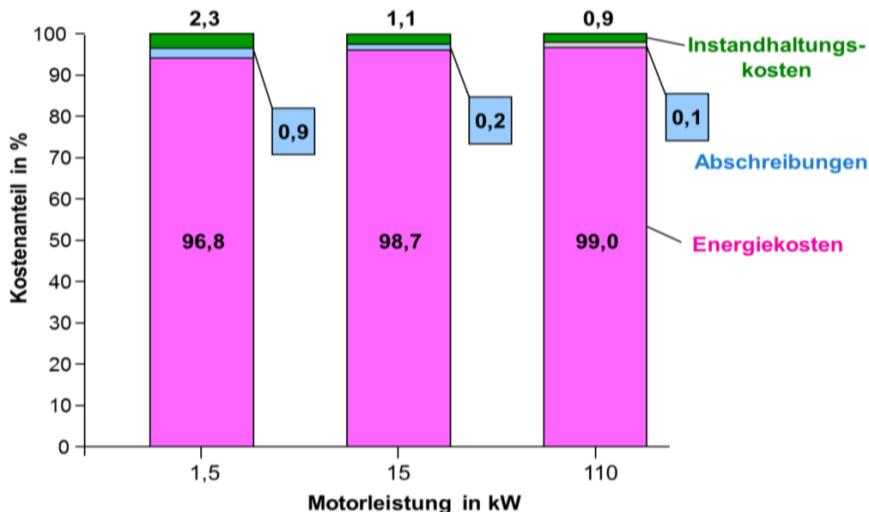
- Der Frequenzumrichter verändert die Frequenz und Amplitude der Wechselspannung. Durch Parametrierung kann er an unterschiedliche Drehzahlen, Drehmomente, Anfahrströme usw. angepasst werden.
- Durch das sanfte Anfahren bei geringer Drehzahl verringert sich die thermische und mechanische Beanspruchung des Motors. Im Vergleich zur konventionellen Drosselregelung verdoppelt sich der Wirkungsgrad in etwa und die Laufgeräusche vermindern sich deutlich.
- Ein wiederholtes Anfahren ist möglich, ohne dass die Gefahr unzulässig hoher Wicklungstemperaturen und einer temperaturbedingten Motorabschaltung (über ATEX-Temperaturbegrenzer) besteht.
- Ein Frequenzumrichter wird vorrangig dann eingesetzt, wenn über die Motordrehzahl der Durchsatz geregelt werden soll oder wenn eine prozessrelevante Anfahrsteuerung gefordert wird.
- Bei Frequenzumrichtern mit hoher Leistung (über 1 MW) kommt es u. U. zur merklichen Wärmebildung in den sog. Sperrkreisen des FU.

b) Nutzung eines *Sanftanlaufgeräts oder Sanfstarters*

- Diese Geräte begrenzen den Einschaltstrom beim Anfahren, z.B. durch Bereitstellen einer geringeren Spannung.
  - Die Sanfstarter wirken, im Unterschied zum Frequenzumrichter, nicht durch die Absenkung der Drehzahl. Sie sind aus diesem Grund nicht zur Mengenregelung im Prozess geeignet.
- Bei den Elektromotoren ist grundsätzlich zwischen den Wirkungsgradklassen eff1, eff2 und eff3 zu entscheiden.
- Die Abb. 4.47 soll verdeutlichen, dass über die gesamte Motorlebensdauer die Energiekosten mehr als 95 % der Betriebskosten des Motors (inkl. Abschreibungen) ausmachen. Das heißt, die Wahl eines etwas teureren Motors mit einem höheren Wirkungsgrad lohnt sich meistens.

- 14) Erarbeitung der Übersichtsschaltpläne für die Spannungsversorgung der PLT-Technik und der Elektro-Verbraucher für die verschiedenen Spannungsebenen
- In verfahrenstechnischen Anlagen gibt es i.d.R. mehrere Spannungsebenen, wie z.B.:
    - 24 V-Spannung (Gleichstrom) für PLT-Technik,
    - ca. 220 V-Spannung (Wechselstrom) für Geräte,
    - 380 – 500 V-Spannung (Kraftstrom) für Maschinen,
    - 6 – 30 kV-Mittelspannung (Dreiphasen) für große Verbraucher,
    - ca. 110 kV-Hochspannung (Dreiphasenstrom) für Übertragung,

- über 400 kV-Höchstspannung (Dreiphasenstrom oder Gleichstrom) für Fernübertragung.



**Abb. 4.47** Anteilige Lebenszykluskosten von Elektromotoren bei 3000 Betriebsstunden/a (Praxisbeispiel)

- Gemäß der projektspezifischen Situation (Verbraucher, verfügbare Einspeisespannung usw.) sind die benötigten Spannungsebenen zu ermitteln und deren Realisierung zu planen. Projektspezifisch können Umspannstationen (Trafos, Gleichrichter u.ä.) nötig sein.  
Eine Übersicht notwendiger Engineeringleistungen inkl. In- und Output zeigt der Workflow in Abb. 4.48.
- Zentrale Aufgaben der ET-Entwurfsplanung sind:
  - die Ermittlung des elektrischen Energiebedarfs gestaffelt nach Spannungsebenen sowie des Energiebedarfs für die Notstromversorgung,
  - der Entwurf der Übersichtsschaltpläne für die verschiedenen Spannungsebenen und ggf. nach Teilanlagen strukturiert,
  - die Auslegung der Umspann-/Trafostationen und des Notstromaggregats,
  - die Wahl und Auslegung der Schaltanlagen für die verschiedenen Spannungsebenen und Systeme bzw. Verbraucher,
  - der Nachweis der Sicherheit (Kurzschluss, Brand inkl. Entrauchung usw.) sowie ausreichender Vorkehrungen (u.a. Schutzstaffelplan, Rauchgasabführung) zur Risikominimierung.
- Beispiele einer 6 kV-Schaltanlage mit Druckentlastung und Entrauchung im Brandfall sowie einer 110 kV-Schaltanlage mit dem Isolationsgas SF<sub>6</sub> (Schwefelhexafluorid) sind in Abb. 4.49 zu sehen.
- Im Ergebnis der Entwurfsplanung Elektrotechnik werden schwerpunktmäßig Übersichtsschaltpläne bzw. Übersichtsstromlaufpläne und sicherheitsrelevante Nachweisdokumente erstellt.

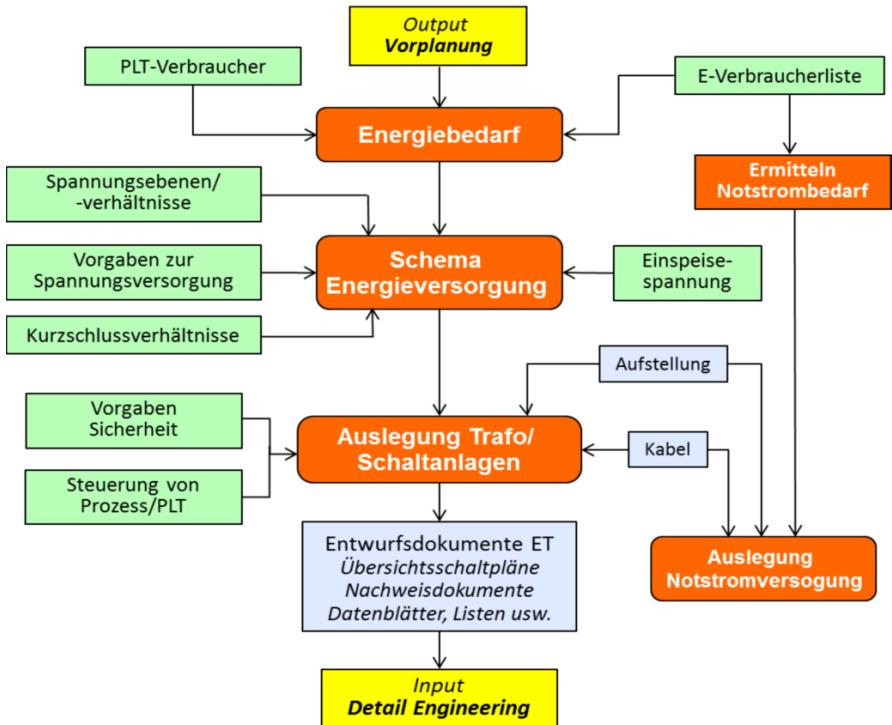


Abb. 4.48 Übersicht zur Planung der Elektroenergieversorgung



Abb. 4.49 links: 6 kV-Schaltanlage mit Rauchgasabführung im Brandfall

rechts: 110 kV-Schaltanlage mit SF<sub>6</sub>-Scheffelhexafluorid (gasförmig) als Isolator

- Für elektrische Komponenten, wie z.B. Transformatoren, Schaltanlagen, USV-Einrichtungen, Notstromaggregate, Beleuchtungsanlagen, Funkanlagen, Videoanlagen, sind die erarbeiteten Auslegungsdaten zu definieren, in neu angelegte Datenblätter einzutragen sowie ggf. Konzeptionen oder Grobspezifikationen für diese elektrischen Anlagenteile zu erarbeiten.
- 15) Mitwirkung bei Entwurfsplanung der PLT-Ortswelt und PLT-Infrastruktur
- Unter PLT-Ortswelt werden die Bauwerke für die PLT-Technik verstanden. Dazu gehören u.a. Wartenräume, Schalträume, Transformatorengebäude, Vor-Ort-Stationen.
  - Die PLT-Infrastruktur umfasst die Kabeltrassen, Kabelschächte, Kabelschielen, Kabelrohre u.ä.
  - Die Entwurfsplanung dieser Bau- und/oder Infrastrukturmaßnahmen ist im Rahmen der 3D-Anlagenentwurfsplanung (s. Abschn. 4.2.4) und der Bau-/Stahlbauentwurfsplanung (s. Abschn. 4.2.5) mit betrachtet worden.
  - Ein wichtiges Dokument dieser Planung sind die aus dem 3D-Anlagenentwurf generierten *Grob-Kabeltrassenpläne*.
- 16) Entwurfsplanung der pneumatischen und/oder hydraulischen Hilfsenergieversorgung der PLT-Geräte
- Während des Basic Engineering sind in diesem Zusammenhang zunächst folgende Fragen zu klären:
    - Wozu wird die Steuerluft (Synonym: Instrumentenluft bzw. I-Luft) grundsätzlich benötigt? Sind Alternativen (elektrische Antrieb) möglich und gegebenenfalls wirtschaftlicher?
    - Kann die Steuerluft aus dem Werksnetz entnommen werden?  
Wenn nein, wird i.d.R. eine Teilanlage bzw. Package-unit zur Steuerlufterzeugung und -bereitstellung vorgesehen.
    - Gibt es örtliche Randbedingungen (Einschränkungen) bzgl. des Steuerluftsystems inkl. Rohrleitungen, Verteiler u.ä.?
    - Ist sicherheits- bzw. prozessbedingt eine besonders schnelle Aktorik notwendig, die ein Hydrauliköl-System erfordert?
  - Die Auslegung des Steuerluftsystems erfolgt i. Allg. in folgenden Schritten (z.T. auch erst im Detail Engineering):
    - Ermitteln des Bedarfs an pneumatischer Hilfsenergie entsprechend der benötigten Menge der einzelnen Luftverbraucher,
    - Auswahl und Auslegung eines Drucklufterzeugers inkl. Steuerluftregelung,
    - Auswahl und Auslegung von Luftspeicher, Ölabscheider und Lufttrockner.
  - Im Ergebnis ist ein Übersichts-R&I mit den Anlagenteilen zur Steuerluftversorgung der Gesamtanlage zu erarbeiten sowie eine Liste der Steuerluftverteiler anzulegen (s. Abschn. 7.2.6, Punkt 19)).
  - Analoge Leistungen sind gegebenenfalls für die Anlagenkomponenten/-systeme zur hydraulischen Hilfsenergieversorgung zu erbringen.

- 
- 17) Zusammenstellung der Anforderungen an die NAT (**Nachrichtentechnik**)
- Die NAT muss Entwurfsdokumente für die
    - innerbetriebliche Kommunikation (Telefon, Sprechfunk, Internet, Bereit-schaftsdienst) und
    - außerbetriebliche Kommunikation (Nachbarbetriebe, Feuerwehr, kom-munale Einrichtungen/Stellen)
  - erarbeiten.
  - Der Entwurf muss auch Aussagen zur Datensicherheit, zu Nutzerrechten u.ä. enthalten.
  - Die Planungsleistungen der Nachrichtentechnik sind in Abgrenzung und Zusammenarbeit mit der MSR-Technik und Elektrotechnik (s. Aufgaben-spezifizierung in Abschn. 3.3.4) sowie der Technischen Gebäudeausrüs-tung (s. Aufgabenspezifizierung in Abschn. 3.3.5) zu definieren und zu realisieren. Je nach Projekt werden einzelne Teilleistungen mitunter verschie-denen Fachdisziplinen zugeordnet.
- 18) Zusammenstellung der Anforderungen an die PAT (**Prozessanalysentechnik**) und (LAT) **Laboranalysentechnik**
- Die PAT und die LAT sind Fachdisziplinen, die mit der Verfahrenstechnik „verwandt“ sind, da sie prozess- und qualitätsrelevante Stoffzusammenset-zungen messen.
  - Schwachpunkt der analytischen Messung ist in vielen Fällen nicht die Analytik (im Analysator oder Labor) sondern die Probenahme (z.B. Toträume) und deren Transport bis zum Analysengerät (z.B. Zustandsänderungen).
  - Nicht selten ist die Einhaltung analytisch ermittelter Messwerte/Parameter vertraglich zu gewährleisten bzw. zu garantieren.
  - Die Aufgaben der PAT- und LAT-Entwurfsplanung beinhalten u.a.:
    - Mitwirken an Abstimmung der analytischen Messmethoden, Messstellen und Messhäufigkeit für PAT und LAT sowie bei der grafischen Darstel-lung in den R&Is,
    - Auswahl der Analysenmethoden und -geräte inkl. zugehöriger Grob-Spezifikationen für die Prozess- und Laboranalysentechnik,
    - Entwurfsplanung der Installation der PAT vor Ort, inkl. der Probenah-me,
    - Ausarbeiten des Entwurfs eines Analysenplans/-programms für alle in der Gesamtanlage vorgesehenen stofflichen Analysen.
  - Für die Entwurfsplanung der Laboreinrichtungen und -geräte sind i. Allg. darüber hinaus zu erarbeiten:
    - Einrichtungsplan für das Labor,
    - Raumbuch für das Labor inkl. Be-/Entlüftung, örtlicher Absaugung, Be-leuchtung u.ä.,
    - Anforderungen hinsichtlich Gaswarneinrichtungen, Rauch- und Brand-melder, Augendusche u.a. Sicherheits- und Gesundheitsschutzmaßnah-men für das Labor,
    - Anforderungen an Umkleide- und andere Sozialräume.

#### 4.2.7 Entwurfsplanung Technische Gebäudeausrüstung (TGA)

Die Aufgaben der Technischen Gebäudeausrüstung im verfahrenstechnischen Anlagenbau wurden in Abschn. 3.3.5 (TGA-Konzept) ausführlich erörtert. Während des Basic Engineering sind diese Aufgaben nur soweit zu vertiefen, wie sie erforderlich sind:

- *als Zuarbeit für die Bau- und Stahlbauentwurfsplanung,*
- *den Gesundheit-Sicherheit-Umweltschutz insgesamt zu gewährleisten,*
- *für die Genehmigungsplanung der Gesamtanlage und*
- *für die Ermittlung der gesamten Investitionskosten und der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen der geplanten Anlageninvestition.*

Der TGA-Fachplaner muss, insbesondere bei den ersten beiden Punkten, eng mit den Leadingenieuren *Bau*, *Prozess* und *3D-Planung* zusammenarbeiten.

Er muss u.a. in

- die Bau-Entwurfsplanung,
- die Fließschemaarbeit,
- die 3D-Anlagenentwurfsplanung und
- die PLT-Entwurfsplanung

konsequent seine fachspezifischen Forderungen und Meinung einbringen.

Im Einzelnen sind dabei folgende TGA-Planungsleistungen zu erbringen:

- 1) Auswahl und Auslegung der TGA-Hauptausrüstungen (z.B. Gebläse).
  - Analog zu den Prozess-Ausrüstungen (s. Abschn. 4.2.1.4) müssen die TGA-Hauptausrüstungen ausgewählt und ausgelegt werden.
  - Die TGA-Hauptausrüstungen sind im 3D-Anlagenentwurf zu platzieren.
  - Ferner müssen für diese Ausrüstungen belastbare Herstellungskosten und Energieverbräuche angefragt bzw. ermittelt werden, die für die Investitions- und Betriebskostenermittlung notwendig sind.
- 2) Auslegung der Zu-/Abluftkanäle und Einplanen der Kanäle in das 3D-Modell.
  - Richtwerte für die Wahl der Luftgeschwindigkeiten in Industrieanlagen sind u.a. aus Sicht des Druckverlusts und der Geräuschbildung:
 

Hauptkanäle:	7 – 12 m/s
Abzweigkanäle:	5 – 8 m/s
Außenluftgitter:	4 – 6 m/s
Abluftgitter:	3 – 4 m/s
  - Die Luftkanäle sind auf Grund ihres erheblichen Platzbedarfs frühzeitig im 3D-Anlagenentwurf sowie in der Bau-Entwurfsplanung (Durchbrüche, Halterung, Statik, Schallschutz) zu erfassen.
- 3) Ggf. PLT-Entwurfsplanung für Gebäudeleitsystem in Verbindung mit PLS.
- 4) Ggf. Identifizieren und Spezifizieren von Package-Units der TGA.
- 5) Zuarbeit zur Ermittlung der Investitionskosten für die Gesamtanlage in Form von Angaben zu TGA-Hauptausrüstungen und TGA-Mengengerüsten.

- 6) Erarbeitung ausreichender Vorgaben für die TGA-Ausführungsplanung, insbesondere wenn die Schnittstelle zwischen TGA-Entwurfsplanung und TGA-Ausführungsplanung ausgeprägt ist.
- 7) Zuarbeit für die Ausarbeitung des Genehmigungsantrages in Form von Fließschemata inkl. Beschreibung, von Mengen- und Stoffdaten, von Emissionswerten inkl. Schall u.a. genehmigungsrelevanter Daten der TGA-Anlagen und ihrer Komponenten.
- 8) Weitere Mitwirkung an der Genehmigungsplanung, wie z.B.:
  - Erarbeiten des Wärmeschutznachweis zur Einhaltung der Wärmeschutzverordnung,
  - Mitarbeit am Brandschutzkonzept u.a. Sicherungsmaßnahmen bzw. Schutzvorkehrungen in und an Gebäuden,
  - Behandlung von Abwasser und Oberflächenwasser,
  - Behandlung von Abfällen inkl. Müll,
  - Entwürfe für Heizung und Sanitär sowie für Be- und Enthalftung in Gebäuden und Betriebsstätten.

Die konkreten Planungstätigkeiten und die erstellten Engineeringdokumente sind weitgehend ähnlich denen, die zuvor für den Gesamtprozess beschrieben wurden. Insgesamt wird auf die in Abschn. 3.3.5 beschriebenen TGA-Engineeringleistungen sowie deren Dokumentation gemäß der Var. 1 bis Var. 3 verwiesen.

Auf weitere fachspezifischen TGA-Leistungen und zugehörige Dokumente wird im Abschnitt 7.2.7 im Rahmen des Detail Engineering eingegangen.

#### 4.2.8 Logistik- und Infrastrukturentwurfsplanung

Einleitend zu diesem Abschnitt sei nochmals auf die grundsätzliche Unterscheidung zwischen der innerbetrieblicher und außerbetrieblicher Logistik sowie analog sowie den ISBL (**I**nside **B**attery **L**imits) und den OSBL (**O**utside **B**attery **L**imits) hingewiesen.

Diese Differenzierung, die in Abschn. 3.3.6 und Abb. 3.14 erläutert und veranschaulicht wurde, setzt sich im Basic Engineering und später im Detail Engineering fort. Während der Projektentwicklung liegt der Schwerpunkt dabei auf den jeweiligen Engineeringleistungen innerhalb der Anlagengrenzen.

##### a) Logistikentwurfsplanung

Die Aufgaben der innerbetrieblichen Logistikentwurfsplanung umfassen aufbauend auf den *Logistikkonzept*:

- 1) Identifizieren und definieren der Anforderungen an die Logistik.
  - Relevante Betriebs- und Anlagendaten ermitteln (Produktions-/Lageranlagen, Labor, Rezeptverwaltung, Produktionsverwaltung/-abrechnung, Abfälle usw.) und zusammenstellen.
  - Grundoperationen der Roh- und Zusatzstofflogistik definieren.

- Grundoperationen der Zwischen-, Endprodukt-, Abfalllogistik definieren.
  - Mitwirken am *Entsorgungskonzept*.
- 2) Package-unit für logistische Prozesse identifizieren und spezifizieren.
  - 3) Bilanzierung und Auslegung der logistischen Anlagen und Hauptausrüstungen, die nicht als Package-unit eingekauft werden.
    - Logistische Ausrüstungen in R&Is einpflegen.
    - Ermitteln der Masse- und Stoffströme in den logistischen Anlagen.
    - Betriebsparameter für logistische Ausrüstungen festlegen.
    - Verfahrenstechnische Auslegung der logistischen Hauptausrüstungen.
    - Stammdaten in Apparateleiste der R&I-Fließschemata eintragen.
    - Ausrüstungsdatenblätter der logistischen Ausrüstungen ergänzen; ggf. Anfrageskizzen erstellen.
    - Werkstoffe der logistischen Ausrüstungen ermitteln und in Ausrüstungsdatenblätter eintragen.
    - Logistische Ausrüstungen in 3D-Anlagenentwurf und Aufstellungsplanung einarbeiten.
    - Logistische Anforderungen an Gebäudeausführung und TGA festlegen.
  - 4) Ermittlung der neuen Arbeits-/Produktionsabläufe unter Beachtung der Ergebnisse von 1) bis 3).
  - 5) Ergebnisse der Logistik-Entwurfsplanung für die Basic Engineering-Dokumentation bzw. als Zuarbeit zum Pflichtenheft zusammenstellen.

### **b) Infrastruktrentwurfsplanung**

Die innerbetriebliche Infrastrukturplanung hat zwei Hauptaufgaben. Das sind einerseits die ganzheitliche Erschließung des Mikro-Standorts (Baugrundstück) und andererseits die effiziente Gestaltung aller Schnittstellen an der Anlagengrenze.

Auf den ersten Schwerpunkt wurde bereits in Verbindung mit der Lageplanung (Abschn. 3.3.2) und der Aufstellungsplanung (Abschn. 4.2.4) eingegangen. Darüber hinaus wird auf die Detailplanung in Abschn. 7.2.8 verwiesen.

Die Schnittstellengestaltung an der Grenze zwischen Projekt und Standort und/oder Betrieb birgt nicht wenig Konfliktpotential.

Es gilt der Grundsatz:

*Wichtige Schnittstellen sind ganzheitlich zu identifizieren sowie schriftlich zu definieren, zu planen und zu realisieren!*

Ganzheitlich bedeutet: *technisch/sicherheitlich/organisatorisch/örtlich*.

Dies kann beispielsweise in Form von eigenständigen *Schnittstellenspezifikationen* (s. Abb. 4.50) oder in sog. *Einbindepunktlisten* (Tie-in-List) erfolgen. Üblich sind solche Listen für Rohrleitungen, Kabel u.a. bedeutende Schnittstellenkomponenten.

Zur Überprüfung der Schnittstellen an der Anlagengrenze ist in Tabelle 4.28 eine Checkliste angeführt, die gleichermaßen im Basic Engineering, wie in den nachfolgenden Engineering- und Realisierungsphasen genutzt werden kann.

Projekt XYZ...	Schnittstellendokument Nr. 832-UCK/006.1	LOGO Seite 1 / 1 Rev. 2 / Datum
<b>1. Bezeichnung:</b>	Injektionsstellen	
<b>2. Medium / Energie:</b>	Enthärtetes und entgastes Süßwasser	
<b>3. Zweck:</b>	Eindüsen des Süßwassers in Gasleitung zum Befeuchten des Einspeichergases hinter Verdichter	
<b>4. Einbindeort:</b>	auf Rohrbrücke in: Ltg.-Nr.: 05LE002-350-N3 250-01 Zeichn.-Nr.: 982-NFI/007.0 (R&I) 982-NFI/004.0 (R&I) 982-MLL/001.0 (RTP)	
<b>5. Einbindevoraussetzungen:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anlagenstillstand</li> <li>- Entlasten des Leitungssystems, Ex-Freiheit sicherstellen</li> <li>- Inertisierung mit Stickstoff und Freimessen</li> <li>- Freigabe der Leitung durch Betrieb und Erteilen einer Arbeitsgenehmigung</li> </ul>	
<b>6. Einbindezeitraum:</b>	<p>..... bis .....</p> <p>Einbindedauer: ca. 2 Tage</p>	
<b>7. Sonstiges:</b>		
<b>Bestätigung:</b> ----- (Auftraggeber)	<b>Bestätigung:</b> ----- (Auftragnehmer)	
<b>8. Erledigungsvermerk:</b>		

**Abb. 4.50** Schnittstellendokument zur Einbindung eines Düsenstocks in eine Erdgasleitung**Tabelle 4.28** Checkliste „Schnittstellenkontrolle an der Anlagengrenze am Standort bzw. zur vorhandenen Anlage“**1 Grundsätzliches**

- 1.1 Sind die Anlagengrenzen zwischen Bestand und Einbindeumfang präzise und eindeutig definiert sowie dokumentiert?
- 1.2 Erfüllen die bestehenden Anlagen, in die eingebunden wird, die aktuellen rechtlichen (z. B. Genehmigung, Sicherheit) und technischen (z. B. Statik, Zustand, Funktionsfähigkeit) Anforderungen?
- 1.3 Ergeben sich aus den Einbindeleistungen auch rechts- und/oder sicherheitsrelevante Änderungen für die bisherigen Anlagen (z. B. wegen wesentlicher Änderungen)?
- 1.4 Sind alle genehmigungsrelevanten Maßnahmen und Voraussetzungen, die aus den Einbindearbeiten resultieren, erkannt und veranlasst?

**Tab. 4.28** (Fortsetzung)**1 Grundsätzliches** (Fortsetzung)

- 1.5 Sind die Planung, Vorbereitung und Durchführung der Einbindearbeiten bzgl. Verantwortung, Zuständigkeiten und Befugnisse ausreichend geregelt und diese Regelungen nachvollziehbar und für die Betroffenen eindeutig dokumentiert?
- 1.6 Sind die Einbindungen im Sicherheitstestat A2 und A3 berücksichtigt?
- 1.7 Sind die am Standort verfügbaren Kapazitäten und Betriebsparameter für Energien, Rohstoffe, Abfälle, Hilfsstoffe usw. ausreichend und abgestimmt?
- 1.8 Sind die Betriebsbedingungen (z. B. Rückströmung) an den Schnittstellen abgestimmt?
- 1.9 Sind vor Ort die Voraussetzungen für die Einbindearbeiten bekannt und definiert?
- 1.10 Sind alle Informationen für die Berücksichtigung der Einbindearbeiten bei der Investitionskostenermittlung vorhanden und die Leistungen im Budget enthalten?
- 1.11 Wurden die Planung und Vorbereitung der Einbindearbeiten bei der Projektterminplanung ausreichend berücksichtigt?
- 1.12 Wurden die Einbindearbeiten im Beschaffungskonzept ausreichend berücksichtigt?
- 1.13 Gibt es ein Abwicklungskonzept (z. B. Stillstandsplanung) für die Einbindearbeiten?
- 1.14 Wurden die Einbindearbeiten mit den betroffenen Bereichen (Betrieb, Standordtienste, Nachbarbetrieb u.a.) abgestimmt?
- 1.15 Wurde der Aufwand für das Einpflügen bzw. Fortschreiben der Einbindeleistungen in die Bestandsdokumentation bedacht, mit kalkuliert und veranlasst bzw. beauftragt?

**2 Bau / Stahlbau**

- 2.1 Gibt es Einbindeleistungen beim Tiefbau? (Straßen, Fundamente, Kanalisation, Erdtanks, Erder, Oberflächen usw.)
- 2.2 Wurden die Tiefbau-Einbindearbeiten ausreichend planerisch beachtet?
- 2.3 Gibt es Einbindeleistungen beim Hochbau? (Gebäude, Bühnen, Lager usw.)
- 2.4 Wurden die Hochbau-Einbindearbeiten ausreichend planerisch (ggf. inkl. Fortschreibung Prüfstatiken) beachtet?
- 2.5 Gibt es Einbindeleistungen beim Stahlbau? (Tragwerke, Stahlgerüste, Bühnen, Treppen, Podeste, Übergänge usw.)
- 2.6 Wurden die Stahlbau-Einbindearbeiten ausreichend planerisch (ggf. inkl. Fortschreibung Prüfstatiken) beachtet?
- 2.7 Wurden die Einbindearbeiten für den baulichen Brandschutz ausreichend planerisch beachtet?
- 2.8 Wurden die Einbindearbeiten für Säurebau, Bodenbeläge, Oberflächenbefestigung u.ä. ausreichend planerisch beachtet?
- 2.9 Wurden die Einbindearbeiten für Dämmung und Isolierung ausreichend planerisch beachtet?

**Tab. 4.28** (Fortsetzung)**3 Apparate / Maschinen / Behälter**

- 3.1 Gibt es Einbindeleistungen an Apparaten und Behältern?  
(Stutzen, apparativer Stahlbau usw.)?
- 3.2 Wurden die Einbindearbeiten an Apparaten und Behältern ausreichend planerisch beachtet?
- 3.3 Gibt es Einbindeleistungen an Maschinen?  
(maschineninterne Rohrleitungen, Öl- bzw. Kühlkreislauf usw.)
- 3.4 Wurden die Einbindearbeiten an Maschinen ausreichend planerisch beachtet?
- 3.5 Können durch die neuen Einbindungen am Gesamtsystem Instabilitäten (z.B. Schwingungen, Strömungspulsation, Resonanzen) entstehen?

**4 Rohrleitungen**

- 4.1 Wurden die Einbindepunkte für Rohrleitungen systematisch identifiziert und gekennzeichnet?
- 4.2 Gibt es eine Einbindepunktliste für Rohrleitungen?
- 4.3 Sind die Einbindepunkte in den Rohrleitungslisten erfasst und ausreichend beschrieben?
- 4.4 Sind die Einbindepunkte der Rohrleitungen in den R&Is dargestellt?
- 4.5 Sind die Einbindepunkte der Rohrleitungen in den Rohrleitungsisometrien und zugehörigen Rohrleitungsstücklisten erfasst und ausreichend dargestellt?
- 4.6 Sind die Einbindepunkte vor Ort geprüft und gekennzeichnet?
- 4.7 Können durch die neuen Einbindungen am Gesamtsystem Instabilitäten (z.B. Schwingungen, Strömungspulsation, Resonanzen) entstehen?
- 4.8 Beeinflussen die neuen Einbindungen die Rohrleitungshalterung und ist dies ggf. in den relevanten Dokumenten ausreichend erfasst und dargestellt?

**5 Prozessleittechnik (ohne Elektrotechnik)**

- 5.1 Wurden die Einbindepunkte der Prozessleittechnik systematisch identifiziert?
- 5.2 Gibt es eine Einbindepunktliste für die Prozessleittechnik?
- 5.3 Sind in den Einbindepunktlisten alle PLT-Einbindepunkte erfasst und ausreichend beschrieben?
- 5.4 Sind die Einbindepunkte PLT in den Übersichtsschaltplänen u.a. PLT-Entwurfsdokumenten dargestellt?
- 5.5 Sind die Einbindepunkte im vorhandenen Prozessleitsystem (grafische Darstellung, Programmierung usw.) dargestellt und/oder erfasst?
- 5.6 Wurden die Einbindepunkte der Prozessleittechnik systematisch identifiziert?
- 5.7 Können durch die neuen Einbindungen Rückkopplungen mit dem Gesamtsystem (z.B. sicherheits- und prozessgerichtete Steuerungen, vermaschte Regelkreise, Instabilitäten) entstehen?
- 5.8 Wurden eventuelle Konsequenzen für das Bedienkonzept (z.B. Prozessleitsystem) beachtet?

**Tab. 4.28** (Fortsetzung)**6 Elektrotechnik**

- 6.1 Wurden die Einbindepunkte der Elektrotechnik systematisch identifiziert?
- 6.2 Gibt es eine Einbindepunktliste für die Elektrotechnik?
- 6.3 Sind in den Einbindepunktlisten alle ET-Einbindepunkte erfasst und ausreichend beschrieben?
- 6.4 Sind die Einbindepunkte der Elektrotechnik in den Übersichtsschaltplänen u.a. ET-Entwurfsdokumenten dargestellt?
- 6.5 Können durch die neuen Einbindungen Rückkopplungen mit dem Gesamtsystem (z.B. Blindleistung, Spannungsspitzen) entstehen?

**7 Technische Gebäudeausrüstung (TGA)**

- 7.1 Wurden die Einbindepunkte der TGA systematisch identifiziert?
- 7.2 Wurden die Einbindearbeiten für TGA-Rohrleitungen, TGA-Kanäle usw. ausreichend planerisch beachtet?
- 7.3 Wurden die Einbindearbeiten für TGA-Elektro- und TGA-PLT-Leistungen ausreichend planerisch beachtet?
- 7.4 Sind die Einbindepunkte TGA in den R&I-Fließschemata dargestellt?
- 7.5 Wurden eventuelle Konsequenzen für ein ggf. vorhandenes Gebäudeleitsystem beachtet?

**8 Dokumentation**

- 8.1 Ist die vorhandene Bestandsdokumentation ausreichend oder muss, zumindest partiell, eine Neuerfassung des aktuellen Anlagenbestands erfolgen?
- 8.2 Sind die in der Dokumentation vorhandenen Informationen zu den Anschlusspunkten (Schnittstellen) qualitativ und quantitativ ausreichend genau? Ist ggf. eine Neuvermessung oder örtliche Anpassung nötig?
- 8.3 Können die Einbindearbeiten problemlos in die vorhandene Anlagendokumentation eingepflegt werden?
- 8.4 Ist ausreichend geregelt, wer für das Einpflegen der Änderungen in die Dokumentation verantwortlich und zuständig ist?
- 8.5 Welche betrieblichen Gefährdungsbeurteilung und welche Betriebsanweisungen müssen angepasst und welche Gefährdungsbeurteilungen und Betriebsanweisungen müssen neu erarbeitet werden?

**4.2.9 Montage- und inbetriebnahmegerechte Planung**

Im verfahrenstechnischen Anlagenbau machen die *Gesamtkosten aller Bau- und Montageleistungen* (ohne Material) ca. 30 Prozent der Investitionssumme aus.

Ferner betragen die *Gesamtkosten für die Inbetriebnahme* (Roh-/Hilfsstoffe, Energien, Arbeitsleistungen usw.) ca. 10 Prozent der Investitionssumme, wobei die Material- und Energiekosten für die Inbetriebnahme oft nicht über das Projekt abgerechnet werden und somit nicht in den Investitionskosten erscheinen.

Insgesamt sind die Kosten für die Phasen 8 (Bau/Montage) und 9 (Inbetriebnahme) erheblich und Anstrengungen zu ihrer Minimierung dringend angeraten.

Entsprechend den wissenschaftlich belegten Untersuchungen zum Front End Loading (s. Abschn. 1.3) ist es sehr ratsam, bereits während der Engineeringphasen 1 bis 3 die Belange von Bau und Montage, aber auch von Rückbau und Demontage, sowie von Inbetriebnahme und Außerbetriebnahme angemessen zu berücksichtigen. Man spricht in diesem Zusammenhang von einer montage- bzw. inbetriebnahmegerechten Planung.

Die Erfahrung besagt, dass sich nicht wenige Planer damit schwer tun, da sie zu wenig Wissen und Erfahrungen hinsichtlich der Bau/Montageanforderungen und Inbetriebnahmeverfordernisse haben. Zugleich ist der Engineeringpartner bei einem klassischen EPCM-Vertrag ohne Zielpreisvereinbarung (s. Abschn. 2.5.3.2) nicht wirksam an einer Minimierung der Investitionskosten motiviert.

Die rechtzeitige Einbindung (Mitwirkung und Kontrolle) von Spezialisten mit Baustellen- und Inbetriebnahme-Know-how ist eine Aufgabe des Projektmanagements und insbesondere im Interesse des Auftraggebers. Er muss es vorantreiben und durchsetzen.

Die Erfahrungen einiger Engineeringunternehmen besagen, dass eine effiziente, montage-/inbetriebnahmegerechte Planung die Investitionskosten bis zu 6 Prozent verringern und die Projektaufzeit um bis zu 8 Prozent verkürzen kann.

### a) Montagegerechte Planung (constructability) [53]

Zunächst sei vorangestellt, dass neben der Montage auch die Demontage für den Engineeringprozess relevant ist. Der Autor kennt Beispiele, wo die Demontagekosten eines Rührbehälters dreimal so hoch waren, wie die Behälterkosten oder eine Kolonne nur nach vorherigen Rückbau einer Rohrbrücke und einer anderen Kolonne demontiert und gewechselt werden konnte.

Im Weiteren sei zur Thematik auf die Ausführungen in der Fachliteratur verwiesen. In [53] sind umfangreiche Hinweise und Checklisten gemacht über

- Gestaltungsregeln zur Gewährleistung einer montagegerechten Anlagengestaltung ([53], Kap. 7) und
- Bewertungsproblematik und -ablauf für die montagegerechte Anlagengestaltung ([53], Kap. 8).

Nachfolgend sind in Tabelle 4.29 beispielhaft einige Checkpunkte angeführt, die im Planungsprozess, speziell im Basic Engineering, beachtetet werden sollten.

**Tabelle 4.29** Hinweise zur Beachtung der Montage während des Engineerings [53]

---

#### 1 Regeln zur Ausrüstungsauswahl

- Liegende Apparate und Behälter sind montagetechnisch günstiger als stehende, da ihre Transportlage der Einbaulage entspricht. Sie sind auch besser ausrichtbar, da allgemein nur um eine Achse vermessen wird.
  - Stehende Apparate sind in gedrungener Form günstiger positionierbar und besser ausrichtbar als hohe, schlanke.
-

**Tab. 4.29** (Fortsetzung)

- 
- Die Masse der Ausrüstung sollte nach Möglichkeit nur so groß werden, dass keine aufwendigen Erdstabilisierungsmaßnahmen auf der Baustelle (Baustrassen, Zwischenlagerplätze) notwendig werden.
  - Die Masse/Abmessungen der Ausrüstung sind unter Beachtung der Transport- und Montagebedingungen (Montageöffnungen) zu begrenzen.
- 

## **2 Regeln zur Ausrüstungsanordnung**

- Schwere Ausrüstungen sind im Schwenkbereich stationärer oder mobiler Hebezeuge anzurordnen. Dabei ist auf eine möglichst geringe Zahl von Standortwechseln der Hebezeuge zu orientieren.
  - Kolonnen und Reaktoren sind in einer Reihe parallel zur Baufeldgrenze anzordnen. Dabei ist das mögliche Einschwenken in die Apparategerüste zu prüfen, um unnötig große Anschlaghöhen zu vermeiden.
  - Besonders hohe und schwere Ausrüstungen (Kolonnen, Kamine, Fackeln) sind möglichst am Schnittpunkt zweier Anlagenfeldbegrenzungen (Baufeldecke) aufzustellen.
  - Das Baufeld darf nicht von allen vier Seiten von Rohrbrücken umgrenzt werden. Der aufgerüstete Kran sollte in die Anlage einfahren können.
  - Apparateanordnungen unter Rohrbrücken sind zu vermeiden.
  - Bei der Ausrüstungsanordnung sind die Abmessungen der Fundamente und Anbauten sowie Podeste zu berücksichtigen.
  - Schwere Einzellasten sollten nicht in Gerüste eingehängt, sondern auf Fundamente angetragen werden. Dies begünstigt auch die direkte, ebenerdige Zufahrt und Zugänglichkeit.
  - Bei der Aufstellung ist die Möglichkeit einer problemlosen Befüllung, Entleerung und Reinigung zu berücksichtigen.
  - Die sich aus dem Montagefortschritt ergebenden Forderungen an Transport-/Montagewege (Durchgängen, Bühnenbreiten, Arbeitsflächen unter Bühnen, Montageöffnungen) sind zu bedenken.
- 

## **3 Regeln zur baulichen Gestaltung**

- Für das Zuführen der Montageeinheiten in Gebäude oder Gerüste sind Montageöffnungen in den Decken oder an den Seiten vorzusehen (mindestens 1000 mm größer als Größtabmessung).
  - Für den Vertikaltransport sind Montageträger vorzusehen, an denen mobile Hebezeuge befestigt werden können.
  - Notwendige Deckendurchbrüche (Montageluken, Montageschächte) sind so zu gestalten, dass sie später für Reparaturen genutzt werden können (kein Verbau durch Rohrleitungen).
  - Im Bereich der Montageschächte sind Absetzmöglichkeiten vorzusehen.
  - Bei der statischen Bemessung der Bauwerke sind die Belastungen während der Montage zu berücksichtigen.
-

**Tab. 4.29** (Fortsetzung)**3 Regeln zur baulichen Gestaltung (Fortsetzung)**

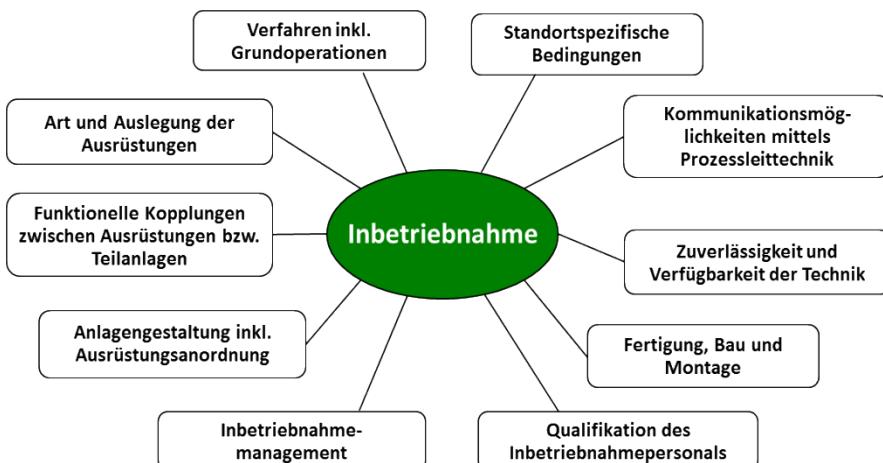
- Bei der baulichen Gestaltung sind Anprallmöglichkeiten (örtlicher Stoß) zu berücksichtigen und Schutzmaßnahmen vorzusehen.
- Bei der Gestaltung von Pumpenfundamenten und Auffangtassen ist die Möglichkeit des Heranfahrens mit Flurförderzeugen zu beachten.
- Bei der Festlegung von Geschoßhöhen u.ä. ist die Veränderung der Transportlage (Aufrichten) von Montageeinheiten zu berücksichtigen.
- Bei zeitlich versetzter Montage sind notwendige Montagestabilisierungen festzulegen und die Standsicherheit zu montierender Ausrüstungen nachzuweisen.

**4 Regeln zur Gestaltung von Rohrleitungen**

- Für den Einbau von Dehnungsausgleichern sind Vorrichtungen vorzusehen.
- Flanschverbindungen für parallel verlaufende Rohrleitungen sind versetzt anzordnen (Mindestabstand: 1,5 m).
- Auf Rohrbrücken sind große Rohrleitungen möglichst auf den oberen Querträgern innen oder auf den unteren Querträgern außen zu verlegen.
- Bei Rohrbrücken muss der Abstand sich kreuzender Leitungen mindestens 150 mm betragen. Die kleinere Leitung wird über die größere; bei gleichen Nenndurchmessern die nicht isoliert über die isolierte geführt.

**b) Inbetriebnahmegerechte Planung**

In Abb. 4.51 sind einige signifikante Einflussfaktoren auf die Inbetriebnahme verfahrenstechnischer Anlagen dargestellt.



**Abb. 4.51** Wesentliche Einflussfaktoren auf die Inbetriebnahme verfahrenstechnischer Anlagen

Die meisten Faktoren werden im Engineering ausgestaltet. Entsprechend diesem kausalen Zusammenhang lassen sich die in Tabelle 4.30 angeführten Forderungen an eine inbetriebnahmегerechte Planung ableiten.

**Tabelle 4.30** Wesentliche Forderungen an eine inbetriebnahmегerechte Planung [54]

- 
- 1 Gewährleistung eines effizienten technologischen Ablaufes der Inbetriebnahme
  - 2 Beachtung besonderer Fahrweisen vor und während der Inbetriebnahme bei der Auslegung und Konstruktion der Ausrüstungen sowie bei der Anlagenplanung
  - 3 Berücksichtigung besonderer Inbetriebnahmeeinheiten bzw. -ausrüstungen
  - 4 Berücksichtigung zusätzlicher Stoffe und Energien, die während der Inbetriebnahme benötigt werden bzw. anfallen
  - 5 Bedienungs- und instandhaltungsgerechte Layout- und Anlagengestaltung
  - 6 Gewährleistung einer inbetriebnahmefreundlichen Prozessleittechnik sowie Anlagenkommunikation
  - 7 Beachtung der Inbetriebnahmeverbereitung bei der Montageplanung
  - 8 Gewährleistung der Sicherheit von Personal, Anlage und Umwelt während dem vergleichsweise gefahrvollen Inbetriebnahmestand
  - 9 Erarbeitung einer anwendergerechten Inbetriebnahmedokumentation einschließlich der Voraussetzung für den Inbetriebnahmebeginn
  - 10 Beachtung standort- und kundenspezifischer Bedingungen bei der Inbetriebnahme
  - 11 Erarbeitung der Qualifikationsanforderungen und des Ausbildungsprogrammes für das Inbetriebnahmepersonal
  - 12 Gewährleistung eines effizienten Inbetriebnahmemanagements bei der Projektplanung
  - 13 Beachtung der Inbetriebnahme bei der Genehmigungsplanung und beim Behördenengineering
- 

Zu den meisten Forderungen aus Tab. 4.30 sind in [54] vertiefende Checklisten mit Erläuterungen angegeben. Beispielhaft ist nachfolgend in Tabelle 4.31 eine Checkliste angeführt, die den Punkt 2 in Tab. 4.30 zuzuordnen ist.

**Tabelle 4.31** Inbetriebnahmespezifische Fahrweisen und Hinweise für die Fachplanung

---

### 1 Ausblasen der Ausrüstungen/Anlage mit Luft, Dampf o. ä.

- Prüfung der Nutzungsmöglichkeit eines zur Anlage gehörenden Verdichters (wäre für Verdichter eine Nebenfahrweise)
  - Vorsehen einer einfachen Ausbaumöglichkeit für schmutzempfindliche Teile
  - Schmutzeintritt auf Kolonnenböden und andere hydraulische Engpässe verhindern
  - Schmutzabscheidung in geeigneten Filtern, in vorhandenen Behältern bzw. gezielte Ausblaseöffnungen vorsehen
  - Festlegung des maximalen Ausblasedrucks für die betroffene Ausrüstung/System
  - Realisierung ausreichend großer Strömungsgeschwindigkeiten bzw. Druckimpulse
-

**Tab. 4.31** (Fortsetzung)**2 Spülen der Ausrüstungen/Anlage**

- Prüfung der Beständigkeit des Werkstoffes gegenüber dem Spülmedium unter Spülbedingungen
- Bei Spülung mit Wasser muss i. Allg. anschließend getrocknet werden (Toträume, „Säcke“ in Leitungen u.ä. vermeiden)
- ausreichende Füll- und Entleerungsmöglichkeiten vorsehen
- gezielte Schmutzauskreisung vorsehen (z. B. absperrbare, leicht zu reinigende Wechselfilter oder Behälter mit durchgestrecktem Abgangsstutzen zur Pumpe und separater Bodenentleerung)
- Möglichkeit zum Vorwärmnen des Spülmediums (40-80 °C) vorsehen
- Bypass-Leitungen zum Umfahren schmutzempfindlicher Ausrüstungen vorsehen

**3 Reinigen von Anlagenteilen durch Beizen**

- Erarbeitung einer zweckmäßigen Beiz- und ggf. Passivierungstechnologie
- Prüfung der Beständigkeit des Werkstoffes gegenüber dem Beiz- und ggf. Passivierungsmedium in den betroffenen Systemen
- Festlegung von Maßnahmen zur Neutralisierung und Konservierung bzw. zur möglichst baldigen Inbetriebnahme der betroffenen Systeme

**4 Inertisieren der Anlage**

- Prüfung der zweckmäßigsten Inertisierungsvariante, insbesondere, wenn die Stickstoffmengen begrenzt sind
- bei vorhandenem Verdichter ist häufig ein Kreislaufbetrieb über die Anlage zweckmäßig (wäre für Verdichter eine Nebenfahrtweise)
- Anschlussstutzen für Inertgas und Probenahme zwecks Überprüfung vorsehen

**5 Funktionsprüfungen bzw. Testfahrten mit inerten Medien**

- Beachtung der spezifischen Bedingungen bei den komplexen Funktionsprüfungen und insbesondere bei einer vorgesehenen Wasserfahrt
- Berücksichtigung von Testfahrten mit inerten Medien, z. B. zur Prüfung der verfahrenstechnischen, mechanischen und prozessleittechnischen Funktion wesentlicher Komponenten bzw. Teilanlagen (i. d. R. ohne chemische Reaktionen aber ggf. mit Lösungsmitteln/Gefahrstoffen sowie unter Ex-Bedingungen)
- Beachtung von zweckmäßigen Kreislauffahrweisen, um z. B. einzelne Teilanlagen als „Inseln“ in Betrieb nehmen zu können bzw. in Betrieb halten zu können

**6 Sonderfahrweisen zur Behandlung von Katalysatoren und Adsorbentien**

- Die Behandlung erfordert meistens vom Normalbetrieb (Nennzustand) abweichende Verfahrensbedingungen (Produkte, Medien, Temperaturen), die z. T. für die Ausrüstungen (Öfen, Reaktoren, Wärmeübertrager, Messgeräte) die Auslegung bestimmen.
- Die Behandlung (z. B. oxidative Regeneration) erfordert i. Allg. sicherheitstechnisch eine 100 %-ige Absperrung zur restlichen Anlage (Blindscheiben o. a. sichere Trennungen vorsehen).

**7 Teillastbetrieb der Anlage beim Anfahren bzw. aus anderen Gründen**

- Vorsehen von Rückführleitungen (ggf. produktseitig vom Ausgang auf den Eingang), um kleinere und größere Kreisläufe fahren zu können
- Prüfung der Arbeitsweise von Ausrüstungen, Regelventile, Blenden unter Teillast

**Tab. 4.31** (Fortsetzung)

---

**7 Teillastbetrieb der Anlage beim Anfahren bzw. aus anderen Gründen (Fortsetzung)**

- Beachtung der Versetzungsgefahr (Kolonnenböden, Demister, Filter) durch erneutens Schmutzaustrag unter Betriebsbedingungen (höhere Temperatur, höhere Strömungsgeschwindigkeiten)
- vorsehen zusätzlicher Mess- bzw. Probenahmemöglichkeiten, z. B. wenn in der Anlage große Zeitverzögerungen auftreten und Zwischenwerte vorteilhaft sind
- Beachtung der Wärmeverluste an die Umgebung (ihr relativer Anteil steigt)
- Beachtung der Temperatur- und Druckgradienten während des Anfahrens bei der Bauteilbemessung
- Berücksichtigung der überhöhten Anfahrströme bei Elektromotoren, insbesondere beim Drehstrom-Asynchronmotor
- Vermeiden von Taupunktunterschreitung beim Teillastbetrieb von Rauchgaswärmübertragern

**8 Fahrweisen während der Außerbetriebnahme bzw. des Umfahrens in einen anderen Betriebszustand**

- Berücksichtigung der Szenarien und der sich daraus ergebenden Prozessbedingungen, die sich sowohl bei der planmäßigen als auch bei der sicherheitsbedingten (Abfahren über Sicherheitsschaltung) Außerbetriebnahme ergeben
  - Ermittlung und Beachtung der Übergangszustände in Mehrproduktanlagen, wenn auf ein anderes Produkt umgestellt wird (ggf. auch notwendige Reinigungsprozeduren beachten)
- 

#### **4.2.10 Instandhaltungsaudit und Instandhaltungskonzeption**

Die Instandhaltung von technischen Systemen soll den funktionsfähigen Zustand erhalten oder bei Ausfall wieder herstellen.

Sie umfasst nach [55] folgende, definierte Grundmaßnahmen:

**Inspektion:** Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des Istzustandes einer Betrachtungseinheit einschließlich der Bestimmung der Ursachen der Abnutzung und dem Ableiten der notwendigen Konsequenzen für eine künftige Nutzung

**Wartung:** Maßnahmen zur Verzögerung des Abbaus des vorhandenen Abnutzungsvorrates der Betrachtungseinheit

**Instandsetzung:** Maßnahmen zur Rückführung einer Betrachtungseinheit in den funktionsfähigen Zustand, mit Ausnahme von Verbesserung

**Verbesserung:** Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements zur Steigerung der Funktionssicherheit einer Betrachtungseinheit, ohne die von ihr geforderte Funktion zu ändern

Aus Abb. 4.52 wird ersichtlich, dass die Gesamtinstandhaltungskosten im Leben einer Anlage das 2- bis 3-fache der Investitionskosten ausmachen.

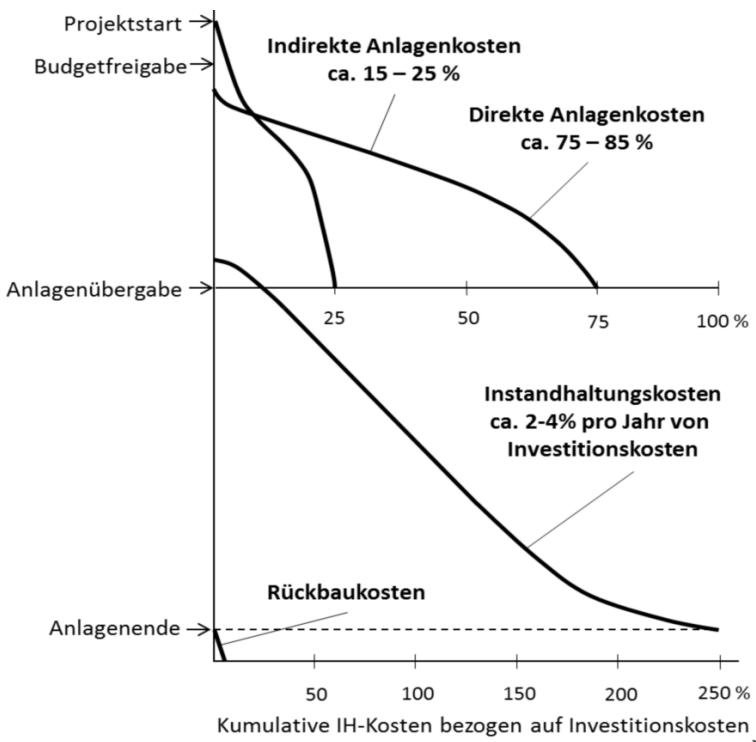


Abb. 4.52 Kumulative Instandhaltungskosten im Leben einer Anlage

Diesen erheblichen Kostenanteil muss während der Projektabwicklung die notwendige Bedeutung beigemessen werden.

Zu diesem Zweck wird vorgeschlagen, gegen Ende des Basic Engineering ein *Instandhaltungsaudit* auf Basis der Auditschwerpunkte in Tabelle 4.32 durchzuführen. Die Ergebnisse sind als Aktionspunkte im Projekt umzusetzen.

Die Initiative für das Audit sollte vom Auftraggeber und speziell vom späteren Anlagenbetreiber ausgehen, der gegebenenfalls das Audit selbst verantwortlich, im Beisein von Lead- und Betriebsingenieuren, durchführt und seine Forderungen und Erfahrungen einbringen muss.

Tabelle 4.32 Schwerpunkte des Instandhaltungsaudits einer verfahrenstechnischen Anlage

### 1 Wissen und Erfahrungen?

- 1.1 Sind die Vorgaben aus Rechtsvorschriften, Richtlinien, Normen, Spezifikationen u.ä. bzgl. Instandhaltung beachtet worden?
- 1.2 Sind die nutzbaren Erfahrungen (Betreiber, Fachstellen, Werkstätten, Kontraktoren usw.) bzgl. Instandhaltung in die Anlagenplanung eingeflossen?
- 1.3 Wurde die Anlage insgesamt instandhaltungsgerecht geplant?
- 1.4 Sind alle Erfahrungen bei der bisherigen Instandhaltungsplanung beachtet worden?

**Tab. 4.32** (Fortsetzung)**2 Zuverlässigkeit?**

- 2.1 Ist die angestrebte Qualität im bisherigen Projektablauf erreicht?
- 2.2 Sind das Anlagenkonzept, die Ausrüstungen und Bauteile möglichst einfach?
- 2.3 Sind die Ausrüstungsarten und die Bauteilvielfalt möglichst gering?
- 2.4 Sind Maßnahmen zur Schadensbegrenzung verwirklicht?
- 2.5 Sind Korrosions- und Sicherheitszuschläge ausreichend berücksichtigt?
- 2.6 Ist der Korrosionsschutz ausreichend?
- 2.7 Wo liegen die Risiken bzgl. der Zuverlässigkeit und wie können diese weiter minimiert werden?

**3 Inspektionsfreundlichkeit?**

- 3.1 Sind die Methoden zur Störungsdiagnose beachtet wurden?
- 3.2 Ist die Zugänglichkeit für die Diagnose gegeben?
- 3.3 Wo liegen die Inspektionsschwerpunkte?

**4 Wartungs-, Instandsetzungs-, Demontagefreundlichkeit?**

- 4.1 Sind Zugänglichkeit, Platzangebot, Arbeitshöhe gegeben?
- 4.2 Ist die Anlage übersichtlich und sichtbar gekennzeichnet (beschildert)?
- 4.3 Sind die Lauf- und Transportwege geeignet?
- 4.4 Gibt es ausreichend Bühnen, Podeste, Laufstege, Übergänge usw.?
- 4.5 Sind genügend Abstellmöglichkeiten ebenerdig und auf Bühnen, Etagen u.a. vorhanden?
- 4.6 Sind Befüllung, Entleerung, Reinigung inkl. Absperrung möglich?
- 4.7 Ist die Ersatz-/Verschleißteilbeschaffung bis Beginn Inbetriebnahme gesichert?

**5 Instandhaltungsstrategie und -planung?**

- 5.1 Welche Instandhaltungsstrategie wird überwiegend geplant?
- 5.2 In welchen Fällen ist eine präventive (vorbeugende) Wartung geplant?
- 5.3 In welchen Fällen ist eine zustandsorientierte Wartung geplant?
- 5.4 Sollen Teilanlagen bzw. Aggregate zusammen instand gesetzt werden?
- 5.5 Werden Instandhaltungsmaßnahmen verschiedener Gewerke zusammen geplant?
- 5.6 Ist regelmäßig ein Anlagenstillstand (Shut-down) geplant?
- 5.7 Wie soll der Anlagenstillstand zur Instandhaltung genutzt werden?
- 5.8 Gibt es weitere Möglichkeiten, Instandhaltungsmaßnahmen mit anderen Aufgaben (z. B. mit widerkehrenden Prüfungen) zeitlich zu verbinden?
- 5.9 Sind ausreichend Ressourcen für die Instandhaltung eingeplant?
- 5.10 Ist die Ausbildung des Servicepersonals im Projekt ausreichend geplant?

**6 Dokumentation instandhaltungsgerecht?**

- 6.1 Werden ausreichend Betriebsanleitungen und -anweisungen verfügbar sein?
- 6.2 Werden ausreichend Instandhaltungsanweisungen verfügbar sein?
- 6.3 Ist geregelt, wer den Wartungs- und Inspektionsplan für Gesamtanlage erarbeitet?
- 6.4 Ist geregelt, wer den Ersatz-/Verschleißteilplan für die Gesamtanlage erarbeitet?
- 6.5 Ist geregelt, wie instandhaltungsbedingte Änderungen in die Dokumentation eingepflegt werden?

**Tab. 4.32** (Fortsetzung)**6 Dokumentation instandhaltungsgerecht? (Fortsetzung)**

- 6.6 Ist geregelt, wie instandhaltungsbedingte Änderungen in die Dokumentation eingepflegt werden?
- 6.7 Sind die Life-Cycle-Dokumente der AS BUILT-Dokumentation festgelegt?
- 6.8 Ist gesichert, dass der Betreiber die Life-Cycle-Dokumente in elektronischer Form und in einem bearbeitbaren Dateiformat erhält?
- 6.9 Ist geregelt, wie mit der Pflege der Nicht-Life-Cycle-Dokumente verfahren wird?
- 6.10 Ist die Beschaffung der notwendigen Werkzeuge (Tools) gesichert?

Der Generalplaner oder der Generalunternehmer ist gegebenenfalls gemäß Anlagenvertrag bis zur werkvertraglichen Abnahme der Vertragsleistung verantwortlich, jedoch nicht für die Instandhaltungskosten während des Dauerbetriebs. Erforderliche Maßnahmen, um eine instandhaltungsgerechte Anlage zu planen und zu errichten, sind für ihn i. Allg. ein zusätzlicher Kostenfaktor im Projekt.

Im Ergebnis der Auditierung sind Aktionspunkte zu erarbeiten, in denen Vorgaben für die Instandhaltung im Pflichtenheft bzw. im Anlagenvertrag formuliert werden. Ist vorhersehbar, dass ein neuer Engineeringpartner die Ausführungsplanung macht, sollten die Ergebnisse in einer *Instandhaltungskonzeption* aufbereitet und im Pflichtenheft bzw. Anlagenvertrag verbindlich dokumentiert werden.

## **4.3 Sicherheitstechnische Entwurfsplanung, Risikobeurteilung**

Die *Sicherheitstechnische Entwurfsplanung* ist der 2. Schritt im Modell für die ganzheitliche Sicherheitsarbeit im Projekt (s. Abschn. 1.7.2). Dieser Schritt S2 endet mit dem *Entwurfstestat*.

Entsprechend der besonderen Bedeutung des Basic Engineering ist auch die Sicherheitstechnische Entwurfsplanung bzw. umfassender, die GSU-Entwurfsplanung (**Gesundheit-Sicherheit-Umwelt**), sehr entscheidend für die gesamt Projektentwicklung. Letztlich ist in Vorbereitung des Genehmigungsantrags und der Investitionsentscheidung überzeugend nachzuweisen und nachvollziehbar zu dokumentieren, dass die Anlage als Ganzes die GSU(HSE)-Anforderungen erfüllt.

Die wichtigsten GSU-spezifischen Aufgaben im „Basic“ sind in Abb. 4.53 angegeben. Im Weiteren werden zunächst einige wichtige Begriffe definiert und erörtert und anschließend die in Abb. 4.53 *kursiv* dargestellten Aufgaben diskutiert.

### **4.3.1 Notwendigkeit und Abgrenzung von Risikobeurteilung und Gefährdungsbeurteilung**

Der Begriff *Risikobeurteilung* geht auf die in Abschn. 2.3.1.2 angeführten harmonisierten EU-Richtlinien für Produkte bzw. Anlagenkomponenten zurück, die im



**Abb. 4.53** Sicherheitstechnische Entwurfsplanung in den Phasen 3 und 4

europäischen Wirtschaftsraum das Inverkehrbringen von

- Maschinen nach MRL [56],
- Druckgeräten nach DGRL [11],
- Geräten und Schutzsystemen zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explo-  
sionsgefährdeten Bereichen nach ATEX-Herstellerrichtlinie [57],
- elektrischen Betriebsmitteln nach Niederspannung-RL [58],
- Betriebsmittel nach EMV-RL [59]

regeln.

In diesen Richtlinien wird im Rahmen des *Konformitätsbewertungsverfahrens*, d.h. vor Ausstellen der EU-Konformitätserklärung, gefordert, eine Risikobeurteilung bezogen auf das betreffende Produkt durchzuführen.

In den aktuellen, harmonisierten EU-Richtlinien wird der Begriff **Risikobeurteilung** benutzt; nicht mehr Gefahrenanalyse oder Risikoanalyse.

Nachfolgend sind im Zusammenhang mit der Risikobeurteilung wichtige Begriffsbestimmungen angeführt:

**Risikobeurteilung** ist eine Risikoanalyse mit anschließender Risikobewertung.

**Risikoanalyse** ist das Identifizieren von Gefährdungen und deren Ursachen sowie die Bestimmung der potentiellen Konsequenzen und deren Eintrittswahrscheinlichkeiten.

**Risikobewertung** ist die Einschätzung des potentiellen Schweregrads einer Gefährdung sowie der Eintrittswahrscheinlichkeit und Vergleich mit einem Bewertungsmaßstab (Sollzustand).

**Gefährdung** ist die Möglichkeit eines Schadens oder einer gesundheitlichen Beeinträchtigung unabhängig von deren Ausmaß oder Eintrittswahrscheinlichkeit [60].

**Risiko** ist das Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Auswirkung eines Ereignisses.

**Szenario** ist eine hypothetische Aufeinanderfolge von Ereignissen, die zur Beachtung kausaler Zusammenhänge konstruiert wird.

Die Risikobeurteilung dient primär zur Verbesserung der Anlagensicherheit (s. Definition in Abschn. 1.7.1). Sie ist mehr als die Risikoanalyse, indem sie Ergebnisse (Auswirkungen und Wahrscheinlichkeit) mit einem Sollzustand (auch Zielvorgabe oder Akzeptanzkriterium) vergleicht und somit nachprüfbar quantifiziert.

Bei der Risikobeurteilung werden Gefährdungen und Risiken für Personen, Umwelt und Vermögen betrachtet, die von der Anlage ausgehen. Das heißt:

- *Quelle der Gefährdung* ist die Anlage inkl. in ihr befindliche Medien (Stoffe, Gemische),
- *Schutzziele* sind Mensch, Umwelt, Vermögen, Image u.a.

Grundsätzlich gilt, auch wenn für die verfahrenstechnische Gesamtanlage keine EU-Konformität erklärt wird:

*In verfahrenstechnischen Anlagenbauprojekten ist immer eine Risikobeurteilung für die Gesamtanlage vor deren Inverkehrbringen erforderlich!*

Dies resultiert in bestimmten Fällen aus der Maschinenrichtlinie (MRL) [56], die für Anlagen im Sinne einer „Gesamtheit von Maschinen“ ein Konformitätsbewertungsverfahren mit Risikobeurteilung fordert.

Aber auch für verfahrenstechnische Anlagen, die gegebenenfalls entsprechend dem Interpretationspapier zum Thema „Gesamtheit von Maschinen“ [61] nicht der MRL unterliegen (s. Abschn. 8.3), gebietet die *Sorgfaltspflicht* bzw. *haftungsrechtliche Gründe* (wegen eines möglichen, signifikanten Fahrlässigkeitsvorwurf) eine Risikobeurteilung vor Inverkehrbringen der Anlage durchzuführen.

Aus diesem Grundsatz resultieren einige Fragen und Folgerungen:

- *Wann wird eine verfahrenstechnische Anlage in Verkehr gebracht?*
  - Entsprechend der Begriffsdefinition *Inverkehrbringen* in der MRL (s. Abschn. 2.3.1.2, Buchst. a)) wird eine Maschine „bei ihrer erstmaliger Bereitstellung (...) in der Gemeinschaft im Hinblick auf (...) ihre Benutzung“ in Verkehr gebracht.

- In den harmonisierten EU-Richtlinien für Druckgeräte bzw. für Geräte im Ex-Bereich (s. Abschn. 2.3.1.2, Buchst. b) und c)) wird „Inverkehrbringen als erstmalige Bereitstellung eines Produkts auf dem Unionsmarkt“ definiert.
- Die erstmalige Benutzung einer verfahrenstechnischen Anlage erfolgt aus Sicht des Autors mit Beginn der Inbetriebnahme.  
Die Inbetriebnahme gehört zum genehmigten **Bestimmungsgemäßen Betrieb** der BImSchG-Anlage (s. Abschn. 5.5.2).
- Daraus folgernd wird die Anlage als Ganzes zum Zeitpunkt *Mechanische Fertigstellung* bzw. *Beginn (Kalt-)Inbetriebnahme* in Verkehr gebracht.
- Zu welchem Zeitpunkt muss die rechtsrelevante Risikobeurteilung für die verfahrenstechnische Anlage vorliegen?
  - Grundlage für die Risikobeurteilung muss der Anlagenzustand zum Zeitpunkt ihres Inverkehrbringens sein, d.h. der Anlagenzustand zum Zeitpunkt *Mechanische Fertigstellung*.
  - Es muss letztlich immer eine Risikobeurteilung geben, der Unterlagen mit dem Bearbeitungsstatus: AFP – Approved for Production (s. Abschn. 1.8.2, Tab. 1.9) zugrunde lagen.
- Wie ist im Projekt konkret bzgl. der Risikobeurteilung für die verfahrenstechnische Anlage zu verfahren (s. auch Abschn. 4.3.2, Buchst. a) und b))?
  - In der Phase 2 (Vorplanung) sollte auf Basis der Verfahrensfließschemata und anderer bekannter Gefährdungen eine erste Grob-Risikobeurteilung erfolgen. Zur Anwendung kann zweckmäßig die *WHAT-IF-Methode* oder *Brainstorming-Methode* kommen.
  - Am Ende der Phase 3 (Entwurfsplanung) muss eine ausführliche Risikobeurteilung anhand der verfügbaren R&I-Fließschemata u.a. Planungsdokumente mit dem Bearbeitungsstatus: AFD (Approved for Design) erfolgen.
  - Genutzt wird für die Risikobeurteilung im verfahrenstechnischen Anlagenbau vorrangig die *HAZOP-Methode*; ergänzt durch andere Methoden.
  - Die Risikobeurteilung am Ende „Basic“ ist für die Genehmigungsplanung nötig, auch wenn sie dem Genehmigungsantrag i. Allg. nicht beigelegt wird.
  - Sie wird auch zur rechtzeitigen Identifizierung von Aktionspunkten benötigt, die im Projekt zwingend umgesetzt werden müssen und u.U. den Projektfortgang wesentlich beeinflussen können.
  - Am Ende der Phase 6 (Ausführungsplanung) ist zu klären, wie relevant die Änderungen und/oder Vertiefungen gegenüber dem Basic-Status: AFD sind. Je nachdem ist zu entscheiden, ob die Basic-Risikobeurteilung fortgeschrieben wird, z. B. mittels eines Reviews, oder eine neue Risikobeurteilung mittels HAZOP-Methode zweckmäßiger ist.
  - Am Ende der Phase 8 (Bau/Montage) sind die Änderungen gegenüber dem geplanten Ausführungsstatus: AFC (Approved for Construction) zu prüfen und im Ergebnis über die Methode der Fortschreibung (Review oder aktualisierte HAZOP) zu entscheiden.

Diese Risikobeurteilung mit dem Status: AFP – Approved for Production ist die rechtsverbindliche vor Inverkehrbringen der Anlage.

Grundsätzlich unterschiedlich zur Risikobeurteilung ist die **Gefährdungsbeurteilung** zu verstehen. Sie zielt auf die Verbesserung der Arbeitssicherheit (s. Abschn. 1.7.1) und ist nach [62] wie folgt definiert:

**Gefährdungsbeurteilung** ist die systematische Ermittlung und Bewertung relevanter Gefährdungen der Beschäftigten mit dem Ziel, erforderliche Arbeitsschutzmaßnahmen festzulegen.

Schutzziel sind die Beschäftigten bei der Arbeit. Zu beurteilen sind alle Gefährdungen, die für die betrachtete Arbeitstätigkeit relevant sind. Damit sind Gefährdungen für den Menschen, die von der Anlage sowie den gehandelten Stoffen ausgehen und bei der Risikobeurteilung mit betrachtet wurden, eingeschlossen.

Die Gefährdungsbeurteilungen sind auf Grundlage des Arbeitsschutzgesetzes (ArbSchG) § 5 und § 6 [63] vom Arbeitgeber für die Arbeitstätigkeiten seiner Beschäftigten zu erarbeiten und zu dokumentieren (s. Abschn. 2.3.2.4, Buchst. b)).

In den Unterlagen müssen gemäß § 6 ArbSchG enthalten sein:

- die Ergebnisse der Gefährdungsbeurteilung,
- die festgelegten Maßnahmen des Arbeitsschutzes,
- das Ergebnis ihrer Überprüfung.

Die grundsätzlichen Vorgaben des Arbeitsschutzgesetzes hinsichtlich notwendiger Gefährdungsbeurteilungen wurden u.a. für

- den Umgang mit Gefahrstoffen nach Gefahrstoffverordnung [64][65] und
  - die Benutzung und Bereitstellung der Arbeitsmittel (lt. Definition: Werkzeuge, Geräte, Maschinen, Anlagen) gemäß Betriebssicherheitsverordnung [27]
- unterstützt und detaillierter ausgestaltet.

Der weitgehend standardisierte Ablauf einer Gefährdungsbeurteilung beinhaltet die Schritte gemäß Tabelle 4.33.

**Tabelle 4.33** Hauptschritte zur Durchführung einer Gefährdungsbeurteilung

- 
1. Erfassung der Betriebs-/Projektstruktur und Arbeitsorganisation
  2. Definition der Betrachtungseinheit (z.B. arbeits-, verantwortungs- oder personenbezogener Bereich)
  3. Identifizieren und Definieren möglicher Gefährdungen (u.a. Nutzung von Checklisten, Brainstorming)
  4. Ermitteln möglicher Auswirkungen der Gefährdungen bezogen auf definierte Schutzziele
  5. Bewertung der Risiken unter Beachtung von Auswirkungen und Eintrittswahrscheinlichkeit (möglichst quantifiziert mittels Risikomatrix)
  6. Prüfen, ob die Schutzziele erreicht und die Restrisiken vertretbar sind
  7. Gegebenenfalls Erarbeiten zusätzlicher Schutzvorkehrungen und Kontrolle, ob damit die Schutzziele erreicht bzw. Risiken ausreichend verringert werden
  8. Festlegen von Aktionspunkten (Maßnahmen) mit Terminen, Verantwortlichkeiten und Erfüllungskontrollen
  9. Dokumentation der Ergebnisse und Zugänglichmachung für die Beschäftigten
-

Die Vorgehensweise ist analog zur HAZOP-Methode für die Risikobeurteilung, wie sie im folgenden Abschnitt beschrieben wird. In der Literatur und von den Berufsgenossenschaften gibt es zahlreiche Veröffentlichungen, um die Gefährdungsbeurteilung zu unterstützen.

Die Schwierigkeit besteht in der Praxis darin, alle möglichen **Gefährdungen** zu identifizieren, sachkundig das realistische **Risiko** zu ermitteln und gegebenenfalls geeignete Schutzmaßnahmen zu finden.

Falls es primär (als Vorzugsvariante) nicht möglich ist, durch technische Schutzmaßnahmen das Restrisiko auszuschließen bzw. zumindest ausreichend zu minimieren, müssen organisatorische (Ersatz-)Maßnahmen ergriffen werden. Dazu gehören insbesondere *Betriebsanweisungen*.

Die Gefährdungsbeurteilung ist weniger im Engineering, als vielmehr in den Phasen 8 (Bau/Montage) und 9 (Inbetriebnahme) bedeutend. Sie wird aus diesem Grund im vorliegenden Buch nicht weiter vertieft.

### 4.3.2 Durchführen der Risikobeurteilung und SIL-Einstufung

Für die Risikobeurteilung in der Produkt- und Anlagenwirtschaft werden sowohl vorwärts gerichtete, *induktive Methoden* wie z.B.

- HAZOP-Methode (**Hazard and Operation Study**) bzw. PAAG (**Prognose, Auffinden, Abschätzen, Gegenmaßnahmen**),
  - FMEA-Methode (**Failure Mode and Effect Analysis**) [66],
  - Ereignisablaufanalyse (ETA – **Event Tree Analysis**) [67],
- als auch rückwärts gerichtete, deduktive Methoden, wie z.B.
- Fehlerbaumanalyse (FTA – **Fault Tree Analysis**) [68]

genutzt. Speziell für Maschinen sind in [69] allgemeine Sicherheitsgrundsätze und in [70] nähere Angaben für sicherheitsrelevante Steuerungen gemacht.

#### a) Risikobeurteilung mittels HAZOP-Methode (**Hazard and Operability Study**)

Die HAZOP-Methode (dt.: PAAG – **Prognose, Auffinden, Abschätzung, Gegenmaßnahme**) ist eine formalisierte Methode, die die Anlage

- in Teilanlagen (sog. *Node*) strukturiert,
- Gefährdungen auf Basis von definierten *Leitworten* (Szenarien) generiert,
- für jede Teilanlage systematisch anhand der leitwort-basierten Gefährdungen deren *Auswirkungen* und *Wahrscheinlichkeiten* unter Beachtung der vorhandenen Sicherheitsmaßnahmen analysiert und bewertet,
- bei Bedarf zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen erarbeitet, um das Restrisiko auszuschließen bzw. auf ein vertretbar geringes Maß zu verkleinern.

Nachfolgend werden die Einzelschritte in Vorbereitung und Durchführung einer Risikobeurteilung (Risk Assessment) näher beschrieben.

- 1) Erarbeiten eines *Auftrags* (Charter) zur Durchführung der Risikobeurteilung und dessen Genehmigung seitens der zuständigen/verantwortlichen Personen.

- Im Auftrag sind u. a. eindeutig zu formulieren:
  - Welcher Anlagenumfang ist Gegenstand der Risikobeurteilung?
  - Welche Dokumente sind für die Risikobeurteilung zu nutzen?
- Im Auftrag ist exakt abzugrenzen:
  - Welche Szenarien/Zustände und mögliche Gefährdungen sind in die Risikobeurteilung einzubeziehen (s. Tab. 4.34)?
  - Welche Szenarien/Zustände und mögliche Gefährdungen sind nicht in die Risikobeurteilung einzubeziehen (s. Tab. 4.34)?
- Die Antworten auf die Fragen in Tabelle 4.34 beeinflussen wesentlich den Zeit- und Kostenaufwand für die Risikobeurteilung, aber auch das Risiko, signifikante Gefährdungen bei der Risikobeurteilung nicht zu betrachten.
- Im Auftrag sind die Teilnehmer an der Risikobeurteilung festzulegen.

**Tabelle 4.34** Vereinbarungen und/oder Abgrenzungen in Vorbereitung der Risikobeurteilung verfahrenstechnischer Anlagen

- 
- Sind Zustände und mögliche Gefährdungen während der Bau- und Montagephase zu berücksichtigen?
  - Sind Zustände und mögliche Gefährdungen während der Inbetriebnahme und Außerbetriebnahme einzubeziehen?
  - Sind Gefährdungen bei Instandsetzungsarbeiten zu berücksichtigen?
  - Sind Einwirkungen und mögliche Gefährdungen von außen zu beachten?
  - Sind Fehler des Bedien- und Servicepersonals einzubeziehen?
  - Sind Naturkatastrophen (Sturm, Gewitter, Blitzschlag, Hagel, Starkregen, Hochwasser, Waldbrand, Erdbeben) zu beachten und wenn ja, welche?
  - Sind mögliche Sabotageakte und/oder Cyber-Angriffe einzubeziehen?
  - Wird nur eine Gefährdung betrachtet *oder* auch das zeitgleiche Aufeinandertreffen von zwei bzw. mehreren unabhängigen Gefährdungen?
  - Sind Änderungen (Technik, Rechtsvorschriften, Organisation u.ä.), die während der Nutzungsdauer der Anlage absehbar sind, mit eingeschlossen?
- 

- 2) Einführen der *Teammitglieder* in den Auftrag, um ein gemeinsames Verständnis sicherzustellen.
- 3) Studium der *R&I-Fließschemata*, der Ursache-Wirkung-Listen, Gefahrenzonenpläne u.a. Basisdokumente; i. Allg. in Vorbereitung der Teamsitzung.
- 4) Identifizieren, Definieren und farbliche Markierung der *Node (Teilanlagen)* auf den R&Is, ggf. in Vorbereitung der Teamsitzung.
  - Die „Kunst“ besteht darin, den richtigen Anlagenumfang für die einzelne Node zu wählen.
  - Ist der Umfang zu gering (z.B. einzelner Apparat oder einzelne Rohrleitung) sind die leitwortbasierten Szenarien häufig nicht relevant. Ist der Umfang zu groß (z.B. ganze Package-Unit), ist es schwer den Überblick zu bewahren und die Ergebnisse verständlich in der HAZOP-Tabelle darzustellen.

- In die R&Is sind die Nennbedingungen (Sollzustand) bzgl. Druck, Temperatur, Fluss, Stand usw. einzutragen.
- 5) Durchführen der Risikoanalyse mit Hilfe der HAZOP-Methode in folgenden Einzelschritten:
1. Schritt: Erarbeiten einer sog. HAZOP-Leitwort-Tabelle mit der Kopfzeile gemäß Tabelle 4.35 für jede Node.

**Tabelle 4.35** Kopfzeile einer HAZOP-Leitwort-Tabelle

Lfd. Nr.	HAZOP- Leitwort	Mögliche Ursache	Abweichung erkennbar durch	Auswirkung (ohne Si-Einrichtungen)	Vorhandene Sicher- heitseinrichtungen
Risikobewertung			Aktion/Empfehlung		Kommentar
Konsequenz	Eintrittswahrscheinlichkeit	Risikokategorie			

2. Schritt: Für jedes Leitwort gemäß Tabelle 4.36 sind die folgenden Fragen zu beantworten und in der HAZOP-Leitwort-Tabelle zu dokumentieren. Zum Beispiel für das Leitwort „Mehr Fluss“:
- a) Ist eine Ursache für „Mehr Fluss – als normal“ möglich?
  - b) Wie ist die ursächlich bedingte Abweichung erkennbar?
  - c) Wie ist die Eintrittswahrscheinlichkeit für das Eintreten der Abweichung?
  - d) Welche Auswirkungen/Konsequenzen können sich für die definierten Schutzziele, ohne Berücksichtigung der vorhandenen Sicherheitseinrichtungen/-maßnahmen, ergeben?
  - e) Welche Sicherheitseinrichtungen/-maßnahmen sind vorhanden und welche Auswirkungen ergeben sich unter Beachtung dieser vorhandenen Einrichtungen/Maßnahmen?

**Tabelle 4.36** Typische Leitworte der HAZOP-Methode

1. **Fluss** (Mehr Fluss / Weniger Fluss / Rückfluss)
2. **Druck** (Höherer Druck / Niedrigerer Druck / Vakuum)
3. **Temperatur** (Höhere Temperatur / Niedrigere Temperatur)
4. **Stand** (Hochstand / Tiefstand)
5. **Zusammensetzung** (Veränderte Zusammensetzung / Anderes Produkt)
6. **Sonstiges** (Korrosion, Leckage, Brand, Explosion, Bedienfehler, Gewicht, Schwankungen, Stöße usw.)

3. Schritt: Bewerten der Eintrittswahrscheinlichkeit (des Szenario) und der Auswirkungen (mit Sicherheitsmaßnahmen und für jedes Schutzziel) gemäß firmenspezifischer Bewertungskriterien und Ermitteln der Risikokategorie.

Die Ergebnisse werden in eine sog. *Risikomatrix* eingetragen.

**4. Schritt:** Entscheidung, ob die für jedes Leitwort-Szenario ermittelten *Risikokategorien* vertretbar sind.

Wenn nein, sind *zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen* zu erarbeiten und in einer erneuten Risikobeurteilung der Erfolg nachzuweisen.

**5. Schritt:** Zusammenstellung der Ergebnisse in einem *Ergebnisbericht* zur Risikobeurteilung, die eine *Aktionspunkliste* und *Empfehlungen* mit den zusätzlich abgeleiteten Sicherheitsmaßnahmen enthält.

- Die Inbetriebnahmzustände sind bei der Beurteilung der Gefährdungen, die sich aus den Leitworten ableiten, zu berücksichtigen.
- Im Leitwort „Sonstiges“ sollten weitere Szenarien und Gefährdungen betrachtet werden, die sich einerseits nicht aus den Leitworten ableiten und sich andererseits nur auf die betreffende Node beziehen, z.B. Produktaustritt durch Korrosion, Leckage mit Brand).
- Der Vorteil der HAZOP-Methode ist, dass durch die formale leitwortbasierte Vorgehensweise auch Gefährdungen und Risiken gefunden werden, die der Fachmann a priori für nichtmöglich gehalten hätte.
- Der Nachteil der HAZOP-Methode ist, dass man u.U. zu sehr auf die Leitworte fixiert bleibt und andere, sonstige Gefährdungen übersieht. Das Leitwort „Sonstiges“ hat deshalb große Bedeutung.

Der in Abb. 4.54 abgebildete Brand wurde u.a. möglich, da ein Szenario *Wechselseitige Gefährdung zweier benachbarter Anlagen* bei der speziellen Risikobeurteilung jeder einzelnen Anlage nicht betrachtet wurde.



**Abb. 4.54** Großbrand in einem Chemiewerk [71]

links: Leckage an der Flanschverbindung einer Ethylenleitung, die sich durch elektrostatische Aufladung entzündet hat

rechts: Lagertanks mit Acrylnitil, das sich durch die Hitzeeinwirkung von der Ethylenflamme am Tankdach entzündet hat

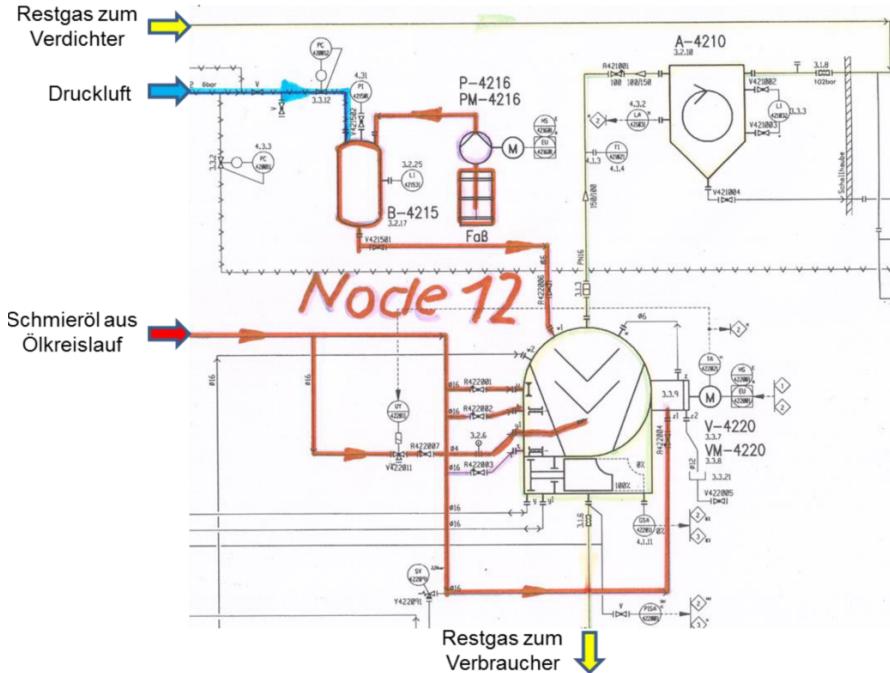
- Übergreifende Gefährdungen, die die gesamte Anlage betreffen, sollten in einer ergänzenden WHAT-IF-Studie beurteilt werden (s. Buchst. b)).
- In Beispiel 4.4 wird die Vorgehensweise einer Risikobeurteilung mittels HAZOP-Methode prinzipiell erläutert.

#### **Beispiel 4.4 Risikobeurteilung eines Gasverdichters mittels HAZOP-Methode**

##### **a) Verfahrens- und Anlagenbeschreibung**

Bei der Förderung von Erdöl fällt zwangsweise auch sog. Erdölgas an. Je nach Menge und örtlichen Gegebenheiten wird dieses Restgas abgefackelt bzw. energetisch verwertet; wie im vorliegenden Beispiel.

Das R&I-Fließschema in Abb. 4.55 zeigt Teile einer Verdichteranlage, die das nahezu drucklose Restgas auf ca. 2 bis 3 barü entsprechend dem notwendigen Vordruck des Verbrauchers komprimiert.



**Abb. 4.55** R&I-Fließschema einer Verdichteranlage (Auszug)

Das Restgas wird über den Abscheider A-4210, in dem mitgerissene Flüssigkeitströpfchen abgeschieden werden, einem Schraubenverdichter zugeführt, komprimiert und danach über einen Flüssigkeitsabscheider und Filter zum Verbraucher geleitet.

Der Schraubenverdichter muss geschmiert werden. Dies erfolgt durch Direkt einspeisung von Öl in den Gasstrom im Einströmbereich des Verdichters.

*Das Öl wird zu diesem Zweck mittels einer Pumpe P-4216 aus einem Fass angezogen und in einen sog. Zumessbehälter B-4215 gefördert. Aus dem Zumessbehälter wird das Öl diskontinuierlich mittels Druckluft in den Verdichter gedrückt. Der Zumessbehälter ist dabei leitungsseitig am Ein- und Austritt abgesperrt und drucklos. Nach der Befüllung wird die Füllöffnung verschlossen, die Ein- und Austrittsarmaturen geöffnet und mittels Druckluft (ca. 3 barü) die benötigte Ölmenge entsprechend dem vor Ort beobachteten Standabfall in Schauglas in die Saugseite des Verdichters gedrückt.*

*Der Großteil des Schmieröls verbleibt im Ölkreislauf, indem das Öl auf der Druckseite des Verdichters aus dem Gasstrom abgeschieden wird und danach mittels einer Zahnradpumpe, über Luftkühler und Flüssigkeitsfilter an die einzelnen Einspritzstutzen des Verdichters zurück gefördert wird (nicht dargestellt).*

*Da ein Teil des Öls mit dem Gasstrom ausgetragen wird, müssen 1-2 Mal pro Monat insgesamt ca. 30 l Öl über den Zumessbehälter B-4215 nachgefüllt werden.*

### **b) Anwendung der HAZOP-Methode (beispielhaft)**

*Für das farblich markierte Node 12 wurde die HAZOP-Leitwort-Tabelle entsprechend der Kopfzeile von Tabelle 4.34 ausgefüllt.*

*Für das Leitwort „Tiefstand“ und den Zumessbehälter B-4215 ergeben sich folgende Antworten:*

- Mögliche Ursache: Fehlbedienung beim Nachfüllen
- Abweichung erkennbar durch: LI 421531 (örtliches Schauglas)
- Konsequenz (ohne Si-Einrichtungen): Gefahr des Durchschlagens von Druckluft (ca. 3 barü) in den Verdichter und Explosionsgefahr
- Vorhandene Sicherheitseinrichtungen: keine

*Das gleiche Ergebnis ergab sich bei Anwendung des Leitworts „Anderes Produkt“. Die anschließende Analyse der Konsequenzen und Eintrittswahrscheinlichkeit im Team ergab:*

– Analyse der Konsequenz: Bei einer Fehlbedienung besteht die Gefahr, dass alles Öl aus dem B-4215 gedrückt wird und anschließend Druckluft in unkontrollierbarer Menge in die Gasphase im Verdichter gelangt.

Beim Eindringen von Druckluft in den relativ geringen Gasstrom (ca. 300-400 m<sup>3</sup> i.N./h) kann sich im Verdichter ein explosionsfähiges Gemisch bilden, welches auf Grund der potentiellen Zündquellen im Verdichter (z.B. heiße Oberflächen an den Rotoren) zur Explosion führen kann.

Neben Sachschäden sind auch Personenschäden möglich, da im Normalfall der Operator zu diesem Zeitpunkt vor Ort ist.

– Analyse der Eintrittswahrscheinlichkeit:

Der Vorfall eines Durchschlagens von Druckluft aus dem Zumessbehälter B-4215 in den Verdichter sowie die Bildung eines Ex-Gemisches mit anschließender Zündung, die infolge zu Sach- und Personenschäden führen kann, ist unwahrscheinlich.

*Die Erarbeitung einer Risikomatrix gemäß der Richtlinie des Anlagenbetreibers, in der die zuvor beschriebenen Konsequenzen und Eintrittswahrscheinlichkeit anhand definierter Merkmale quantifiziert und bewertet wurden, ergab letztlich ein nicht vertretbares Risiko.*

*Als wirksame zusätzliche Sicherheitsmaßnahme wurde vorgeschlagen:*

Aktionspunkt: Nutzung von Stickstoff (anstelle von Druckluft) zum Beaufschlagen des Zumessbehälters und zum Eindrücken des Öls in den Verdichter.

Bem: Für die Inertisierung des Verdichters in Vorbereitung von Reparaturmaßnahmen befanden sich immer mehrere Stickstoffflaschen vor Ort, die mit genutzt werden konnten.

*Letztlich konnte somit in der bestehenden Verdichteranlage mit wenig Aufwand eine signifikante Explosionsgefährdung ausgeschlossen werden.*

### b) Risikobeurteilung mittels WHAT-IF-Methode

Bei der WHAT-IF-Methode werden die Szenarien und Gefährdungen nicht über Leitworte sondern als Fragestellungen: „Was ist, wenn.....?“ generiert.

Die Fragen werden meistens als Checklisten vorbereitet, können aber auch als Brainstorming während der Teamsitzung erdacht werden.

Ansonsten ist die Vorgehensweise die gleiche wie bei der HAZOP-Methode. Die WHT-IF-Tabelle ist genauso aufgebaut.

Mit der WHAT-IF-Methode lassen sich sehr flexibel die unterschiedlichsten Szenarien analysieren. Sie wird aus diesem Grund gern zur Beurteilung übergreifender Gefährdungen genutzt (s. Tab. 4.37).

**Tabelle 4.37** Mögliche übergreifende Gefährdungen für die Gesamtanlage

1. Anlagenintegrität	6. Arbeitssicherheit/Gesundheitsgefährdungen
2. Extreme Witterungseinflüsse	7. Emissionen
3. Infrastruktur der Umgebung	8. Feuer / Explosion
4. Security	9. Gefährdung durch Medien
5. Human Factors	10. Organisationsverschulden

### c) SIL-Einstufung der PLT-Schutzeinrichtungen (inkl. Systemkomponenten)

In Abschn. 4.2.6, Punkt 3) wurde die Klassifizierung der PLT-Sicherungseinrichtungen und insbesondere der PLT-Schutzeinrichtungen betrachtet.

Die PLT-Schutzeinrichtungen sind die sog. „Z-Stellen“ (s. Beispiele 4.1 und 4.2 in Abschn. 4.2.1.1), die fallbezogen die sicherheitsrelevante Schaltfunktion auslösen, um mögliche Schäden zu vermeiden.

Durchschnittlich sind in klassischen verfahrenstechnischen Anlagen ca. 6 – 10 Prozent der PLT-Stellen sicherheitsrelevante Z-Stellen.

Diese Ergebnisse der PLT-Entwurfsplanung bilden das Input für die Risikobeurteilung und werden während der Durchführung nochmals eingehend überprüft. In der Regel werden die bisherigen PLT-Darstellungen auf den R&Is bestätigt, zum Teil um weitere ergänzt.

Die zweite Aufgabe bezüglich der PLT-Schutzeinrichtungen, die in manchen Projekten auch erst während des Detail Engineering erledigt wird, ist deren Einstufung nach Zuverlässigkeit-/Qualitätsanforderungen gemäß den internationalen Normen [5][72].

Die IEC 61508 [72] ist auf *sicherheitsbezogene Systeme* anzuwenden, wenn diese eine oder mehrere der folgenden Geräte enthalten:

- elektrischer Geräte,
- elektronischer Geräte,
- programmierbarer elektronischer Geräte.

Die IEC 61508 [72] ist eine Grundnorm für die Beurteilung der funktionalen Sicherheit (safety functions) und betrachtet Risiken, die durch den Ausfall der Sicherheitsfunktionen dieser Geräte verursacht werden. Sie gilt weltweit als Basis für Spezifikationen, Entwurf und Betrieb von sicherheitstechnischen Systemen (Safety Instrumented Systems – SIS).

Abgeleitet davon, dient die IEC 61511 [5] als Fachnorm zur Umsetzung der zuvor angeführten Grundnorm IEC 61508. Die IEC 61511 ist speziell für die *Prozessindustrie* und somit auch für verfahrenstechnische Anlagen gültig. Sie dient insbesondere als Grundlage für die *SIL-Einstufung von Anlagen-Systemen*.

Im Unterschied dazu, gilt für die *Sicherheit von Maschinen* die Grundnorm DIN EN 12100 [69] und daraus abgeleitet die Fachnorm EN ISO 13849 [70], die u.a. für die Gestaltung und SIL-Einstufung von *Steuerungen an Maschinen* gilt.

*In jedem Fall ist die SIL-Einstufung für das gesamte sicherheitstechnische System (SIS) vorzunehmen.*

Dieses sicherheitstechnische System entspricht der gesamten Sicherheitskette; vom Sensor, über Wandler, Signalübertragung, diverse Verarbeitungsmodule u.a. Bauelemente bis zum Aktor. Die Fehlersicherheit dieses SIS muss entsprechend den möglichen Folgen bei dessen Versagen ermittelt und geplant werden.

Zu diesem Zweck definieren die angeführten Normen vier Sicherheitsstufen SIL 1 bis SIL 4 (**Safety Integrity Level**), die in [5] für die Prozessindustrie gemäß Tabelle 4.38 beschrieben sind.

**Tabelle 4.38** Ausfallgrenzwerte für eine Sicherheitsfunktion bei Anforderung (Low Demand) für die Prozessindustrie<sup>1)</sup>

SIL	PFD <sup>2)</sup>	Maximal akzeptierter Ausfall des SIS
SIL 1	$\geq 10^{-2}$ bis $< 10^{-1}$	ein gefährlicher Ausfall in 10 Jahren
SIL 2	$\geq 10^{-3}$ bis $< 10^{-2}$	ein gefährlicher Ausfall in 100 Jahren
SIL 3	$\geq 10^{-4}$ bis $< 10^{-3}$	ein gefährlicher Ausfall in 1000 Jahren
SIL 4	$\geq 10^{-5}$ bis $< 10^{-4}$	ein gefährlicher Ausfall in 10000 Jahren

<sup>1)</sup> Anforderung des SIS maximal einmal pro Jahr      <sup>2)</sup> Probability of Failure on Demand

Welche Sicherheitsstufe (SIL) im konkreten Fall notwendig ist, lässt sich mit Hilfe eines sog. Risikograph ermitteln [72]. Aus Abb. 4.56 ist das Vorgehen ersichtlich.

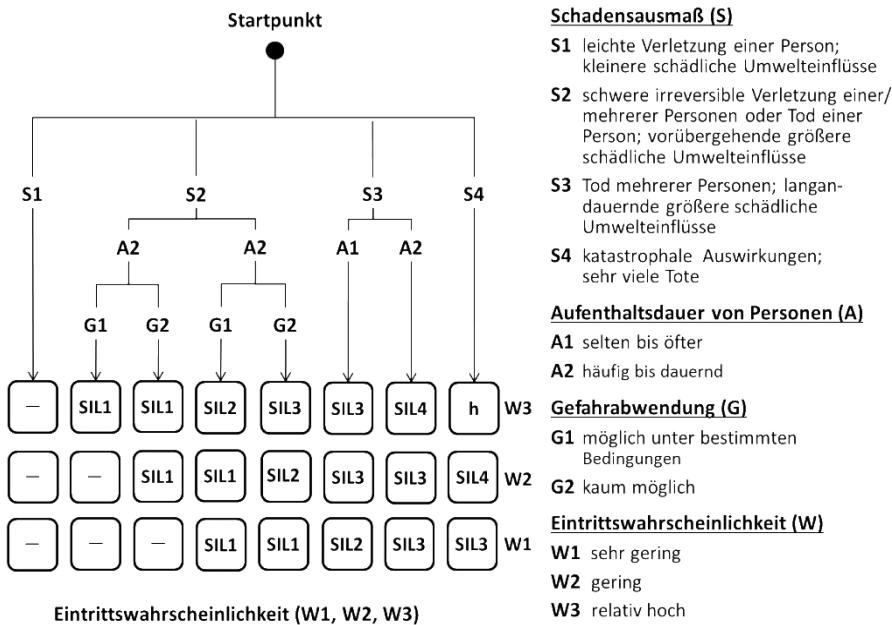


Abb. 4.56 Ermittlung des SIL (Safety Integrity Level) mittels Risikograph

Außer der qualitativen Methode ist auch eine SIL-Berechnung ausgehend von vorgegebenen maximal zulässigen Ausfällen des SIS möglich.

Manche Engineeringunternehmen verbinden die *Risikobeurteilung* und *SIL-Einstufung*, indem sie einzelnen Feldern der Risikomatrix gemäß HAZOP-Methode bestimmte SIL-Stufen zuordnen; beispielsweise der Risikokategorie 2 die Einstufung SIL 2.

Die ermittelte SIL gilt für das gesamte SIS (Safety Instrumented System). Das heißt, die Summe der SIL aller Komponenten des SIS darf nicht größer sein. Es kann also passieren, wenn alle Einzelkomponenten mit SIL 2 spezifiziert wurden, dass das SIS (Gesamtkette) nicht SIL 2 erreicht.

Zur Rationalisierung der SIL-Klassifizierung wird firmenspezifisch versucht, bestimmten Planungstypicals (z.B. „Überfüllsicherung eines Tanks WGK 2“ oder „Trockenlaufschutz einer Kolbenpumpe für Kohlenwasserstoffe im Ex-Bereich“ bestimmt Standard-SIL-Stufen zuzuordnen.

### 4.3.3 Erarbeiten des Explosionsschutzdokuments

#### a) Vorbemerkungen und Einordnung ins Phasenmodell

Einleitend zur Thematik seien noch einige Vorbemerkungen zur Einordnung des Explosionsschutzdokuments in die Projektabwicklung vorangestellt. In Abb. 4.57 ist ein Ablaufschema dargestellt, in den die Ausführungen aus der TRBS 2153 [73] zur Beurteilung der Explosionsgefährdungen veranschaulicht ist.

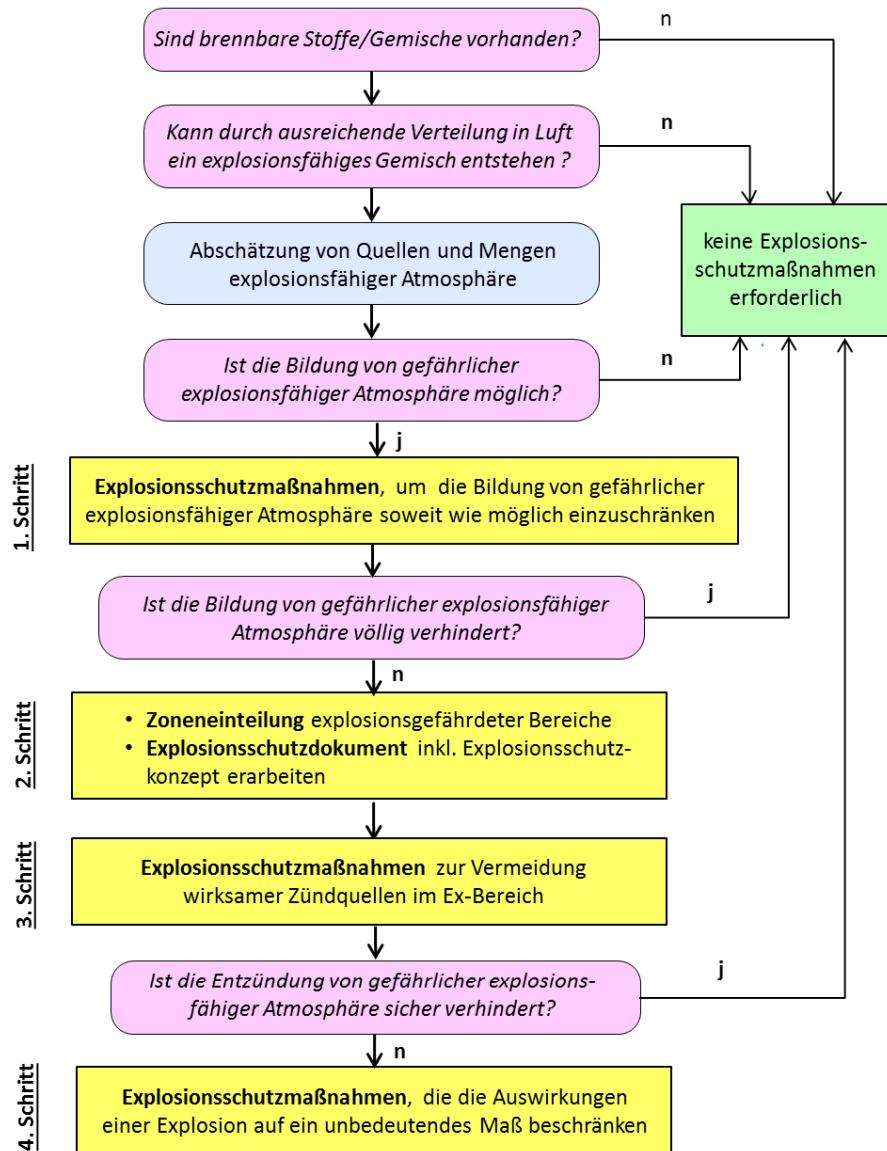


Abb. 4.57 Ablaufschema zum Erkennen und Vermeiden von Explosionsgefährdungen

- Die projektbegleitenden Arbeiten zum Explosionsschutz gliedern sich im Wesentlichen nacheinander, mitunter auch iterativ, in folgende vier Schritte:
  - 1. Schritt:** Durchführen planerischer Maßnahmen, um die Bildung von gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre soweit wie möglich einzuschränken.

**2. Schritt:** Beurteilung der Explosionsgefährdungen und Einteilung der explosionsgefährdeten Bereiche in Zonen sowie dokumentieren der Ergebnisse im Explosionsschutzdokument.

Darlegen weiterer notwendiger Vorkehrungen/Maßnahmen des Explosionsschutzes (Explosionsschutzkonzept).

**3. Schritt:** Durchführen planerischer Maßnahmen, um wirksame Endzündung (Zündquellen) in den definierten Ex-Zonen sicher zu verhindern.

**4. Schritt:** Durchführen planerischer und organisatorischer Maßnahmen, um die Auswirkungen einer Explosion auf ein unbedeutendes Maß zu verringern.

Bis Ende des Basic Engineering sind die Maßnahmen gemäß Schritt 1 und 2 zu erledigen. Im Sonderfall, z.B. in Verbindung mit der Auswahl und Auslegung der Hauptausrüstungen, sind bereits einige Aufgaben des 3. und 4. Schritts erfüllt. Der Großteil planerischen Maßnahmen von Schritt 3 und 4 findet aber erst im Detail Engineering statt. Insgesamt gilt der Grundsatz:

*Der Explosions- und Brandschutz ist in allen Planungsphasen und für alle Fachdisziplinen eine wesentliche Zielstellung und Aufgabe.*

- Explosions- und Brandgefährdungen müssen von Beginn an bei der Anlagenplanung beachtet und planerisch berücksichtigt werden. Dies betrifft z.B. im Hinblick einer Gefährdungsvermeidung bzw. -minderung die:
  - Wahl des Verfahrens (Stoffeigenschaften, Medien, Prozessparameter),
  - Wahl der Ausrüstungsart (Leckagen, Zündquellen),
  - Wahl der Werkstoffs (Korrosion, Verschleiß),
  - Bauausführung (Frei-/Inhouseanlage, baulicher Brand-/Explosionsschutz),
  - Aufstellung der Ausrüstungen (Anordnungsbeziehungen, Abstände, Windrichtung, Fluchtwege, Feuerwehrzufahrt),
  - Wahl der Rohr-, Dichtungs- und Armaturenklassen (Dichtheit, Instandhaltung),
  - PLT-Planung (Brandmelder, Gaswarneinrichtung, Zündquellen, Auswahl Sensoren/Aktoren bzgl. Leckage usw.),
  - TGA-Planung (Be-/Entlüftung).

In Abb. 4.58 dienen diese Maßnahmen dem anstrebenswerten Ziel, die „Bildung von gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre völlig zu verhindern.“

- Die Beurteilung der Explosions- und Brandgefährdungen gegen Ende des Basic Engineerings (Phase 3), d.h. entsprechend der erreichten Planungstiefe von 25 bis 35 %, ist notwendig für die Genehmigungsplanung inkl. Genehmigungsverfahren und für die Vorbereitung der Investitionsentscheidung.

Sowohl die Genehmigungsfähigkeit als die Wirtschaftlichkeit der Anlageninvestition werden durch Art und Umfang dieser Gefährdungen stark beeinflusst.

Hauptaufgabe bei der Beurteilung der Brand-/Explosionsgefährdungen zu diesem Zeitpunkt ist das Identifizieren explosionsgefährdeter Bereiche, die ent-

sprechend der Verfahrens- und Anlagenplanung existieren werden und deren Einteilung in sog. Ex-Zonen.

Die Zoneneinteilung explosionsgefährdeter Bereiche wird auf Gefahrenzonenplänen (Ex-Zonenplänen) dokumentiert und „eingefroren.“ Sie ist ein wichtiges Input für das Detail Engineering, wie z.B. für die Spezifizierung der PLT-Geräte und Maschinen sowie für die Ausführungsplanung Bau und TGA. Die Gefahrenzonenpläne wiederum sind Teil des Explosionsschutzdokuments.

Die Ergebnisse aus der Beurteilung der Explosionsgefährdungen sowie notwendige Vorkehrungen sind im Explosionsschutzdokument zu erfassen.

- Der Gesetzgeber fordert in der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) in § 6, Abs. (4) (s. Abschn. 2.3.2.2, Buchst. d)), dass die *Gefährdungen durch gefährliche explosionsfähige Gemische* in die Gefährdungsbeurteilung nach GefStoffV einzubeziehen sind. Die Gefährdungsbeurteilungen muss der Arbeitgeber erstmals vor Aufnahme der Tätigkeit durchführen und dokumentieren.

Zugleich sind in der Dokumentation zur umfassenden Gefährdungsbeurteilung die „Gefährdungen durch gefährliche explosionsfähige Gemische besonder auszuweisen“; in Form eines Explosionsschutzdokuments.

Der rechtsverbindliche Zeitpunkt, zu dem die Gefährdungsbeurteilungen und das Explosionsschutzdokument vorliegen müssen, ist somit „vor Aufnahme der Tätigkeit mit Gefahrstoffen und/oder der Tätigkeiten in explosionsgefährdeten Bereichen. Dies ist in den meisten verfahrenstechnischen Anlagenprojekten der *Beginn Inbetriebnahme* (Beginn Phase 9).

Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass das im Basic Engineering erarbeitete Explosionsschutzdokument, analog wie die Risikobeurteilung gemäß Abschn.4.3.2, bis zum Ende „Detail“ und danach bis Ende Bau/Montage fortgeschrieben werden muss. Die Fortschreibung sollte die Erfüllung des im Basic Engineering erarbeiteten Explosionsschutzkonzepts belegen.

## b) Theoretische und rechtliche Grundlagen

Eine *Explosion* ist eine sehr schnell verlaufende exotherme Reaktion, bei der so große Energiemengen frei werden, dass spürbare Temperatur- und Drucksteigerungen auftreten. Die Reaktionszone durchläuft dabei ein explosionsfähiges Stoffsyste; meistens ein Gemisch aus brennbarer Substanz und Luft.

Nach DIN EN 1127-1 [74] lautet die Begriffsbestimmung:

**Explosion** ist eine plötzliche Oxidations- oder Zerfallsreaktion mit Anstieg der Temperatur, des Druckes oder beider gleichzeitig.

Zur Charakterisierung des Ablaufs der Explosion dienen:

- der maximale Explosionsdruck,
- die maximale Druckanstiegs geschwindigkeit,
- die Explosionsgeschwindigkeit,
- die Explosionstemperatur.

In Abhängigkeit von der Explosionsgeschwindigkeit und damit Heftigkeit einer Explosion wird unterschieden zwischen:

**Verpuffung:** eine an der *Explosionsgrenze ablaufende*, schnelle Verbrennung mit in der Regel dumpfem Knall.

**Deflagration:** eine Explosion bei der die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Flammen- oder Reaktionsfront *langsamer als die Schallgeschwindigkeit* des jeweiligen Mediums (Explosivstoffs).

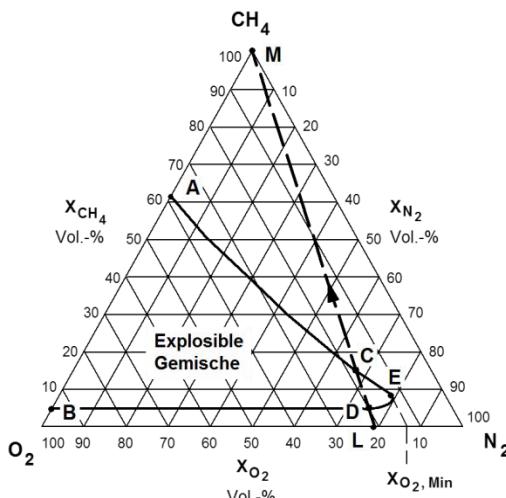
**Detonation:** eine Explosion die sich mit *Überschallgeschwindigkeit im Medium* ausbreitet und bei der sich die Abgasschwaden in Ausbreitungsrichtung bewegen.

In verfahrenstechnischen Anlagen gibt es fast immer explosionsgefährdete Bereiche und potentielle Gefährdungen durch Explosion. Im Extremfall kann eine Explosion auch zu einer Havarie führen und gegebenenfalls die ganze Projektabwicklung infrage stellen.

Nachfolgend einige Faustwerte zur Veranschaulichung:

- 1 Teelöffel (ca. 5-7 ml) Benzin erzeugt ca. 1,6 Liter Benzingas und kann ein Fass mit 200 Litern Inhalt mit explosionsfähiger Atmosphäre füllen!
- 1 Tropfen (ca. 0,05 ml) leichtsiedendes Lösungsmittel erzeugt in ca. 1 Liter Luft ein explosionsfähiges Gemisch!
- 1 Streichholzschachtel voll Staub (Kohle, Holz, Mehl, Aluminium) aufgewirbelt in 1 m<sup>3</sup> Luft kann zu einer Staubexplosion führen!
- 1 m<sup>3</sup> Acetylen hat die Explosionsenergie von 1 kg Schwarzpulver!

Die Abb. 4.58 (rechts) belegt diese Intensität am Beispiel einer vergleichsweise langsamen und bei geringem Druck ablaufenden Explosion eines mit Rohöl gefüllten Kesselwagens.



**Abb. 4.58** links: Explosionsbereich von Methan in Luft  
rechts: Explosion eines Kesselwagens mit Rohöl

Die theoretischen Zusammenhänge hinsichtlich der Bildung explosionsfähiger Gemische zeigt das Explosion-Dreiecksdiagramm für ein Methan-Luft-Gemisch in Abb. 4.58 (links). Der Punkt E kennzeichnet den maximal zulässigen Sauerstoffgehalt in Methan, sodass sich kein Ex-Gemisch bilden kann.

Diese **Sauerstoffgrenzkonzentration** (SGK) bzw. LOC (Limiting oxygen concentration) beträgt bei Kohlenwasserstoffen ca. 10 Vol.-% sowie bei Wasserstoff und Kohlenmonoxid ca. 5 Vol.-%. Die SGK ist auf 20 °C bezogen.

Bei Temperaturen größer 150 °C (z.B. unter Ofenbedingungen) verringert sich die zulässige SGK und muss zustandsspezifisch berechnet werden.

Soll die Bildung eines Ex-Gemisches ausgeschlossen werden, z.B. durch Inertisieren mit Stickstoff oder Wasserdampf, muss der zulässige Sauerstoffgrenzwert unterschritten sein. In der Regel wird bei Temperaturen bis 150 °C ein Sauerstoff-Volumenanteil von kleiner 50 % der SGK/LOC) gefordert.

Interessant ist die Gerade von Punkt L zu Punkt M, die sog. Konnode  $\overline{LM}$  im Dreiecksdiagramm.

Beginnt man am Punkt L (reine Luft) dem System Methan zuzuführen, so bewegt sich die Gemischzusammensetzung entlang der Konnode  $\overline{LM}$  in Richtung Punkt M. Am Punkt D wird die UEG (Untere Explosionsgrenze) erreicht. Bei weiterer Methan-Zuführung bleibt ein explosibles Gemisch bis zum Punkt C, der OEG (Obere Explosionsgrenze) erhalten. Ein weiterer Anstieg des Methangehalts bewirkt keine neue Ex-Gefahr, das Gemisch ist oberhalb der OEG zu „fett“.

Die rechtlichen Grundlagen des Explosionsschutzes sind auf europäischer Ebene bzw. deutscher Ebene

- für *Produkte* in der *ATEX-Herstellerrichtlinie* [57] (s. Abschn. 2.3.1.2, Buchst. c)) bzw. der *Explosionsschutzverordnung* [75] (s. Abschn. 2.3.2.3, Buchst. d)) und
- für *Anlagen* in der *ATEX-Betriebsrichtlinie* [76] (s. Abschn. 2.3.1.3, Buchst. b)) bzw. seit 01.06.2015 in der Änderung zur *Gefahrstoffverordnung* [65] (s. Abschn. 2.3.2.2, Buchst. d))

enthalten. In der neuen Gefahrstoffverordnung sind neben den Explosionsgefährdungen auch die Brandgefährdungen im Umgang mit Gefahrstoffen erfasst.

### c) Beurteilung der Gefährdungen durch gefährliche explosionsfähige Gemische [78]

Während der Entwurfsplanung sind die Gefährdungen und Risiken, die von explosionsfähigen Atmosphären ausgehen, zu beurteilen und durch planerische Maßnahmen möglichst zu beseitigen bzw. zumindest zu verringern (s. Abb. 4.57).

Sind die prinzipiellen Voraussetzungen für die Bildung einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre, im folgenden Begriffsverständnis

Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre ist ein gefährliches explosionsfähiges Gemisch mit Luft als Oxidationsmittel unter atmosphärischen Bedingungen (Umgebungstemperatur von -20 °C bis +60 °C und Druck von 0,6 Bar bis 1,1 Bar) [65]

gegeben, muss versucht werden, deren *Bildung soweit wie möglich einzuschränken*. Dies kann u.a. erreicht werden, durch [77]:

- Vermeiden oder Einschränken von Stoffen, die explosionsfähige Atmosphäre bilden können.
  - Lacke auf Kohlenwasserstoffbasis durch wasserlösliche Lacke ersetzen.
  - Brennbare pulverförmige Füllstoffe durch nichtbrennbare Füllstoff ersetzen.
- Verhindern oder Einschränken der Bildung explosionsfähiger Atmosphäre im Innern von Anlagen oder Anlagenkomponenten.
  - Vermeiden von Lufteintrag in Tanks und Behälter durch Beatmung mit Stickstoff bzw. nicht-sauerstoffhaltigen Pendelgas.
  - Prozessparameter so wählen, dass der Volumenanteil des brennbaren Stoffs sicher unterhalb der **unteren Explosionsgrenze (UEG)** bzw. oberhalb der **oberen Explosionsgrenze (OEG)** (s. Abb. 4.58, links).
  - Bei Stäuben liegt häufig keine homogene Mischung vor, sodass örtliche Staubanreicherungen bis oberhalb der Explosionsgrenze möglich sind, auch wenn die Gesamtmenge bezogen auf das gesamte Luftvolumen geringer ist.
  - Abgelagerte und aufgewirbelte Staubmengen müssen beachtet werden.
  - Inertisieren durch Zugabe inerer Stoffe (Stickstoff, Dampf, Kohlendioxid).
  - Absenkung des Betriebsdrucks unter den Atmosphärendruck (Expansionsdruck ist dann unkritisch).
- Verhindern oder Einschränken der Bildung explosionsfähiger Atmosphäre in der Umgebung von Anlagen und Anlagenkomponenten.
  - Anlagenkomponenten nicht an der Atmosphäre „atmen“ lassen.
  - Realisieren geschlossener Notentspannungssysteme über die Fackel.
  - Realisieren von Blow-down-Systemen für Flüssigkeiten und Flüssiggase.
- Gewährleisten der Dichtheit der Anlage und der Anlagenkomponenten.  
Hinsichtlich der Dichtheit/Leckage wird zwischen 3 Kategorien unterschieden.

**1. Kategorie:** auf *Dauer technisch dichte* Anlagen/Anlagenteile (s. Tab. 4.39)

**Tabelle 4.39** Kriterien und Beispiele für auf *Dauer technisch dichte* Anlagen und Anlagenteile [77]

Auf Dauer technisch dichte Anlagen- und Anlagenteile sind z.B.

1. geschweißte Anlagen und Anlagenteile
  - lösbar Komponenten, wobei die hierfür erforderlichen lösbar Verbindungen betriebsmäßig nur selten gelöst und konstruktiv wie die nachgenannten lösbar Rohrleitungsverbindungen gestaltet sind (Ausnahme: metallisch dichtende Verbindungen)
  - Stutzen zum lösbar Befestigen von Rohrleitungen, Armaturen oder Blinddeckeln, wobei die hierfür erforderlichen lösbar Verbindungen betriebsmäßig nur selten gelöst und konstruktiv wie die nachgenannten lösbar Rohrleitungsverbindungen gestaltet sind (Ausnahme: metallisch dichtende Verbindungen)
2. für Gase, Dämpfe und Flüssigkeiten
  - Wellendurchführungen mit doppelt wirkender Gleitringdichtung (z.B. Pumpen, Rührwerke)

**Tab. 4.39** (Fortsetzung)

- 
2. für Gase, Dämpfe und Flüssigkeiten (Fortsetzung)
- Spaltrohrmotorpumpen
  - magnetisch gekoppelte dichtungslose Pumpen
  - Armaturen mit Abdichtung der Spindeldurchführung mittels Faltenbalg und Sicherheitsstopfbuchse
  - Stopfbuchsabdichtung mit selbständig nachstellenden Packungen,
  - stopfbuchslose Armaturen mit Permanent-Magnetantrieb (SLMA-Armaturen)
3. für Stäube
- Armaturen mit üblichen Abdichtungssystemen, z.B. Scheibenventile, Schieber mit geschlossener Bauart, Kugelhähne
  - Stopfbuchsabdichtungen mit selbständig nachstellenden Packungen
  - Stopfbuchsabdichtungen mit Luftspülung
  - geschlossene Fördereinrichtungen mit einfach wirkenden Dichtungssystemen, wie Schneckenförderer, Trogkettenförderer, pneumatische Förderung mit fester Verrohrung

Auf Dauer technisch dichte Rohrleitungsverbindungen sind z.B.

- unlösbare Verbindungen, z.B. geschweißt,
- lösbare Verbindungen, die betriebsbedingt nur selten gelöst werden, z. B.
  - Flansche mit Schweißlippendichtungen,
  - Flansche mit Vor- und Rücksprung,
  - Flansche mit Nut und Feder,
  - Flansche mit V-Nuten und V-Nutdichtungen,
  - Flansche mit glatter Dichtleiste und besonderen Dichtungen, wie z.B. Weichstoffdichtungen bis PN 25 bar, metallinnenrandgefasste Dichtungen oder metallummantelte Dichtungen, wenn bei Verwendung von Norm-Flanschen eine rechnerische Nachprüfung ausreichende Sicherheit gegen die Streckgrenze aufweist,
- metallisch dichte Verbindungen, ausgenommen Schneid- und Klemmringverbindungen in Leitungen größer als DN 32.

Für Stäube sind im Allgemeinen einfache Flanschverbindungen mit Dichtungen oder Clamb-Verschlüsse ausreichend.

Auf Dauer technisch dichte Verbindungen zum Anschluss von Armaturen sind, soweit sie betriebsmäßig selten gelöst werden, z.B.

- die vorgenannten Rohrleitungsverbindungen,
  - NPT-Gewinde (National Pipe Taper Thread, kegeliges Rohrgewinde) oder andere konische Rohrgewinde mit Abdichtung im Gewinde bis DN 50, soweit sie nicht wechselnden thermischen Belastungen ( $\Delta t > 100^\circ\text{C}$ ) ausgesetzt sind.
- 

Bei der praktischen Umsetzung der Kriterien gem. Tabelle 4.39 gilt nach [77]:

- ***Anlagen und Anlagenteile, die auf Dauer technisch dicht sind, verursachen in ihrer Umgebung im ungeöffneten Zustand keine explosionsfähigen Bereiche.***

**2. Kategorie:** *technisch dichte* Anlagen und Anlagenteile (s. Tab. 4.40)

Bei der praktischen Umsetzung der Kriterien gem. Tabelle 4.40 gilt nach [77]:

- Bei Anlagen und Anlagenteilen, die technisch dicht sind, sind seltene Freisetzungen nicht auszuschließen, sodass explosionsfähige Bereiche der Zone 2 oder Zone 22 zu erwarten sind.

**Tabelle 4.40** Kriterien und Beispiele für *technisch dichte Anlagen und Anlagenteile* [77]

Bei Anlagenteilen, die technisch dicht sind, sind seltene Freisetzungen zu erwarten. Anlagenteile gelten als technisch dicht, wenn bei einer für den Anwendungsfall geeigneten Dichtheitsprüfung oder Dichtheitsüberwachung bzw. -kontrolle, z.B.

1. für Gase
    - mit schaumbildenden Mitteln oder mit Lecksuch- oder -anzeigegeräten,
  2. für Stäube
    - mit regelmäßiger Kontrolle auf Staubaustritte und -ablagerungen sowie auf sichtbare Defekte oder Beschädigungen
- eine Undichtheit nicht erkennbar ist.

Beispiele für technisch dichte Anlagenteile sind:

1. für Gase
  - Flansche mit glatter Dichtleiste und keinen besonderen konstruktiven Anforderungen an die Dichtung,
  - Schneid. und Klemmringverbindungen in Leitungen größer DN 32,
  - Pumpen, deren technische Dichtheit auf Dauer nicht gewährleistet ist (z.B. mit einfach wirkender Gleittringdichtung),
  - lösbar Verbindungen nach Tab. 4.38, die nicht nur selten gelöst werden,
  - dynamisch beanspruchte Dichtungen, z.B. bei Wellendurchführungen an Pumpen,
  - thermisch beanspruchte Dichtungen an Anlagenteilen.
2. für Stäube
  - Kompensatoren,
  - flexible Verbindungen,
  - Stopfbuchsabdichtungen,
  - lösbar Verbindungen nach Tab. 4.38, die nicht nur selten gelöst werden,
  - Mannlöcher und Inspektionsöffnungen, die nicht nur selten geöffnet werden.

### 3. Kategorie: Anlagen/Anlagenkomponenten mit *betriebsbedingten Austritten brennbarer Stoffe*

Betriebsbedingte Austrittsstellen sind z.B.

- Entspannungsleitungen, inkl. für Notentspannung,
- Abblaseleitungen von Sicherheitsventilen bzw. Berstscheiben ins Freie,
- offene Füll- und Umfüllstellen,
- Entlüftungs- und Entwässerungsstutzen/-leitungen,
- Anschlüsse für flexible Schläuche zum Be- und Entladen (u.a. Kesselwagen oder TKW-Verladung),
- Probenahmestellen für Laboranalysen,
- offene Übergabestellen für Schüttgüter, nicht kontrollierte Flansch- und Gehäusedichtungen bzw. Wellen- und Spindeldurchführungen.

In Anlagen und Anlagenkomponenten, in denen die Maßnahmen gemäß Tabelle 4.39 und 4.40 nicht vollständig durchgeführt werden oder ein betriebsbedingter Austritt brennbarer Stoffe erfolgt, kann es zur Bildung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre kommen. In diesen Fällen gilt nach [77]:

- *Außerhalb von Anlagen und Anlagenteilen, die weder auf Dauer technisch dicht sind noch technisch dicht sind, ist mit der Bildung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre zu rechnen, die in eine Zone 1 oder 21 einzustufen ist.*

Weitere Maßnahmen, um im 1. Schritt gemäß Abb. 4.57 die *Bildung explosionsfähiger Atmosphäre* soweit wie möglich einzuschränken sind:

- Prüfen der Anlage und Anlagenkomponenten auf Dichtheit vor Erstinbetriebnahme und wiederkehrend.
- Realisieren einer Belüftung gemäß einem einzuhaltenden Luftwechsel (z.B. 5facher Luftwechsel pro Stunde).
  - Sollen Lüftungsmaßnahmen die Bildung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre verhindern, müssen
    - die Wirksamkeit (Stärke, Zuverlässigkeit usw.) der Lüftung sicher gewährleistet sein,
    - die Menge und Verteilung möglicher brennbarer Stoffe (Leckagen), auch im Gebiet der Austrittsstelle, bekannt sein,
    - bei Ausfall der Lüftung sicherheitsgerichtete Sicherungsmaßnahmen (z.B. Notentspannung) eingeleitet werden.
  - Insgesamt ist es schwierig, wenn nur durch Lüftungsmaßnahmen die Bildung einer explosionsfähigen Atmosphäre verhindert werden soll.
- Realisieren örtlicher Absaugung an der erwarteten Leckagestelle.
- Überwachung der Konzentration von brennbaren Stoffen in der Umgebungsluft von Anlagen und Anlagenkomponenten
  - Gaswarneinrichtungen sind insbesondere in Räumen (Verdichterhalle, Kesselhaus, Produktionsraum, Gefahrstofflager u.ä.) üblich.
  - In Abhängigkeit von der Gefahrensituation sind möglich:
    - Gaswarneinrichtung mit Alarmierung und ggf. Eingriff (Verriegelung), z.B. Abschaltung des Brenners.
    - Der Eingriff kann fallspezifisch so erfolgen, dass die Anlage in Betrieb bleibt, z.B. durch
      - Einblocken des undichten Abschnitts,
      - Zuschalten einer Lüftung oder Absaugung,
      - Abschalten wirksamer Zündquellen usw.
    - oder automatisch in einen sicheren Betriebszustand gefahren wird.

#### d) Einteilung der explosionsgefährdeten Bereiche (Zoneneinteilung)

Gelingt es im 1. Schritt gemäß Abb. 4.57 nicht, die Bildung von gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre völlig zu verhindern, muss sich die Anlagenplanung

und Anlagenrealisierung in geeigneter Weise darauf einstellen. Zunächst gilt es den Ex-Zustand exakt zu definieren, indem die explosionsgefährdeten Anlagenbereiche in sog. Ex-Zonen eingestuft werden.

Die Ergebnisse der Einstufung sind grafisch in Gefahrenzonenplänen (Ex-Zonenpläne) inkl. ergänzender Ansichten, Erläuterungen u.ä. zu dokumentieren.

Die Zoneneinteilung der explosionsgefährdeten Bereiche ist europaweit einheitlich in der ATEX-Betriebsrichtlinie [76] geregelt (s. Abschn. 2.3.1.3, Buchst. b)).

In Anhang 1, Nummer 1, Abs. 1.7 der Gefahrstoffverordnung [65] wurde diese Richtlinie mit kleinen begrifflichen Änderungen wie folgt in deutsches Recht überführt:

Abs. 1.7: Zoneneinteilung explosionsgefährdeter Bereiche

**Zone 0**

ist ein Bereich, in dem gefährliche explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden ist.

**Zone 1**

ist ein Bereich, in dem sich bei Normalbetrieb gelegentlich eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen und Nebeln bilden kann.

**Zone 2**

ist ein Bereich, in dem bei Normalbetrieb eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln normalerweise nicht oder aber nur kurzzeitig auftritt.

**Zone 20**

ist ein Bereich, in dem gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbarem Staub ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden ist.

**Zone 21**

ist ein Bereich, in dem sich bei Normalbetrieb gelegentlich eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbarem Staub bilden kann.

**Zone 22**

ist ein Bereich, in dem bei Normalbetrieb eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbarem Staub normalerweise nicht oder aber nur kurzzeitig auftritt.

Als Normalbetrieb gilt der Zustand, in dem Anlagen innerhalb ihrer Auslegungsparameter verwendet werden. Im Zweifelsfall ist die strengere Zone zu wählen.

Schichten, Ablagerungen und Aufhäufung von brennbaren Stäuben sind wie jede andere Ursache, die zur Bildung einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre führen kann, zu berücksichtigen.

Die Zoneneinteilung ist in die Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung (Explosionsschutzdokument) zu dokumentieren.

Die angeführte Zonendefinition verwendet, abweichend zur EU-Richtlinie [76], den Begriff „gefährliche explosionsfähige Atmosphäre“ (s. Abschn. 2.3.2.2, Buchst. d)).

Allgemeine Hinweise zur Zoneneinstufung in verfahrenstechnischen Anlagen, die teilweise auf den Angaben der Tabellen 4.39 und 4.40 basieren, sind in Tabelle 4.41 zusammengestellt.

**Tabelle 4.41** Hinweise zur Zoneneinstufung in verfahrenstechnischen Anlagen [77]

- 
- Zone 0:** In den meisten Fällen nur das Innere von Anlagen und Anlagenkomponenten (Apparate, Behälter, Tanks), wenn die Bedingungen der Zone 0 erfüllt sind.
- Zone 1:** Hierzu gehören z.B. folgende Bereiche:
- die nähere Umgebung der Zone 0,
  - die nähere Umgebung von Abblaseöffnungen ins Freie (Notentspannung, Sicherheitsventil),
  - die nähere Umgebung von Beschickungsöffnung (Füllstutzen, Trichter) bzw. Entnahme-/Entleerungsöffnungen,
  - der nähere Bereich um offene Auffangräume (Gruben, Tanktassen),
  - der nähere Bereich um nicht ausreichend dichte Stopfbuchsen (Spindel, Welle).
- Zone 2:** Hierzu gehören z.B.:
- Bereiche, welche die Zone 0 oder 1 umgeben,
  - Bereiche um technisch dichte Anlagen bzw. Anlagenteile (s. Tab. 4.39)
- Zone 20:** In den meisten Fällen nur das Innere von Anlagen und Anlagenkomponenten (Silo, Mühle, Trockner, Mischer, Zyklon), wenn die Bedingungen der Zone 0 erfüllt sind.
- Zone 21:** Im Inneren bzw. in der Umgebung betriebsbedingter Öffnungsstellen, wenn gelegentlich gefährliche explosionsfähige Atmosphäre auftritt.
- Zone 22:** In der Umgebung von Zone 20 und 21 sowie um technisch dichte Anlagen (s. Tab. 4.39).
- 

Neben diesen allgemeinen Hinweisen gibt es in der DGUV Regel 113 001: Explosionsschutz-Regeln (EX-RL) [78] eine umfangreiche Beispielsammlung.

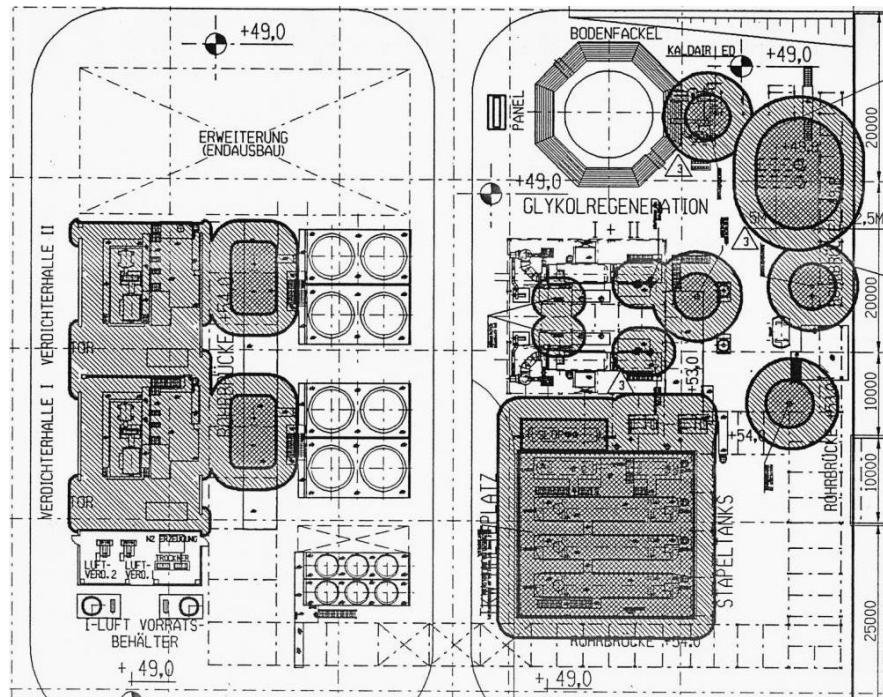
Das Beispiel eines *Gefahrenzonenplans* bzw. Ex-Zonenplans zeigt Abb. 4.59. Diese Pläne werden nicht nur Teil der Genehmigungsunterlagen, sie bilden auch die Basis für die Spezifikation derjenigen Maschinen- und Geräte, die im Exbereich eingesetzt werden.

### e) Fertigstellen des Explosionsschutzdokuments

In § 6 (Informationsermittlung und Gefährdungsbeurteilung) der GefStoffV [64] [65], Abs. (9) wird vom Arbeitgeber gefordert, dass er in der Dokumentation über die Gefährdungsbeurteilung gemäß Abs. (8) die „Gefährdungen durch gefährliche explosionsfähige Gemische besonders ausweist“; in Form eines Explosions-schutzdokuments.

Daraus muss insbesondere hervorgehen:

1. dass die Explosionsgefährdungen ermittelt und einer Bewertung unterzogen worden sind,



**Abb. 4.59** Gefahrenzonenplan eines Betriebs (Auszug)

2. das angemessene Vorkehrungen getroffen werden, um die Ziele des Explosionsschutzes zu erreichen (Darlegen des Explosionsschutzkonzepts),
3. ob und welche Bereiche entsprechend Anhang I Nummer 1.7 in Zonen eingeteilt wurden,
4. für welche Bereiche Explosionsschutzmaßnahmen nach § 11 (d. Verf.: Besondere Schutzmaßnahmen gegen physikalisch-chemische Einwirkungen, insbesondere gegen Brand- und Explosionsgefährdungen) und Anhang I Nummer 1 getroffen wurden,
5. wie die Vorgaben nach § 15 (d. Verf.: Zusammenarbeit verschiedener Firmen) umgesetzt werden und
6. welche Überprüfungen nach § 7 (d. Verf.: Grundpflichten) Absatz 7 und welche Prüfungen zum Explosionsschutz nach Anhang 2 Abschnitt 3 der Betriebssicherheitsverordnung durchzuführen sind.

Das Explosionsschutzkonzept ist somit inhaltlich ins Explosionsschutzdokument integriert und umfasst „angemessene Vorkehrungen“ (Maßnahmen/Aktionspunkte), die bis zur „Aufnahme der Tätigkeit der Beschäftigten“ (d. Verf.: Beginn Inbetriebnahme) zu erledigen sind.

Das Inhaltsverzeichnis eines Explosionsschutzdokuments für eine Chemieanlage, die sich allerdings bereits im Dauerbetrieb befand, ist in Tabelle 4.42 enthalten.

**Tabelle 4.42** Inhaltsverzeichnis eines Explosionsschutzdokuments für eine Chemieanlage im Dauerbetrieb

<b>1</b>	<b>Allgemeines</b>
1.1	Betrieb
1.2	Organisation
<b>2</b>	<b>Gefährdungsbeurteilungen betreffs Explosionsgefahren</b>
2.1	Explosionsgefahren innerhalb der Ausrüstungen
2.2	Zoneneinteilung außerhalb der Ausrüstungen
2.2.1	Stoffe
2.2.2	Maßnahmen zum Vermeiden von Freisetzungen (Stoffe)
2.2.3	Maßnahmen zum Erkennen einer Freisetzung
2.2.4	Lüftungsmaßnahmen
2.2.5	Resultierende explosionsgefährdete Bereiche
2.2.6	Anlagenteil A
2.2.7	Tanklager
2.2.8	Gebäude B
<b>3</b>	<b>Prüfungen zum Explosionsschutz</b>
3.1	Prüfung vor Erstinbetriebsnahme
3.2	Wiederkehrende Prüfungen
3.3	Prüfung nach Instandsetzung
<b>4</b>	<b>Zündquellenkataster</b>
<b>5</b>	<b>Erfüllung relevanter Vorschriften zum Explosionsschutz</b>
<b>6</b>	<b>Anhang</b> (u. a. Gefahrenzonenpläne)

Im Unterschied zu Tabelle 4.41 muss das im Basic Engineering erarbeitet Explosionsdokument (Bearbeitungsstatus: AFD – Approved for Design) wesentlich mehr Vorkehrungen/Maßnahmen enthalten, die in den nachfolgenden Projektphasen umzusetzen sind (s. den 4. Schritt des Ablaufschemas in Abb. 4.57.).

Zu diesen Maßnahmen gehören beispielsweise:

- Erarbeiten von Spezifikationen für Geräte (inkl. Maschinen) und Schutzsysteme gemäß ATEX-Herstellerrichtlinie [57], die in explosionsgefährdeten Bereichen zum Einsatz kommen,
- Realisieren einer sachkundigen und zuverlässigen Abschottung der Brandabschnitte sowie ggf. druckentlastender Dächer und/oder Wände,
- strikte Planung geschlossener und dichter Anlagensysteme (Gaspendelsystem u.ä.) sowie wenig explosionsgefährdeter Entspannungssysteme (Fackel, Blow-down-System),
- Einbau von Flammenrückschlagsicherungen u.ä. Bauteilen in Rohrleitungen, um eine Brand- bzw. Explosionsausbreitung zu verhindern,
- eigensichere Verkabelung der PLT-Einrichtungen (ggf. außer Elektrotechnik),
- explosionsdruckfeste Konstruktion von Ausrüstungen (Behälter, Apparate) und Klemmenkästen der Elektrotechnik,
- Erarbeiten spezieller Betriebsanweisungen,

- Einweisung und Unterweisung der Beschäftigten,
- Anwendung eines strikten Arbeitsfreigabesystems.

Abschließend sollen noch einige Fragen beantwortet werden, die sich häufig bei der Umsetzung der Aufgaben nach Buchst. c) bis e) dieses Abschnitts 4.3.3 im weiteren Projektablauf ergeben.

- *Wer ist der in der Vorschrift verantwortlich gemachte Arbeitgeber?*
  - Arbeitgeber ist gemäß dem Anliegen der GefStoffV der spätere Anlagenbetreiber; in Person des Betriebsleiters.
  - Im besonderen Fall, z. B. bei einem **LSTK-Vertrag**, kann auch der Generalunternehmer den verantwortlichen Inbetriebnahmleiter stellen und gegebenenfalls in dieser Funktion für das Explosionsschutzdokument „vor Aufnahme der Tätigkeit“ verantwortlich sein.
- *Wann ist das Explosionsschutzdokument zu erarbeiten?*
  - In der GefStoffV steht: „Der Arbeitgeber hat die Gefährdungsbeurteilung (d. Verf.: inkl. die Gefährdungen durch gefährliche explosionsfähige Gemische) unabhängig von der Zahl der Beschäftigten erstmals vor Aufnahme der Tätigkeit zu dokumentieren (d. Verf.: im Explosionsschutzdokument).“
  - Bei Anlageninvestitionen bedeutet dies: „vor Inverkehrbringen der Anlage“ bzw. „vor Beginn des Bestimmungsgemäßen Betriebs“ bzw. „vor Inbetriebnahmebeginn“.
  - Dieser Zeitpunkt ist aber für die Projektabwicklung zu spät. Die Ergebnisse der o.g. Beurteilungen, Einstufungen und Vorkehrungen werden am Ende des Basic Engineerings für die Genehmigungsplanung und Kostenermittlung benötigt.  
Sie sind ferner Bestandteile des Pflichtenhefts für die Ausschreibung der Ausführungsplanung und/oder der Anlagenrealisierung. Nicht zuletzt werden sie für die Bestellung terminkritischer Lieferungen und Leistungen benötigt.
  - Würde zu diesem Zeitpunkt keine Gefährdungsbeurteilung mit Explosionschutzdokument erarbeitet, müssten die gleichen Erkenntnisse auf anderem Weg gewonnen werden, z.B. indem die Arbeiten in die Risikobeurteilung nach Abschn. 4.3.3 integriert werden.
- *Wer erarbeitet verantwortlich das Explosionsschutzdokument?*
  - In der Regel wird der Auftraggeber die Aufgabe zum Erarbeiten des Explosionsschutzdokuments während des Basic Engineering an den Engineeringpartner übertragen. Er wirkt dabei mit.
- *Wie sollte das Explosionsschutzdokument erarbeitet werden?*
  - Im Allgemeinen wird das Explosionsschutzdokument (außerhalb der Risikobeurteilung nach Abschn. 4.3.3) im Team und mittels WHAT-IF-Methode oder Brainstorming-Methode erarbeitet.
  - Grundsätzlich ist aber auch eine Integration in die Gesamt-Risikobeurteilung, z. B. mit Hilfe der HAZOP- oder WHAT-IF-Methode, möglich.

## 4.4 Basic Engineering-Dokumentation, Pflichtenheft

### a) Vorbemerkungen und Trends

Die Basic Engineering-Dokumentation muss die gravierende Schnittstelle zwischen dem Konzept-/Entscheidungsabschnitt und dem Ausführungs-/Errichtungsabschnitt des Projekts bedienen (s. Abschn. 1.2).

Trotz der gegebenen Projektspezifik sind dabei im Allgemeinen folgende Bedingungen anzutreffen:

- In vielen Projekten wechselt zu diesem Zeitpunkt, nach positiver Investitionsentscheidung, der Engineeringpartner. Nicht selten ist der Basic-Engineer während der weiteren Projektabwicklung, egal ob sie auf Grundlage eines **EPCM-Vertrags** oder eines **LSTK-Vertrags** stattfindet, nicht mehr dabei (s. Abschn. 2.5.3.2).
- Das Auftraggeber-Management erwartet für die Investitionsentscheidung eine zunehmend genaue Kostenkalkulation, z.B. maximal zulässige Abweichungen (Ungenauigkeiten) bei den kalkulierten Kosten von  $\pm 5\%$ .
- Die Genehmigungsbehörden und das Genehmigungsverfahren fordern nicht selten immer detailliertere und umfangreichere Angaben und Unterlagen.
- Die Projektabwicklungen nach erfolgter Budget-Freigabe werden, insbesondere bei großen Anlageninvestitionen, zunehmend internationaler. Die internationale Arbeitsteilung kommt immer mehr zum Tragen.
- Die Intentionen des Front-End-Loading (s. Abschn. 1.3) werden bekannter und mehr praktiziert.

Die angeführten Bedingungen bewirken, dass die Planungstiefe bis Ende Basic Engineering tendenziell größer wird und die Anforderungen an die Basic Engineering-Dokumentation steigen. Man nutzt dafür den Begriff *Extended Basic* (Ausführliches Basic). Das Inhaltsverzeichnis in Tab. 4.42 entspricht diesem Trend.

### b) Zusammenhang von Basic Engineering-Dokumentation und Pflichtenheft

Das Pflichtenheft, wie in der Definition für einen LSTK-Vertrag angeführt:

**Pflichtenheft** ist die Zusammenstellung von Vorgaben für die Ausführungsplanung, Herstellung und Inbetriebnahme der Anlage

(Synonyme: Aufgabenstellung/Spezifikation für Anlage, Requirement Specification, FEL-Dokumentation)

und die Basic Engineering-Dokumentation sind nicht identisch.

Das Pflichtenheft ist mehr als die Basic Engineering-Dokumentation aus folgendem Grund:

- Die Basic Engineering-Dokumentation beinhaltet in erster Linie die bis zum Ende der Phase 3 erarbeiteten Engineeringergebnisse. Damit ist sie die fachliche Basis und das wichtigste Input für das Pflichtenheft.
- Das Pflichtenheft nimmt die organisatorisch-administrativen Vorgaben und Rahmenbedingung aus dem Lastenheft (s. Tab. 2.20 in Abschn. 2.4.2) mit auf.

- Das Pflichtenheft beschreibt den Bearbeitungsstatus zum Zeitpunkt der Investitionsentscheidung (Budget-Freigabe), d. h. am Ende der Phase 5 und nicht am Ende der Phase 3.  
Änderungen am Engineering, die sich während des Genehmigungsverfahrens oder bei der Investitionsentscheidung ergeben haben und im Normalfall nicht umfangreich sind, werden im Pflichtenheft berücksichtigt, d.h die ursprüngliche Basic Engineering-Dokumentation wird angepasst.
- Der auf den Dokumenten angegebene Bearbeitungsstatus AFD (Approved for Design) (s. Tab. 1.9 in Abschn. 1.8.2) beschreibt exakt den Status des Pflichtenhefts.

Letztlich hat das Pflichtenheft eine andere Funktion zu erfüllen. Es soll nicht Engineeringergebnisse dokumentieren, sondern ist die ganzheitliche Basis für die Ausschreibung sowie die Vertragsgestaltung und Auftragsvergabe zur Herstellung der Anlage.

### c) Gliederung und Inhalt der Basic Engineering-Dokumentation

Die Dokumente der Basic Engineering-Dokumentation sollten alle den Bearbeitungsstatus AFD (Approved for Design) haben.

Gibt es an einzelnen Dokumenten bis zur Investitionsentscheidung bzw. bis zur Vergabe der Ausführungsplanung inhaltliche Änderungen, müssen diese Dokumente revidiert und der neue Revisionsindex inkl. Begründung auf dem Dokument vermerkt werden. Der Bearbeitungsstatus AFD bleibt davon unberührt.

Das Inhaltsverzeichnis einer ausführlichen Basic Engineering-Dokumentation (Extended Basic), das dem eines Pflichtenheft weitgehend entspricht, ist in Tabelle 4.43 angegeben. Es kann wie eine Checkliste genutzt werden.

**Tabelle 4.43** Inhaltsverzeichnis einer Basic Engineering-Dokumentation (Praxisbeispiel)

---

#### 1 Verfahrensgrundlagen

- 1.1 Entwurfsdaten (Kapazität, Ausbeute, Produktionskapazität, Betriebszeiten u. ä.)
- 1.2 Rohstoffspezifikation
- 1.3 Produktspezifikationen
- 1.4 Spezifikation der Medien und Energien
- 1.5 Auslegungswerte Emissionen
- 1.6 Angaben zu Anlagengrenzen
- 1.7 Begründung und Dokumentation der Verfahrenswahl  
Vorgaben zu Verfahrensgarantien

---

#### 2 Rahmenbedingungen für Projektabwicklung

- 2.1 Zu beachtende Rechtsvorschriften (international und national)
- 2.2 Genehmigungsrechtliche u.a. behördliche Vorgaben
- 2.3 Anforderungen an Umweltschutz
- 2.4 Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen
- 2.5 Vorgaben zur Sicherheitstechnik
- 2.6 Vorgaben zur Alarm- und Gefahrenabwehr am Standort
- 2.7 Vorgaben zu Qualitätsstandards und Qualitätssicherung
- 2.8 Zu beachtende Unternehmensrichtlinien und -standards

**Tab. 4.43** (Fortsetzung)**2 Rahmenbedingungen für Projektabwicklung** (Fortsetzung)

- 2.9 Vorgaben zu Normen u.a. Regeln zum Stand der Technik
- 2.10 Angaben zum Standort inkl. Werksinfrastruktur
- 2.11 Vorgaben zum Anlagenbetrieb inkl. Inbetriebnahme/Außerbetriebnahme
- 2.12 Vorgaben zur Anlageninstandsetzung und Shutdown
- 2.13 Administrative Anforderungen (Projektmanagement, Controlling u.ä.)
- 2.14 Zusammenhang mit anderen Projekten
- 2.15 Sonstige Vorgaben zu Gewährleistung und Garantien

**3 Weitere Vorgaben zur Design Basis**

- 3.1 Klimadaten
- 3.2 Geländedaten (Bodenuntersuchung, Topographische Daten)
- 3.3 Werksplan, Vermessungsdaten
- 3.4 Vorgaben zur Anlagengestaltung (Lage- und Aufstellungsplanung)
- 3.5 Vorgaben zu NOT-HALT, NOT-AUS, Notentspannung
- 3.6 Vorgaben zum Brand- und Explosionsschutz
- 3.7 Vorgaben zum Lärmschutz (alle Fachdisziplinen)
- 3.8 Vorgaben zum Wärme- und Kälteschutz (alle Fachdisziplinen)
- 3.9 Vorgaben zur Anlagenverfügbarkeit

**4 Verfahrensplanung (Basic Design)**

- 4.1 Grundfließschemata
- 4.2 Verfahrensfließschemata inkl. Stoffstromleiste
- 4.3 R&I-Fließschemata inkl. Apparateleiste
- 4.4 Verfahrens- und Anlagenbeschreibung inkl. Funktionsbeschreibung
- 4.5 Stoff- und Massenbilanzen inkl. Schemata, Bilanzstellenliste
- 4.6 Stoffstromlisten
- 4.7 Liste Gefahrstoffe und Sicherheitsdatenblätter für Gefahrstoffe
- 4.8 Liste der wassergefährdenden Stoffe
- 4.9 Verbrauchszahlen für Roh- und Hilfsstoffe, Katalysator u.ä.
- 4.10 Energiebilanzen inkl. Schemata
- 4.11 Verbrauchszahlen (min, norm, max) für Energien (Wärme, elektrische Energie),
- 4.12 Abfallprodukte und Abfallenergien, Liste der Abfälle nach KrWG
- 4.13 Auslegungsdrücke und -temperaturen, Druckstufen (Dokumentation zu Festlegungen)
- 4.14 Dokumentation der Werkstoffauswahl für Hauptausrüstungen
- 4.15 Datenblätter der Hauptausrüstungen inkl. Hauptabmessungen, Prozessparameter, Werkstoffangaben, Korrosionszuschläge, Korrosionsschutz usw.
- 4.16 Entwurfszeichnungen für Hauptausrüstungen inkl. Vorgaben für technologischen Stahlbau
- 4.17 Listen Hauptausrüstungen inkl. Druckbehälter, WHG-Behälter usw.
- 4.18 Berichte über Auswahl und Auslegung der Sicherheitsarmaturen
- 4.19 Datenblätter für Sicherheitsventile (beginnen)
- 4.20 Verfahrensschemata mit Mengen- und Wärmebilanz für Genehmigungsantrag

**5 3D-Anlagen- und Aufstellungsentwurfsplanung**

- 5.1 Lageplan (z. B. Maßstab 1:2000)
- 5.2 Anlagen-Layout (z.B. Maßstab 1:500) mit Teilanlagen, Gebäude, Bauwerke, Straßen, Trassen, Wege, Lager- und Freiflächen u.ä.

**Tab. 4.43** (Fortsetzung)

- 
- 5 3D-Anlagen- und Aufstellungsentwurfsplanung** (Fortsetzung)
- 5.3 3D-Anlagenentwurf (zgl. Hauptausrüstungen, Hauptrohrleitungen, Kabeltrassen, Lüftungskanäle)
  - 5.4 Aufstellungspläne (z.B. Maßstab 1:100)
  - 5.5 Aufstellungspläne für Genehmigungsantrag
- 
- 6 Rohrleitungsentwurfsplanung**
- 6.1 Dokumentation hydraulische Auslegung Rohrleitungen
  - 6.2 Rohrleitungsliste (beginnen)
  - 6.3 Rohrklassen auswählen bzw. erarbeiten
  - 6.4 Dichtungsklassen auswählen bzw. erarbeiten
  - 6.5 Armaturenklassen auswählen bzw. erarbeiten
  - 6.6 Einbindepunktliste (Tie-In-List)
  - 6.7 Konzept Stressberechnungen
- 
- 7 Bau-/Stahlbauentwurfsplanung**
- 7.1 Auslegungsdaten für Wind, Niederschläge u.ä.
  - 7.2 Topographische Karte
  - 7.3 Geotechnisches und hydrologisches Gutachten
  - 7.4 Festlegung der Lasten
  - 7.5 vorläufige Berechnung Stahlbau und Fundamente
  - 7.6 Zeichnungen Bau-/Stahlbau gemäß Tab. 4.23 in Abschn. 4.2.5
  - 7.7 Baukonzept/Baubeschreibung
  - 7.8 Brandschutzkonzept (baulicher Brandschutz)
  - 7.9 Entwurf Raumprogramm und ggf. ausgewählte Raumbücher
  - 7.10 Unterflureinrichtungen
  - 7.11 Fachspezifische Berechnungen (Auffangvolumina, Treppenräume, Aufzugschächte, Energieschächte u.ä.)
  - 7.12 Abschätzung Dämmschichtdicken
  - 7.13 Konzeption für Korrosionsschutz Bau-/Stahlbau
  - 7.14 Hauptmaßnahmen zur Geländeerschließung
  - 7.15 bauliche Maßnahmen gemäß Wasserhaushaltsgesetz
  - 7.16 Bauvorlage für Genehmigungsantrag
- 
- 8 Entwurfsplanung Mess-, Steuer-, Regelungstechnik (MSR) und Prozessleitsystem (PLS)**
- 8.1 Darstellen PLT-Kreise in R&I-Fließschemata
  - 8.2 MSR-Stellendatenblätter (beginnen)
  - 8.3 Klassifizieren PLT-Sicherungseinrichtungen und Kennzeichnen im R&Is
  - 8.4 NOT-AUS- und NOT-HALT-Schaltungen identifizieren und spezifizieren
  - 8.5 Messstellenliste (beginnen) und Alarm- und Grenzwertlisten (beginnen)
  - 8.6 Grob-MSR-Stellenpläne
  - 8.7 Regelschema inkl. Beschreibung
  - 8.8 MSR-Geräteliste (beginnen)
  - 8.9 Ursache-Wirkung-Listen (beginnen)
  - 8.10 Ablauf-Funktionspläne und Grundfunktionsbeschreibung
  - 8.11 Spezifikation Prozessleitsystem (Struktur, Komponenten, Signalübertragung)
  - 8.12 Spezifikation Messwerte und Schalträume
  - 8.13 Entwurf Kabeltrassen, -schächte, -schiene, -rohre
  - 8.14 Konzept Steuerluft-Versorgung
-

**Tab. 4.43** (Fortsetzung)**9 Entwurfsplanung Elektrotechnik**

- 9.1 ET-Geräteliste bzw. ET-Verbraucherliste
- 9.2 Motorenendatenblätter (beginnen)
- 9.3 ggf. Motorenliste inkl. Frequenzumrichter/Sanftanlaufgeräte extra
- 9.4 Übersichtsschaltpläne Spannungsversorgung
- 9.5 Konzept Staffelversorgung der Verbraucher (Entwurf Schutzstaffelplan)
- 9.6 Konzept Notstromversorgung
- 9.7 Beleuchtungskonzept
- 9.8 Konzept Erdung, Blitzschutz
- 9.9 Konzept Elektrische Begleitheizung
- 9.10 Spezifikation elektrotechnischer Räume (Schalträume, Umspann-/Trafostation)

**10 Entwurfsplanung Sonstiger Fachdisziplinen (NAT, TGA, PAT, LAT)**

- 10.1 Fließschemata für TGA
- 10.2 Auswahl und Auslegung TGA-Hauptausrüstungen (Datenblätter, Listen)
- 10.3 Auslegung Be-/Entlüftung
- 10.4 Einplanen Zu-/Abluftkanäle in 3D-Anlagenentwurf
- 10.5 PLT-Entwurfsplanung für TGA (ggf. auch Gebäudeleitsystem)
- 10.6 Konzeption der innerbetrieblichen Kommunikation (Telefon, Sprechfunk, Internet, Bereitschaftsdienst u.a.)
- 10.7 Konzeption der außerbetrieblichen Kommunikation (Nachbarbetriebe, Werksleitstellen, Feuerwehr, Kommunikation u.a.)
- 10.8 Zusammenstellung Probenahmestellen, Analysenmethoden und -geräte
- 10.9 Spezifikation Laborraum und -einrichtungen

**11 Gesundheit – Sicherheit – Umweltschutz (GSU) (s. auch Verfahrensplanung)**

- 11.1 Ergebnisbericht Risikobeurteilung inkl. Aktionspunktliste
- 11.2 Beurteilung der Brand- und Explosionsgefährdungen sowie Explosionsschutzdokumente inkl. Gefahrenzonenpläne
- 11.3 ggf. Entwurf Alarm- und Gefahrenabwehrplan (AGAP)
- 11.4 Liste Gefahrstoffe mit Mengenangaben, Sicherheitsdatenblätter
- 11.5 Liste der wassergefährdenden Stoffe mit Mengenangaben
- 11.6 Notentspannungskonzept (s. auch MSR-Entwurfsplanung)
- 11.7 Brandschutzkonzept, inkl. Melder, Feuerwehrplan
- 11.8 Spezifikation Gaswarneinrichtungen
- 11.9 Entsorgungskonzept
- 11.10 Schallschutzprognose und -konzept
- 11.11 ggf. Umweltverträglichkeitsprüfung
- 11.12 Sicherheitsbetrachtungen in Vorbereitung des Genehmigungsantrags; gegebenenfalls Sicherheitsbericht nach Störfallverordnung Ausbreitungsrechnung
- 11.13 Dokumente für Genehmigungsantrag

**12 Bedienungskonzeption****13 Instandhaltungskonzeption****14 Sonstige Vorgaben und Hinweise für Ausführungsplanung****15 Beschaffungskonzeption (inkl. Bau, Montage, Inbetriebnahme)****16 Vorbereiten der Bestellungen terminkritischer Lieferungen/Leistungen****17 Angaben zum Projektmanagement (Organisation, Controlling)**

Unter Punkt 14 des Inhaltsverzeichnisses sollte der Entwurfsplaner gemäß seinen Fachkenntnissen und Erfahrungen *besondere Hinweise* bzw. *Vorgaben* an die Ausführungsplanung kurz zusammenfassen, die aus seiner Sicht:

- sehr wichtig und/oder Know-how-trächtig sind,
- in den Engineeringdokumenten schwierig darzustellen sind bzw. schnell übersehen werden,
- ergänzend zur grafischen Darstellung nochmals textlich beschrieben werden.

Nicht selten ist die Beachtung dieser wenigen aber wichtigen Hinweise/Vorgaben von entscheidender Bedeutung für den Anlagenbetrieb. Die Hinweise/Vorgaben sollten nach Fachdisziplinen gegliedert sein.

Bezogen auf Punkt 16 des Inhaltsverzeichnisses sollten während der Entwurfsplanung die terminkritischen Lieferungen (z. B. Spezialanfertigungen) und Leistungen (z.B. Tätigkeiten von Spezialisten) ermittelt und gemäß der Vorgehensweise bei der Beschaffung, vorab von den sonstigen Lieferungen/Leistungen, bis zur Bestellreife gebracht werden. Damit sind die Voraussetzungen geschaffen, vorab auf Risiko zu bestellen oder zumindest gleich nach der getroffenen Investitionsentscheidung die Bestellung vornehmen zu können.

Die Basic Engineering-Dokumentation wird i. Allg. zunächst elektronisch zusammengestellt. Dabei ist es zweckmäßig, wenn im Dateinamen der Bearbeitungsstatus: AFD (Approved for Design) enthalten ist, sodass diese Dokumente einfach selektiert werden können.

#### **d) Erarbeitung des Pflichtenhefts**

Das Pflichtenheft wird entsprechend der Definition und Hinweise unter Buchst. b) dieses Abschnitts erst nach der Investitionsfreigabe erarbeitet. Da zu diesem Zeitpunkt die beabsichtigte Vertragskonstellation klar ist, kann die Erarbeitung zielerichtet erfolgen. Die Inhalte in Tabelle 4.43 spiegeln weitgehend auch die Schwerpunkte des Pflichtenhefts einer klassischen verfahrenstechnischen Anlage wider.

Im Allgemeinen wird im verfahrenstechnischen Anlagenbau im Sinne eines Pflichtenhefts nach der Phase 6 eine

- *Aufgabenstellung für die Engineeringleistungen* der Anlage XYZ (EPCM-Vertrag)
- oder
- *Aufgabenstellung für Ausführungsplanung und Herstellung* der Anlage XYZ (LSTK-Vertrag)

derart erstellt, dass sie später als Technische Spezifikation zum Anlagenvertrag genutzt werden kann.

In dieser Anlagenspezifikation sind die Angaben aus dem Lastenheft (s. Tab. 2.20 in Abschn. 2.4.2) und aus der Basic Engineering-Dokumentation (Tab. 4.42 diese Abschnitts) zu verarbeiten.

Die Bezeichnung *Pflichtenheft* für diese Gesamt-Aufgabenstellung ist im verfahrenstechnischen Anlagenbau eher selten.

## Literatur

- [1] Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure – HOAI) vom 10.07.2013
- [2] DIN EN ISO 10628: Fließschemata für verfahrenstechnische Anlagen, Allgemeine Regeln
- [3] DIN 28000, Chemischer Apparatebau – Dokumentation im Lebensweg von Prozessanlagen  
Teil 3: Fließschemata und Anlagenkennzeichnung
- [4] DIN 28000, Chemischer Apparatebau – Dokumentation im Lebensweg von Prozessanlagen  
Teil 4: Graphische Symbole für Armaturen und Rohrleitungen
- [5] DIN EN 61511-1 (VDE 0810-1): Funktionale Sicherheit – Sicherheitstechnische Systeme für die Prozessindustrie
- [6] DIN EN 62424 (VDE 0810-24): Darstellung von Aufgaben der Prozessleittechnik – Fließbilder und Datenaustausch zwischen EDV-Werkzeugen zur Fließbilderstellung und CAE-Systemen
- [7] Sattler K, Kasper W (2000) Verfahrenstechnische Anlagen: Planung, Bau und Betrieb, Wiley-VCH Verlag, Weinheim
- [8] Ullrich H (1992) Wirtschaftliche Planung und Abwicklung verfahrenstechnischer Anlagen, Vulkan-Verlag, Essen
- [9] Sattler K (2001) Thermische Trennverfahren, Wiley-VCH Verlag, Weinheim
- [10] Rauch L (1998) Mehrproduktanlagen, Wiley-VCH Verlag, Weinheim et al
- [11] Richtlinie 2014/68/EU (Druckgeräte-Richtlinie) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15.05.2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten über die Bereitstellung von Druckgeräten auf dem Markt
- [12] DIN EN 1333: Definition und Auswahl des Nenndrucks (PN)
- [13] Hahn A, Reif G, Lischewski D, Behle B (1993) Betriebs- und verfahrenstechnische Grundoperationen, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim
- [14] Nitsche M (2011) Rohrleitungs-Fibel für die Praxis, Vulkan-Verlag, Essen
- [15] Gülich J F (2013) Kreiselpumpen – Handbuch für Entwicklung, Anlagenplanung und Betrieb, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
- [16] Entwurf der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV) vom 31.08.2012

- 
- [17] Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – WHG) vom 31.07.2009 (BGBl. I S. 2585)
  - [18] Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen und über Fachbetriebe (VAwS-NRW) vom 20.03.2004
  - [19] Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen und über Fachbetriebe (VAwS-Bayern) vom 18.01.2006
  - [20] Richtlinie zur Bemessung von Löschwasser-Rückhalteanlagen beim Lagern wassergefährdender Stoffe (Löschwasser-Rückhalte-Richtlinie – LöRüRI), Verwaltungsvorschrift der Länder
  - [21] Wagner W (2009) Planung im Anlagenbau, Vogel Verlag, Würzburg
  - [22] DIN EN ISO 6708: Rohrleitungsteile – Definition und Auswahl von DN (Nennweite)
  - [23] Wossog G (Hrsg.) (2008) Handbuch Rohrleitungsbau, Vulkan-Verlag, Essen
  - [24] Wagner W (2012) Strömung und Druckverlust, Vogel Verlag, Würzburg
  - [25] Wagner W (1999) Sicherheitsarmaturen, Vogel Verlag, Würzburg
  - [26] AD 2000 Regelwerk: Merkblatt A2: Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung – Sicherheitsventil vom Oktober 2006
  - [27] Verordnung zur Neuregelung der Anforderungen an den Arbeitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln und Gefahrstoffen – *Artikel 1:* Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln (Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV) vom 03.02.2015 (BGBl. I S. 49)
  - [28] EN 13480: Metallische industrielle Rohrleitungen, Teile 1 bis 8 (s. auch Literaturangabe [21] zu Kapitel 7)
  - [29] PAS 1057: Rohrklassen für verfahrenstechnische Anlagen  
Teil 1: Grundlagen für das Erstellen von Rohrklassen basierend auf EN 13480
  - [30] EN 1092: Flansche und ihre Verbindungen – Runde Flansche für Rohre, Armaturen, Formstücke und Zubehörteile  
Teil 1: Stahlflansche
  - [31] Gramberg U (1993) Chem.-Ing.-Techn. 65, 6, 693-702
  - [32] DIN ISO 8044: Korrosion der Metalle
  - [33] Spiegel W (2009) Hochtemperatur-Korrosion in MVA, Biomasse- und EBS-Kraftwerken, TU-Dresden
  - [34] <https://de.wikipedia.org/org/wiki/Abrasion>

- 
- [35] M Wegst, C Wegst (2012) Stahlschlüssel-Taschenbuch 2013: Wissenswertes über Stähle, Verlag Stahlschlüssel Wegst GmbH
  - [36] DIN 55928: Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungen und Überzüge
  - [37] DGFS (2003) Feuerfestbau: Werkstoffe – Konstruktion – Ausführung, Vulkan-Verlag, Essen
  - [38] DIN 2408: Planungs- und Ausführungsunterlagen von Rohrleitungen verfahrenstechnischer Anlagen  
Teil 1: Begriffe  
Teil 2: Modelle für Rohrleitungen
  - [39] Bernecker G (2001) Planung und Bau verfahrenstechnischer Anlagen: Projektmanagement und Fachplanungsfunktionen, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
  - [40] DIN 1356-1, Bauzeichnungen, Teil 1: Arten, Inhalte und Grundregeln der Darstellung
  - [41] DIN ISO 4157: Zeichnungen für das Bauwesen
  - [42] <https://de.wikipedia.org/wiki/Hohenzollernbrücke>
  - [43] Verordnung über bautechnische Prüfungen (BauPrüfVO) vom 06.12.1995
  - [44] DIN 4102: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen
  - [45] DIN EN 13501: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten
  - [46] van Oeteren K-A (1990) Korrosionsschutz-Fibel, Verband der Lackindustrie
  - [47] Polke M (1994) Prozessleittechnik, Oldenburg Industrieverlag, München
  - [48] Bindel T, Hofmann D (2013) Projektierung von Automatisierungsanlagen – Eine effektive und anschauliche Einführung, Springer Viehweg Verlag, Wiesbaden
  - [49] VDI/VDE-Richtlinien 2180: Sicherung von Anlagen der Verfahrenstechnik mit Mitteln der Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik
  - [50] Strohrmann G (2002) Automatisierung verfahrenstechnischer Prozesse, Oldenburg Industrieverlag, München
  - [51] DIN EN 61131-3: Speicherprogrammierbare Steuerungen  
Teil 3: Programmiersprachen
  - [52] DIN EN 60848: GRAFCET – Spezifikationssprache für Funktionspläne der Ablaufsteuerung

- 
- [53] Wegener E (2003) Montagegerechte Anlagenplanung, Wiley-VCH Verlag, Weinheim
  - [54] Weber K H (2016) Inbetriebnahme verfahrenstechnischer Anlagen: Praxishandbuch mit Checklisten und Beispielen, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
  - [55] DIN EN 13306: Begriffe der Instandhaltung
  - [56] Richtlinie 2006/42/EG (Maschinen-Richtlinie – MRL) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17.05.2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG
  - [57] Richtlinie 2014/34/EU (ATEX-Herstellerrichtlinie) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26.02.2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten für Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen (ABl. L 96/309)
  - [58] Richtlinie 22014/35/EU (Niederspannungsrichtlinie) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26.02.2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten über die Bereitstellung elektrischer Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen (ABl. L 96/357)
  - [59] Richtlinie 2014/30/EU (EMV-Richtlinie) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26.02.2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten über die elektromagnetische Verträglichkeit
  - [60] TRBS 1002: Technische Regeln für Betriebssicherheit: Begriffe
  - [61] Interpretationspapier zum Thema „Gesamtheit von Maschinen“ vom 05.05.2011 (Bek. D. BMAS vom 5.5.2011)
  - [62] TRBS 1111: Technische Regeln für Betriebssicherheit: Gefährdungsbeurteilung
  - [63] Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz – ArbSchG) (BGBl. 07.08.1996)
  - [64] Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV) vom 26.11.2010 (BGBl. I S. 1643)
  - [65] Verordnung zur Neuregelung der Anforderungen an den Arbeitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln und Gefahrstoffen – *Artikel 2: Änderung der Gefahrstoffverordnung vom 03.02.2015* (BGBl. I S. 49)
  - [66] DIN EN 60812: Analysetechniken für die Funktionstüchtigkeit von Systemen – Verfahren für die Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (FEMA)

- [67] DIN 25419: Ereignisablaufanalyse; Verfahren, graphische Symbole und Auswertung
- [68] DIN 25424: Fehlerbaumanalyse; Handrechenverfahren zur Auswertung eines Fehlerbaums
- [69] DIN EN ISO 12100: Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungslösätze – Risikobeurteilung und Risikominderung
- [70] EN ISO 13849: Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen
  - Teil 1: Allgemeine Gestaltungsgrundsätze
  - Teil 2: Validierung
- [71] [http://www.wdr.de/themen/panorama/brand03/dormagen\\_chemiebrand](http://www.wdr.de/themen/panorama/brand03/dormagen_chemiebrand) (2008)
- [72] IEC 61508: Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer, elektronischer u. programmierbarer elektronischer Systeme
  - Teil 1: Allgemeine Anforderungen
  - Teil 2: Anforderungen an sicherheitsbezogene elektrische/elektronische/programmierbare elektronische Systeme
  - Teil3: Anforderungen an Software
  - Teil 4: Begriffe und Abkürzungen
  - Teil 5: Beispiele zur Ermittlung der Stufe der Sicherheitsintegrität (SIL)
  - Teil 6: Richtlinien für die Anwendung von DIN EN 61508-2/61508-3
  - Teil 7: Überblick über Techniken und Maßnahmen
- [73] TRBS 2152: Technische Regeln für Betriebssicherheit: Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre – Allgemeines
- [74] DIN EN 1127: Explosionsfähige Atmosphäre - Explosionsschutz
  - Teil 1: Grundlagen und Methodik
- [75] Elfte Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Explosionsschutzverordnung – 11. ProdSV) vom 12.12.1996 (BGBI. I S. 1914)
- [76] Richtlinie 1999/92/EG (ATEX-Betriebsrichtlinie) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16.12.1999 über Mindestvorschriften zur Verbesserung des Gesundheitsschutzes und der Sicherheit der Arbeitnehmer, die durch explosionsfähige Atmosphären gefährdet werden können (ABl. L 23/57)
- [77] Dyrba B (2012) Praxishandbuch Zoneneinteilung – Einteilung explosionsgefährdeter Bereiche in Zonen, Carl Heymanns Verlag, Köln
- [78] DGUV Regel 113-001: Explosionsschutz-Regeln (EX-RL)
  - Anlage 4: Beispieldatensammlung zur Einteilung explosionsgefährdeter Bereiche in Zonen nach TRBS 2152 Teil 2, Anhang Pkt.2
  - Anlage 5: Alte Beispieldatensammlung (grün)1

# 5 Genehmigungsplanung (Planning for permission)

Die Ausführungen dieses Kapitels beschränken sich ausschließlich auf die Genehmigung von Anlageninvestitionen in Deutschland. In anderen Ländern gelten die entsprechenden nationalen Vorschriften.

## 5.1 Begriffsdefinitionen und Grundsätzliches

Unter **Genehmigungsplanung** (Planning for permission, Project authorisation planning, Permitting) wird die Gesamtheit aller Planungstätigkeiten verstanden, die für

- die Erarbeitung des Genehmigungsantrags,
  - die Durchführung des Genehmigungsverfahrens bis zur Erteilung eines rechtskräftigen Genehmigungsbescheids und
  - die inhaltliche Umsetzung des Genehmigungsbescheids
- erbracht werden. Mitunter wird auch *Behörden-Engineering* gesagt.

Der Begriff *Genehmigung* wird im Anlagenbau häufig allgemein, im Sinne von Zustimmung einer behördlichen Stelle zu einem beabsichtigten Vorhaben eines Verantwortlichen (Investor, Bauherr, Anlagenbetreiber u.ä.) verstanden.

Darüber hinaus gibt es auch ein engeres Begriffsverständnis wie unten definiert und für verfahrenstechnische Anlagen i. Allg. zutreffend.

Die *Genehmigung* stellt die Errichtung und den Betrieb von Anlagen auf eine gesicherte Rechtsgrundlage. Im zugehörigen Genehmigungsverfahren werden die berechtigten Interessen der Allgemeinheit und die Belange des Investors/Bauherrn geprüft, gegeneinander abgewogen und soweit wie möglich ausgeglichen.

*Der Antragsteller sollte die Behörde als Treuhänder staatlicher und öffentlicher Interessen sehen und akzeptieren!*

Im Einzelnen gibt es folgende Möglichkeiten der behördlichen Zustimmung bzw. Freigabe für die Errichtung und den Betrieb von Anlagen [1]:

**Genehmigung:** die genehmigende Behörde prüft auf Antrag in einem definierten Genehmigungsverfahren, ob bei dem beantragten Vorhaben alle Vorschriften eingehalten und die Interessen der Allgemeinheit gewahrt werden.

Dieses Begriffsverständnis im engeren Sinne ist typisch für das Genehmigungsverfahren nach Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) [2] sowie für Baugenehmigungen nach Baurecht.

**Anzeige:** der Verantwortliche muss vor Aufnahme einer bestimmten Tätigkeit dies der zuständigen Behörde mitteilen. Die Behörde muss die Informationen bewerten und über das weitere Vorgehen entscheiden. Wenn sich die Behörde innerhalb einer bestimmten Frist nicht äußert, ist die Tätigkeit erlaubt.

Anzeigen sind u.a. in Verbindung mit der Errichtung und dem Betrieb von überwachungsbedürftigen Anlagen nach dem Produktsicherheitsgesetz (ProdSG) [3] bzw. der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) [4] üblich (s. Abschn. 2.3.2.3, Buchst. a) und c)).

Weitere Begriffe behördlicher Zustimmungen sind:

- Erlaubnis:*
- für bestimmte Anlagen nach Wasserhaushaltsgesetz (WHG) [5]
  - für bestimmte überwachungsbedürftige Anlagen nach ProdSG [3]

*Bewilligung:* – für bestimmte Anlagen nach Wasserhaushaltsgesetz (WHG)

Die *Erlaubnis* und *Bewilligung* sind schriftliche Zustimmungen der Behörde zu einem angezeigten bzw. beantragten Vorhaben, die unterschiedliche Rechtskraft haben.

Beispielsweise steht in § 10, WHG [5]:

- (1) Die Erlaubnis gewährt die Befugnis, die Bewilligung das Recht, ein Gewässer zu einem bestimmten Zweck in einer nach Art und Maß bestimmten Weise zu benutzen.

In Genehmigungsverfahren, die auf dem Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) [6] basieren (z. B. die Errichtung und der Betrieb von Deponien), werden die Begriffe *Planfeststellungsbeschluss* und im Sonderfall *Plangenehmigung* verwendet.

Grundsätzlich ist bei der Genehmigungsthematik noch zu bemerken:

- Die Genehmigung unterliegt der nationalen Gesetzgebung.
- Verfahrenstechnische Anlagen sind in den meisten Fällen genehmigungsbedürftig.
- Verantwortlich für die Einholung einer Genehmigung ist der Auftraggeber/Investor/Bauherr.

Das Beibringen der rechtlich erforderlichen Genehmigung ist somit eine verantwortliche Mitwirkungsleistung des Auftraggebers im Projekt.

- Der gegebenenfalls vom Auftraggeber beauftragte Baustellen- oder Inbetriebnahmleiter muss sich von der Existenz einer ausreichenden behördlichen Genehmigung für seine Leistungen überzeugen.

Tut es das nicht, handelt er, ebenso wie der Investor, fahrlässig und macht sich u. U. strafbar.

Im Strafgesetzbuch (StGB) [7], § 327 (Unerlaubtes Betreiben von Anlagen), Abs. (2) ist geschrieben:

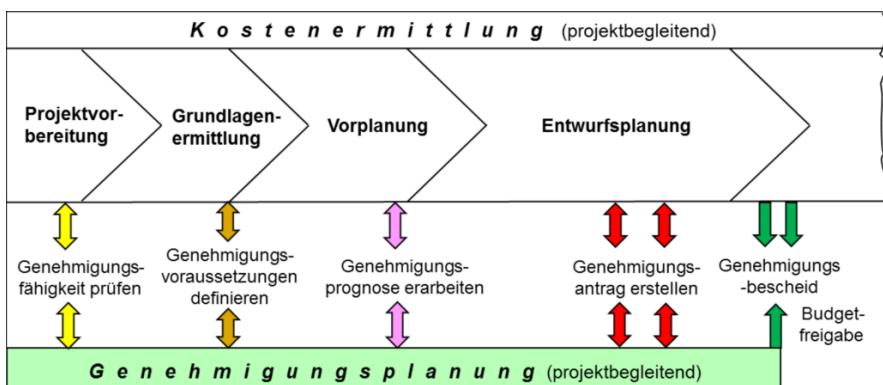
Mit Freiheitsstrafe bis zu drei Jahren oder mit Geldstrafe wird bestraft, wer

1. eine genehmigungsbedürftige Anlage oder eine sonstige Anlage im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, deren Betrieb zum Schutz vor Gefahren untersagt worden ist,

- 2. eine genehmigungsbedürftige oder anzeigepflichtige Rohrleitungsanlage zum Befördern wassergefährdender Stoffe im Sinne des Wasserhaushaltsgesetzes oder
  - 3. eine Abfallentsorgungsanlage im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes ohne die nach dem jeweiligen Gesetz erforderlichen Genehmigungen oder Planfeststellung oder entgegen einer auf dem jeweiligen Gesetz beruhenden vollziehbaren Untersagung betreibt.
- Verantwortlich für die Einhaltung der Festlegungen im Genehmigungsbescheid ist gegenüber der Behörde ebenfalls der Auftraggeber/Investor/Bauherr. Er kann im Rahmen der Projektabwicklung die Pflichten und z.T. auch die Verantwortung zur Einhaltung des Genehmigungsbescheids an einen Dritten (z. B. Generalplaner bzw. Generalunternehmer) übertragen. Trotzdem bleibt der Investor gegenüber der Behörde der Ansprechpartner und auch der primär Verantwortliche.

## 5.2 Einordnen der Genehmigungsplanung in die Projektabwicklung

Die Genehmigungsplanung ist die Phase 5 im Phasenmodell. Sie findet von der Projektvorbereitung bis zur Investitionsentscheidung (Budgetfreigabe), parallel zu den anderen Engineeringphasen, statt. Die Abb. 5.1 veranschaulicht diesen Sachverhalt.



**Abb. 5.1** Einordnung der Planungsleistungen für die Genehmigung in das Phasenmodell

Bereits während der Durchführbarkeitsstudie muss in Verbindung mit dem Mako-Standort die Genehmigungssituation beurteilt und die Genehmigungsfähigkeit der Anlageninvestition eingeschätzt werden. Die Ergebnisse sind ein wesentliches Input für das Lastenheft und die konkreten Festlegungen zum Projektstart.

Während der Grundlagenermittlung müssen die genehmigungsspezifischen Entwurfsdaten (Design Basis) und sonstige Anlagenmerkmale ermittelt und im

Lastenheft dokumentiert werden. Diese Vorgaben werden als Genehmigungs-voraussetzungen eingeschätzt und sind während des Engineerings, inkl. Erarbeiten des Genehmigungsantrags, zu beachten.

Dazu gehören u.a.:

- Festlegung der maximal zulässigen Emissionsgrenzwerte gemäß
  - der TA-Luft [8] und TA-Lärm [9],
  - der Industrieemissionsrichtlinie [10] und den daraus resultierenden Beste Verfügbaren Techniken (BVT) einschließlich der BVT-Merkblätter und BVT-Schlussfolgerungen (s. Abschn. 2.3.1.3, Buchst. a)),
  - den Allgemein anerkannten Regeln zum Stand der Technik (s. Abschn. 2.3.2.1),
  - den Möglichkeiten des Verfahrensträgers auf wirtschaftliche Art und Weise einen geringen Emissionswert zu garantieren.
- Festlegungen zum Vermeiden von Geruchsbelästigungen, unabhängig von den vorgenannten Emissionen,
- Festlegungen betreffs Minimierung öffentlicher Transportwege,
- Festlegungen zur Fernansicht und Industriearchitektur der Anlage.

In der anschließenden Projektphase *Pre-Basic* muss der Planer, sobald die ersten Ergebnisse des Verfahrensentwurfs (s. Abschn. 3.3.1) vorliegen, die Genehmigungssituation und -fähigkeit der Anlage gemäß dem aktuellen Wissensstand überprüfen. Dies sollte so früh wie möglich erfolgen, um

- die genehmigungsrelevanten Auslegungsparamater, insbesondere für die Emissionen, in die Variantenbetrachtung während der Vorplanung einzubringen,
- einen ersten Kontakt mit der Genehmigungsbehörde aufzunehmen,
- die für die Genehmigung erforderlichen Leistungen zu identifizieren, zu planen und zu organisieren,
- die finanziellen und zeitlichen Aufwendungen für die Genehmigungsplanung abzuschätzen und bei der Projektplanung zu berücksichtigen.

Am Ende der Vorplanung sollten die erzielten Erkenntnisse in einer *Genehmigungsprognose* oder *Genehmigungskonzeption* zusammengefasst werden.

Trotzdem bleiben diese Arbeiten begrenzt, da viele notwendige Unterlagen und Daten noch nicht vorliegen. Wichtige genehmigungsrelevante Dokumente, wie der Abschlussbericht zur Risikobeurteilung, das Explosionsschutzdokument, das Brandschutzkonzept und gegebenenfalls der Sicherheitsbericht nach Störfall-Verordnung (StörfallVO) [11], liegen erst am Ende der Entwurfsplanung vor.

In der Praxis wird der Genehmigungsantrag im günstigsten Fall zeitnah zum Abschluss des Basic Engineering vorliegen und es stellt sich dann für alle Projektbeteiligte die Frage:

*Bis wann liegt ein rechtskräftiger Genehmigungsbescheid vor?*

Weltweit wird die Antwort sehr unterschiedlich sein.

In Deutschland, so die Erfahrungen, dauern die förmlichen Genehmigungsverfahren nach Bundes-Immissionsschutzgesetz für größere verfahrenstechnische Anlagen im Allgemeinen zwischen 5 bis 10 Monate (s. Abschn. 5.5.3). Im Ausnah-

mefall kürzer, nicht selten länger, z.B. bei einer integrierten Umweltverträglichkeitsprüfung (s. Abschn. 5.4).

Die angeführte lange Verfahrensdauer lässt sich häufig im Projektablauf gemäß dem Anlagen-Phasenmodell weder zeitlich noch inhaltlich „auffangen“ und bedeutet, dass die Projektbearbeitung über Monate im „Stand-by-Betrieb“ stattfindet. Mitunter wechseln Mitarbeiter in andere Projekte.

Einem Antrag auf vorzeitigen Beginn (z. B. nach § 8a, BImSchG) kann die Behörde untere bestimmten Umständen entsprechen. Dabei ist aber zu beachten:

- die Zulassung eines vorzeitigen Beginns (i. Allg. Baubeginn) kann jederzeit widerrufen werden und ist meistens mit Auflagen verbunden und
- das Risiko von Änderungen im Genehmigungsverfahren oder im Extremfall den früheren Zustand wiederherzustellen, trägt allein der Antragsteller.

Bei manchen Vorhaben wird gegen den Verwaltungsbeschluss über die erteilte Genehmigung geklagt und gegebenenfalls vor Gericht eine einstweilige Verfügung auf Baustopp erwirkt.

Weitere Ausführungen zu diesem Sachverhalt und Problem werden in Abschn. 5.5 gemacht.

## 5.3 Überblick zu Genehmigungsverfahren in der BRD

### a) Genehmigungen nach Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) [2]

- In §1 (Zweck des Gesetzes) des BImSchG steht:
  - (1) Zweck dieses Gesetzes ist es Menschen, Tiere und Pflanzen, den Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur- und sonstige Sachgüter vor schädlichen Umwelteinwirkungen zu schützen und dem Entstehen schädlicher Umwelteinwirkungen vorzubeugen.
  - (2) Soweit es sich um genehmigungsbedürftige Anlagen handelt, dient dieses Gesetz auch
    - der integrierten Vermeidung und Verminderung schädlicher Umwelteinwirkungen durch Emissionen in Luft, Wasser und Boden unter Einbeziehung der Abfallwirtschaft, um ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt zu erreichen, sowie
    - dem Schutz und der Vorsorge gegen Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen, die auf andere Weise herbeigeführt werden.
- Das BImSchG gilt somit für genehmigungsbedürftige Anlagen, von denen Emissionen ausgehen. Es gilt nach § 35 (Planfeststellung und Genehmigung) des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) [6] auch für Anlagen, in denen Abfälle entsorgt werden.
- Da von verfahrenstechnischen Anlagen fast immer Emissionen ausgehen, sind sie überwiegend auf der Grundlage des BImSchG und der zugehörigen Verordnungen zu genehmigen.
- Genehmigungen nach BImSchG schließen andere Genehmigungen ein, mit

Ausnahme von Planfeststellungen, Zulassungen bergrechtlicher Betriebspläne u.a. Sonderfällen. Das BImSchG-Verfahren hat somit eine sog. Konzentrationswirkung, indem verschiedene Genehmigungen im Genehmigungsverfahren nach BImSchG gebündelt werden. Der Antragsteller hat letztlich im Genehmigungsverfahren und bei der Umsetzung des Genehmigungsbescheids nur einen Ansprechpartner.

- Das Genehmigungsrecht nach BImSchG ist deutsches Bundesrecht.
- Wegen der hervorragenden Bedeutung der Genehmigung nach dem BImSchG für verfahrenstechnische Anlagen wird in Abschn. 5.5 das Genehmigungsverfahren nach BImSchG näher betrachtet.

#### **b) Wasserrechtliche Genehmigungsverfahren nach Wasserhaushaltsgesetz (WHG) [5]**

- Für den Gewässerschutz enthält das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) als Rahmengesetz u.a. Regelungen zum ordnungsgemäßen Umgang mit wassergefährdenden Stoffen, insbesondere beim Betrieb von Anlagen zum Umgang mit solchen Flüssigkeiten und Gasen in Rohrleitungen und beim Einleiten von Stoffen in Gewässer bzw. die öffentliche Kanalisation.
- Das Wasserrecht ist Landesrecht. Auf das Bestreben des Gesetzgebers, dass Wasserrecht in der BRD zu vereinheitlichen und den entsprechenden Entwurf einer bundesweit einheitlichen *Verordnung für Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV)* [12] wurde in Abschn. 2.3.2.2, Buchst. b) eingegangen.
- Gemäß dem Wasserrecht sind verschiedene Verfahren (Erlaubnisse, Bewilligungen) erforderlich. Dabei ist zu beachten, dass neben den bundesrechtlichen Vorschriften auch landesrechtliche und kommunale Vorschriften gelten.
- Nach § 8 (Erlaubnis, Bewilligung) des WHG ist für die Benutzung von Gewässern eine Erlaubnis oder Bewilligung erforderlich.  
Benutzungen sind nach § 9 (Benutzungen) im Wesentlichen:
  - Entnehmen und Ableiten von Wasser aus oberirdischen Gewässern,
  - Aufstauen und Absenken von oberirdischen Gewässern,
  - Entnehmen fester Stoffe aus oberirdischen Gewässern, soweit dies auf den Zustand des Gewässers oder auf den Wasserabfluss einwirkt,
  - Einbringen und Einleiten von Stoffen in Gewässer,
  - Entnehmen, Zutagefordern, Zutageleiten und Ableiten von Grundwasser.
- Erlaubnisse und Bewilligungen können unter Benutzungsbedingungen und Auflagen erteilt werden. Dabei gilt:

*Wer ein Gewässer ohne behördliche Erlaubnis oder Bewilligung benutzt oder gegen Benutzungsbedingungen oder Auflagen verstößt, handelt ordnungswidrig.*

- In der Industrie sind insbesondere wasserrechtliche Erlaubnisse für die Entnahme von Wasser aus oberirdischen Gewässern bzw. aus dem Grundwasser sowie deren Rückführung von Bedeutung.

- Im Rahmen der Erlaubnis wird geprüft, ob die Benutzung der Gewässer gemeinverträglich ist. Im Grunde genommen ist die Erlaubnis nur eine Unbedenklichkeitsbescheinigung. Dieses Verfahren ist somit kein förmliches Verfahren.
- Das Vorhaben muss nicht ausgeschrieben werden und Beteiligte müssen nicht gehört werden. Die wasserrechtliche Erlaubnis kann jederzeit widerrufen werden.
- Im Rahmen der Bewilligung wird das Recht gewährt, ein Gewässer in einer bestimmten Art und Weise zu benutzen.
- Eine Bewilligung kann nicht widerrufen werden.
- Eine Bewilligung kommt in erster Linie für die öffentliche Wasserversorgung und die Wasserkraftnutzung in Frage.
- Im Gegensatz zu einem Erlaubnisverfahren kann die Bewilligung nur in einem förmlichen Verfahren erteilt werden, d.h. Betroffene und beteiligte Behörden haben Gelegenheit, ihre Einwendungen geltend zu machen. Damit ist ein wasserrechtliches Genehmigungsverfahren verbunden.
- Nach § 17 (Zulassung vorzeitigen Beginns) kann die zuständige Behörde auf Antrag in einem Erlaubnis- oder Bewilligungsverfahren eine vorzeitige Gewässerbenutzung unter Auflage und auf Risiko des Antragstellers zustimmen.
- Unterliegt das zu genehmigende Projekt dem Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) [13], so kann eine Erlaubnis, Bewilligung oder Genehmigung nur erteilt werden, wenn zuvor eine Umweltverträglichkeitsprüfung erfolgte.
- Ist die Abwasserbehandlungsanlage als Bauvorhaben nach dem Baurecht ebenfalls genehmigungspflichtig, so muss die Baugenehmigung i. Allg. noch neben der wasserrechtlichen Erlaubnis oder Bewilligung eingeholt werden. Die Landesbauordnungen sind zu beachten.

**c) Erlaubnisse für überwachungsbedürftige Anlagen nach Produktsicherheitsgesetz (ProdSG) [3]**

- Nach § 34 des ProdSG gelten für Errichtung und Betrieb definierter überwachungsbedürftige Anlagen (s. Abschn. 2.3.2.3, Buchst. a)) besondere Regelungen.
- Es wird unterschieden nach dem Anzeigeverfahren bzw. Erlaubnisverfahren. Welchen Verfahren die einzelnen Anlagen unterliegen, ist im Wesentlichen abhängig von der Anlagengröße oder Anlagenart.
- Die Anzeigepflicht hat den Zweck, die zuständige Behörde darüber zu unterrichten, dass eine überwachungsbedürftige Anlage errichtet und betrieben werden soll. Der Anzeige sind bestimmte Unterlagen beizufügen.
- Damit erhält die Behörde die Möglichkeit, bestimmte Anlagen gezielt zu überwachen, falls dies auf Grund von Erfahrungen aus Unfällen und Schäden oder anderen Gründen erforderlich ist.
- Die Erlaubnispflicht ist schärfer als die Anzeigepflicht.
- Der Erlaubnispflicht unterliegen solche überwachungsbedürftigen Anlagen, deren Gefährdungsgrad für die Beschäftigten und die Allgemeinheit besonders hoch ist.

- Derartige überwachungsbedürftige Anlagen dürfen nur in Betrieb genommen werden, wenn von der zuständigen Behörde die Erlaubnis erteilt worden ist.
- Wichtige überwachungsbedürftige Anlagen sind nach § 2, Abs. 30 des Produktsicherheitsgesetzes [3]:
  - Dampfkesselanlagen mit Ausnahme von Dampfkesselanlagen auf Seeschiffen,
  - Druckbehälteranlagen außer Dampfkesseln,
  - Anlagen zur Abfüllung von verdichten, verflüssigten oder unter Druck gelösten Gasen,
  - Leitungen unter inneren Überdruck für brennbare, ätzende oder giftige Gase, Dämpfe oder Flüssigkeiten,
  - Aufzugsanlagen,
  - Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen,
  - Getränkeshankenanlagen und Anlagen zur Herstellung kohlensaurer Gase,
  - Acetylenanlagen und Calciumcarbidlager,
  - Anlagen zur Lagerung, Abfüllung und Beförderung von brennbaren Flüssigkeiten.

#### d) Genehmigungsverfahren nach Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) [6]

- Nach § 35 (Planfeststellung und Genehmigung), Abs. (2) des KrWG gilt:
 

(2) Die Errichtung und der Betrieb von Deponien sowie die wesentliche Änderung einer solchen Anlage oder ihres Betriebs bedürfen der Planfeststellung durch die zuständige Behörde.  
In dem Planfeststellungsverfahren ist eine Umweltverträglichkeitsprüfung nach den Vorschriften des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung durchzuführen.
- In den Abs. (3) bis (5) werden Sonderregelungen für die Genehmigung von Deponien unter bestimmten Bedingungen formuliert.
- Gemäß § 35, Abs. (1) sind Anlagen, in denen eine *Entsorgung von Abfällen* durchgeführt wird, nach dem BImSchG genehmigungspflichtig.
- Die Entsorgung von nachweispflichtigen Abfällen [14], die gesundheits-, luft- oder wassergefährdend, explosibel oder brennbar sind, unterliegen einer besonderen Überwachung und bedürfen eines *elektronischen Abfallnachweisverfahrens*.
- Das Abfallrecht unterliegt Bund und Ländern.
- Im Planfeststellungsverfahren werden alle eine Anlage betreffenden Genehmigungen, Erlaubnisse, Bewilligungen und Zustimmungen der verschiedenen Behörden (z. B. aus wasserrechtlicher oder immissionsschutzrechtlicher Sicht) in einem Genehmigungsverfahren gebündelt und konzentriert.  
Somit hat das Planfeststellungsverfahren eine ähnliche Konzentrationswirkung wie das Genehmigungsverfahren nach dem BImSchG. Sein Ablauf ist ebenfalls ähnlich.
- Ergebnis des Planfeststellungsverfahrens ist der *Planfeststellungsbeschluss* oder in besonderen Fällen die *Plangenehmigung*.

### e) Genehmigungsverfahren nach dem Baurecht (BauGB) [15]

- Gebäude und ortsfeste Einrichtungen unterliegen dem Bauordnungsrecht. Zu ortsfesten baulichen Einrichtungen gehören z. B. Überdachungen, befestigte Flächen, Lüftungsanlagen sowie nicht genehmigungsbedürftige Anlagen im Sinne des BImSchG. Für ihre Errichtung, Änderung (z.B. Erweiterungen, Anbau, Umbau, Nutzung eines Lagers für Werkräume) oder ihren Abriss sind Genehmigungen erforderlich, die von den zuständigen Kommunal- bzw. Kreisbehörden einzuholen sind.
- Die baurechtliche Genehmigung verfahrenstechnischer Anlagen ist i. Allg. integraler Bestandteil des Genehmigungsverfahrens nach BImSchG bzw. des Planfeststellungsverfahrens nach Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG).
- Dabei gelten die einschlägigen baurechtlichen Bestimmungen, die für alle Bauwerke zur Anwendung kommen.

### f) Ausgewählte sonstige Genehmigungen

- Zulassungen für Untertageanlagen inkl. zugehöriger obertägiger Einrichtungen nach § 54 (Zulassungsverfahren) des Bundesberggesetzes (BBergG) [16]. Die Zulassung wird von der zuständigen Behörde (Bergamt) auf Grundlage von eingereichten Betriebsplänen gemäß § 52 (Betriebspläne für die Errichtung und Führung des Betriebes) erteilt.
- Genehmigungen von Anlagen zur Herstellung von Pharmaka (sofern nicht gentechnisch erzeugt) nach dem Arzneimittelgesetz
- Genehmigungen für gentechnische Anlagen nach dem Gentechnikgesetz

## 5.4 Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP)

Unterliegt die geplante Anlage dem Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) [13], so ist eingebettet in das Genehmigungsverfahren eine Umweltverträglichkeitsprüfung notwendig.

Im § 2 Abs. (1) des UVPG steht geschrieben:

(1) Die **Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP)** ist ein unselbstständiger Teil verwaltungsbehördlicher Verfahren, die der Entscheidung über die Zulässigkeit von Vorhaben dienen.

Die Umweltverträglichkeitsprüfung umfasst die Ermittlung, Beschreibung und Bewertung der unmittelbaren und mittelbaren Auswirkungen des Vorhabens auf

1. Menschen, einschließlich der menschlichen Gesundheit, Tiere und Pflanzen und die biologische Vielfalt.
2. Boden, Wasser, Luft, Klima und Landschaft,
3. Kultur- und sonstige Sachgüter sowie
4. die Wechselwirkung zwischen den vorgenannten Schutzgütern.

Sie wird unter Beteiligung der Öffentlichkeit durchgeführt. Wird über die Zulässigkeit eines Vorhabens im Rahmen mehrerer Verfahren entschieden, werden die in diesen Verfahren durchgeführten Teilprüfungen zu einer Gesamtbewertung aller Umweltauswirkungen zusammengefasst.

Die Vorhaben (Anlagen), für die eine UVP nötig ist, sind als *Liste „UVP-pflichtige Vorhaben“* in der Anlage 1 zum UVPG aufgeführt.

Die Spalte 1 der Liste enthält alle Vorhaben, für die eine Umweltverträglichkeitsprüfungen durchzuführen ist. In der Spalte 2 der Liste sind Vorhaben (Anlagen) aufgeführt für die

- eine *allgemeine Vorprüfung des Einzelfalls* nach § 3c, Satz 1 oder
- eine *standortbezogene Vorprüfung des Einzelfalls* nach § 3c, Satz 2

vorzunehmen ist. Bei diesen Vorhaben (Anlagen) prüft die Behörde an Hand der „Kriterien für die Vorprüfung des Einzelfalls im Rahmen einer Umweltverträglichkeitsprüfung“ in Anlage 2 des UVPG, inwieweit eine Umweltverträglichkeitsprüfung notwendig ist.

Die Vorprüfung des Einzelfalls, sofern das Vorhaben nicht eindeutig der Spalte 1 zuzuordnen und damit a priori UVP-pflichtig ist, sollte möglichst frühzeitig im Projekt stattfinden. Zugleich sind die rechtlichen Vorschriften und Verwaltungsvorschriften der Bundesländer über die Umweltverträglichkeitsprüfung im Detail zu recherchieren und zu studieren.

Der Ablauf des Verwaltungsverfahrens zur Umweltverträglichkeitsprüfung erfolgt im Allgemeinen in folgenden Schritten:

- 1) Unterrichtung der zuständigen Behörde über das geplante Vorhaben
  - Information über Gegenstand, Umfang und Methoden der möglichen Umweltverträglichkeitsprüfung
  - Abstimmung über Inhalt und Umfang der einzureichenden Unterlagen
  - eventuell Sachverständige, betroffene Gemeinden und Bürger, anerkannte Umweltverbände usw. hinzuziehen und deren Meinung entgegennehmen
  - zuständige Behörde muss Ergebnis der Besprechung dokumentieren
- 2) Feststellung der UVP-Pflicht nach § 3a, UVPG (falls nicht eindeutig durch Antragsteller zu entscheiden)
  - Antrag auf Feststellung der UVP-Pflicht inkl. Vorprüfung des Einzelfalls
  - Übergabe geeigneter Angaben/Unterlagen an zuständige Behörde
  - Festlegung der zuständigen Behörde und Information des Antragstellers sowie der Stellen gem. § 3a, UVPG

Bemerkung: Im Weiteren wird ein UVP-pflichtiges Vorhaben zugrunde gelegt.

- 3) Einreichen der Unterlagen für die Durchführung der UVP
  - Nach § 6 (Unterlagen des Trägers des Vorhabens), Abs. (3) und (4) des UVPG sind der zuständigen Behörde mindestens vorzulegen:

§ 6 Abs. (3) Die Unterlagen nach Absatz 1 (d. Verf.: die entscheidungserheblichen Unterlagen) müssen zumindest folgende Angaben enthalten:

1. Beschreibung des Vorhabens mit Angaben über Standort, Art und Umfang sowie Bedarf an Grund und Boden,
2. Beschreibung der Maßnahmen, mit denen erhebliche nachteilige Umweltauswirkungen des Vorhabens vermieden, vermindert oder, soweit möglich, ausgeglichen werden, sowie der Ersatzmaßnahmen bei nicht ausgleichbaren, aber vorrangigen Eingriffen in Natur und Landschaft,

3. Beschreibung der zu erwartenden erheblichen nachteiligen Umweltauswirkungen des Vorhabens unter Berücksichtigung des allgemeinen Kenntnisstandes und der allgemein anerkannten Prüfungsmethoden,
4. Beschreibung der Umwelt und ihrer Bestandteile im Einwirkungsbereich des Vorhabens unter Berücksichtigung des allgemeinen Kenntnisstandes und der allgemein anerkannten Prüfungsmethoden sowie Angaben zur Bevölkerung in diesem Bereich, soweit die Beschreibung und die Angaben zur Feststellung und Bewertung erheblicher nachteiliger Umweltauswirkungen des Vorhabens erforderlich sind und ihre Beibringung für den Träger des Vorhabens zumutbar ist,
5. Übersicht über die wichtigsten, vom Träger des Vorhabens geprüften anderweitigen Lösungsmöglichkeiten und Angabe der wesentlichen Auswahlgründe im Hinblick auf die Umweltauswirkungen des Vorhabens.

§ 6 Abs. (4) Die Unterlagen müssen auch die folgenden Angaben enthalten, soweit sie für die Umweltverträglichkeitsprüfung nach der Art des Vorhabens erforderlich sind:

1. Beschreibung der wichtigsten Merkmale der verwendeten technischen Verfahren,
  2. Beschreibung von Art und Umfang der zu erwartenden Emissionen, der Abfälle, des Anfalls von Abwasser, der Nutzung und Gestaltung von Wasser, Boden, Natur und Landschaft sowie Angaben zu sonstigen Folgen des Vorhabens, die zu erheblichen nachteiligen Umweltauswirkungen führen können,
  3. Hinweise auf Schwierigkeiten, die bei der Zusammenstellung der Angaben aufgetreten sind, zum Beispiel technische Lücken oder fehlende Kenntnisse.
- 4) Einholen der Stellungnahmen der beteiligten Behörden, ggf. auch grenzüberschreitend nach § 8, UVPG durch die zuständige Behörde
  - 5) Öffentliche Bekanntmachung des Vorhabens in der Tagespresse und öffentliche Auslegung der Unterlagen für 1 Monat zur Einsichtnahme (§ 9, UVPG)
  - 6) Bekanntgabe des öffentlichen Erörterungstermins und ggf. Durchführung der Erörterung des Vorhabens auf Basis der fristgemäß eingegangenen Stellungnahmen, Einwendungen u.ä. Dritter
  - 7) Bewertung des Vorhabens unter Beachtung der vorliegenden Stellungnahmen, Gutachten, Einwände, Hinweise u.a. Informationen durch die zuständige Behörde
  - 8) Zusammenfassende Darstellung und Bewertung der Umweltauswirkungen durch die zuständige Behörde nach §§ 11 und 12 des UVPG
  - 9) Gegebenenfalls Erteilen eines Vorbescheids und einer ersten Teilgenehmigung oder Teilzulassung nach § 13, UVPG.

Die Unterlagen gemäß Punkt 7) und 8) sind Bestandteil des förmlichen Genehmigungsverfahrens nach BImSchG.

Die UVP sollte i.d.R. früher als das eigentliche Genehmigungsverfahren beginnen, um dessen Dauer zu verkürzen. In Abhängigkeit vom Verlauf des UVP-Verfahrens wird sich der Investor zum gegebenen Zeitpunkt entscheiden (s. auch Abschn. 5.2), den Genehmigungsantrag einzureichen, auch wenn die UVP noch nicht

abgeschlossen ist. In Folge wird die UVP dann, eingebettet in das BImSchG-Verfahren, zeitlich parallel fortgesetzt.

Ist im Vorfeld des Genehmigungsverfahrens nach BImSchG die UVP-Pflicht nicht festgestellt und vom Investor keine UVP beantragt wurden, so erfolgt dies im Genehmigungsverfahren auf Veranlassung der Genehmigungsbehörde.

In § 1, Abs. (2) des BImSchG [2] steht dazu:

- (2) Ist für die Errichtung und den Betrieb einer Anlage die Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung erforderlich (UVP-pflichtige Anlage), so ist die Umweltverträglichkeitsprüfung jeweils unselbstständiger Teil des in Absatz 1 genannten Verfahrens (d. Verf.: des Genehmigungsverfahrens nach BImSchG).

## 5.5 Genehmigungsverfahren nach BImSchG

Für die allermeisten verfahrenstechnischen Anlagen ist das Bundes-Immissions-schutzgesetz [2] die Genehmigungsgrundlage, da die Anlagen i. Allg. stoffliche und andere Emissionen aufweisen.

Einleitend werden einige wichtige Begriffe nach § 3 (Begriffsdefinitionen) des BImSchG definiert.

**Schädliche Umwelteinwirkungen** im Sinne dieses Gesetzes sind Immissionen, die nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen.

**Immissionen** im Sinne dieses Gesetzes sind auf Menschen, Tiere und Pflanzen, den Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur- und sonstige Sachgüter einwirkende Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnliche Umwelteinwirkungen.

**Emissionen** im Sinne dieses Gesetzes sind die von einer Anlage ausgehenden Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnliche Erscheinungen.

**Luftverunreinigungen** im Sinne dieses Gesetzes sind Veränderungen der natürlichen Zusammensetzung der Luft, insbesondere durch Rauch, Ruß, Staub, Gase, Aerosole, Dämpfe oder Geruchsstoffe.

Ferner ist in § 4 (Genehmigung), Abs. (1) festgelegt:

- (1) Die *Errichtung* und der *Betrieb* von Anlagen, die auf Grund ihrer Beschaffenheit oder ihres Betriebs in besonderem Maße geeignet sind, schädliche Umwelteinwirkungen hervorzurufen oder in anderer Weise die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft zu gefährden, erheblich zu benachteiligen oder erheblich zu belästigen, sowie von ortsfesten Abfallentsorgungsanlagen zur Lagerung oder Behandlung von Abfällen bedürfen der Genehmigung.

Die Kriterien für die Einordnung, ob eine Anlage nach BImSchG genehmigungsbedürftig ist, sind in den Paragraphen 4 bis 25 des BImSchG angeführt.

Der Gesetzgeber unterscheidet zwischen *genehmigungsbedürftigen Anlagen* (BImSchG §§ 4 bis 21) und *nicht-genehmigungsbedürftigen Anlagen* (BImSchG

§§ 22 bis 25) entsprechend ihrer **Emissionen** und **Immissionen**. Die genehmigungsbedürftigen Anlagen sind im Einzelnen in der 4. Verordnung zum Bundes-Immissionsgesetz (4. BImSchV) [17] aufgelistet.

Das BImSchG-Verfahren ist ein „bündelndes Genehmigungsverfahren“, d. h. der Antragsteller beantragt die Genehmigung bei nur einer Genehmigungsbehörde, z.B. beim zuständigen Regierungspräsidium. Diese Behörde koordiniert das gesamte Verfahren und ist während dessen alleiniger Partner des Antragstellers.

### 5.5.1 Einfluss des Antragstellers auf das Genehmigungsverfahren

In Abschnitt 5.2 wurde bereits dargelegt, dass sich die Phase 4 (Genehmigungsplanung) in verfahrenstechnischen Anlagenprojekten, insbesondere wenn es sich um Neuanlagen mit Umweltverträglichkeitsprüfung handelt, häufig nicht „harmo-nisch“ in den zeitlichen Projektlauf einordnen lässt. Nicht selten sind schwierige und unwirtschaftliche „Wartemonate“ nötig, bis die Genehmigung vorliegt. Für den Projektträger sind dies erhebliche Unwägbarkeiten bezüglich Termin und Kosten, aber auch hinsichtlich der personellen Ressourcenbereithaltung.

Aus Sicht des Investors und seiner Auftragnehmer stellt sich die Frage:

*Was kann der Antragsteller tun, damit die beantragte Genehmigung von der zuständiger Behörde umfassend und schnell erteilt wird?*

Aus eigener und anderer Erfahrung dazu einige Hinweise und Empfehlungen in nichtgewichteter Reihenfolge.

- Die Verantwortung, Zuständigkeiten und Befugnisse für die Genehmigungsplanung im Projekt, inkl. der Kommunikation mit der Genehmigungsbehörde u.a. behördlichen und kommunalen Stellen sind eindeutig zu regeln.
  - Der Projektleiter sollte für die Genehmigungsplanung einschließlich aller Maßnahmen im Genehmigungsverfahren allein verantwortlich sein und dies gegenüber dem Lenkungskreis (Steering Committee) vertreten.
  - Er sollte, sofern er nicht selbst Spezialist und erfahren auf dem Gebiet der Genehmigungen ist, externen Sachverständigen einfordern bzw. einkaufen. Dieses können beispielsweise eine Fachabteilung des eigenen Unternehmens und/oder ein spezialisiertes Ingenieurbüro sein.
  - Die Genehmigungsspezialisten müssen in die Projektorganisation, analog einem Leadingenieur, integriert werden. Sie müssen im Organigramm dargestellt sein und eine Stellenbeschreibung erhalten (s. Abschn. 1.4.4).
- Die Kompetenzen und Zuständigkeiten zwischen dem Projektleiter und dem Leadingenieur *Genehmigung* müssen klar abgegrenzt und vereinbart sein.
  - Es ist zu regeln, welche Person seitens des Antragstellers der offizielle Ansprechpartner gegenüber der Behörde ist.  
Dies kann auch ein erfahrener Leadingenieur *Genehmigung* sein, der diese Aufgabe im Auftrag des Projektleiters wahrnimmt.
  - Pflichten und Verantwortung an den Leadingenieur *Genehmigung* sollten vom Projektleiter schriftlich übertragen werden.

- Der Aufgabenbereich des Leadingenieurs *Genehmigung* ist exakt zu definieren; gegebenenfalls alle Aufgaben von der Erarbeitung der Genehmigungsunterlagen, über das Genehmigungsverfahren bis zum vorliegenden Genehmigungsbescheid oder nur Teilaufgaben.
- Die einbezogenen Planungsingenieure müssen über die fachlichen und verwaltungsrechtlichen Anforderungen an die Genehmigungsplanung fundiert geschult werden.
  - Das betrifft u.a. die Ausarbeitung der Antragsunterlagen sowie den Ablauf des Genehmigungsverfahrens.

Das erforderliche Wissen zum Genehmigungsverfahren nach BImSchG ist erheblich und bei vielen Planungsingenieuren nicht ausreichend. Manche Mitarbeiter betrachten es auch als formales Wissen und unterschätzen deren Bedeutung.
  - Da die Rechtsvorschriften regelmäßig geändert werden, ändern sich auch die Wissensanforderungen.
- Die zuständige Behörde ist frühzeitig über das geplante Vorhaben zu unterrichten und gemäß § 2 (Antragstellung) der 9. BImSchV [18] um Unterstützung/Beratung zu bitten.
  - Die Behörde soll nach § 2, 9. BImSchV den Träger des Vorhabens bei der Antragstellung beraten und unterstützen (s. Abschn. 5.5.2).
- Der Genehmigungsantrag und die zugehörigen Antragsunterlagen sind vorschriftsmäßig und sachgerecht zu erarbeiten und einzureichen.
  - Mängel in den Antragsunterlagen sind nicht selten eine Ursache für die lange Dauer der Genehmigungsverfahren.
  - Der Gesetzgeber hat den Behörden in § 10, BImSchG Bearbeitungsfristen gesetzt (s. Abschn. 5.5.3), aber diese Frist beginnt erst dann, wenn alle Antragsunterlagen vorschriftsgemäß bei der Behörde vorliegen.
- Die Antragsunterlagen zum Vorhaben müssen hinsichtlich der Vermeidung schädlicher Umwelteinwirkungen und der in § 1, BImSchG genannten Schutzziele überzeugen.
  - Es ist nachzuweisen, dass die vorgegebenen Grenzwerte für Emissionen und Immissionen sicher unterschritten werden.
  - Sofern in Verordnungen zum BImSchG keine Grenzwerte für Emissionen/Immissionen angegeben sind, gelten die Angaben der TA-Luft [8] und TA-Lärm [9] u.a. Festlegungen (z. B. über Licht-Emissionen).
  - An dieser Stelle sei auf die Aussagen in Abschn. 2.3.1.3, Buchst. a) zur EU-Industrieemissionsrichtlinie [10] inkl. des Begriffs der *besten verfügbaren Technik* sowie auf deren Umsetzung in der TA-Luft verwiesen.
  - Zahlreiche Investoren legen ihre Anlagen bezüglich signifikanter Schadstoffe (Stickoxide, Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid, Staub u.ä.) auf Emissionswerte aus, die nur 10 bis 50 Prozent der vorgeschriebenen Grenzwerte nach TA-Luft betragen.

Eine solche Festlegung, die die Investition u.U. erheblich verteuert, ist ein wirksames Argument für praktizierten Umwelt- und Gesundheitsschutz.

- Zugleich verringert die zukunftsorientierte Auslegung das Risiko, dass
  - bei *Änderungen* nach § 15, BImSchG),
  - bei *wesentlichen Änderungen* nach § 16, BImSchG oder
  - bei *nachträglichen Anordnungen* nach § 17, BImSchG
 die genehmigungsbedürftige Anlage den neuen Grenzwerten oder einem neuen Stand der Technik angepasst werden muss (s. auch Abschn. 5.6).
- Die Antragsunterlagen müssen nicht nur bezüglich der erreichten Emissions- und Immissionsparameter überzeugen, sondern auch im Vergleich zum Stand der Technik.
- Die geplante Anlage muss die *Allgemeinheit* überzeugen.
  - In Abschn. 5.1 wurde bereits ausgeführt, dass die Behörde im Genehmigungsverfahren die Interessen der Allgemeinheit treuhänderisch vertritt. Das heißt, gegen die Interessen der Allgemeinheit eine Genehmigung zu erlangen, widerspricht diesem Konsens und ist nicht zu vertreten.
  - Viele Investoren, auch zahlreiche Ingenieure, argumentieren vorrangig mit der Schaffung von Arbeitsplätzen, dem Steueraufkommen, mit regionalen Entwicklungschancen u.a. wirtschaftlichen Vorteilen.
  - Diese rationalen Argumente überzeugen aus verschiedenen Gründen zunehmend nicht mehr die Allgemeinheit.

Der Hinweis und Apell des Autors an alle Investoren ist deshalb:

*Bauen sie Anlagen nicht nur zweckmäßig, sondern auch schön!*

- Im Weiteren dazu einige Bildbeispiele.  
Abb. 5.2 zeigt die Müllverbrennungsanlage in Wien (200.00 t/a, 60 MW-Wärmeleistung, 400 MW-elektrische Leistung).



Abb. 5.2 Müllverbrennungsanlage Spittelau am Donaukanal in Wien

Nach einem Großbrand 1987 wurde die ehemalige, normale Fassade vom Architekt Hundertwasser künstlerisch neu gestaltet. Aus dem rationalen Zweckbau wurde ein Kunstwerk, welches nicht nur dem Autor gefallen hat, sondern inzwischen eine Touristenattraktion der Stadt Wien ist.

- In Abb. 5.3 ist eine ähnliche Anlage bei Decin in Tschechien dargestellt. Die Fernansicht und emotionale Wirkung der Anlage, die im Elbtal liegt, ist eine völlig andere.



**Abb. 5.3** Kraftwerk bei Decin (Tschechien)

- Das dritte Beispiel ist eine Raffinerie an der holländischen Nordseeküste (s. Abb. 5.4). Der Leser möge bitte selbst über die Ansicht urteilen.



**Abb. 5.4** Ansicht einer Rohölraffinerie in Nord-Holland

- In den Anlagen der Abb. 5.3 und 5.4, die beide am europäischen Radwege- netz liegen, hat der Planer die Fernansicht der Anlagen unzureichend bedacht. Auch wenn in den letzten Jahren die Industriearchitektur mehr Bedeutung erlangt hat, so gibt es noch reichlich Verbesserungspotential.
- Das gilt auch für die attraktivere Innengestaltung der Anlagen, nicht nur der Gebäude und nicht nur bezüglich der Farbgebung.
- Jeder 3D-Planer hat Gestaltungsmöglichkeiten bzgl. Grundstücksgliederung, Bauwerks- und Ausrüstungsanordnung, Bauhöhe (z.B. Hochfackel oder Bodenfackel), Fassaden- und Farbgestaltung, Bepflanzung, Sichtblenden usw.
- Eine Anlagengestaltung, die der Öffentlichkeit gefällt, ist i. Allg. keine Frage des Geldes, sondern des Wollens und Könnens.

*Die Projekt- und Anlagenpräsentation in den Genehmigungsunterlagen und während des Genehmigungsverfahrens muss die Öffentlichkeit sowohl rational als auch emotional überzeugen!*

- Die zu erwartende Situation im Genehmigungsverfahren muss realistisch analysiert und berücksichtigt werden.
  - Der Antragsteller sollte u.a. folgende Fragen beantworten und in seiner Arbeit berücksichtigen:
    - Gibt es formale Gründe, die der Genehmigung entgegenstehen könnten?
    - Mit welchen Interessensgruppen und Einwendungen ist während des Genehmigungsverfahrens zu rechnen?
    - Ist eine Genehmigung im Konsens mit allen Interessenten realistisch oder nicht?
    - Sind Klagen gegen den Genehmigungsbescheid zu erwarten?
    - Wie kann inhaltlich und/oder rechtlich den zu erwartenden Einwendungen und ggf. absehbaren Klagen begegnet werden?
- Die Mitglieder des Projektteams sowie wichtige Personen der Auftragnehmer/Kontraktoren sind hinsichtlich eines genehmigungsgerechten Verhaltens zu unterweisen.

### 5.5.2 Genehmigungsantrag inklusive Antragsunterlagen

In § 2 (Antragsunterlagen) der 9. BImSchV [18] ist festgelegt:

- (1) Sobald der Träger des Vorhabens die Genehmigungsbehörde über das geplante Vorhaben unterrichtet, soll diese ihn im Hinblick auf die Antragsunterlagen beraten und mit ihm den zeitlichen Ablauf des Genehmigungsverfahrens sowie sonstige für die Durchführung dieses Verfahrens erhebliche Fragen erörtern. Sie kann andere Behörden hinzuziehen, soweit dies für die Zwecke des Satzes 1 erforderlich ist. Die Erörterung soll insbesondere der Klärung dienen,
  1. welche Antragsunterlagen bei Antragstellung vorgelegt werden müssen,
  2. welche voraussichtlichen Auswirkungen das Vorhaben auf die Allgemeinheit und die Nachbarschaft haben kann und welche Folgerungen sich daraus für das Verfahren geben,

3. welche Gutachten voraussichtlich erforderlich sind und wie doppelte Gutachten vermieden werden können,
4. wie der zeitliche Ablauf des Genehmigungsverfahrens ausgestaltet werden kann und welche sonstigen Maßnahmen zur Vereinfachung und Beschleunigung des Genehmigungsverfahrens vom Träger des Vorhabens und von der Genehmigungsbehörde getroffen werden können,
5. ob eine Verfahrensbeschleunigung dadurch erreicht werden kann, dass der behördliche Verfahrensbevollmächtigte, der die Gestaltung des zeitlichen Verfahrensablaufs sowie die organisatorische und fachliche Abstimmung überwacht, sich auf Vorschlag oder mit Zustimmung und auf Kosten des Antragsstellers eines Projektmanagers bedient,
6. welche Behörden voraussichtlich im Verfahren zu beteiligen sind. Bei UVP-pflichtigen Vorhaben gilt ergänzend § 2a.

Der Antragsteller sollte diese rechtlich zugesicherte Unterstützung durch die Genehmigungsbehörde umfassend wahrnehmen und entsprechend den protokollierten Abstimmungsergebnissen vorgehen. Insbesondere sollte er hinterfragen, ob es neuere *BVT-Merkblätter* und *BVT-Schlussfolgerungen mit Bester verfügbarer Technik* [10] [19] gibt, die als Stand der Technik behördlich anerkannt sind und die Grenzwerte der TA-Luft unterschreiten (s. Abschn. 2.3.1.3, Buchst. a)).

In der 9. BImSchV sind weitere Vorgaben für den Genehmigungsantrag und die zugehörigen Unterlagen enthalten. Diese betreffen:

- Antragsinhalt (§ 3),
- Antragsunterlagen (§ 4),
- Angaben zur Anlage und zum Anlagenbetrieb (§ 4a),
- Angaben zu den Schutzmaßnahmen (§ 4b),
- Plan zur Behandlung der Abfälle (§ 4c),
- Angaben zur Energieeffizienz (§ 4d),
- Zusätzliche Angaben zur Prüfung der Umweltverträglichkeit (§ 4e)

Im Antrag ist die Einhaltung aller genehmigungsrelevanten Rechtsvorschriften sowie der zugehörigen Regelwerke und Verwaltungsvorschriften nachzuweisen.

Für Anlagen, die auf Grund der benutzten gefährlichen Stoffe und Stoffmengen der Störfall-Verordnung (12. BImSchV) [11] unterliegen, sind nach § 4b, Abs. (2), 9. BImSchV dem Genehmigungsantrag umfangreiche, zusätzliche Angaben aus dem *Sicherheitsbericht* beizufügen.

Der Inhalt des Sicherheitsberichts für sog. Störfall-Anlagen ist in § 9 (Sicherheitsbericht) der 12. BImSchV angegeben.

Im Antrag beschreibt der Antragsteller u.a. den **Bestimmungsgemäßen Betrieb** der Anlage, für den die Genehmigung erteilt werden soll.

In der 1. Störfall-Verwaltungsvorschrift (StörfallVwV) [20] sowie nochmals präzisiert und erläutert in [21] ist dieser Begriff wie folgt definiert:

**Bestimmungsgemäßer Betrieb** ist der zulässige Betrieb, für den die Anlagen, Infrastruktur und Tätigkeiten in einem Betriebsbereich nach ihrem technischen Zweck bestimmt, ausgelegt und geeignet sind. (...).

Betriebszustände, die der erteilten Genehmigung, vollziehbaren nachträglichen Anordnungen oder Rechtsvorschriften nicht entsprechen, gehören nicht zum bestimmungsgemäßen Betrieb.

Der bestimmungsgemäße Betrieb umfasst:

- den Normalbetrieb einschließlich betriebsnotwendiger Eingriffe wie z. B. der Probenahme, und einschließlich der Lagerung mit Füll-, Umfüll- und Abfüllvorgängen,
- die Inbetriebnahme und den An- und Abfahrbetrieb,
- den Probebetrieb,
- Instandhaltungsvorgänge (Wartung, Inspektion, Instandsetzung, Verbesserung) und Reinigungsarbeiten sowie
- den Zustand bei vorübergehender Außerbetriebnahme [21].

Neben dem Normalbetrieb gehören auch andere Neben- und Sonderzustände der Anlage zum bestimmungsgemäßen Betrieb und müssen im Antrag hinsichtlich ihrer Umwelteinwirkungen betrachtet und beschrieben werden.

Bei der Definition und Beschreibung des bestimmungsgemäßen Betriebs sollten nach Möglichkeit auch beabsichtigte, zukünftige Betriebszustände (Prozessparameter, Stoffe, Fahrweisen u.ä.) mit bedacht und beantragt werden. Damit werden diese Zustände mit genehmigt und eine spätere Fortschreibung der Genehmigung wegen wesentlicher Änderungen nach § 16, BImSchG vermieden.

Der Antragsteller kann den Unterlagen ein Gutachten beifügen, in dem die Vereinbarkeit des Vorhabens mit den Rechtsvorschriften und dem Stand der Technik nachgewiesen wird.

Betreffs detaillierterer Hinweise zur Ausarbeitung der Antragsunterlagen wird auf die o.g. Rechtsvorschriften sowie auf Verwaltungsrichtlinien der zuständigen Genehmigungsbehörden verwiesen.

Die Behörde hat nach Eingang des Antrags und der Unterlagen unverzüglich, in der Regel innerhalb eines Monats, zu prüfen, ob der Antrag den § 3 und die Unterlagen den §§ 4 bis 4e der 9. BImSchV entsprechen.

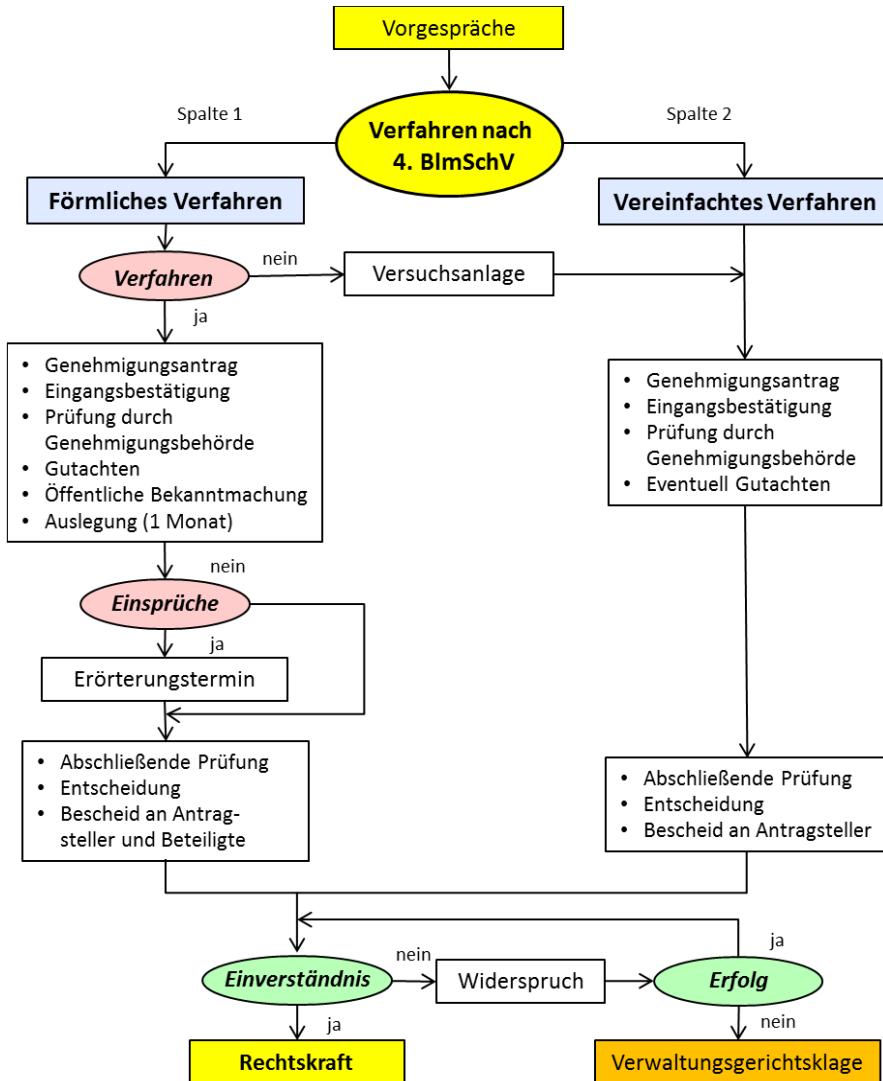
Sind der Antrag oder die Unterlagen nicht vollständig, so hat die Genehmigungsbehörde den Antragsteller unverzüglich aufzufordern, den Antrag oder die Unterlagen innerhalb einer angemessenen Frist zu ergänzen.

### **5.5.3 Ablauf des Genehmigungsverfahrens**

Der Ablauf des Genehmigungsverfahrens nach BImSchG ist in Abb. 5.5 gezeigt. Inwieweit ein förmliches oder vereinfachtes Genehmigungsverfahren durchzuführen ist, entscheidet die Zuordnung der Anlage gemäß der Auflistung im Anhang zur 4. BImSchV.

#### **a) Förmliches Genehmigungsverfahren (§ 10, BImSchG, 9. BImSchV)**

- Diese Verfahrensart ist nach § 10, BImSchG für Anlagen anzuwenden, die in Spalte 1 des Anhangs zur 4. BImSchV genannt sind.
- Im förmlichen Verfahren ist neben den Behörden auch die Öffentlichkeit beteiligt.
- Zu diesem Zweck hat die zuständige Behörde, sobald die Antragsunterlagen vollständig sind, das Vorhaben



**Abb. 5.5** Ablauf des Genehmigungsverfahrens nach BImSchG und 9. BImSchV

- im amtlichen Veröffentlichungsblatt,
  - im Internet oder
  - in örtlichen Tageszeitungen
- öffentliche bekannt zu machen und die Unterlagen zur Einsicht durch die Öffentlichkeit auszulegen.
- Die Öffentlichkeit (auch Firmen, Verbände, Vereine) kann bis zwei Wochen nach Ablauf der Auslegungsfrist gegenüber der zuständigen Behörde schriftliche Einwendungen erheben.

- Danach sind alle Einwendungen, die nicht auf besonderen privatrechtlichen Titeln (Ansprüchen) beruhen, ausgeschlossen.

Grundsätzlich gilt, um Verzögerungen im Verfahren zu vermeiden:

*Jedermann ist befugt, schriftlich Einwendungen gegen das Vorhaben zu erheben. Lässt er aber die Frist verstreichen, so werden seine Einwendungen, auch vor Gericht, nicht mehr angenommen.*

*Bem.: Mit Ausnahme privatrechtlicher Titel.*

- Nach Ablauf der Einwendungsfrist kann die Genehmigungsbehörde die fristgemäß erhobenen Einwendungen mit dem Antragsteller und den Einwendern (und nur diesen!) erörtern. Die Erörterung soll den Einwendern Gelegenheit geben, ihre Einwendungen zu erläutern.
- Ein Erörterungstermin findet nach § 16 der 9. BImSchV nicht statt, wenn
  - Einwendungen gegen das Vorhaben nicht oder nicht rechtzeitig erhoben worden sind,
  - die rechtzeitig erhobenen Einwendungen zurückgenommen worden sind,
  - ausschließlich Einwendungen erhoben worden sind, die auf besonderen privatrechtlichen Titeln beruhen oder
  - die erhobenen Einwendungen nach der Einschätzung der Behörde keiner Erörterung bedürfen.
- Der Erörterungstermin ist öffentlich. Im Einzelfall kann aus besonderen Gründen die Öffentlichkeit ausgeschlossen werden.  
Weitere Regelungen zur Erörterung siehe §§ 14 bis 19 der 9. BImSchV.
- Die Genehmigungsbehörde holt Sachverständigungsgutachten ein, soweit dies für die Prüfung der Genehmigungsvoraussetzungen notwendig ist.
- Sind alle Umstände ermittelt, die für die Beurteilung des Genehmigungsantrags von Bedeutung sind, hat die Genehmigungsbehörde unverzüglich über den Antrag zu entscheiden. Die einzelnen Maßnahmen und Fristen sind in Tabelle 5.1 nochmals zusammengefasst.
- Bezuglich der Gesamtdauer des Genehmigungsverfahrens steht in § 10, Abs. 6a des BImSchG:

Über den Genehmigungsantrag ist nach Eingang des Antrags und der nach Absatz 1 Satz 2 einzureichenden Unterlagen innerhalb einer **Frist von sieben Monaten**, in vereinfachten Verfahren innerhalb einer Frist von drei Monaten, zu entscheiden.

Die zuständige Behörde kann die Frist um jeweils **drei Monate** verlängern, wenn dies wegen der Schwierigkeiten der Prüfung oder aus Gründen, die dem Antragsteller zuzurechnen sind, erforderlich ist.

- In der 9. BImSchV gibt es zu *besonderen Vorschriften* weitere Ausführungen bezüglich:
  - Teilgenehmigung (§ 22),
  - Vorbescheid (§ 23),
  - Raumordnungsverfahren und Genehmigungsverfahren (§ 23a),
  - Vereinfachtes Verfahren (§ 24),
  - Zulassung vorzeitigen Beginns (§ 24a).

**Tabelle 5.1** Maßnahmen und Fristen des förmlichen Genehmigungsverfahrens [22]

Prüfung der Antragsunterlagen <b>unverzüglich</b> (§ 7 Absatz 1 der 9. BlmSchV) (höchstens 1 Monat)	Beteiligung der Fachbehörden mit Fristsetzung zur Stellungnahme: <b>1 Monat</b> § 11 Satz 1 d. 9. BlmSchV	→		Prüfung, Abstimmung und Entscheidung <b>unverzüglich</b> (§ 20 Absatz 1 der 9. BlmSchV) (vor Ablauf der 7-Monats-Frist)	
	Bekanntmachung des Vorhabens	Auslegung Unterlagen	Erörterungstermin: ohne Frist, Regel: <b>4 Wo.</b> nach Ende der Auslegung		
	<b>1 Woche + 1 Monat</b> (§8 und 9 Abs. 2 der 9. BlmSchV)		Vorbereitung		
		<u>Einwendungsfrist:</u> Dauer der Auslegung <b>1 Monat plus 2 Wochen</b>			
Gesetzlich vorgegebene maximale Laufzeit des Verfahrens: <b>7 Monate</b> (§ 10 Absatz 6a BlmSchG); Verlängerung aber möglich					

**b) Vereinfachtes Genehmigungsverfahren** (§ 19, BImSchG, 9. BImSchV)

- Diese Verfahrensart ist nach § 19, BImSchG für Anlagen anzuwenden, die in Spalte 2 des Anhangs zur 4. BImSchV genannt sind.
- Das vereinfachte Verfahren beinhaltet keine Öffentlichkeitsbeteiligung und keine UVP-relevanten Maßnahmen.  
Die anderen Pflichten und Maßnahmen bleiben weitgehend unberührt (s. Abb. 5.5, rechter Zweig).
- Das vereinfachte Verfahren wird ohne Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) durchgeführt. Die bei einer UVP vorgeschriebene Öffentlichkeitsbeteiligung erfordert ein förmliches Verfahren.
- In Tabelle 5.2 ist eine Übersicht von Maßnahmen und Fristen im vereinfachten Verfahren angeführt.

**Tabelle 5.2** Maßnahmen und Fristen des vereinfachten Genehmigungsverfahrens [22]

Prüfung der Antragsunterlagen; <b>(1 Monat)</b>	→	Beteiligung der Fachbehörden mit Fristsetzung zur Stellungnahme <b>(1 Monat)</b>	→	Prüfung und Abstimmung, <b>(1 Monat)</b>	→	<b>Entscheidung</b> (vor Ablauf der 3-Monats-Frist)
Gesetzlich vorgegebene maximale Laufzeit des Verfahrens: <b>3 Monate</b> (§ 10 Absatz 6 a BlmSchG); Verlängerung aber möglich						

- In einem vereinfachten Genehmigungsverfahren sind privatrechtliche Abwehransprüche gemäß § 14, BImSchG nicht mehr ausgeschlossen.  
Das heißt, betroffene Nachbarn oder andere Dritte, die im nicht-öffentlichen

Verfahren nicht beteiligt waren, können gegen die Genehmigung (z.B. gegen deren Errichtung und Betrieb) privatrechtlich klagen.

Da die Einwände von Dritten im bisherigen Verfahren nicht betrachtet und berücksichtigt wurden, ist ein signifikantes Risiko für den Projektträger in der Weise gegeben, dass die Einwände ggf. als berechtigt eingeschätzt werden und in Folge der Genehmigungsbescheid geändert wird.

- Möchte der Antragsteller mit der Genehmigung einen privatrechtlichen Bestandsschutz für die Errichtung und den Betrieb seiner Anlage, so kann er nach § 19, Abs. (3) des BImSchG auch ein förmliches Verfahren beantragen; auch wenn dies nach der 4. BImSchV nicht nötig wäre.

Das Verfahren würde länger dauern, aber die Rechtskraft (der öffentlich-rechtliche Bestandsschutz) der Genehmigung ist höher.

#### **5.5.4 Genehmigungsbescheid**

In § 21 (Inhalt des Genehmigungsbescheids) der 9. BImSchV ist u.a. festgelegt:

- (1) Der Genehmigungsbescheid muss enthalten
  1. die Angabe des Namens und des Wohnsitzes oder des Sitzes des Antragstellers,
  2. die Angaben, dass eine Genehmigung, eine Teilgenehmigung oder eine Änderungsgenehmigung erteilt wird, und die Angabe der Rechtsgrundlage,
  3. die genaue Bezeichnung des Gegenstandes der Genehmigung einschließlich des Standortes der Anlage,
  - 3a. die Festlegung der erforderlichen Emissionsbegrenzungen,
  4. die Nebenbestimmungen zur Genehmigung,
  5. die Begründung, aus der die wesentlichen tatsächlichen und rechtlichen Gründe, die die Behörde zu ihrer Entscheidung bewogen haben, und die Behandlung der Einwendungen hervorgehen sollen; bei UVP-pflichtigen Anlagen ist die zusammenfassende Darstellung nach § 20 Abs. 1a (d. Verf.: der 9. BImSchV) sowie die Bewertung nach § 20 Abs. 1b in die Begründung aufzunehmen.
  6. Angaben über das Verfahren zur Beteiligung der Öffentlichkeit,
  7. eine Rechtsbehelfsbelehrung.

Das Inhaltsverzeichnis des Genehmigungsbescheids einer Kraftwerksanlage enthält Tabelle 5.3.

Nach Zustellung des Genehmigungsbescheids an den Antragsteller und die Einwender kann von denen der Genehmigungsbescheid angefochten werden.

Gegen den Genehmigungsbescheid eines förmlichen Verfahrens kann, neben dem Antragsteller, nur derjenige widersprechen,

- der seine persönlichen Rechte verletzt sieht,
- der im förmlichen Verfahren fristgerecht Einspruch erhoben hatte und
- der die Einspruchsfrist von 1 Monat einhält.

Der förmliche Genehmigungsbescheid gewährt dem Antragsteller nach § 14, BImSchG einen privatrechtlichen Bestandsschutz [1].

**Tabelle 5.3** Inhaltsverzeichnis eines Genehmigungsbescheids (Praxisbeispiel)

<b>I.</b>	<b>Allgemeine Angaben</b> (Antragsteller, Vorhaben, Rechtsgrundlagen u. ä.)
<b>II.</b>	<b>Ergebnis der Entscheidung</b>
<b>III.</b>	<b>Antragsunterlagen</b>
<b>IV.</b>	<b>Nebenbestimmungen gem. § 12 des BImSchG</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Allgemeines</li> <li>2. Bauordnungsrechtliche Erfordernisse</li> <li>3. Immissionsschutz - Teil Reinhal tung der Luft</li> <li>4. Immissionsschutz - Teil Lärmschutz</li> <li>5. Brandschutz</li> <li>6. Arbeitsschutz und Sicherheit</li> <li>7. Brandschutz</li> <li>8. Reststoffe/Abfall</li> <li>9. Gewässerschutz</li> <li>10. Bauordnungsrechtliche Erfordernisse</li> </ol>
<b>V.</b>	<b>Hinweise</b>
<b>VI.</b>	<b>Begründung</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Umweltverträglichkeitsprüfung</li> <li>2. Angabe der Umwelteinwirkungen</li> <li>3. Beurteilung der Umwelteinwirkungen</li> <li>4. Gesamtbeurteilung des Vorhabens</li> </ol>
<b>VII.</b>	<b>Kostenentscheidung</b>
<b>VIII.</b>	<b>Rechtsbehelfsbelehrung</b>

## 5.6 Nutzung und Änderung der Genehmigung

Mit der erteilten Genehmigung ist die rechtliche Basis für die Errichtung (beginnend mit der Baustelleneinrichtung) und den Betrieb (beginnend mit der Inbetriebnahme) der Anlage gegeben. Zugleich ist eine wichtige Voraussetzung für die anstehende Investitionsentscheidung erfüllt.

Die Pflichten, die aus dem Genehmigungsbescheid für die Projektabwicklung resultieren, sind zu selektieren und im Projekt umzusetzen (s. auch Ausführungen zum Umwelthaftungsgesetz in Abschn. 2.3.2.2, Buchst. e)).

Ferner sind Änderungen im Projekt auf ihre Genehmigungsrelevanz zu prüfen und adäquat zu reagieren. Von Bedeutung ist dabei der § 16 (Wesentliche Änderungen genehmigungsbedürftiger Anlagen) des BImSchG, der u.a. beinhaltet:

- (1) Die Änderung der Lage, der Beschaffenheit oder des Betriebs einer genehmigungsbedürftigen Anlage bedarf der Genehmigung, wenn
  - durch die Änderung nachteilige Auswirkungen hervorgerufen werden können und
  - diese für die Prüfung nach § 6 Abs. 1 Nr. 1 (d. Verf.: Prüfung der Genehmigungsvoraussetzungen) erheblich sein können (wesentliche Änderung).

Eine Genehmigung ist stets erforderlich, wenn die Änderung oder Erweiterung des

Betriebs einer genehmigungsbedürftigen Anlage für sich genommen die Leistungsgrenzen oder Anlagengrößen des Anhangs zur Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen erreichen.

Eine Genehmigung ist nicht erforderlich, wenn durch die Änderung hervorgerufene nachteilige Auswirkungen offensichtlich gering sind und die Erfüllung der sich aus § 6 Abs. 1 Nr. 1 ergebenden Anforderungen sichergestellt ist.

(5) Einer Genehmigung bedarf es nicht, wenn eine genehmigte Anlage oder Teile einer genehmigten Anlage im Rahmen der erteilten Genehmigung ersetzt oder ausgetauscht werden sollen.

Der zitierte Wortlaut bewirkt einen Ermessensspielraum in der Einschätzung des Investors bzw. Anlagenbetreibers, ob eine Projekt- bzw. Betriebsänderung wesentlich oder nichtwesentlich im genehmigungsrechtlichen Sinne ist.

Die Änderungsgenehmigung beruht auf dem aktuellen Stand der Rechts- und Verwaltungsvorschriften sowie dem Stand der Technik zum Zeitpunkt der Antragstellung. In Tabelle 5.4 ist ein Praxisbeispiel angegeben.

**Tabelle 5.4** Grobgliederung der Antragsunterlagen auf Erteilung einer Änderungsgenehmigung nach § 15 BImSchG (Praxisbeispiel)

<b>1</b>	<b>Antragsformular</b>
<b>2</b>	<b>Verzeichnis der Unterlagen, die Geschäfts-/Betriebsgeheimnisse enthalten</b>
<b>3</b>	<b>Anlagen- und Betriebsbeschreibung</b>
3.1	Allgemeines zu den Betriebseinheiten <ul style="list-style-type: none"> <li>– Antragsgegenstand</li> <li>– Ausrüstungen</li> <li>– Tank- und Betriebslager</li> <li>– Energieversorgung</li> <li>– Produktionsprogramm</li> <li>– Angaben zur Belegschaft</li> </ul>
3.2	Anlagen- und Betriebsbeschreibung <ul style="list-style-type: none"> <li>– Verfahrensbeschreibung (getrennt nach Betriebseinheiten (BE))</li> <li>– Abwasser- und Gewässerschutz (z. T. in Formularvordrucken)</li> <li>– Abluftreinigung (z. T. in Formularvordrucken)</li> <li>– Schallschutzmaßnahmen</li> <li>– Sicherheitsvorkehrungen (Allgemeine Vorkehrungen, Brand- und Explosions- schutz, Flucht- und Rettungswege usw.)</li> <li>– Schutzvorkehrungen für Belegschaft (Schutzkleidung, Atemschutz, Vorkeh- rungen gegen Kontamination mit Gefahrstoffen, Unterweisungen usw.)</li> <li>– Angaben zu Reststoffen, Stoffdaten u. ä. (z. T. in Formularvordrucken)</li> <li>– Baubeschreibung</li> </ul>
<b>4</b>	<b>Lageplan, Bauvorlagen u. a. Baudokumente</b>
<b>5</b>	<b>Topografische Karte</b>
<b>6</b>	<b>Fließbilder</b>
<b>7</b>	<b>Maschinen- und Apparateaufstellungspläne</b>
<b>8</b>	<b>Sicherheitsbericht</b>

Sofern die Änderung Einfluss auf die Schutzgüter Menschen, Tiere, Pflanzen, Boden, Wasser, Atmosphäre, Kulturgüter hat, ist sie der Behörde gemäß § 15, BImSchG anzugezeigen.

Änderungen an der erteilten Genehmigung, insbesondere während des späteren Anlagenbetriebs, können sich nicht nur bei *wesentlichen Änderungen* (§ 16, BImSchG) und daraus resultierenden Änderungsgenehmigungen, sondern auch durch *nachträgliche behördliche Anordnungen* gemäß § 17, BImSchG ergeben. Dazu steht in § 17:

- (1) Zur Erfüllung der sich aus diesem Gesetz und der auf Grund dieses Gesetzes erlassenen Rechtverordnungen ergebenden Pflichten können
  - nach Erteilung der Genehmigung sowie
  - nach einer nach § 15 Abs. 1 angezeigten Änderung
 Anordnungen getroffen werden.

Die behördlichen Anordnungen können auch entsprechend der gegebenen Situation dazu dienen, schädliche Umwelteinwirkungen abzuwehren (Grundpflichten) oder ihnen vorzubeugen (Vorsorgepflicht).

Kriterien für die Anordnungen sind die zu diesem Zeitpunkt geltenden Rechtsvorschriften sowie der aktuelle **Stand der Technik** gemäß der folgenden Begriffsdefinition nach § 3 (Begriffsbestimmungen), Abs. 6 des BImSchG [2]:

(6) **Stand der Technik** im Sinne dieser Gesetzes ist der Entwicklungsstand fortgeschrittlicher Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen, der die praktische Eignung einer Maßnahme zur Begrenzung von Emissionen in Luft, Wasser und Boden, zur Gewährleistung der Anlagensicherheit, zur Gewährleistung einer umweltverträglichen Abfallsorgung oder sonst zur Vermeidung oder Verminderung von Auswirkungen auf die Umwelt insgesamt gesichert erscheinen lässt.

Bei der Bestimmung des Standes der Technik sind insbesondere die in der Anlage aufgeführten Kriterien zu berücksichtigen.

Die in der Anlage zu § 3, Abs. 6 genannten Kriterien sind in Tabelle 5.5 angeben.

**Tabelle 5.5** Kriterien zur Bestimmung des Standes der Technik nach § 3 Abs. 6, BImSchG

Bei der Bestimmung des Standes der Technik sind unter Berücksichtigung der Verhältnismäßigkeit zwischen Aufwand und Nutzen möglicher Maßnahmen sowie des Grundsatzes der Vorsorge und der Vorbeugung, jeweils bezogen auf Anlagen einer bestimmten Art, insbesondere folgende Kriterien zu berücksichtigen:

1. Einsatz abfallarmer Technologie,
2. Einsatz weniger gefährlicher Stoffe,
3. Förderung der Rückgewinnung und Widerverwertung der bei den einzelnen Verfahren erzeugten und verwerteten Stoffe und gegebenenfalls der Abfälle,
4. vergleichbare Verfahren, Vorrichtungen und Betriebsmethoden, die mit Erfolg in Betrieb erprobt wurden,
5. Fortschritte in der Technologie und in den wissenschaftlichen Erkenntnissen,
6. Art, Auswirkungen und Menge der jeweiligen Emissionen,
7. Zeitpunkte der Inbetriebnahme der neuen oder der bestehenden Anlagen,

**Tab. 5.5** Fortsetzung)

- 
8. für die Einführung einer besseren verfügbaren Technik erforderliche Zeit,
  9. Verbrauch an Rohstoffen und Art der bei den einzelnen Verfahren verwendeten Rohstoffe (einschließlich Wasser) sowie Energieeffizienz,
  10. Notwendigkeit, die Gesamtwirkung der Emissionen und die Gefahren für den Menschen und die Umwelt so weit wie möglich zu vermeiden oder zu verringern,
  11. Notwendigkeit, Unfällen vorzubeugen und deren Folgen für den Menschen und die Umwelt zu verringern,
  12. Informationen, die von der Kommission der Europäischen Gemeinschaften gemäß... oder von internationalen Organisationen veröffentlicht werden.
- 

Der Punkt 12. bezieht sich u.a. auf die Veröffentlichung von BVT-Merkblättern und BVT-Schlussfolgerungen gemäß der Industrieemissionsrichtlinie [10], wie in Abschn. 2.3.1.3, Buchst. a) ausgeführt.

Die zitierte Begriffsbestimmung zum Stand der Technik ist relativ breit gefasst und deutbar. Dies macht die Anwendung im Genehmigungsverfahren nicht einfach.

## Literatur

- [1] Schöne H (2000) Standortplanung, Genehmigung und Betrieb umweltrelevanter Industrieanlagen, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
- [2] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG vom 26.09.2002 (BGBl. I S. 3830)
- [3] Gesetz über die Bereitstellung von Produkten auf dem Markt (Produktsicherheitsgesetz – ProdSG) vom 06.01.2004 (BGBl. I S. 2)
- [4] Verordnung zur Neuregelung der Anforderungen an den Arbeitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln und Gefahrstoffen – *Artikel 1:* Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln (Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV) vom 03.02.2015 (BGBl. I S. 49)
- [5] Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – WHG) vom 31.07.2009 (BGBl. I S. 2585)
- [6] Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG) vom 24.02.2012 (BGBl. I S. 212)
- [7] Lackner K, Kühl K (2004) Strafgesetzbuch mit Erläuterungen, Verlag Beck, München

- [8] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA-Luft) vom 24.07.2002 (GMBL S. 511)
- [9] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA-Lärm) vom 26. 08.1998 (GMBL S. 503)
- [10] Richtlinie 2010/75/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24.11.2010 über die Industrieemissionen (Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IE-RL) (ABl. EG L 334, S. 17-119)
- [11] Zwölfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Störfall- Verordnung – 12. BImSchV) vom 08.06.2005 (BGBl. I S. 1598)
- [12] Entwurf der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV) vom 31.08.2012
- [13] Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) vom 24.02.2010 (BGBl. I S. 94)
- [14] Verordnung über die Nachweisführung bei der Entsorgung von Abfällen (Nachweisverordnung – NachwV) vom 20.10.2006 (BGBl. I S. 2298)
- [15] Baugesetzbuch (BauGB) vom 23.09.1960 (BGBl. I S. 341)
- [16] Bundesberggesetz (BBergG) vom 13.08.1983 (BGBl. I S. 1310)
- [17] Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen – 4. BImSchV) vom 14.03.1997 (BGBl. I S. 504)
- [18] Neunte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über das Genehmigungsverfahren – 9. BImSchV) vom 29.05.1992 (BGBl. I S. 1001)
- [19] Umweltbundesamt: Nutzung der BVT-Merkblätter in Deutschland, Information v. 29.01.2013
- [20] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Störfall-Verordnung (StörfallVwV) vom 20.09.1993 (GMBL S. 582)
- [21] Vollzugshilfe zur Störfall-Verordnung vom März 2004, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Berlin
- [22] Freistaat Thüringen (2008), Thüringer Landesverwaltungsamt, Ref. 420 – Schulung LRÄ

## 6 Kostenermittlung (Cost Estimation)

Für die gesamte Projektabwicklung ist die Ermittlung der *Investitionskosten* (Kosten für Planung und Herstellung der Anlage) und *Betriebskosten* (Kosten für Betrieb und Instandhaltung der Anlage) von herausragender Bedeutung.

Bereits während der Projektvorbereitung, z.B. während der Durchführbarkeitsstudie, sind für den potentiellen Investor die zu erwartenden Investitions- und Betriebskosten wichtig. Sie können für die Standortwahl sowie für den Projektstart insgesamt entscheidend sein.

Im Lastenheft werden erste Vorgaben zu Investitionskosten und Wirtschaftlichkeit benötigt. Später sind die Kosten während der Vorplanung ein wichtiges Kriterium für die Auswahl günstiger Lösungsvorschläge.

Der Auftraggeber benötigt im Konzept- und Entscheidungsabschnitt die Kosten, um die Wirtschaftlichkeit der Anlageninvestition zu beurteilen und eine begründete Investitionsentscheidung zu treffen. Ferner muss er im Erfolgsfall das Investitions-Budget festlegen, die monetären Mittel beschaffen und die Budget-Einhaltung absichern.

Die Ermittlung und Bewertung der Kosten ist somit eine ständige Aufgabe des Projektmanagements.

Notwendig sind Methoden, die mit geringem Input (Planungstiefe) und innerhalb der begrenzten Genauigkeit verwertbare Ergebnisse liefern. Dies gilt umso mehr, wenn letztlich erst die ermittelten Kosten und die daraus abgeleitete Wirtschaftlichkeitsberechnung über die Investitionsfreigabe entscheiden; oder wenn die Wahrscheinlichkeit signifikant ist, dass die Investition auf „hold“ geht bzw. nicht getätigkt wird.

Mit der Investitionsentscheidung und Budgetfreigabe, nach Basic Engineering und Genehmigungsplanung, rücken die Kosten im Projektcontrolling noch stärker in den Fokus des Managements. Dies gilt gleichermaßen für den Auftraggeber (Investor) wie für den Auftragnehmer (Generalunternehmer/Generalplaner).

Wird die Herstellung der Anlage mittels eines **LSTK-Vertrags** realisiert, so entspricht der vereinbarte Pauschalpreis weitgehend der Investitionssumme. Auftraggeber und Generalunternehmer werden gemäß ihrer Interessenslage bemüht sein, einen niedrigen bzw. hohen Pauschalpreis für die Herstellung der schlüsselfertigen Anlage zu vereinbaren. Beide brauchen aus diesem Grund fundiertes Know-how, um die Investitionskosten am Ende Phase 4 (Genehmigungsplanung) möglichst genau zu bestimmen.

Findet die weitere Projektabwicklung im Rahmen eines **EPCM-Vertrags** statt, so muss der Auftraggeber überlegen, wie er den Generalplaner zur Budgeteinhaltung motivieren kann und gegebenenfalls an Kosteneinsparungen beteiligen.

Eine wirksame Möglichkeit wäre eine sog. Zielpreisvereinbarung (s. Abschn. 2.5.2, Buchst. a)), wobei die Bonus-Malus-Regelung nicht wenigen Engineering-unternehmen zu riskant ist.

Während die Betriebskosten mit Hilfe der bilanzierten Massen- und Energieströme sowie der zugehörigen Produkt- und Energiepreise relativ genau berechenbar sind, ist die Basis (Input/Planungstiefe) für die Ermittlung der Investitionskosten vergleichsweise ungenauer. Trotzdem erwartet das Management zum Zeitpunkt „Investitionsentscheidung/Budgetfreigabe“ (Ende Phase 6) belastbare Kosten mit Genauigkeiten von ca.  $\pm$  5 – 10 Prozent.

Hinsichtlich der Investitionskosten wird im vorliegenden Buch zwischen den *Direkten Anlagenkosten* und den *Indirekten Anlagenkosten* gemäß folgenden Begriffsbestimmungen unterschieden:

**Direkte Anlagenkosten** ist die Summe der Kosten aus Lieferungen (sog. Direkte Materialkosten, z.B. von

- Hauptausrüstungen (Apparate, Maschinen, Behälter, Tanks),
  - Rohrleitungen, Armaturen u.a.,
  - MSR-, PLS-, NAT-, PAT-Technik inkl. zugehöriger Software,
  - Elektrotechnik inkl. zugehöriger Software,
  - Lieferungen für Tief-, Hoch- und Stahlbau,
  - Lieferungen für TGA,
  - Lieferungen für Anstrich, Dämmung, Kennzeichnung u.ä.,
- plus der Kosten für Bau- und Montageleistungen inkl. Installation (sog. Direkte Arbeitskosten).

**Indirekte Anlagenkosten** ist die Summe der restlichen projektzugeordneten Kosten, die während der Projektlaufzeit anfallen und keine Direkten Anlagenkosten sind, wie z.B. Kosten für

- Projektleitung (z.T. im Engineering integriert),
- Anlagenplanung (Engineering),
- Bau-/Montageleitung und -überwachung,
- Genehmigungen,
- externe Sicherheitsprüfungen (TÜV, behördliche Stellen),
- gutachterliche Projektbegleitung,
- Versicherungen während der Projektabwicklung,
- unabhängige Qualitätskontrolle,
- Kapitalbereitstellung usw.

In die so definierten *Direkten Anlagenkosten* und *Indirekten Anlagenkosten* nicht einbezogen sind u.a. die Kosten für

- das Herrichten (Kauf, Beräumung, Erschließung u.a.) des Grundstücks,
- die notwendigen projektbezogenen Infrastrukturmaßnahmen außerhalb der Anlagengrenze (**Outside Battery Limits – OSBL**),
- projektübergreifende Öffentlichkeitsarbeit u.ä. Präsentations- und/oder Werbemaßnahmen,
- sonstige nicht direkt projektbezogene Managementaktivitäten.

Im Weiteren werden betreffs der Investitionskostenermittlung nur diese beiden Kostenarten näher betrachtet. Darüber hinaus wird auf die Fachliteratur verwiesen.

## 6.1 Kosten für Engineering

### a) Gesamtkosten für das Engineering

Die Engineeringkosten sind Hauptbestandteil der sog. *Indirekten Anlagenkosten*. Die Gesamtkosten (Arbeits- und Nebenkosten) für Engineeringleistungen in den Phasen 1 bis 6 machen kumulativ einen Betrag aus, der ca. 20 bis 30 Prozent der *Direkten Anlagenkosten* entspricht.

Dieser Anteil kann u.a. in prozessintensiven Anlagen oder in Pharmaanlagen auf über 30 Prozent ansteigen. Er kann aber in überwiegend Rohrleitungsprojekten oder einfachen Bauprojekten auch auf unter 20 Prozent fallen.

Die Mindest- und Höchstsätze der Honorare in der HOAI (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure) [1], die die Grundleistungen gemäß dieser Verordnung für Architekten und Ingenieure im Inland regelt, enthält vergleichsweise Tabelle 6.1 am Beispiel des Leistungsbilds *Technische Ausrüstung*.

**Tabelle 6.1** Honorare für Grundleistungen des Leistungsbilds *Technischen Ausrüstung* nach HOAI [1]

Anrechenbare Kosten in Euro	Honorarzone I geringe Anforderungen von bis		Honorarzone II durchschnittliche Anforderungen von bis		Honorarzone III hohe Anforderungen von bis	
	Euro	Euro	Euro	Euro	Euro	Euro
5.000	2.132	2.547	2.547	2.990	2.990	3.405
10.000	3.689	4.408	4.408	5.174	5.174	5.893
15.000	5.084	6.075	6.075	7.131	7.131	8.122
25.000	7.615	9.098	9.098	10.681	10.681	12.164
35.000	9.934	11.869	11.869	13.934	13.934	15.869
50.000	13.165	15.729	15.729	18.465	18.465	21.029
75.000	18.122	21.652	21.652	25.418	25.418	28.948
100.000	22.723	27.150	27.150	31.872	31.872	36.299
150.000	31.228	37.311	37.311	43.800	43.800	49.883
250.000	46.640	55.726	55.726	65.418	65.418	74.504
500.000	80.684	96.402	96.402	113.168	113.168	128.886
750.000	111.105	132.749	132.749	155.836	155.836	177.480
1.000.000	139.347	166.493	166.493	195.448	195.448	222.594
1.250.000	166.043	198.389	198.389	232.891	232.891	265.237
1.500.000	191.545	228.859	228.859	268.660	268.660	305.974
2.000.000	239.792	286.504	286.504	336.331	336.331	383.044
2.500.000	285.649	341.295	341.295	400.650	400.650	456.296
3.000.000	329.420	393.593	393.593	462.044	462.044	526.217
3.500.000	371.491	443.859	443.859	521.052	521.052	593.420
4.000.000	412.126	492.410	492.410	578.046	578.046	658.331

Die *Anrechenbaren Kosten* sind nach § 4 der HOAI der Teil der Kosten, der für die Herstellung, den Umbau, die Modernisierung, Instandhaltung und Instandsetzung von Objekten sowie die damit zusammenhängenden Aufwendungen benötigt wird. Sie beinhalten neben den Direkten Anlagenkosten noch einen Teil der Indirekten Anlagenkosten.

Für das Leistungsbild *Technische Ausrüstung*, d.h. im Wesentlichen die Leistungen der Technischen Gebäudeausrüstung TGA, gilt betreffs der Honorarzonen:

- |                  |  |
|------------------|--|
| Honorarzone I:   | geringe Planungsanforderungen,           |
| Honorarzone II:  | durchschnittliche Planungsanforderungen, |
| Honorarzone III: | hohe Planungsanforderungen.              |

Die TGA-Planungsleistungen für verfahrenstechnische Anlagen werden in der HOAI, Anlage 15 überwiegend in die Honorarzone III eingeordnet.

Entsprechend diesen Annahmen ergibt sich beispielsweise aus Tabelle 6.1 für Anrechenbare Kosten von *1 Mio. EURO* und *Honorarzone III* ein Gesamthonorar für die Grundleistungen nach HOAI, Anlage 15 zu §§ 55, 56 von *195.448 bis 222.594 EURO*. Dies entspricht *19,5 bis 22,3 Prozent* bezogen auf die Anrechenbaren Kosten.

Rechnet man noch die *Besonderen Leistungen* (HOAI, § 3 Abs. (2)), deren Honorar zusätzlich und frei zu vereinbart ist, sowie die möglichen Nebenkosten (HOAI, § 14) hinzu, so kann sich ein Gesamt-Honoraranteil von ca. 25 Prozent bezogen auf die Anrechenbaren Kosten ergeben.

Insgesamt kann die HOAI für Unternehmen, die bisher keine Erfahrungen bei der Ermittlung der Engineeringkosten haben, eine gewisse Orientierung liefern.

*Um im verfahrenstechnischen Anlagenbau ausreichend genaue und belastbare Gesamt-Engineeringkosten zu erhalten, ist die HOAI jedoch nicht geeignet.*

Einerseits sind die Tätigkeiten (Leistungsphasen) nicht vergleichbar und andererseits verwendet die HOAI als Bezugsbasis die sog. Anrechenbaren Kosten, die mit den Direkten Anlagenkosten nicht gleichzusetzen sind.

Letztlich müssen die Engineeringleistungen sachkundig und detailliert entsprechend den Ausführungen in Abschn. 1.6 geplant und auf dieser Basis die dafür notwendigen Engineeringkosten ermittelt werden.

### b) Kostenanteile für Engineeringleistungen in einzelnen Phasen

Wie sich die Engineeringkosten auf die einzelnen Phasen der Projektabwicklung verteilen, kann an Hand der HOAI orientierungsweise erörtert werden. Die HOAI gilt zwar für Bauprojekte, benutzt aber ein ähnlich strukturiertes Phasenmodell.

Ferner enthält die HOAI in § 55 [1] das schon erwähnte *Leistungsbild Technische Ausrüstung*, dass zumindest orientierungsweise als Vergleichsgrundlage geeignet erscheint.

In Tabelle 6.2 sind die neun Leistungsphasen und die Prozentsätze der anteiligen Honorare dieses Leistungsbilds am Gesamt-Honorar angegeben.

Auch wenn das gezeigte Leistungsbild *Technische Ausrüstungen* nur begrenzt auf den verfahrenstechnischen Anlagenbau übertragbar ist, so erscheinen doch folgende Fakten bemerkenswert:

- Die Leistungen der Engineeringphasen *Grundlagenermittlung* bis *Genehmigungsplanung* (die Phase *Kostenermittlung* gibt es nicht), machen bei Bau-Projekten gemäß Tabelle 6.2 zusammen 30 Prozent des Gesamthonorars aus.

**Tabelle 6.2** Honoraranteile der einzelnen Leistungsphasen (LPH) nach HOAI, Leistungsbild *Technische Ausrüstung* [1]

LPH	Benennung	Bewertung der Grundleistungen (in v. H. des Honorars)
1	Grundlagenermittlung	2
2	Vorplanung	9
3	Entwurfsplanung	17
4	Genehmigungsplanung	2
5	Ausführungsplanung	22
6	Vorbereitung der Vergabe	7
7	Mitwirkung bei der Vergabe	5
8	Objektüberwachung - Bauüberwachung	35
9	Objektbetreuung	1

- In Anlagenbau-Projekten, insbesondere bei einem Extended Basic, sind bis Ende Phase 5 (Ende Genehmigungsplanung) auch Planungsgrade von bis zu 40 Prozent erreicht.
- Die Mitwirkungen bei der *Beschaffung* (Summe der Leistungsphasen 6 und 7 in Tab. 6.2) macht 12 Prozent Honoraranteil aus.  
Im verfahrenstechnischen Anlagenbau werden im EPCM-Vertrag die Mitwirkungsleistungen des Ingenieurs, um den Investor im Einkauf zu unterstützen, mit ca. 12 bis 17 Prozent der Gesamt-Engineeringkosten geschätzt.
- Die *Objekt-/Bauüberwachung* in Phase 8 wird mit 35 Prozent Honoraranteil bewertet. Dieser Anteil ist erheblich. Im verfahrenstechnischen Anlagenbau wird der Kostenanteil für die Bau-/Montageleitung und -überwachung auf ca. 20 bis 30 Prozent der Gesamt-Engineeringkosten geschätzt.

## 6.2 Investitionskostenermittlung

### 6.2.1 Vorbemerkung und Überblick

Einleitend zu diesem Kapitel wurde bereits aufgezeigt, dass Kosteninformationen in allen Engineeringphasen der Projektabwicklung benötigt werden. Dabei hat das Management den Wunsch, trotz der geringen Planungstiefe möglichst präzise Kostenangaben zu erhalten.

Am Ende der Phase 4 (nach Genehmigungsplanung) beträgt z. B. die Planungstiefe nur ca. 30 bis 35 Prozent, aber die auf dieser Basis ermittelten Investitionskosten sollten möglichst  $\pm$  5 Prozent genau sein.

Andererseits möchte das Management bis zu diesem Zeitpunkt das Engineering auch nicht zu weit ausführen, da die Budget-Freigabe für die Investition noch nicht erfolgt ist und das Projekt ggf. auf „hold“ geht bzw. nicht realisiert wird.

Auch wenn der genannte Genauigkeitswunsch nicht selten eine Illusion bleibt, so sind die Ergebnisse an sich doch überzeugend. Die Ursache ist zum einen in Abb. 6.1 zu sehen.

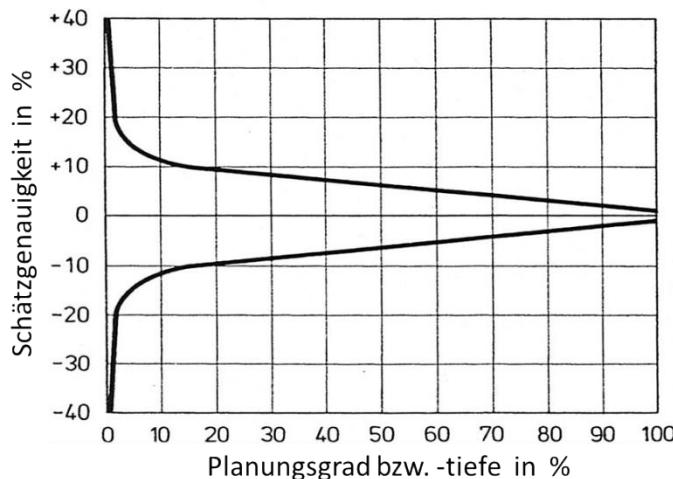


Abb. 6.1 Abhängigkeit von Schätzgenauigkeit und Planungstiefe [2]

Dargestellt ist die Abhängigkeit der Genauigkeit der Kostenermittlung, besser Schätzung, von der Planungstiefe bzw. dem Planungsgrad. Sie basiert auf Untersuchungen der BASF AG bei mittelgroßen Projekten zwischen 2,5 und 12,5 Mio. EUR [2].

Unter der Voraussetzung, dass alle Möglichkeiten und alles Know-how der Kostenschätzung genutzt werden, kann bei Planungstiefen von nur 30 Prozent eine Kostengenauigkeit von ca.  $\pm 10$  bis 12 Prozent erreicht werden. Dies entspricht auch den Erfahrungen des Autors.

Die Kurve in Abb. 6.1 belegt aber auch, dass Kosten-Genauigkeiten von  $\pm 5$  Prozent bereits eine Planungstiefe von ca. 60 Prozent erfordern, d.h. den größten Teil des Detail Engineerings voraussetzen.

Abhängig von der Planungstiefe für die zu bauende Anlage und begleitend zu den Phasen der Projektentwicklung ist eine Einstufung in mehrere Kostenermittlungsstufen möglich. Eine Übersicht, die zugleich auch Angaben zu den Kosten-Kalkulationsmethoden der nachfolgenden Abschnitte enthält, zeigt Tabelle 6.3.

Die zweite Begründung (neben der Abhängigkeit in Abb. 6.1) für die i. Allg. erreichte Schätzgenauigkeit, trotz vergleichsweise geringer Planungstiefe, ist das beträchtliche Know-how der Firmen, insbesondere der Engineeringunternehmen.

Für diese Unternehmen können fehlerhafte (zu geringe) Investitionskosten, die sich vertraglich im Pauschal- oder Zielpreis niederschlagen, existenzbedrohend werden; im umgekehrten Fall aber auch einen Extragewinn bewirken.

Zugleich ist damit verständlich, dass das Firmen-Know-how der Investitionskostenermittlung, insbesondere bei nur geringer Planungstiefe, ein sehr gut gehü-

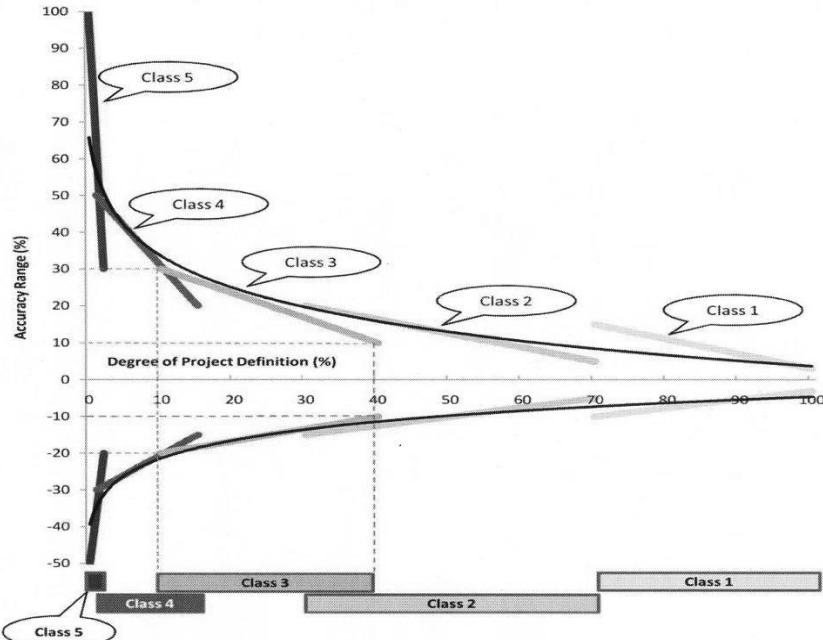
Phase	Ziel	Genaug-keit [%]	Planungs-grad [%]	Planungs-unterlagen	Kalkulationsunterlagen	Kalkulationsmethode
<b>Projekt-vorbereitung, Vorstudie</b>	Konzeptfindung, Konzeptvorstellung	± 30 - 50	0 - 1	Marktstudie, Durchführbarkeitsstudie	Datensammlung mit Umschlagskoeffizienten und Degressionsexponenten	Kapazitätsmethode (Umschlagkoeffizienten des Anlagekapitals oder Degressionskoeffizienten)
<b>Grundlagen-ermittlung</b>	Vorgaben für Lastenheft	± 20 - 35	1 - 5	Lastenheft	wie zuvor	Kapazitätsmethode, z.T. Gesamt faktorenmethode oder Modulmethode
<b>Vorplanung</b>	Erarbeiten von Lösungsalternativen, Auswahl des Lösungsvorschlags	± 15 - 25	10 - 15	Dokumente der Vorplanung	Regressionskurven für Verfahrensstufen und Module, inkl. Korrekturfaktoren, Richtpreisdiagramme/Regressionskurven für Apparate u. Maschinen, Sammlung von Gesamtfaktoren u. Einzelfaktoren aus Projekten	Modulmethode, Gesamt-/Einzelfaktorenmethode
<b>Entwurfs-/Genehmigungsplanung</b>	Genehmigung, Investkosten, Wirtschaftlichkeit, Investitionsentscheidung, Budget-Freigabe	± 8 - 15	25 - 35	Dokumente der Entwurfs-/Genehmigungsplanung	Herstellerangebote, Preise für Mengengerüste, z.B. modulbezogen, Preislisten, Einzelfaktoren, Korrekturfaktoren spezifische Investitionskosten aus Projekten inkl. Umwägbarkeiten	Einzelfaktoren, Modulmethode spezifische Investitionskosten aus anderen Projekten
<b>Ausführungsplanung/ Beschaffung</b>	Feinkalkulation Ausschreibung Vergabe, Vertrag Einkauf	± 4 - 8	85 - 95	Dokumente der Ausführungsplanung	Bestellungen, Angebote, Erfahrungen zu Change Order	detaillierte Kostenermittlung

Tabelle 6.3 Übersicht zur Investitionskostenermittlung während des Engineering

tetes Firmengeheimnis darstellt. In den letzten Jahren sind beispielsweise über die Investitionskostenermittlung nur wenig Informationen veröffentlicht wurden.

Ein Ausnahme bildet die Veröffentlichung der ASTM International (American Society for Testing and Materials) und der AACE International (Association of the Advancement of Cost Engineering) in [3].

Einige wichtige Informationen daraus sind, in analoger Weise wie in Abb. 6.1 und Tab. 6.3, in der nachfolgenden Abb. 6.2 und in Tabelle 6.4 wiedergegeben.



**Abb. 6.2** Example of the Variability in Accuracy Ranges for Process Industry Estimate [3]

**Tabelle 6.4** Illustrative Example of Typical Accuracy Ranges for the Process Industry [3]

Estimated Class	Degree of Projection Definition	Expected Accuracy Range	
		Low range	High range
Class 5	0% bis 2% (Vorstudie)	-20% bis -50%	+30% bis +100%
Class 4	1% bis 15% (Pre Basic)	-15% bis -30%	+20% bis +100%
Class 3	10% bis 40% (Basic Engineering)	-10% bis -20%	+10% bis +50%
Class 2	30% bis 70% (Detail Engineering)	-5% bis -15%	+5% bis +20%
Class 1	70% bis 100% (Projektende)	-3% bis -10%	+3% bis +15%

Man erkennt, dass die beiden Kurven des Low range und des High range in Abb. 6.2 (im Unterschied zu Abb. 6.1) asymmetrisch verlaufen. Dies erscheint logisch, da i. Allg. eine Kostenüberschreitung wahrscheinlicher ist als umgekehrt. Ferner ist die Kostenüberschreitung nach oben offen.

Zum anderen sind die Schwankungsbreiten (Ungenauigkeiten) in der Abb. 6.2, die generell für Industrieanlagen erarbeitet wurde, deutlich größer als in Abb. 6.1, die speziell für verfahrenstechnische Anlagen der chemischen und artverwandten Industrie ermittelt wurde.

Ein bekanntes Beispiel, welches belegt, dass die Kostenermittlung mitunter auch schwierig und erheblich unpräzise sein kann, zeigt Abb. 6.3.



**Abb. 6.3** Opernhaus von Sydney (Architekt: Jørn Utzon, Dänemark)

Die Bauzeit des Sydney Opera House betrug 14 Jahre (1959 bis 1973) und die Baukosten das 14fache der ursprünglich kalkulierten Summe. Seit 2007 steht das Opernhaus auf der Liste des UNESCO-Welterbes. Es ist eines der beliebtesten Touristenattraktionen Australiens und auch Dänemark betrachtet es als Bestandteil seines kulturellen Erbes.

## 6.2.2 Kapazitätsmethoden

Die *Kapazitätsmethoden* ermitteln die Investitionskosten in Relation zu den bekannten Investitionskosten einer gleichartigen Anlage anderer Größe.

Für den jeweiligen Anlagentyp werden in Auswertung bisheriger Projekte spezifische Kennziffern bestimmt, die die Investitionskosten im Verhältnis zu großtechnisch ermittelten kapazitiven Größen (Menge an Zielprodukt, Jahresumsatz)

berechnen bzw. besser schätzen. Beispiele sind:

- Anlagenkapitalbedarf (AK): Verhältnis von Jahresumsatz (Neuanlage) zu Kapitalumschlagskoeffizient (des Anlagentyps)
- Anlagenkapitalbedarf (AK): Produkt aus Anlagenkapazität (KAP) und spezifischen Kapitalbedarf (des Anlagentyps)
- Anlagenkapitalbedarf (AK):  $\text{AK}_1/\text{AK}_0 = (\text{KAP}_1/\text{KAP}_0)^{\text{DK}}$

Der in der Gleichung angeführte *Degressionskoeffizient (DK)* beträgt für viele Anlagentypen und auch für verschiedene Anlagenkomponenten im Mittel ca. 0,66 bzw. 2/3 [4][5][6].

Die angeführten Kapazitätsmethoden erfordern keinen großen Planungsaufwand und werden für erste Vorentscheidungen (Studie, Konzept, Grundlagenermittlung) genutzt. Sie erlauben, je nach existierenden Erfahrungswerten, Grob-Kostenschätzungen mit  $\pm 20\text{ - }40\%$  Genauigkeit.

Andere Kapazitätsmethoden, die auch die Spezifikation der Anlage einbeziehen, sind in [4] angeführt.

### 6.2.3 Zuschlagsfaktorenmethoden

Die Zuschlagsfaktorenmethoden verwenden die Anschaffungskosten der Hauptausrüstungen als Bezugsbasis und ermitteln über spezifische Zuschlagsfaktoren (bezogen auf diese Anschaffungskosten) die Investitionskosten.

Sie erfordern für die Bestimmung der Hauptausrüstungskosten und die Wahl der Zuschlagsfaktoren eine größere Planungstiefe, liefern aber auch höhere Genauigkeiten. Zunächst aber zur Methode selbst.

Grundsätzlich werden zwei Methoden unterschieden:

#### a) Gesamtfaktorenmethode

Es werden die Investitionskosten aus der Summe der Anschaffungskosten der Hauptausrüstungen multipliziert mit einem Gesamtfaktor berechnet.

Die Gesamtfaktorenmethode dient zur Kosten-Grobabschätzung, z.B. wenn aus anderen Projekten bereits Kosten für Hauptausrüstungen vorliegen. Sie wird mitunter auch als *LANG-Verfahren* bezeichnet [4][7]. In der Veröffentlichung nach [8] liegen die *Gesamtfaktoren*, je nach Anlagentyp, z.B. bei

- 2,88 für *petrochemische Anlagen*,
- 2,93 für *Anlagen zur Kunststoffherstellung* und
- 3,36 für *Pharmaanlagen*.

Aktuelle Zahlen sind dem Autor nicht bekannt. Die in den letzten 25 Jahren tendenziell höheren Automatisierungsgrade und Sicherheitsstandards sowie die gestiegenen Montagekosten lassen jedoch höhere Gesamtfaktoren erwarten.

#### b) Einzelfaktorenmethode

Die Investitionskosten berechnen sich bei dieser Methode aus der Summe der Hauptausrüstungen multipliziert mit dem Wert 1 plus der Summe der speziellen

Zuschlagsfaktoren für direkte und indirekte Nebenpositionen.

Diese Methode lässt sich besser an die konkreten Bedingungen anpassen und wird häufig in den Engineeringphasen 2 (Vorplanung) und 3 (Basic Engineering) angewandt. Abb. 6.4 zeigt die prinzipielle Vorgehensweise.

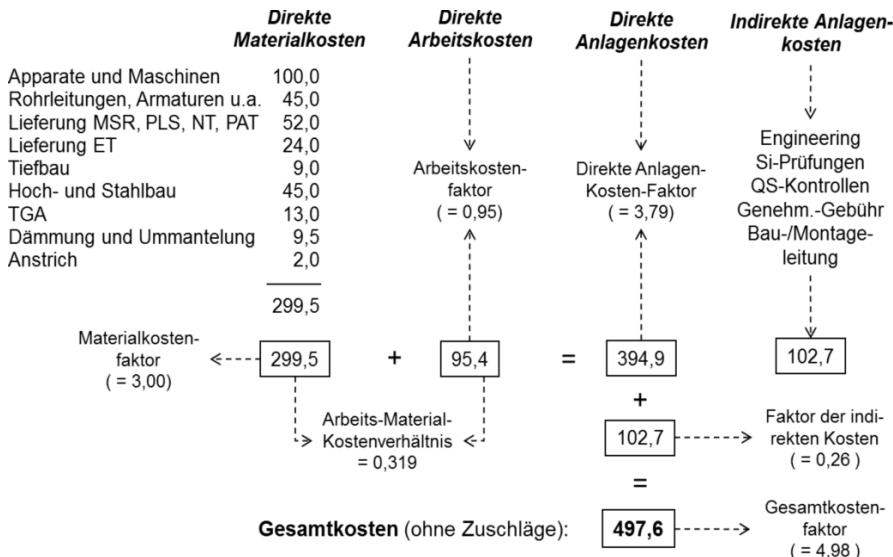


Abb. 6.4 Mögliche Kostenmodelle und Ablaufschema der Einzelfaktorenmethode

Zur beispielhaften Darstellung der Einzelfaktorenmethode in Abb. 6.4 einige Erläuterungen und Bemerkungen:

- *Bezugsbasis* (100,0) sind die Kosten für die Hauptausrüstungen (Anschaffungskosten und Hebezeugkosten)
  - Zunächst sind die Hauptausrüstungen auszuwählen.
  - Dazu gehören i.d.R.: Apparate, Maschinen inkl. Antriebe (ggf. mit Frequenzumrichter) sowie Behälter und Tanks.
  - Je nach Automatisierungsgrad und Umfang des Prozessleitsystems (PLS) ist auch die Hardware des PLS als Hauptausrüstungen zu berücksichtigen.
  - Reserveausrüstungen werden nicht erfasst.
- Über Zuschlagsfaktoren (s. Tab. 6.5) werden die *Direkten Materialkosten* von den Nebenpositionen ermittelt und aufsummiert.
  - Im Beispiel ist die Summe gleich 199,5 Prozent von der Bezugsbasis, so dass sich ein Materialkostenfaktor von 3,00 ergibt.
- Ermitteln der *Direkten Arbeitskosten* (Bau- und Montagekost inkl. Montagehilfsmaterial)
  - Im Beispiel beträgt der Gesamt-Arbeitskostenfaktor 0,79 von der Bezugsbasis. Dies entspricht einem Anteil der Bau-/Montage-Arbeitskosten an den Direkten Anlagenkosten von 24,2 Prozent.

- Berechnen der *Direkten Anlagenkosten* als Summe von Direkten Materialkosten und Direkten Arbeitskosten.
  - Im Beispiel betragen die Direkten Anlagenkosten 394,9 Prozent von der Bezugsbasis. Das würde bei Anwendung der Gesamtfaktorenmethode einen Gesamtfaktor von 3,95 bedeuten.
- Addieren der Indirekten Anlagenkosten und Direkten Anlagenkosten
  - Im Beispiel betragen die Indirekten Anlagenkosten nur 26 Prozent von den Direkten Anlagenkosten.
- Ermitteln der *Gesamtkosten* ohne Zuschläge (z.B. für Mengenzuschläge und Unvorhergesehenes)
  - Im Beispiel betragen die Gesamtkosten (ohne Zuschläge) aber inklusive der Indirekten Anlagenkosten: 497,6 Prozent von der Bezugsbasis.

In der Praxis sind mehrere Modifizierungen der Einzelfaktorenmethode bekannt [4]. Der Autor hat in seinem Berufsleben überwiegend die Einzelfaktorenmethode angewandt und dabei das in Tabelle 6.5 dargestellte Kostenmodell mit den angeführten Zuschlagsfaktoren (Modellparametern) genutzt.

Für den potentiellen Nutzer, egal ob er das Modell in Abb. 6.4 oder Tab. 6.5 nutzt, sind die nachfolgenden Hinweise und Erfahrungen dringend angeraten:

- 1) Die Einzelfaktorenmethode ist primär für die Investitionskostenermittlung von *kompletten verfahrenstechnischen Neuanlagen* geeignet und anzuwenden. Die Zuschlagsfaktoren beziehen sich auf eine ganzheitliche, typisch spezifizierte verfahrenstechnische Anlage, die auf der „grünen Wiese“ errichtet wird.

Für partielle Anlageninvestitionen (Umbau, Erweiterung, Erneuerung, Instandhaltung) in bestehenden Anlagen ist sie weniger oder nicht geeignet. Es gilt somit:

*Je spezieller das Projekt und die Investition,  
je weniger ist die Einzelfaktorenmethode geeignet!*

- 2) Jeder Kostenermittler muss die Kostenmodelle, bevor er sie praktisch anwendet, unbedingt an seine unternehmensspezifischen Anlagenprojekte approximieren.  
Das heißt, er sollte die tatsächlichen Kosten von mindestens zwei abgeschlossenen Projekten mit den auf der Modellbasis berechneten Kosten vergleichen und die Kostenpositionen und/oder die Zuschlagfaktoren seinen Projektbedingungen anpassen.
- 3) Die Vorgehensweise nach Punkt 2) definiert zugleich einen unternehmensrelevanten Anlagentyp (Bezugsanlage), für den das Kostenmodell inkl. Zuschlagsfaktoren gilt.  
Bei Anwendung des approximierten Modells auf andere Anlagen werden die technischen Unterschiede zur Bezugsanlage klarer und somit die Wahl entsprechend anderer Zuschlagfaktoren erleichtert.
- 4) Die Kosten für die Hauptausrüstungen haben als Bezugsbasis verständlicherweise einen großen Einfluss auf das Gesamtergebnis und dessen Genauigkeit.

**Tabelle 6.5** Einzel-Zuschlagsfaktoren für die Kalkulation der Investitionskosten von kompletten verfahrenstechnischen Neuanlagen (Praxisbeispiel, ohne Gewähr)

Lfd. Nr.	Anlagengegenstand bzw. Gewerk und/oder Arbeitstätigkeit	Basisfaktor bzw. Zuschlagsfaktor	Faktor (gewählt)	Betrag
<b>1</b>	<b>Kosten-Bezugsbasis</b> Kosten für Hauptausrüstungen (Maschinen, Apparate, Behälter, Sonderausrüstungen), inkl. Lieferung frei Baustelle	<b>1,0</b>		
<b>2</b>	<b>Nebenkosten insgesamt</b> , davon:	<b>2,35.....4,94</b>		
2.1	Montage der Hauptausrüstungen, inkl. Hebezeuge (Bem: Hauptausrüstungen ohne PLS-Hardware)	0,15.....0,22		
2.2	Material für Rohrleitungen, inkl. Rohrleitungsteile, Armaturen, Dichtungen	0,30.....0,60		
2.3	Montage der Rohrleitungen, inkl. Rohrleitungsteile, Armaturen, Dichtungen	0,20.....0,40		
2.4	Lieferung/Material der Prozessleittechnik (MSR, PLS, NT, PAT)	0,45.....0,90		
2.5	Montage der Prozessleittechnik (MSR, PLS, NT, PAT), inkl. Funktionsprüfungen	0,20.....0,45		
2.6	Lieferung/Material der Elektrotechnik	0,18.....0,36		
2.7	Montage der Elektrotechnik	0,10.....0,20		
2.8	Lieferung und Montage der Technische Gebäudeausrüstung (TGA bzw. SHKL)	0,08.....0,18		
2.9	Material und Leistungen für Tiefbau (Fundamente, Erdarbeiten für Kabel- und Rohrverlegung, Oberflächenbefestigung)	0,08.....0,20		
2.10	Material und Leistungen für Hoch- u. Stahlbau	0,40.....1,00		
2.11	Material und Leistungen für Dämmung	0,09.....0,18		
2.12	Korrosionsschutz (gesamt)	0,02.....0,04		
2.13	Gerüstbau (gesamt)	0,03.....0,05		
2.14	Baustelleneinrichtung	0,02.....0,04		
2.15	Sicherheitsprüfungen bzw. -kontrollen (TÜV, Behörden, Sachkundige u.a.)	0,03.....0,08		
2.16	Unabhängige QS-Prüfungen bzw. -kontrollen (z. B. beim Hersteller oder während Montage)	0,02.....0,04		
<b>3</b>	<b>Direkte Anlagenkosten</b> (Summe 1 bis 2.16)			
<b>4</b>	<b>Indirekte Anlagenkosten</b>			
4.1	Engineering, inkl. Behörden-Engineering (ohne Montage- und Inbetriebnahmeleistungen)	20...30 % v. Pos.3		
4.2	Gebühr Genehmigungsbehörde	0,5...2 % v. Pos. 3		
4.3	Procurement-Unterstützung	n. Aufwand		
4.4	Bau-/Montageleitung und -überwachung	n. Aufwand		
4.5	Inbetriebnahmeleitung/-unterstützung	n. Aufwand		

*Ungenauigkeiten im Mengengerüst und Preis der Hauptausrüstungen setzen sich gleichprozentig auf die Gesamtkosten fort.*

Daraus folgt:

- Jeder Kostenermittler muss für seinen Anlagentyp die relevanten Hauptausrüstungen identifizieren und definieren. Diese Festlegung muss er später bei der Wahl der Zuschlagsfaktoren berücksichtigen.
- Die Ausrüstungen müssen detailliert spezifiziert und unter Wettbewerbsbedingungen angefragt werden.
- Zu den Anfragen sind verbindliche Angebote einzuholen und zu verhandeln.
- Kostendiagramme/Regressionskurven, in denen die Kosten in Abhängigkeit charakteristischer Ausrüstungskenngrößen (Leistung, Volumen, Fördermenge, Wärmeübertragungsfläche usw.) dargestellt sind [7], können hilfreich sein; wenn sie aktuell sind.

*Da sich die Preise und Währungen weltweit sehr schnell ändern, muss man mit derartigen Kostendiagrammen vorsichtig sein bzw. Korrekturfaktoren nutzen!*

- Kann der Planer, z.B. in den früheren Projektphasen, das Mengengerüst der Hauptausrüstungen nicht ausreichend zuverlässig ermitteln, sollte er gemäß seiner Erfahrung einen Mengenzuschlag (Allowances) auf die Kostensumme Hauptausrüstungen zurechnen.

Die unterschiedliche Planungs- bzw. Spezifikationstiefe in den einzelnen Engineeringphasen ist ein Hauptgrund für die unterschiedlichen Kosten- genauigkeiten.

- Die Wertigkeit bzw. die Preisintensität der Hauptausrüstungen muss bei der Wahl der Zuschlagsfaktoren berücksichtigt werden.

Bei besonders hochwertigen Ausrüstungen sollten verschiedene Zuschlagsfaktoren geringer gewählt werden, da die entsprechenden Nebenpositionen nicht gleichermaßen teurer werden müssen.

Die Wertigkeit betrifft u. a. folgende Merkmale:

- Standard- oder Sonderkonstruktion und -ausführung (z. B. für Reaktoren, Wärmeübertrager, Kolonnen, Abscheider, Trockner, Verdichter, Öfen, Fackel),
- einfache oder komplizierte Konstruktion (z. B. Behälter'/Tanks ohne bzw. mit Einbauten),
- Werkstoff und Werkstoffverarbeitung (z. B. Edelstahl oder Normalstahl, Oberfläche unbeschichtet, beschichtet, poliert, emailliert usw.),
- materialintensiv oder weniger materialintensiv (hoher bzw. niedriger Druck und/oder Temperatur).

- 5) Bei der Zuschlagsfaktorenmethode müssen systematische Fehler (z.B. Nichtbeachtung der Hinweise nach Punkt 4), unbedingt vermieden werden.

Stochastische Fehler in den Nebenpositionen gleichen sich gemäß den Gesetzen der Wahrscheinlichkeitsrechnung häufig aus.

- 6) Gravierenden Einfluss auf die Kostenposition *Bau*, ggf. auch für andere Gewerke, hat die gewählte Bauweise, z.B. Frei- bzw. Inhouseanlage oder Hoch- bzw. Flachbauweise.
- 7) Für die Kostenposition *Prozessleitechnik* ist der Automatisierungsgrad bedeutsam, z.B. ob wenige oder viele prozessgerichtete Steuerungen (Anfahrsteuerung, Rezeptsteuerung, fernbediente Anlage u.ä.) realisiert werden.
- 8) Im Vergleich zur nachfolgend beschriebenen *Modulmethode* birgt die Zuschlagsfaktorenmethode weniger Risiken, dass man relevante Anlagenteile oder Kostenpositionen vergisst, da man stärker pauschal und weniger im Detail vorgeht.
- 9) Wie bei jeder Kosten-Kalkulationsmethode muss realistisch die Position *Unvorhergesehenes* (Contingency, Risikominderungsbeitrag) ermittelt und berücksichtigt werden. Häufig wird dieser Zuschlag gemäß langjähriger Erfahrungen erhoben; z.B. zwischen 10 bis 15% des Gesamtbetrags.

Moderne Methoden berechnen diesen Zuschlag, indem ähnlich wie bei der Risikobeurteilung in Abschn. 4.3.2 hinsichtlich GSU (Gesundheit – Sicherheit – Umwelt) verfahren wird, nur dass die Gefährdungen betreffs Einhaltung des Projekt-Budgets (Claim-Risiko) analysiert und bewertet werden.

Zunächst werden im Team die Gefährdungen und Restrisiken bezüglich der Einhaltung aller zuvor kalkulierten Kostenpositionen ermittelt und kostenseitig bewertet. Anschließend wird für jede Gefährdung die Risiko-Eintrittswahrscheinlichkeit abgeschätzt und durch Multiplikation mit den möglichen Mehrkosten das jeweilige Kostenrisiko berechnet.

Die Einzelrisiken für die Kosten werden letztlich nach den Gesetzen der Wahrscheinlichkeit (z.B. mittels Monte-Carlo-Methode) zusammengeführt und das Contingency (Risikominderungsbeitrag) berechnet.

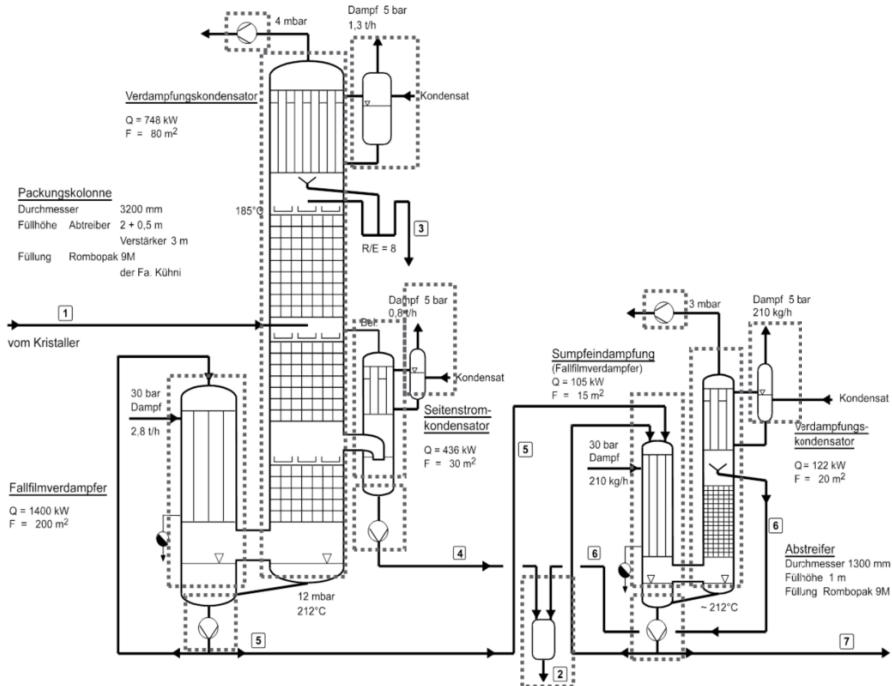
Insgesamt erfordert die Kostenschätzung mittels der Einzelfaktoren-Methode viel Erfahrung und zum Teil auch Intuition, die bekanntlich noch schwieriger zu erwerben ist.

#### 6.2.4 Modulmethode

Bei dieser Methode wird die Gesamtanlage in zahlreiche Module (Teilanlagen, Aggregate, Typicals) unterteilt und für diese Module jeweils die Investitionskosten ermittelt.

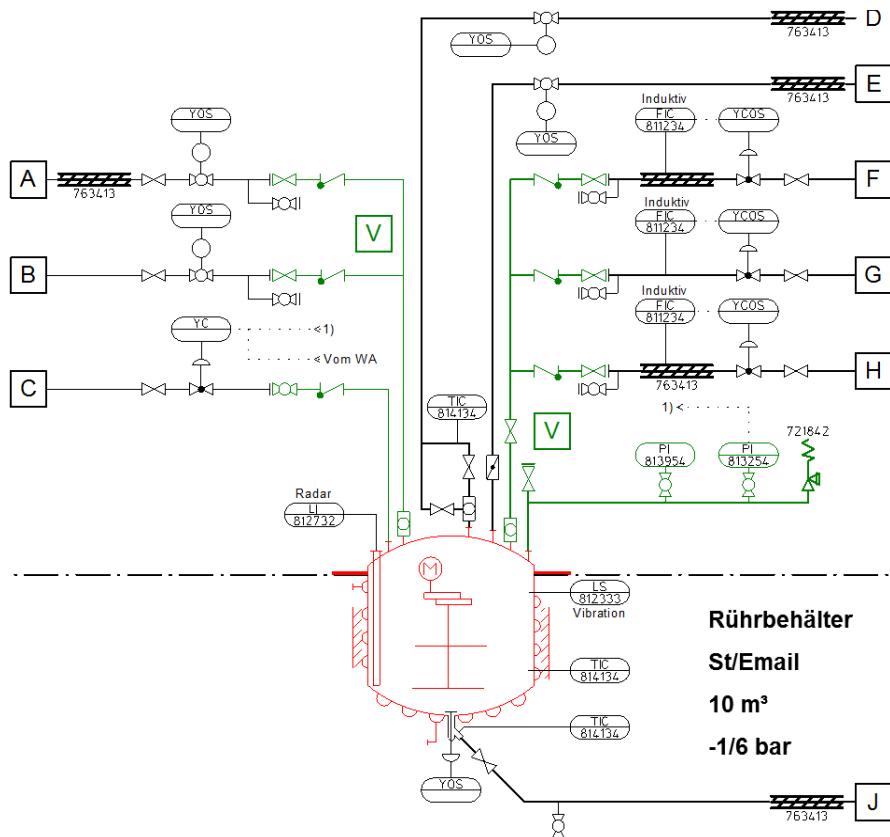
Im Einzelnen wird wie folgt vorgegangen:

- 1) Grobstrukturierung der Gesamtanlage in Teilanlagen (Package-Units) und anschließend der Teilanlagen in Module.
  - Abb. 6.5 zeigt beispielhaft eine Kolonnenschaltung als Teilanlage, die in insgesamt 14 Einzelmodule unterteilt wurde.
  - Die 14 Module ermöglichen eine relativ präzise, flexible und projektspezifische Spezifikation und Kostenberechnung.



**Abb. 6.5** Mögliche Modularisierung einer Kolonnenschaltung (Praxisbeispiel)

- Zugleich erfordert die separate Modulbewertung, die insgesamt über 200 Einzelmodule verwendet, eine große Datenbasis.
  - Das Beispiel zeigt auch eine Besonderheit der Modulmethode.  
Es wird primär nur das in die Kostenermittlung einbezogen, was auf den R&Is dargestellt ist und in einen Modul einbezogen wurde.  
Sofern dies auf den Fließschemata in den ersten Engineeringphasen noch nicht erfolgt ist, stößt die Modulmethode an ihre Grenzen bzw. es müssen Annahmen getroffen und/oder die Kostenergebnisse nachträglich unter Berücksichtigung offener Positionen/Komponenten korrigiert werden.
- 2) Spezifikation der definierten Einzelmodule entsprechend wichtiger, kostenrelevanter Merkmale
    - Beispielsweise muss der in Abb. 6.5 definierte allgemeine Umlaufverdampfer-Modul entsprechend den kostenrelevanten Ausrüstungsdaten: *Bauform, Werkstoff, Wärmeübertragungsfläche, Druck-/Temperaturparameter, zulässiger Druckverlust u.a.* näher spezifiziert und der entsprechende Einzelmodul ausgewählt werden.
    - Abb. 6.6 zeigt als Beispiel den spezifizierten Einzelmodul eines Rührwerks.
  - 3) Identifizieren und Definieren von ergänzenden technischen Zubehör zum Rührwerk
    - Technisches Zubehör kann u. a. sein: Rührwerk, Wägung, Temperierung.



**Abb. 6.6** Spezifizierter Einzelmodell für ein Rührwerk mit Zubehör (Praxisbeispiel)

- 4) Identifizieren und Definieren von Nebenpositionen für Bau, Prozessleittechnik inkl. Elektrotechnik, Technische Gebäudetechnik, Logistik usw., die dem Einzelmodul ganz oder anteilig zugeordnet werden können.
- 5) Ermitteln der Kosten für Basismodul, für Zubehör und für Nebenpositionen
  - Die Kosten können je nach Datenbasis und Erfahrung nach der Zuschlagsfaktorenmethode und/oder auf Basis von Mengengerüsten ermittelt werden.
  - Im letzteren Fall ergibt sich der Preis des Moduls aus den fachspezifischen Mengengerüsten multipliziert mit den mengenspezifischen Einheitspreisen plus Zuschlägen für Montage, Anstrich, Gerüste u. ä.
- 6) Berechnung der Gesamt-Modulkosten (Direkte Anlagenkosten) durch Summierung der Kosten für die Einzelmodule inkl. Zubehör und Nebenpositionen
- 7) Ermittlung der *Indirekten Anlagenkosten*
  - Dazu gehören z. B. die Kosten für:
    - Planung, Procurement, Montageüberwachung,

- Betriebs- und Geschäftsausstattung,
  - Baustelleneinrichtung,
  - Die Abschätzung erfolgt auf Grundlage der Datenbasis oder mittels Zuschlagsfaktoren bezogen auf Gesamt-Modulkosten.
- 8) Abschätzen bzw. berechnen der Mengenzuschläge (Allowances) und Unvorhersehbarkeiten/Risikominderungsbeitrag (Contingency)
- Es muss abgeschätzt und bewertet werden, welche Anlagenteile noch nicht ausgeplant und in den Modulen nicht erfasst wurden. Dies können sein:
    - Gruben, Entleerungsbehälter, Reservepumpen, Slopbehälter, Anfahrausrüstungen
    - Anfahr-/Abfahrleitungen, Füll-/Entleerungsleitungen, Entlüftungs-/Drainageleitungen, Anfahrmaturen, Betriebsmittelsysteme u.a. Utilities.
    - Anforderungen an Feldgeräte (SIL), an prozessrelevante Steuerungen, an Frequenzumrichter, Schaltanlagen, Kabelpritschen, Bedienung usw.
    - Größe der Bühnendurchbrüche, Einfluss der Rohrverlegung auf Gebäudeabmessungen, Einzellasten usw.
  - Ferner sind die normalen Unwägbarkeiten (Preisindex, Währungskurse, Change-Order-Risiken, höhere Gewalt u.ä.) abzuschätzen bzw. zu berechnen und kostenseitig zu berücksichtigen.
- 9) Ermitteln der Gesamt-Investitionskosten durch Summieren der einzelnen Kostenarten bzw. -positionen

Die Darlegungen belegen, dass die Modulmethode besonders für Kostenermittlungen am Ende der Phase 5 (Genehmigungsplanung) und besonders am Ende Phase 6 (Detail Engineering) geeignet erscheint. Sie benötigt relativ viel Input, kann sich aber den technischen Gegebenheiten gut anpassen und liefert bei entsprechender Datenbasis eine hohe Genauigkeit.

Vorteilhaft ist auch, dass für jeden Modul die zugehörigen Nebenpositionen (Bau, PLT u.a.) ermittelt werden können.

Zugleich erfordert die Modulmethode ein umfangreiches Know-how, was nur durch Auswertung vieler abgeschlossener Projekte erworben werden kann.

## **6.2.5 Ergänzende Bemerkungen und Folgerungen**

Die vorgenannten Ausführungen machen deutlich, dass die Schätzung bzw. Berechnung der Investitionskosten eine anspruchsvolle und aufwendige Arbeit darstellt. Sie erfordert neben viel Know-how und Erfahrung auch ein geeignetes Software-Werkzeug sowie insbesondere eine umfangreiche Datenbasis.

Die Aufgabe wird noch dadurch erschwert, dass die Daten aber auch das Wissen und die Erfahrungen ständigen, zum Teil kurzfristigen Änderungen unterworfen sind. Der Aufwand, sich „up to date“ zu halten, ist erheblich und wird nicht selten unterschätzt.

Schwachpunkt ist dabei häufig ein unzureichender Erfahrungsrückfluss aus realisierten Anlagenbauprojekten.

Aus Sicht des Autors sind folgende Verbesserungsmöglichkeiten bezüglich der Kostenermittlung gegeben:

- 1) Die Kostenstruktur des Projekts, die insbesondere im Controlling genutzt wird, muss mit der Struktur des genutzten Kostenmodells derart abgeglichen werden, dass eine Kostenzuordnung, zumindest bei Hauptpositionen, möglich ist. Wenn ein Erfahrungsrückfluss nicht stattfinden kann, weil die IST-Kosten den kalkulierten Kostenpositionen nicht zugeordnet werden können, so ist das nicht akzeptabel. Es wird letztlich wichtiges Know-how verschenkt.
- 2) Der Projektleiter muss sich mit der Aufgabe, aus seinem Projekt heraus Know-how für den Kostenschätzer zu erarbeiten, identifizieren und im Team durchsetzen. Nicht selten wird diese Aufgabe noch vom Projektleiter und den Leadingenieurern als formal betrachtet und verdrängt.
- 3) Andererseits muss der Kostenschätzer gegenüber dem Projektleiter und den Leadingenieurern klare Angaben machen, welche Kosteninformationen er zu welchem Zeitpunkt und wozu benötigt. Zugleich muss er überzeugend argumentieren, welche Ergebnisse seinerseits geliefert werden können und wozu sie gut sind. Dies setzt vom Kostenschätzer viel Projektverständnis voraus.
- 4) Das Management sollte erkennen, dass die Pflege der Kosten-Datenbasis und des zugehörigen Know-how übergeordnete Aufgaben des Fachbereichs darstellen und nicht ausschließlich über die beauftragten Projektleistungen des Kostenschäters finanziert werden können.

### 6.3 Betriebskostenermittlung

Die **Betriebskosten** sind die Gesamtkosten für die Bewirtschaftung der Anlage und beinhalten die Kosten für:

- Rohstoffe, Hilfsstoffe, Verpackungsmaterialien,
- Personalkosten und Overheads,
- Energien,
- ggf. für Entsorgung von Abprodukten und Abfällen
- Instandhaltung incl. Verschleiß- und Ersatzteile,
- anteilige Infrastrukturstarkosten incl. Labor, Werkstatt u.ä.,
- Abschreibungen, Steuern, Versicherungen u.ä.

vermindert um Gutschriften, z. B. für Energien und Nebenprodukten.

Die Betriebskosten werden i.d.R. unter Leitung des Auftraggebers, z.B. des späteren Betriebsleiters, berechnet.

Der Planer muss dafür das notwendige Input liefern, u.a. in Form von:

- Stoff-, Masse- und Energiebilanzen inkl. Neben- und Abprodukte bzw. Überschussenergien,
- spezifischen Material- und Energiebedarf,
- Investitionskosten inkl. Zahlungsplan,

- Betriebs- und Stillstandzeiten der Anlage inkl. An- und Abfahren,
- Angaben zur Instandhaltung inkl. notwendige Bevorratung von Verschleiß- und Ersatzteilen,
- Angaben zu den notwendigen wiederkehrenden Sicherheitsprüfungen,
- Vorschlägen zur Pflege der Anlagendokumentation.

## 6.4 Investitionsrechnung

Investitionsentscheidungen werden durch Investitionsrechnungen vorbereitet. Investitionsrechnungen (Wirtschaftlichkeitsrechnungen, Capital Budgeting) sind Verfahren, mit denen Investitionsvorhaben bezüglich quantifizierbarer Unternehmensziele beurteilt werden [9].

Investitionsrechnungen beziehen sich nur auf die monetären Unternehmensziele (z. B. Gewinn und Rentabilität); nicht-monetäre Aspekte bleiben unberücksichtigt.

Zur Einführung in die Thematik sind in Tabelle 6.6 einige betriebswirtschaftliche Grundbegriffe zusammengestellt.

**Tabelle 6.6** Auswahl betriebswirtschaftlicher Grundbegriffe [10]

<b>I. Wertfluss</b>	
Einnahmen:	Geldeingänge des Unternehmens, z. B. aus <ul style="list-style-type: none"> <li>– Erlösen und anderen Erträgen</li> <li>– Eigen- und Fremdkapitalaufnahmen</li> </ul>
Erlös:	Ertrag aus der verkauften Betriebsleistung
Preis:	Tauschwert der hergestellten Leistungen in Geld
Ausgaben:	Geldausgänge aus dem Unternehmen z. B. durch <ul style="list-style-type: none"> <li>– Aufwendungen</li> <li>– Anlageninvestitionen</li> <li>– Gewinnausschüttung</li> <li>– Rückzahlung von Fremdkapital</li> <li>– Ausleihe von Mitteln</li> </ul>
Aufwand:	Verbrauch von Gütern und Leistungen zur Erreichung der Unternehmensziele
Kosten:	Wert der zur Erzeugung von Produkten bzw. Leistungen verbrauchten Produktionsfaktoren (z. B. menschliche Arbeit, Material, Energie, Kapital)
Investitionen:	Aufwendungen zur Schaffung von Produktionsvoraussetzungen. Sie fließen während der Nutzungsdauer in Form von Abschreibungen wieder zurück.
Absatz:	verkaufte Produktmenge bzw. erbrachte Leistung
Umsatz:	Gegenwert der abgesetzten Produkte bzw. Leistungen in Geld
Gewinn:	Erlös minus Kosten (Ertragsüberschuss über dem Aufwand)
Wertschöpfung:	Erlös minus fremdbezogene Materialien und Leistungen
Cash-flow:	Betriebs- oder Unternehmensergebnis vor Abzug der Abschreibungen $\text{Brutto Cash-flow} = \text{Ergebnis der Betriebstätigkeit}$ $+ \text{bilanzielle Abschreibung}$ $+ \text{Erhöhung langfristiger Rückstellungen}$ $\text{Netto Cash-flow} = \text{Brutto Cash-flow}$ $- \text{Investitionen}$ $- \text{Änderungen des Umlaufvermögens}$

**Tab. 6.6 (Fortsetzung)**

<b>II. Kapital</b>	
Betriebskapital:	Geldmittel für Beschaffung und Betreiben der Anlagen
Kapitalarten:	Eigenkapital (zeitlich u. anwendungsmäßig unbegrenzt verfügbar) Fremdkapital (zeitlich, evtl. auch anwendungsmäßig begrenzt verfügbar) Anlagevermögen (z. B. Grundstücke, Bauten, Beteiligungen) Umlaufvermögen (z. B. Betriebsmittel, Rohstoffe, Zwischen-/Fertigprodukte)
Kapitalstruktur:	Verhältnis der Kapitalarten in einem Unternehmen
Kapitalkosten:	Zinsen für die Bereitstellung von Geldmitteln
Kapitaldienste:	Abschreibungen und Zinsen
<b>III. Wirtschaftlichkeit</b>	
Rentabilität:	Verhältnis zwischen erzielbarem Gewinn und eingesetztem Kapital
Amortisationszeit:	Rückflusszeit einer Investition, z. B. bei – Neuinvestition: Kapital, bezogen auf den jährlichen Gewinn – Rationalisierungsinvestition: Kapital, bezogen auf die jährliche Einsparung
Anuität:	Jährlicher Ertrag + Abschreibung
Investitionsrechnung:	Berechnungsmethode zur Effizienzbeurteilung einer langfristigen Investition. – <i>Statistische Berechnungsmethode</i> (Rechnung über Durchschnittsgrößen für ein Jahr, meist ohne Berücksichtigung der Wertänderung durch Verzinsung) – <i>Dynamische Berechnungsmethode</i> (Berücksichtigung der Wertveränderung die zum Fälligkeitstermin entsteht, z. B. Kapitalwertmethode, interner Zinsfluss)
<b>IV. Kennzahlen</b>	
Wirtschaftlichkeit:	= Ertrag zu Aufwand oder Leistung zu Kosten
Nettoumsatz:	Vertriebsleistung (vermittelte Umsätze + Provisionen + Lizenzentgelte)
Kapazitätsauslastung:	Fertigungsmenge zu maximal mögliche Produktionsmenge
Marktanteil:	Absatz des Unternehmens zu Marktvolumen
Break-Even-Menge:	Absatzmenge, ab der sich das Unternehmen in der Gewinnzone befindet (die Fixkosten werden durch die Deckungsbeiträge dieser Menge erwirtschaftet)

Wie die betriebswirtschaftlichen Größen miteinander in Beziehung stehen, zeigt das sog. Du Pont-Modell in Abb. 6.7.

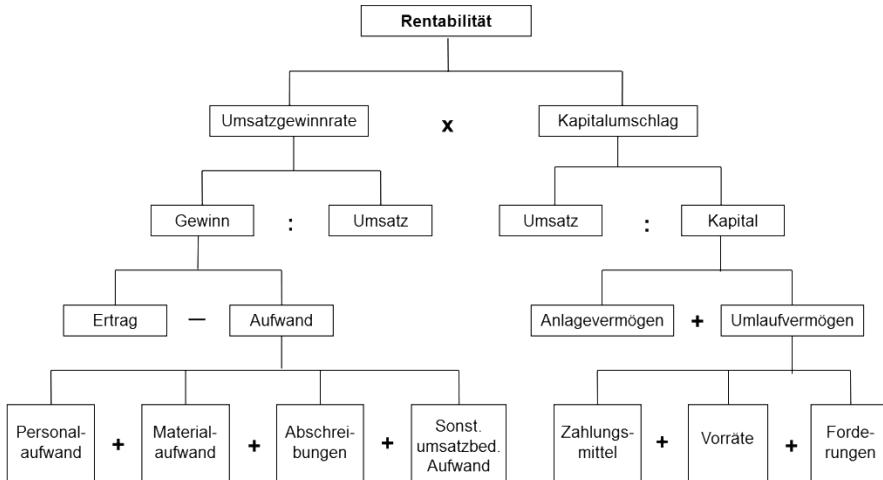
Die Wirtschaftlichkeitsanalyse in Vorbereitung der Investitionsentscheidung wird i. Allg. von kaufmännischen Spezialisten des Investors durchgeführt und nutzt für die wirtschaftliche Beurteilung grundsätzlich die folgenden beiden Berechnungsmethoden:

### a) Statische Berechnungsverfahren

Die statischen Verfahren der Investitionsrechnung berücksichtigen nicht die zeitlichen Unterschiede im Auftreten von Ein- und Auszahlungen einer Investition.

Wegen ihrer einfachen Handhabung werden sie jedoch häufig genutzt und als *Hilfsverfahren der Praxis* bezeichnet. Sie sind schnell und einfach anwendbar.

Die statische Berechnung erfolgt i. Allg. über Durchschnittsgrößen für ein Jahr, meist ohne Berücksichtigung der Wertänderung durch Verzinsung.



**Abb. 6.7** Beziehungen zwischen monetären Kenngrößen nach dem Du Pont-Modell [11]

Zu den statischen Verfahren/Methoden gehören:

- *Kostenvergleichsrechnung*,
- *Gewinnvergleichsrechnung*,
- *Rentabilitätsrechnung*,
- *Amortisationsrechnung*.

### b) Dynamische Berechnungsverfahren

Die dynamischen Verfahren der Investitionsrechnung berücksichtigen die Wertveränderung, die bis zum Fälligkeitstermin entsteht. Sie sind durch folgende Merkmale charakterisiert:

- Ein- und Auszahlungen werden während der gesamten Nutzungsdauer exakt erfasst.
- Die zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallenden Ein- und Auszahlungen werden durch Aufzinsung bzw. Abzinsung auf einen einheitlichen Zeitpunkt vergleichbar gemacht.

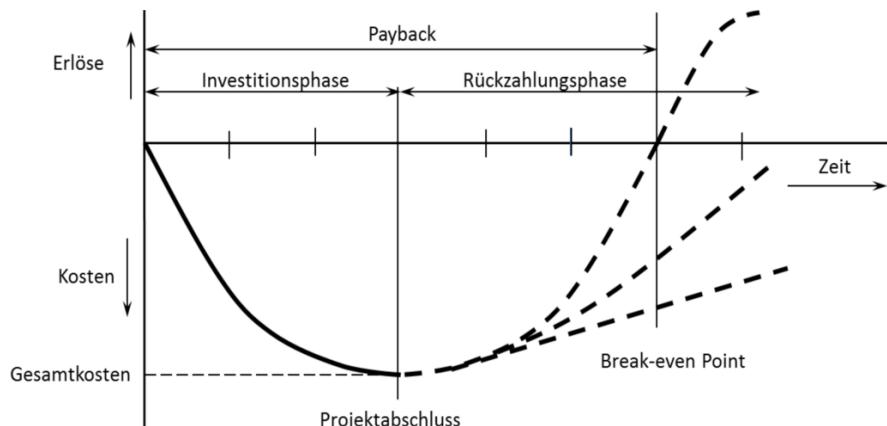
Wegen ihrer komplizierten Handhabung werden sie auch als *finanzmathematische Verfahren* bezeichnet. Zu den dynamischen Verfahren/Methoden gehören:

- *Kapitalwertmethode*
- *Methode des internen Zinsflusses*
- *Annuitätsmethode*

Abb. 6.8 veranschaulicht, wie sich entlang des Projekts die Kosten und Erlöse zueinander entwickeln.

Die Rückzahlung der Investitionskosten erfolgt im Payback-Zeitraum und der Zeitpunkt, ab dem das investierte Kapital erstmals Gewinn erwirtschaftet, ist der Break-even Point.

Betreffs weiterer Details wird auf die Fachliteratur [13][14] verwiesen.



**Abb. 6.8** Kumulierter Kosten- und Rückzahlungsverlauf einer Anlageninvestition [12]

## Literatur

- [1] Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure – HOAI) vom 10.07.2013
- [2] Prinzing P, Rödl R, Aichert D (1985) Investitionskosten-Schätzung für Chemieanlagen, Chem.-Ing.-Tech. 57 (1985) 1, 8-14
- [3] ASTM E2516-11: Standard Classification for Cost Estimate Classification System
- [4] Hirschberg H-G (1999) Handbuch Verfahrenstechnik und Anlagenbau, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg et al
- [5] Schemba M, Schulze J (1993) Schätzung der Investitionskosten bei der Prozeßentwicklung, Chem.-Ing.-Tech. 65 (1993) 1, 41-47
- [6] Ullrich H (1992) Wirtschaftliche Planung und Abwicklung verfahrenstechnischer Anlagen, Vulkan-Verlag, Essen
- [7] Schulze J, Schemba M (1990) Die Sache mit den Gesamtfaktoren, Chemische Technik 3/90, 80-82
- [8] Kölbel H, Schulze J (1960) Projektierung und Vorkalkulation in der chemischen Industrie, Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg
- [9] Walther A (2014) Investitionsrechnung, WRW-Verlag, Köln
- [10] Sattler K, Kasper W (2000) Verfahrenstechnische Anlagen: Planung, Bau und Betrieb, Wiley-VCH Verlag, Weinheim
- [11] Neumann H (1992) Erfolgswirtschaftliche Analyse der Unternehmen, Betrieb und Wirtschaft 6/1992, 181-183

- [12] Schwab A J (2008) Managementwissen für Ingenieure, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
- [13] Tietze J (2011) Einführung in die Finanzmathematik, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
- [14] Poggensee K (2011) Investitionsrechnung, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg et al

# 7 Ausführungsplanung (Detail Engineering)

## 7.1 Begriffsdefinition und Aufgaben

Die Ausführungsplanung ist die letzte Engineeringphase im Projekt. Sie umfasst die Erledigung aller ingenieurtechnischen Fachplanungsfunktionen.

Das **Detail Engineering** (kurz: Detail) liefert ausführungsreife Unterlagen (Dokumente) für die Realisierung (Beschaffung und Errichtung) der Anlage sowie für deren Inbetriebnahme, Dauerbetrieb und Instandhaltung.

Im Einzelnen werden die Ergebnisse der Ausführungsplanung für folgende Zielstellungen und Aufgaben im Projekt genutzt:

- Beschaffung aller notwendigen Lieferungen und Leistungen inkl. Qualitätsüberwachung,
- Errichtung (Bau, Montage) der Anlage, incl. Qualitätsüberwachung,
- Durchführung der Sicherheitsprüfungen gemäß der relevanten Rechtsvorschriften und der vertragsrelevanten Richtlinien, Normen u.ä.,
- Durchführung der Funktionsprüfungen vor Montageende und/oder vor Beginn der Heiß-Inbetriebnahme,
- Durchführung von Leistungsnachweisen und werkvertraglichen Abnahmehandlungen für Package-Units,
- Nachweis der genehmigungsgerechten Errichtung und Betrieb der Anlage sowie für die Fortschreibung der Genehmigung,
- Fertigstellung der AS BUILT-Dokumentation,
- Informationsbasis bei der Fehler- und/oder Störungssuche während der Inbetriebnahme und des Dauerbetriebs der Anlage,
- Vorbereitung und Durchführung der Inbetriebnahme,
- Vorbereitung und Durchführung des Leistungsnachweises und der werkvertraglichen Abnahme der Gesamtanlage,
- Nutzung der Anlage im bestimmungsgemäßen Betrieb,
- Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der wiederkehrenden Sicherheitsprüfungen,
- Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Instandhaltungsmaßnahmen,
- Außerbetriebnahme der Anlage und Vorbereiten von Anlagenstillständen,
- Basis für die Fortschreibung und Pflege der Anlagendokumentation,
- Gewährleisten und Nachweis der Sorgfaltspflicht der verantwortlichen Unternehmen und Personen.

Die Nutzung ist umfassender, als den meisten Projektbeteiligten bewusst ist. Viele Zielstellungen berühren vorrangig die Interessen des Anlagenbetreibers. Letzterer muss diesen Sachverhalt erkennen und in seinem Interesse die Ausführungsplanung und die anschließende Projektabwicklung gestalten und kontrollieren.

Nicht zuletzt treffen zahlreiche Maßnahmen das Anfertigen einer nutzerfreundlichen Anlagendokumentation.

## 7.2 Ausführen der Ausführungsplanung

### 7.2.1 Verfahrensausführungsplanung

Mit dem **Basic Design** sind bereits im Basic Engineerings die projektspezifischen, insbesondere kapazitäts- und standortbezogenen Verfahrensunterlagen erarbeitet worden. Dies gilt auch für die meisten verfahrenstechnischen Ausführungsdocuments. Ohne diese prozessrelevanten Dokumente wären keine fundierte GSU-Betrachtung, keine Genehmigungsplanung sowie keine Kostenermittlung und Investitionsrechnung möglich gewesen.

Daraus folgert, dass sich die Verfahrens- bzw. Prozessplanung im Detail Engineering vorrangig auf die Fortschreibung/Aktualisierung derjenigen fachspezifischen Dokumentarten konzentriert, die bereits im „Basic“ erarbeitet wurden.

Im Einzelnen sind unter Verantwortung des Leadingenieurs *Prozess* folgende Aufgabe zu erledigen:

- 1) R&I-Fließschemata inkl. Ausrüstungsleiste und zugehörige Beschreibung weiterentwickeln und „einfrieren“.
  - In die R&Is sind die Ergebnisse (Aktionspunkte) der Risikobeurteilung (HAZOP-Studie) einzupflegen.
  - In die R&Is sind ferner an Zusatzinformationen einzzeichnen:
    - Darstellung aller Signalwege von Steuer- und Regelkreisen, incl. SPS,
    - Darstellung aller PLT-Feldgeräte, ggf. auch mit Transmitter, Magnetventile u.ä. inkl. zugehöriger Kennbuchstaben,
    - Darstellung aller Sicherheitsventile, Berstscheiben, Handarmaturen,
    - Darstellung aller Kondensatableiter,
    - Rohrleitungen für In- und Außerbetriebnahme, Reinigungs- und Spülarbeiten, Inertisieren, Füllen u.a. Nebenfahrweisen,
    - Angabe der Stutzen für Be-/Entlüftung sowie Be-/Entleerung,
    - Darstellung aller Stutzen, Abzweige, Rohrleitungssonderteile u.ä.,
    - weitgehende Angabe der Rohrleitungs-, Armaturen-, Apparateflansche,
    - weitgehende Angaben der Rohrleitungsreduzierungen,
    - Kennbuchstaben (Pos. Nr.) für Apparate, Maschinen, Behälter, Tanks, Rohrleitungen, Armaturen u.ä. überprüfen und vervollständigen,
    - Angaben in Apparateleiste überprüfen und vervollständigen.
  - Entsprechend den Änderungen und Ergänzungen in den R&Is sind die zugehörigen Verfahrens- und Anlagenbeschreibungen zu überarbeiten.

- Nach Ergänzung und interdisziplinärer Abstimmung sowie offizieller Prüfung sind die R&I-Fließbilder und Beschreibungen „einzufrieren“ und mit dem Bearbeitungsstatus: AFC (Approved for Construction) für die Nutzung freizugeben.
  - Bei späteren Änderungen ist konsequent gemäß den im Projekthandbuch festgelegten Change-Control-Regelungen zu handeln.
- 2) Feinbilanzierung der Massen-, Stoff- und Energieströme.
- Vorliegende Bilanzergebnisse gemäß aktuellen Stand überprüfen; gegebenenfalls Spurenelemente, Nebenproduktbildung, Produktverunreinigungen u.a. Produktbildungs- bzw. -anreicherungsmöglichkeiten einbeziehen.
  - Bilanzierungen für Sonder- bzw. Nebenfahrweisen durchführen.
  - Bei Mehrproduktanlagen die realistischen und/oder wahrscheinlichen Durchsatzbereiche überprüfen.
- 3) Auslegung der Apparate, Behälter, Maschinen und Rohrleitungen sowie der Sicherheitseinrichtungen überprüfen und ggf. die Ausrüstungsdatenblätter vervollständigen bzw. ändern (Revisionierung).
- 4) Werkstoffauswahl für Apparate, Behälter, Maschinen überprüfen und ggf. aktualisieren.
- 5) Ausrüstungslisten für Apparate, Behälter, Maschinen sowie Rohrleitungsliste u.a. Komponentenlisten überprüfen und ggf. vervollständigen bzw. ändern.
- 6) Wärme- oder Kältedämmung (Synonym: Wärme- bzw. Kälteisolierung) für Ausrüstungen (Apparate, Behälter, Tanks) verfahrenstechnisch auslegen und Vorschläge für Dämmsysteme inkl. Dämmstoffe unterbreiten.
- Das Dämmsystem wird nach betriebstechnischen, sicherheitstechnischen und wirtschaftlichen Kriterien ausgewählt und dimensioniert.
  - Betriebstechnische Kriterien sind u.a.:
    - Medium in Ausrüstung,
    - Temperatur des Mediums,
    - zulässige Temperaturänderung und/oder zulässiger Wärmestrom,
    - maximal mögliche Außenwand-Temperatur der Ausrüstung,
    - Standort, klimatische Bedingungen,
    - Art und Abmessung der Ausrüstung,
    - Art der Tragekonstruktion (Füße, Pratzen, Tragringe),
    - Häufigkeit eines betriebsbedingten Abbaus/Öffnen der Dämmung.
  - Sicherheitstechnische Kriterien sind u.a.:
    - brandschutztechnische Gefährdungen an der Ausrüstungen (z.B. durch Leckage) sowie in deren Umgebung (z.B. Brand im Umfeld),
    - Zündgefahren durch elektrostatische Aufladung (z.B. durch nichtleitenden Kunststoff, ungeerdete Ummantelung),
    - Vorgaben zur Oberflächentemperatur (Berührungsschutz, Tauwasser),
    - möglicher Druckaufbau unterhalb der Dämmung (z.B. durch Leckagen, Eisbildung),

- Gefährdungen, die vom Dämmstoff selbst ausgehen (Selbstentzündung, Gefahrstoff),
  - Erkennungsmöglichkeiten von Leckagen an der Ausrüstung, die unter der Dämmung austreten und sich in der Dämmung verteilen.
- Wirtschaftliche Kriterien sind u.a.:
- Preise für Wärme-/Kälteenergie,
  - Kapitalaufwand, Wartungs- und Reparaturaufwand,
  - Nutzungsdauer.
- Die Wahl des Dämmssystems (Dämmstoff, Dampfsperre), wie z.B.
- Mineralwolle (Steinwolle) als Schalen, Matten, Platten, lose Wolle,
  - Mineralwolle (Glaswolle) als Schalen, lose Wolle,
  - PUR-Hartschaum als Schalen, Platten,
  - PUR-Ortsschaum (vor Ort ausgeschäumt),
  - Schaumglas als Schalen, Platten,
  - weiche Schaumstoffe (synthetischer Kautschuk) als Platten, Schlauch.
- und die Festlegung der wirtschaftlichen Dämmschichtdicke erfolgen i.d.R. auf Basis von Standard- bzw. Typicallösungen, die in Werknormen niedergelegt sind.
- Bei der Wahl und Auslegung der Wärme- bzw. Kältedämmung macht der Verfahrensplaner ggf. Vorgaben- bzw. Empfehlungen zur konstruktiven Ausführung der Dämmung, z.B. zur
- sicherheitsgerechten Ausführung,
  - montagegerechten Ausführung,
  - zur bedienungs- und instandhaltungsgerechten Ausführung,
  - zur Beachtung von Abständen gegenüber anderen Ausrüstungen,
  - zur zweckmäßigen Ummantelung, auch aus Design-Gesichtspunkten.
- In Verbindung mit der Wahl und Auslegung der Wärme- bzw. Kältedämmung ist der vorgesehene äußere Korrosionsschutz (Beschichtung) an der Ausrüstung in Wechselwirkung mit der Dämmung zu beachten (Werkstoff, Feuchtigkeit, mögliche Leckage u.ä.); auch wenn die Ausführungsplanung des Korrosionsschutzes meistens der Konstrukteur mit macht.  
Es besteht die Gefahr einer nichtsichtbaren Korrosion an der Außenwand (sog. Hinterrostung der Dämmung).
- 7) Vorgaben und Mitwirkung bei der planerischen Umsetzung der Schalldämmung an Maschinen.
  - 8) Mitwirken an 3D-Anlagenmodell und Aufstellungsplänen.
  - 9) Mitwirken an Qualitätskontrolle bei der Konstruktion der Hauptausrüstungen.
  - 10) Mitwirken an Rohrleitungsausführungsplanung (Stressberechnung, Isometrien inkl. Stücklisten, Halterungen usw.).
  - 11) Mitwirkung bei der hydraulischen Auslegung (Druckverlustberechnung) der Rohrleitungssysteme.

- 12) Mitwirken an PLT-Ausführungsplanung (Regelventile, Steuerungen, Spezifikationen PLT-Geräte, Technologische Bilder usw.).
- 13) Belastungsplan zusammen mit Bau überprüfen und ggf. aktualisieren.
- 14) Vorgaben für Gebäudeausführung zusammen mit Bau überprüfen und u.U. aktualisieren.
- 15) Energiebedarf inkl. Elektroenergie überprüfen und ggf. aktualisieren.
- 16) Entsorgungskonzept im Detail planerisch umsetzen und ausführen.
- 17) Mitwirken bei der Sicherheitstechnischen Detailplanung (Planungstestat).

In Tabelle 7.1 sind wichtige Dokumentarten der Fachdisziplin *Verfahren* bzw. *Prozess*, die i. Allg. am Ende des Detail Engineering vorliegen und teilweise auch Übersichtsdokumente für die Gesamtanlage sind, zusammengestellt.

**Tabelle 7.1** Dokumentarten der VERFAHRENSTECHNIK und Übersichtsdokumente (Auswahl) nach der Ausführungsplanung

---

- Verfahrensgrundlagen und Erläuterungen
  - Entwurfs- und Auslegungsdaten (Design Basis)
  - Stoffspezifikationen (Roh- und Hilfsstoffe, Endprodukte, Neben-/Abfallprodukte)
  - Energiespezifikationen (Wärme, Kälte, Spannung, Abfallenergie)
  - Grund- und Verfahrensschemata (-fließbilder)
  - Rohrleitungs- und Instrumentenschemata (-fließbilder) (R&I bzw. P&ID)
  - Verfahrens- und Anlagenbeschreibungen
  - Massen-/Stoffbilanzen, Mengenflussbilder (-diagramme)
  - Stoffstromlisten
  - Sicherheitsdatenblätter für gefährliche Stoffe und Gemische
  - Stoffdatenblätter für sonstige Stoffe
  - Energiebilanzen, Energieflussbilder (-diagramme)
  - Übersichten über Verbrauchs- und Leistungsdaten
  - Ausrüstungslisten
  - Ausrüstungsdatenblätter einschließlich Entwurfsskizzen
  - Berichte über Auslegung der Sicherheitsarmaturen
  - Datenblätter für Sicherheitsarmaturen
  - Lagepläne
  - 3D-CAD-Anlagenmodelle
  - Aufstellungspläne
  - Brandschutzkonzept (z. T. in Baudokumentation)
  - Explosionsschutzdokument inkl. Gefahrenzonenpläne
  - Ergebnisbericht über Risikobeurteilungen (PAAG-/HAZOP-Studien)
  - Protokolle der Sicherheitstestate
  - Ausbreitungsrechnungen für Stoffe und Schall
  - Schallschutzkonzept
  - Lärmkataster, Lärmschutzprogramm
  - ggf. Sicherheitsbericht nach Störfall-Verordnung
  - Analysenplan bzw. Analysenprogramm
  - Mess-, Probenahme- und Analysenvorschriften
-

## 7.2.2 Spezifikation und Konstruktion der Apparate, Behälter und Maschinen

Die *Ausrüstungsspezifikation* oder *Technische Beschaffungsunterlage (TBU)* sind Teil der Anfrage und der späteren Bestellung der (Haupt-)Ausrüstung.

Technisch beinhaltet sie das Ausrüstungsdatenblatt und eine Anfrage- bzw. Entwurfszeichnung (-skizze) mit Maßangaben, Stutzentabelle u.a. Informationen. Bei Bedarf ist eine ergänzende Beschreibung beizufügen.

Diese Dokumente wurden bereits im Basic Engineering erarbeitet und für die Kosteneinholung sowie für die überschlägliche Ermittlung des Gewichts der Ausrüstungen (Input für baustatische Berechnung) genutzt. Sie werden während des Detail Engineering überprüft, vervollständigt und gegebenenfalls aktualisiert.

Die detaillierte Festigkeitsberechnung und konstruktive Ausführung, bis hin zu den Fertigungs- oder Werkstattzeichnungen, erfolgt i. Allg. nicht während des „Detail“, sondern eingebettet in die Beschaffung. Das heißt, die Konstruktion der Ausrüstung führt i. Allg. nicht mehr der Planer (Ingenieurbüro) aus, sondern der Hersteller oder ein externes Konstruktionsbüro.

Unbeschadet dieser Situation, sollen im Weiteren die konstruktiven Ingenieurleistungen näher betrachtet werden.

Die *Konstruktion* und die zugehörige Ingenieurtätigkeit unterscheiden sich grundlegend von der technischen Planung.

Während der Planer vorrangig die gesamte Anlage im Blick hat und hauptsächlich ein Auswahlproblem lösen muss, konzentriert sich der Konstrukteur auf die Anlagenkomponente und gestaltet sie detailliert aus. Man könnte auch sagen, der Planer bedient in erster Linie den Beschaffer und Errichter, während der Konstrukteur insbesondere Vorgaben für den Hersteller erarbeitet.

In der Praxis erkennt man mitunter an einer Package-Unit, z.B. einer Verdichter- oder Trocknungsanlage, die von einem traditionellen Maschinenbau- oder Apparatebauunternehmen komplett (inkl. Rohrleitungen, EMSR-Feldtechnik, Stahlbau) *geplant* wurde, die „Handschrift“ des Konstrukteurs.

Für den Konstrukteur steht die Ausrüstung im Focus, für den Planer sind es verstärkt der Prozess und der spätere Betreiber bzw. Bediener/Operator.

Eine Übersicht zu den Anforderungen und Zielen, die an die Konstruktion und den Konstrukteur gestellt werden, zeigt Tabelle 7.2.

Der Konstrukteur denkt primär an die *Festigkeit* und die *Fertigung* der Ausrüstung, sollte aber auch deren *Betrieb* und *Funktion* im Auge haben.

Problematisch ist der Fakt, dass in einigen Fällen der Hersteller die Ausrüstung nicht nur konstruiert, sondern zugleich auch verfahrenstechnisch auslegt. Damit wird der ganzheitlichen Herangehensweise unter Beachtung aller Merkmale/Vorgaben in Tabelle 7.2 (linke Spalte) entgegengewirkt.

Der Besteller der Ausrüstung muss diese Situation und das Risiko erkennen und sich bei der Spezifizierung der Bestellung sowie während der QS-Kontrolle darauf einstellen. Konkret bedeutet das, er muss die Vorgaben (Tab. 7.2, linke Spalte) umfassend spezifizieren sowie eigenes Know-how einbringen und deren Erfüllung kontrollieren.

Die Qualitätskontrolle muss die Konstruktionsleistungen (Fertigungszeichnungen inkl. Stücklisten) und die zugehörige Dokumentation des Herstellers einschließen.

**Tabelle 7.2** Anforderungen an die Konstruktion und abgeleitete Aufgaben

Vorgaben	Relevante Fachgebiete und Aufgaben
funktionsgerecht	Sicherung der Garantien (Durchsatz, Produktqualitäten, Energiebedarf) und der mechanischen Funktion (Gewährleistung)
beanspruchungsgerecht	Festigkeit, Wechselbeanspruchung, Stöße, Kraftfluss
formänderungsgerecht	Durchbiegung, Wärmeausdehnung, Innendruckausdehnung
montagegerecht	Anschlagsmöglichkeiten, Ab-/Aufstellmöglichkeiten, Einmessung, Zugänglichkeit für Beschichtung und Dämmung
stabilitätsgerecht/ schwingungsfest	Standsicherheit, Kippgefahr, Knickgefahr, Ausbeulgefahr, Resonanz-/Schwingungsgefahr
korrosionsbeständig/ verschleißfest	abtragende und/oder lokale Korrosion, Schmierstoff, Lösen von Verbindungen, Austausch von Verschleißteilen
arbeitssicherheitsgerecht/ gesundheitsgerecht	Gefährdungsvermeidung und -verminderung, Sicherheitsvorkehrungen, Fluchtmöglichkeit
fertigungsgerecht/ kontrollgerecht	Aufwandsminimierung, Lage der Schweißnaht, Minimierung QS-Risiken, QS-Kontrolle erleichtern
vorfertigungsgerecht/ vormontagegerecht	Vormontage, Blockmontage, Endmontage vor Ort, Sicht- und Druckprüfung
inbetriebnahmegerecht/ betriebsgerecht	Funktion, Möglichkeiten bzgl. Bedienung, Reinigung, Spülung, Entleerung, Druckprüfung
instandhaltungsgerecht/ demontagegerecht	Inspektions- und Wartungsmöglichkeit, Schadensfrüherkennung, Sollbruchstelle, Baugruppenaustausch, Reparaturzugänglichkeit, Demontagemöglichkeit

Legt der Hersteller den Apparat, z.B. den Wärmeübertrager oder die Kolonne, auch verfahrenstechnisch aus, so muss klar vereinbart sein, wer für die Richtigkeit der Auslegungsparameter gegenüber wem gewährleistet.

Im Weiteren einige Hinweise zu den konstruktiven Tätigkeiten, auch wenn sie u.U. zeitlich erst während der Beschaffung stattfinden.

Abb. 7.1 zeigt den prinzipiellen Ablauf, wobei zu den Eingangsgrößen (Input) in Abschn. 4.2.1.4 und zum Werkstoff in Abschn. 4.2.3 bereits entsprechende Ausführungen gemacht wurden.

- 1) Für *Druckgeräte* sind die Technischen Anforderungen gemäß Artikel 3 und Anhang I der Druckgeräte-Richtlinie (DGRL) [1] zu erbringen.
  - In Artikel 3 (Technische Anforderungen), Abs. 1 der DGRL steht:
    - (1) Die unter den Nummern 1.1, 1.2, 1.3 und 1.4 (d. Verf.: alle, bis auf wenige Ausnahmen) angeführten Druckgeräte müssen die in Anhang I genannten Anforderungen erfüllen.

**Abb. 7.1** Vorgehensweise bei der Apparateplanung und Apparatekonstruktion

- In Anhang I (Grundlegende Sicherheitsanforderungen), Punkt 2. (Entwurf) der Druckgeräte-Richtlinie sind detaillierte Vorgaben für den Konstrukteur des Druckgeräts gemacht (s. Tab. 7.3).

**Tabelle 7.3** Vorgaben in der Druckgeräte-RL bzgl. des Entwurfs von Druckgeräten [1]

## 2. Entwurf

- 2.1 Allgemeines
- 2.2 Auslegung auf die erforderliche Belastbarkeit
- 2.3 Vorkehrungen für die Sicherheit in Handhabung und Betrieb
- 2.4 Vorkehrungen für die Inspektion
- 2.5 Entleerungs- und Entlüftungsmöglichkeiten
- 2.6 Korrosion und andere chemische Einflüsse
- 2.7 Verschleiß
- 2.8 Baugruppen
- 2.9 Füllen und Entleeren
- 2.10 Schutz vor Überschreiten der zulässigen Grenzen des Druckgerätes
- 2.11 Ausrüstungsteile zur Druckbegrenzung
- 2.12 Externer Brand

- Die in Abb. 7.1 angeführte Prüfung der Konstruktionsergebnisse kann, je nach Konstruktion und Einstufung (Kategorie und Modul) des Druckgeräts, sehr unterschiedlich sein (s. auch Abschn. 2.3.1.2, Buchst. b)).
- Im verfahrenstechnischen Apparatebau sind häufig
  - die *Schweißkonstruktion* des Apparats durch einen zertifizierten Schweißfachingenieur gemäß den geltenden Regelwerken zu prüfen und die sachgerechte Konstruktion auf der Werkstattzeichnung zu bestätigen und
  - eine *Entwurfsprüfung* von Druckgeräten mit einem hohem Gefährdungspotential durch eine notifizierte Stelle durchzuführen.

Dies gilt z.B. für Druckgeräte der Kategorie IV und Modul G (Konformität auf der Grundlage einer Einzelprüfung) bzw. Modul H1 (Konformität auf der Grundlage einer umfassenden Qualitätssicherung mit Entwurfsprüfung).

Beispielsweise steht in Anhang I der Druckgeräte-RL für den Modul H1:

4. Entwurfsprüfung
    - 4.1 Der Hersteller beantragt bei der in Nummer 3.1 genannten notifizierten Stelle die Prüfung des Entwurfs jedes Druckgeräts, das nicht bereits von einer Entwurfsprüfung erfasst ist.
    - 4.2 Der Antrag gibt Aufschluss über Konzeption, Herstellung und Funktionsweise des Druckgeräts und ermöglicht eine Bewertung der Übereinstimmung mit den anwendbaren Anforderungen dieser Richtlinie. Er enthält Folgendes (d.Verf.: nur Auszug):
      - die technischen Unterlagen, Anhand dieser Unterlagen muss es möglich sein, die Übereinstimmung des Druckgeräts mit den betreffenden Anforderungen zu bewerten; sie müssen eine geeignete Risikoanalyse und -bewertung enthalten. In den technischen Unterlagen sind die anwendbaren Anforderungen aufzuführen und der Entwurf, die Herstellung und der Betrieb des Druckgeräts zu erfassen, soweit sie für die Bewertung von Belang sind.
- Die technischen Unterlagen enthalten gegebenenfalls zumindest folgende Hinweise:
- eine allgemeine Beschreibung des Druckgeräts;
  - Entwürfe, Fertigungszeichnungen und -pläne von Bauteilen, Unterbaugruppen, Schaltkreisen usw.;
  - Beschreibungen und Erläuterungen, die zum Verständnis dieser Zeichnungen und Pläne sowie der Funktionsweise des Druckgeräts erforderlich sind;
  - eine Aufstellung, welche harmonisierten Normen (...) vollständig oder in Teilen angewandt worden sind (...);
  - die Ergebnisse der Konstruktionsberechnungen, Prüfungen usw. und
  - die Prüfberichte;
  - die zusätzlichen Nachweise für eine angemessene Lösung durch den technischen Entwurf. Diese zusätzlichen Nachweise enthalten einen Verweis auf sämtliche Dokumente, die zugrunde gelegt wurden (...)
- 4.3 Die notifizierte Stelle prüft den Antrag und stellt dem Hersteller eine EU-Entwurfsbescheinigung aus, wenn der Entwurf die auf das Druckgerät anwendbaren Anforderungen dieser Richtlinie erfüllt. (...)

- Eine Konkretisierung aller grundlegenden Anforderungen, die gemäß **Druckgeräte-RL** (DGRL) zu beachten sind, erfolgt:
  - im AD 2000-Regelwerk [2] für Deutschland,
  - in der DIN EN 13445 [3] für die europäische Union,
  - im ASME Code Section VIII, Division 1 [4] für die USA.
 Alle drei Regelwerke sind ähnlich aufgebaut und dienen dem gleichen Ziel. Über die Verwendung entscheidet i. Allg. der Auftraggeber.
- Das AD 200-Regelwerk beinhaltet Merkblätter u.a. zu folgenden Bereichen:
  - Ausrüstung, Aufstellung und Kennzeichnung,
  - Berechnung (inkl. Schrauben, Flansche),
  - Grundsätze,
  - Herstellung und Prüfung,
  - Besondere Druckbehälter,
  - Druckbehälter aus nichtmetallischen Werkstoffen,
  - Sonderfälle (inkl. Wechselbeanspruchung),
  - Allgemeiner Standsicherheitsnachweis für Druckbehälter,
  - Metallische Werkstoffe,
  - Leitfaden (inkl. Leitfaden für Gefahrenanalyse (sprich: Risikobeurteilung).
- Der ASME Code [4] ist nicht konform zur DGRL und liefert häufig dickere Wandungen.
- Die DIN EN 13445 [3] ist inzwischen zur echten Alternative zu den AD 2000-Merkblättern geworden. Unterschiede zwischen beiden Regelwerken wurden in [5] analysiert und in Tabelle 7.4 zusammengestellt.

**Tabelle 7.4** Unterschied zwischen DIN EN 13445 und den AD 2000-Regelwerk [5]

Die DIN EN 13445:

- gilt nur für unbefeuerte Druckbehälter,
- beinhaltet ein besseres Sprödbruchkonzept mit drei Verfahren,
- macht keine Angaben zur Dimensionierung nichtmetallischer Behälter,
- beinhaltet zusätzliche konstruktive Möglichkeiten,
- enthält eine herabgesetzte Festigkeitsgrenze für vorwiegend ruhende Beanspruchung,
- gestattet zusätzlich einen analytischen Nachweis (direktes Verfahren),
- fordert vom Hersteller keine Überprüfung durch eine unabhängige Stelle,
- legt den Umfang der Arbeitsproben beim Schweißen objektungebunden fest (z.T. nach der geschweißten Nahtlänge),
- beinhaltet keine zwingende Forderung nach Schweiß- oder Prüfaufschichten,
- ermöglicht eine geringere Beteiligung unabhängiger Stellen,
- fordert einen höheren Umfang an zerstörungsfreien Prüfungen (ZfP),
- bewertet die Anzeigen der ZfP nach europäischen Normen,
- bewirkt i. d. R. geringere Herstellungskosten für Behälter,
- gilt für einen deutlich größeren Markt,
- wirkt ggf. positiv hinsichtlich der Ausbreitung auf andere Märkte, z.B. Asien.

## 2) Wahl und Festlegen des Korrosionsschutzes durch Beschichtung

- Der Korrosionsschutz aller produktberührten Teile im Inneren der Ausrüstung wurde bereits während der Verfahrensplanung (Basic Design) festgelegt (s. Abschn. 4.2.3, Buchst. c) und d)). Während der Ausführungsplanung muss dies noch für die äußere Wandung erfolgen.
- Beim äußeren Korrosionsschutz ist grundsätzlich zwischen der Beschichtung von Anlagenteilen (Apparate, Behälter, Rohrleitungen, Stahlbauten), die aus
  - rostenden Stahl und
  - nichtrostenden Stahl
 bestehen, zu unterscheiden.
- Die Ausführung der äußeren Beschichtung wird i.d.R. vom Besteller in einer Spezifikation (z.B. Werknorm) vorgegeben bzw. gemäß Vorschlag des Herstellers vereinbart. Dabei kommen für häufig vorkommende Anwendungsfälle sog. Standard-Beschichtungssysteme zum Einsatz.
- Das Aufbringen der Grundbeschichtung (-en) erfolgt überwiegend im Fertigungsbetrieb, während die letzte Deckschicht sowie eventuell notwendige Schadensbeseitigungen auf der Baustelle im montierten Zustand vorgenommen werden.
- Die Außen-Beschichtung von *Anlagenteilen aus normalen, rostenden Stahl* findet meistens in folgenden Schritten statt:
  - Oberflächenvorbehandlung durch Handentrostung (Hammer, Spachtel, Drahtbürste, Schaber u.ä.) bzw. durch Strahlentrostung (z.B. durch Sandstrahlen) bis auf einen Reinheitsgrad nach [6] von

Sa 2 1/2: Sehr gründliches Strahlen

„Die Oberfläche muss – bei Betrachtung ohne Vergrößerung – frei sein von sichtbaren Öl, Fett und Schmutz und soweit frei von Zunder, Rost, Beschichtungen und artfremden Verunreinigungen, sodass verbleibende Spuren allenfalls noch als leichte, fleckige oder streifige Schattierungen zu erkennen sind.“

- Nach der Entrostung sollen die trockenen, sauberen Flächen umgehend mit der Grundbeschichtung (z.B. Trockenschichtdicke > 80 µm) versehen werden, um eine Neubildung von Rost bzw. ein Anhaften von Flugrost zu verhindern. Zu große Schichtdicken können nachteilig sein, da sie u.U. weniger elastisch sind und eher reißen.
- Vorgesehene technische Prüfungen an den Bauteilen (z.B. Druck- und Dichtheitsprüfungen bzw. zerstörungsfreie Werkstoffprüfungen) müssen vor Beginn der Folgebeschichtungen durchgeführt werden.
- Stahlbauteile, die bis zum Aufbringen der Deckschicht, längere Zeit auf der Baustelle lagern bzw. korrosiven Bedingungen ausgesetzt sind, sollten zusätzlich mit einer Zwischenbeschichtung versehen werden.
- Bei der Außen-Beschichtung von *Anlagenteilen aus nichtrostenden Stahl* ist speziell zu beachten:

- Die Beschichtung ist insbesondere bei wärmegedämmten Anlagenteilen notwendig, wenn eine Durchfeuchtung der Dämmung nicht ausgeschlossen werden kann.

*Bei den gebräuchlichen Dämmsystemen muss bei Eindringen chloridhaltiger Feuchtigkeit mit einer Aufkonzentrierung von Chloridionen in der Dämmung und der Gefahr einer Lochfraß- bzw. Spannungsrissskorrosion gerechnet werden.*

- Die zu schützende Oberfläche muss frei von Schmutz, Schlackeresten, Schweißspritzern u.ä. anhaftenden Partikeln sein. Dies wird durch sorgsames Abwaschen der Oberfläche mit spezieller Waschflüssigkeit und intensiven Nachspülen mit chloridarmen Wasser erreicht.
- Unmittelbar nach der Vorbehandlung ist die Grundbeschichtung auf die saubere und trockene Oberfläche beim Hersteller aufzubringen.
- Die spezifizierte Deckbeschichtung (1 bis 2 Beschichtungen je nach Betriebstemperatur) werden nach der Endmontage der Anlagenteile vorgenommen.
- Die Verträglichkeit von Beschichtung und Dämmung (Dämmstoff, Kleber) muss gegeben sein.

### 3) Konstruktion der Wärme-, Kälte- und Schalldämmung an den Ausrüstungen

- Grundlage sind die Ergebnisse der verfahrenstechnischen Auslegung der Dämmung gemäß Abschn. 7.2.1, Punkt 6).
- Der Konstrukteur muss auf dieser Basis u.a. ausführen:
  - die Dämmschicht selbst (Material, Dicke, Montage/Aufbringen) (s. Abb. 7.2, links),
  - die Halterung des Dämmmaterials an der Ausrüstung (Trag- und Stützkonstruktion),
  - Maßnahmen zur Vermeidung von Wärme- bzw. Kältebrücken (s. Abb. 7.2, rechts), z.B. über Halterungen bzw. Füße durch Trennmaterialien (Wärme-/Kälteentkopplung),
  - Dehnungsmöglichkeiten (Dehnungsnähte, Stoßstellen, Überlappungen) für die Dämmung, insbesondere um die Ausdehnung der Ausrüstung aufzunehmen,
  - Anschluss/Abdichtung der Dämmung zu angrenzenden Anlagenteilen,
  - die Ummantelung der Dämmung (verzinktes Stahlblech, aluminisiertes Stahlblech, kunststoffbeschichtetes verzinktes Stahlblech; nichtrostendes Stahlblech, Aluminiumfolie), inkl. Tragkonstruktionen, Überlappung, Ausschnitte, Verschraubung, Korrosionsschutz, Abdichtung der Nähte,
  - das Ableiten und/oder Abführen von Regenwasser (Gefälle der Ummantelung, Regenabweiser),
  - eine ggf. notwendige Dampfbremse mittels dampfsperrender Stoffe (Metallfolien, dünne Bleche, spezielle Plastefolien), die das Eindringen von Feuchte in den Dämmstoff vermindern; ggf. ist ein dampfundurchlässiger Dämmstoff (PUR-Ortsschaum mit geschlossenen Poren) zu verwenden,
  - Beschriften und Anbringen der Beschilderung.



**Abb. 7.2 links:** Wärmeübertrager einer Kälteanlage bei  $-32^{\circ}\text{C}$ ; Hohlraum zwischen Apparat und Blech-Ummantelung wird mit Polyurethan (PUR) ausgeschäumt (ca. 7fache Volumenvergrößerung bei PUR-Schaumbildung)  
**rechts:** Kälteentkopplung eines gleichartigen Wärmeübertragers mittels Holzstück aus Eichenholz

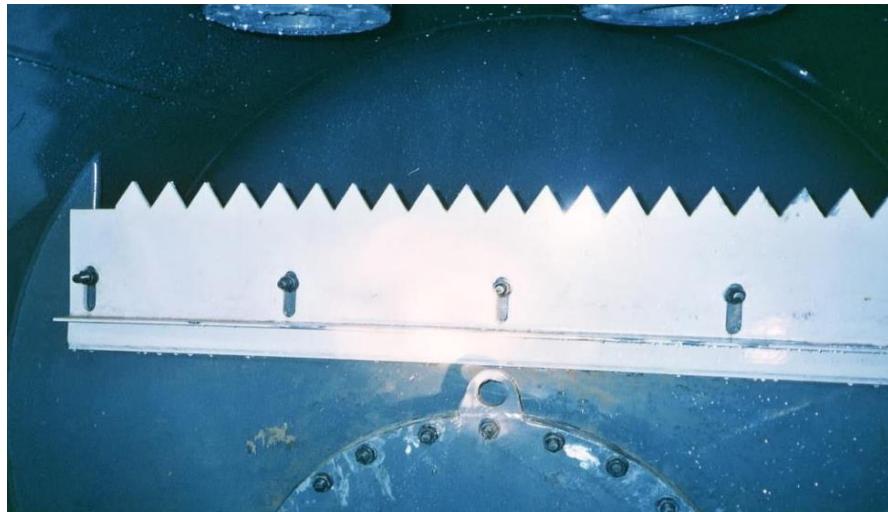
- Bei Kältedämmungen ist eine wirksame Dampfsperre besonders wichtig, um eine Eisbildung (Gewicht, Verschlechterung der Dämmwirkung) in der Dämmung zu vermeiden.  
*Innerhalb einer Kältedämmung wird der Taupunkt der Umgebungsluft nahezu immer unterschritten, sodass Wasser auskondensieren und sich in der Nähe der kalten Wandung zu Eis gefriert würde.*
  - Die Schalldämmung ist eine Möglichkeit des *Sekundären Schallschutzes*. Sie ist vorrangig an Maschinen (Verdichter, Gebläse, Ventilator) inkl. deren Antriebe notwendig, wenn sich die Schallquelle nicht beseitigen lässt.
  - Die Schalldämmung soll die Ausbreitung von Luft- und Körperschall, ausgehend von den Maschinen, vermindern. Geeignet gegen Luftschallausbreitung sind spezielle, Schall absorbierende Dämmstoffe sowie dicke, schwerere Blechummantelungen, u.U. noch mit Anti-Dröhnmasse innenbeschichtet. Möglichkeiten der Körperschall-Entkopplung sind in Beispiel 7.3, Abschn. 7.2.5 aufgezeigt.
- 4) Die *Konstruktion* von *Apparaten, Behältern* und *Maschinen* erfordert insbesondere Vorstellungsvermögen und Gründlichkeit im Detail. Es gilt für die konstruktive Tätigkeit, wie auch in anderen Situationen während der Projektentwicklung, die Aussage.

*Der sehr gute Ingenieur unterscheidet sich vom guten, nur im Detail!*

Was dies bedeutet, demonstriert das Beispiel 7.1.

### **Beispiel 7.1 Konstruktion eines Wehrs in einem Flüssig-flüssig-Trennbehälter**

Zur Trennung eines Wasser-Öl-Gemischs bei Normaltemperatur wurde ein einfacher Trennbehälter mit Wehr konstruiert. In Abb. 7.3 ist das Wehr, welches an der Innenwandung kreisförmig eingeschweißt ist, aus Sicht der mittleren Kammer dargestellt.



**Abb. 7.3** Ansicht des Wehrs in einem Flüssig-flüssig-Trennbehälter

Der Trennbehälter besteht aus 2 Kammern. Das 2-Phasengemisch strömt in die linke, große Kammer, in der es sich beruhigt und in die Öl- und Wasserphase separiert. Die leichte Ölphase schwimmt auf und über das Wehr in die rechte Kammer. Das Öl wird schließlich standgeregelt aus der rechten Kammer und das Wasser trennschichtgeregelt aus der linken Kammer abgeführt.

Wie auf dem Foto ersichtlich, sind einige konstruktive Details ausgeführt, die kurz erläutert und bewertet werden sollen.

**1. Detail:** Das Wehr wurde verstellbar ausgeführt (gute Lösung!).

- Damit können kleine Schräglagen des Behälters ausgeglichen werden. Es muss nicht der schwere Behälter exakt in Waage gebracht werden und somit wird Zeit beim Ausrichten des Behälters gespart.
- Vor der Inbetriebnahme steigt eine Person in den Behälter und stellt mit einer Wasserwaage die Oberkante des Wehrs waagerecht ein.

**2. Detail:** Das Wehr wurde als sog. Zackenwehr ausgebildet (sehr gute Lösung!).

- Sollte
  - das Wehr nicht ganz in Waage sein oder
  - in der Nähe der Wehroberkannte unerwartet große Turbulenzen auftreten oder

- das Öl schäumen und der Schaum ungleichmäßig über die Wehrbreite verteilt sein, so läuft auf der tieferen bzw. schaumigen Seite nicht so viel über.
- Da als Strömungsquerschnitt nur die tieferen Spitzen zur Verfügung stehen, ist der asymmetrisch überströmende Volumenstrom geringer als bei einem normalen, glatten Wehr.

**3. Detail:** Auf das Wehrblech ist ein Mannloch-Flanschdeckel mit Flachdichtung aufgeschraubt (schlechte Lösung!)

- Das Wehrblech hat sich beim Einschweißen auf Grund der Erhitzung verzogen. Auf dieses leicht unebene Blech wird nun der Mannlochdeckel mit einer Flachdichtung befestigt. Die Flachdichtung schafft es aber nicht, die Unebenheiten auszugleichen.
- Vor Inbetriebnahme wurde in der linken Kammer Wasser vorgelegt und geprüft, ob in der rechten Kammer auch Wasser ankommt. Da dies der Fall war, musste die Mannlochdichtung oder die Schweißnaht undicht sein. Es war das Mannloch.
- Es war schwierig, eine geeignete Dichtung zu finden, die medienbeständig ist, die Unebenheiten ausgleicht und nicht „wegfließt“. Letztlich wurde eine Dichtung gefunden, aber ohne Gewissheit, dass sie während des Betriebs auch dicht bleibt.
- Konstruktiv besser wäre es gewesen, auf das Wehr einen kurzen Stutzen mit Flanschring aufzuschweißen und darauf einen Mannlochdeckel mit Flachdichtung zu schrauben. Die Unebenheit des Wehres würde so mit der Stutzenschweißnaht ausgeglichen. Ferner wären die Schrauben und Muttern auf einer Seite des Wehres zugänglich und deren Anziehen erleichtert.

5) Die Konstruktion und Ausführung des Druckgeräts muss nach Druckgeräte-RL vom Hersteller oder einer notifizierten Stelle einer *Schlussprüfung* und *Druckprüfung* unterzogen werden. Im Detail hängen die Verantwortlichkeit und Vorgehensweise davon ab, welche Modulkategorie für das Druckgerät gilt.

- Dazu legt die Druckgeräte-RL [1] in Anhang I fest:

#### 3.2.1 Schlussprüfung

Druckgeräte müssen einer Schlussprüfung unterzogen werden, bei der durch Sichtprüfung und Kontrolle der zugehörigen Unterlagen zu überprüfen ist, ob die Anforderungen dieser Richtlinie erfüllt sind. Hierbei können Prüfungen, die während der Fertigung durchgeführt worden sind, berücksichtigt werden.

Soweit von der Sicherheit her erforderlich, wird die Schlussprüfung innen und außen an allen Teilen des Geräts, gegebenenfalls während des Fertigungsprozesses (z. B. falls bei der Schlussprüfung nicht mehr besichtigbar), durchgeführt.

#### 3.2.2 Druckprüfung

Die Abnahme der Druckgeräte muss eine Druckfestigkeitsprüfung einschließen, die normalerweise in Form eines hydrostatischen Druckversuchs durchgeführt wird, wobei der Druck mindestens dem in Abschnitt 7.4 festgelegten Wert – falls anwendbar – entsprechen muss.

Für serienmäßig hergestellte Geräte der Kategorie I kann diese Prüfung auf statischer Grundlage durchgeführt werden.

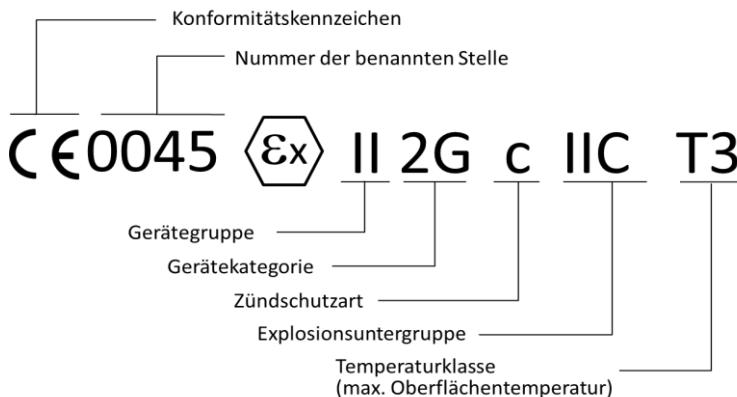
Ist der hydrostatische Druckversuch nachteilig oder nicht durchführbar, so können andere Prüfungen, die sich als wirksam erwiesen haben, durchgeführt werden. Für andere Prüfungen als den hydrostatischen Druckversuch müssen zuvor zusätzliche Maßnahmen, wie zerstörungsfreie Prüfungen oder andere gleichwertige Verfahren, angewandt werden.

#### 7.4 Hydrostatischer Druckversuch

Bei Druckbehältern muss der hydrostatische Prüfdruck gemäß Abschnitt 3.2.2 dem höheren der folgenden Werte entsprechen:

- dem 1,25fachen Wert der Höchstbelastung des Druckgeräts im Betrieb unter Berücksichtigung des höchstzulässigen Drucks und der höchstzulässigen Temperatur oder
- dem 1,43fachen Wert des höchstzulässigen Drucks.

- 6) Bei der *Konstruktion* von Maschinen ist die **Maschinenrichtlinie (MRL)** [7] zu berücksichtigen.
  - In Anhang I der MRL sind „Grundlegende Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen für Konstruktion und Bau von Maschinen“ angegeben.
  - Die Einhaltung dieser Vorgaben ist in der Risikobeurteilung im Rahmen des Konformitätsbewertungsverfahrens nachzuweisen (s. auch Buchst. a) in Abschn. 2.3.1.2).
- 7) *Einstufung von Maschinen u.a. nicht-elektrischen Geräten*, die zur bestimmungsgemäßen Verwendung in *explosionsgefährdeten Bereichen* vorgesehen sind, nach ATEX-Herstellerrichtlinie [8] (s. Abschn. 2.3.1.2, Buchst. c)).
  - Maschinen, die in explosionsgefährdeten Bereichen eingesetzt werden sollen, unterliegen der ATEX-Herstellerrichtlinie, da die meisten Maschinen mögliche, mechanisch verursachte Zündquellen darstellen.
  - Die Maschinen werden gemäß der Begriffsdefinition der ATEX-Hersteller-richtlinie den Geräten zugeordnet.
  - Entsprechend den Vorgaben der ATEX-Herstellerrichtlinie und den prozesstechnischen u.a. Bedingungen in den zutreffenden explosionsgefährdeten Bereichen (siehe Explosionsschutzdokument inkl. Gefahrenzonenschemen in Abschn. 4.3.3) muss jede Maschine spezifiziert (eingeteilt) und entsprechend ausgewählt bzw. konstruiert werden.
  - Die Spezifikation anhand des Kennzeichens zeigt Abb. 7.4.
  - Die Bedeutung der einzelnen Zeichen in Abb. 7.4 ist bis auf das Zeichen für die Zündschutzart identisch mit der Legende, wie sie für die *Kennzeichnung elektrischer Betriebsmittel* genutzt werden und in Abschn. 7.2.6, Punkt 3) näher erläutert ist.
  - Bei der Spezifizierung bzw. Einteilung des nicht-elektrischen Geräts inkl. Maschine werden ausgehend vom Einsatzort und den Einsatzbedingungen im zutreffenden explosionsgefährdeten Bereich die entsprechenden Buchstaben und Nummern gemäß dem Beispiel in Abb. 7.4 ausgewählt.



**Abb. 7.4** Kennzeichen eines nicht-elektrischen Geräts nach ATEX-Herstellerrichtlinie [8]

- Im Einzelnen charakterisieren die Zeichen:
  - die *Gerätegruppe* (in Abb. 7.4: **II** (Nicht-Bergbau-Bereich)),
  - die *Gerätekategorie* (in Abb. 7.4: **2G** (Zone 1 oder 2)),
  - die *Zündschutzart* (in Abb. 7.4: **c** (Konstruktive Sicherheit)),
  - die *Explosionsuntergruppe* (in Abb. 7.4: **IIC** (Wasserstoff)),
  - die *Temperaturklasse* (in Abb. 7.4: **T3** (Maximal zulässige Oberflächentemperatur: 200 °C)).
- Die kursiv, geschriebenen Begriffe sind in Abschn. 7.2.6, Punkt 3 in Verbindung mit der Spezifizierung/Einstufung der elektrischen Geräte definiert und erläutert.
- Die Ergebnisse der Einstufung sind in das Ausrüstungsdatenblatt des Geräts (Maschine) und in die Geräteliste (s. Abschn. 7.2.6, Punkt 3)) einzutragen.
- Der Maschinenhersteller muss nach den Angaben im Ausrüstungsdatenblatt eine Maschine auswählen bzw. konstruieren. Dazu sind in Anhang II der ATEX-Herstellerrichtlinie [8] umfangreiche Vorgaben an die Gestaltung und Konstruktion des Geräts (Maschine) gemacht.
- Eine wesentliche Gestaltungsmöglichkeit, um eine Explosion zu verhindern bzw. negative Auswirkungen zu vermeiden, ist die Wahl der Zündschutzart (s. Tab. 7.5).

**Tabelle 7.5** Zündschutzarten für nicht-elektrische Geräte in explosionsgefährdeten Bereichen [9]

Zündschutzart	Zeichen	Beschreibung
Konstruktive Sicherheit	c	Gerätetypen, die bei Normalbetrieb keine Zündquelle enthalten; bei denen aber mechanische Fehler zündfähige Temperaturen und/oder Funken bewirken können. Durch technische Maßnahmen wird dieses Risiko auf ein vertretbar geringes Maß verringert. (Anwendung für Zone: 0, 1, 2, 20, 21, 22)

**Tab. 7.5** (Fortsetzung)

Druckfeste Kapselung	d	Die Teile, die ggf. als Zündquelle fungieren können, werden in ein explosionsdruckfestes und dichtes Gehäuse eingeschlossen. (Anwendung für Zone: 1, 2, 21, 22)
Flüssigkeitskapselung	k	Durch Eintauchen in eine Schutzflüssigkeit oder durch ständiges Benetzen mit Flüssigkeit werden Zündquellen vermieden bzw. unwirksam. (Anwendung für Zone: 0, 1, 2, 20, 21, 22)
Überdruckkapselung	p	Das Innere eines Gehäuses, in dem sich die Zündquelle befindet, wird mit einem Zündschutzgas mit Überdruck beaufschlagt, sodass sich keine explosionsfähige Atmosphäre bilden kann. (Anwendung für Zone: 1, 2, 21, 22)
Zündquellenüberwachung	b	Es werden Sensoren in das Gerät (Maschine) eingebaut, die kritische Parameter (z. B. Oberflächentemperatur, Konzentration) überwachen und rechtzeitig Sicherheitsmaßnahmen (z. B. Abschalten der Maschine) einleiten. (Anwendung für Zone: 0, 1, 2, 20, 21, 22)
Schwadenhemmende Kapselung	fr	Wirksame Abdichtung des Gehäuses, sodass sich im Inneren keine explosionsfähige Atmosphäre bilden kann. (Anwendung für Zone: 2, 22)

- Die spezifischen Zündschutzzarten bei nicht-elektrischen Geräten (Maschine) bilden einen wesentlichen Unterschied zu den elektrischen Geräten (Betriebsmitteln); auch was die Buchstaben für die Zündschutzzart im Kennzeichen gemäß Abb. 7.4 anbelangt (s. auch Abschn. 7.2.6).
- 8) Vor *Inverkehrbringen* der *Druckgeräte* und *Maschinen* ist ein Konformitätsbewertungsverfahren durchzuführen und eine Konformitätserklärung für das Produkt auszustellen.
- Mit dieser Erklärung wird auch die Einhaltung der EU-Normen bei der Konstruktion des Druckgeräts oder der Maschine bestätigt.

Die Produktdokumentationen der Apparate, Behälter und Maschinen, die den EU-Richtlinien (s. Abschn. 2.3.1.2) und dem deutschen Produktsicherheitsgesetz (s. Abschnitt 2.3.2.3, Buchst. a)) entsprechen, werden zusammen mit dem Produkt vom Hersteller erarbeitet und geliefert.

In dieser Dokumentation sind auch die vom Planer für die Ausrüstung erarbeiteten Engineeringdokumente enthalten. Beispielsweise wird das Ausrüstungsdatenblatt aus dem Engineering vom Hersteller ergänzt, zum Teil auch in seine Template-Form übertragen.

Wichtige Teile der Produktdokumentation des Herstellers, die später in die AS BUILD-Dokumentation für die Gesamtanlage eingeordnet wird, sind die Betriebsanleitung, die Konformitätserklärung, die Fertigungszeichnungen mit Stücklisten

Projekt .....	Anhang zur Bestellung-Nr. .....	LOGO (Datum)																																																																								
<b>Dokumentenanforderungen für MASCHINEN</b>																																																																										
<b>POSITIONS-NR.:</b>																																																																										
<b>BEZEICHNUNG:</b>																																																																										
<b>ANGEBOTSUNTERLAGEN</b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Technische Daten / Fließbilder / Beschreibung bzgl. Maschine</td><td colspan="4">Angebotsunterlagen benötigt</td></tr> <tr><td>Technisches Datenblatt des Herstellers</td><td colspan="4"></td></tr> <tr><td>Ergänzung des beigestellten Technischen Datenblatts</td><td colspan="4"></td></tr> <tr><td>Leistungs- / NPSH- / Förderkurven</td><td colspan="4"></td></tr> <tr><td>Anfahrdrehmomente / max. Anfahrstrom (vorläufig)</td><td colspan="4"></td></tr> <tr><td>Hauptansichtszeichnung / Hauptabmessung / Gewichte</td><td colspan="4"></td></tr> <tr><td>Schnitt- bzw. Detailzeichnungen Maschine / Wellenabdichtung (vorläufig)</td><td colspan="4"></td></tr> <tr><td>Angaben zu Hilfsaggregaten u.a. Zubehörteilen</td><td colspan="4"></td></tr> <tr><td>Fließbilder für Schmier- / Regel- / Dichtungssysteme</td><td colspan="4"></td></tr> <tr><td>Geforderte Zertifikate und Nachweise (mindestens gesetzliche Anforderungen)</td><td colspan="4"></td></tr> <tr><td>Referenzen betreffs der angefragten Maschine</td><td colspan="4"></td></tr> <tr><td>Ersatz-/Verschleißteilangebot für Inbetriebnahme und 24 Monate Gewährleistungszeitraum</td><td colspan="4"></td></tr> </table>			Technische Daten / Fließbilder / Beschreibung bzgl. Maschine	Angebotsunterlagen benötigt				Technisches Datenblatt des Herstellers					Ergänzung des beigestellten Technischen Datenblatts					Leistungs- / NPSH- / Förderkurven					Anfahrdrehmomente / max. Anfahrstrom (vorläufig)					Hauptansichtszeichnung / Hauptabmessung / Gewichte					Schnitt- bzw. Detailzeichnungen Maschine / Wellenabdichtung (vorläufig)					Angaben zu Hilfsaggregaten u.a. Zubehörteilen					Fließbilder für Schmier- / Regel- / Dichtungssysteme					Geforderte Zertifikate und Nachweise (mindestens gesetzliche Anforderungen)					Referenzen betreffs der angefragten Maschine					Ersatz-/Verschleißteilangebot für Inbetriebnahme und 24 Monate Gewährleistungszeitraum																
Technische Daten / Fließbilder / Beschreibung bzgl. Maschine	Angebotsunterlagen benötigt																																																																									
Technisches Datenblatt des Herstellers																																																																										
Ergänzung des beigestellten Technischen Datenblatts																																																																										
Leistungs- / NPSH- / Förderkurven																																																																										
Anfahrdrehmomente / max. Anfahrstrom (vorläufig)																																																																										
Hauptansichtszeichnung / Hauptabmessung / Gewichte																																																																										
Schnitt- bzw. Detailzeichnungen Maschine / Wellenabdichtung (vorläufig)																																																																										
Angaben zu Hilfsaggregaten u.a. Zubehörteilen																																																																										
Fließbilder für Schmier- / Regel- / Dichtungssysteme																																																																										
Geforderte Zertifikate und Nachweise (mindestens gesetzliche Anforderungen)																																																																										
Referenzen betreffs der angefragten Maschine																																																																										
Ersatz-/Verschleißteilangebot für Inbetriebnahme und 24 Monate Gewährleistungszeitraum																																																																										
<b>EINZELDOKUMENTE der Herstellerdokumentation</b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center; width: 50%;">zur Vorabinfo Wo n. Auftragseingang</th> <th colspan="3" style="text-align: center;">Erforderlich</th> </tr> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">für Prüfung / Lieferung / Abnahme</th> <th style="text-align: center;">zur Prüfung b. Hersteller</th> <th style="text-align: center;">mit Lieferg. Maschine</th> </tr> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">n. Leistungstest und Abnahme</th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Dokumentenverzeichnis der Herstellerdokumentation</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Datenblätter von Herstellerkomponenten</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Vervollständigte Datenblätter</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>R &amp; I-Fließbilder der Maschinenanlagen für Maschine, Kühlwasser, Öl und andere Betriebsmittel</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Zeichnungen für Zusammenbau / Schnittzeichnungen / Stückliste / Werkstoffdaten</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Stückliste/Beschreibung der Anschlüsse (z.B. Stutzen)</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Stückliste/ Beschreibung der Armaturen</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Leistungsdiagramm (z.B. Förderhöhe und Drehmoment abhängig von Drehzahl)</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Aufstellungsplan der Maschinenanlage einschließlich – Leitungsführung im Maschinenbereich mit allen Anschlüssen für Entlüftung, Entleerung, Instrumente, Regeleinrichtungen usw. – Platzbedarf für Bedienung / Inspektion / Wartung</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Verbindliche Hauptabmessungen / Grundplattengröße / Gewichte / Drehrichtung</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Fundamentzeichnungen, Lage der Ankerschrauben, Belastungsangaben, vom Fundament aufzunehmende Kräfte und Momente</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Besondere Anforderungen an die Fundamentierung / Aufstellung</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>MSR-Technik: Funktionsplan, Geräteliste, Signal- verarbeitungsliste, Montageanordnungsplan</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Elektrotechnik: Klemmanschlussplan, Aufstellungsplan für Erdung</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Angaben zu einen Frequenzumrichter</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>			zur Vorabinfo Wo n. Auftragseingang	Erforderlich				für Prüfung / Lieferung / Abnahme	zur Prüfung b. Hersteller	mit Lieferg. Maschine		n. Leistungstest und Abnahme			Dokumentenverzeichnis der Herstellerdokumentation				Datenblätter von Herstellerkomponenten				Vervollständigte Datenblätter				R & I-Fließbilder der Maschinenanlagen für Maschine, Kühlwasser, Öl und andere Betriebsmittel				Zeichnungen für Zusammenbau / Schnittzeichnungen / Stückliste / Werkstoffdaten				Stückliste/Beschreibung der Anschlüsse (z.B. Stutzen)				Stückliste/ Beschreibung der Armaturen				Leistungsdiagramm (z.B. Förderhöhe und Drehmoment abhängig von Drehzahl)				Aufstellungsplan der Maschinenanlage einschließlich – Leitungsführung im Maschinenbereich mit allen Anschlüssen für Entlüftung, Entleerung, Instrumente, Regeleinrichtungen usw. – Platzbedarf für Bedienung / Inspektion / Wartung				Verbindliche Hauptabmessungen / Grundplattengröße / Gewichte / Drehrichtung				Fundamentzeichnungen, Lage der Ankerschrauben, Belastungsangaben, vom Fundament aufzunehmende Kräfte und Momente				Besondere Anforderungen an die Fundamentierung / Aufstellung				MSR-Technik: Funktionsplan, Geräteliste, Signal- verarbeitungsliste, Montageanordnungsplan				Elektrotechnik: Klemmanschlussplan, Aufstellungsplan für Erdung				Angaben zu einen Frequenzumrichter			
zur Vorabinfo Wo n. Auftragseingang	Erforderlich																																																																									
	für Prüfung / Lieferung / Abnahme	zur Prüfung b. Hersteller	mit Lieferg. Maschine																																																																							
	n. Leistungstest und Abnahme																																																																									
Dokumentenverzeichnis der Herstellerdokumentation																																																																										
Datenblätter von Herstellerkomponenten																																																																										
Vervollständigte Datenblätter																																																																										
R & I-Fließbilder der Maschinenanlagen für Maschine, Kühlwasser, Öl und andere Betriebsmittel																																																																										
Zeichnungen für Zusammenbau / Schnittzeichnungen / Stückliste / Werkstoffdaten																																																																										
Stückliste/Beschreibung der Anschlüsse (z.B. Stutzen)																																																																										
Stückliste/ Beschreibung der Armaturen																																																																										
Leistungsdiagramm (z.B. Förderhöhe und Drehmoment abhängig von Drehzahl)																																																																										
Aufstellungsplan der Maschinenanlage einschließlich – Leitungsführung im Maschinenbereich mit allen Anschlüssen für Entlüftung, Entleerung, Instrumente, Regeleinrichtungen usw. – Platzbedarf für Bedienung / Inspektion / Wartung																																																																										
Verbindliche Hauptabmessungen / Grundplattengröße / Gewichte / Drehrichtung																																																																										
Fundamentzeichnungen, Lage der Ankerschrauben, Belastungsangaben, vom Fundament aufzunehmende Kräfte und Momente																																																																										
Besondere Anforderungen an die Fundamentierung / Aufstellung																																																																										
MSR-Technik: Funktionsplan, Geräteliste, Signal- verarbeitungsliste, Montageanordnungsplan																																																																										
Elektrotechnik: Klemmanschlussplan, Aufstellungsplan für Erdung																																																																										
Angaben zu einen Frequenzumrichter																																																																										
<input type="checkbox"/> Zutreffendes ankreuzen																																																																										

**Abb. 7.5** Anforderungen an die Herstellerdokumentation für eine Maschine (Blatt 1)

Projekt .....	Anhang zur Bestellung-Nr. ....	LOGO (Datum)		
<b>Dokumentenanforderungen für MASCHINEN</b>				
<b>POSITIONS-NR.:</b>				
<b>BEZEICHNUNG:</b>				
<input type="checkbox"/>	Einzelteilzeichnungen zu Wellenabdichtung und Lager			
<input type="checkbox"/>	Bei vorh. Pulsationsdämpfer: Zeichnungen, technische Daten, Materialspezifikationen			
<input type="checkbox"/>	Für Kühlung, Filter u.ä Hilfsaggregate: Zeichnungen, technische Daten, Materialspezifikationen			
<input type="checkbox"/>	Festigkeitsberechnungen und statische Nachweise			
<input type="checkbox"/>	Ergebnisse Leistungstest			
<input type="checkbox"/>	Wartungs- und Inspektionsplan			
<input type="checkbox"/>	Ersatz- / Verschleißteilliste mit Preisen u. Angaben der Teile-Ident.-Nr. für eine Betriebszeit von 24 Monaten			
<b>TERMINUNTERLAGEN</b>			<b>Erforderlich</b> Termin / Form	
<input type="checkbox"/>	Materialterminlisten			
<input type="checkbox"/>	Fertigungsablaufplan			
<input type="checkbox"/>	Qualitätssicherungsplan / Prüfplan			
<input type="checkbox"/>	Montageablaufplan			
<b>PRÜFDOKUMENTATION (sicherheits- und qualitätsrelevant)</b>			<b>Erforderlich</b> Termin / Form	
<input type="checkbox"/>	Werkstattzeichnungen mit Stücklisten (as built)			
<input type="checkbox"/>	EG-Konformitätserklärung für Maschine und Motor (gemeinsam)			
<input type="checkbox"/>	Gefahrenanalyse für Maschine und Motor (gemeinsam)			
<input type="checkbox"/>	Herstellererklärung für Maschine (ohne Motor)			
<input type="checkbox"/>	EG-Konformitätserklärung für Motor			
<input type="checkbox"/>	Betriebsanleitung für Maschine (n. Masch-RL bzw. ATEX-Produkt-RL)			
<input type="checkbox"/>	Betriebsanleitung für Motor (n. ATEX-Produkt-RL) u.a. Hilfsaggregate			
<input type="checkbox"/>	Kopien von Verfahrensprüfungen (soweit erforderlich)			
<input type="checkbox"/>	Ergebnisse der Durchstrahlungsprüfungen			
<input type="checkbox"/>	Berichte von durchgeföhrten zerstörungsfreien Werkstoff- und Schweißnahtprüfungen			
<input type="checkbox"/>	Werksabnahmebericht			
<input type="checkbox"/>	Werkstoff-Prüfbescheinigungen n. EN 10204: Werksbescheinigung			
	Werkszeugnis			
<input type="checkbox"/>	für druckbeaufschlagte Teile:	Abnahmeprüfzeugnis 3.1		
		Abnahmeprüfzeugnis 3.2		
<input type="checkbox"/>	Kopien der Glühdiagramme, (ggf. zeigen des Aufheiz-, Halte-, Abkühlvorgang im Diagramm)			
<input type="checkbox"/>	Nachweise zu vorgegebenen Prüfumfängen (z. B. TÜV-Vorgaben)			
<input type="checkbox"/>	Nachweise weiterer durchgeföhrter QS-Maßnahmen des Herstellers			
<input checked="" type="checkbox"/>	Zutreffendes ankreuzen			
<b>ALLGEMEINE BEMERKUNGEN:</b>				
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alle Dimensionen sind im metrischen System anzugeben</li> <li>• Notwendige Änderungen an Zeichnungen u.a. Dokumenten sind innerhalb von zwei Wochen einzuarbeiten und die überarbeiteten Dokumente dem Auftraggeber erneut zur Prüfung und Freigabe vorzulegen.</li> <li>• Alle Dokumente müssen die Nummer der Anfragespezifikation und die Positions-Nr. des Auftraggebers sowie die Auftragsnummer des Lieferanten tragen.</li> </ul>				

**Abb. 7.5** Anforderungen an die Herstellerdokumentation für eine Maschine (Blatt 2)

Projekt .....	Anhang zur Bestellung-Nr. .....	LOGO (Datum)		
<b>Dokumentenanforderungen für APPARATE / BEHÄLTER</b>				
POSITIONS-NR.: BEZEICHNUNG:				
<b>ANGEBOTSUNTERLAGEN</b>		Angebotsunterlagen benötigt		
Technische Daten / Beschreibung bzgl. Apparat / Behälter				
Technisches Datenblatt des Herstellers				
Ergänzung der beigestellten Technischen Datenblatts				
Hauptansichtszeichnung / Hauptabmessung / Gewichte				
Schnitt- und Detailzeichnungen Apparat / Behälter				
Angaben zu Hilfsaggregaten u.a. Zubehörteilen (z. B. Einbauten, Sicherheitsventile)				
Geforderte Zertifikate und Nachweise (mindestens gesetzliche Anforderungen)				
Referenzen betreffs des angefragten Apparats / Behälters				
Ersatz-/Verschleißteilangebot für Inbetriebnahme und 24 Monate Gewährleistungszeitraum				
<b>EINZELDOKUMENTE der Herstellerdokumentation</b>		Erforderlich		
		zur Vorabinfo Wo n. Auftrags- eingang	zur Prüfung / Lieferung / Abnahme	mit Lieferg. Maschine
Dokumentenverzeichnis der Herstellerdokumentation				
Datenblätter von Herstellerkomponenten				
Vervollständigte Datenblätter				
Zeichnungen für Zusammenbau / Schnittzeichnungen / Stückliste / Werkstoffdaten				
Einzelteilzeichnungen zu Apparat / Behälter				
Stückliste/Beschreibung der Anschlüsse (z.B. Stutzen)				
Zeichnungen / Stückliste / Beschreibung der Zubehörteile (z.B. Einbauten, Sicherheitsventile, PLT-Schutzeinrichtungen)				
Verbindliche Hauptabmessungen / Grundflächengröße / Gewichte				
Fundamentzeichnungen, Lage der Ankerschrauben, Belastungsangaben, vom Fundament aufzunehmende Kräfte und Momente				
Besondere Anforderungen an die Fundamentierung / Aufstellung				
Platzbedarf für Bedienung / Inspektion / Wartung				
Angaben zum apparativen Stahlbau				
Wartungs- und Inspektionsplan				
Ersatz- / Verschleißteilliste mit Preisen u. Angaben der Teile-Ident.-Nr. für eine Betriebszeit von 24 Monaten				
<b>TERMINUNTERLAGEN</b>		Erforderlich Termin / Form		
Materialterminlisten				
Fertigungsablaufplan				
Qualitäts sicherungsplan / Prüfplan				
Montageablaufplan				
<input checked="" type="checkbox"/> Zutreffendes ankreuzen				

**Abb. 7.6** Anforderungen an die Herstellerdokumentation für einen Apparat oder Behälter (Blatt 1)

Projekt .....	Anhang zur Bestellung-Nr. ....	LOGO (Datum)
<b>Dokumentenanforderungen für APPARATE / BEHÄLTER</b>		
<b>POSITIONS-NR.:</b> <b>BEZEICHNUNG:</b>		
<b>PRÜFDOKUMENTATION (sicherheits- und qualitätsrelevant)</b>	<b>Erforderlich</b> Termin / Form	
Werkstattzeichnungen Apparat /Behälter mit Stücklisten (as built)		
EG-Konformitätserklärung für Apparat / Behälter (n. BetrSichV)		
Gefahrenanalyse für Apparat / Behälter		
Bescheinigung über die Entwurfsprüfung für Apparat / Behälter		
Bescheinigung über die Bau- und Druckprüfung für Apparat / Behälter		
Herstellererklärung für Apparat / Behälter		
EG-Konformitätserklärungen für Zubehörteile		
Betriebsanleitung für Apparat /Behälter (n. BetrSichV))		
Betriebsanleitungen für Zubehörteile		
EG-Konformitätsbescheinigung des TÜV		
Festigkeitsberechnungen und ggf. statische Nachweise		
Kopien von Verfahrensprüfungen (soweit erforderlich)		
Befähigungsnachweis für Schweißer (soweit erforderlich)		
Ergebnisse der Durchstrahlungsprüfungen		
Berichte von durchgeführten zerstörungsfreien Werkstoff- und Schweißnahtprüfungen		
Werksabnahmebericht		
Werkstoff-Prüfbescheinigungen n. EN 10204: Werksbescheinigung		
Werkzeugnis		
für druckbeaufschlagte Teile: Abnahmeprüfzeugnis 3.1		
Abnahmeprüfzeugnis 3.2		
Kopien der Glühdiagramme (ggf. zeigen des Aufheiz-, Halte-, Abkühlvorgang im Diagramm)		
Nachweise zu vorgegebenen Prüfumfängen (z. B. TÜV-Vorgaben)		
Nachweise weiterer durchgeföhrter QS-Maßnahmen des Herstellers		
<input type="checkbox"/> Zutreffendes ankreuzen		
<b>ALLGEMEINE BEMERKUNGEN:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alle Dimensionen sind im metrischen System anzugeben</li> <li>• Notwendige Änderungen an Zeichnungen u.a. Dokumenten sind innerhalb von zwei Wochen einzuarbeiten und die überarbeiteten Dokumente dem Auftraggeber erneut zur Prüfung und Freigabe vorzulegen.</li> <li>• Alle Dokumente müssen die Nummer der Anfragespezifikation und die Positions-Nr. des Auftraggebers sowie die Auftragsnummer des Lieferanten tragen.</li> </ul>		

**Abb. 7.6** Anforderungen an die Herstellerdokumentation für einen Apparat oder Behälter (Blatt 2)

und zugeordneten Werkstoff-Prüfbescheinigungen sowie zahlreiche Dokumente betreffs Schweißausführung, Qualitätssicherung und Sicherheitsprüfungen [10].

Der Besteller muss die Herstellerdokumentation exakt spezifizieren, sowohl die elektronische Version als auch die gegenständliche (Papier) Form.

Wie beispielsweise die Vorgaben an die gesamte Herstellerdokumentation für eine Maschine bzw. einen Druckbehälter aussehen können, zeigen die Praxisbeispiele in den zuvor eingefügten Abbildung 7.5 bzw. 7.6 (jeweils 2 Seiten).

Abschließend zur Thematik *Spezifikation und Konstruktion von Ausrüstungen* sei noch auf die folgenden zwei Besonderheiten hingewiesen [11]:

- In verfahrenstechnischen Anlagen sind teilweise sog. *Anfahrausriistungen* nötig, die auch spezifiziert und konstruiert werden müssen.  
Beispiele dafür sind:
  - *Anfahrofen* in Verfahren mit exothermen Reaktionen und bei höheren Temperaturen.  
Der Anfahrofen ist notwendig, um das Reaktionsgemisch durch Wärmezuführung auf die sog. Starttemperatur zu erwärmen. Danach reicht die gebildete Reaktionswärme aus und der Anfahrofen geht außer Betrieb.
  - *Anfahrmotoren* zum „Anschieben“ der Turbine in Kraftwerken.  
In Dampfkraftwerken kann das unmittelbare „Anstoßen“ der stehenden Turbine mit Dampf zu heftigen Stößen/Schlägen führen. Eine mögliche Lösung ist ein Elektromotor als sog. Anfahrmotor, der die Turbine in geringere Umdrehung versetzt, bevor sie mittels Dampf weiter beschleunigt wird.
  - *Temporäre Ausrüstungen* die während der Montage und/oder Inbetriebnahme vorbereitet genutzt werden.  
Beispielsweise werden Schalldämpfer und/oder Staubabscheider beim Ausblasen der Rohrleitungssysteme vor Inbetriebnahme eingesetzt, um die Umweltbeeinträchtigungen zu minimieren.
- Für den Festigkeitsnachweis der Ausrüstungen können u.U. bestimmte *Nebenfahrweisen*, und nicht der Nennzustand, den *kritischen Beanspruchungsfall* darstellen. Damit legt die Neben- bzw. Sonderfahrweise die Bemessung der Ausrüstung fest und muss der Festigkeitsrechnung zugrunde gelegt werden.  
Im angeführten Beispiel 7.2 ist ein solcher Fall dargestellt.

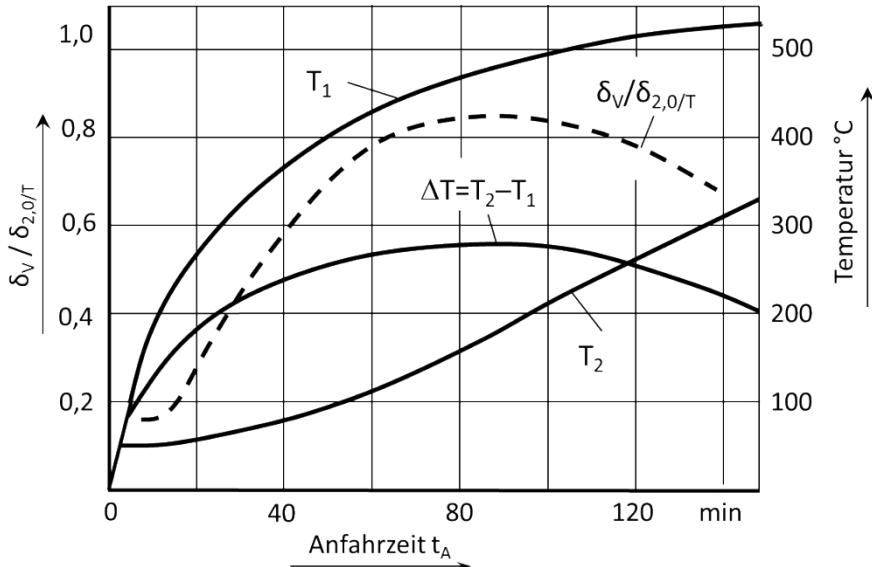
### **Beispiel 7.2 Spannungsüberhöhungen in einem Turbinenläufer beim Anfahren (s. Abb. 7.7)**

Beim Anfahren (sog. Kaltstart) eines Dampfkraftwerkes mit Blockschaltung eines Kessels und einer Turbine wird i. Allg. zunächst der Kessel in Betrieb genommen. Die Rohrleitung zur Turbine bleibt abgesperrt.

Sobald die erzeugte Dampfmenge und die Dampfparameter die vorgegebenen Werte erreichen, wird die Leitung zur Turbine „gestellt“ und der Läufer „angeschlossen“. Die einerseits sehr schnell stattfindende Erwärmung der Turbine und insbesondere der Läuferoberfläche (Temperatur  $T_1$ ) und die andererseits verzögerte Erwärmung der Turbinenwelle (Temperatur  $T_2$ ) bewirken zusätzliche Wärmespannungen im Werkstoff.

Man erkennt, dass die Vergleichsspannung  $\delta_v$  an der Läuferoberfläche in Abhängigkeit vom Temperaturgradienten ein Maximum durchläuft. Die für die Bemessung des Läufers maßgebliche Maximalbeanspruchung liegt somit deutlich über der Normalbeanspruchung im stationären Betriebszustand.

Ähnliche Aussagen gelten für die Trommeln und die Heißdampfrohrleitungen in Kraftwerken.



**Abb. 7.7** Läufertemperaturen und relative Spannungen einer Dampfturbine während des Anfahrens [11].

Der Konstrukteur muss diesen Anfahrlastfall bei der Bemessung und Konstruktion (z. B. durch dünnwandige oder rotationssymmetrische Bauteile oder durch die richtige Werkstoffwahl und -vergütung) unbedingt berücksichtigen.

Wenn nicht, kann die Bauteilüberbeanspruchung beim Anfahren schon zu Beginn der Nutzungsdauer zur Bauteilschädigung (z. B. durch örtliche Rissbildung mit anschließender Rissausbreitung) bzw. zur vorschnellen Bauteilermüdung führen.

### 7.2.3 3D-Anlagenmodell und Detail-Aufstellungsplanung

#### a) 3D-Anlagenmodellierung

Das 3D-Anlagenmodell ist, sofern es in der Projektabwicklung genutzt wird, neben den Rohrleitungs- und Instrumentenfließschemata (R&Is) das wichtigste Dokument. Es liefert insbesondere die räumlichen Informationen über die Anlage.

Gemäß der Bedeutung und des Umfangs der 3D-Anlagenmodellierung gibt es in größeren Projekten nicht selten einen Leadingenieur *Anlagenmodellierung*, der die ganzheitliche 3D-Anlagenplanung und insbesondere die Beachtung und Koordinierung der einzelnen Fachplanungen im Anlagenmodell verantwortet.

Die ganzheitliche (viele Gewerke und über viele Phasen) Anwendung einer 3D-Anlagenmodellierung verringert nicht nur die Schnittstellenfehler zwischen den verschiedenen Fachdisziplinen im Engineering, es wird zunehmend auch zur Qualitätskontrolle von Planungsergebnissen sowie auf der Baustelle und während der Inbetriebnahme genutzt.

Ferner dient das 3D-Anlagenmodell u.a.

- für Präsentationszwecke,
- für virtuelle Anlagenbesichtigungen,
- den Bau-/Montagefirmen zur räumlichen und örtlichen Orientierung,
- für Bau- und Montagekontrollen,
- zur Aufmaßermittlung,
- zur Schulung des Betreiber- und Servicepersonals,
- zur Ausarbeitung der Inbetriebnahmeanleitung und -anweisungen.

Mitunter dient das 3D-Anlagenmodell auch als CAE-Tool (Computer-aided engineering) zur Verwaltung der Anlagen- und Prozessdaten.

Abbildung 7.8 zeigt das Anlagenmodell einer Chemieanlage, das im Engineering erarbeitet und während der Baustellenphase vor Ort angewandt und gepflegt wurde.



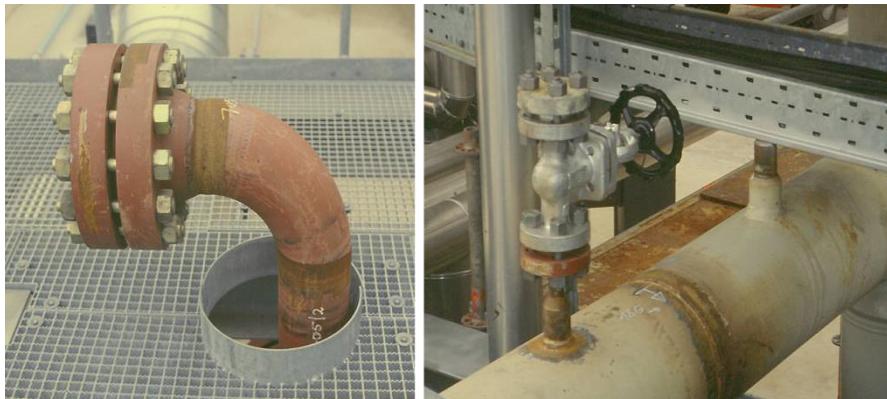
**Abb. 7.8** 3D-CAD-Anlagenmodell einer Chemieanlage (Praxisbeispiel)

Leider gelingt es in den meisten Projekten nicht, das 3D-Anlagenmodell entsprechend den Anforderungen einer Folgeplanung ausreichend genau „as-built“ zu pflegen. Dies betrifft insbesondere die Maßgenauigkeit der Bau-/Stahlbauwerke,

der Rohr- und Kabelrassen sowie der Rohrleitungen (Isometrien). Damit wird das 3D-Anlagenmodell für den späteren Anlagenbetreiber weniger bedeutend und er scheut nicht selten den notwendigen Pflege- und Schulungsaufwand.

Zugleich gibt es viele Investitionen in bestehenden Anlagen, für die zunächst erstmalig ein 3D-Anlagenmodell neu erstellt werden müsste.

Abb. 7.9 zeigt zwei Praxisbeispiele, in denen im 3D-Anlagenmodell die Stahlbaukoordinaten bzw. der geänderte Verlauf einer Kabeltrasse nicht *as-built* nachgepflegt wurden, der Rohrbauer aber seine Rohrleitung gemäß 3D-Anlagenmodell vorgefertigt hatte.



**Abb. 7.9** Ungenauigkeiten bzw. Schnittstellenprobleme zwischen den Fachplanungen im 3D-Anlagenmodell

links: Maßabweichung der gemäß 3D-Anlagenmodell vorgefertigten Rohrleitung im Vergleich zum realisierten Stahlbau (Baumaßnahme im 3D-Modell nicht nachgepflegt)

rechts: Falsche Stutzenanordnung (rechts) in der gemäß 3D-Anlagenmodell vorgefertigten Rohrleitung (tatsächlich realisierter Verlauf der Kabeltrasse wurde im 3D-Modell nicht nachgepflegt)

Inwieweit neuere Methoden der Nachmessung bzw. der 3D-Bestandserfassung (z.B. durch Laser-Scannen während der Baustellenabwicklung bzw. zur Modellierung bestehender Anlagen) diese Lücke erfolgreich schließen, bleibt abzuwarten. In jedem Fall sollten die aktuellen Anwendungsmöglichkeiten für das eigene Projekt geprüft werden. Die erreichten Fortschritte auf diesem Gebiet der 3D-Nachmessung sind deutlich und die Kosten verringert.

Unabhängig davon, ist das 3D-Anlagenmodell während der Projektabwicklung ein effizientes Planungsdokument; in zeitgemäßer Weiterentwicklung der früheren Plastik-Anlagenmodelle.

Ausgehend vom 3D-Anlagenentwurf am Ende des Basic Engineering sind im „Detail“ planerisch fortzuführen:

- 1) Detailplanung der Rohrleitungen, Rohrleitungsteile, Armaturen, Feldgeräte, TGA-Anlagenteile, Logistik-Anlagenteile u.a. Vor-Ort-Komponenten.
  - Diese Aufgaben sind erheblich, da während der 3D-Entwurfsplanung rohr-

rohrleitungsseitig nur die Rohrbrücken und -trassen sowie die Hauptrohrleitungen geplant wurden. Viele Rohrleitungen sowie Armaturen und Feldgeräte wurden nicht erfasst.

- Analog wurden kabelseitig auch nur die Kabelschächte, Kabeltrassen und Kabelpritschen dargestellt.
- Die TGA- und Logistik-Anlagenteile wurden im „Basic“, mit Ausnahme den Hauptausrüstungen sowie sicherheitsrelevanten und platzintensiven Komponenten, nur eingeschränkt geplant.
- In Tabelle 7.6 sind einige Hinweise zur Rohrbrücken- und Rohrleitungsausführungsplanung im 3D-Anlagenmodell zusammengestellt.

**Tabelle 7.6** Hinweise zur Rohrbrücken- und Rohrleitungsplanung im 3D-Anlagenmodell [12][13]

### 1 Rohrbrückenplanung und -belegung

- 1.1 Breite der Rohrbrücke nicht über 7,5 m wählen. Falls mehr Platz benötigt wird, sollte ein Doppeldeck vorgesehen werden.
- 1.2 Bei zweifacher Belegung übereinander sollte oben die Leitungen der Hilfsstoffe (Luft, Wasser, Dampf, Stickstoff) verlegt werden.
- 1.3 Die Rohrleitungen sollten nicht über die senkrechte Stütze verlegt werden, um nachträglich noch einen Aufbau zu ermöglichen.
- 1.4 Flüssigkeitsgefüllte Leitungen möglichst außen verlegen, wegen Durchbiegung der horizontalen Träger.
- 1.5 Bei Richtungswechsel der Rohrleitung möglichst auch deren Höhe ändern, um zukünftige Rohrleitungen nicht zu versperren.
- 1.6 Bei heißgehende Rohrleitungen ( $T > 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) die Wärmedämmung und Wärmedehnung beachten; auf Gleitlager legen.
- 1.7 Warmgehende Rohrleitungen ( $T < 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) können ggf. im Querträgerbereich an der Wärmedämmung ausgespart werden.
- 1.8 Möglichst Platz für zukünftige Rohrleitungen lassen.
- 1.9 Die örtlichen Verteiler für Medien (Dampf, Druckluft, Instrumentenluft, Trinkwasser, Löschwasser) an den senkrechten Stützen befestigen.
- 1.10 Kabeltrassen und Kabelpritschen möglichst außerhalb der Rohrbrücke anordnen.

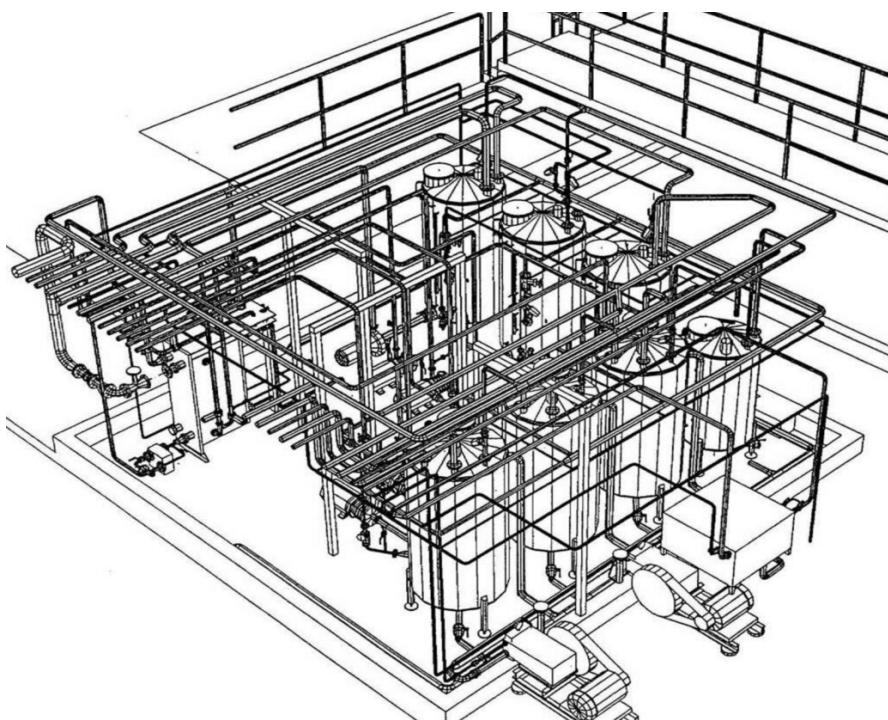
### 2 Rohrleitungsplanung

- 2.1 Kurze und einfache Verbindungswege, gute Raumausnutzung.
- 2.2 Gute Zugänglichkeit für Montage, Prüfung, Betrieb und Instandhaltung aller Rohrleitungsteile.
- 2.3 Anordnung in Richtung der Koordinatenachsen (Vertikal, horizontal), Schrägläufe nur ausnahmsweise, wenn die Betriebsbedingungen dies erfordern.
- 2.4 Einhalten von Schenkellängen, die durch die Biegemaschine der Rohrleitung vorgegeben sind.
- 2.5 Berücksichtigung von Messstrecken/Zulaufstrecken von Feldgeräten bei der Rohrleitungsführung.

**Tab. 7.6** (Fortsetzung)**2 Rohrleitungsplanung** (Fortsetzung)

- 2.6 Möglichst wenig Flanschverbindungen vorsehen; wenn solche notwendig sind, sollten sie in Bereichen kleinsten Biegemomente der Rohrleitung eingeplant werden und bei parallelen Rohrleitungen versetzt (Mindestabstand: 500 mm) angeordnet werden.
- 2.7 Leitungen ohne „Säcke“ verlegen; Entlüftungsstutzen an den höchsten und Entleerungsstutzen an den tiefsten Stellen anordnen.
- 2.8 Zusammenfassung der Rohrleitungen auf Rohrgehängen, -trassen und -brücken zu Quer- und Längslagen in verschiedenen Ebenen unter Berücksichtigung von Mindestabständen, die Dämmschichtdicke, Ummantelung und Zugänglichkeit beachten. Dabei sollten folgende Regeln beachtet werden:
- Leitungen mit größerem Durchmesser im äußeren Bereich,
  - Leitungen für aggressive Medien in der unteren Rohrlage,
  - Leitungen mit heißen Medien in der oberen Rohrlage,
  - Leitungen mit Hilfsmedien (Luft, Wasser, Dampf, Stickstoff) in der unteren Rohrlage.
- 2.9 Anschlussstutzen für Gas- und Dampfleitungen von oben und Anschlussstutzen für Flüssigkeiten von unten vorsehen (auch Stutzen für Messleitung).
- 2.10 Ausreichend Stutzen zum Spülen und Inertisieren des Rohrleitungssystems vorsehen.
- 2.11 Ausreichende Ausschleusemöglichkeiten für nichtspezifikationsgerechte Produkte/ Medien vorsehen, die z.B. beim Spülen oder An-/Abfahren der Anlage anfallen können.
- 2.12 Dampf- bzw. Gasleitungen bei Gefahr des Füllens mit Flüssigkeit (auch Wasser-Druckprüfungen) ausreichend unterstützen. Federhänger müssen feststellbar sein.
- 2.13 Heißgehende Leitungen unter Beachtung möglicher Wärmedehnung „elastisch“ verlegen und halten (z.B. Federhänger).
- 2.14 Rohrlager in Rohrleitungen mit Strömungsgeräuschen/-impulsen gegen Körperschall-Ausbreitung entkoppeln.
- 2.15 Ausreichende Absperrmöglichkeiten (Steckscheiben, Doppelabspernung mit Zwischenentspannung, Block and Bleed-Armatur) für einzelne Rohrleitungssysteme vorsehen und deren Zugänglichkeit gewährleisten.
- 2.16 Eine mögliche Wärmeausdehnung des Mediums innerhalb absperrbarer Rohrleitungsabschnitte (z.B. durch Sonneneinstrahlung, Begleitheizung) ist zu beachten; ggf. ist ein Ausdehnungs-Sicherheitsventil vorzusehen.
- 2.17 Sicherheitseinrichtungen in Rohrleitungen sind so anzuordnen, dass sie nicht verstopfen, einfrieren u.ä. und regelmäßig überprüfbar sind.
- 2.18 Ggf. vorhandene Ausdehnungsgefäß sollten zugänglich sein, sodass sie örtlich kontrolliert (Überlauf, Leckage) werden können.
- 2.19 Flansche in Rohrleitungen, die wassergefährdende Stoffe führen, sollten möglichst über befestigten Flächen (Betonflächen) angeordnet werden.
- 2.20 Rohrleitungen mit pulsierender Strömung (Kolbenpumpe) sind gemäß Stressberechnung zu planen und zu halten.

- Vertiefende Ausführungen zur Rohrleitungsausführungsplanung, die z.T. auf einige Hinweise in Tabelle 7.6 zurückgreift, sind in Abschn. 7.2.5 enthalten.
- Der Rohrleitungsplaner nutzt das vervollständigte 3D-Anlagenmodell anschließend sehr effektiv, um Ausführungsdokumente der Rohrleitungsplanung zu generieren und Rohrleitungssysteme (z.B. Stressbeanspruchung, Druckverlust, Schwingungen) zu berechnen (s. Abschn. 7.2.5). Das Beispiel eines aus dem 3D-Anlagenmodell selektierten 3D-Rohrleitungsmode



**Abb. 7.10** Ausschnitt eines 3D-Rohrleitungsmode

- 2) Überprüfen und bestätigen der Aufstellungsorte von Apparaten, Behältern, Tanks, Maschinen und deren Abstände untereinander unter Berücksichtigung:
- relevanter Nebenbestimmungen aus dem Genehmigungsbescheid,
  - zutreffender Aktionspunkte aus der Risikobeurteilung (HAZOP-Studie) während der Sicherheitstechnischen Entwurfsplanung (Planungstestat),
  - von Forderungen des Arbeits- und Gesundheitsschutzes,
  - notwendiger Sicherheitsabstände und Fluchtwege,
  - einer ausreichenden Zufahrt und Zugänglichkeit für die Feuerwehr,

- weiterer Vorgaben zur Brandbekämpfung (Brandabschnitte, Abschottung),
  - Vorgaben zur Leckagebekämpfung sowie zur Leckagerückhaltung und Leckageabführung wassergefährdender Stoffe u.a. Gefahrstoffe,
  - der Bedienbarkeit,
  - der Verrohrung und ggf. der Verlegung von Lüftungskanälen,
  - der Anordnung der PLT-Technik (Feldgeräte inkl. Elektroanschluss und Steuerluftversorgung, Prozessanalysengeräte, Probenahmemöglichkeiten),
  - der Montagegerechtigkeit,
  - der Inbetriebnahmegerechtigkeit,
  - der Instandhaltung,
  - der Demontage und des Rückbaus,
  - der Schallschutzanforderungen usw.
- 3) Detaillierte Dimensionierung der Verkehrswege innerhalb und außerhalb der Gebäude, der Rohr- und Kabeltrassen sowie der Montage- und Instandhaltungswege.
  - 4) Überprüfen und bestätigen der Feldabmessungen, der Bühnenhöhen, der Gebäudeabmessungen usw.
  - 5) Darstellen aller Anlagenkomponenten, die sich unter Flur befinden.
    - Das 3D-Anlagenmodell bildet den Unterflurbereich bis zu einer definierten Tiefe mit ab.
    - Mögliche Unterflur-Komponenten sind u.a.:
      - Gebäudestrukturen unterhalb der Erdoberfläche,
      - Fundamente,
      - Kanäle, Gruben, Schächte,
      - Entwässerungssysteme für Schmutz- und/oder Oberflächenwasser,
      - Erdbehälter, Erdtanks, Slopbehälter,
      - erdverlegte Prozessrohrleitungen und Armaturen,
      - erdverlegte Kabel und Kabelrohre,
      - erdverlegte Rohrleitungen zur Ver-/Entsorgung (Heizöl, Heizgas, Warmwasser, Trinkwasser, Schmutz-/Oberflächenwasser usw.).

Weitere Hinweise und Checklisten für die 3D-Anlagenplanung sind in [12] sowie speziell aus Sicht der Montage bzw. Inbetriebnahme in [14] bzw. [11] enthalten.

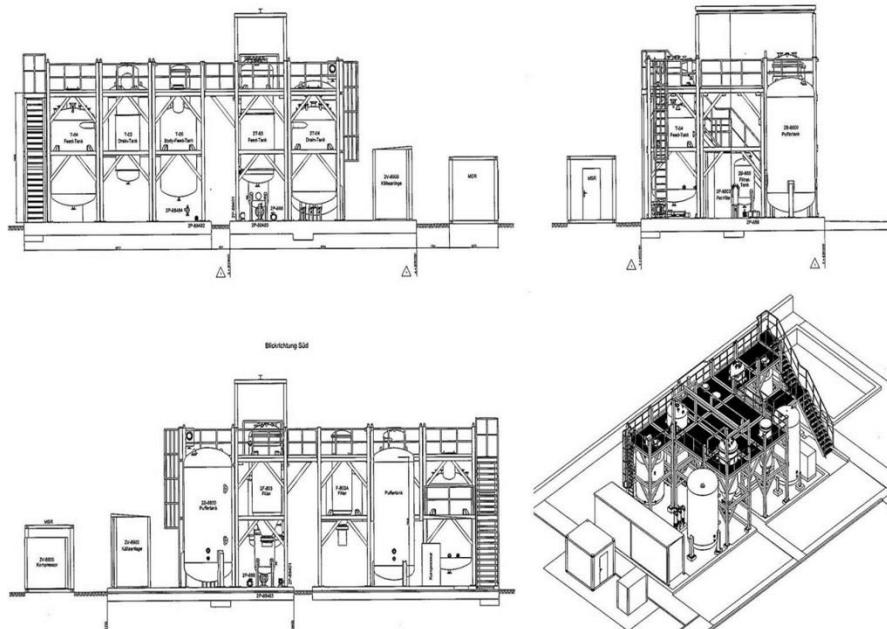
### **b) Generieren von 2D-Plänen aus dem 3D-Anlagenmodell**

Aus dem 3D-Anlagenmodell werden einige wichtige Pläne generiert und zum Teil auch noch nachträglich im 2D-Maßstab weiterbearbeitet. Wer kein 3D-Modell hat, muss in traditioneller Weise die Pläne mit 2D-Werkzeugen zeichnen.

Beispiele solcher Pläne sind:

- 1) *Aufstellungspläne* (s. auch Abschn. 4.2.4)
  - Aufstellungspläne können Grundrisse, Ansichten und Schnitte sein.
  - Aufstellungspläne werden für die Gesamtanlage, für Teilanlagen, Bühnen, Etagen usw. erstellt.

- Die Aufstellungspläne großer Betriebsplätze können auf Grundlage eines Übersichtslageplans (s. Abb. 3.8 in Abschn. 3.3.2) oder eines sog. Schlüsselplans (Key-Plan) strukturiert werden. Je nach Anlagenumfang umfasst ein Aufstellungsplan mehr oder weniger Flächenraster.
- Einen Aufstellungsplan für eine Package-Unit, bestehend aus verschiedenen Ansichten, zeigt Abb. 7.11.



**Abb. 7.11** Aufstellungsplan einer Behälteranlage in Form von Ansichten

## 2) Gefahrenzonenpläne bzw. Ex-Zonenpläne

- Die Gefahrenzonenpläne kennzeichnen die explosionsgefährdeten Bereiche (Ex-Zonen) der Anlage, ggf. auch auf verschiedenen Ebenen/Bühnen. Sie werden durch Markieren der Ex-Zonen in den zugehörigen Aufstellungsplänen angefertigt.  
Sie werden als Bestandteil des Explosionsschutzdokuments im Basic Engineering erarbeitet (s. Abschn. 4.3.3) und im Detail Engineering fortgeschrieben.  
Ihre exakte Umsetzung während der Realisierung muss vor Beginn der Inbetriebnahme durch einen zugelassenen Sachverständigen geprüft und bescheinigt werden.
- Die Gefahrenzonenpläne sind insbesondere für die Einstufung und Qualitätsüberwachung von PLT-Geräten (elektrische Zündquelle) und Maschinen (mechanische Zündquelle) wichtig, die für einen Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen vorgesehen sind und nach ATEX-Herstellerrichtlinie

[8] spezifiziert, bestellt, geliefert und montiert werden müssen (s. Abschn. 2.3.2 und 7.2.6).

- Beispiele von Gefahrenzonenplänen zeigen die Abb. 4.29 in Abschn. 4.2.4 und Abb. 4.49 in Abschn. 4.3.3.

### 3) Oberflächenbefestigungspläne (s. Abb. 7.12)

- Die Oberflächenbefestigungspläne gehören zu den Baudokumenten und beinhalten die Vorgaben zur ebenerdigen Ausführung des Betriebsplatzes.
- Die Oberflächengestaltung beeinflusst das optische Erscheinungsbild der Anlage wesentlich.

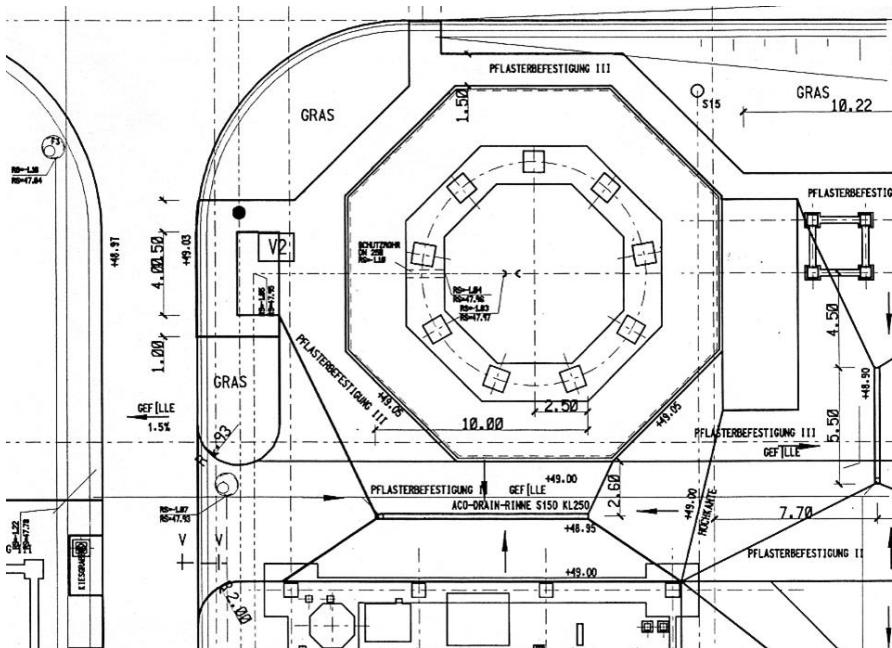


Abb. 7.12 Oberflächenbefestigungsplan einer Fackelanlage

### 4) Unterflursummenpläne (s. Abb. 7.13)

- Der *Unterflursummenplan* ist ein maßstäblicher Grundriss der Anlage bzw. Teilanlage, in dem alle unterirdischen Bauobjekte (Fundamente, Schächte, Gruben, Kanäle, Drainage) und Behälter (Erdtank, Slopbehälter) sowie die erdverlegten Rohrleitungen und Kabel (Kabeltrassen, Schutzrohre) dargestellt sind. Er wird i. Allg. aus dem 3D-Anlagenmodell generiert und ist ein wichtiges Übersichtsdokument.
  - Der Trend ist, möglichst keine Rohrleitungen und Kabel unterirdisch zu verlegen.
- Trotzdem bleibt der Unterflursummenplan, insbesondere in Verbindung mit Bau- und TGA-Maßnahmen, eine wichtige Dokumentenart.

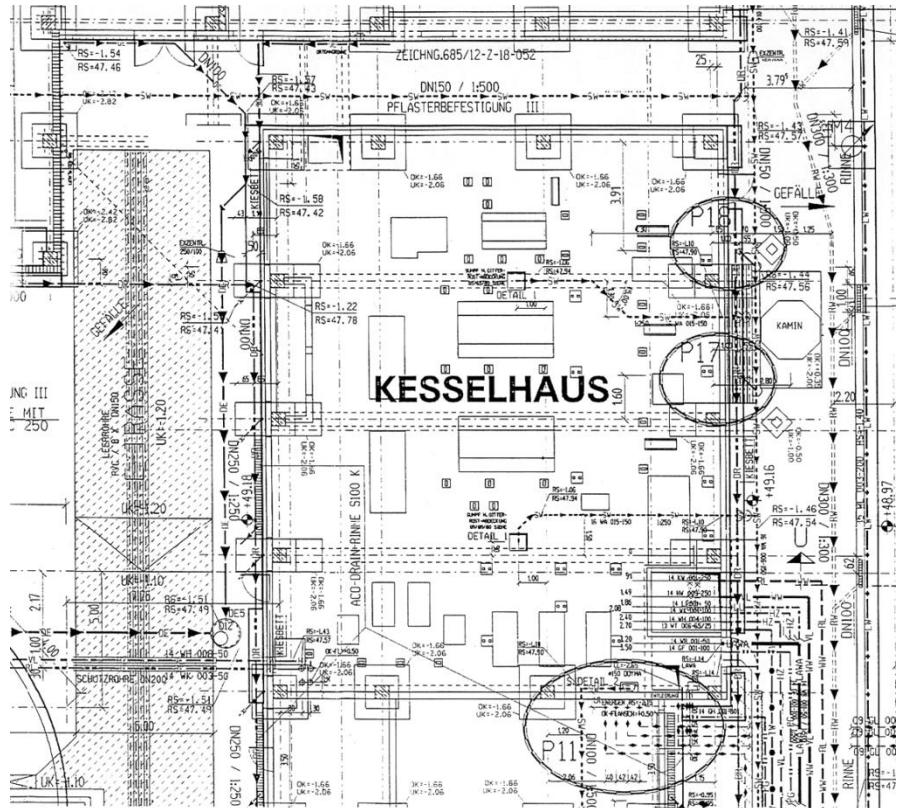


Abb. 7.13 Unterflursummenplan eines Kesselhauses (Ausschnitt)

#### 7.2.4 Ausführungsplanung Bau und Stahlbau

Die nachfolgenden Betrachtungen sind im Zusammenhang mit den grundlegenden Ausführungen zur Bau-/Stahlbauentwurfsplanung während des Basic Engineering zu sehen (s. Abschn. 4.2.5).

In der HOAI (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure) [15] werden für das Leistungsbild *Ingenieurbauwerke* und die Leistungsphase LPH 5 – *Ausführungsplanung* anteilig 15 Prozent der Gesamthonorars (§ 43) angegeben.

Dies ist in Anbetracht von 20 Prozent für die Vorplanung und 25 Prozent für die Entwurfsplanung relativ wenig. Es verdeutlicht, dass der Planungsgrad/-tiefe im Bau/Stahlbau zum Zeitpunkt der Investitionsentscheidung schon hoch ist; insgesamt 52 Prozent des Gesamthonorars für Leistungen der Phasen 1 bis 5 im o.g. Leistungsbild.

An Leistungen für die Ausführungsplanung, die noch verbleiben, werden in der HOAI für *Ingenieurbauwerke* angeführt:

**Grundleistungen:**

- a) Erarbeiten der Ausführungsplanung auf Grundlage der Ergebnisse der Leistungsphase 3 (d. Verf.: Entwurfsplanung) und 4 (d. Verf.: Genehmigungsplanung) unter Berücksichtigung aller fachspezifischen Anforderungen und Verwendung der Beiträge anderer an der Planung fachlich Beteiligter bis zur ausführungsreifen Lösung
- b) Zeichnerische Darstellung, Erläuterungen und zur Objektplanung gehörige Berechnungen mit allen für die Ausführung notwendigen Einzelangaben einschließlich Detailzeichnungen in den erforderlichen Maßstäben
- c) Bereitstellen der Arbeitsergebnisse als Grundlage für die anderen an der Planung fachlich Beteiligten und Integrieren ihrer Beiträge bis zur ausführungsreifen Lösung
- d) Vervollständigen der Ausführungsplanung während der Objektausführung

**Besondere Leistungen:**

- Objektübergreifende, integrierte Bauablaufplanung
- Koordination des Gesamtprojekts
- Aufstellen von Ablauf- und Netzplänen
- Planen von Anlagen der Verfahrens- und Prozesstechnik für Ingenieurbauwerke gemäß § 41 Nummer 1 bis 3 und 5, die dem Auftraggeber übertragen werden, der auch die Grundleistungen für die jeweiligen Ingenieurbauwerke erbringt

**a) Grafische Dokumente der Bau- und Stahlbauausführungsplanung**

Input für die Ausführungsplanung sind die Entwurfszeichnungen aus dem Basic Engineering sowie die *Bauvorlagezeichnungen* aus der Genehmigungsplanung. Letztere wurden in diesem Buch noch nicht betrachtet und sind wie folgt definiert:

**Bauvorlagezeichnungen** sind Entwurfszeichnungen, die durch alle Angaben ergänzt sind, die nach den jeweiligen Bauvorlageverordnungen der Länder oder nach den Vorschriften für andere öffentlich-rechtliche Verfahren (d. Verf.: z.B. Genehmigungsverfahren nach BImSchG) gefordert werden [16].

Nachfolgend werden wichtige zeichnerischen Ergebnisse der Bau- und Stahlbauausführungsplanung sowie die Inhalte einzelner Dokumentarten angegeben.

1) *Bau-Ausführungszeichnungen* nach folgendem Begriffsverständnis und Inhalt:

**Bau-Ausführungszeichnungen** sind Bauzeichnungen mit zeichnerischen Darstellungen des geplanten Bauobjektes mit allen für die Ausführung notwendigen Einzelangaben. Sie enthalten unter Berücksichtigung der Beiträge anderer an der Planung fachlich Beteiligter alle für die Ausführung bestimmten Einzelangaben in Werkzeichnungen und Detailzeichnungen und dienen als Grundlage der Leistungsbeschreibung und Ausführung der baulichen Leistungen [16].

Man unterscheidet, je nach Maßstab, zwischen *Werkzeichnungen* (Werkpläne) und *Detail- und/oder Teilzeichnungen*.

**Werkzeichnungen** werden maßstäblich (z. B. im Maßstab 1:50 oder 1:20) angefertigt und sollten darstellen [17]:

In den Grundrissen:

- Höhenangaben, Lage des Bauwerkes über NN,
- Bemaßung aller Bauteile
- alle Maße zum Nachweis der Raumflächen und des Rauminhalts (Rohbaumaße)
- Raumflächen in m<sup>2</sup>
- Bezeichnung der Raumnutzung und Angabe der Raumnummern (DIN ISO 4157),
- Türöffnungen mit Bewegungsrichtung der Türen, Fensteröffnungen,
- Treppen und Rampen mit Angaben der Steigungsverhältnisse, Anzahl der Stufen und Steigungsrichtung (Lauflinie),
- Angabe der Bauart und der Baustoffe, soweit diese nicht den Tragwerksausführungszeichnungen zu entnehmen sind,
- Angaben über die Oberflächenbeschaffenheit verwendeter Baustoffe bei besonderen Anforderungen an die Oberfläche,
- Lage und Verlauf der Abdichtungen
- konstruktive Fugen,
- Anordnung der betriebstechnischen Anlagen mit Querschnitten der Schornsteine, Kanäle und Schächte, Angaben über Aussparungen und Einbauteile,
- Anordnung der betrieblichen Einrichtungen des technischen Ausbaus,
- Anordnung der betrieblichen Einbauten, ggf. in schematischer Darstellung,
- Möblierung (Einbauschränke, Kücheneinrichtungen),
- Verlauf der Grundleitung, Angaben über die Dränung,
- Angaben zu Maßtoleranzen bei Verwendung von Fertigteilen,
- bei Änderung baulicher Anlagen alle zu erhaltenden, zu beseitigenden und neuen Bauteile (DIN ISO 7518),
- Geländeschnitte mit Angaben zu vorhandenen und künftigen Höhen,
- Hinweise auf weitere Zeichnungen.

In den Schnitten:

- Geschoss Höhen, ggf. auch lichte Raumhöhen,
- Höhenangaben für Decken und Fußböden (Rohbau- und Fertigmaße), Podeste, Brüstungen, Unterzüge, Vouten,
- Maße aller Bauteile,
- Treppen und Rampen mit Angabe der Steigungsverhältnisse und Anzahl der Stufen,
- Angabe der Bauart und der Baustoffe, soweit diese nicht den Tragwerksausführungszeichnungen zu entnehmen sind,
- Angaben über die Oberflächenbeschaffenheit verwendeter Baustoffe bei besonderen
- Anforderungen an die Oberfläche,
- Lage und Verlauf der Abdichtungen,
- Angaben über Aussparungen und Einbauteile,
- Angaben über die Dränung,
- Möblierung (Einbauschränke, Kücheneinrichtungen),
- bei Änderung baulicher Anlagen alle zu erhaltenden, zu beseitigenden und neuen Bauteile (DIN ISO 7518),

- Geländeschnitte mit Angaben zu vorhandenen und künftigen Höhen,
- Hinweise auf weitere Zeichnungen.

In den Ansichten:

- Gliederung der Fassade, einschließlich Gebäudefugen,
- Fenster- und Türeinteilungen mit Angaben zur Öffnungsart,
- Dachrinnen und Regenfallleitungen,
- Schornsteine und sonstige technische Aufbauten,
- Bemaßung und Höhenangaben, soweit nicht aus Grundrissen und Schnitten erkennbar,
- ggf. die zu berücksichtigende anschließende Bebauung.

**Detailzeichnungen** ergänzen die Werkzeichnungen in bestimmten Ausschnitten durch zusätzliche Angaben. Sie werden z. B. im Maßstab 1:20, 1:10, 1:5 oder 1:1 dargestellt.

Die Bauausführung von Betriebsgebäuden einer Erdgasspeicher-Anlage, die der Autor für sehr gelungen empfindet, ist auf Abb. 7.14 dargestellt.



**Abb. 7.14** Ansicht von Betriebsgebäuden einer Speicheranlage für Erdgas

links: Werkstattgebäude, Kesselhaus und Verdichterhalle  
rechts: Dachausbildung des Messwartengebäudes

Die Betriebsgebäude sind alle als Pultdach ausgeführt. Dadurch wird ein fließender Übergang von der umgebenden Landschaft zu den Gebäuden bewirkt. Die Gebäude sowie alle Anlagenkomponenten (auch Schornstein und Fackel) sind nicht höher als der angrenzende Wald, sodass sich die Anlage harmonisch in die Natur einfügt. Die Dachgestaltung im rechten Bild zeigt die Liebe zum Detail.

2) *Stahlbau-Ausführungszeichnungen* entsprechend folgendem Begriffsverständnis und Inhalt:

In **Stahlbau-Fertigungszeichnungen** bzw. in **Stahlbau-Werkstattzeichnungen** sind die für die Fertigung und Montage erforderlichen Angaben einer Stahlbaukonstruktion enthalten. Die Stückliste gehört zur Zeichnung.

Neben Zusammenbauzeichnungen gibt es Einzelteil- und Detailzeichnungen.

Der sog. *technologische* bzw. *apparative Stahlbau* für Bühnen, Laufstege, Podeste u. ä. wird i. Allg. zusammen mit der Ausrüstung konstruiert und geliefert. Sofern es aber statisch tragende Stahlbauten sind, sollte die Konstruktion inkl. Statik besser vom eigentlichen Stahlbau-Planer ausgeführt werden.

Als Beispiel ist die Stahlbau-Fertigungszeichnung von Teilen eines Behältergerüsts in Abb. 7.15 dargestellt.

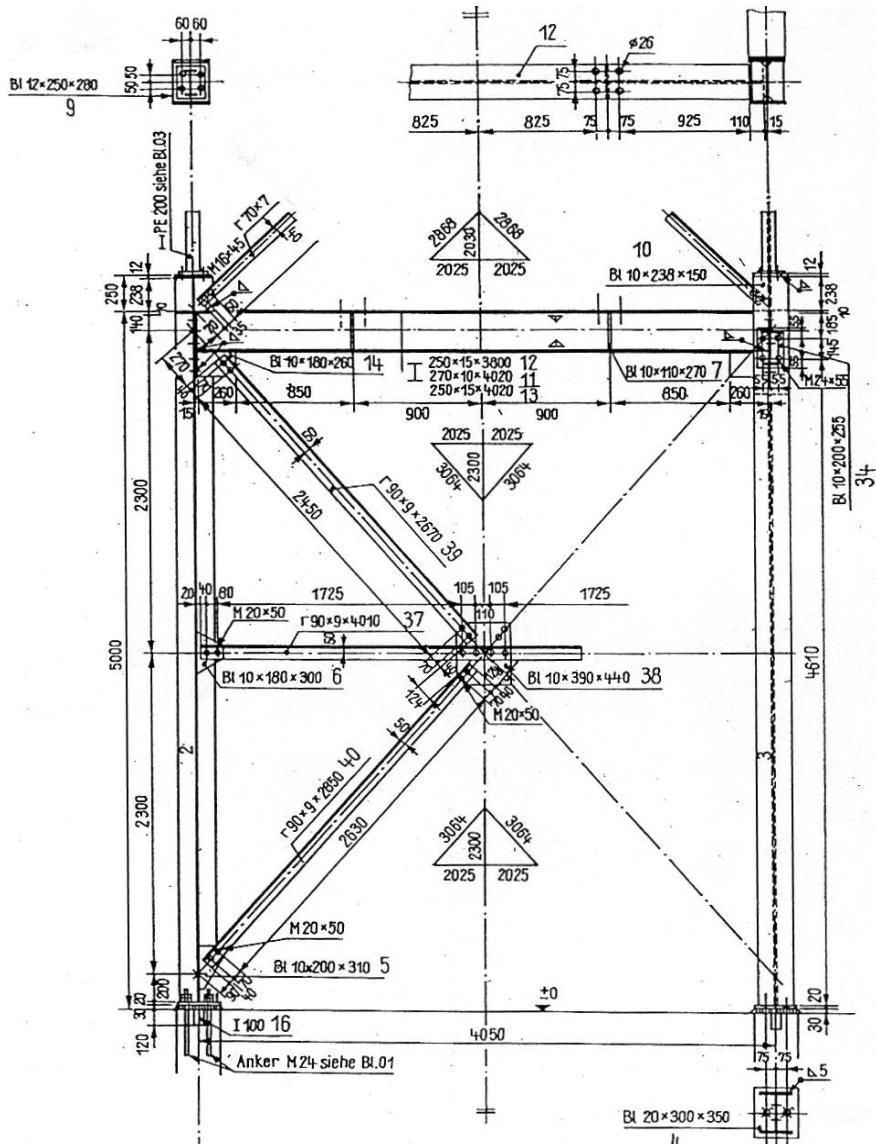


Abb. 7.15 Stahlbau-Fertigungszeichnung eines Behältergerüsts (Auszug)

### 3) Bauzeichnungen für die *Tragwerksplanung* [16]

- In der angeführten Norm sind u.a. die weiteren Bau-Dokumentarten beschrieben:

**Positionspläne** sind Zeichnungen des Tragwerks – gegebenenfalls in skizzenhafter Darstellung – zur Erläuterung der statischen Berechnungen mit Angabe der einzelnen Positionen.

**Schalpläne** sind Bauzeichnungen des Beton-, Stahlbeton- und Spannbetonbaus mit Darstellung der einzuschalenden Bauteile.

Bei der Ausführung sind gegebenenfalls ergänzende Angaben den Ausführungszeichnungen des Objektplaners zu entnehmen.

Schalpläne werden auf der Grundlage der Ausführungszeichnungen des Objektplaners als Grundrisse und Schnitte unter Berücksichtigung der Ergebnisse der statischen Berechnung angefertigt.

**Bewehrungszeichnungen** sind Bauzeichnungen des Stahlbeton- und Spannbetonbaus mit allen zum Biegen und Verlegen der Bewehrung erforderlichen Angaben.

**Fertigteilzeichnungen** sind Bauzeichnungen zur Herstellung von Fertigteilen aus Beton, Stahlbeton, Spannbeton oder Mauerwerk im Fertigteilwerk oder auf der Baustelle. Im Regelfall werden Rohbau- und Bewehrungszeichnungen für Fertigteile auf einem Blatt zusammengefasst.

Fertigteilzeichnungen sind gegebenenfalls durch Stücklisten zu ergänzen.

**Verlegezeichnungen** sind Bauzeichnungen für die Verwendung von Fertigteilen. Sie enthalten alle für Einbau und Anschluss der Fertigteile erforderlichen Angaben, gegebenenfalls in skizzenhafter Darstellung.

Mitunter werden die *Schal- und Bewehrungspläne* inhaltlich zusammengefasst und gemeinsam zeichnerisch dargestellt (s. Abb. 7.16).

Die meisten der angeführten Pläne werden bei der Tragwerksplanung von Beton-, Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen benötigt. Dies können im Anlagenbau u.a. Gebäudeelemente, Fundamente, Tanktassen, Gruben, Schächte, Silos, Kanäle, Verladeflächen, Schornsteine, Kühltürme sein.

Weitere, überwiegend grafische Dokumentarten der Bau-/Stahlbauausführungsplanung enthält Tabelle 7.7.

**Tabelle 7.7** Dokumentarten der Bau-/Stahlbauausführungsplanung [18]

<b>1 Straßenpläne</b>	
<b>1.1 Straßen-Lageplan</b> (z.B. Maßstab: 1:200, 1:500, 1:1000)	Darstellung der
	– Linienführung der Straßen mit Böschungsverlauf, befestigten Radien, Bogenanfang und Bogenende,
	– Quergefälle,
	– Lage der beigegebenen Regelquerschnitte,
	– Gräben und Gerinne mit Abmessungen und Fließrichtung,
	– erforderlichen Angaben über vorhandene und neue Kunstbauwerke.

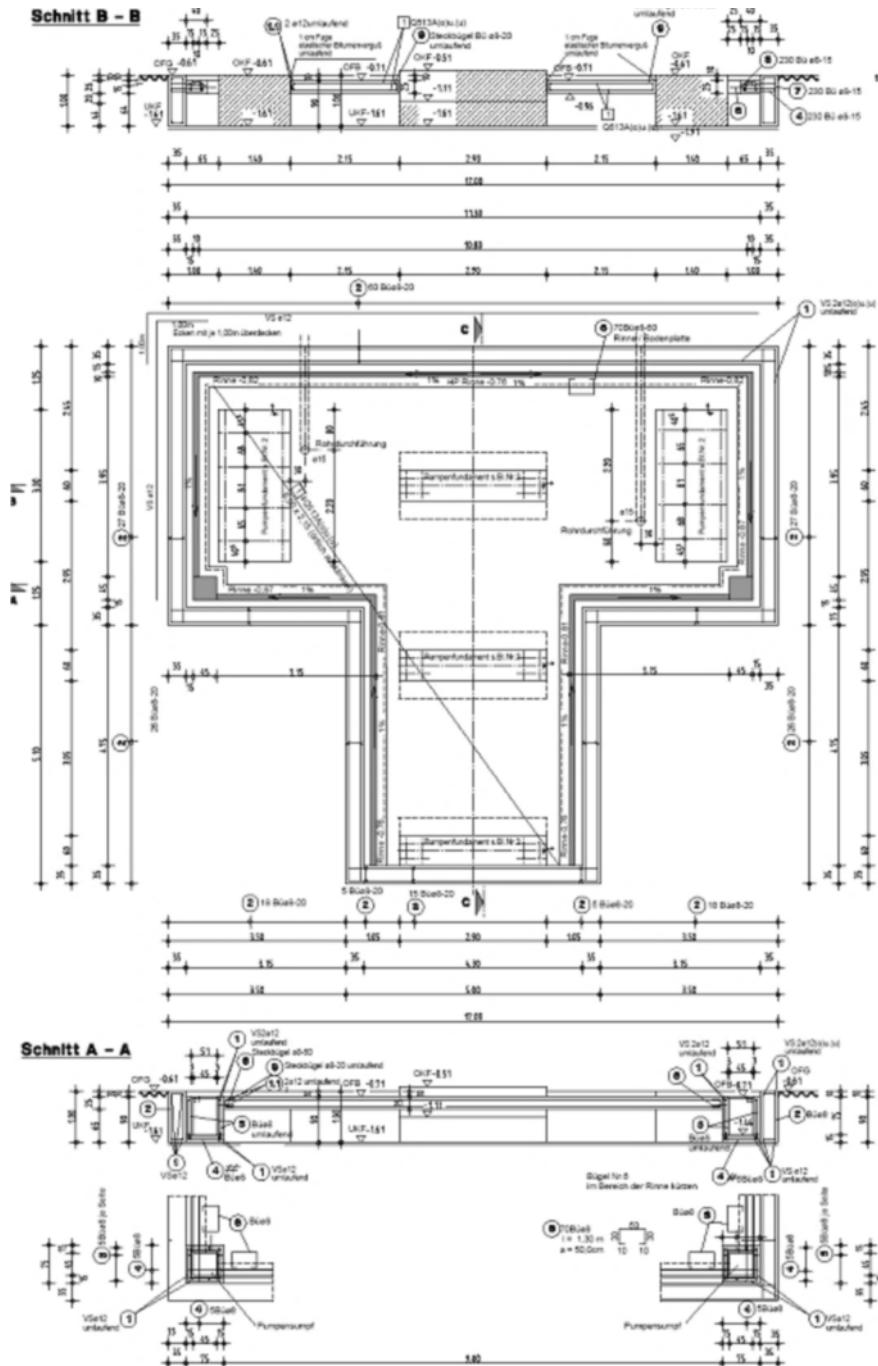


Abb. 7.16 Schal- und Bewehrungsplan für Pumpenfundamente (Ausschnitt)

**Tab. 7.7** (Fortsetzung)**1.2 Straßen-Längsschnitte (Höhenplan)** (z.B. Maßstab: 1:500/1:50, 1:1000/1:100)

Eingetragen sind:

- Höhen des Geländes und vorhandener Straßen,
- Gradienten der neuen Straßen,
- Brechpunkte der Gefälle und Halbmesser der Kuppen-/Wannenausrundungen,
- erforderliche Angaben über vorhandene und neue Bauwerke.

**1.3 Straßen-Regelquerschnitte** (z.B. Maßstab: 1:50)

Darstellung des Straßenquerschnittes mit Eintragung aller baulichen Bestandteile:

- Unterbau,
- Fahrbahndecke,
- Randbefestigungen, Böschungen und Gräben,
- Lage aller Leitungen und Kabel im Querschnitt.

**1.4 Straßen-Absteckplan** (Anfertigung durch Geometer)**2 Gleispläne** (z.B. Maßstab: 1:200, 1:500, 1:1000)

Lageplan, Längs- und Querprofile einschl. Darstellung der Entwässerung des Gleiskörpers, mit kompletter Vermaßung der Gleistrassen, Weichen und sonstigen Eisenbahnbauwerke sowie Angabe der Grundstücksgrenzen.

**3 Kanalisationspläne** (können auch Bestandteil von Straßen- und Gleisplänen sein)**3.1 Kanalisation-Lageplan** (z.B. Maßstab: 1:100, 1:200, 1:500)

Darstellung der Linienführung mit folgenden Eintragungen:

- angeschlossene Teilflächen,
- Lage der Schächte und Einläufe,
- Höhen, Gefälle und Fließrichtung,
- Leitungsdurchmesser und Werkstoff,
- sonstige Kunstbauwerke.

**3.2 Kanalisation-Längsschnitte** (z.B. Maßstab: 1:500/1:50, 1:1000/1:100)

Darstellung der:

- Höhen von Geländer bzw. Straße und Kanalohle, Gefälle,
- Leitungsdurchmesser und Werkstoff,
- Lage der Schächte.

**3.3 Kanalisation-Detailzeichnung** (z.B. Maßstab: 1:25, 1:50)

Darstellung der Entwässerungsbauwerke mit allen für die Ausführung erforderlichen Angaben, wie Lage und Abmessungen, Baustoffe usw.

**4 Übersichtszeichnungen und Positionspläne** (z.B. Maßstab: 1:50, 1:100)**4.1 Massivbau-Positionsplan** (kann Teil der Statik sein)

Angabe der wesentlichen Abmessungen des Bauwerks sowie der Positionsnummer der statischen Berechnungen.

**4.2 Massivbau-Übersichtszeichnung**

Grundrisse der einzelnen Anlagefelder mit Angabe der endgültigen Abmessungen der Bauteile entsprechend der statischen Berechnung sowie Vermaßung auf die Bezugslinien.

**Tab. 7.7 (Fortsetzung)**

<b>4.3 Stahlbau-Positionsplan</b> (kann Teil der Statik sein)
Darstellung aller Konstruktionsteile, Angabe der wesentlichen Abmessungen sowie der Positionsnummern der statischen Berechnungen.
<b>4.4 Stahlbau-Übersichtszeichnung</b> (z.B. Maßstab: 1:50, 1:100, Details 1:10, 1:20)
Grundrisse, Schnitte und Ansichten des Bauwerks mit Darstellung aller Konstruktionsteile und Eintragung der <ul style="list-style-type: none"> <li>– für die Anfertigung von Fertigungszeichnungen erforderlichen Maße,</li> <li>– Profile,</li> <li>– Anschlussdetails für Maschinen, Apparate, Rohrleitungen usw.,</li> <li>– wichtigen Konstruktionsdetails, z.B. Anschluss von Rahmenecken, Brücken- und Kranbahnauflager, Dehnfugen usw.;</li> <li>– Anschlusskräfte für Träger, Verbandsstäbe usw.</li> </ul>
<b>5 Belastungsplan B</b> (für Abtragung von Stahlbauten)
Plan für Fundamente des Stahlbaus (Gebäude, Unterkonstruktionen, Brücken) Darstellung und Eintragung von <ul style="list-style-type: none"> <li>– Bauwerksgrundrissen mit Achsen einschl. Achsbezeichnung und Stützenstellung (Richtung des Steges),</li> <li>– Lage von Verbänden und Rahmen,</li> <li>– Höhenkote von Fundamentoberkante,</li> <li>– Abmessungen der Fußplatten,</li> <li>– Zulässige Betonpressung in der Lagerfuge,</li> <li>– Positive x-, y- und z-Richtung,</li> <li>– Belastungstabelle, unterteilt in die einzelnen Lastfälle.</li> </ul>
<b>6 Verankerungszeichnung B</b> (z.B. Maßstab: 1:10, 1:20/1:50, 1:100)
Zeichnung für Stahlbau und sonstige vorgefertigte Bauteile. Darstellung und Eintragung von: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Verankerungsdetails (Ankerlöcher, Ankerschrauben, Ankerbarren usw.),</li> <li>– Bauwerksachsen mit Bezeichnung,</li> <li>– Höhenkote von Fundamentoberkante,</li> <li>– Abmessungen der Fußplatten, Dicke der Vergussfuge,</li> <li>– Lageplan,</li> <li>– Liefergrenzen.</li> </ul>
<b>7 Pfahlplan, Rampplan</b>
Darstellung der Lage von Gründungspfählen (Rammpfähle, Bohrpfähle) oder Spundwänden im Grundriss und ggf. in Schnitten mit Angabe der <ul style="list-style-type: none"> <li>– Lage in Bezug auf Bauwerksachsen,</li> <li>– Neigung von Schrägpfählen,</li> <li>– Tragfähigkeit der Pfähle,</li> <li>– Oberkante Pfahlkopf bzw. Spundwand,</li> <li>– evtl. einzuhaltenden Mindesttiefe,</li> <li>– Baustoffe.</li> </ul>
<b>8 Schalungszeichnung bzw. Schalplan</b> (z.B. Maßstab: 1:20, 1:50)
Darstellung der Beton-/Stahlbetonbauwerke in Grundrissen, Schnitten, Ansichten mit den für die Ausführung der Betonarbeiten erforderlichen Maßen und Angaben.

**Tab. 7.7** (Fortsetzung)

- 9 Bewehrungszeichnung bzw. -plan** (z.B. Maßstab: 1:10, 1:20, 1:50 oder unmaßstäblich als schematische Darstellung)  
Bauzeichnungen des Stahlbetons mit allen zum Biegen und Verlegen der Bewehrung erforderlichen Angaben.  
Eingetragen sind:  
 – wesentliche Schalungsmaße,  
 – Lage, Form, Durchmesser, Positionsnummern, Betondeckung der Bewehrung,  
 – Betonstahlgruppe, Betongüteklaasse, Zementart und Zementgehalt,  
 – Stahlliste.
- 
- 10 Stahlbau-Fertigungszeichnung bzw. -Werkstattzeichnung** (z.B. Maßstab: 1:10, 1:20, Details: 1:1, 1:5)  
Darstellung sämtlicher Konstruktionsteile in Grundrissen, Schnitten und Ansichten mit Angabe der Informationen für die Fertigung, wie  
 – Profile,  
 – Schweißnähte und sonstige Verbindungen,  
 – kompletten Bemaßung einschl. Systemmaße,  
 – evtl. erforderlichen Toleranzen und Bearbeitungszeichen,  
 – Positionsnummern.
- 
- 11 Architektonische Detailzeichnung bei Gebäuden** (z.B. Maßstab: 1:10, 1:25, 1:50)  
Darstellung aller für die Ausführung erforderlichen Details mit sämtlichen hierzu nötigen Maßen und Angaben.
- 
- 12 Montagepläne**
- 12.1 Stahlbau-Signierungsplan** (z.B. Maßstab: 1:50, 1:100)  
Grundrisse, Schnitte und Ansichten des Bauwerks mit Darstellung aller Konstruktionsteile und Eintragung der  
 – für die Montage wesentlichen Maße, Profile,  
 – für Versand und Montage maßgebende Positionsnummern der zum Versand kommenden, zu transportfähigen Stücken zusammengebauten Teilen.
- 
- 12.2 Gitterrost-Verlegeplan**  
 – Lage der Roste bezogen auf die Unterkonstruktion,  
 – Abmessungen, Ausschnitte, Positionsnummern.
- 
- 12.3 Gebäudeverkleidung-Verlegeplan**  
 – Lage der Elemente,  
 – Abmessungen, Ausschnitte, Positionsnummern.
- 
- 13 Raumbuch**  
Beschreibung der für die Innen-Ausbauarbeiten der Räume zu verwendende Baustoffe mit folgenden Angaben:  
 – Benennung der beschriebenen Bauwerksteile, wie z. B. Wände, Decken, Fußböden, Treppen, Türen, Zargen, Fenster, Geländer  
 – Farbton, Baustoffe,  
 – Hinweise auf Hersteller, Verarbeitungsrichtlinien,  
 – zugehörige Positionsnummer des Leistungsverzeichnisses.
-

**Tab. 7.7 (Fortsetzung)****14 Einfriedungsplan (z.B. Maßstab: 1:200, 1:500, 1:1000)**

Darstellung der Zaustrassen mit Straßen- und Eisenbahntoren und komplette Be-  
maßung bezogen auf Festpunkte.

**b) Sonstige Aufgaben der Bau- und Stahlbauausführungsplanung**

Zusätzlich zu den zuvor aufgeführten Dokumenten sind während der Bau-/Stahlbauausführungsplanung i. Allg. noch weitere Aufgaben zu bearbeiten wie:

- Aktualisieren und prüfen der *statischen Berechnungen* für das Tragwerk
  - Die statischen und ggf. auch dynamischen (Wind, Erdbeben) Berechnungen wurden bereits z.T. während der Entwurfsplanung (s. Abschn. 4.2.5, Buchst. c) und großteils während der Genehmigungsplanung durchgeführt.  
Sie müssen gemäß Projektfortschritt (bauliche Änderungen, exakte Massen von Einzelausrüstungen) aktualisiert und bei statisch relevanten Abweichungen von einem zugelassenen Statiker geprüft und genehmigt werden.
  - Ist die Prüfung erfolgt, wird dies mittels Stempel bestätigt. Die geprüften und gestempelten Unterlagen werden als revidierte *Prüfstatiken* abgelegt.
- Umsetzen der für das Baugewerk relevanten Nebenbestimmung des Genehmigungsbescheids im Projekt
- Mitwirken an der sicherheitstechnischen Detailplanung und am Planungstestat
- Fortschreiben von Dokumenten der Bau-/Stahlbauentwurfsplanung
  - Dies betrifft u.a.:
    - das Brandschutzkonzept (s. Abschn. 4.2.5, Buchst. c)),
    - das Raumprogramm und das Raumbuch zur Spezifizierung jedes Raumes.
- Ausführungsplanung des *baulichen bzw. konstruktiven Brandschutzes*, wie z.B.
  - Detailplanung der Abschottungssysteme/-maßnahme zwischen den Brandabschnitten und unterschiedlichen Ex-Zonen mittels geeigneter Wände, Decken, Verglasung, Türen, Klappen, Rohrdurchführungen usw. (s. Abb. 7.17),
  - Detailplanung der Brandschutzdämmung um statisch tragende Bauteile, insbesondere Stahltragwerke (Stützen, Quer-/Längsträger).
- Mitwirken an sonstigen Planungsaufgaben aus Sicht des Baugewerks, wie z.B.
  - ggf. Berechnen der Dehnwege, Festlegung des Spannvorgangs und Erstellen der Spannprotokolle im Spannbetonbau,
  - Mitwirkung an 3D-Anlagenplanung und der TGA-Ausführungsplanung,
  - Zusammenarbeit mit Rohrleitungsplanung (Rohrbrücken, Rohrtrassen, Lager, Stützen, Halterungen usw.),
  - Abstimmung mit Logistik- und Infrastrukturplanung (Läger, Be-/Entladung, Verkehrswege, Betriebsflächen, Schnittstellen an Anlagengrenze usw.),
  - Umsetzen der Maßnahmen des Schallschutzkonzepts für das Baugewerk (Schalldämmung inkl. Schallentkopplung, Schallabsorption).



**Abb. 7.17** Brandschutztür (T 90) nach einem Brand in einem Holzverarbeitungsbetrieb  
links: Türflügel auf der dem Brand abgewandten Seite (zu schützender Raum)  
rechts: Türflügel auf der dem Brand zugewandten Seite (brennender Raum)

- Zuarbeit und gegebenenfalls Mitwirkung an den *Leistungserklärungen* für Bauprodukte gemäß der **Bauprodukte-Verordnung** (BauPVO) [19] und insbesondere für Stahltragwerke nach [20] (s. auch Abschn. 2.3.1.2, Buchst. f)).

### c) Feuerfestbau

Feuerfeste Auskleidungen kommen in der Industrie häufiger zum Einsatz, als allgemein gedacht. Sie werden u.a. in Öfen und anderen Ausrüstungen der Eisen- und Stahlindustrie, der Chemie- und Mineralölindustrie, der Baustoff- und Glasindustrie sowie in Kraftwerken und Abfallverbrennungsanlagen genutzt.

Die feuerfesten Auskleidungen sollen das Feuer (Flamme, Rauchgase) führen und den Grundwerkstoff der Ausrüstung und/oder die Tragkonstruktion schützen. Feuerfeste Werkstoffe werden in drei Formen unterteilt [21]:

**Geformte Werkstoffe** haben eine definierte Geometrie, sie sind temperaturbehandelt und einbaufertig.

**Ungeformte Werkstoffe** werden auf der Baustelle durch Gießen, Vibrieren, Stochern, Stampfen oder Spritzen aus Feuerbeton, Krümelmassen oder Batzen in ihre endgültige Form gebracht.

Zu den ungeformten Werkstoffen gehören auch Mörtel und Kitte sowie Fertigbauteile.

**Funktionalprodukte** sind geformte auswechselbare Teile einer Anlage, die eine bestimmte Funktion im Prozess übernehmen und einem höheren Verschleiß als die übrigen Anlagenteile unterliegen.

Einen Überblick zu den feuerfesten Werkstoffen und ihren Einsatzbereichen zeigt Abb. 7.18. Der Feuerfestbau ist ein Spezialgewerk.

Das Engineering dieses Spezialgewerks beinhaltet i. Allg. folgende Hauptschritte bzw. Aufgaben:

- Erfassen der Betriebsparameter
- Erfassen und Analysieren der örtlichen Verhältnisse am Standort

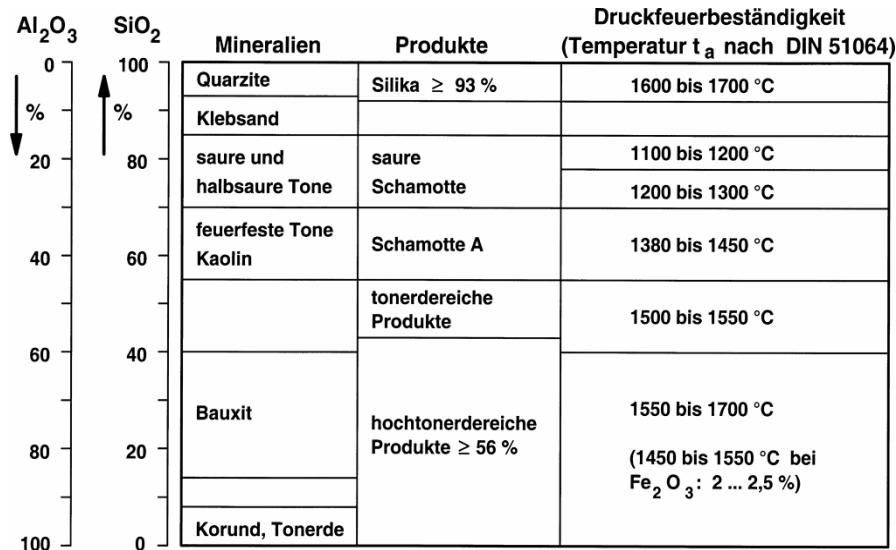


Abb. 7.18 Feuerfeste Produkte und Einsatzbereiche des Zweistoffsystems  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$

- Auswahl der feuerfesten und wärmedämmenden Materialien nach:
  - Zustandsform des Prozessmediums (Phasenzustand, Zusammensetzung u.ä.)
  - Eigenschaften der Werkstoffe,
  - Einbaubedingungen (örtlich, technisch),
  - Feuchtigkeit und Nässe,
  - vorhandene Gase bzw. Medien (chemisch, thermisch, erosiv),
  - mechanische Einsatzgrenzen (statisch, dynamisch),
  - Lager- und Verarbeitungsfähigkeit (Klima),
  - Temperaturwechsel (thermomechanische Spannungen),
  - thermische Einsatzgrenzen,
  - Verfügbarkeit.
- wärmetechnische Berechnungen
- konstruktive Ausführung des Feuerfestbaus
- statische Berechnung tragender Teile
- Vorgaben zum Einbringen der feuerfesten Materialien
- Vorschrift zum Ausheizen/Trockenen der feuerfesten Materialien

Das Engineering sollte zweckmäßig von der ausführenden Firma erledigt werden, die auch die Vorschriften für die Trocknung und Inbetriebnahme der feuerfesten Materialien vorgibt.

#### d) Korrosionsschutz inkl. Säureschutz im Bau und Stahlbau

Der Säureschutz für Objekte aus Beton oder Stahl ist ein spezielles Anwendungsbereich des Korrosionsschutzes. Er dient sowohl zur Werterhaltung als auch zum Umweltschutz.

In Abschn. 3.4 und in Abschn. 4.2.1.4, Buchst. c) wurde bereits ausführlich auf das Engineering von Anlagen mit wassergefährdenden Stoffen eingegangen.

Für diese Anlagen werden unter bestimmten Bedingungen u.a. Rückhalteinrichtungen (Auffangräume, Auffangwannen, Auffangtassen) sowie Abfüll- und Umschlagsflächen gefordert, die gegenüber wassergefährdenden Stoffen beständig und dicht sind; einschließlich der Ablauf- und Stauflächen und der Fugen zu anderen Flächen. Die Säure-Schutzsysteme spielen bei extremen Bedingungen eine herausragende Rolle.

Mögliche Ausführungsvarianten des *Säureschutzes* bzw. allgemein des *Schweren Korrosionsschutzes* sind:

- säurefeste Ausmauerungen
- säurefeste Kitte in Form von
  - Dünnbeschichtungen (bis 0,5 mm Dicke),
  - Spachtelbeschichtungen (bis ca. 6 mm Dicke),
  - Verlege- und Verfugungsmasse für säurefeste Steine.
- Gummierungen aus Kautschuk oder Elastomere
- rissüberbrückende Beschichtungen für Betonflächen, die hinsichtlich
  - Dichtheit gegenüber der abzudichtenden Flüssigkeit,
  - Beständigkeit gegenüber der abzudichtenden Flüssigkeit,
  - Rissüberbrückungsfähigkeit,
  - Haftung am Untergrund,
  - Alterungsbeständigkeit,
  - Brandverhalten,
  - elektrostatisches Verhalten,
  - Witterungsbeständigkeitdie geforderten Eigenschaften erfüllen müssen.
- Kunstharzbeschichtungen (Epoxidharze, Polyester u.a.).

Für das Engineering und die Ausführung gelten analoge Hinweise wie für den Feuerfestbau.

Hinsichtlich sonstiger Maßnahmen des Korrosionsschutzes im Bau-/Stahlbau wird auf die Ausführungen in Abschn. 4.2.5, Buchst. d) verwiesen, die an die aktuelle Projektsituation anzupassen und detailliert planerisch auszuführen sind.

## 7.2.5 Ausführungsplanung Rohrleitungstechnik

Die Rohrleitungsplanung findet überwiegend erst im Detail Engineering statt. In den vorhergehenden Phasen wurden Rohrleitungen nur soweit betrachtet, wie es

- für die Darstellung der Rohrleitungen und Armaturen in den Fließschemata
  - s. Abschn. 4.2.1.3: Festlegung der Betriebsparameter und Druckstufen
  - s. Abschn. 4.2.1.5: verfahrenstechnische Auslegung der Rohrleitungen
  - s. Abschn. 4.2.2.1: Wahl der Rohrklassen
  - s. Abschn. 4.2.2.2: Wahl der Dichtungs- und Armaturenklassen

- für GSU-Gefährdungen (Gesundheit-Sicherheit-Umwelt), die von Rohrleitungen ausgehen können und für die Genehmigung
  - s. Abschn. 4.3.1: Durchführen der Risikobeurteilung
  - s. Abschn. 5.5. Genehmigungsverfahren nach BImSchG
- für die 3D-Anlagenplanung und ggf. auch andere Fachplanungen
  - s. Abschn. 3.3.2: Grob-Layoutplanung
  - s. Abschn. 4.2.4: 3D-Anlagenentwurfsplanung
- für die Investitionskostenermittlung
  - s. Abschn. 6.2.3: Zuschlagsfaktorenmethode

erforderlich war. Die meiste konstruktive inkl. rechnerische und zeichnerische Planungsarbeit ist noch zu tun. Das vereinfachte Ablaufschema (Workflow) zur Rohrleitungsplanung ist in Abb. 7.19 dargestellt, wobei einige Leistungen bereits im „Basic“ erledigt wurden (s. Abschn. 4.2.1.5 und 4.2.2).

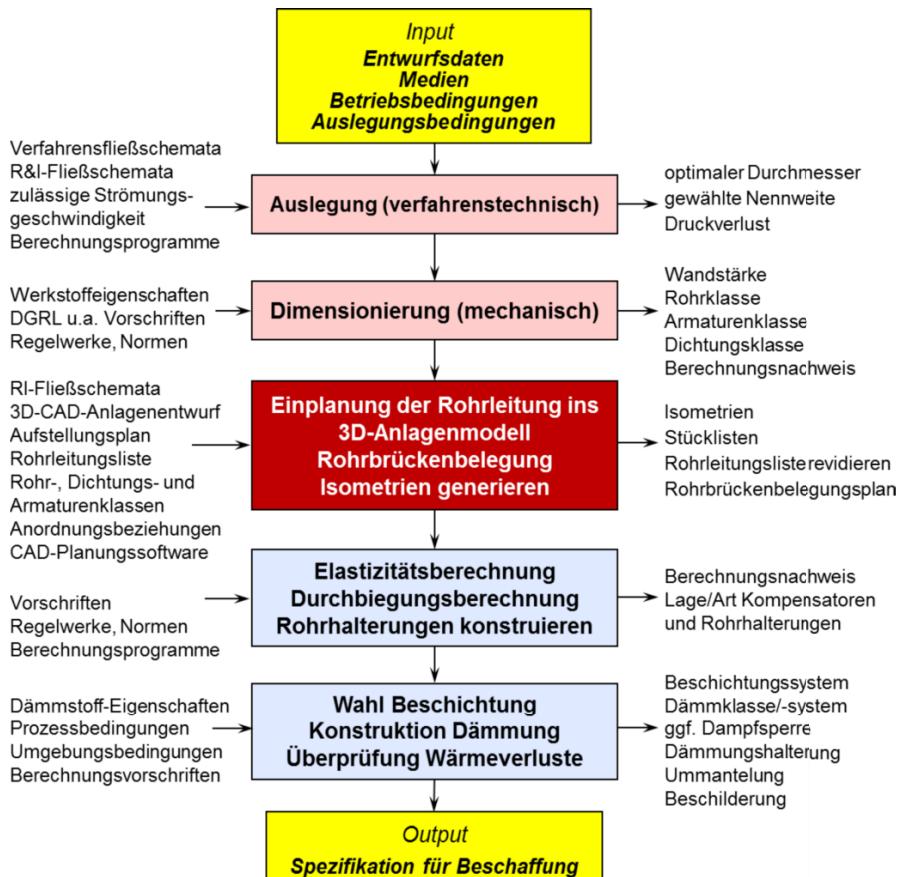


Abb. 7.19 Ablauf und Ergebnisse der Rohrleitungsplanung

Ausgehend vom prinzipiellen Workflow in Abb. 7.19 sind während der Rohrleitungsausführungsplanung im Einzelnen die folgenden Aufgaben zu erledigen:

- 1) *Verfahrenstechnische Auslegung* der Rohrleitungen gemäß Projektfortschritt überprüfen und ggf. präzisieren bzw. ergänzen.
- 2) *Rohr-, Dichtungs- und Armaturenklassen* gemäß Projektfortschritt überprüfen und ggf. präzisieren bzw. ergänzen.
  - Außer der Überprüfung der Rohr-, Dichtungs- und Armaturenklassen sind insbesondere diejenigen Rohrleitungsteile inkl. Sonderbauteile und Sonderflansche zu identifizieren und zu definieren, für die es keine standardisierten Klassen gibt.
- 3) *Rohrleitungssonderteile* (Düsen, Lochblenden, Drosselscheiben, Blind- und Durchgangsscheiben, Siebe u.a.) sowie *spezifische Flanschverbindungen* konstruieren und festigkeitsseitig dimensionieren/nachrechnen (s. Abb. 7.20).



**Abb. 7.20** Sonderteile im Rohrleitungsbau (Auswahl)

links: Trichter für Entwässerung, Entleerung und Probenahme

mittig: Doppel- bzw. Brillensteckscheibe (Blindscheibe eingebaut)

rechts: Hutsieb mit 0,5 mm Schlitzten und Joint-Ring-Dichtung (PN 250)

- Grundlage für die Berechnung und Konstruktion sind u.a. die DIN EN 13480 [22], das AD 2000-Regelwerk [4] sowie speziell für Flansche die Norm EN 1591 [23] und die VDI-Richtlinien 2440 [24] und 2290 [25].
  - Nähere Ausführungen für spezifische Flanschverbindungen und Absperrorgane (keiner Rohrklasse zuordenbar) sind unter Punkt 15 dieses Abschnitts gemacht.
- 4) Bauart der *Kondensatableiter* festlegen und die Ableiter für die Bestellung spezifizieren.
    - Der Kondensatableiter (Kondensomat) ist eine selbsttätige Regelarmatur, die zur Ableitung/Abscheidung von Flüssigkeit (i. Allg. von Kondensat) aus einem Gas- bzw. Dampfstrom (i. Allg. ein Wasserdampfstrom) dient.

- Sie sind in den R&Is darzustellen und technisch zu spezifizieren.
- Die Einteilung der Kondensatableiter nach [26] enthält Tabelle 7.8.

**Tabelle 7.8** Arten und Wirkprinzipien von Kondensatableitern

Steuerungsart	Bauarten	Wirkprinzip
mechanischer Kondensatableiter (mit Schwimmer)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Kugelschwimmerableiter mit geführter oder frei schwimmender Kugel</li> <li>– Glockenschwimmerableiter</li> <li>– Standrohr</li> </ul>	unterschiedliche Dichte von Gas und Flüssigkeit
thermostatischer Kondensatableiter	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Bimetallableiter</li> <li>– Membrankapselableiter</li> </ul>	Temperaturdifferenz zwischen Dampf und Kondensat
thermodynamischer Kondensatableiter	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ventilplatten-Kondensatableiter</li> <li>– Düsenableiter</li> </ul>	unterschiedlicher statischer Druck und Impuls wegen höherer Dampfgeschwindigkeit im Vergleich zur Flüssigkeit

- Die Angaben in Tabelle 7.8 verdeutlichen die Vielfalt an unterschiedlichen Kondensatableitern.
  - Da der Einsatz der Kondensatableiter im Prozess wichtig ist, sollte für das spezielle Engineering dieser Komponenten auch die Sachkunde der Hersteller (Auswahlkriterien, Kennliniendiagramme, Einbauhinweise) genutzt werden.
- 5) *Rohrleitungsliste* bzw. *Rohrleitungsverzeichnis* gemäß Projektfortschritt überprüfen und ggf. komplettieren sowie revidieren.
- 6) Rohrleitungen inkl. Rohrleitungsteile, Armaturen, Halterungen, Messstutzen, Begleitheizung usw. im *3D-Anlagenmodell* konstruieren (s. auch Checkliste in Tab. 7.6, Abschn. 7.2.3).
- Ausgangssituation im 3D-Modell hinsichtlich bereits dargestellter Rohrbrücken, Rohrtrassen, Rohrschächte und Hauptrohrleitungen gemäß Projektfortschritt überprüfen und ggf. präzisieren
  - Konstruktion der Rohrleitungen, Armaturen, Halterungen unter Beachtung
    - der prozessbedingten Anschlusspunkte,
    - von Abmessung und Gewicht der Rohrleitung,
    - der Stoffeigenschaften und Prozessparameter des Durchflusstoffs,
    - der Durchbiegung und Wärmedehnung,
    - möglicher Schwingungen und/oder Druckstöße,
    - eines möglichst geringen Druckverlustes,
    - mögliche Gefährdungen durch Korrosion, Undichtigkeiten, Leckagen,
    - keine Übertragung von Körperschall,
    - Montage und Demontage,
    - Kopf- und Bewegungsfreiheit für Personal,
    - Inspektion, Wartung und Instandsetzung.

### **Beispiel 7.3 Schallentkopplung zwischen Rohrleitung und Stahlträger**

Der Schall gehört zu den Emissionen, die zunehmend die Menschen und die Umwelt beeinträchtigen und auch verstärkt im Fokus der Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden steht. Die Einhaltung der zulässigen Schallimmissionsgrenzwerte nach TA-Lärm [27] ist im Genehmigungsverfahren nachzuweisen.

Nach Abschn. 6. (Immissionsrichtwerte) der TA-Lärm gelten nach Abs. 6.1 die folgenden Immissionsrichtwerte außerhalb von Gebäuden:

Die Immissionsrichtwerte für den Beurteilungspegel betragen für Immissionswerte außerhalb von Gebäuden

a) in Industriegebieten	tags	70 dB(A)
b) in Gewerbegebieten	nachts	65 dB(A) 50 dB(A)
c) in Kerngebieten, Dorfgebieten und Mischgebieten	nachts	60 dB(A) 45 dB(A)
d) in allgemeinen Wohngebieten und Kleinsiedlungen	nachts	55 dB(A) 40 dB(A)
e) in reinen Wohngebieten	nachts	50 dB(A) 35 dB(A)
f) in Kurgebieten, für Krankenhäuser und Pflegeanstalten	tags	45 dB(A)
	nachts	35 dB(A)

Einzelne kurzzeitige Geräuschspitzen dürfen die Immissionsrichtwerte am Tage um nicht mehr als 30 dB(A) und in der Nacht um nicht mehr als 20 dB(A) überschreiten.

Zur Einordnung dieser Immissionsrichtwerte sind einige Schalldruckpegel aus dem normalen Leben angeführt [28]:

10 dB(A): normales Atmen	<u>Empfinden:</u> still
20 dB(A): Blätterrauschen	
30 dB(A): Ticken des Weckers	<u>Empfinden:</u> leise
40 dB(A): Hintergrundschall in der Stadt	
50 dB(A): normale Unterhaltung	
60 dB(A): Zimmerlausstärke Radio	<u>Empfinden:</u> laut
70 dB(A): Hauptverkehrsstraße (Tagsüber)	
80 dB(A): hochbelstete Autobahn (Tagsüber)	
90 dB(A): Kreissäge, Moped	<u>Empfinden:</u> unerträglich
110 dB(A): Rockband, Disco	<u>Empfinden:</u> schmerhaft

Die o.g. Immissionsrichtwerte und die Beispielwerte aus dem Leben kennzeichnen die Herausforderung für den Anlagenplaner und -betreiber. Die Einhaltung der Schallimmissionswerte ist häufig viel schwieriger und aufwendiger als die der Schadstoffe. Mitunter ist eine Inhouse-Anlage die einzige Lösung am Standort.

Der Autor hat die Erfahrung gemacht, dass häufig der Körperschall, und nicht der Luftschall, die kritische Emissionsquelle darstellt.

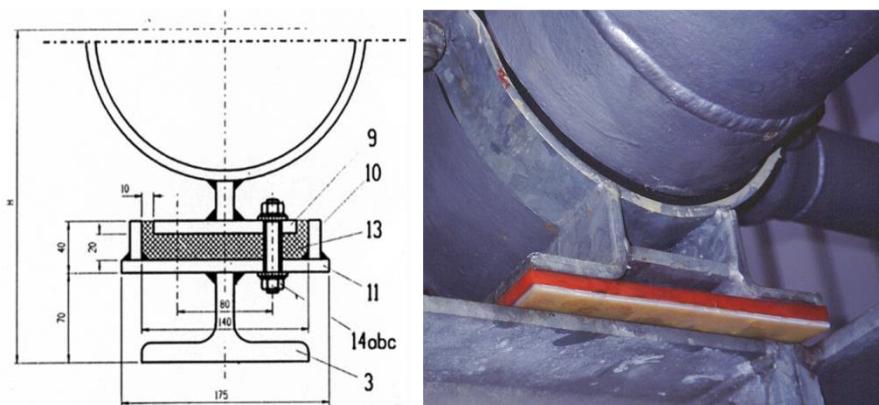
Zum Beispiel werden:

- die Turbulenzen und Schwingungen im strömenden Medium, die sich ggf. nicht vermeiden lassen, von der Rohrleitung auf den Stahlbau oder auf größere Aus-

- rüstungen (Luftkühler, Behälter) übertragen und von deren Flächen emittiert,
- Maschinenschwingungen werden auf den Stahlbau oder Stahlbetonelemente (Wände, Fußböden Decken) und von diesen verstärkt emittiert.

Manchem Planer ist dieses Phänomen des Körperschalls nicht ausreichend bekannt und wird entsprechend nicht sachgerecht planerisch bedacht.

Abb. 7.21 zeigt das Beispiel der praktischen Ausführung für ein Los- und ein Festlager. Beim Festlager verbleibt eine gewisse Schallbrücke.



**Abb. 7.21** Mögliche Ausführung der Körperschallentkopplung bei Rohrleitungslagern  
links: Konstruktion Festlager (körperschalentkoppelt)  
rechts: Beispiel Loslager (körperschallentkoppelt)

- 7) *Sonderarmaturen und Sonderhalterungen* auswählen oder konstruieren und zusammen mit *Rohrleitungs-Sonderteilen* ins 3D-Modell einplanen.
  - Die Sicherheitsventile und/oder Berstscheiben) (s. Abschn. 4.2.1.6) sind ins 3D-Modell rohrleitungsseitig zu integrieren (s. Tab. 7.9).

**Tabelle 7.9** Hinweise zum Einbau von Sicherheitsventilen

1. Keine Absperrmöglichkeit.
2. Anzahl der Bögen in Druck- und Abblaseleitung minimieren.
3. An Hochpunkten anordnen, um Flüssigkeitsschläge beim Ansprechen zu vermeiden.
4. Ausreichend starke Halterung (Impulskräfte) vorsehen.
5. Gute Zugänglichkeit für Wartung und Prüfung gewährleisten.
6. Abblaseleitung muss leer sein (Drainage).
7. Beim Abblasen darf keine Gefahr für das Personal bestehen.
8. Senkrechten Einbau realisieren.
9. Die Einleitung unzulässig hoher Kräfte in die Sicherheitseinrichtung (Dehnmöglichkeit, Schwingungen) muss vermieden werden.
10. Sicherheitsventil richtig einbauen (Strömungsrichtung, Stutzen).

- Sonderhalterungen (Hängungen, Stützen) bei heißen Leitungen auswählen und im 3D-Anlagenmodell konstruieren (s. Abb. 7.22).  
Bei der Konstruktion der Halterungen sind Sonderfahrweisen (Druckprüfung mit Wasser, An-/Abfahren) zu beachten.
- An Rohrleitungs-Sonderteilen sind u.a. ins 3D-Modell einzuplanen:  
*Flammenrückschlagsicherungen, Rückschlagklappen, Düsen, Trichter, Siebe, Lochblenden, Steckscheiben (Blind- bzw. Durchgangsscheiben).*



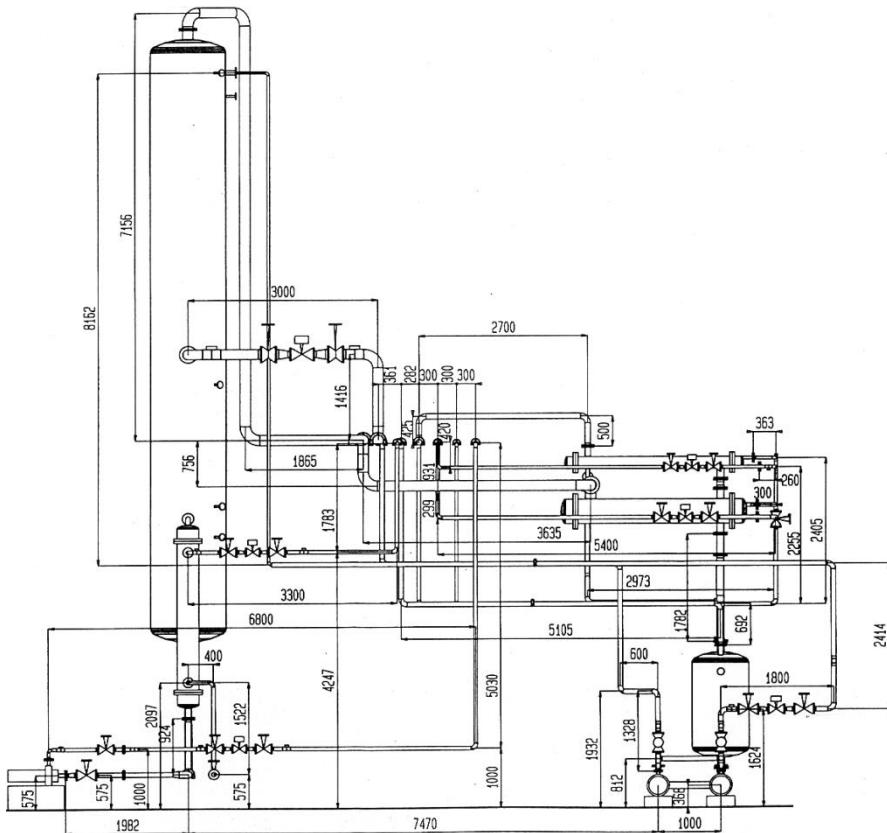
**Abb. 7.22** Federhänger an Dampfleitungen in einem Kraftwerk

- 8) *Korrosionsschutz* durch *Beschichtung* sowie *Dämmungen* (Wärme, Kälte, Schall) für Rohrleitungen auswählen und spezifizieren (s. Abb. 7.23).
  - Betreffs Korrosionsschutz von Rohrleitungen durch Beschichtung wird verwiesen auf
    - die allgemein gültigen Aussagen zum Korrosionsschutz in Abschn. 4.2.3, Buchst. d),
    - die Ausführungen zum Korrosionsschutz im Bau und Stahlbau in Abschn. 4.2.5, Buchst. d) und in Abschn. 7.2.4, Buchst d),
    - die Angaben zum Korrosionsschutz durch Beschichtung an Hauptausrüstungen in Abschn. 7.2.2, Punkt 2).
  - Hinsichtlich der Dämmung wurden bereits Ausführungen
    - zur verfahrenstechnischen Auslegung der Wärme- und Kältedämmung wurde in Abschn. 7.2.1, Punkt 6) und
    - zur Wärme-, Kälte-, Schalldämmung, inkl. Halterung, Wärme-/Kältebrücken, Dampsperre, Ummantelung, Beschriftung u.a., wurde im Abschn. 7.2.2, Punkt 3) bzgl. der Dämmung an Ausrüstungen gemacht. Diese Aussagen sind auf die Dämmung an Rohrleitungen weitgehend übertragbar.

		Abschirmblech	Alu - Folie	PUR - Ortsschaum	Armaflex	Foanglas	Oka-Formschalen	Mineralwolle D 8	Mineralwolle D 10	Verbundfolie	Alu - Blech	Verz. Stahlblech
Isoliertyp	Produktdatenblatt Nr.:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A	Kälteisolierung, warmwasserbeheizt	X	X	X	X	X				X	X	
B	Kälteisolierung, elektrisch beheizt		X	X	X		X			X	X	
C	Schallisolierung, elektrisch beheizt		X						X			X
D	Wärmedämmung, Schalldämmung								X			X
E	Wärmeisolierung, warmwasserbeheizt	X	X					X			X	
F	Wärmeisolierung, elektrisch beheizt			X				X			X	
H	Berührungsschutz (Wärme)							X			X	
K	Kälteisolierung			X	X	X	X			X	X	
L	Berührungsschutz (Kälte)			X							X	
M	Kälteisolierung/Schallisolierung	X	X				X		X	X	X	X
S	Schallisolierung								X			X
T	Schallisolierung (Option)								X			X
U	Kälteisol./Schallisol., elektr. beheizt	X	X			X		X	X	X	X	X

Abb. 7.23 Spezifikation der Dämmung nach Typ und Ausführung (Auszug)

- 9) Aus dem 3D-Anlagenmodell sind die *Rohrtrassenpläne* inkl. *Schnitte* sowie bei Bedarf ein *3D-Rohrleitungsmodell* und *Rohrleitungspläne* zu generieren.
  - Ein 3D-Rohrleitungsmodell ist in Abb. 7.8 in Abschn. 7.2.3 dargestellt.
  - Ein *Rohrleitungsplan* ist eine Einlinien- oder Dreiliniendarstellung von Rohrleitungen in Grundrisse, Ansichten bzw. kennzeichnenden Schnitten (s. Abb. 7.24).
- 10) Jede *Rohrleitung* inkl. Armaturen, Halterungen, Messstutzen usw. ist im Team am 3D-Anlagenmodell zu überprüfen und abzunehmen.
  - Die Überprüfung wird zur ganzheitlichen Qualitätskontrolle des 3D-Anlagenmodells genutzt. Sie sollte im Beisein von Spezialisten aller Fachdisziplinen erfolgen und findet i. Allg. statt, bevor die Rohrleitungsisonometrien generiert werden.
  - Überprüft werden grundlegende qualitative Merkmale, wie sie in Punkt 6) für den 3D-Rohrleitungsplaner formuliert wurden. Ergänzend zu den Schwerpunkten enthält Tabelle 7.10 weitere Hinweise.
  - Gleichzeitig mit der Überprüfung am 3D-Anlagenmodell erfolgt ein Abgleich mit den R&Is.
  - Rohrleitungen für Nebenfahrweisen sind in die Kontrolle einzubeziehen; gleichfalls die Körperschallentkopplung der Rohrleitungen zum Stahlbau.
  - Die Ergebnisse sind pro Rohrleitung zu protokollieren.
  - Festgelegte Änderungen sind ins 3D-Anlagenmodell einzupflegen.



**Abb. 7.24** Rohrleitungsplan (Ansicht) einer Destillationsanlage

**Tabelle 7.10** Checkliste zur Prüfung der Rohrleitungsplanung am 3D-Anlagenmodell

**1** Überprüfung jeder Rohrleitung am 3D-Anlagenmodell bzgl.:

- Bauteilreihenfolge und Einbaurichtung,
- Entleerungs-, Entlüftungs-, Spülmöglichkeiten,
- PLT-/PAT-Einbauten betreffs Lage und Funktionssicherheit,
- verfahrenstechnische Erfordernisse (Gefälle, Abtauchtiefen),
- Lagerung bzw. Halterung inkl. Schallentkopplung.

**2** Überprüfung je lokaler Verrohrungseinheit bzw. je Funktionseinheit am 3D-Anlagenmodell bzgl.:

- Bedienbarkeit,
- Montage- und Demontagegerechtigkeit,
- Inbetriebnahme- und Instandhaltungsgerechtigkeit,
- Verkehrs- und Fluchtwege,
- Arbeitssicherheit,
- PLT-/PAT-Erfordernisse.

**Tab. 7.10** (Fortsetzung)

- 
- 3** Quantitativer Vergleich mit R&I-Schemata bzgl.:
- Rohrleitungs-ID (AKZ),
  - Spezifikation (Rohr-, Dichtungs-, Armaturenklasse) inkl. Nennweite (s. Abb. 7.25, links),
  - Rohrleitungshalterungen (Anzahl und Bauart) (s. Abb. 7.25, rechts),
  - Armaturen (Anzahl und Bauart),
  - PLT-Stellen (Anzahl und Art der Sensoren/Aktoren),
  - Begleitheizung, Dämmung (Art und Dicke).
- 
- 4** Topologischer (Lage und Anordnung) Vergleich mit R&I-Fließbild bzgl.:
- Reihenfolge und Abstände der Komponenten,
  - Anordnung der Stutzen, Abzweige, PLT-Stellen u.ä.,
  - Mess- und Mischstrecken,
  - Abtauchungen, Entlüftungen, Entleerungen,
  - Rohrleitungsgefälle,
  - Rohrleitungshalterungen,
  - sonstiger spezieller Hinweis auf dem R&I (z.B. „ohne Sack“).
- 



**Abb. 7.25** links: Bimetall- bzw. Kontaktkorrosion und Undichte an einer Flanschverbindung durch falsche Werkstoffwahl (Flansch aus Edelstahl und Unterlegscheibe aus C-Stahl)  
rechts: Elektrolytische Entkopplung von Rohr (Edelstahl) und Rohrschelle (verzinkter Stahl) durch nichtleitende Folie aus Kunststoff

- 11) *Rohrleitungsisometrien* und zugehörige *Stücklisten* aus den 3D-Anlagenmodell generieren.
- Eine *isometrische Rohrleitungzeichnung* ist eine nichtmaßstäbliche Darstellung (i.d.R. eine Einliniendarstellung) eines Rohrleitungssystems, einer Rohrleitung oder eines Rohrleitungsabschnitts mit bemaßtem Rohrleitungsverlauf in isometrischer Projektion (s. Abb. 7.26).
  - Die räumliche Darstellung der Isometrie entspricht nicht der Wirklichkeit.

- Die Rohrleitungsisometrien und die zugehörigen Stücklisten werden mit Hilfe eines sog. Isometrie-Tools aus dem 3D-Anlagenmodell abgeleitet.
- Um die Übersichtlichkeit zu wahren, wird i. Allg. eine Rohrleitung, die im R&I-Fließbild als solche einheitlich gekennzeichnet ist, verteilt auf mehrere isometrischen Rohrleitungszeichnungen dargestellt.
- Aus dem 3D-Anlagenmodell lassen sich auch sog. *Schweißisometrien* generieren, die zur Verwaltung der Schweißnähte (z.B. bei Röntgenprüfungen) genutzt werden.

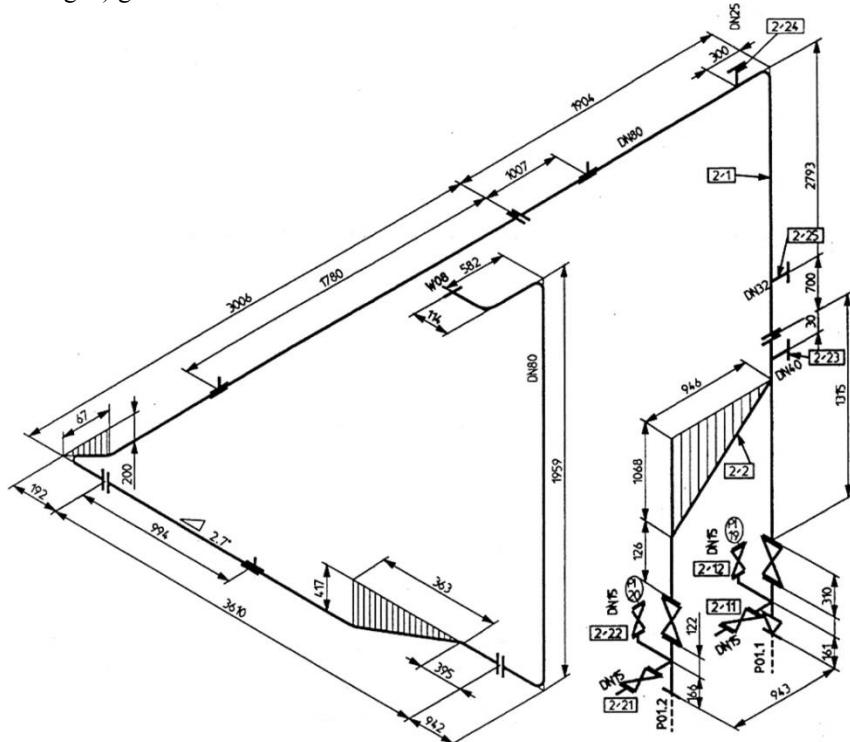


Abb. 7.26 Rohrleitungsisometrie (ohne Positionsangaben und ohne Stückliste)

- 12) Vorbereiten und Durchführen von *Stressberechnungen* kritischer Rohrleitungen bzw. Rohrleitungssysteme und ggf. Realisieren zusätzlicher Maßnahmen.
- Bei der Stressberechnung ist nachzuweisen, dass an der geplanten Rohrleitung inkl. aller Rohrleitungsteile, Armaturen, Halterungen, Lager usw., keine unzulässigen Spannungen auftreten.
  - Für Rohrleitungsabschnitte gleichartiger Beanspruchung (thermische Beanspruchung, Druckstoß (z. B. beim Anfahren einer Pumpe bzw. eines Verdichters), Schwingung (Kolbenverdichter)) werden die kritischen Beanspruchungsbedingungen und die kritischen Beanspruchungsfälle ermittelt.
  - Die Beanspruchungsfälle werden anschließend berechnet und bewiesen, dass die gewählten Rohrklassen bzw. Rohrleitungsbauenteile sowie die Rohr-

leitungsverläufe geeignet sind. Im Problemfall müssen die Rohrleitungen neu konstruiert bzw. andere Rohrklassen ausgewählt werden.

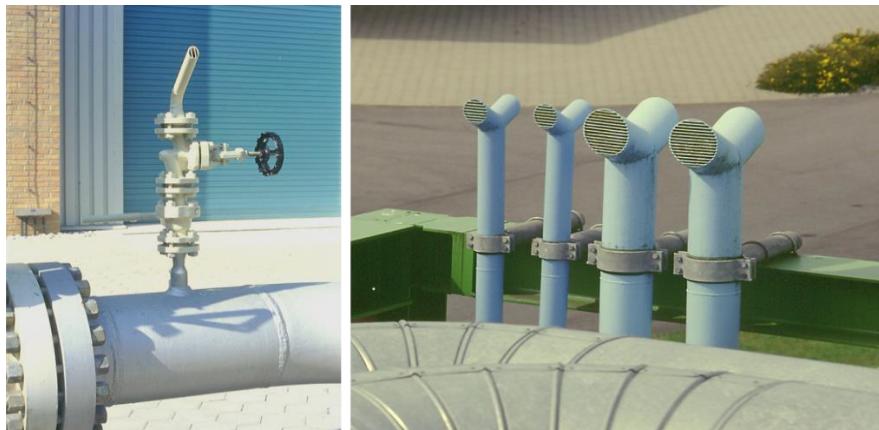
- In der Regel können die Rohrleitungskoordinaten aus dem 3D-Anlagenmodell direkt in die Software zur Stressberechnung übernommen werden.

Ist dies nicht möglich oder liegt kein 3D-Anlagenmodell vor, müssen Koordinatenblätter für die Rohrleitung und die Festpunkte (z. B. Stutzen einer Ausrüstung) erstellt und die Koordinaten händisch in die Software zur Stressberechnung eingegeben werden.

- Stressberechnungen heißer Rohrleitungen, die an Ausrüstungen anflanschen, müssen unter Beachtung der Stutzenkräfte der Ausrüstung durchgeführt werden. Dies gilt vor allem für gerade und dicke (starre) Rohrleitungen zwischen zwei Apparate- und/oder Maschinenflanschen.

In diesen Fällen ist ggf. eine iterative Festigkeitsberechnung der Rohrleitung und des Apparates nötig, erfolgen, die zulässigen Spannungen in der Rohrleitung und im Apparatestutzen eingehalten werden.

- Bei langen, heißen Rohrleitungen sind Dehnungsbögen vorzusehen.
- Weitere zu betrachtende Beanspruchungsfälle sind u.a.
  - Druckstöße in bzw. Schwingungen der Rohrleitungen,
  - große Rohrleitungslasten (z.B. gefüllte Rohrleitungen bei der Wasserdruckprüfungen),
  - extreme Strömungsimpulse in Rohrleitungen (s. Abb. 7.27 ).
- Sind die berechneten Spannungen unzulässig, muss z.B. der Rohrleitungsverlauf und/oder die Halterung (s. Abb. 7.28) umgeplant werden.

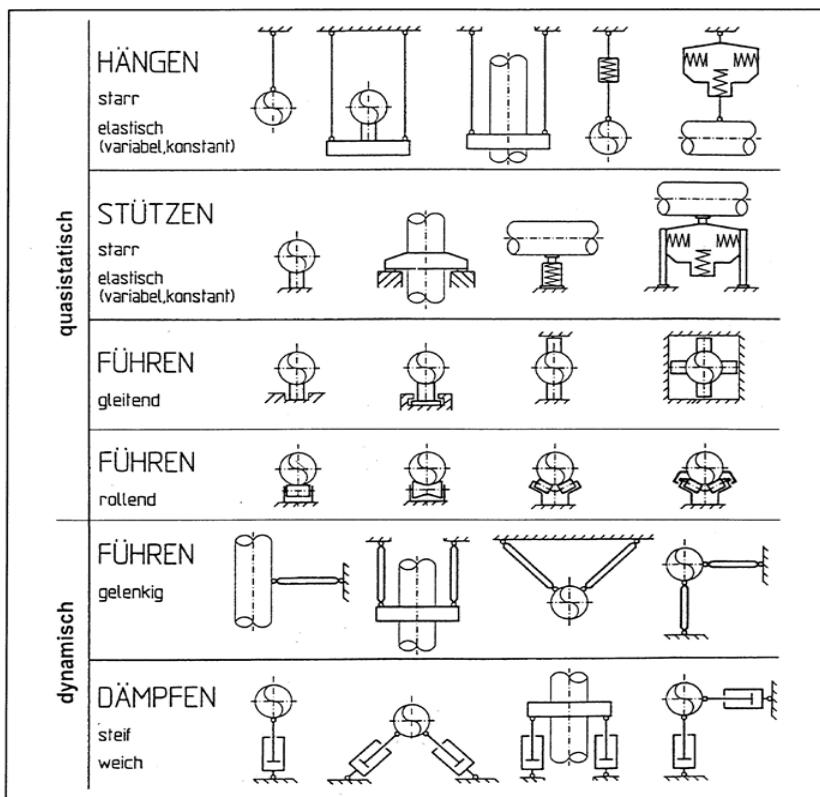


**Abb. 7.27** Ausführungsbeispiele von Gas-Entspannungsleitungen (Betriebsdruck: 50 bar)

links: Handentspannungsleitung abgewinkelt und Austritt in Nähe des Kopfes;

die Strömungsableitung (Impuls) bewirkt während des Entspannungsvorgangs eine Kraft und ein erhebliches Biegemoment auf den eingeschweißten Stutzen und die Gefahr eines Risses in der Schweißnaht

rechts: Symmetrische Ableitung der Entspannungsgase oberhalb der Rohrbrücke; kein Biegemoment auf die Entspannungsleitung



**Abb. 7.28** Arten von Rohrhalterungen [29]

13) Vorbereiten und Durchführen von *Druckverlustberechnungen* im Rohrleitungssystem der Anlage.

- Für definierte Rohrleitungssysteme werden, z. B.
  - von der Druckseite des Förderaggregats (Kreiselpumpe, Kreiselverdichter) bis zum Zielort,
  - bei Kreislauffahrweise von der Druckseite über den Prozess zurück auf die Saugseite,
  - bei statischer Förderung (geodätische Höhe, statischer Druckunterschied) zwischen Anfang und Ende der Förderleitung,
 die Druckverluste berechnet.
- Die Vorgehensweise bzgl. der Parametereingabe ist ähnlich wie bei den Stressberechnungen.
- Die Druckverluste werden benötigt, um die erforderliche Förderhöhe bzw. das benötigte Druckverhältnis des Förderaggregats festzulegen.
- Sie werden ferner für die Auslegung der Regelventile gebraucht (s. Abschn. 7.2.6, Punkt 5)).

- Eine spezielle Druckverlustberechnung ist die des vorhandenen NPSH-Wertes (**net positive suction head/Zulaufhöhe**) im Zulauf von Pumpen, die kavitationsgefährdet sind [30]. Der vorhandene NPSH-Wert sollte ca. 0,5 bis 1,0 m größer sein als der erforderliche NPSH-Wert der Pumpe.
- 14) Gegebenenfalls *Gefährdungsabschätzung* an Rohrleitungen mit wassergefährdenden Stoffen gemäß den VAwS (Verordnungen über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen) der Bundesländer.
- Die ATV-DWK-A780 [31], die nach den VAwS der Bundesländer gilt, fordert örtlich, d.h. unterhalb von Rohrleitungen der Wassergefährdungsklasse 2 und 3, eine flüssigkeitsundurchlässige Oberflächenbefestigung.
  - Alternativ kann aber auf derartige Dichtflächen bzw. Auffangwannen verzichtet werden, wenn mittels einer Gefährdungsabschätzung nachgewiesen wird, dass eine gleichwertige Sicherheit erzielt wird.
  - Die Gefährdungsabschätzung muss beinhalten bzw. bewirken:
    - Berechnung und Konstruktion der Rohrleitung hinsichtlich mechanischer, chemischer und thermischer Beanspruchung,
    - Nachweis einer geeigneten Werkstoffauswahl,
    - Errichtung der Rohrleitung durch geeignetes Fach-/Aufsichtspersonal,
    - Ausführung von vorgeschrivenen Prüfverfahren,
    - Druckproben/Abnahmen der Rohrleitungssysteme durch Sachverständige,
    - Prüfung der Rohrleitung vor Inbetriebnahme und wiederkehrend,
    - Dokumentation der Prüfungen.
  - Ferner wird nach Anlage 2, ATV-DWK-A 780, Teil 1 gefordert:
    - Rohrleitungsverbindungen und Armaturen sind so auszuführen, dass sie bei der vorgesehenen Betriebsweise technisch dicht sind und technisch dicht bleiben.
  - Dieser Nachweis ist im Rahmen der Gefährdungsabschätzung zu erbringen, sollen die zuvor angeführten bauseitigen Maßnahmen vermieden werden.
- 15) Gegebenenfalls *Dichtheitsnachweis* für Flanschverbindungen und Absperrorgane, die keiner Rohr-, Armaturen- und Dichtungsklasse zuzuordnen sind und der TA-Luft unterliegen.
- Die TA-Luft [32] macht im Umgang mit bestimmten Stoffen konkrete Vorgaben zur Ausführung von Flanschverbindungen sowie zur Verwendung bestimmter Absperrarmaturen, um Emissionen dieser Stoffe zu verhindern bzw. zu begrenzen.
  - Beispielhaft für diese Aussage soll aus Abschn. 5.2.6 zitiert werden, in dem für „Gasförmige Emissionen beim Verarbeiten, Fördern, Umfüllen oder Lagern von flüssigen organischen Stoffen“ unter definierten Bedingungen vorgegeben wird:

#### Abschn. 5.2.6.3 Flanschverbindungen

Flanschverbindungen sollen in der Regel nur verwendet werden, wenn sie verfahrenstechnisch, sicherheitstechnisch oder für die Instandhaltung notwendig sind.

Für diesen Fall sind technische dichte Flanschverbindungen entsprechend der Richtlinie 2440 (Ausgabe November 2000) zu verwenden.

Für Dichtungsauswahl und Auslegung der Flanschverbindungen sind Dichtungskennwerte nach DIN 28090-1 (Ausgabe September 1995) oder der DIN V ENV 1591-2 (Ausgabe Oktober 2001) zugrunde zu legen.

Die Einhaltung einer spezifischen Leckagerate von  $10^{-5}$  kPa / (s • m) ist durch eine Bauartprüfung entsprechend Richtlinie VDI 2440 (Ausgabe November 2000) nachzuweisen.

#### Abschn. 5.2.6.4 Absperrorgane

Zur Abdichtung von Spindeldurchführungen von Absperr- oder Regelorganen, wie Ventile oder Schieber, sind

- hochwertig abdichtende metallische Faltenbälge mit nachgeschalteter Sicherheitsstopfbuchse oder
- gleichwertige Dichtsysteme

zu verwenden.

Dichtsysteme sind als gleichwertig anzusehen, wenn im Nachweisverfahren entsprechend Richtlinie VDI 2440 (Ausgabe November 2000) die temperatur-spezifischen Leckageraten eingehalten werden.

- Sofern spezifische Flansche, Armaturen und Dichtungen vorgesehen sind, die in keiner entsprechenden Klasse erfasst sind, muss für diese der Nachweis gemäß TA-Luft erbracht werden.
- 16) Bei Einsatz von Kolbenpumpen und/oder Kolbenverdichtern sind gegebenenfalls *Schwingungsanalysen/-studien* der betroffenen Rohrleitungssysteme inkl. des zugehörigen Stahlbaus durchzuführen.
- Kolbenpumpen und insbesondere Kolbenverdichter (bei hohen Enddrücken) können im Rohrleitungssystem durch Resonanzen erhebliche, nicht vertretbare Schwingungen auslösen.
  - Zusätzlich zur Rohrleitung kann u.U. der tragende Stahlbau mitschwingen.
  - Im Ergebnis der Schwingungsanalyse müssen gegebenenfalls Maßnahmen ergriffen werden, um diese Resonanzen (stehende Wellen) zu vermeiden.
- 17) *Beschilderungsliste* für Rohrleitungen und Armaturen erarbeiten.
- 18) *Anfragespezifikation/Ausschreibungsunterlagen* für Lieferung und Montage inkl. Beschichtung, Dämmung und Isolierung erarbeiten.

In Tabelle 7.11 sind zusammenfassend für diesen Abschnitt wichtige Ausführungs-dokumente der Fachdisziplin *Rohrleitungstechnik* zusammengestellt.

**Tabelle 7.11** Dokumentarten der ROHRLEITUNGSTECHNIK (Auswahl)

- 
- Richtlinien und Spezifikationen für Planung, Fertigung, Montage von Rohrleitungen und Rohrleitungsteilen, inkl. Qualitäts- und Druckprüfung
  - Spezifikationen der Rohrklassen
  - Spezifikation der Rohrleitungssonderteile
  - Spezifikation für die Rohrleitungsbennung/-kennzeichnung
-

**Tab. 7.11** (Fortsetzung)

- 
- Spezifikationen für Rohrleitungshalterungen
  - Spezifikationen für Beschichtung bzw. Auskleidung
  - Spezifikationen für Dämmung
  - Spezifikation für Isolierung
  - Spezifikationen für Beheizung der Rohrleitungen
  - Lage- bzw. Übersichtspläne mit Hauptrohrbrücken, Rohrtrassen, Portalen usw.
  - Übersichtspläne zu kanal- bzw. erdverlegten Leitungen (Unterflursummenpläne)
  - 3D-Rohrleitungsmodell
  - Rohrleitungstrassenpläne
  - Rohrbrückenbelegungspläne
  - Rohrleitungspläne
  - Rohrleitungslisten (-verzeichnisse) für Gesamt- und Teilanlagen
  - Rohrleitungsisometrien
  - Rohrleitungsstücklisten
  - Armaturenlisten, ggf. extra Liste der Rückschlagklappen/-ventile
  - Listen der Rohrleitungshalterungen (ggf. getrennt nach Art der Halterung)
  - Listen der Rohrleitungssonderteile, ggf. extra Stechscheibenliste bzw. -plan
  - Rohrleitungssonderteil-Zeichnungen
  - Listen der Druckentlastungseinrichtungen
  - Datenblätter für Sicherheitsventile und Berstscheiben
  - Liste der Kondensatableiter
  - ggf. Listen elektrisch beheizter Rohrleitungen
  - ggf. Zeichnungen/Liste der Warmwasser-/Dampfbegleitheizungen
  - Ausführungsdocumente für Beschichtung, Dämmung, Isolierung
  - Ergebnisse der Druckverlustberechnungen von Rohrleitungen/Rohrleitungssystemen
  - Ergebnisse der Stressberechnungen
  - ggf. Ergebnisse der Gefährdungsabschätzungen nach VAWS für Rohrleitungen mit Stoffen der Wassergefährdungsklassen 2 und 3
  - ggf. Dichtheitsnachweise für Flansche und/oder Armaturen nach TA-Luft
  - ggf. Ergebnisse der Schwingungsanalyse/-studie
  - Beschilderungslisten für Rohrleitungen und Armaturen
  - Einbindepunktlisten (Tie-in-List)
- 

## 7.2.6 Ausführungsplanung Prozessleittechnik (PLT)

Die nachfolgenden Ausführungen schließen an die Aussagen zur PLT-Entwurfsplanung in Abschn. 4.2.6 an. Insbesondere sei zum besseren Verständnis auf die Strukturierung der PLT-Dokumentarten in Abb. 4.33 sowie den PLT-Workflow in Abb. 4.35 des Abschnitts 4.2.6 verwiesen.

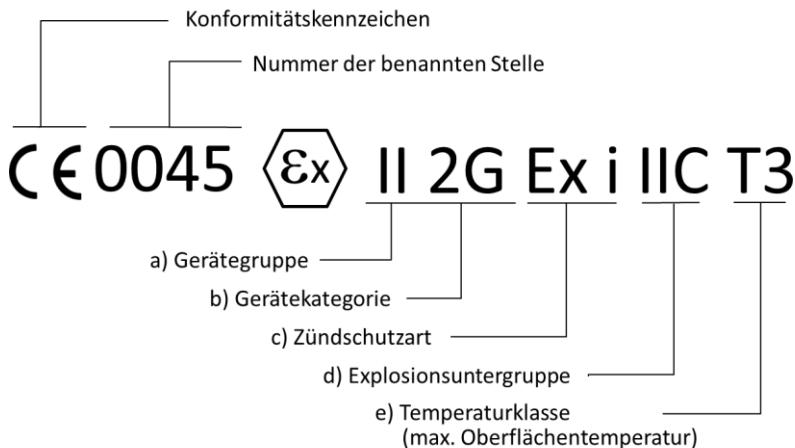
Zahlreiche PLT-Dokumente (z.B. PLT-Listen, PLT-Stellendatenblätter, EMSR-Stellenpläne, Übersichtsschaltpläne, Anordnungsdokumente, Gerätespezifikationen) werden bereits während des Basic Engineerings angelegt und danach im Detail Engineering inhaltlich ergänzt bzw. zeichnerisch präzisiert. Trotzdem ist der verbleibende Arbeitsumfang der PLT-Ausführungsplanung noch erheblich.

In der Kalkulation mehrerer großer Engineeringunternehmen macht die PLT-Ausführungsplanung bis zu 50 % des gesamten Zeitumfangs für das Engineering der Prozessleitechnik in den Projektphasen 1 bis 9 aus.

Nachfolgend sind die wichtigsten PLT-Aufgaben während des Detail Engineering aufgeführt und erläutert, bestehend aus den Teildisziplinen

***Mess-, Steuer-, Regelungstechnik (MSR), Prozessleitsystem (PLS), Elektrotechnik (ET) , Nachrichtentechnik (NAT), Prozessanalysentechnik (PAT) und Laboranalysentechnik (LAT),***

- 1) Mitwirken bei der detaillierten *Darstellung der PCE-Funktionalität* (**Prozess Control Engineering**) bzw. PLT-Komponenten in den *R&I-Fließschemata* und zugehörigen Beschreibungen (s. auch Abschn. 4.2.1.1).
  - Die Mitwirkungsleistungen betreffen u.a.:
    - vollständige grafische Darstellung der Symbole für Sensoren, Aktoren, Probenahmestellen, Motoren u.ä. und deren Benennung/Kennzeichnung,
    - Darstellung des Verhaltens von fernbetätigten Absperr- und Regelarmaturen bei Spannungs- und/oder Steuerluftausfall,
    - vollständige Darstellung der Regelkreise, Steuerungen, inkl. wichtiger Signallinien, ggf. auch der Wandler/Transmitter und der 3-Wegeventile für Instrumentenluft,
    - ggf. Darstellung der PCE-Kreise im R&I bzw. ergänzend in Regelschemata (s. Abschn. 4.2.1.1),
    - Mitwirken an den zugehörigen Verfahrens- und Anlagenbeschreibungen.
- 2) PLT-Geräte im Detail nach *Bauart, Gerätetyp* und ggf. Hersteller/Lieferant auswählen.
  - Der Investor möchte aus wirtschaftlichen Gründen (Ersatzteilhaltung, Befähigung des Servicepersonals) die Gerätevielfalt minimieren. Er stellt aus diesen Gründen, die von ihm gewünschten Gerätetypen inkl. Hersteller/Lieferant in sog. *Gerätespezifikationen* zusammen. Diese Vorgaben sind Bestandteil der Technischen Spezifikationen im Lasten- und Pflichtenheft und für den Engineeringpartner verbindlich.
  - Nicht selten erfolgte die prinzipielle Geräteauswahl (Bauart, Gerätetyp, Hersteller/Lieferant) bereits im „Basic“ und wurde in angelegten/eröffneten Gerätelisten dokumentiert (s. Abschn. 4.2.6, Punkt 6)). In diesen Fällen ist eine Überprüfung und Ergänzung der Gerätedaten notwendig
- 3) Einstufung und detaillierte Spezifikation der *PLT-Geräte*, die in *explosionsgefährdeten Bereichen* zum Einsatz kommen.
  - Ausgehend vom R&I, den 3D-Anlagenmodell, den Aufstellungsplänen und dem Explosionsschutzdokument inkl. Gefahrenzonenplänen ist für jedes PLT-Gerät zu identifizieren, ob das betroffene PLT-Gerät für einen Einsatz in einem Ex-Bereich vorgesehen ist.
  - Wenn ja, ist das PLT-Gerät nach ATEX-Herstellerrichtlinie [8] einzustufen. Die Ergebnisse dieser Einstufung veranschaulicht das ATEX-Kennzeichen in Abb. 7.29.



**Abb. 7.29** Kennzeichen eines elektrischen Geräts nach ATEX-Herstellerrichtlinie [8]

Im Weiteren werden die Symbole rechts vom Explosionsschutzkennzeichen näher erläutert:

#### a) Gerätgruppe

Die elektrischen Betriebsmittel werden in Abhängigkeit vom Einsatzort und den damit verbundenen verschiedenen Ex-Gemischen in zwei Gruppen eingeteilt:

**Gruppe I:** Geräte zur Verwendung in Untertagebetrieben von Bergwerken sowie deren Übertageanlagen, die durch Grubengas und/oder brennbare Stäube gefährdet werden können.

**Gruppe II:** Geräte zur Verwendung in den übrigen Bereichen, die durch eine explosionsfähige Atmosphäre gefährdet werden können.

#### b) Gerätekategorie

In Abhängigkeit vom Maß an Sicherheit, welches das Gerät in einer explosionsfähigen Atmosphäre gewährleistet, werden die Geräte der Gruppe II nochmals in die Gerätekategorien 1 bis 3 unterteilt. Die Ausführung dazu sind in Abschn. 2.3.1.2, Buchst. c) enthalten.

Ergänzend zur Gerätekategorie wird mittels eines Buchstabens das Medium charakterisiert. Dazu steht bezüglich dieser Buchstaben in der ATEX-Herstellerrichtlinie, Anhang II, Abs. 1.0.5 (Kennzeichnung):

Auf jedem Gerät und Schutzsystem müssen deutlich und dauerhaft die folgenden Mindestangaben angebracht werden:

- für die Gerätgruppe II der Buchstabe „G“ (für Bereiche, in denen explosionsfähige Gas-, Dampf-, Nebel-, Luft-Gemische vorhanden sind)  
und/oder
- der Buchstabe „D“ (für Bereiche, in denen Staub explosionsfähige Atmosphären bilden kann).

Die Angaben „**2G**“ im Kennzeichen auf Abb. 7.29 sagt somit, das Gerät hat die Kategorie 2 (hohes Maß an Sicherheit; auch beim Auftreten von Gerätestörungen) und wird in Ex-Bereichen mit Gas/Luft-, Dampf/Luft- oder Nebel/Luftgemischen eingesetzt.

### c) Zündschutzart

Die Entzündung eines explosionsfähigen Gemischs durch Geräte kann durch verschiedene Zündschutzarten verhindert werden.

In explosionsgefährdeten Bereichen dürfen nur explosionsgeschützte Geräte eingesetzt werden. Dies kann durch verschiedene Zündschutzarten erreicht werden.

Die möglichen Zündschutzarten nicht-elektrischer Geräte (Maschinen) wurden bereits in Abschn. 7.2.2, Tabelle 7.5 angegeben.

Tabelle 7.12 zeigt die analogen Angaben für elektrische Geräte (Betriebsmittel). Die Angaben „Ex i“ im Kennzeichen auf Abb. 7.29 bedeutet somit, dass das Gerät *eigensicher* ist.

In [33] sind auch Zündschutzarten für Kupfer-Feldbussysteme und Lichtwellenleiter-Feldbussysteme angeführt.

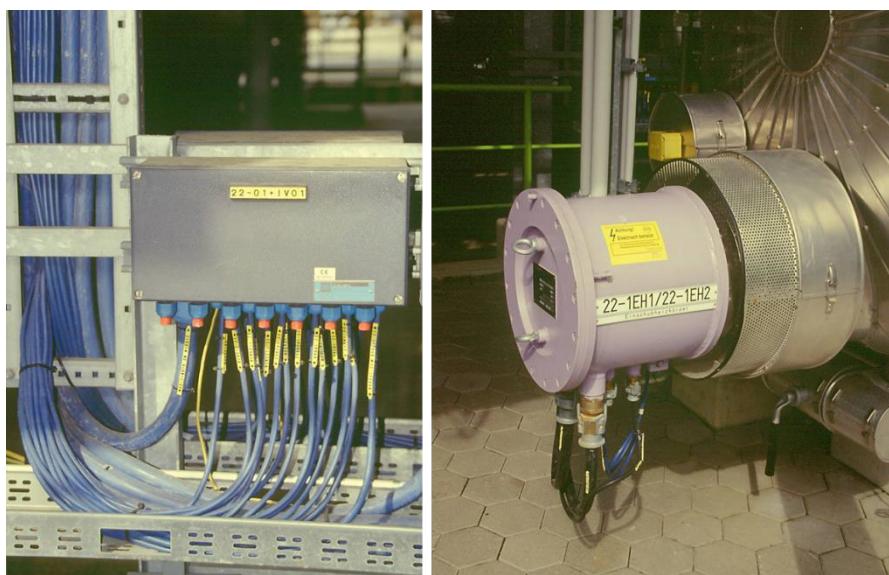
**Tabelle 7.12** Zündschutzarten für elektrische Geräte/Betriebsmittel in explosionsgefährdeten Bereichen mit Gasen, Dämpfen oder Nebeln [33]

Zündschutzart	Zeichen	Beschreibung
Druckfeste Kapselung	Ex d	Explosionsfähige Gemische können in das Betriebsmittel eindringen und gezündet werden. Der Gehäuse hält den Explosionsdruck aus. Die Übertragung der Explosion auf den umgebenden Raum wird ausgeschlossen.
Überdruck-kapselung	Ex p	Das Innere eines Gehäuses, in dem sich die Zündquelle befindet, wird mit einem Zündschutzgas mit Überdruck beaufschlagt, sodass sich keine explosionsfähige Atmosphäre bilden kann
Sand-kapselung	Ex q	Durch Füllen des Gehäuses eines elektrischen Betriebsmittels mit einem feinkörnigen Füllgut wird erreicht, dass eine Zündung im Inneren sich nicht auf die äußere, explosionsfähige Atmosphäre überträgt. Durch Flammen oder erhöhte Gehäusetemperaturen darf keine Zündung erfolgen.
Ölkapselung	Ex o	Elektrische Betriebsmittel oder Teile davon sind in eine Schutzflüssigkeit (Öl) eingetaucht, die die Zündung nach Außen verhindert.
Erhöhte Sicherheit	Ex e	Durch zusätzliche Maßnahmen wird das Auftreten unzulässig hoher Temperaturen und das Entstehen von Funken und Lichtbögen, die im Normalbetrieb nicht auftreten, auch in möglichen Sonderfällen verhindert.
Eigensicherheit	Ex i	Die im explosionsgefährdeten Bereich eingesetzten Betriebsmittel enthalten nur eigensichere Stromkreise.

**Tab. 7.12 (Fortsetzung)**

Nicht zündfähig	Ex n	Das elektrische Betriebsmittel ist nicht in der Lage, eine umgebende explosionsfähige Atmosphäre zu zünden.
Vergusskapselung	Ex m	Teile, die eine explosionsfähige Atmosphäre zünden können, werden so von Vergussmasse umschlossen, dass die explosionsfähige Atmosphäre nicht gezündet werden kann.

Für Geräte der Mess-, Steuer-, Regelungstechnik und des Prozessleitsystems kommt häufig die Zündschutzart „Eigensicherheit (Zeichen Ex i)“ und für Geräte der Elektrotechnik die Zündschutzart „Druckfeste Kapselung (Zeichen: Ex d)“ zur Anwendung (s. Beispiele in Abb. 7.30).



**Abb. 7.30 links:** Unterverteiler für MSR-Feldgeräte (4 bis 20 mA) im Ex-Bereich mit der Zündschutzart „Eigensicherheit“

**rechts:** Klemmenkasten für Anschluss eines elektrischen Heizkörpers (380 V, 50 kW) im Ex-Bereich mit der Zündschutzart „Druckfeste Kapselung“ (Dimensionierung des Klemmenkasten für Explosionsdruck von 10 bar)

Für elektrische Betriebsmittel in Bereichen mit brennbarem Staub (sog. Staub-Ex-Bereiche) sind die Zündschutzarten in Tabelle 7.13 zusammengestellt [33].

#### **d) Explosionsuntergruppe und Mindestzündenergie (s. Abb. 7.29)**

Für die Charakterisierung eines explosionsfähigen Gemisches ist dessen Mindestzündenergie eine wichtige Stoffeigenschaft.

**Tabelle 7.13** Zündschutzarten für elektrische Geräte/Betriebsmittel in explosionsgefährdeten Bereichen mit Stäuben [34]

Zündschutzart	Zeichen	Beschreibung
Schutz durch Gehäuse	Ex tD	Durch das Gehäuse wird die Oberflächentemperatur begrenzt und der Staubeintritt ausreichend begrenzt.
Überdruckkapselung	Ex pD	Das Innere eines Gehäuses, in dem sich die Zündquelle befindet, wird mit einem Zündschutzgas mit Überdruck beaufschlagt, sodass sich keine explosionsfähige Atmosphäre bilden kann.
Eigensicherheit	Ex iD	Die im explosionsgefährdeten Bereich eingesetzten Betriebsmittel enthalten nur eigensichere Stromkreise.
Vergusskapselung	Ex mD	Teile, die eine explosionsfähige Atmosphäre zünden können, werden so von Vergussmasse umschlossen, dass die explosionsfähige Atmosphäre nicht gezündet werden kann.

Um diesen Parameter bei der Einstufung der PLT-Geräte näher zu charakterisieren, erfolgt eine Unterteilung der Gerätgruppe II in die Untergruppen:

UGr. **II A:** z. B. Azeton, Ammoniak, Benzin, Benzol, Diesel, Ethanol, Methan, Propan, Kohlenmonoxid

UGr. **II B:** z. B. Acetaldehyd, Ethylen, Schwefelwasserstoff

UGr. **II C:** z. B. Acetylen, Schwefelkohlenstoff, Wasserstoff

Die Angaben „IIC“ im Kennzeichen auf Abb. 7.29 kann beispielweise ein explosionsfähiges Wasserstoff-Luft-Gemisch bedeuten.

#### e) Temperaturklasse und Zündtemperatur (s. Abb. 7.29)

Die **Zündtemperatur** eines brennbaren Gases, Dampfes oder eines brennbaren Staubes ist die niedrigste Temperatur einer erhitzten Oberfläche, an der die Entzündung des Gas-Luft- bzw. Dampf-Luft-Gemisches eintritt.

Brennbare Gase und Dämpfe werden nach ihrer Entzündbarkeit in sechs Temperaturklassen unterteilt (s. Tab. 7.14).

**Tabelle 7.14** Temperaturklassen für Geräte in explosionsgefährdeten Bereichen

Temperaturklasse	maximal zulässige Oberflächentemperatur des Betriebsmittels [°C]	Zündtemperatur der brennbaren Gemische [°C]	Beispiele
<b>T1</b>	450	> 450	Kohlenmonoxid, Methan, Propan, Wasserstoff
<b>T2</b>	300	>300...≤ 450	Acetylen, Ethylen
<b>T3</b>	200	>200...≤ 300	Benzin, Diesel, Schwefelwasserstoff
<b>T4</b>	135	>135...≤ 200	Acetaldehyd, Diethylether
<b>T5</b>	100	>100...≤ 135	keine Stoffe
<b>T6</b>	85	> 85...≤ 100	nur Schwefelkohlenstoff

Die maximale Oberflächentemperatur eines elektrischen Betriebsmittels muss stets kleiner sein, als die Zündtemperatur des brennbaren Gemisches.

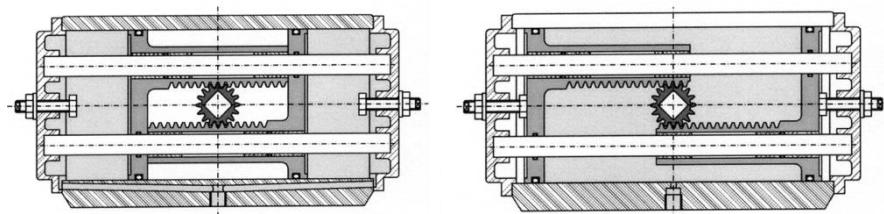
Die Angaben „T3“ im Kennzeichen auf Abb. 7.29 bedeutet eine maximal zulässige Oberflächentemperatur des Geräts von 200 °C.

4) Vervollständigen der *Gerätelisten* für die Gesamtanlage

- Die gemäß Punkt 2) und Punkt 3) dieses Abschnitts erarbeiteten Daten sind in die zugehörigen Gerätelisten, die im „Basic“ eröffnet wurden, einzutragen (s. Kopfzeile einer Geräteliste in Tab. 4.27, Abschn. 4.2.6, Punkt 6)).
- Die Gerätelisten mit dem Bearbeitungsstaus: AFC – Approved for Construction sind später eine wesentliche Basis für die Kontrolle und den Nachweis, dass die Geräte „wie geplant“ bzw. „wie spezifiziert“ geliefert, montiert und vor Ort gekennzeichnet wurden.

5) *Regelarmaturen* auslegen und zugehörige Datenblätter anlegen.

- Regelarmaturen werden als Hub-Stellventile, Dreh-Stellklappen, Dreh-Kegelventile und Dreh-Kugelventile ausgeführt [35].
- Bei Klappen oder Kugelventilen muss der Antrieb eine Drehbewegung der Spindel ausführen. Dies erfolgt im Normalfall mittels eines Doppelkolben-Schwenkantriebs (sog. Schwenkkolbenantrieb); analog wie er für Absperrklappen bzw. Absperrkugelhähne genutzt wird.
- Abb. 7.31 zeigt Aufbau und Funktion eines Doppelkolben-Schwenkantriebs (Schwenkkolbenantrieb). Kenngröße für die Dreh-Armaturen ist der Drehwinkel.

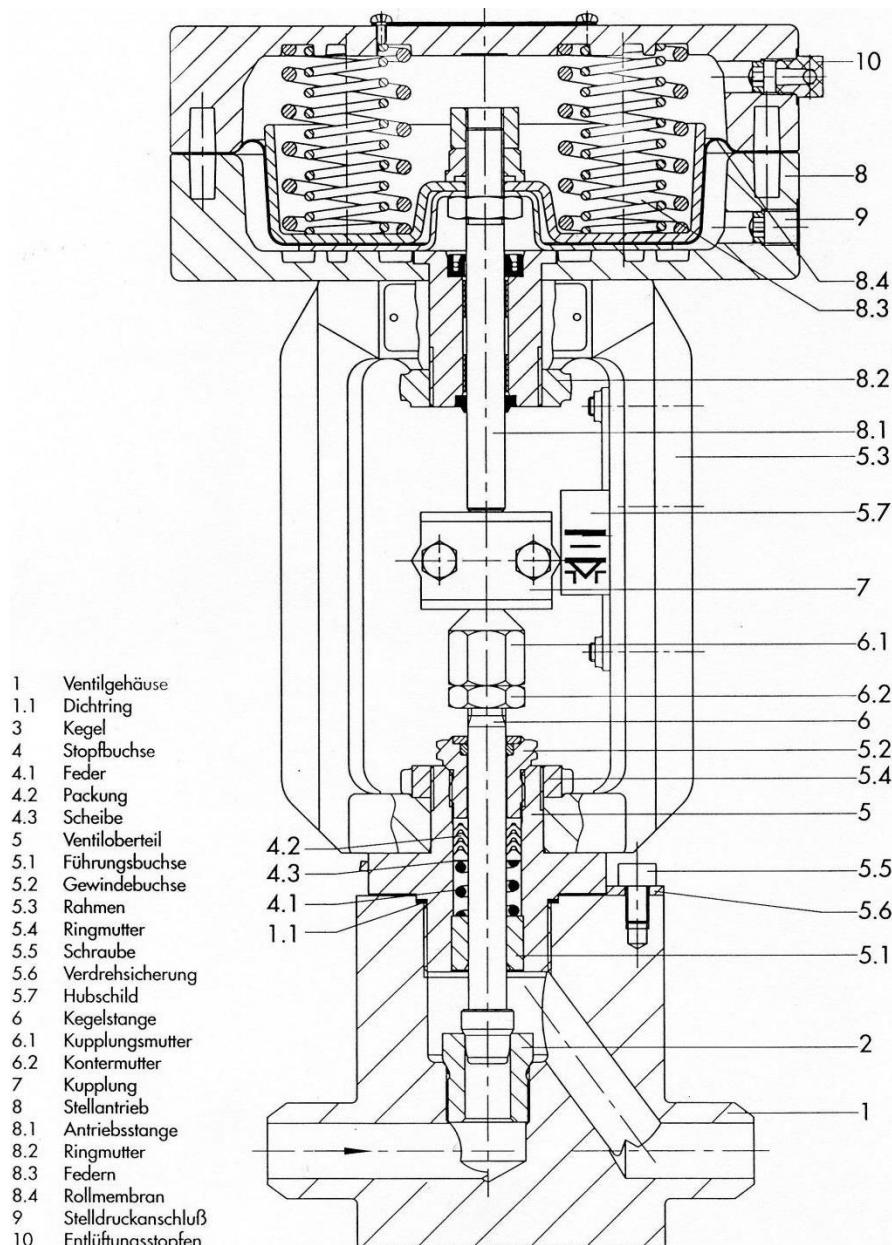


**Abb. 7.31** Doppelkolben-Schwenkantrieb

links: Steuerluftanschluss an Außenkammer drückt beide Kolben nach innen und dreht die Spindel im Uhrzeigersinn

rechts: Steuerluftanschluss an Innenkammer drückt beide Kolben nach außen und dreht die Spindel entgegen dem Uhrzeigersinn

- Die Schnittdarstellung eines Regelventils mit pneumatischem Membranantrieb ist in Abb. 7.32 dargestellt.
- Wichtige Bauteile für die prozesstechnische und sicherheitstechnische Funktion des Regelventils sind:
  - der Ventilsitz 2 und die Ventilspindel 6 mit dem Kegelsitz.  
Beide zusammen bewirken die Drosselwirkung und damit die Änderung des Druckverlusts und des Durchflusses am Regelventil und
  - der Membranantrieb mit dem Steuerluftanschluss 9.



**Abb. 7.32** Schnittdarstellung eines Regelventils mit Membranantrieb

- Der Ventilsitz 2 und der Kegelsitz auf der Ventilspindel 6 sind austauschbar. Stellt sich während des Anlagenbetriebs heraus, dass das Regelventil zu

groß ist und nicht optimal arbeitet, so kann im Ventilgehäuse 1 die sog. Sitz-Kegel-Garnitur gegen eine andere (z.B. kleinere bzw. mit anderer Kennlinie) ausgetauscht werden. Damit kann das Regelventil kostengünstig den aktuellen Betriebsbedingungen angepasst werden.

- In Abhängigkeit vom Steuerluftdruck, der über den Prozessregler eingestellt wird, bewegt sich die Membran gegen die Feder mehr oder weniger nach oben und öffnet das Regelventil.
- Bei Steuerluftausfall wirkt das Ventil federkraftschließend.
- Gleichtes würde passieren, wenn über eine sicherheitsgerichtete Steuerung, z. B. mit Hilfe eines elektrisch angesteuerten 3-Wege-Luftventils, die Steuerluft ins Freie geleitet wird (s. auch Beispiel 4.1 in Abschn. 4.2.1.1).
- Kenngröße für die Regelventile ist der Hub.
- Als Antrieb für die Hub-Ventile wird außer dem Membranantrieb der Motorantrieb genutzt.
- Weitere Bauteile, die in Verbindung mit Regelarmaturen zum Einsatz kommen, sind u.a.:

**▪ Stellungsregler**

Sind Regelgeräte, die eine gewünschte Stellung eines Stellgeräts gegenüber äußeren Einwirkungen (Reibung, Gegenkräfte) beibehalten/einstellen sollen.

**▪ Endlagenschalter**

Schalten einen Kontakt bei einer markierten Spindelstellung, z.B. um den geschlossenen oder geöffneten Ventilzustand zu signalisieren.

**▪ Magnetventile**

Sind elektrisch angesteuerte Steuerluftventile, die die Steuerluft vom Antrieb zu- oder wegschalten können.

**▪ Stellsignalumformer**

Wandelt den Stellweg (Hub oder Drehwinkel) in ein analoges oder digitales Signal zur weiteren Nutzung im Prozessleitsystem um.

- Grundlage für die Auslegung einer Regelarmatur ist der errechnete Druckverlust im betrachteten Rohrleitungssystem (s. Abschn. 7.2.5, Punkt 13)) und speziell in der Rohrleitung, in der die Regelarmatur eingebaut wird. Dabei wird der Druckverlust über die Regelarmatur nicht mit betrachtet.
- Aus der Differenz zwischen dem verfügbaren Differenzdruck (z.B. von der Druckseite der Pumpe bis zum Zielort) und dem errechneten Druckverlust kann ermittelt werden, welcher Druckverlust an der Regelarmatur in etwa verfügbar ist, um beispielsweise eine Durchsatzveränderung vorzunehmen.
- Der verfügbare Druckverlust an der Regelarmatur entscheidet auch wesentlich darüber, ob ein Regelventil mit einer linearen oder gleichprozentigen Kennlinie eingesetzt wird (s. Abb. 7.33).
- Wichtige Kenngröße jeder Regelarmatur ist der sog. **K<sub>v</sub>-Wert** oder **Durchflusskoeffizient** gemäß folgender Definition:

Der **Durchflusskoeffizient** oder  **$K_v$ -Wert** der Regelarmatur entspricht dem Wasserdurchfluss in  $\text{m}^3/\text{h}$  durch die Regelarmatur bei 5 bis 40 °C und bei einem Druckabfall über die Regelarmatur von 0,98 bar (=1 at).

Der den Nennhub  $h_{100}$  bzw. Nenndrehwinkel  $\phi_{100}$  zugeordnete Durchflusskoeffizient des Regelventils bzw. der Regelklappe wird als  **$K_{vs}$ -Wert** bezeichnet.

- Die Abhängigkeit des Durchflusskoeffizienten  $K_v$  vom Hub bzw. Drehwinkel bildet die Kennlinie der Regelarmatur.
- Bei der linearen Kennlinie ändert sich der Durchfluss linear mit dem Hub bzw. Drehwinkel; bei der gleichprozentigen Kennlinie gehören zu gleichen Hubänderungen gleiche prozentuale Änderungen des Durchflusses ( $K_v$ -Wertes) (s. Abb. 7.33).
- Beispielsweise entsprechen in der gleichprozentigen Kennlinie (rechts) ein Hub von 30 % einem  $K_v$ -Wert (Durchfluss) von 4 %  
Hub von 50 % einem  $K_v$ -Wert (Durchfluss) von 10 %  
Hub von 70 % einem  $K_v$ -Wert (Durchfluss) von 25 %

Somit entsprechen 20 Prozent Hubänderung immer den 2,5-fachen Wert (bzw. 250 Prozent) der Durchflussänderung.

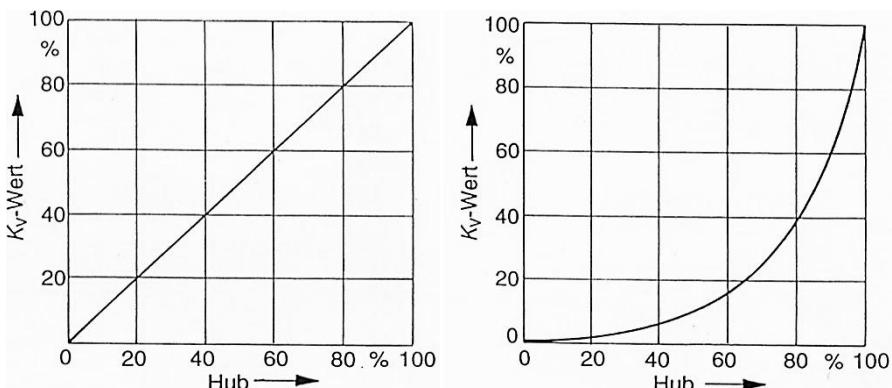


Abb. 7.33 Kennlinien von Regelventilen

links: lineare Kennlinie

rechts: gleichprozentige Kennlinie

- Bei gleicher Nennweite haben Regelklappen einen ca. dreimal größeren  $K_{vs}$ -Wert als Hub-Regelventile [36], d.h. bei gleichem Durchsatz haben die Klappen einen deutlich geringeren Druckverlust.
- In angloamerikanischen Ländern wird an Stelle des  $K_v$ -Werts der  $c_v$ -Wert verwendet, wobei gilt:  $c_v = 1,17 K_v$ .
- Der Verlauf der Kennlinie eines Regelventils wird über die geometrische Form der Sitz-Kegel-Garnitur beeinflusst. Welche Kennlinie die günstigste ist, hängt u.a. ab:
  - von den hydraulischen Verhältnissen im Rohrleitungssystem,
  - vom verfügbaren Druckverlust über dem Regelventil,
  - von der Wirkung der Störgröße auf die Regelgröße.

- Nachfolgend sind einige Einsatzfälle diskutiert:

- Bsp. 1: Steht über dem Regelventil ein signifikanter Druckverlust zur Verfügung (im Beispiel in Abb. 7.34: 1,5 bar Druckabfall bei 3 bar Vordruck) so ist die lineare Kennlinie vorteilhaft.
- Bsp. 2: Steht für das Regelventil wenig Druckverlust zur Verfügung, so muss das Regelventil möglichst weit geöffnet arbeiten. In diesen Fall ist ein gleichprozentiges Ventil besser, da es bei großen Öffnungsgrad empfindlicher den Durchsatz verändert.
- Bsp. 3: Sind kleine Durchflussvolumina zu regeln, so ist das gleichprozentige besser, da für die Regelung ein größerer Hubbereich zur Verfügung steht.
- Bsp. 4: Wirkt die Störgröße linear auf die Regelgröße, so ist ein lineares Regelventil vorteilhaft.
- Bsp. 5: Ist die Änderung der Regelgröße der prozentualen Änderung der Störgröße proportional, so ist ein gleichprozentiges Regelventil günstiger.
- Bei der Auslegung der Regelarmatur werden ausgehend von den Prozessdaten die Bauart und die Kennliniencharakteristik ausgewählt sowie der  $K_v$ -Wert berechnet. Die Ergebnisse werden ins Regelventil-Datenblatt eingetragen (s. Abb. 7.34).
  - Während der Erstinbetriebnahme der Anlage erweisen sich nicht selten die berechneten  $K_{vs}$ -Werte einiger Stellventile als zu groß, da zum Zeitpunkt ihrer Bestellung der zur Auslegung benötigte Druckverlust über die Regelstrecke nur überschlägig bekannt war. Man bestellt zu diesem Zeitpunkt dann sicherheitshalber ein größeres Regelventil, im Wissen, dass seine Kennlinie vor Ort relativ einfach (durch Austausch der Sitz-Kegel-Garnitur) an die Anlage angepasst werden kann.
  - Im anfänglichen Anlagenbetrieb arbeiten die zu großen Stellventile in einem nahezu geschlossenen Zustand und nicht im günstigen Kennlinienbereich bei ca. 10 bis 30 % Öffnungsgrad.
  - Zur Lösung des Problems ist gemäß dem optimalen  $K_{vs}$ -Wert eine neue Sitz-Kegel-Garnitur zu bestellen und während der nächsten Abstellung gegen die alte auszuwechseln (s. auch Konstruktion in Abb. 7.32).
  - Mitunter kann es auch zweckmäßig sein, eine Sitz-Kegel-Garnitur mit einer linearen Kennlinie gegen ein Garnitur mit gleichprozentiger Kennlinie auszutauschen oder umgekehrt (s. vorgenannte Einsatzfälle und Abb. 7.33).
- 6) *PLT-Stellendatenblätter* überprüfen und ggf. ergänzen.
- Die bisherigen PLT-Stellendatenblätter (Ende Basic Engineering) sind entsprechend dem aktuellen Projektstand zu überprüfen und ggf. anzupassen. Ferner sind die Ergebnisse der vorherigen Punkte 1) bis 5) in alle PLT-Stellendatenblätter einzupflegen.
  - Das praktische Beispiel eines vollständigen PLT-Stellendatenblatts für das Regelventil einer Behälter-Standreglung ist in Abb. 7.34 dargestellt.

1	Geräte Nr.	Tag Nr.	Repéré	<b>22-1LV 23</b>				1		
2	Anzahl	Number	Nombre	1				0		
3	Ventil	Valve	Vanne					Rev.		
4	Typ	Model	Modèle	Typ 241 S				2		
5	Bauart	Design	Construction	Einsitzregelventil				0		
6	Montageort	Location	Emplacement	vor 22-1E1 / Standregelventil Entgasungskolonne				2		
8	Nennweite	Size	Grandeur	DN25				0		
9	Sitz	Port	Siège	metallisch dichtend				2		
10	Kennlinie	Caract.curve	Ligne caract.	gleichproz.				2		
11	Kvs-Ventil	Kvs-Valve	Kvs-Vanne	1,6				2		
12	Hub			15 mm				2		
13	Mat. Körper	Mat.-Body	Mat.-Corps	1.4462				0		
14	Mat. Innent.	-Intervalle	-Pièces int.	Hastelloy C4				2		
15	Anschlüsse	Connections	Raccordments	Flansch DN25 / PN40				0		
16	Stopfbuchse			PTFE-Kohle-compound, federbelastet				2		
17	Antrieb	Actuator	Servo- Moteur	pneum. Stellantrieb Typ 3277				2		
18	Signal	Signal	Echelle	Stelldruckbereich 0...1 bar				2		
19	Funk, Luftaus.	Act.on Air fail	Act.p.man.d'air	zu				0		
20	Schließdruck	Shut off press	Press. de ferme	Federkraft: Antriebsstange ausfahrend				2		
21	Membranfläche			240 cm <sup>2</sup> , Membran NBR				2		
22	Zubehör	Optionals	Accessories					Rev.		
23	Halsverläng.	Bonnet	Chapeau spec.							
24	Balgdichtung	Bellows Seal	Soufflet							
25	Auskleidung	Liner	Revêtement							
26	Wirkrichtung			steigend / steigend				2		
28	stellungsregler	Positioner	Positioneur	H&B				2		
29	Ausführung	Spezification	Exécution	V18341-A51138211				2		
30	Speisung	Supply	Alimentation	PLS 2-Leiter / Trenner				0		
31	Eingangsignal	Input signal	Signal d'entrée	4...20 mA				0		
32	Ex-Schutz	Ex-Protection	Ex-Protection	EEx ia IIC T6				0		
33	Endschalter	Limitswitch	Cond.de fin dec.	22-1LGGO43	P&F für Auf u. Zu im STR			1		
34				Initiatoren /Trenner/ PLS				1		
35	Magnetventil	Solenoid valve	Vanne magnet.	22-1LYV23	Herion 2401168.3976.024			2		
36				in Zuluftleitung f. Schutz Zu				0		
37	Ex-Schutz	Ex-Protection	Ex-Protection	EEEx				0		
38	Zulufstation			Typ 708-12, Sollwertbereich 0,5 - 6 bar				2		
39	Prozessdaten	Proces Data	Données Tech.	min.	norm.	max.		Rev.		
40	Menge	Flowrate	Débit	150 l/h		1300 l/h		2		
41	Temperatur	Temperature	Température	35°C		35 °C		2		
42	Vordruck	Upstream press.	Pression amont	3 bar		3 bar		2		
43	Nachdruck	Downstr. press.	Pression aval	1,5 bar		1,5 bar		2		
44	Druckabfall	Pressuredrop	Perte de charge	1,5 bar		1,5 bar		2		
45	Kv berechnet	Calculated Kv	Calculé Kv	0,142		1,06		2		
47	Medium	Fluid	Fluide	Wasser				0		
48	Spez. Gew.	Spec. gravity	Densité	992 kg/m <sup>3</sup>				2		
49	Viskosität	Viscosity	Viscosité	0,725 mm <sup>2</sup> /s				2		
51	Lieferant	Contractor	Fournisseur							
52	Kunde	Customer	Client							
A				<b>PLT-Stellenblatt Regelventil</b>		Rev.	Datum	Erst.	Gepr.	Freig.
B										
C										
D										

Abb. 7.34 PLT-Stellenblatt eines Regelventils (Praxisbeispiel)

Generell sollte der Grundsatz gelten:

*Jede PLT-Stelle im „Feld“, egal ob Sensor oder Aktor und egal zu welcher Teildisziplin gehörig, erhält ein eigenes PLT-Stellendatenblatt.*

7) *PLT-Stellenlisten, Messstellenlisten sowie Alarm- und Grenzwertlisten* überprüfen und ggf. ergänzen.

- Die PLT-Stellenliste (Synonym: PLT-Stellenverzeichnis) ist eine ganzheitliche Zusammenstellung der Stammdaten aller PLT-Stellen der Anlage, egal welcher Teildisziplin (EMSR, ET, NAT, PAT) sie zuzuordnen sind.
- Häufig werden die Stammdaten der MSR-Stellen, zugeordnet zu einem R&I oder Teilanlage, nochmals extra in sog. *Messstellenlisten* angegeben.

Diese Listen, die auch die Akteure (Regel-/Absperrarmaturen enthalten, bilden zugleich die strukturelle Grundlage für die wichtigen Alarm- und Grenzwertlisten.

Die Kopfzeile einer Messstellenliste ist in Tabelle 4.26, Abschn. 4.2.6, Punkt 5) angeführt

- Die *Alarm- und Grenzwertliste* (Synonym: Alarm-/Verriegelungsliste, Set-Point-List) enthält nur die MSR-Stellen mit Überwachungsfunktion (Alarm) und mit sicherheitsrelevanter Schutzfunktion (Grenz-/Schaltwert).

Sie sind eine wichtige Grundlage für die *Ursache-Wirkung-Listen* sowie für die Programmierung *sicherheitsrelevanter Steuerungen*.

- Die angeführten Listen wurden bereits im „Basic“ angelegt (s. Abschn. 4.2.6, Punkte 4) und 5)) und sind im „Detail“ zu komplettieren.

8) *Motordatendatenblätter* sowie *Motorlisten* überprüfen und ggf. ergänzen.

- Die Stammdaten der Motoren werden i. Allg. nicht in den PLT-Stellen-datenblättern bzw. -listen, sondern in separaten Motorendatenblättern und Motorenlisten zusammengefasst (s. auch Abschn. 4.2.6, Punkt 13)).

9) *Übersichtsschaltpläne* überprüfen und ggf. ergänzen.

Ein **Übersichtsschaltplan** ist die vereinfachte (meist einpolige) Darstellung einer Schaltung, wobei nur die wesentlichen Teile (Hauptstromkreise) berücksichtigt werden. Er zeigt die Arbeitsweise und Gliederung einer elektrischen Einrichtung bzw. eines Systems und enthält Informationen über die Stromart, Spannung, Frequenz und Anschlussleistung.

- Übersichtsschaltpläne gibt es u.a. zur Darstellung der Struktur und Schaltung (Signalverlauf und/oder Spannungsversorgung)
  - des gesamten PLT-Systems entsprechend seiner Leitebenenstruktur,
  - des eigentlichen Prozessleitsystems (im engeren Sinne),
  - von Speicherprogrammierbaren Steuerungen,
  - für die Spannungsversorgung der Elektro-Verbraucher; zweckmäßig getrennt für die einzelnen Spannungsebenen.
- Alle diese Pläne wurden als Entwurf bereits im „Basic“ erarbeitet (s. Abschn. 4.2.6, Punkte 11) und 14)) und sind im „Detail“ zu überprüfen und gegebenenfalls zu präzisieren.

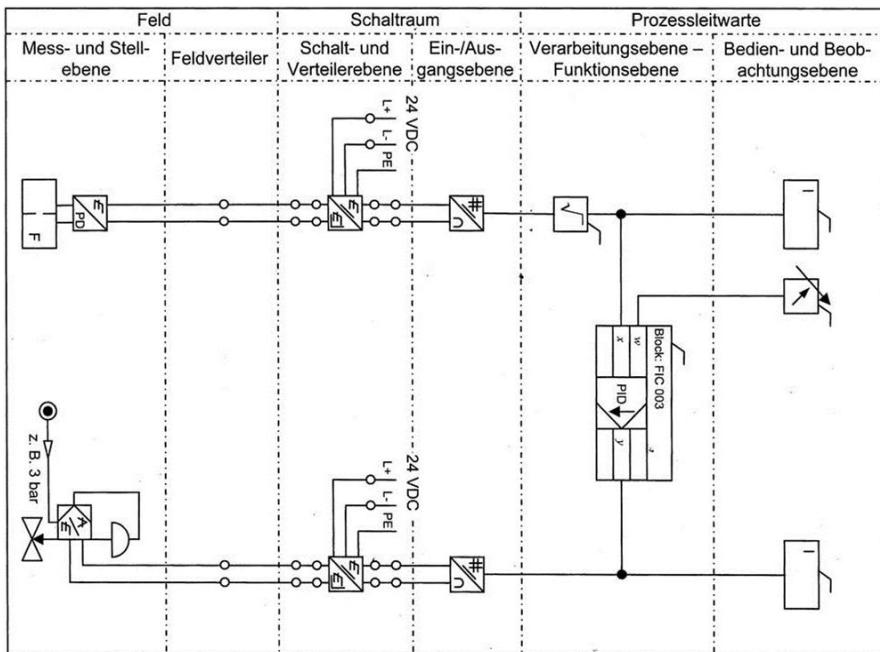
10) *PLT-Stellenstromlaufpläne* bzw. *Fein-MSR-Stellenpläne* (Synonym: *PLT-Loop*) überprüfen und im Detail überarbeiten

Ein **Stromlaufplan** (Synonym: *Loop-Plan*) ist die ausführliche Darstellung einer Schaltung mit ihren Einzelheiten. Er zeigt und erläutert durch übersichtliche Darstellung der einzelnen Stromwege die Wirkungsweise einer elektrischen Schaltung.

An Grundinformationen werden dargestellt:

- die Schaltung, z. B. die Lösung eines technologischen Problems durch das sinnvolle Zusammenwirken elektrischer Betriebsmittel, dargestellt mit Hilfe von Schaltzeichen,
- Kennzeichnung der Betriebsmittel inkl. der Anschlussbezeichnungen,
- Erläuterungen zu Stromkreisen und Stromwegen.

- Die Stromlaufpläne der MSR-Technik werden auch als *Fein-EMSR-Stellenpläne* bezeichnet [37]. Abb. 7.35 zeigt ein Beispiel, in welchem jede PLT-Stelle vom Feld bis in die Warte und umgekehrt über eigene, durchgängige Leitungen verfügt.
- Für die Stromversorgung der MSR-Feldgeräte gibt es diese klassischen EMSR-Stellenpläne mit Parallelverdrahtung noch vorrangig für die Signalübertragung von sicherheitsrelevanten PLT-Stellen; sog. PLT-Schutzeinrichtungen (s. Abschn. 3.3.4, Punkte 1) und 3) bzw. Abschn. 4.2.6, Punkt 3)). In vielen anderen Praxisfällen ist ein Feldbus dazwischen geschaltet.



**Abb. 7.35** Fein-EMSR-Stellenplan der elektrischen Durchflussregelung FIC 003 (Anzeige und Regelung softwareseitig realisiert) [37]

- In der Elektrotechnik sind der Begriff *Stromlaufplan* (statt: Stellenplan) und die Parallelverdrahtung gebräuchlich. Der Stromlaufplan eines Motors mit Frequenzumrichter ist in Abb. 7.36 dargestellt.

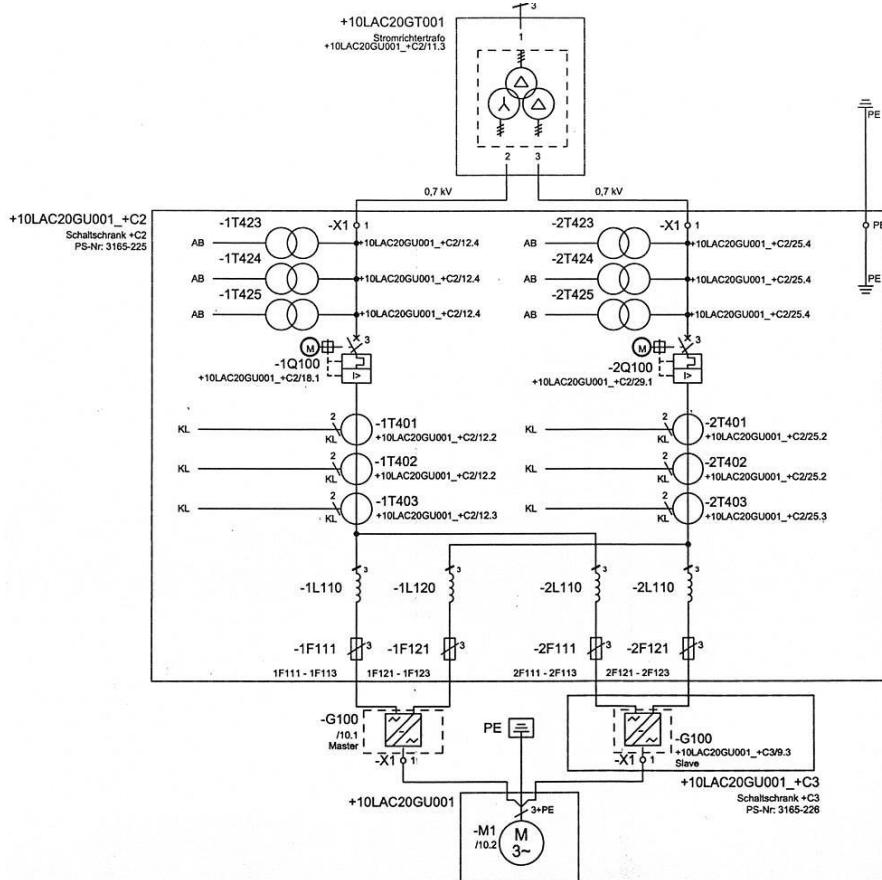


Abb. 7.36 Stromlaufplan eines Motors mit Frequenzumrichter (FU)

### 11) Bus-Signallogikpläne und Bus-Signalaustauschlisten erarbeiten.

- In vielen Projekten wird zur Übertragung der MSR-Signale vom Feld in die Warte und zurück eine serielle Signalübertragung mittels Feldbus genutzt (s. auch Abschn. 3.3.4, Punkt 3)), sodass die Gesamt-Stromlaufpläne bzw. MSR-Stellenpläne den Bus einschließen.
- Üblich sind bei Feldbus-Signalübertragung zunächst Stromlaufpläne vom Feldgerät bis zum Remote I/O-Gerät (Umsetzer) und für die anschließende Bus-Signal-übertragung sog. *Bus-Signallogikpläne* (s. Abb. 7.37) und *Bus-Signalaustauschlisten*. Bei der umgekehrten Signalübertragung von der Warte ins Feld wird analog verfahren.

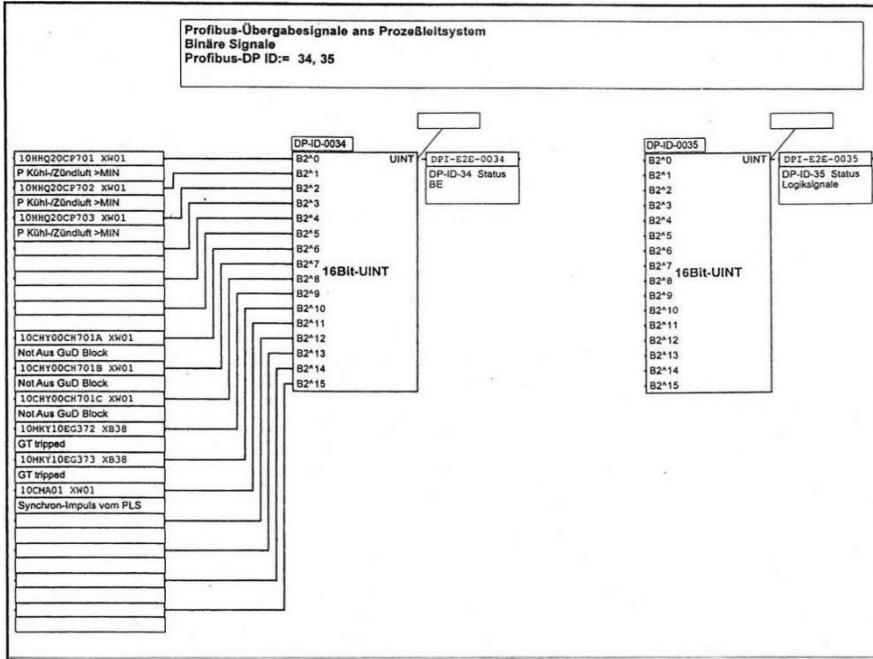


Abb. 7.37 Logikplan für den Bus-Signaltausch (Praxisbeispiel)

- Die Bus-Signaltauschlisten beinhalten insbesondere die notwendigen Signaldaten (Codierung, Verschlüsselung u.a.) der einzelnen digitalen Signale, die für die eindeutige Zuordnung und Charakterisierung der in der Warte ankommenden bzw. abgehenden Signale notwendig sind.
- Für die späteren Loop-Checks vor Inbetriebnahme sind sowohl die Stromlaufpläne (MSR-Stellenpläne) als auch die Bus-Signallogikpläne und Bus-Signaltauschlisten die Arbeitsgrundlage.
- Die Bus-Signaltauschlisten bzw. Logikpläne werden in Verbindung mit der Programmierung der Leitsystem-Software erarbeitet.

12) *PLT-Montagezeichnungen* inkl. Stücklisten (Montageanordnungen, Hook-up) erarbeiten.

- Für die elektrische und z. T. auch für die mechanische Installation von Sensoren und Aktoren werden sog. Hook-up's erstellt (s. Abb. 7.38). Sie bestehen aus Skizzen, einer zugehörigen Stückliste und ergänzenden Hinweisen. Man spricht mitunter auch von ET- bzw. PLT-Montagetypes oder Montageanordnungen.
- Die PLT-Montagezeichnungen sind u.a. eine wichtige Basis für
- die Anfrage und Vergabe der EMSR-Montageleistungen sowie die Spezifikation und Beschaffung des Montagematerials,
  - die planungsgerechte Ausführung der EMSR-Montage durch Fremdfirmen und die notwendige Montagekontrolle,

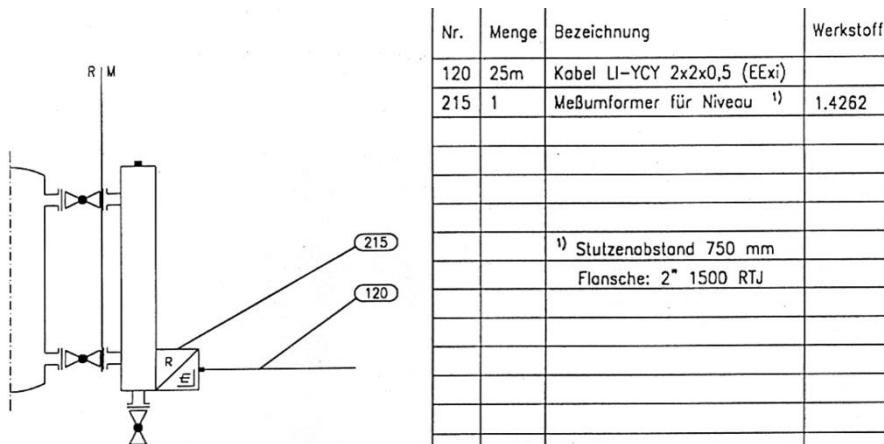


Abb. 7.38 Montagezeichnung einer Standmessung mit analoger Anzeige (Praxisbeispiel)

- die effiziente Schnittstellengestaltung zwischen der Ausführungsplanung der Rohrleitungen und EMSR-Feldgeräte. Die beiden Praxisbeispiele in Abb. 7.39 zeigen die möglichen Unterschiede und ggf. die Probleme.
- Die angeführten Dokumentarten werden ausschließlich im Detail Engineering erarbeitet und machen einen erheblichen Bestandteil der PLT-Ausführungsdocumentation aus.

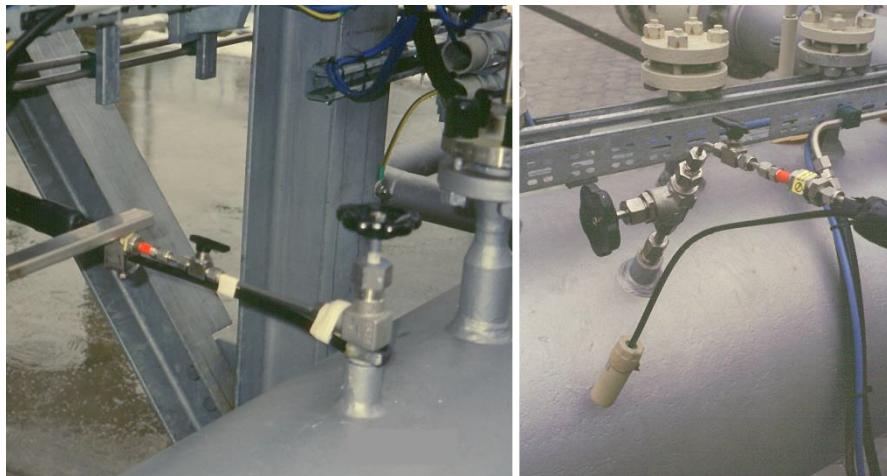
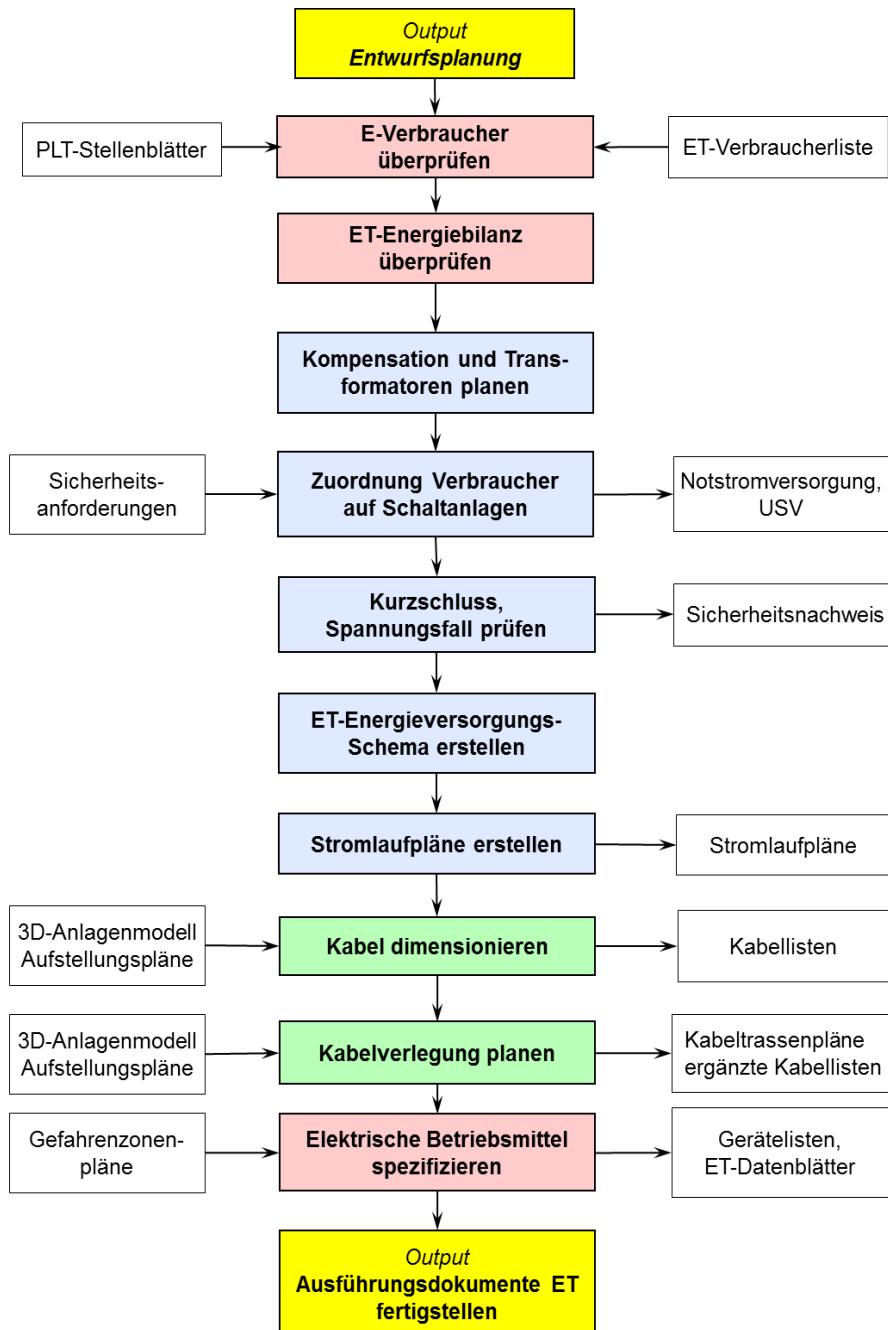


Abb. 7.39 Beispiele zur Messstutzen-/Messleitungsausführung in Rohrleitungen unter Erdgas bei ca. 50 bar

- links: Stabile, gehalzte Ausführung mit eingeschraubter Absperrarmatur in den Rohrleitungsstutzen
- rechts: Labile, störungsanfällige Ausführung mit zahlreichen Verschraubungen und ohne Halterung der Messleitung

- 13) *Funktionen der Steuerungen* und zugehörige Engineeringdokumente überprüfen und ggf. ergänzen oder neu erstellen.
  - Die Basic Engineering-Dokumente für sicherheits- und prozessrelevante Steuerungen (s. Abschn. 4.2.6, Punkt 10)), wie z.B. Funktionspläne, Ursache-Wirkungslisten, Grundfunktionsbeschreibungen, sind gemäß Projektfortschritt zu überprüfen und ggf. zu ergänzen.
  - Dies gilt auch für die Erfüllungskontrolle der Aktionspunkte aus der Risikobeurteilung (s. Abschn. 4.3.2).
- 14) *Leitfunktionen* des PLS (z. B. Ebenenmodell) inkl. PNK, SPS, ABK, Workstation usw. im Detail festlegen und hardwareseitig spezifizieren.
  - Die Ergebnisse des „Basic“ (s. Abschn. 4.2.6, Punkt 11)) sind zu prüfen und gegebenenfalls dem Projektfortschritt anzupassen.
  - Die benötigte Leitsystem-Hardware, wie z. B.
    - Prozessnahe Komponenten (PNK),
    - Anzeige- und Bedienkomponenten (ABK),
    - Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS),
    - Workstation, Server usw.sowie die Software-Komponenten sind zu spezifizieren und zu beschreiben.
- 15) *Leitsystemsoftware* konfigurieren und programmieren
  - Die Systemsoftware des Prozessleitsystems ist zu konfigurieren und zu programmieren.
  - Die PLT-Funktionen, insbesondere die sicherheits- und prozessrelevanten Steuerungen, sind im Prozessleitsystem zu programmieren.
  - Die meisten Software-Tools der Prozessleitsysteme gestatten die Programmierergebnisse der Steuerungen als Funktionspläne grafisch auszudrucken, sodass eine Qualitätskontrolle der Programmierung unterstützt wird.
- 16) *Ausführungsplanung der elektrotechnischen Anlagenteile*, inkl. Spannungsversorgung für alle elektrischen Verbraucher
  - Ergänzend zu den Ausführungen in Abschn. 4.2.6, Punkte 13) und 14) umfasst die Planung der elektrotechnischen Anlagenteile gemäß dem Ablaufschema in Abb. 7.40 u.a.:
    - Bedarfsanmeldungen für elektrische Leistung ausfüllen
    - Umrichter/Trafo-Anforderung erarbeiten
    - Übersichtsplan der Stromversorgung erstellen
    - Elektrotechnische Anlagenteile für verschiedene Spannungsnetze projektierten:
      - Verbraucherübersicht erstellen
      - Umrichter auslegen
      - Einspeisemodule zuordnen
      - Schubeinsätze zusammenstellen
      - Verteilung/Abgangsfelder auslegen
      - Abgangsfelder für 400/230V u.a. elektrotechnische Anlagen festlegen.



**Abb. 7.40** Übersicht zum Ablauf der elektrotechnischen Planung  
(Bem.: z.T. im Basic Engineering; s. Abschn. 4.2.6, Punkte 13) und 14))

- Darüber hinaus sind i.d.R. an ET-Planungsleistungen erforderlich:
  - Verbraucherabgangslisten erstellen
  - Verbraucherlageplan erstellen
  - Schrankbedarf ermitteln
  - Schrankanordnung festlegen
  - berechtigte Verbraucher auflisten
  - Reserve-Trafo abstimmen
  - Beleuchtungsmodule zusammenstellen
  - Aufteilung Normal-/Notlicht festlegen

- 17) *Ausführungsplanung der PLT-Ortswelt und PLT-Infrastruktur sowie Mitwirkung an 3D-Anlagenmodellierung und Detail-Aufstellungsplanung*
- Wichtige Dokumentarten der örtlichen bzw. lokalen PLT-Planung sind die Anordnungspläne gemäß folgendem Begriffsverständnis:

Ein **Anordnungsplan** enthält Angaben über die räumliche Lage elektrischer Betriebsmittel. Er braucht nicht maßstäblich zu sein. Die anzuordnenden Objekte können sehr unterschiedlich sein, vom Schaltgebäude bis zum Klemmenkasten.

- Spezielle Anordnungspläne sind die
  - Netzpläne (Leitungsführung eines Netzes),
  - Installationspläne (z. B. Elektroinstallation einer Etage/eines Raumes),
  - Aufstellungspläne für Leitwarten und Schaltgebäude (s. Abb. 7.41),
  - Aufstellungspläne für Schalträume,
  - Rasterpläne für Boden in Leitwarte,
  - Aufbaupläne für Schaltschränke.

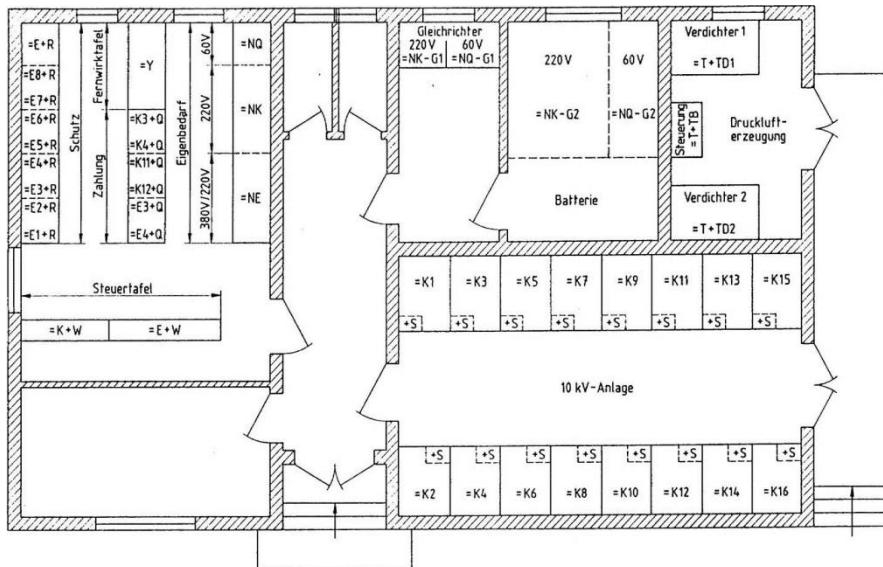


Abb. 7.41 Anordnungsplan eines Schaltanlagengebäudes

18) Ausführungsunterlagen für die *Verkabelung* erarbeiten

- Im Einzelnen ist zu tun (s. auch Workflow in Abb. 7.40):
  - Dimensionierung und Kennzeichnung der Kabel für alle Teildisziplinen der Prozessleittechnik.
  - Zusammenstellung der Kabeldaten in *Kabellisten* entsprechend den Beispiel in Abb. 4.39, Abschn. 4.2.6, Punkt 7).

Eine **Kabelliste** ist eine tabellarische Zusammenstellung der Stammdaten (Kabelkennzeichen, Kabellänge, Kabeldurchmesser, Verlegart) mehrerer Kabel einer Teilanlage.

- Erarbeiten detaillierte *Kabeltrassenpläne* inkl. Schnitte von den verlegten Kabeln.
- Erarbeiten der *Klemmenpläne* (Synonym: Anschlusspläne) (s. Abb. 7.42)

Ein **Klemmenplan** (Synonym: Anschlussplan) zeigt die Anschlusspunkte einer elektrischen Einrichtung (z. B. Klemmenkästen bzw. -leiste) sowie die daran angeschlossenen inneren und äußeren leitenden Verbindungen.

Es können Hinweise auf die entsprechenden Stromlauf- und Anordnungspläne sowie auf Funktionszugehörigkeit gegeben werden.

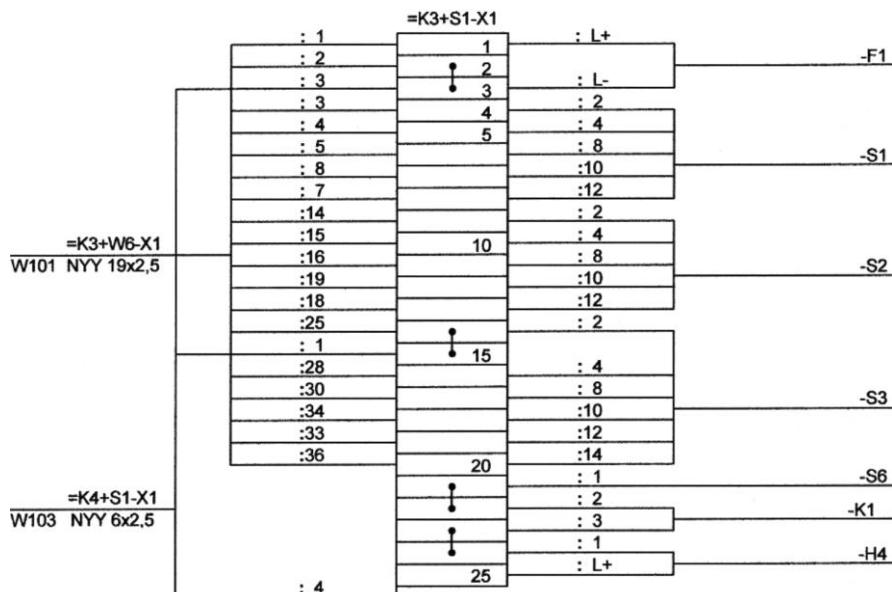


Abb. 7.42 Klemmenplan eines PLT-Geräts (Praxisbeispiel)

19) Ausführungsplanung der *Steuerluft-* bzw. *Instrumentenluft-Versorgung* und gegebenenfalls der *Hydraulikölversorgung*

- Die Ergebnisse der Entwurfsplanung in Abschn. 4.2.6, Punkt 16) sind zu überprüfen, ggf. zu ergänzen und ausführungsgerecht zu vervollständigen und zu dokumentieren (s. Beispiele in Tabelle 7.15 und Abb. 7.43 links).

**Tabelle 7.15** Mögliche Daten einer Steuerluftverteiler-Liste

Lfd. Nr.	AKZ	Verbraucher	Anfang	Ziel	Rohrmaterial	Rohrquerschnitt	Druck	Bemerkung

**Abb. 7.43** Beispiele zur Ausführung eines Steuerluftverteilers (links) und eines Prozessanalysators zur Messung von gelösten Sauerstoff in Flüssigkeiten (rechts)

- 20) Ausführungsplanung sonstiger Komponenten, wie *Gaswarn-/Brandmeldeeinrichtungen*, *Feuerlösch-* und *NOT-AUS-Einrichtungen* (s. Abb. 7.44) sowie *Notstromversorgung*, *Nachrichtentechnik*, *Prozess-/Laboranalysentechnik* in Fortsetzung der Entwurfsplanung in Abschn. 4.2.6, Punkte 17) und 18). Die Kopfdaten eines Analysenprogramms enthält Tabelle 7.16 und das Ausführungsbeispiel eines Prozessanalysators zeigt Abb. 7.43, rechts.

**Tabelle 7.16** Mögliche Daten eines Analysenplans bzw. -programms

Lfd. Nr.	AKZ	Benennung	R&I	Messort	Messgröße	Messmethode	Häufigkeit	Bemerkung

- 21) Mitwirkung an der *Sicherheitstechnischen Detailprüfung* (Planungstestat)  
22) Erarbeitung von Vorgaben für die *Instandhaltung* der gesamten PLT-Technik, inkl. für die *Ersatz- und Verschleißteilplanung*

Die zahlreichen Dokumentarten der PLT-Ausführungsplanung sind insgesamt

- den Abb. 4.33 und 4.35 in Abschn. 4.2.6,
- den Inhaltsverzeichnis (Kapitel 8 bis 10) der Basic Engineering-Dokumentation in Tab. 4.43 in Abschn. 4.4 sowie
- den inhaltlichen Ausführungen in den Punkten 1) bis 22) diese Abschnitts zu entnehmen.



**Abb. 7.44** Eingangstür in eine Verdichterhalle mit Sicherheitskennzeichnung, Erste-Hilfe-Einrichtungen, Telefon, NOT-AUS-Schalter sowie Schaltern zum Fluten der Verdichterhalle mit Löschgas und zum Entspannen der Anlage über die Fackel

### 7.2.7 Ausführungsplanung Technische Gebäudeausrüstung (TGA)

In der HOAI (**Honorarordnung für Architekten und Ingenieure**) [15] werden in der Objektliste zum Leistungsbild *Technische Ausrüstung* in Verbindung mit Bauwerken die folgenden Anlagengruppen aufgeführt:

Anlagengruppe 1: *Abwasser-, Wasser- oder Gasanlagen*

Anlagengruppe 2: *Wärmeversorgungsanlagen*

Anlagengruppe 3: *Lufttechnische Anlagen*

Anlagengruppe 4: *Starkstromanlagen, z. B.*

- Niederspannungsanlagen inkl. Beleuchtung
- Hoch- oder Mittelspannungsanlagen
- Kompakt-Transformatorstationen
- Blitzschutz- und Erdungsanlagen

Anlagengruppe 5: *Fernmelde- oder Informationstechnische Anlagen, z. B.*

- Fernmeldestationen mit einzelnen Endgeräten
- Objektüberwachungsanlagen
- Fernübertragungsnetze
- Parkleitsysteme

Anlagengruppe 6: *Förderanlagen, z. B.*

- Standardaufzüge, Kleingüteraufzüge, Hebebühnen
- Fahrtreppen oder Fahrsteige, Krananlagen, Ladebrücken
- Fassadenaufzüge

Anlagengruppe 7: *Nutzungsspezifische oder verfahrenstechnische Anlagen*

In allen sieben Anlagengruppen finden sich TGA-Leistungen wieder, die in der Leistungsphase 5 (Ausführungsplanung) wie folgt beschrieben sind:

Grundleistungen:

- a) Erarbeiten der Ausführungsplanung auf Grundlage der Ergebnisse der Leistungsphase 3 und 4 (stufenweise Erarbeitung und Darstellung der Lösung) unter Beachtung der durch die Objektplanung integrierten Fachplanungen bis zur ausführungsreifen Lösung.
- b) Fortschreibung der Berechnungen und Bemessungen zur Auslegung der technischen Anlagen und Anlagenteile  
Zeichnerische Darstellung der Anlagen in einem mit dem Objektplaner abgestimmten Ausgabemaßstab und Detaillierungsgrad einschließlich Dimensionierung (keine Montage- oder Werkstattpläne).  
Anpassen und Detaillieren der Funktions- und Strangschemata der Anlagen bzw. der GA-Funktionslisten (d. Verf.: GA – Gebäudeautomation).  
Abstimmen der Ausführungszeichnungen mit dem Objektplaner und den übrigen Fachplanern.
- c) Anfertigen von Schlitz- und Durchbruchsplänen
- d) Fortschreiben des Terminplans
- e) Fortschreiben der Ausführungsplanung auf den Stand der Ausführungsergebnisse und der dann vorliegenden Ausführungsplanung des Objektplaners, Übergeben der fortgeschriebenen Ausführungsplanung an die ausführenden Unternehmen.
- f) Prüfen und Anerkennen der Montage- und Werkstattpläne der ausführenden Unternehmen auf Übereinstimmung mit der Ausführungsplanung.

Besondere Leistungen:

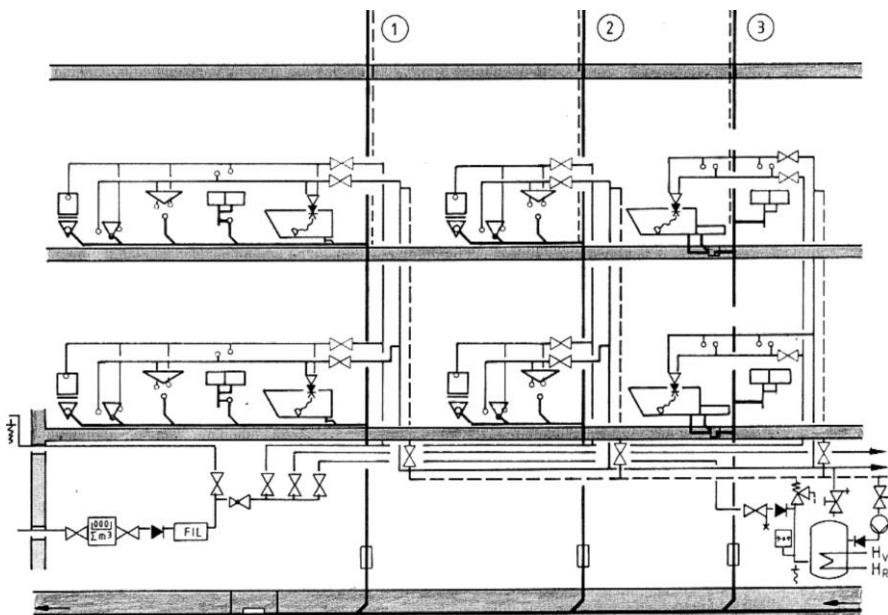
- Prüfen und Anerkennen von Schalplänen des Tragwerksplaners auf Übereinstimmung mit der Schlitz- und Durchbruchsplanung
- Anfertigen von Plänen für Anschlüsse von beigestellten Betriebsmitteln und Maschinen (Maschinenan schlussplanung) mit besonderem Aufwand (zum Beispiel bei Produktionseinrichtungen)
- Leerrrohrplanung mit besonderem Aufwand (zum Beispiel beim Sichtbeton oder Fertigteilen)
- Mitwirkung bei Detailplanung mit besonderem Aufwand, zum Beispiel Darstellung von Wandabwicklungen in hochinstallierten Bereichen
- Anfertigen von allpoligen Stromlaufplänen

Nachfolgend sind die wichtigsten Leistungen der TGA-Ausführungsplanung aufgeführt, wobei einzelne Teilleistungen mitunter auch von anderen Fachdisziplinen (z. B. Prozess, Elektrotechnik, Nachrichtentechnik) wahrgenommen werden.

Mitunter sind die TGA-Planungsergebnisse in die Ausführungsdokumente anderer Fachdisziplinen, wie z. B. Prozess, Bau, PLT und Rohrleitungen, integriert. Bei anderen TGA-Aufgaben sind die erarbeiteten Dokumentarten und das planerische Vorgehen ähnlich wie bei der Planung prozesstechnischer Anlagenteile.

Im Weiteren werden deshalb die angeführten TGA-Leistungen nur dann erläutert und ggf. mit Beispielen belegt, wenn sie TGA-spezifisch sind.

- 1) Ausführungsplanung der Beheizung von Gebäuden und/oder Betriebsstätten
  - Durchführen der Wärmebedarfsberechnungen
  - Erstellen der Übersichts- und Detail-Strangschemata
  - Erarbeiten Übersichts- und Detail-Installationspläne für Heizung
  - Dimensionieren/Spezifizieren der Heizkreise und ihrer Komponenten inkl. Werkstoffe, Korrosionsschutz, Dämmung und Isolierung
  - Zusammenstellen der Ergebnisse in Ausrüstungsdatenblättern und Ausrüstungstücklisten
- 2) Ausführungsplanung der Trinkwasser- und Warmwasserbereitstellung
- 3) Ausführungsplanung der Entwässerung inkl. sanitärer Einrichtungen
  - Ermitteln der anfallenden Regenwasser- und Schmutzwassermengen
  - Erarbeiten der Entwässerungszeichnungen (Grundrisse, Schnitte, Gefällepläne)
  - Erstellen der Übersichts- und Detail-Strangschemata für die Sanitäranlage (s. Abb. 7.45)
  - Dimensionieren/Spezifizieren der Entwässerungssysteme und ihrer Komponenten inkl. Werkstoffe, Korrosionsschutz, Dämmung und Isolierung
  - Zusammenstellen der Ergebnisse in Ausrüstungsdatenblättern und Ausrüstungstücklisten



**Abb. 7.45** Strangschemma der Sanitäreinrichtungen eines Hauses

- 4) Ausführungsplanung der Lüftungsanlagen inkl. sicherheits- und/oder lufthygienisch bedingter Be- und Entlüftung für Gebäude und/oder Betriebsstätten

- Ermitteln der ganzheitlichen Bedarfsanforderungen an die Be- und Entlüftung
- Auslegung der Lüftungsanlage und ihrer Komponenten inkl. Werkstoff, Korrosionsschutz, Schallschutz usw.
- Einplanen/Konstruktion der Lüftungskanäle im 3D-Anlagenmodell (Platzbedarf)
- Generieren von Lüftungskanalplänen (Grundriss, Ansichten, Schnitte) aus dem 3D-Anlagenmodell (s. Abb. 7.46).
- Dimensionieren/Spezifizieren der Lüftungsanlagen und ihrer Komponenten inkl. Werkstoffe, Korrosionsschutz, Dämmung
- Erarbeiten von Fertigungszeichnungen für die Lüftungskanäle
- Zusammenstellen der Ergebnisse

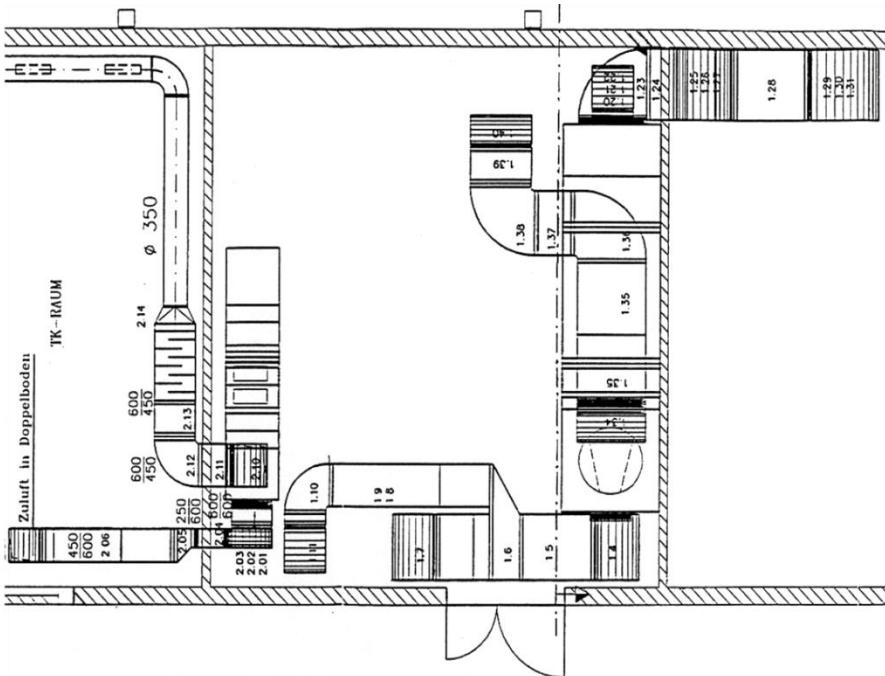


Abb. 7.46 Lüftungskanalplan (Grundriss)

- 5) Ausführungsplanung der Klimaanlagen für Gebäude und/oder Betriebsstätten
  - Durchführen der Kältebedarfsberechnungen
  - Erstellen der Übersichts- und Detail-Strangschemata
  - Erarbeiten Übersichts- und Detail-Installationspläne für Kühlung
  - Dimensionieren/Spezifizieren der Kühlkreise und ihrer Komponenten inkl. Werkstoffe, Korrosionsschutz, Dämmung und Isolierung
  - Zusammenstellen der Ergebnisse in Ausrüstungsstücklisten und Ausrüstungsdatenblättern

- 6) Ggf. Ausführungsplanung der Absaugungsanlage für explosions- und/oder gesundheitsgefährdende Stoffe
- 7) Ausführungsplanung der Feuerlöscheinrichtungen inkl. des Feueralarm- und Feuermeldesystems für Gebäude, Betriebsstätten bzw. den gesamten Betrieb
- 8) Ausführungsplanung der Entrauchungsanlagen in Gebäuden und/oder Betriebsstätten
- 9) Ausführungsplanung der Anlagenteile zur Behandlung von Schmutz- und Oberflächenwasser
- 10) Ausführungsplanung der Maßnahmen zur Müllbeseitigung (Hausmüll)
- 11) Mitwirkung an der 3D-Anlagenmodellierung und der Detail-Aufstellungsplanung
- 12) Ausführungsplanung der Blitzschutzanlage bzw. -einrichtungen für Gebäude und/oder Betriebsstätten, inkl. Stahlbauten
- 13) Ausführungsplanung von Sicherheitseinrichtungen gegen Einbruch und Diebstahl sowie der Einrichtungen für den Arbeits- und Gesundheitsschutz
- 14) Ausführungsplanung der Nachrichten- und Kommunikationstechnik innerhalb und nach außerhalb bzw. von außerhalb des Betriebes
- 15) Ausführungsplanung der Gebäudeautomation/-leittechnik durch Integration ins PLS des Betriebes bzw. durch ein eigenes Gebäudeleitsystem (GLS) in enger Abstimmung mit dem PLS
- 16) Ausführungsplanung der Aufzugsanlagen in Gebäuden und/oder Betriebsstätten
- 17) Ausführungsplanung der Gaswarn- und/oder Brandmeldeeinrichtungen
- 18) Mitwirkung an der Sicherheitstechnischen Detailprüfung (Planungstestat) für die Gesamtanlage
  - Die TGA plant in verfahrenstechnischen Anlagenprojekten wichtige sicherheits- und prozessrelevante Teilanlagen (s. Abschn. auch 3.3.5), die in die sicherheitstechnische Detailprüfung einzubeziehen sind.
  - Ferner haben die TGA-Ausrüstungen und Anlagenteile eigene Überwachungs- und Sicherheitseinrichtungen, die zu betrachten sind.  
Dazu gehören beispielsweise:
    - Sicherheitsventile, Berstscheiben
    - Sicherheitsdruckbegrenzer,
    - Sicherheitstemperaturbegrenzer,
    - Flammenrückschlagsicherungen,
    - Frostschutz-Thermostate,
    - Gasmangelsicherungen,
    - Wassermangelsicherungen,
    - Filter-Überwachungseinrichtungen,
    - Leckwarneinrichtungen,

- NOT-HALT-Schalter und NOT-AUS-Schalter,
  - Motorschutzeinrichtungen,
  - Feuerschutz-/Brandschutzklappen,
  - Entrauchungseinrichtungen,
  - Sicherheitseinrichtungen von Aufzugsanlagen,
  - Sonden zur Schadstoffüberwachung in Atmosphäre und Abwasser.
- 19) Erarbeitung von Vorgaben für die Instandhaltung der TGA-Ausrüstungen, inkl. für die Beschaffung und Bevorratung von Ersatz- und Verschleißteilen

Wichtige TGA-spezifische Dokumentenarten, die am Ende der Ausführungsplanung vorliegen, sind in Tab. 7.17 angeführt.

**Tabelle 7.17** Fachspezifische Dokumentenarten der TECHNISCHEN GEBÄUDEAUSRÜSTUNG (Auswahl)

- 
- Wärmebedarfsberechnungen
  - Übersichts- und Detail-Strangschemata Heizung
  - Übersichts- und Detail-Installationspläne Heizung
  - Spezifikation der Heizungskomponenten inkl. Rohrleitungen
  - Übersichts- und Detail-Strangschemata Warmwasser und Trinkwasser
  - Übersichts- und Detail-Installationspläne Warmwasser und Trinkwasser
  - Spezifikation der Warmwasser-/Trinkwasserkomponenten inkl. Rohrleitungen
  - Luftpengenberechnungen
  - Kanalnetzberechnungen für Be-/Entlüftung
  - 3D-Ansichten zum Be- und Entlüftungssystem
  - Fertigungszeichnungen Lüftungskanäle inkl. Stücklisten
  - Bauteilzeichnungen für Lüftungsgitter, Jalousieklappen u. ä.
  - Spezifikation der Lüftungskomponenten (z.B. Gebläse)
  - Ausführungsunterlagen für Entrauchungsanlagen
  - Kühllast-/Kältebedarfsberechnung
  - h-x-Diagramme
  - Übersichts- und Detail-Strangschemata Kühlung
  - Übersichts- und Detail-Installationspläne Kühlung
  - Spezifikation der Kühlkomponenten inkl. Rohrleitungen
  - Fertigungszeichnungen für Absaughauben
  - Dokumentation zu Augen- und Körperduschen
  - spezielle Dokumente für ein ggf. vorhandenes Gebäudeleitsystem bzw. für die Einbindung der Gebäudeautomation ins Prozessleitsystem der Gesamtanlage
  - Feuerwehrpläne
  - Ausführungsunterlagen für Feuerlöscheinrichtungen inkl. Löschwasserrückhaltung und ggf. Löschwasserentsorgung
  - Ausführungsunterlagen zum Sammeln und Beseitigen von Hausmüll
  - Ausführungsunterlagen für die Blitzschutzanlage (evtl. Elektrotechnik)
  - Ausführungsunterlagen für Aufzugsanlagen
  - Ausführungsunterlagen für Nachrichten- und Kommunikationstechnik (evtl. PLT)
  - Ausführungsunterlagen für Gaswarn- und/oder Brandmeldeanlagen (evtl. PLT)
  - Ausführungsunterlagen für Einbruch- und Diebstahlsicherung
-

## 7.2.8 Logistik- und Infrastrukturausführungsplanung

### a) Logistikausführungsplanung

Das Detail Engineering der *außerbetrieblichen Logistik* ist i.Allg. in die Infrastrukturplanung am Werksstandort eingeordnet und wird häufig parallel zum eigentlichen Anlagenprojekt realisiert.

Im Weiteren werden nur die Leistungen der *innerbetrieblichen Logistikausführungsplanung* betrachtet., die an die Entwurfsplanung in Abschn. 4.2.8, Buchst a) anschließen und in manchen Projekten auch als Teil der Verfahrensausführungsplanung gemäß Abschn. 7.2.1 verstanden und entsprechend zugeordnet werden.

Die Ausführungsplanung wird zunächst in die *Logistik* für die *Roh- und Zusatzstoffe* sowie die *Zwischen- und Endprodukte* unterteilt. Die logistischen Maßnahmen zur Verwertung und/oder Beseitigung von Abfall nach **Kreislaufwirtschaftsgesetz** (KrWG) [38] sind in die Betrachtungen einzubeziehen.

Im Weiteren sind für beide Logistik-Teilgebiete die prozessspezifischen Planungsaufgaben, ähnlich einer Checkliste, zusammengestellt.

#### 1) Ausführungsplanung der *Roh- und Zusatzstofflogistik*

- Produktmengen, Chargengrößen, Gebindetypen und Lieferanten der Einsatzstoffe überprüfen, ergänzen und endgültig verabschieden
- Verkehrsmittel und Packmittel für den Antransport der Einsatzstoffe festlegen und dimensionieren
- Endgültige Verabschiedung der Arbeitsabläufe und Organisation bzgl.
  - Wareneingang
  - Lagerung/Stapelung
  - Warenausgang
- Entladetechnik auslegen
- Endgültige Festlegung
  - der Lagerkapazität mit Produktionsmengen, Produktanzahl, Produkteigenschaften
  - der Anzahl der Lagerabschnitte
  - der Art des Lagers, der Lagertechnik
 und Abstimmung mit anderen Fachplanungen
- Outsourcingkonzept überprüfen und ggf. verabschieden
- Vorgaben zur Regalkonstruktion erarbeiten, wie z.B.
  - Maßangaben für die Lagerplätze
  - Belastungsangaben für Regale
  - Vorgaben für zulässige Durchbiegung der Regale
  - Vorgaben für zulässige Toleranzen der Regale
- Ermitteln der Anzahl der Regalförderzeuge bzw. Flurförderzeuge hinsichtlich
  - Umschlagleistung
  - Verfügbarkeit
  - Geschwindigkeit

- Auslegung, Dimensionierung und Absicherung der Ladezone bzgl.
    - Anzahl und Art der Fahrzeuge
    - Umschlagspitzen
    - Fahrwege
    - Art der Verladung
  - Auslegung und Absicherung der Ladezone durch
    - Bodenbelagsausführung nach VAWs
    - geeignetes Entwässerungssystem
    - ausreichende Anzahl von Ladestellen
    - gute Anfahrmöglichkeit zu den Ladestellen
  - Endgültige Dimensionierung und Konstruktion der Abwicklungsflächen für Warenein- und -ausgang aufgrund der Arbeitsabläufe, wie
    - Bereitstellungszone für den Wareneingang mit Umpacken/Palettieren, Ladungssicherung und Nachsignieren/Etikettieren
    - Bereitstellungszone für den Warenausgang mit Kommissionieren, Wiegen, Umfüllen usw.
  - Transportart für Einsatzstoffe zur Produktion endgültig festlegen, z.B.
    - durch Gabelstapler,
    - Stückgutfördertechnik
  - Anforderungen für Transport der Einsatzstoffe zu Produktion spezifizieren, wie z.B.
    - erforderlich Leistungen
    - Geschwindigkeiten
    - Staukapazitäten
    - erforderliche Tragfähigkeiten
  - Eintragetechniken für Einsatzstoffe entwerfen bzw. auswählen, z.B.
    - Kippvorrichtungen für Fässer
    - Hebezeuge für BigBags
    - Becherwerke für Schüttgut
    - Förderbänder für Stück- und Schüttgut
    - Sachentleerungsmaschinen mit pneumatischer oder mechanischer Fördertechnik
    - Rohrleitungen für Flüssigkeiten und Fluide
  - Reinigung und Entsorgung der leergewordenen Schmutzgebinde entwerfen und festlegen, z.B.
    - Spülstation
    - Kompaktierung
    - Bereitstellplatz
    - mögliche Wiederverwendung
    - Abtransport
- 2) Ausführungsplanung der *Zwischen- und Fertigproduktlogistik* (ggf. auch *Abfälle*)
- Endgültige Festlegung der Gebinde

- Auslegung und Konstruktion der Leergebindebereitstellung
- Festlegen der Abfüllprodukte und Abfüllmengen
- Dimensionierung und Konstruktion der Produktbereitstellung, z.B.
  - aus Tank
  - aus Tankcontainer bzw. Tank-Kraft-Wagen (TKW)
  - aus Silo
  - direkt aus der Produktionsanlage
- Dimensionierung und Festlegung der Anzahl der Umschlaganlagen für
  - LKW
  - Container
  - Absetzbehälter
- Auslegen der Gebindeabfülltechnik mit Ermitteln
  - der Werkstoffe
  - des Automatisierungsgrads
  - der Sicherheitsvorrichtungen
  - der Abluftentsorgung bzw. -reinigung
  - der Gebindeüberprüfung
- Auswahl der Etikettier- und Signiereinrichtung
- Auslegung und Konstruktion der Palettierenanlagen, z.B.
  - von Hand mit Palettierhilfen
  - teilautomatisierte Anlagen bzw. Vorrichtungen
  - vollautomatisierte Anlagen bzw. Vorrichtungen
- Auswahl der Ladungssicherungsgeräte zum
  - Schrumpfen
  - Stretchen,
  - Haubenüberziehen
  - Umreifen, Umbändern usw.
- Ermitteln und Festlegen der Pufferstrecke und Bereitstellungsfläche hinter der Abfüllanlage
- Endgültige Festlegung der Transporttechnik durch
  - spezielle Förderanlagen (z.B. Transportbänder)
  - Gabelstapler direkt
  - Gabelstapler und Plateauwagen usw.
- Auslegen der Transporttechnik, z.B.
  - Art und Anzahl der Gabelstapler
  - Art und Anzahl der LKW bzw. Plateauwagen
  - Auslegen der Fördertechnik
  - Anzahl der Ladestellen
- Dimensionierung des Fertigwarenlagers bzw. Zwischenproduktlagers mit Ladezonen und Abwicklungsflächen
- Mitwirkung bei der Ausführungsplanung zur Umsetzung des Entsorgungskonzepts (z. B. Logistik für die Abfallbeseitigung)

- Anforderungen an die Informationsverarbeitung, ggf. die Rezeptsteuerung und die Kommunikation (Schnittstelle) mit Prozessleitsystem erarbeiten

Die Auflistung der Aufgaben unter Punkt 1) und 2) macht die fachliche Spezifik und die Unterschiede der Logistikplanung gegenüber der normalen, klassischen Verfahrensplanung entsprechend Abschn. 4.2.1 und 7.2.1 deutlich. Darin ist nicht zuletzt die Begründung zu sehen, dass in diesem Buch die Logistik als eigenständige Fachdisziplin, neben der Verfahrenstechnik, behandelt wird.

Im Ergebnis der angeführten Planungsaufgaben sind für die logistischen Prozesse und Teilanlagen:

- die zugehörigen relevanten verfahrenstechnischen Dokumentarten gemäß Tabelle 7.1 in Abschn. 7.2.1,
- die fachspezifischen Zuarbeiten für die 3D-Anlagenmodellierung, Bau/Stahlbau, Rohrleitungen, Prozessleitechnik und u.U. auch für die Technische Gebäudeausrüstungen gemäß den Ausführungen in den Abschnitten 7.2.3 bis 7.2.7 durchzuführen und die relevanten fachspezifischen Dokumentarten

zu erstellen.

Die Ergebnisse der Logistikausführungsplanung sind in die sicherheitstechnische Detailprüfung (Planungstestat), insbesondere beim Up-date der Risikobeurteilung, sowie in die Fortschreibung der Projektplanung einzubeziehen.

### **b) Infrastrukturausführungsplanung**

Grundsätzlich sind die in Abschn. 4.2.8, Buchst. b) getroffenen Aussagen im Detail auszuführen. Dies betrifft u.a.:

- mit Hilfe der Checkliste „Schnittstellenkontrolle an der Anlagengrenze am Standort bzw. zur vorhandenen Anlage“ in Tab. 4.28, Abschn. 4.2.8 sind die Schnittstellen zur Infrastruktur gemäß den Projektfortschritt zu überprüfen und ggf. zu aktualisieren,
- in analoger Weise sind die vorhanden Schnittstellendokumente nach Abb. 4.50, Abschn. 4.2.8 zu überprüfen und entsprechend dem Sachstand „Ende Detail Engineering“ zu vervollständigen,
- die definierten Schnittstellen sind in sog. Einbindepunktlisten (Tie-in-List) zusammenzustellen,
- die technischen Maßnahmen zur Einbindung der Neuanlage in die Infrastruktur des Standorts sind im Detail zu planen,
- die Ergebnisse der Infrastrukturausführungsplanung sind in die sicherheitstechnische Detailprüfung (Planungstestat), insbesondere beim Up-date der Risikobeurteilung, einzubeziehen.
- die relevanten Schnittstellen- und Infrastrukturdokumente sind von den betroffenen Partnern (Auftraggeber, Auftragnehmer, Infrastrukturbereich, Betreiber) zu prüfen und zur Nutzung freizugeben,
- die Einbindearbeiten sind ganzheitlich bei der Projektplanung und Projektabwicklung zu berücksichtigen.

### 7.2.9 Besondere Vorgaben und Hinweise für die weitere Projektabwicklung

Erfahrungsgemäß bewirken Schnittstellen im Projekt zahlreiche Fehlermöglichkeiten. Dies gilt auch für die Schnittstellen im Engineering und insbesondere am Ende der Phase 3 (Basic Engineering) und der Phase 6 (Detail Engineering).

Zu diesen Zeitpunkten/Meilensteinen sind vor allem Kommunikationsfehler zwischen den beteiligten Partnern und Personen signifikant. Der Autor hat beispielsweise häufig erlebt, dass der Nutzer von Engineeringdokumenten, die auf diesen Dokumenten dargestellten Informationen nicht ausreichend wichten bzw. würdigen kann. Zum Teil werden wichtige Informationen, die mitunter unscheinbar dargestellt sind, übersehen.

In den meisten Anlagenprojekten gilt die Erfahrung:

*Ungefähr 90 Prozent der Engineeringleistungen sind normale, wiederkehrende Ingenieurtätigkeiten.*

*Die restlichen 10 Prozent Engineeringleistungen aber sind das Besondere, das Wichtige. Sie sind der Erfahrungsschatz oder das Innovative und nicht selten auch das Firmen-Know-how.*

*Von der gewissenhaften Umsetzung dieser 10 Prozent Planungsergebnisse hängt aber i.d.R. wesentlich der Projekterfolg ab.*

Dabei besteht die begründete Sorge, dass einige dieser Detailergebnisse des Engineering, die besonders wichtig sind, in der Flut an Informationen und Dokumenten vom Nutzer übersehen werden.

Aus diesem Grund sollten in einem separaten Abschnitt der Detail Engineering-Dokumentation (im Umfang von wenigen Seiten) die *wesentlichen Vorgaben und Hinweise* für die nachfolgende Projektabwicklung nochmals zusammengestellt und kurz begründet werden.

Damit wird die Schnittstelle zwischen Ausführungsplanung einerseits sowie Beschaffung und Bau/Montage andererseits gezielt bedient.

Die Vorgaben und Hinweise sind nach Fachdisziplinen/Gewerken zu strukturieren. Neben technischen Schwerpunktinformationen sind auch Managementinformationen (z.B. Hinweise zur praktischen Qualitätssicherung oder zum Lessons Learned) zweckmäßig.

Die Erfüllungskontrolle dieser besonderen Vorgaben und Hinweise sollte gezielt in die Qualitätssicherungsmaßnahmen während der Beschaffung und Errichtung der Anlage einbezogen werden.

Die vorgenannten Ausführungen gelten in analoger Weise auch für die Schnittstelle zwischen Basic Engineering (Ende Phase 3) und Detail Engineering (Beginn Phase 6), sodass für die Basic Engineering-Dokumentation oder für das Pflichtenheft ein gleichlautender, zusammenfassender Abschnitt mit wichtigen Vorgaben/Hinweisen für das „Detail“ ratsam ist.

In Abschn. 4.4 wurde bereits darauf verwiesen und in der Gliederung der Basic Engineering-Dokumentation (s. Tab. 4.43) ein entsprechender Punkt 14 (Sonstige Vorgaben und Hinweise für Ausführungsplanung) vorgesehen.

## 7.3 Sicherheitstechnische Detailplanung

Die *Sicherheitstechnische Detailplanung* ist der 3. Schritt im Modell für die ganzheitliche Sicherheitsarbeit im Projekt (s. Abschn. 1.7.2). Dieser Schritt S3 endet mit dem *Planungstestat*.

Mit der Sicherheitstechnischen Detailplanung werden zum einen die Festlegungen aus dem Genehmigungsbescheid umfassend planerisch umgesetzt und zum anderen beurteilt, wie sich die Ergebnisse der Ausführungsplanung auf die Gesundheit-Sicherheit-Umwelt (GSU) auswirken. Es gilt insbesondere die Ergänzungen und Änderungen im Vergleich zum Basic Engineering zu betrachten.

Bedenkt man, dass von den gesamten Engineeringleistungen (Phasen 1 bis 9) ca. 15 bis 25 Prozent während der Ausführungsplanung erbracht werden, so wird der Umfang möglicher GSU-relevanter Betrachtungen deutlich. In den Fachdisziplinen *Rohrleitung* und *Prozessleittechnik* liegt der Detail-Anteil mitunter sogar über 50 Prozent.

Die wichtigsten GSU-spezifischen Planungsergebnisse am Ende des Detail Engineerings (Phase 6) sind in Abb. 7.47 angegeben.

Phasen im Projekt	Schritte und Aufgaben der Sicherheitsarbeit
Projektstart	GSU-Grundsätze
Grundlagenermittlung und Vorplanung	<b>S1</b> Sicherheitstechnische Grundlagen-ermittlung → Sicherheitstechnisches Grundkonzept
Entwurfsplanung und Genehmigungsplanung	<b>S2</b> Sicherheitstechnische Entwurfsplanung → Ganzheitliches Sicherheitskonzept
Ausführungsplanung	<b>S3</b> Sicherheitstechnische Detailplanung <ul style="list-style-type: none"> <li>– Ausführungsplanung zu GSU für die Gesamtanlage und alle Fachdisziplinen</li> <li>– Review der Basic-Risikobeurteilung, inkl. Aktionspunkterfüllung</li> <li>– Fortschreiben der bisherigen GSU-relevanten Dokumente gemäß Status: AFC</li> <li>– Planung der notwendigen Sicherheitsprüfungen vor Inbetriebnahme</li> <li>– Bestätigung Planungstestat</li> </ul> Ausführungsplanung gemäß Sicherheitskonzept
	 <b>Planungstestat</b>

Abb. 7.47 Sicherheitstechnische Detailplanung in der Phase 6

Ergänzend zu Abb. 7.47 seien noch einige Bemerkungen angefügt.

- Hinsichtlich des Genehmigungsbescheids ist während des Detail Engineering zu beachten und im Planungstestat zu prüfen:
  - *Wurden alle Nebenbestimmungen des Genehmigungsbescheids planerisch umgesetzt und ausgeführt?*
  - *Gibt es im Vergleich zum genehmigten Bestimmungsgemäßen Betrieb während der Ausführungsplanung planerische Änderungen an der genehmigten Anlage, für die der Investor eine Genehmigung für nicht erforderlich hält, die aber nach § 15, BImSchG [39] der zuständigen Behörde angezeigt werden müssen?*
  - *Gibt es im Vergleich zum genehmigten Bestimmungsgemäßen Betrieb während der Ausführungsplanung „Wesentliche Änderungen genehmigungsbedürftiger Anlagen“, die nach § 16 des BImSchG [39] genehmigt werden müssen (s. Abschn. 5.6)?*
- Wurden an der genehmigungsbedürftigen Anlage relevante Änderungen vorgenommen, so müssen die notwendigen Arbeit, die für die „Anzeige der Änderung“ bzw. die „Genehmigung wesentlicher Änderungen“ erforderlich sind, veranlasst werden.
- Die Risikobeurteilung, die während der Sicherheitstechnischen Entwurfsplanung (z. B. mittels HAZOP-Methode) erarbeitet wurde (s. Abschn. 4.3.2) muss gemäß dem Projektfortschritt überprüft werden.  
Je nach Änderungsumfang ist ein Review/Up-date der bisherigen Risikobeurteilung (Stand: Ende Phase 3) oder eine komplett neue Risikobeurteilung (Stand: Ende Phase 6), ggf. wieder mittels der HAZOP-Methode, nötig.  
In jeden Fall muss zum Planungstestat eine aktuelle Risikobeurteilung vorliegen, die auf Dokumenten mit dem freigegebenen Bearbeitungsstatus AFC (Approved for Construction) basiert und als eigenständiges Dokument „Risikobeurteilung für die Anlage XYT“ selbst mit diesem Status gekennzeichnet ist.
- Analog zur Risikobeurteilung sind auch die anderen GSU-relevanten Dokumente des Basic Engineering gemäß dem Planungsfortschritt zu überprüfen, ggf. zu präzisieren und mit dem Bearbeitungsstatus: AFC freizugeben.  
Dies betrifft u.a.:
  - die GSU-spezifischen Dokumente über Gefahrstoffe, wassergefährdende Stoffe und Abfälle,
  - die SIL-Einstufung der PLT-Schutzeinrichtungen (s. Abschn. 4.3.2, Buchst. c)),
  - die Funktionspläne und Ursache-Wirkung-Listen der sicherheitsrelevanten Steuerungen (s. Abschn. 4.2.6, Punkt 10)),
  - das Explosionsschutzdokument inkl. Einteilung der Gefahrenzonen (s. Abschn. 4.3.3),
  - das Brandschutzkonzept (s. Abschn. 4.2.5, Buchst. c)),
  - das Schallschutzkonzept,
  - das Entsorgungskonzept,

- ggf. die Schwingungsstudie (s. Abschn. 7.2.5, Punkt 16),
- die Auslegungsunterlagen und Datenblätter der Sicherheitsventile und Berstscheiben (s. Abschn. 4.2.1.6),
- die statischen Berechnungen und Prüfstatiken für Tragwerke (s. Abschn. 4.2.5, Buchst. c) und 7.2.4, Buchst. b).
- Für die Phasen 7 (Beschaffung) und 8 (Bau/Montage) sind für die GSU-relevanten Anlagenkomponenten die notwendigen Ausführungskontrollen bzw. Überwachungsmaßnahmen beim Hersteller und auf der Baustelle festzulegen.
- Für die Phasen 8 (Bau/Montage) und 9 (Inbetriebnahme) sind die notwendigen Gefährdungsbeurteilungen und Sicherheitsprüfungen festzulegen.

Letztlich ist im *Planungstestat* nachzuweisen und zu testieren, dass das Ganzheitliche Sicherheitskonzept, welches im Basic Engineering erarbeitet wurde, am Ende des Detail Engineering vollständig planerisch ausgeführt ist.

## 7.4 Detail Engineering-Dokumentation

Die Ausführungsdokumente am Ende der Phase 6 bilden die technische Grundlage für die Beschaffung und Errichtung der Anlage. Weitere Anwendungen dieser Dokumente sind in Abschn. 7.1 angeführt.

Alle Ausführungsdokumente sind mit dem Bearbeitungsstatus AFC (Approved for Design) zu kennzeichnen, ggf. nach vorheriger Qualitätsprüfung durch den Auftraggeber (s. auch Abschn. 1.8.2). Sie sind gemäß vertraglicher Vereinbarung zwischen Auftraggeber (Investor) und Auftragnehmer (Generalplaner bzw. Generalunternehmer) (s. auch Abschn. 2.5.3.2) zur weiteren Nutzung im Projekt freizugeben.

Zugleich gelten die Ausführungsdokumente spätestens ab Ende Phase 6 als „eingefroren“. Dies bedeutet:

*Alle nachfolgenden Änderungen im Projekt, die Änderungen auf einen oder mehreren Ausführungsdokumenten nach sich ziehen können, müssen entsprechend der Change-Control-Richtlinie des Projekts vollzogen werden.*

In der Praxis ist beispielsweise die folgende Vorgehensweise anzuwenden:

- Die Änderungen sind vom zuständigen Bearbeiter unter Nutzung eines Änderungsformulars schriftlich zu beschreiben, unter Berücksichtigung der Vor- und Nachteile zu begründen und zu beantragen.
- Der Änderungsantrag ist vom zuständigen und verantwortlichen Leadingenieur zu prüfen und ggf. die Prüfung durch Unterschrift zu bestätigen.
- Der geprüfte Änderungsantrag ist von den verantwortlichen Projektmanagern (z.B. Projektleiter oder Lenkungskreis) des Auftragnehmers und des Auftraggebers auf seine ganzheitlichen Auswirkungen auf die Projektabwicklung inkl. Vertragserfüllung zu beurteilen und gegebenenfalls durch Unterschrift der verantwortlichen Personen freizugeben.

- Die freigegebene bzw. genehmigte Änderung ist planerisch umzusetzen, d. h. betroffenen Ausführungsdocumente sind entsprechend zu ändern, mit einer neuen Revisionsnummer zu versehen, zu prüfen und zur Nutzung freizugeben.
- Die neuen, geänderten und revisionierten Ausführungsdocumente sind im Projektteam gemäß dem Workflow zu kommunizieren (informieren, verteilen) und alleinig für die weiteren Arbeiten zu verwenden.

Eine solch restriktive Vorgehensweise ist nötig, da Änderungen nach erfolgter Bestellung i. Allg. teuer sind und genau bedacht werden müssen.

Häufig wird im Projekt folgende Frage gestellt:

*Sollte eine Detail-Engineering-Dokumentation als eigenständige Phasendokumentation erarbeitet und archiviert werden?*

Nachfolgend dazu einige Überlegungen und Erfahrungen.

- Die Ausführungsdocumente sind in jedem Fall ein wesentlicher Bestandteil der **Anlagendokumentation** (neben den Hersteller- und Lieferantendokumenten) und später der **AS BUILT-Dokumentation** (s. auch Abschn. 2.4.3).
- Alle Ausführungsdocumente sollten
  - gemäß den Vorgaben im Lastenheft (s. Abschn. 2.4) und Pflichtenheft (s. Abschn. 4.4) erarbeitet sein und
  - entsprechend der abgestimmten **Abwicklungsstruktur** für die Verwaltung der Projektdokumente inkl. der Engineeringdokumente (s. Abschn. 3.2) in elektronischer Form gespeichert und ggf. ergänzend in Papierform abgelegt sein.
- Beschafft der Investor die Anlage selbst und wirkt der Detail-Planer nur im Rahmen eines Engineering-Vertrages (z. B. EPCM-Vertrag) mit (s. auch Abschn. 2.5.2, Buchst. a)), so fordert der Investor i.d.R. eine eigenständige Detail-Engineering-Dokumentation.  
Er möchte nicht nur die Einzeldokumente, sondern auch eine strukturierte Gesamtdokumentation für die Anlage als Basis für seine verantwortlichen Beschaffungsleistungen.
- Mitunter wollen Auftraggeber und/oder Auftragnehmer die „eingefrorene“ Ausführungsdocumentation mit dem Status: AFC als Ganzes strukturiert archivieren, um sie bzw. Teile daraus für zukünftige Projekte zu nutzen.
- Die Strukturierung der Detail-Engineering-Dokumentation sollte analog zur Anlagendokumentation und AS BUILT-Dokumentation erfolgen (s. Tab. 7.18). Ergänzend dazu sei angefügt:
  - Die Anlagendokumentation (in elektronischer und/oder gegenständlicher Form) wird, wie im verfahrenstechnischen Großanlagenbau üblich, in gewerke- bzw. fachspezifische Teildokumentationen entsprechend Tab. 7.18 unterteilt. Erfahrungsgemäß sind bei der Errichtung von verfahrenstechnischen Anlagen fast immer die angeführten Fachdisziplinen/Gewerke beteiligt und gleichartige Dokumentarten zu erarbeiten bzw. zu verwalten.

**Tabelle 7.18** Mögliche Strukturierung der Anlagendokumentation nach Fachdisziplinen

- 
- |           |  |
|-----------|--|
| <b>1</b>  | <b>Verfahrenstechnik</b> (Synonym: Prozesstechnik) |
| <b>2</b>  | <b>Maschinen/Apparate/Behälter/Tanks</b>           |
| <b>3</b>  | <b>3D-Anlagenplanung/Aufstellungsplanung</b>       |
| <b>4</b>  | <b>Bau/Stahlbau</b>                                |
| <b>5</b>  | <b>Rohrleitungen</b>                               |
| <b>6</b>  | <b>Prozessleittechnik</b> (inkl. Elektrotechnik)   |
| <b>7</b>  | <b>Technische Gebäudeausrüstung</b>                |
| <b>8</b>  | <b>Logistik/Infrastruktur</b>                      |
| <b>9</b>  | <b>Package-units</b> (Synonym: Teilanlagen)        |
| <b>10</b> | <b>Inbetriebnahme</b>                              |
| <b>11</b> | <b>Allgemeines/Sonstiges</b>                       |
- 

- Die angeführte Struktur entspricht bei größeren Projekten weitgehend der Arbeitsteilung während der Engineeringphasen (Fachplanungs- bzw. Leadingenieure) bzw. auf der Baustelle (Fachbau- bzw. Fachmontageleiter). Das heißt, die Fachverantwortung schließt die Erarbeitung bzw. Fortschreibung einer zugehörigen Teildokumentation ein. Schnittstellen und Fehlerquellen werden minimiert, was vorrangig bei Großprojekten sehr vorteilhaft ist.
- In der Praxis werden mitunter die Dokumente der Elektrotechnik in einem eigenen Kapitel *Elektrotechnik* abgelegt.  
Dies kann zweckmäßig sein und entspricht den besonderen Dokumentarten bzw. spezifischen Sicherheits- und Prüfpflichten, die sich auf Grund der höheren Spannung im Vergleich zur MSR-Technik inkl. PLS, NAT u.a. ergeben.  
In größeren Projekten gibt es zudem nicht selten einen eigenen Leadingenieur *Elektrotechnik* und somit einen eigenständigen Verantwortungsbereich.
- Die späteren Hersteller- bzw. Lieferantendokumentationen werden „wie-geliefert“ als Ganzes im zugehörigen Fachkapitel abgelegt, beispielsweise eine Apparatedokumentation in Kapitel 2 (Ordner auf Fileserver) und eine PLT-Gerätedokumentation in Kapitel 6.
- Zukünftige **Package-unit**-Dokumentationen werden „wie-geliefert“ als Ganzes und zusammen in einem Extra-Kapitel 9 abgelegt.
- Die Unterteilung der Kapitel in Tab. 7.18 sollte nach Dokumentarten erfolgen. Die wichtigen fachspezifischen Dokumentarten sind jeweils in den vorhergehenden Abschn. 7.2.1 bis 7.2.8 erörtert bzw. tabellarisch zusammengestellt. Weitere Übersichten sind in [10][40][41] angegeben.
- Ist der Bearbeitungsstatus im Dateinamen des Dokuments als Kennzeichnungsblock enthalten und wird dieser Block während der Projektphasen regelmäßig revidiert, so können die elektronischen Dokumente mit dem kennzeichnenden

Block „AFD“ schnell selektiert und in der gewünschten Struktur der Ausführungsdocumentation abgespeichert werden.

Die gleiche Methodik kann am Projektende bei der Erstellung und Archivierung der **AS BUILT-Dokumentation** angewandt werden.

- Weitere Hinweise zum zweckmäßigen Umgang mit der Dokumentation sind den Ausführungen zum Dokumentationskonzept in Abschn. 3.2 zu entnehmen.
- Auf einige Aspekte zur Fortschreibung der Detail-Engineering-Dokumentation wird im nachfolgenden Kapitel 8 eingegangen.

## Literatur

- [1] Richtlinie 2014/68/EU (Druckgeräte-Richtlinie) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15.05.2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten über die Bereitstellung von Druckgeräten auf dem Markt
- [2] AD 2000-Regelwerk – Taschenbuch 2015, Hrsg. VdTÜV
- [3] DIN EN 13445: Unbefeuerte Druckbehälter  
Teil 1: Allgemeines  
Teil 2: Werkstoffe  
Teil 3: Konstruktion  
Teil 4: Herstellung  
Teil 5: Inspektion und Prüfung  
Teil 6: Anforderungen an die Konstruktion und Herstellung von Druckbehältern und Druckbehälterteilen aus Gusseisen mit Kugelgraphit  
Teil 7: Anleitung für den Gebrauch des Konformitätsbewertungsverfahrens  
Teil 8: Zusätzliche Anforderungen an Druckbehälter aus Aluminium und Aluminiumlegierungen  
Teil 10: Zusätzliche Anforderungen an Druckbehälter aus Nickel und Nickellegierungen
- [4] ASME Boiler & Pressure Vessel Code  
Section I: Konstruktion Dampfkessel  
Section II: Part A: Materialspezifikation für Stähle  
                 Part B: Materialspezifikation für Nichteisenmetalle  
                 Part C: Schweißzusatzwerkstoffe  
                 Part D: Materialkennwerte  
Section III: Komponenten für Kernkraftwerke  
Section IV: Heizkessel  
Section V: Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung  
Section VIII: Div. 1: Konstruktion Druckbehälter  
                 Div. 2: Alternative Regeln für Druckbehälter  
                 Div. 3: Hochdruckbehälter

- Section IX: Schweißen und Löten  
Section X: Druckbehälter aus faserverstärktem Kunststoff
- [5] Gohlke K (2014) Die DIN EN 13445 und das AD 2000-Regelwerk – ein anwendungsorientierter Vergleich aus der Sicht eines Druckgerätebetreibers der chemischen Industrie, Bachelorarbeit, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg
- [6] DIN EN ISO 12944: Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme  
Teil 1: Allgemeine Einleitung  
Teil 2: Einteilung der Umgebungsbedingungen  
Teil 3: Grundregeln der Gestaltung  
Teil 4: Arten von Oberflächen und Oberflächenvorbereitung  
Teil 5: Beschichtungssysteme  
Teil 6: Laborprüfungen zur Bewertung von Beschichtungssystemen  
Teil 7: Ausführung und Überwachung der Beschichtung  
Teil 8: Erarbeiten von Spezifikationen für Erstschatz und Instandsetzung
- [7] Richtlinie 2006/42/EG (Maschinen-Richtlinie – MRL) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17.05.2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG
- [8] Richtlinie 2014/34/EU (ATEX-Herstellerrichtlinie) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26.02.2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten für Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen (ABl. L 96/309)
- [9] EN 13463-1: Nicht-elektrische Geräte für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen  
Teil 1: Grundlagen und Anforderungen
- [10] Weber K H (2008) Dokumentation verfahrenstechnischer Anlagen. Praxishandbuch mit Checklisten und Beispielen, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
- [11] Weber K H (2016) Inbetriebnahme verfahrenstechnischer Anlagen: Praxishandbuch mit Checklisten und Beispielen, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
- [12] Sattler K, Kasper W (2000) Verfahrenstechnische Anlagen: Planung, Bau und Betrieb, Wiley-VCH Verlag, Weinheim
- [13] Wagner W (1993) Rohrleitungstechnik, Vogel Verlag, Würzburg
- [14] Wegener E (2003) Montagegerechte Anlagenplanung, Wiley-VCH Verlag, Weinheim
- [15] Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure – HOAI) vom 10.07.2013

- 
- [16] DIN 1356-1, Bauzeichnungen  
Teil 1: Arten, Inhalte und Grundregeln der Darstellung
  - [17] DIN ISO 4157: Zeichnungen für das Bauwesen
  - [18] Bernecker, G (2002) Klassiker der Technik - Planung und Bau verfahrenstechnischer Anlagen: Projektmanagement und Fachplanungsfunktionen, Springer-Verlag, Berlin
  - [19] Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 09.03.2011 zur Festlegung harmonischer Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates (ABI. L 88/5)
  - [20] DIN EN 1090: Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken  
Teil 1: Konformitätsnachweisverfahren für tragende Bauteile  
Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken  
Teil 3: Technische Regeln für die Ausführung von Aluminiumtragwerken  
Teil 4: Technische Anforderungen an tragende, dünnwandige, kaltgeformte Bauelemente und Bauteile für Dach-, Decken-, Boden- und Wandanwendungen aus Stahl  
Teil 5: Technische Anforderungen an tragende, dünnwandige, kaltgeformte Bauelemente und Bauteile für Dach-, Decken-, Boden- und Wandanwendungen aus Aluminium
  - [21] DGFS (2003) Feuerfestbau: Werkstoffe – Konstruktion – Ausführung, Vulkan-Verlag, Essen
  - [22] DIN EN 13480: Metallische industrielle Rohrleitungen  
Teil 1: Allgemeines  
Teil 2: Werkstoffe  
Teil 3: Konstruktion und Berechnung  
Teil 4: Fertigung und Verlegung  
Teil 5: Prüfung  
Teil 6: Zusatzanforderungen an erdgedeckte Rohrleitungen  
Teil 7: Anleitung für Konformitätsbewertungsverfahren  
Teil 8: Zusatzanforderungen an Rohrleitungen aus Aluminium und Aluminiumlegierungen
  - [23] EN 1591: Regeln für die Auslegung von Flanschverbindungen mit runden Flanschen und Dichtung
  - [24] VDI 2440: Emissionsminderung – Mineralölraffinerien
  - [25] VDI 2290: Emissionsminderung – Kennwerte für dichte Flanschverbindungen
  - [26] DIN EN 26704: Kondensatableiter; Klassifikation

- 
- [27] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA-Lärm) vom 26.08.1998 (GMBL S. 503)
  - [28] Quelle: Mitteilung des Umweltamts Düsseldorf, Sächsische Zeitung, 2013
  - [29] Wossog G (Hrsg.) (2001) Handbuch Rohrleitungsbau, Vulkan-Verlag, Essen
  - [30] Gülich J E (1999) Kreiselpumpen: ein Handbuch für Entwicklung, Anlagenplanung und Betrieb, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
  - [31] ATV-DVWK-A-780-1: Technische Regel wassergefährdender Stoffe (TRwS), Oberirdische Rohrleitungen
  - [32] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA-Luft) vom 24.07.2002 (GMBL S. 511)
  - [33] EN 60079: Explosionsgefährdete Bereiche - Teil 0: Betriebsmittel - Allgemeine Anforderungen (d. Verf.: für Gase, Dämpfe, Nebel)
  - [34] EN 61241: Elektrische Betriebsmittel zur Verwendung in Bereichen mit brennbarem Staub
  - [35] Wagner W (1996) Regelarmaturen, Vogel Verlag, Würzburg
  - [36] Strohrmann G (2002) Automatisierung verfahrenstechnischer Prozesse, Oldenburg Industrieverlag, München
  - [37] Bindel T, Hofmann D (2013) Projektierung von Automatisierungsanlagen – Eine effektive und anschauliche Einführung, Springer Viehweg Verlag, Wiesbaden
  - [38] Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG) vom 24.02.2012 (BGBl. I S. 212)
  - [39] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) vom 26.09.2002 (BGBl. I S: 3830)
  - [40] DIN EN 61355 (IEC 61355), Klassifikation und Kennzeichnung von Dokumenten für Anlagen, Systeme und Einrichtungen
  - [41] DIN 28000, Chemischer Apparatebau, Dokumentarten im Lebensweg von Prozessanlagen  
Teil 1: Erfassung der grundlegenden und ergänzenden Dokumentarten  
Teil 2: Definition der Dokumentarten

## 8 Ausblick zu Beschaffung, Bau/Montage und Inbetriebnahme

In den drei Projektphasen 7 (Beschaffung), 8 (Bau/Montage) und 9 (Inbetriebnahme) werden die Engineeringergebnisse sowie die zugehörige Ausführungs-dokumentation gleichermaßen genutzt und fortgeschrieben.

Hinsichtlich der Engineering- und Dokumentationsleistungen, die u. U. in diesen drei Projektphasen stattfinden, sind nachfolgend einige Überlegungen und Hinweise angeführt.

### 8.1 Übergreifende Hinweise (Phasen 7 bis 9)

- Die technischen Änderungen sind konsequent auf das notwendige Maß zu minimieren.
- Die Anwendung der Front-End-Loading-Strategie bei der Projektabwicklung (s. Abschn. 1.3) dient dieser Zielstellung und ist zu empfehlen. Es gilt die einfache Erfahrung, die vom Independent Projekt Analysis Inc. (IPA) statistisch bewiesen wurde:

*Wer sein Projekt in den ersten Phasen, insbesondere während der Grundlagenermittlung und des Basic Engineerings, gründlich definiert und bis zur Investitionsentscheidung präzise plant, dem wird es am Ende gedankt.*

- Notwendige technische Änderungen sind konsequent nach den verbindlichen Change-Control-Grundsätzen schriftlich zu beantragen und freizugeben.  
Dies gilt auch für Änderungen, die nicht kostenrelevant sind.
- Freigegebene Änderungen sollten unmittelbar nach Freigabe an alle Betroffene kommuniziert werden.  
Gleiches gilt für die geänderten Dokumente, die mit einem neuen Revisionsindex versehen wurden und im Grundverständnis ein neues Dokument darstellen. Entsprechend müssen die alten Dokumente, die ersetzt wurden, aus dem „Verkehr gezogen“ werden.
- Der Auftragnehmer, dessen Leistungen von der geforderten technischen Änderung betroffen sind, sollte zeitnah einen Change-Order-Antrag (Claim) gegenüber dem Verursacher stellen.  
Dies ist einerseits wirtschaftlich geboten, zum anderen verringern die sichtbaren Konsequenzen die Änderungsfreudigkeit und -häufigkeit des Partners.

## 8.2 Hinweise zur Beschaffungsphase (Phase 7)

- Der weitaus größte Teil der Anlage und insbesondere die prozessrelevanten Teilanlagen sollten von einem Engineeringpartner („aus einer Hand“) geplant werden und ggf. auch beschafft werden (z. B. über einen LSTK-Vertrag).
- Erfolgt die Beschaffung durch den Investor selbst, so sollte der Engineeringpartner (Generalplaner) unbedingt den Beschaffungsvorgang (Procurement) im Auftrag des Investors begleiten und kontrollieren. Dies erscheint zwingend, wenn im Rahmen des Beschaffungsvorgangs auch Engineeringleistungen mit vergeben werden.
- Die grundsätzlichen Ausführungen zur Beschaffung werden i. Allg. in einer *Beschaffungsrichtlinie* (Synonym: Einkaufsrichtlinie) des zuständigen Unternehmens formuliert.

Die Richtlinie ist ähnlich einem Anlagenvertrag (s. Mustervertrag in Tabelle 2.24, Abschn. 2.5.2) gegliedert und macht, zugeordnet zu den Vertragsschwerpunkten, prinzipielle Angaben über Ziele, Verantwortlichkeiten, Prozeduren, Haltepunkte, Checklisten usw.

- Bei größeren Projekten reichen diese firmeninternen Festlegungen nicht aus. Sie sind, z. B. in Form einer Projektrichtlinie BESCHAFFUNG, durch abgestimmte projektspezifische Festlegungen zu ergänzen.

Tabelle 8.1 zeigt ein Beispiel einer solchen Projektrichtlinie..

**Tabelle 8.1** Inhaltsverzeichnis einer Projektrichtlinie BESCHAFFUNGSLEISTUNGEN (Praxisbeispiel)

---

### 1 Grundsätzliches

- 1.1 Organisationsstruktur, Organigramm
- 1.2 Projektspezifische Grundlagen für Beschaffungsleistungen
- 1.3 Vorgaben aus Anlagenvertrag
  - 1.3.1 Verantwortlichkeiten
  - 1.3.2 Termine

---

### 2 Beschaffung

- 2.1 Leistungskatalog
- 2.2 Planung der Beschaffung
- 2.3 Bieterauswahl
- 2.4 Anfragen
  - 2.4.1 Benennung und Kennzeichnung
  - 2.4.2 Geltende Liefer- und Einkaufsbedingungen
  - 2.4.3 Geheimhaltung
  - 2.4.4 Ersatz- und Verschleißteile
  - 2.4.5 Serviceleistungen
- 2.5 Angebote
  - 2.5.1 Angebotseinhaltung
  - 2.5.2 Angebotsvergleich

**Tab. 8.1** (Fortsetzung)

<b>2</b>	<b>Beschaffung</b> (Fortsetzung)
2.6	Angebotsverhandlungen <ul style="list-style-type: none"> <li>2.6.1 Verhandlungsprotokoll</li> <li>2.6.2 Zahlungsbedingungen</li> <li>2.6.3 Bürgschaften</li> <li>2.6.4 Dokumentation</li> <li>2.6.5 Vertragsstrafen, Pönenal</li> <li>2.6.6 Gewährleistung</li> <li>2.6.7 Leistungsgarantien</li> <li>2.6.8 Mängel an Lieferungen/Leistungen</li> <li>2.6.9 Qualitätssicherung</li> <li>2.6.10 Materialbeschaffungs- und Fertigungsplan</li> <li>2.6.11 Versicherungen</li> <li>2.6.12 Optionen (z. B. Ersatz- und Verschließteile für 2 Jahre)</li> </ul>
<b>3</b>	<b>Bestellung</b> (kaufmännisch) <ul style="list-style-type: none"> <li>3.1 Bestellausführung</li> <li>3.2 Bestellannahme               <ul style="list-style-type: none"> <li>3.1.1 Bestätigung</li> <li>3.1.2 Einsprüche</li> </ul> </li> </ul>
<b>4</b>	<b>Termincontrolling</b>
<b>5</b>	<b>Prüfungen, Freigaben, Entgegennahmen, Abnahmen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>5.1 Inspektionen und Prüfungen beim Hersteller</li> <li>5.2 Freigaben von Beschaffungsleistungen beim Hersteller           <ul style="list-style-type: none"> <li>5.2.1 Freigabe von Engineeringleistungen</li> <li>5.2.2 Freigaben zur Fertigung</li> <li>5.2.3 Test- und Probeläufe beim Hersteller</li> <li>5.2.4 Freigaben zur Auslieferung</li> </ul> </li> <li>5.3 Entgegennahme bzw. Abnahme von Lieferungen/Leistungen           <ul style="list-style-type: none"> <li>5.3.1 Entgegennahme der Lieferung</li> <li>5.3.2 Werkvertragliche Abnahmen</li> </ul> </li> </ul>
<b>6</b>	<b>Koordinierung der Bestellung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>6.1 Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten</li> <li>6.2 Schriftverkehr und Kommunikation</li> <li>6.2 Änderung der Bestellung</li> <li>6.3 Verhalten bei Abweichungen</li> </ul>
<b>7</b>	<b>Verpackung, Signierung, Transport</b>
<b>8</b>	<b>Rechnungsprüfung</b>
<b>Anhang</b>	
Anhang 1 Organigramm und Stellenbeschreibungen	
Anhang 2 Verhandlungsprotokoll (Muster)	
Anhang 3 Geheimhaltungsvereinbarung (Muster)	
Anhang 4 Diverse Formblätter und Checklisten für Prüfungen/Freigaben	
Anhang 5 Richtlinie für „Verpackung, Signierung, Transport“	

- Die Beschaffung der Gesamtanlage über zahlreiche **Package-Units (PU)**) und die Mitvergabe von Engineeringleistungen (u.a. auch Fließschemaarbeit) an unterschiedliche Package-Unit-Lieferanten, ist problematisch. Der Autor kennt Projekte mit über 50 PU's; auch für wichtige Verfahrensstufen.

Die zahlreichen Engineering- und Dokumentations-Schnittstellen zwischen den PU-Planern erfolgreich zu koordinieren, ist bei so vielen PU's, die zudem noch sicherheits- und prozessrelevant sind, nahezu unmöglich.

Ähnliches gilt für die Leistungen in der Montage- bzw. Inbetriebnahmephase. Ferner ist es unter diesen Bedingungen schwierig, für die Gesamtanlage umfassende Garantien/Gewährleistungen vertraglich zu realisieren (s. auch Abschn. 2.5.4).

- Die Beschaffung von Nebenanlagen (Medienversorgung, Abwasser-/Abluftreinigung, Lager, Ver-/Entladestationen, Absacklinien, Mischanlagen u.ä.) als Package-Units ist üblich und zweckmäßig.

In jedem Fall sind alle Engineering- und Dokumentationsleistungen des Package-Unit-Lieferanten im Angebot detailliert zu spezifizieren, zu verhandeln, zu vereinbaren und in die Qualitätssicherung des Auftraggebers aufzunehmen. Tabelle 8.2 enthält weitere Empfehlungen betreffs der Dokumentation.

**Tabelle 8.2** Spezielle Hinweise an Auftraggeber zwecks Beachtung der Dokumentationsleistungen in kaufmännischen Bestellungen bzw. Verträgen

---

- 1 Die Zahlung für das gelieferte Produkt sollte nur bei erfolgter Lieferung der bestellgerechten Hersteller-/Lieferantendokumentation erfolgen.  
Die Vereinbarung eines eigenen Zahlungsmeilenstein (z. B. 10% des Gesamtbetrags) für die Dokumentation ist häufig für den Hersteller nicht verpflichtend genug.
  - 2 Es ist grundsätzlich, z. B. in Form eines Dokumentenverzeichnisses, zu vereinbaren, welche Dokumente in Papierform und/oder welche Dokumente als Dateien (inkl. Format, Erstellungssoftware usw.) zu liefern sind.
  - 3 Dokumente und Daten, die der Hersteller vorab zur produktbegleitenden Dokumentation übergeben soll, wie z.B. Massen, Maßblätter, Anschlusskoordinaten, Vorab-Zeichnungen, sind ausdrücklich zu vereinbaren.
  - 4 Die Lieferung einer **EG-Konformitätserklärung** (inkl. Angabe der Rechtsgrundlage) ist ausdrücklich zu vereinbaren. Dies gilt insbesondere für Maschinen, da die Hersteller mitunter geneigt sind, nur eine Herstellererklärung mitzuliefern und die Vorschriften nicht immer eindeutig sind.
  - 5 Die Lieferung zusätzlicher Dokumente aus dem EG-Konformitätsbewertungsverfahren, wie z. B.
    - Bescheinigungen über Bau- und Druckprüfungen von Druckgeräten,
    - Ex- bzw. PTB-Bescheinigungen für Geräte oder Maschinen in explosionsgefährdeten Bereichen,
    - Herstellerbescheinigungen von Zuliefern (Subkontraktoren)ist ausdrücklich zu bestellen. Ansonsten liefern die Hersteller häufig nur die EG-Konformitätserklärung ohne Begleitdokumente.
-

**Tab. 8.2** (Fortsetzung)

- 
- 6** Die Lieferung qualitätsrelevanter Nachweisdokument, wie z. B.
- Prüfbescheinigungen für metallische Werkstoffe (sog. Werkstoffzeugnisse),
  - Dokumente (Berichte, Protokolle, Aufzeichnungen) über zerstörungsfreie Werkstoffprüfungen, über Eignungstest von Materialien sowie über Messungen der Oberflächengüte, der Beschichtungsdicken, der Isolationswiderständen,
  - Nachweise über die Einhaltung vorgegebener Fertigungs- und Prüfvorschriften des Auftraggebers
- ist ausdrücklich zu bestellen.
- 
- 7** Die ggf. gewünschte Lieferung der **Risikobeurteilung** des Herstellers ist ausdrücklich zu bestellen. Aus den Vorschriften folgt eine derartige Lieferpflicht des Herstellers nicht.
- 
- 8** Die Lieferung von speziellen Arbeitsdiagrammen, Kennlinienfeldern u. ä. Angaben über das Betriebsverhalten der jeweiligen Anlagenkomponente, die die Inbetriebnehmer und Betreiber benötigen, ist ausdrücklich zu bestellen. Ansonsten machen die Hersteller innerhalb der Betriebsanleitung ggf. nur allgemeine Angaben.
- 
- 9** Falls in der Betriebsanleitung strukturierte und ausführliche Hinweise und Prozeduren bei der Fehlersuche gewünscht werden, sind diese ausdrücklich zu bestellen.
- 
- 10** Die Übergabe von Wartungs- und Inspektionslisten sowie von Ersatz- und Verschleißteillisten ist nach Umfang und Form ausdrücklich zu bestellen.
- 
- Die Gliederungen der Package-Unit-Dokumentationen sollten möglichst identisch sein mit der Gesamtgliederung der Anlagendokumentation bzw. der AS BUILT- Dokumentation (s. z.B. Tab. 7.18 in Abschn. 7.4).
  - Die Ausführungen des vorherigen Anstrichs gelten auch für die Bestellung von Einzelausrüstungen.  
In Abschn. 7.2.2, Abb. 7.5 und 7.6 wurden Spezifikationen für die „Dokumentenanforderung für MASCHINEN“ sowie für die „Dokumentenanforderung für APPARATE/BEHÄLTER“ abgebildet. In Tabelle 8.3 ist ein weiteres Praxisbeispiel aus einem Pharmaprojekt angeführt. Das Inhaltsverzeichnis wurde allen Lieferanten von Einzelausrüstungen als Standardgliederung ihrer Produkt-dokumentation vorgegeben und verbindlich vereinbart.
  - In der Bestellung bzw. im Vertrag ist zu vereinbaren, welche Dokumente in elektronischer Form und/oder in Papierform zu liefern sind.  
Bezüglich der elektronischen Dokumente muss ferner das Dateiformat und ggf. auch das Erstell-Werkzeug (Software-Tool) abgestimmt werden.
  - Der Besteller muss die beauftragten Engineering- und Dokumentationsleistungen mit signifikanten Zahlungszielen verbinden und konsequent in sein Qualitätssicherungssystem einbeziehen. Wichtige Dokumente sind von ihm zu prüfen und freizugeben, ohne dass die alleinige Verantwortung des Auftragnehmers dadurch eingeschränkt wird. Wie dies vertraglich geregelt werden kann, wurde in Abschn. 1.8.2 vorgeschlagen.

**Tabelle 8.3** Inhaltsverzeichnis „Lieferantendokumentation für Einzelausrüstungen“ einer Pharmaanlage (Praxisbeispiel)

<b>1</b>	<b>Inhaltsverzeichnis</b>
<b>2</b>	<b>Allgemeine Dokumentation Equipment</b>
2.1	Leistungsdaten
2.1.1	Kennlinien
2.1.2	Datenblätter
2.1.3	Festigkeitsberechnungen
2.2	Zeichnungen und Listen
2.2.1	Zusammenstellungszeichnungen mit Stücklisten
2.2.2	Detailzeichnungen mit Stücklisten
2.2.3	Ersatzteillisten und Verschleißteillisten
<b>3</b>	<b>Unterlagen zu zugehörigen Equipmentteilen (inkl. EMSR)</b>
<b>4</b>	<b>Betriebsanleitungen</b>
<b>5</b>	<b>Wartung / Instandsetzung / Reparaturaufträge</b>
<b>6</b>	<b>Anfragen / Angebote / Bestellungen / Wareneingang</b>
<b>7</b>	<b>Prüfdokumentation</b>
7.1	Prüfplan
7.2	Abnahme-/ Mess- und Prüfprotokolle
7.3	Werkstoffzeugnisse
7.4	Protokolle Anstrich und Dämmung
7.5	QS-Protokolle / GMP-Prüfdokumente
7.6	EG-Konformitätserklärungen oder ggf. Einbauerklärungen
7.7	Sonstige relevante Unterlagen gemäß Maschinen-RL, Druckgeräte-RL, ATEX-Hersteller-RL u.a. relevanter Rechtsvorschriften
<b>8</b>	<b>Nachweisunterlagen mit Prüfbuch u.a. sicherheitsrelevanten Dokumenten</b>
<b>9</b>	<b>Reinigung</b>
9.1	Reinigungskonzept
9.2	Bescheinigung über Erstreinigung durch Hersteller
<b>10</b>	<b>Grundsätzliche Anforderungen</b>
10.1	Kennzeichnung des As-built-Status
10.2	Revisionsangabe
10.3	Gültigkeitsnachweis mit Unterschriften, Datum: erstellt/geprüft/freigegeben
10.4	Jedes Dokument (auch Deckblatt und Inhaltsverzeichnis) muss mit Apparaturnummer (Pos.-Nr.) gekennzeichnet sein.
10.5	Vollständigkeit

- Es sollte in der Bestellung bzw. im Vertrag der Grundsatz realisiert werden:

*Wer für die Leistung vergütet wird, muss auch für die Ergebnisse garantieren bzw. gewährleisten.*

Das bedeutet, wenn der Hersteller die Ausrüstung (Wärmeübertrager, Kolonne, Rührwerk, Abscheider u.ä.) verfahrenstechnisch auslegt, sollte er auch die Ein-

haltung der Leistungsparameter (z.B. Durchsatz, Produktreinheit, Mischgüte, Abscheidegrad usw.) garantieren und für die Funktion gewährleisten.

- Während des Beschaffungsvorgangs muss von beiden Partnern der Grundsatz „gelebt“ werden:

*Die Dokumentation ist als Teil des Produkts zu sehen und zu realisieren!*

- Der Besteller muss entscheiden, ob die Hersteller-/Lieferantendokumentation „frei Baustelle“ oder „frei Stammhaus“ geliefert werden soll.

In der Regel sollte die Auslieferung über das Stammhaus erfolgen, da noch Kontroll-, Kennzeichnungs- und Einordnungsaufgaben sowie weitere Verwaltungsmaßnahmen zu erledigen sind.

Falls die Dokumentationsprüfung durch den Besteller bereits vor Auslieferung erfolgte, kann sie im Sonderfall auch direkt zur Baustelle geliefert werden.

### 8.3 Hinweise zur Bau-/Montagephase (Phase 8)

- Der Baustellenleiter und die Fachbauleiter sollten die Befugnis haben, kleinere planerische Änderungen an den Ausführungsdocumenten, die ausschließlich die Bau-/Montageausführung betreffen, eigenverantwortlich zu veranlassen.

- Der Baustellenleiter und die Fachbauleiter sind für die Erfassung und Eintragung der technischen Änderungen, die sich während der Bau-/Montageausführung ergeben, verantwortlich.

Dies erfolgt i.d.R. durch (Rot-)Eintragungen in ein Masterdokument.

- Die bestellgerechten Hersteller-/Lieferantendokumente müssen dem Baustellenleiter für die Bau- und Montageausführung zur Verfügung gestellt werden. Dabei sind die entsprechenden Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten der Fachbauleiter (FBL) (z.B. für Maschinen/Apparate, PLT-Technik und Technische Gebäudeausrüstung) zu klären.

Die FBL sollten während der Baustellenabwicklung jeweils „ihre“ Hersteller-/Lieferantendokumente verantwortlich pflegen und verwalten. Dies schließt auch deren Revision bei Änderungen ein.

In den meisten Fällen werden sie diese Arbeiten nicht persönlich bewältigen können und mit der Ausführung den Hersteller bzw. Dritte, ggf. auch Spezialisten aus dem Stammhaus, beauftragen. Dies ändert aber nichts an ihrer Verantwortung.

- Der Baustellenleiter ist gegenüber dem Projektleiter für die Pflege und Fortschreibung der gesamten Baustellendokumentation verantwortlich.

Er muss absichern, dass zum Zeitpunkt **Mechanische Fertigstellung** (Mechanical Completion) zumindest ein handrevidiertes Arbeitsexemplar der **Anlagen-dokumentation** (falls lt. Anlagenvertrag keine werkvertragliche Dokumentationsabnahme zu diesem Zeitpunkt vereinbart ist) bzw. der **AS BUILT-Dokumentation** (falls lt. Anlagenvertrag zu diesem Zeitpunkt eine werkvertragliche Dokumentationsabnahme vereinbart ist) vor Ort verfügbar ist.

*Ohne eine (bis auf nicht-wesentliche Restpunkte) vollständige und as-built-gerechte Anlagendokumentation bzw. AS BUILT-Dokumentation darf das Protokoll MECHANISCHE FERTIGSTELLUNG nicht unterschrieben und die Inbetriebnahme nicht begonnen werden.*

- In Abschn. 2.4.3, Tab. 2.23 ist beispielhaft das „Inhaltsverzeichnis einer Spezifikation für die AS BUILT-Dokumentation“ angegeben. Mögliche ergänzende Vorgaben zu Qualitätsmerkmalen der Dokumentation enthält Tabelle 8.4.

**Tabelle 8.4** Qualitätsanforderungen an die AS BUILT-Dokumentation (Praxisbeispiel für eine Pharmaanlage)

---

## 1 Grundsätzliche Forderungen

- 1.1 Die AS BUILT-Dokumentation muss den Vorschriften und Normen, die bei der Vertragsleistung zu beachten sind, entsprechen.
  - 1.2 Die AS BUILT-Dokumentation muss den Anlagenzustand zum Zeitpunkt der Abnahme der vertraglichen Lieferungen und Leistungen
    - vollständig
    - widerspruchsfrei und
    - in Übereinstimmung mit dem ausgeführten Zustand der Anlage wiedergeben bzw. beschreiben. Ausnahmen sind zu vereinbaren.
  - 1.3 Die AS BUILT-Dokumentation muss in Papierform und in elektronischer Form eine effiziente Nutzung, Pflege und Fortschreibung der Dokumentation ermöglichen.
  - 1.4 Die AS BUILT-Dokumentation muss alle notwendigen Unterlagen für einen bestimmungsgemäßen und sicheren Betrieb der Anlage sowie Unterlagen für eine sichere und effiziente Instandhaltung der Anlage enthalten.
  - 1.5 Die AS BUILT-Dokumentation muss gemäß dem abgestimmten Inhaltsverzeichnis strukturiert und begrifflich (z. B. Überschriften, Bezeichnung der Dokumentenarten) gekennzeichnet sein.
- 

## 2 Ganzheitlichkeit/Vollständigkeit

- 2.1 Die AS BUILT-Dokumentation muss alle technischen Dokumente, die insbesondere Informationen über die Ausführung, die Prüfung, den Betrieb und die Instandhaltung der Anlage enthalten, ganzheitlich beinhalten.
  - 2.2 Außerhalb des Inhaltsverzeichnisses und der Systematik der AS BUILT-Dokumentation darf es keine weiteren technischen Dokumente geben.
  - 2.3 Die Dokumente, die aufgrund von Rechtsverordnungen und behördlichen Auflagen bereitzustellen sind, müssen vollständig (d.h. zu 100% bei Überprüfungen) vorhanden sein.
  - 2.4 Die Dokumente, die zum Nachweis der Anlagen- und Arbeitssicherheit sowie zum Nachweis des Gesundheits- und Umweltschutzes dienen, müssen vollständig (d.h. zu 100% bei Überprüfungen) vorhanden sein.
  - 2.5 Die Qualitätsprüfungs- und Abnahmedokumente müssen vollständig (d. h. zu 100% bei Überprüfungen) vorhanden sein.
  - 2.6 Die dynamischen (veränderlichen) Dokumente (z. B. R&I-Fließbilder, Aufstellungspläne, Funktions- und Schaltpläne) müssen vollständig (d.h. zu 100% bei Überprüfungen) vorhanden sein.
-

**Tab. 8.4** (Fortsetzung)**2 Ganzheitlichkeit/Vollständigkeit** (Fortsetzung)

- 2.7 Alle weiteren Dokumente müssen nahezu vollständig (d. h. zu mindestens 98% bei Überprüfungen) vorhanden sein.
- 2.8 Nicht bzw. nichteindeutig lesbare Dokumente sowie nichtvollständige Dokumente sind de facto nicht vorhanden.

**3 Widerspruchsfreiheit/Eindeutigkeit**

- 3.1 Die Aussagen, die an den verschiedenen Stellen der Dokumentation zum gleichen Sachverhalt getroffen werden, müssen widerspruchsfrei sein.
- 3.2 Redundanzen von Dokumenten, z. B. die Ablage des gleichen Dokumentes an verschiedenen Stellen der Dokumentation, sind zu vermeiden.
- 3.3 In der Dokumentation (z. B. im Allgemeinen Teil) ist eine Änderungsmatrix für die in der AS BUILT-Dokumentation redundant vorhandenen Dokumente zu erstellen.
- 3.4 Die Begriffswahl ist eindeutig nach dem deutschen Normenwerk und dem Stand der Technik zu treffen. Synonyme sind zu vermeiden.
- 3.5 Die Geräte-/Herstellerdokumentationen sind so zu kennzeichnen, dass eine eindeutige Zuordnung zur Anlagenkomponente erfolgt.
- 3.6 Die Papierdokumente und DV-Dokumente der AS BUILT-Dokumentation mit dem gleichen Dokumentenkennzeichen müssen inhaltlich identisch sein.  
Im Widerspruchsfall hat das Papierdokument das Pramat.
- 3.7 Handschriftliche Eintragungen müssen dokumentenecht sein.

**4 As built-Gerechtheit**

- 4.1 Dokumente, die
  - als Grundlage für wiederkehrende Prüfungen,
  - für eine sichere und funktionsgerechte Betriebsführung,
  - als Grundlage für Instandhaltungs- und/oder Erweiterungsmaßnahmen
 dienen, müssen umfassend und aktuell (d. h. zu 100% bei Überprüfungen) den As built-Zustand wiedergeben.
- 4.2 Alle anderen Dokumente müssen nahezu umfassend und aktuell (d.h. zu 98% bei Überprüfungen) den As Built-Zustand bzw. den Bestand wiedergeben.
- 4.3 Die As built-Revision muss durch persönliche Unterschrift mit Datum auf dem Dokument bestätigt werden. Der/das per CAD-Software gezeichnete Name/ Kürzel reicht nicht.
- 4.4 Die Angaben in der Dokumentation (z. B. R&I-Fließbildern, Datenblättern) müssen mit den zuordenbaren Angaben auf der Anlagenkomponente (z. B. Firmenschild, Stempel, Beschilderung) übereinstimmen.
- 4.5 Bewusst vorgenommene und zulässige Einschränkungen zur As built-Wiedergabe sind an geeigneter Stelle in der Dokumentation zu vermerken.

**5 Nutzergerechtigkeit/Ergänzungsfreundlichkeit**

- 5.1 Im allgemeinen Teil der AS BUILT-Dokumentation ist eine Anleitung zu deren Nutzung anzugeben.

**Tab. 8.4** (Fortsetzung)**5 Nutzergerechtigkeit/Ergänzungsfreundlichkeit** (Fortsetzung)

- 5.2 Im 1. Ordner der Papierdokumentation ist das Gesamtinhaltsverzeichnis der AS BUILT-Dokumentation abzulegen.
- 5.3 Im 1. Ordner einer Hauptgruppe (Kapitel) ist das Inhaltsverzeichnis der jeweiligen Hauptgruppe (Kapitel) anzugeben.
- 5.4 Jedes Dokument der AS built-Dokumentation muss durch entsprechende Kennzeichnung/Beschriftung betreffs Dokumentenart, Zuordnung zur Anlagenkomponente und Ablageort des Papierdokumentes eindeutige identifizierbar sein (sog. Selbstauskunft des Dokuments).
- 5.5 Jeder Ordner der AS BUILT-Dokumentation darf maximal zu 75% gefüllt sein

**6 Gliederung / Systematik**

- 6.1 Die AS BUILT-Dokumentation muss übersichtlich und logisch gegliedert sein, z.B. um die Suchzeiten zu minimieren und die Dokumentenverwaltung/-pflege zu erleichtern.
- 6.2 Die AS BUILT-Dokumentation ist so zu gliedern, dass eine eindeutige Zuordnung der Dokumente zu der Anlage bzw. den Anlagenteilen möglich ist.
- 6.3 Die Gliederungs- und Ablagesystematik sowie die Ordnung (Systematik, Beschriftung, Form) auf der Ablage-/Ordnerebene muss eindeutig und ergänzungsfreundlich sein.
- 6.4 Package-Unit-Dokumentationen u. ä. Teildokumentationen sollten identisch und analog zur Gesamtdokumentation strukturiert sein.
- 6.5 Abschnitte, die viele gleichartige Einzeldokumente enthalten, müssen nochmals strukturiert und/oder mit einem Inhaltsverzeichnis versehen werden.

**7 Elektronisches Exemplar**

- 7.1 Das Elektronische Exemplar ist in Form eines Handbuchs, mit den Datenträgern sowie einer Erläuterung (ggf. in elektronischer Form) zu übergeben.
- 7.2 Die auf Datenträgern (z. B. DVD) übergebenen Dokumente müssen mit Hilfe der vereinbarten Software lesbar und bearbeitbar sein.
- 7.3 Jeder Datenträger ist wie folgt zu beschriften: *Projektname, laufende Nummer, Ersteller, Erstelldatum*.
- 7.4 Zusammenstellung eines Gesamtverzeichnisses der übergebenen Datenträger mit Angaben pro Datenträger von: *Datenträgerbezeichnung/-nummer, zugehöriges Kapitel der AS BUILT-Dokumentation, Erstelldatum, enthaltene Dateien, Gesamtumfang aller Dateien dieses Datenträgers u. ä. Ordnungsangaben*.
- 7.5 Zusammenstellung eines Inhaltsverzeichnisses für jeden übergebenen Datenträger mit Angaben pro Datei von: *Pfadbezeichnung, Dateiname, Dokumentenbezeichnung, Version, Datum der letzten Änderung, Dokumentenkennzeichen, Erstellungssoftware mit Versionsangabe, Format, Dateigröße komprimiert und/oder unkomprimiert u. ä. Ordnungsangaben*.
- 7.6 Das Ordnungssystem, welches der Datenträger-, Dateien- und Dokumentenkennzeichnung zugrunde gelegt wurde, ist nachvollziehbar zu dokumentieren.

- Gegen Ende der Bau-/Montagephase ist im Rahmen des *Betriebstestats* (s. Abb. 1.12 in Abschn. 1.7.2) im Team zu kontrollieren, nachzuweisen und zu testieren, dass das „engineerte“ Sicherheitskonzept (exakt: GSU/HSE-Konzept) in der Anlage umfassend realisiert wurde.

Zu diesem Zweck ist insbesondere nachzuweisen, dass

- alle Prüfungen gemäß relevanter Rechtsvorschriften, behördlicher Vorgaben und dem vertragsrelevanten Stand der Technik durchgeführt und nachvollziehbar dokumentiert sind.
- für den Anlagenzustand zum Ende der Bau-/Montagephase, d.h. vor Inverkehrbringen der Anlage, eine Risikobeurteilung durchgeführt wurde und daraus resultierende Aktionspunkte erfüllt sind bzw. nicht die Inbetriebnahme behindern.

Das „up-daten“ der Anlagen-Risikobeurteilung sollte in Form einer komplett überarbeiteten und aktualisierten Risikobeurteilung, z.B. als sog. As-built-Hazop-Studie, durchgeführt werden.

Die Dokumente der vorliegende Risikobeurteilung am Ende der Phase 6 (Ausführungsplanung) mit dem Bearbeitungsstatus: AFC (Approved for Construction) können dafür als Grundlage dienen (s. Abschn. 7.3).

- die geltende Genehmigung den aktuellen Anlagenzustand und den geplanten Anlagenbetrieb abdeckt und alle Vorgaben des Genehmigungsbescheids erfüllt sind.
- Da aus Sicht des Autors zum Zeitpunkt **Mechanische Fertigstellung**, d. h. mit Beginn der Inbetriebnahmephase, die verfahrenstechnische Anlage in Verkehr gebracht wird (s. Abschn. 4.3.1), ist spätestens zu diesem Zeitpunkt die Frage zu beantworten:

*Muss für die verfahrenstechnische Gesamtanlage  
die EG-Konformität erklärt werden?*

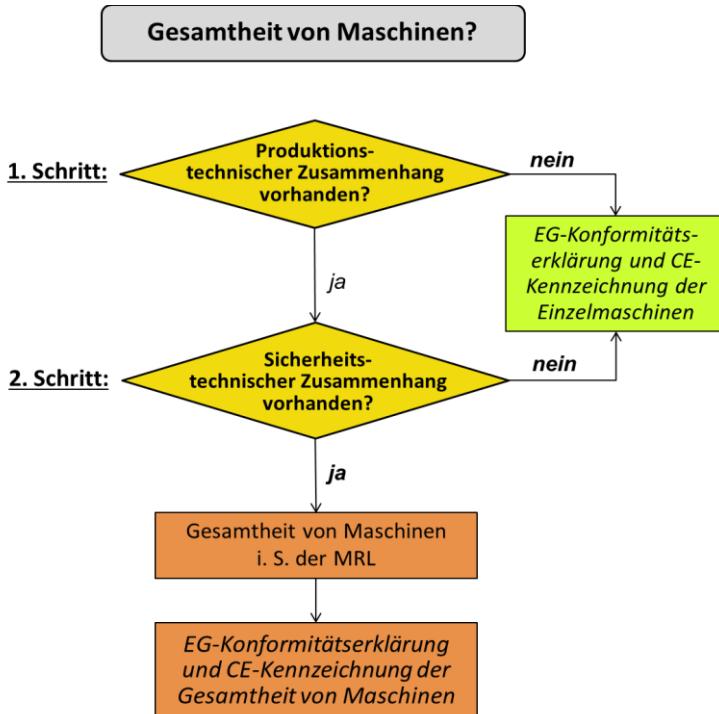
Die Fragestellung ergibt sich grundsätzlich aus der Maschinenrichtlinie (MRL) [1] nach folgenden, aus dem *Interpretationspapier zum Thema „Gesamtheit von Maschinen“* [2] zitierten Sachverhalt:

Gemäß Artikel 2, Buchstabe a, 4. Gedankenstrich der MRL bzw. § 2, Nummer 2, Buchstabe d der Maschinenverordnung ist eine „Maschine“ auch:

- eine Gesamtheit von Maschinen [...] oder von unvollständigen Maschinen [...], die, damit sie zusammenwirken, so angeordnet sind und betätigt werden, dass sie als Gesamtheit funktionieren.

Da in nahezu jeder verfahrenstechnischen Anlage mehrere Maschinen zum Einsatz kommen, stellt sich rechtlich die Frage, ob die *verfahrenstechnische Anlage* auch immer eine „*Gesamtheit von Maschinen*“ darstellt und auf Grund dessen für die verfahrenstechnische Gesamtanlage immer eine *EG-Konformitätserklärung* auszustellen ist.

Die Antwort gibt das zuvor erwähnte Interpretationspapier. Dieses Dokument gibt Hilfestellung bei der Interpretation der Begriffsdefinition „Gesamtheit von Maschinen“ gemäß der MRL. Das Interpretationspapier enthält das in Abb. 8.1 dargestellte Ablaufschema zur Entscheidungsfindung.



**Abb. 8.1** Entscheidungshilfe – Gesamtheit von Maschinen nach Maschinenrichtlinie gemäß dem Interpretationspapier [2]

Zur näheren Vorgehensweise steht in Abschnitt 2 des Interpretationspapiers:

## 2 Anwendung der MRL auf eine Gesamtheit von Maschinen

Gemäß der Begriffsbestimmung in Abschnitt 1 (d. Verf.: Gesamtheit von Maschinen) ist damit von Bedeutung, dass

1. ein produktionstechnischer Zusammenhang dadurch gegeben ist, dass
  - die einzelnen Maschinen bzw. unvollständigen Maschinen als *Gesamtheit* in einer Weise *angeordnet* sind, dass sie als geschlossene Einheit anzusehen sind (hier wird insbesondere auf die zusammenhängende Aufstellung abgehoben)
  - und
  - die einzelnen Maschinen bzw. unvollständigen Maschinen als *Gesamtheit zusammenwirken*, (das bedeutet z. B., dass das Zusammenwirken auf ein gemeinsames Ziel hin ausgerichtet sein muss, beispielsweise auf die Herstellung eines bestimmten Produkts)
  - und
  - die einzelnen Maschinen bzw. unvollständigen Maschinen als *Gesamtheit betätigt* werden, d.h. über eine gemeinsame oder übergeordnete, funktionale Steuerung oder gemeinsame Befehleinrichtungen verfügen

**und**

2. die einzelnen Maschinen bzw. unvollständigen Maschinen sicherheitstechnisch als Gesamtheit funktionieren und damit auch in dieser Hinsicht eine Einheit bilden (sicherheitstechnischer Zusammenhang).

Das ist der Fall, wenn Maschinen und/oder unvollständige Maschinen so miteinander verbunden sind, dass ein Ereignis, das bei einem Bestandteil der Anlage auftritt, zu einer Gefährdung bei einem anderen Bestandteil führt und für diese „Gesamtheit“ sicherheitstechnische Maßnahmen ergriffen werden müssen, um im Gefährdungsfall alle diese Bestandteile in einem gefahrlosen Zustand zu bringen.

Werden Einzelmaschinen ausschließlich durch ein gemeinsames NOT-HALT-Befehlsgerät verbunden, entsteht nicht allein durch diese Verbindung bereits eine Gesamtheit von Maschinen.

Im konkreten Fall ist somit in zwei Schritten mit Hilfe von Abb. 8.1 wie folgt zu prüfen:

**1. Schritt:** Gibt es zwischen den einzelnen Maschinen bzw. unvollständigen Maschinen einen *produktionstechnischen Zusammenhang*?

- In vielen Fällen wird es gemäß den Kriterien im o.g. Abschnitt 2 des Positionspapiers einen produktionstechnischen Zusammenhang geben (Antwort: *ja*), da die Maschinen
  - als Gesamtheit angeordnet sind,
  - als Gesamtheit zusammenwirken und
  - als Gesamtheit betätigt werden.

**2. Schritt:** Gibt es zwischen den einzelnen Maschinen bzw. unvollständigen Maschinen einen *sicherheitstechnischen Zusammenhang*?

- In vielen Fällen wird es gemäß den Kriterien im o.g. Abschnitt 2 des Positionspapiers keinen sicherheitstechnischen Zusammenhang geben (Antwort: *nein*), da
  - bei einer sicherheitsgerichteten Abschaltung einer gefährdeten Maschine häufig nicht zeitgleich die andere bzw. die anderen Maschinen abgeschaltet werden.

Die sicherheitsgerichtete Steuerung (Verriegelung) der gefährdeten Maschine wirkt nicht direkt auf die andere Maschine/-n, sondern diese Maschine/-n haben eine eigene sicherheitsgerichtete Steuerung, die sie im Gefahrenfall selbst schützen und gegebenenfalls auch abschaltet(-en).

Zur Bestätigung dieser Aussage steht im angeführten Interpretationsspiel [2]:

In der praktischen Anwendung des Begriffs der Gesamtheit von Maschinen stellt sich bei kompletten industriellen Großanlagen (z. B. Hüttenwerken, Kraftwerken oder Anlagen der chemischen Industrie) häufig die Frage, inwieweit solche Anlagen als Gesamtheit von Maschinen den Anforderungen der MRL unterliegen.

Bei Anwendung der beschriebenen Entscheidungshilfe auf industrielle Großanlagen kann zwar häufig der produktionstechnische Zusammenhang bejaht werden, i.d.R. aber nicht der sicherheitstechnische Zusammenhang.

In diesem Fall unterliegen solche Anlagen als Gesamtheit nicht den Anforderungen der MRL.

Es ist jedoch ggf. möglich, solche Großanlagen aus Sicht der MRL in mehrere einzelne Anlagenteile i. S. einer Gesamtheit von Maschinen zu unterteilen.

Gemäß dieser Interpretation, die der Autor auch in vielen Fachgesprächen mit Kollegen bestätigt gefunden hat, stellen viele *komplexe verfahrenstechnische* Anlagen somit keine „*Gesamtheit von Maschinen*“ im Sinne der Maschinenrichtlinie [1] dar und benötigen als Gesamtanlage keiner EG-Konformitätserklärung.

Die Entscheidung, ob für die verfahrenstechnische Gesamtanlage eine Konformitätserklärung notwendig ist oder nicht, sollte im Team (zusammen mit dem Betreiber) geprüft und entschieden werden. Die Ergebnisse sind nachvollziehbar zu protokollieren. Somit können eventuelle spätere Fahrlässigkeitsvorwürfe minimiert werden.

**Package-unit-Anlagen** stellen im Unterschied dazu in den meisten Fällen eine *Gesamtheit von Maschinen* dar. Für sie sind i. Allg. ein Konformitätsverfahren durchzuführen, eine Konformitätserklärung auszustellen und an der Package-unit-Anlage an geeigneter Stelle ein CE-Kennzeichen anzubringen.

Sollte im Anlagenvertrag eine Konformitätserklärung für die komplexe verfahrenstechnische Anlage vereinbart sein, obwohl dies gemäß dem Interpretationspapier nicht erforderlich wäre, so ist dies grundsätzlich auch möglich.

Sofern die Risikobeurteilung durchgeführt und deren Ergebnisse in der Anlage umgesetzt sind und sowie bei der Anlagenrealisierung alle relevanten Rechtsvorschriften eingehalten wurden, kann problemlos für die Gesamtanlage die EU-Konformitätserklärung ausgestellt und das CE-Kennzeichen angebracht werden.

Der Anlagenbetreiber muss allerdings später, bei wesentlichen gesundheits- und/oder sicherheitsrelevanten Änderungen immer wieder für die Gesamtanlage, und nicht nur für die betroffene Funktionseinheit, die Konformitätserklärung verwalten und forschreiben. Das ist i. Allg. aufwendiger und kostenintensiver.

## 8.4 Hinweise zur Inbetriebnahmephase (Phase 9)

- Die Inbetriebnahme [3] ist für alle Projektbeteiligten, auch für den Anlagenplaner, die „Stunde der Wahrheit“. Gemäß den erheblichen Unwägbarkeiten ist mit notwendigen technischen Änderungen zu rechnen.
- Für die Änderungsprozedur gelten grundsätzlich die gleichen Aussagen wie in Abschn. 8.1 bis 8.3 ausgeführt. Der Zeit- und Kostendruck während der Inbetriebnahme erfordert i. Allg. aber schnelle Entscheidungen und entsprechende Befugnisse des Inbetriebnahmleiters.
- Der Inbetriebnahmleiter und die Inbetriebnahmeingenieure sind für die Erfassung und Eintragung der technischen Änderungen, die sich während der Inbetriebnahme ergeben, verantwortlich.  
Dies erfolgt i.d.R. durch Eintragungen in ein Masterdokument.

- Der Inbetriebnahmeleiter ist gegenüber dem Projektleiter für die Pflege und Fortschreibung der gesamten Dokumentation verantwortlich. Er muss absichern, dass zum Ende der Inbetriebnahme (falls zu diesem Zeitpunkt die werkvertragliche Abnahme der Anlage) erfolgt, zumindest ein vertragsgerechtes Arbeitsexemplar der **AS BUILT-Dokumentation** vor Ort verfügbar ist, welches er dem Auftraggeber (z.B. Betriebsleiter) übergibt.
- Die vertragsgemäße AS BUILT-Dokumentation sollte zeitversetzt zur Anlage fertiggestellt und werkvertraglich abgenommen werden.  
Zu diesem Zweck wird beispielsweise wie folgt verfahren:
  - Das Arbeitsexemplar der handrevidierten AS BUILT-Dokumentation wird zum Abnahmetermin der Anlage „eingefroren“ und auf Basis einer Kopie im Stammhaus des Auftragnehmers CAD-/CAE-revidiert sowie im Zeitraum von 3 bis 6 Wochen in den vertraglich vereinbarten Zustand (Exemplare, Form, Dateiformate usw.) gebracht.
  - Danach wird die fertiggestellte AS BUILT-Dokumentation geliefert, vom Auftraggeber im Zeitraum von ca. 3 bis 4 Wochen geprüft und, sofern vertragsgemäß, werkvertraglich abgenommen.
- Gemäß den praktischen Erfahrungen wird im Normalfall folgender Lieferumfang der AS BUILT-Dokumentation empfohlen:
  - Belegexemplar: Exemplar in Papierform oder in nichtveränderbarer elektronischer Form als „juristische Urkunde“.
  - 1. Arbeitsexemplar: Papierkopie des Belegexemplars; dient neben dem Elektronischen Exemplar als Arbeitsgrundlage.
  - Elektronisches Exemplar: Life-cycle-Dokumente als bearbeitbare Dateien; andere Dokumente in konvertierter bzw. eingescannter Form; Inhalt und Ausführung der elektronischen Form des Dokuments muss mit der entsprechenden Papierform identisch sein.
  - 2. Arbeitsexemplar: Papierkopie von Kapiteln bzw. von Abschnitten der AS BUILT-Dokumentation (R&I-Fließbilder, Schaltpläne, Betriebsanleitungen, Prüfbücher usw.), die dezentral in der Anlage (Schaltwarte, Schaltraum, Labor), in der Werkstatt (Maschinenakten) oder in Zentralbereichen (Sicherheit, Genehmigung) aufbewahrt und genutzt werden.

Im Vertrag ist zu vereinbaren, welches Exemplar (Form) das Primat hat.

Bei weiteren Exemplaren besteht die Gefahr, dass nicht alle Exemplare gepflegt werden und mit Dokumenten verschiedener Revisionsstände gearbeitet wird.

- Mit der Unterschrift unter das Abnahmeprotokoll sind für die AS BUILT-Dokumentation i. Allg. der Gefahrenübergang, der Gewährleistungsbeginn und die Beweislastumkehr verbunden.
- Da fortan der Auftraggeber beweisen muss, dass später erkannte Mängel an der Dokumentation vom Auftragnehmer zu verantworten sind, sollte er ein Exemplar der AS BUILT-Dokumentation (gekennzeichnet mit dem Lieferstatus) nicht-veränderbar archivieren.

- Änderungsvorgänge zur Dokumentation, die nach dem sog. Freezing-Point, entstehen, müssen als Change-Control-Vorgänge erstellt und zunächst eigenständig aufbewahrt/gesammelt werden.  
Das gilt auch für Änderungen, die während des Prüfungszeitraums der gelieferten AS BUILT-Dokumentation bis zur werkvertraglichen Abnahme anfallen.
- Letztlich muss der Auftraggeber gemäß Vereinbarung im Projekt-CloseOut entscheiden, was mit der Projektdokumentation des Auftragnehmers nach Projektabschluss passiert (Archivierung, Vernichtung, Wiederverwendung usw.).

## Literatur

- [1] Richtlinie 2006/42/EG (Maschinen-Richtlinie – MRL) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17.05.2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG
- [2] Interpretationspapier zum Thema „Gesamtheit von Maschinen“ – Bek. d. BMAS v. 5.5.2011, IIIb5-39607-3
- [3] Weber K H (2016) Inbetriebnahme verfahrenstechnischer Anlagen: Praxishandbuch mit Checklisten und Beispielen, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg

## Glossar (Glossary)

- Bemerkungen: a) Begriffe aus den Glossar sind im Text **fett** gedruckt  
b) Synonyme und englische Begriffe sind im Glossar in (...) gesetzt und *kursiv* gedruckt

Abnahme:	rechtsverbindliche Bestätigung einer erbrachten Leistung auf deren Vertragsgemäßheit ( <i>acceptance</i> )
Abwicklungsstruktur (der Dokumentation):	Strukturierung der rechnerseitigen Arbeitsplattform für die Erarbeitung, Nutzung und Ablage der Dokumente des Projekts
Anlage:	Gesamtheit der zur Durchführung eines Verfahrens notwendigen Ausrüstungen und Einrichtungen in ihrer funktionsbedingten Kopplung und räumlichen Anordnung ( <i>plant</i> )
Anlagen-dokumentation:	Gesamtheit aller Dokumente, die zur technologischen, technischen, baulichen und sicherheitlichen Beschreibung der Anlage dienen ( <i>plant documentation</i> )
Anlagenkennzeichen (AKZ):	Identifikator für eine bestimmte Anlagenkomponente/Bau teil (allgemein: Objektkennzeichen)
Anlagenplanung:	s. Engineering
Anlagenrealisierung:	Gesamtheit der Arbeiten, die nach der Investitionsentscheidung bis Ende Inbetriebnahme durchzuführen sind
Anlagenvertrag:	verbindliche Vereinbarung zwischen Partnern über die Planung und/oder Herstellung einer kompletten Anlage ( <i>plant contract</i> )
AS BUILT-Dokumentation:	Gesamtdokumentation der Anlage, die den Sachstand über die Anlage zum Zeitpunkt ihrer Abnahme richtig und vollständig gemäß vertraglicher Vereinbarung beschreibt ( <i>Enddokumentation, As-built-documentation, final documentation</i> )
Auslegen (Auslegung):	Ermitteln der Stammdaten (Durchmesser, Höhe, Druck, Temperatur, Durchsatz, Volumen u.a.) einer Anlagenkomponente (Apparat, Maschine, Behälter, Rohrleitung, Armatur u.a.) durch verfahrenstechnische Berechnungen

Basic Design:	Erarbeitung projektspezifischer, insbesondere kapazitäts- und standortbezogener Verfahrensunterlagen <i>(Verfahrensplanung, process planning)</i>
Basic Engineering:	Durchführen der Verfahrensplanung (Basic Design) und Erarbeiten eines verbindlichen Gesamtentwurfes für die Anlage und Technik sowie für die Abwicklung des Projektes <i>(Entwurfsplanung)</i>
Bearbeitungsstatus:	Information über den aktuellen Stand der Bearbeitung eines Dokuments sowie über deren Freigabe zur Nutzung <i>(processing status)</i>
Befugnis:	Recht, im definierten Aufgabenbereich und Kompetenzumfang selbstständig Entscheidungen über den Einsatz von Personal-, Betriebs- und Finanzmitteln sowie ggf. die Freigabe von Informationen zu treffen <i>(authority, competence)</i>
Beschaffen: (Beschaffung)	Gesamtprozess der Vorbereitung und Realisierung von Bestellungen für Lieferungen und Leistungen, die zur Anlagenrealisierung und ggf. zur Inbetriebnahme benötigt werden <i>(Einkauf, procure, procurement)</i>
Bestellung: (einer Aufsichtsperson)	schriftliche Beauftragung und Namhaftmachung einer verantwortlichen Person für eine definierte Aufgabe, inkl. der damit verbundenen Verantwortung, Befugnisse u. a. Bedingungen <i>(appointment of a supervisor)</i>
Bestellung: (kaufmännisch)	Beauftragung einer Leistung und/oder Lieferung unter Bezugnahme auf ein Angebot
Bestimmungsgemäßer Betrieb:	zulässiger Betrieb, für den die Anlagen, Infrastruktur und Tätigkeiten in einem Betriebsbereich nach ihrem technischen Zweck bestimmt, ausgelegt und geeignet sind. Betriebszustände, die der erteilten Genehmigung, vollziehbaren nachträglichen Anordnungen oder Rechtsvorschriften nicht entsprechen, gehören nicht zum bestimmungsgemäßen Betrieb. Der bestimmungsgemäße Betrieb umfasst <ul style="list-style-type: none"><li>– den Normalbetrieb einschließlich betriebsnotwendiger Eingriffe wie z.B. der Probenahme, und einschließlich der Lagerung mit Füll-, Umfüll- und Abfüllvorgängen,</li><li>– die Inbetriebnahme und den An- und Abfahrbetrieb,</li><li>– den Probebetrieb,</li><li>– Instandhaltungsvorgänge (Wartung, Inspektion, Instandsetzung, Verbesserung) und Reinigungsarbeiten sowie</li><li>– den Zustand bei vorübergehender Außerbetriebnahme.</li></ul> <i>(genehmigter Betrieb, intended operation)</i>

---

Betrieb:	Zeitraum der bestimmungsgemäßen Nutzung der Anlage nach Beendigung der Inbetriebnahme bis zu ihrer Stilllegung ( <i>Dauerbetrieb, kommerzieller Betrieb, operation, production</i> )
Betriebsanleitung:	beinhaltet die für die Inbetriebnahme, Instandhaltung, Inspektion, Überprüfung der Funktionsfähigkeit und gegebenenfalls Reparatur des Geräts oder Schutzsystems notwendigen Pläne und Schemata sowie alle zweckdienlichen Angaben insbesondere im Hinblick der Sicherheit ( <i>instruction manual</i> )
Betriebsanweisung:	arbeitsplatz- und tätigkeitsbezogene, verbindliche schriftliche Anordnungen und Verhaltensregeln des Arbeitgebers an weisungsgebundene Arbeitnehmer zum Schutz vor Unfall- und Gesundheitsgefahren sowie zum Schutz der Umwelt ( <i>operating instruction, operating order</i> )
Betriebsdokumentation:	Gesamtheit aller Dokumente, die (zusätzlich zur Anlagen-dokumentation) für die Inbetriebnahme, den Betrieb, die Überwachung und die Instandhaltung der Anlage nötig sind sowie als Nachweis dienen ( <i>operating documentation</i> )
Beweislast: (im Anlagen- und Maschinenbau)	Pflicht eines Vertragspartners, von im aufgestellte Behauptungen bzw. gestellte Ansprüche zu beweisen ( <i>Beweispflicht, burden of proof, onus of proof</i> )
Datei:	logisch zusammengehörige, in sich abgeschlossene und gemeinsam gespeicherte Menge von Daten ( <i>file</i> )
Daten:	Strukturierte Informationen, die verarbeitet werden oder das Ergebnis einer Verarbeitung sind ( <i>data</i> )
DCC:	<b>Document Classification Code</b>
Design Qualification (DQ):	dokumentierter Nachweis, dass der Planungsprozess entsprechend den geltenden Vorgaben (z.B. in Vertrag, Projektrichtlinien, Pflichtenheft, Produktspezifikationen, Ausrüstungsspezifikationen, GMP-Anforderungen, GMP-Anweisungen, Planungsrichtlinien) durchgeführt wurde ( <i>Designqualifizierung</i> )
Detail Engineering:	Erledigung aller ingenieurtechnischen Fachplanungsfunktionen; es liefert die Grundlage für die Anlagenrealisierung ( <i>Ausführungsplanung</i> )
Dimensionieren:	Festigkeitsberechnung und festigkeitsgerechte Konstruktion der Ausrüstung (z.B. Wanddicke, Werkstoff, Stutzenausführung, Schweißausführung) ( <i>Bemessen</i> )

Dokument:	festgelegte und strukturierte Menge von Informationen, die als Einheit verwaltet und zwischen Anwendern und Systemen ausgetauscht werden kann <u>oder</u> schriftliche bzw. elektronische Unterlage, Beleg, Datei mit Aufzeichnungen über ein Projekt oder Objekt ( <i>document</i> )
Dokumentationskonzept:	Festlegungen zum Erbringen der Dokumentationsleistungen und zum Umgang mit Dokumenten und Dokumentationen im Projekt
Dokumentarten:	Dokumente gleicher inhaltlicher Zielstellung und gleicher formaler Struktur ( <i>Dokumententyp</i> , <i>Dokumentenklasse</i> , <i>document type</i> , <i>document class</i> )
Dokumentenkennzeichen (DKZ):	Identifikator für ein bestimmtes Dokument in Beziehung zu einem Objekt (Komponente), dem das Dokument zugeordnet ist
Dokumentenversion:	identifizierter Zustand eines Dokuments in seinem Lebenszyklus, der gespeichert ist, sodass er als Dokumentenstand wiedergewonnen und/oder verteilt werden kann
Durchführbarkeitsstudie:	eine dem Projekt vorausgehende Analyse und Bewertung, ob ein bestimmtes Projekt überhaupt durchführbar, technisch machbar, wirtschaftlich lohnend und finanziell realisierbar ist ( <i>feasibility study</i> )
EG-Konformitätserklärung:	schriftliche Erklärung eines Herstellers bzw. seines Bevollmächtigten, dass ein von ihm in Verkehr gebrachtes Produkt (Maschine, Druckgerät u. a.) allen relevanten europäischen Richtlinien und Normen entspricht ( <i>EC Declaration of conformity</i> )
Emissionen:	von einer Anlage ausgehende Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnliche Erscheinungen (im Sinne des BImSchG)
Engineering (Anlagenplanung):	Erarbeiten von technologisch-technischen sowie organisatorisch-administrativen Unterlagen (Dokumenten), die für die Beschaffung, Errichtung, den bestimmungsgemäßen Betrieb und die Instandhaltung von Anlagen benötigt werden ( <i>plant design, technical planning of the plant</i> )
Engineering-dokumentation:	Gesamtheit der Dokumente, die während der Anlagenplanung (von Grundlagenermittlung bis Detail Engineering) erarbeitet, verwaltet und abgelegt bzw. gespeichert werden ( <i>engineering documentation</i> )

---

Engineering-vertrag:	Vertrag über das Erbringen von Ingenieurleistungen inkl. Managementleistungen, ggf. auch während Beschaffung, Bau, Montage und Inbetriebnahme der Anlage <i>(engineering contract)</i>
Entwicklung: (verfahrenstechnisch)	Erarbeitung von Verfahrensunterlagen, die als Grundlage für die Planung (Engineering) einer großtechnischen Anlage nach diesen Verfahren geeignet sind ( <i>development process technology</i> )
EPCM-Vertrag:	Vertrag über Leistungen für Anlagenplanung, Technischen Einkauf, Bau-Montageleitung/ und -überwachung ( <b>Engineering-Procurement-Construction Management</b> )
Errichten (Errichtung):	Gesamtheit der Arbeiten auf der Baustelle im Zeitraum von Baustelleneröffnung bis Protokollierung der <i>Mechanischen Fertigstellung</i> bzw. bis zum Beginn der Inbetriebnahme ( <i>erection</i> )
Ersatzteil:	technisches Bauteil, welches bei einem erfahrungsgemäß möglichen Schaden schnell verfügbar sein muss und gegen das defekte Teil ausgetauscht wird ( <i>spare part</i> )
Erstinbetriebnahme:	Überführung der Anlage aus dem Ruhezustand nach Mechanischer Fertigstellung (Mechanical Completion) in den Dauerbetriebszustand nach werkvertraglicher Abnahme bzw. nach schriftlicher Bestätigung der erbrachten Vertragsleistung ( <i>first-time commissioning, initial commissioning</i> )
explosionsfähige Atmosphäre:	Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen, Nebeln oder Stäuben unter atmosphärischen Bedingungen, in dem sich der Verbrennungsvorgang nach erfolgter Entzündung auf das gesamte unverbrannte Gemisch überträgt <i>(explosible atmosphere)</i>
Fertigung:	Herstellung und Werkmontage von Anlagenkomponenten bzw. Anlagenteilen ( <i>fabrication</i> )
Freigabe (eines Dokuments):	formelle Aktion einer autorisierten Person/Organisation, mit der ein Dokument für einen deklarierten Zweck im Projektablauf für gültig erklärt wird ( <i>approval of document</i> )
Front-End-Loading (FEL):	Methodik zur Projektabwicklung, die durch eine große Bearbeitungs-/Planungstiefe bis zur Investitionsentscheidung gekennzeichnet ist ( <i>Front-End-Engineering</i> )
FEL-Dokumentation:	Gesamtdokumentation nach Freigabe der Investition (Ende Phase 6) (Status: AFD – Approved for Design) <i>(FEL-documentation, extended basic)</i>

Funktionale Gewährleistung:	s. Technische Gewährleistung ( <i>functional warrenty or technical warrenty</i> )
Funktionsprüfung:	Erprobung und Prüfung der Anlagenkomponente, der Teilanlage oder der Anlage nach der Montage hinsichtlich ihrer einwandfreien technischen Funktion ( <i>Funktionstest, operational check, Funktionstest, functional trial</i> )
Garantie:	freiwillig übernommene und vereinbarte Verpflichtung eines Garanten (Vertragspartners) ( <i>guarantee</i> )
Gefährdung:	Möglichkeit eines Schadens oder einer gesundheitlichen Beeinträchtigung unabhängig von deren Ausmaß oder Eintrittswahrscheinlichkeit ( <i>hazard</i> )
Gefährdungsbeurteilung:	systematische Ermittlung und Bewertung relevanter Gefährdungen der Beschäftigten mit dem Ziel, erforderliche Arbeitsschutzmaßnahmen festzulegen ( <i>hazard assessment</i> )
Gefahrenübergang:	Zeitpunkt, ab dem die Gefahr des zufälligen Untergangs/Vernichtung oder der Verschlechterung/Beschädigung des Werks (im Werkvertrag) oder der Sache (im Kaufvertrag) auf den Besteller bzw. Käufer übergeht. ( <i>Gefahrtragung, risk assumption, transfer of risk</i> )
Genehmigungsdokumentation:	Gesamtheit der Dokumente, die für Beantragung, Erteilung und Erhaltung einer behördlichen Genehmigung zur Errichtung und dem Betrieb einer Anlage nötig sind sowie erarbeitet und abgelegt bzw. gespeichert werden ( <i>approval documentation</i> )
Generalvertrag:	Vertrag über die Errichtung einer funktionstüchtigen (schlüsselfertigen) Anlage gegen Zahlung eines Pauschal- bzw. Festpreises ( <i>turnkey contract</i> )
Gesamt-dokumentation:	Gesamtheit aller Dokumente, die im Leben der Anlage erstellt, verwaltet und archiviert werden ( <i>complete documentation</i> )
Gewährleistung: (im Werk- bzw. Kaufvertrag)	definiert eine zeitlich befristete Nachbesserungspflicht für Mängel am Werk bzw. am Kaufgegenstand, die zum Zeitpunkt der Abnahme bzw. des Kaufs bereits bestanden ( <i>warranty</i> )
Good Manufacturing Practice (GMP):	Teil der Qualitätssicherung (d. Verf.: in Pharmaprojekten), der gewährleistet, dass Produkte gleich bleibend nach den Qualitätsstandards produziert und geprüft werden, die der vorgesehenen Verwendung und den Zulassungsunterlagen entsprechen ( <i>Gute Herstellungspraxis</i> )

---

gültiges Dokument:	Dokument, welches erstellt, geprüft und freigegeben ist ( <i>valid document</i> )
Haftung:	als Person bzw. Unternehmen für etwas, z.B. für entstandenen Schaden einstehen ( <i>liability</i> )
Hersteller-dokument:	produktbeschreibendes und/oder produktbegleitendes Dokument des (Produkt-)Herstellers bzw. Lieferant ( <i>manufacturer document</i> )
Immissionen:	auf Menschen, Tiere und Pflanzen, den Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur- und sonstige Sachgüter einwirkende Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnliche Erscheinungen (im Sinne des BImSchG)
Inbetriebnahme:	Überführung der Anlage aus dem Ruhezustand in den Dauerbetriebszustand (s. auch: Erstinbetriebnahme) ( <i>commissioning</i> )
Inbetriebnahmedokumentation:	Versionen der Anlagen- und Betriebsdokumentation, die für die Inbetriebnahme nötig sind (Status: AFP – Approved for Production) ( <i>commissioning documentation</i> )
Installation Qualification (IQ):	formaler und systematischer Nachweis, dass alle wesentlichen Aspekte der Anlagenmontage/-installation (Hard- und Software) den vereinbarten Regeln entsprechen, mit den freigegebenen Ausführungsdocumenten übereinstimmen und die Empfehlungen der Zulieferer berücksichtigen ( <i>Installationsqualifizierung</i> )
Instandhaltung (IH):	Maßnahmen zur Bewahrung und Wiederherstellung des Sollzustandes sowie zur Feststellung und Beurteilung des Istzustandes von technischen Mittel eines Systems ( <i>maintenance</i> )
Lastenheft:	Zusammenstellung der Anforderungen an die herzustellende Anlage aus Sicht des Auftraggebers ( <i>Aufgabenstellung bzw. Spezifikation für Anlage, scope definition, Requirement Specification</i> )
Lebenszyklus: (einer Anlage)	Zeitraum von Beginn der Anlagenplanung bis zum Ende des Anlagenrückbaus ( <i>life cycle for plant</i> )
Leistungsfahrt:	vertraglich vereinbarter Betriebszeitraum während der Inbetriebnahme zur Erbringung des rechtsverbindlichen Leistungsnachweises für die Gesamtanlage ( <i>Abnahmeversuch, Garantievertrag, performance run</i> )

Leistungs-garantien:	wesentliche, vertraglich zugesicherte Beschaffenheits- bzw. Qualitätsmerkmale der Anlage (i.Allg. betreffs Kapazität, Ausbeute, Produktqualitäten, Energie-/Hilfsstoffbedarf) <i>(performance warranties)</i>
Leistungs-nachweis:	rechtsverbindlicher Nachweis der Leistungsgarantien bzw. Leistungswerte des Verkäufers gegenüber dem Käufer <i>(performance test, proof of performance)</i>
Lieferanten-dokument:	produktbeschreibendes und/oder produktbegleitendes Dokument des (Produkt-)Lieferanten <i>(provider document)</i>
Life-cycle-Dokument:	Dokument, das während des Anlagenbetriebs gemäß dem aktuellen Stand gepflegt wird
Liste wichtiger Dokumentarten:	strukturierte Zusammenstellung aller wichtigen Dokumentarten aus der Gesamtdokumentation über die Anlage
LSTK-Vertrag:	Vertrag über das Erbringen einer komplexen Leistung, z.B. die Herstellung einer schlüsselfertigen Anlage <b>(Lump-Sum-Turn-Key-Contract)</b>
Master (-dokument):	aktuelle, gültige und verbindliche Arbeitsversion eines Dokuments
Mechanische Fertigstellung (MF):	Zeitpunkt, zu dem die Montage der Anlage einschließlich aller wesentlichen Isolierungs- und Anstricharbeiten beendet und die Prüfungen auf mechanische Vollständigkeit und Funktionsfähigkeit, welche auch die Mess-, Regel-, Steuerungs- und Überwachungsanlagen und die Elektroeinrichtungen umfassen, sowie die Prüfungen gemäß relevanter Rechtsvorschriften, behördlicher Vorgaben und dem vertragsrelevanten Stand der Technik erfolgreich durchgeführt und nachvollziehbar dokumentiert wurden <i>(mechanical completion/MC)</i>
Montage und Bau:	Gesamtheit aller Arbeiten, die zur physischen Errichtung der Anlage auf der Baustelle zu erledigen sind <i>(construction, installation, civil, structural, architecture)</i>
Organigramm: (Projekt-)	grafische Darstellung der Aufbauorganisation eines Projektes inkl. zugehöriger Einheiten (Stellen) und Kommunikationsbeziehungen <i>(Organisationsschema, organisation chart)</i>
Operational Qualification (OQ):	formaler und systematischer Nachweis, dass eine Anlage, Teilanlage, System oder Subsysteme die Funktion wahrnimmt, für die sie oder es erstellt wurde, und zwar im Rahmen der vorgesehenen Betriebsbereiche <i>(Funktionsqualifizierung)</i>

---

Package-unit: (Anlage)	Teilanlage, die als Ganzes von einem Kontraktor bzw. Subunternehmer geliefert, errichtet und i. Allg. von diesem in Betrieb genommen wird
Pauschalpreis:	vereinbarte Vergütung für eine definierte Leistung, die ohne Nachweis des erfolgten Aufwands (Stunden) und ohne Mengenermittlung, (Aufmaße, Mengengerüste) zu zahlen ist ( <i>lump sum price</i> )
Performance Qualification (PQ):	formaler und systematischer Nachweis, dass eine Anlage, Teilanlage, System oder Subsysteme die Leistungsfähigkeit erbringt, für die sie oder es erstellt wurde ( <i>Leistungsqualifizierung</i> )
Pflicht:	Notwendigkeit zu einem Tun oder Unterlassen, die sich aus Vertrag, Gesetzen, Verhaltensnormen, Anweisungen usw. ergibt ( <i>duty</i> )
Pflichtenheft: (für Anlage)	Vorgaben für die Ausführungsplanung, Herstellung und Inbetriebnahme der Anlage ( <i>requirement specification for plant, FEL-Documantation</i> )
Pflichten-übertragung:	Übertragung von Pflichten, aber auch von Verantwortung und Befugnissen, von einem Unternehmer oder einem durch ihn Beauftragten auf eine andere verantwortliche Person gemäß den rechtlichen Möglichkeiten ( <i>transfer of duties</i> )
Phasen-dokumentation:	Teildokumentation im Projekt, die zielorientiert bestimmte Dokumente am Ende einer Projektpause zusammenfasst ( <i>stage documentation</i> )
Produkt:	jede bewegliche Sache, auch wenn sie einen Teil einer anderen beweglichen Sache oder einer unbeweglichen Sache bildet, sowie Elektrizität ( <i>product</i> )
Projekt:	einmaliges und zeitlich begrenztes Vorhaben ( <i>project</i> )
Projekt-dokumentation:	Gesamtheit aller Dokumente, die während der Abwicklung eines Projekts erarbeitet, verwaltet und abgelegt bzw. gespeichert werden ( <i>Abwicklungsdocumentation, project documantation</i> )
Projekt-handbuch:	Zusammenstellung der administrativen, kommerziellen und technischen Abwicklungsgrundlagen und -regelungen des Projekts ( <i>project manual</i> )
Projekt-management:	Gesamtheit der Führungsorganisation, -aufgaben, -methoden und -mittel für die Abwicklung eines Projektes ( <i>project management</i> )

Prozess:	s. Verfahren ( <i>process</i> )
Qualifizierung:	dokumentierte Beweisführung, dass alle Ausrüstungsgegenstände (inkl. Leittechnik mit Software) einwandfrei arbeiten und tatsächlich zu den erwarteten Ergebnissen führen ( <i>qualification</i> )
Qualität:	Übereinstimmung der Realität mit allen vereinbarten und festgelegten Anforderungen ( <i>quality</i> )
Realisieren (Realisierung):	Gesamtheit der Arbeiten von der Auftragerteilung bis zur Endabnahme der Vertragsleistung ( <i>Herstellung, realize, realization</i> )
Recherche:	gezieltes Suchen und Wiederfinden von Dokumenten zu einem interessierenden Sachverhalt ( <i>inquest</i> )
Revisionsstatus:	s. Bearbeitungsstatus
Risiko: (technisch)	Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Auswirkung eines Ereignisses ( <i>risk</i> )
Risikoanalyse:	Identifizieren von Gefährdungen und deren Ursachen sowie die Bestimmung der potentiellen Konsequenzen und deren Eintrittswahrscheinlichkeiten (qualitativ und quantitativ) ( <i>risk analysis</i> )
Risiko- beurteilung:	Risikoanalyse mit anschließender Risikobewertung ( <i>risk assessment</i> )
Risiko- bewertung:	Einschätzung des potentiellen Schweregrads einer Gefährdung sowie der Eintrittswahrscheinlichkeit und Vergleich mit einem Bewertungsmaßstab (Sollzustand bzw. Akzeptanzkriterien) ( <i>risk evaluation</i> )
Schaden:	Nachteil, den jemand durch ein bestimmtes Ereignis erleidet ( <i>damage</i> )
Sicherheit:	Fähigkeit eines Systems, innerhalb der vorgegebenen Grenzen und während einer gegebenen Zeitspanne keine Gefährdungen für Personen, Sachen und Umwelt zu verursachen bzw. eintreten zu lassen ( <i>safety</i> )
Sicherheits- arbeit:	Gesamtheit der Maßnahmen und Tätigkeiten, die für das Erreichen bzw. Gewährleisten der Sicherheit (ggf. auch für GSU(Gesundheit-Sicherheit-Umwelt) / HSE (Healthcare – Safety – Environment) unternommen werden ( <i>safety work</i> )

---

Sicherheitsprüfung:	Prüfung zum Nachweis einer definierten Komponenten- und/oder Anlagensicherheit bezogen auf eine oder mehrere mögliche Gefährdungen ( <i>safety test, safety check</i> )
Sicherheitstest:	Haltepunkt am Ende einer Projektphase, an dem ganzheitlich die Erfüllung der Sicherheitsarbeit (GSU-Arbeit) kontrolliert und bestätigt/testiert wird ( <i>safety certificate</i> )
Sondergarantien:	Garantien bzw. Gewährleistungen zu speziellen Komponenten (z.B. Standzeit von Katalysatoren, Lebensdauer von Ausrüstungen), die außerhalb der Leistungsgarantien und normalen Technischen Gewährleistung vereinbart sind ( <i>special guarantees</i> )
Speichern:	Sammeln und Einlagern von Gegenständen oder Informationen bzw. Daten in einem Speicher ( <i>save</i> )
Stellenbeschreibung:	Dokument, welches die Aufgabe der Stelle, die Befugnisse und Verantwortung des Stelleninhabers sowie die organisatorische Einordnung der Stelle festlegt ( <i>job description</i> )
Stückliste:	für den jeweiligen Zweck vollständiges, formal aufgebautes Verzeichnis für Gegenstände ( <i>list of parts</i> )
Subunternehmer:	Unternehmen bzw. Lieferanten, derer sich der Auftragnehmer (Generalunternehmer bzw. Generalplaner) zur Erbringung seiner Vertragsleistung bedient ( <i>subcontractor</i> )
System:	Menge von Elementen sowie von Beziehungen zwischen den Elementen und mit der Umgebung
Szenario:	hypothetische Aufeinanderfolge von Ereignissen, die zur Beachtung kausaler Zusammenhänge konstruiert wird
Technische Gewährleistung:	Versprechen des Auftragnehmers/Verkäufers, über einen definierten Zeitraum für eine funktionierende Anlage/Anlagenkomponente zu gewährleisten. Die Anlage/Anlagenkomponente ist in diesem Zeitraum für einen störungsfreien Dauerbetrieb entsprechend dem Genehmigungsbescheid, dem Stand der Technik und der betrieblichen Praxis geeignet, sofern vom Anlagenbetreiber die Gewährleistungsvoraussetzungen eingehalten werden. ( <i>Funktionale Gewährleistung, technical warranty</i> )
Technische Spezifikation:	lieferantenunabhängige technische Unterlagen für Anfrage und Bestellung ( <i>Technische Beschaffungsunterlagen /TBU, technical specification</i> )

Technische Verfügbarkeit:	Verhältnis zwischen der um technisch bedingte Störungen reduzierten Laufzeit zur Gesamtaufzeit der Anlage bzw. Anlagenkomponente im Betrachtungszeitraum (in Prozent) ( <i>technical availability</i> )
Verantwortung:	Auftrag, im definierten Aufgabenbereich für ein bestimmtes Ergebnis einzustehen ( <i>accountability</i> )
Verfahren:	Gesamtheit der physikalischen, chemischen, biologischen und nuklearen Wirkungsabläufe ( <i>Prozess, process</i> )
Verfahrensgarantien:	s. Leistungsgarantien ( <i>process or performance guarantees</i> )
Verfahrensplanung	s. Basic Design
verfahrenstechnische Anlage:	Anlage zur Durchführung von Stoffänderungen und/oder Stoffwandlungen mit Hilfe zweckgerichteter physikalischer und/oder chemischer und/oder biologischer und/oder nuklearer Wirkungsabläufe ( <i>process plant</i> )
verfahrenstechnisches System:	Gesamtheit des Verfahrens und der verfahrenstechnischen Anlage ( <i>process system</i> )
Verschleißteil:	technisches Bauteil, welches mit hoher Wahrscheinlichkeit nach einer bestimmten Betriebsdauer vorbeugend bzw. bei Störung gegen das defekte Teil ausgetauscht wird ( <i>wear part</i> )
Verschulden:	objektiv pflichtwidriges und subjektiv vorwerfbare Verhalten einer schuldfähigen Person ( <i>fault</i> )
Vertrag:	Rechtsgeschäft, das durch zwei sich deckende Willenserklärungen zustande kommt ( <i>contract</i> )
Vertragsart:	Bezeichnung eines Anlagenvertrages, die den Vertragsumfang/-gegenstand oder die Vergütungsform widerspiegelt ( <i>contract type</i> )
Vertragsform:	Bezeichnung eines Anlagenvertrages, die die Rechtsform ausdrückt ( <i>contract form</i> )
Wieder-inbetriebnahme:	Überführung der Anlage aus dem Ruhezustand nach Abstellung (Stillstand) in den Dauerbetriebszustand ( <i>Recommissioning</i> )
Zuständigkeit:	Auftrag, definierte Aufgabenbereiche zu bearbeiten und bestimmte Aktivitäten einzuleiten ( <i>responsibility</i> )

# Sachwortverzeichnis (Key Word Index)

- Abfall 128, 238, 244
  - Abfallhierarchie 128
  - Abfallnachweisverfahren 129, 432
  - Definition 128
  - Deponien 129
  - Entsorgungskonzept 129, 238, 481, 571
  - Planfeststellung 129, 426, 432
- Abnahme 168, 169, 177, 187, 593
  - der Anlage 12, 178, 593
  - der Dokumentation 162, 178, 188, 593
  - im Engineeringvertrag 180, 182, 188
  - im Werkvertrag 168, 187
  - Rechtsfolgen 169, 170
  - Vergütung/Zahlung 168, 170
- Abrasion 323
- Abwasser 149, 300
- Aktor 229, 350
- Alarm/Alarmierung 279, 355, 356
  - Darstellung im R&I 279, 282, 283
  - -liste 356
- Anlage (s. auch extra Sachworte) 1, 217
  - -bauweise 220
  - Definition 217
  - Druck- 143
  - Frei- 220, 221
  - -grenze (s. extra Sachwort)
  - in Ex-Bereichen 143, 492
  - Inhouse- 220, 221
  - Konformitätserklärung 589, 590, 592
  - -kosten 454
- Lebenszyklus 1, 2
  - - mit wassergefährdenden Stoffen 127, 243, 296, 298, 300
  - -modellierung (s. extra Sachwort)
  - -planung (s. extra Sachwort)
  - Package-unit- 10, 185, 210, 238, 574, 582
  - -phasenmodell 3, 4
  - überwachungsbedürftige -- 138, 143, 431
  - verfahrenstechnische -- 1
- Anlagendokumentation 56, 573, 574, 585
  - Definition 56
- Anlagengestaltung (bauseitig) 218, 220, 222, 332, 335, 439
- Anlagengrenze 235, 373, 568
  - Checkliste 374
  - Einbindepunkte 235, 373
  - ISBL 235, 236, 372, 374
  - OSBL 235, 236, 372, 374
  - Übersicht 236
- Anlagenmodellierung 219, 331, 500
  - Ablauf/Workflow 332
  - Anordnungsbeziehungen 333
  - Bauweise/Gebäudeplanung 220, 332
  - Bestandserfassung 331, 502
  - Checklisten 503, 530
  - 3D-Anlagenentwurf 331, 332
  - 3D-Anlagenmodell 500, 505, 506
  - 3D-Rohrleitungsmodell 505
  - Grob-Layoutplanung 219
  - Rohrbrücke/Rohrleitung 503, 504

- Software-Werkzeuge 203
  - Unterflur- 506, 509
  - Überprüfungen 505
- Anlagensicherheit (s. auch extra Sachworte\*) 49, 138, 388
- Definition 49
  - Gefährdungsbeurteilung\*
  - Regeln für Sicherheit\* 122, 124
  - Regeln der Technik\* 122, 123
  - Risikobeurteilung\*
- Anstrich (s. Beschichtung)
- Apparat/Behälter/Tank 94, 294, 482
- Auslegung 291, 295, 296, 479
  - Darstellung auf Fließschema 274, 276, 278, 288
  - Definitionen 94
  - Dokumentenanforderungen
  - Druckgerät 94, 96, 483, 491
  - -konstruktion 296, 482
  - Wärmeübertrager 296, 297
- Apparateleiste 217, 287
- Arbeitsmittel (nach BetrSichV) 143
- Definitionen 143
  - Gefährdungsbeurteilung 143
- Arbeitssicherheit 49, 122, 124, 148, 151
- Arbeitsstätten-VO 151
  - Arbeitsschutz 148
  - Definition /Ziel 49, 148
  - DGUV-Vorschriften 122, 124, 149, 150
  - Gesundheitsschutz (s. extra Sachwort)
  - LärmVibrations-ArbSchV 152
  - rechtliche Grundlagen 122
  - Regeln für Sicherheit 124
  - Regeln der Technik 123
  - Schwerpunktsetzung 148
- Arbeitszeit 152
- bei Auslandseinsatz 153, 154
  - leitende Angestellte 153
  - nach Arbeitszeitgesetz 152
  - Reisezeit 153
  - Wegezeit 153
- Armatur 277, 294, 315, 317, 535
- Armaturenklasse (s. extra Sachwort)
  - Auswahl/Kriterien 315, 316
  - Darstellung auf Fließschema 274, 277, 278, 279, 317
  - Dichtheitsnachweis 535, 536
  - Kennbuchstaben/Benennung 277, 317
  - -kennzeichen 317
  - Ventilbauarten 294
- Armaturenklasse 303, 317, 524, 535
- Definition 317
- AS BUILT-Dokumentation 12, 162, 164, 573, 575, 585, 593
- Definition 162
  - Qualitätsmerkmale 164, 586
  - Spezifikation 163
- Aufstellungsplanung 334, 505, 506
- Aufstellungsentwurf 331, 334
  - Aufstellungsplan (Detail) 506, 507
  - Beispiel 335, 507
  - Definition 334
  - Grundstücksplanung 219
  - Lageplan 218
- Ausführungsplanung/Detail Engineering (s. auch extra Sachworte\*) 9, 477
- Bau/Stahlbau-\* 509
  - Besondere Hinweise 569
  - Definition/Aufgaben 477
  - Detail-Engineering-Dokumentation 572
  - 3D-Anlagenplanung 500
  - Infrastruktur-\* 568
  - in Phasenmodell 4, 9
  - Konstruktion Hauptausrüstung\* 296, 482
  - Kosten/Vergütung\* 457, 509, 570
  - Logistik-\* 565
  - nach HOAI 457, 509, 559
  - Planungstestat 570, 572
  - PLT-\* 537
  - Risikobeurteilung\* 571
  - Rohrleitungs-\* 522

- Sicherheitstechnische Detailplanung\* 51, 52, 570
- TGA-\* 559
- Verfahrens-\* 478
- Auslegung (verfahrenstechnisch) 295, 302, 303, 479
  - Lüftungskanal 371
  - Definition 295
  - Hauptausrüstung 291, 295, 296, 479
  - Rohrleitung 302, 303, 479
  - Sicherheitsarmatur 303, 479
- Ausmauerung 192, 329, 330, 336
- Ausrüstung (Haupt-) (s. auch extra Sachworte\*) 213, 294, 482, 488
  - Anfahrausrüstungen 499
  - Apparat\* 213
  - Apparateleiste\* 217, 287
  - -art 294, 295
  - Auslegung\* 291, 295, 479
  - Behälter\* 213
  - Beschichtung\* 329, 487
  - Beschilderung\* 488
  - Betriebsparameter 292, 293
  - -datenblatt 217, 294, 300, 301
  - Dämmung\* 479, 488
  - Definitionen 213
  - Dimensionieren (Festigkeit) 295, 484, 485, 486
  - Druckstufe 292, 293, 294
  - Isolierung (s. Dämmung)
  - Konstruktion\* 296, 482
  - -liste 217, 294, 300, 479
  - Maschine\* 213, 492
  - Pumpe\* 295
  - Schadensursachen 326
  - Stressberechnung 533
  - Tank\* 213
- Basic Design (s. Verfahrensplanung)
- Basic Engineering (s. Entwurfsplanung)
- Basic Engineering-Dokumentation 56, 414, 415
  - Abgrenzung zu Pflichtenheft 414, 415, 419
  - Inhaltsverzeichnis 415
- Bau 10, 585
  - Bauprodukte-VO 107
  - in Phasenmodell 4, 10
- Bauvorplanung/Baukonzept 220, 222, 224
  - Aufgaben/Übersicht 223, 224
  - Flach-/Hochbau 221
  - Frei-/Inhouseanlage 220, 221
  - Industriearchitektur/Fernsicht 221, 439
  - nach HOAI 223
- Bau/Stahlbauplanung (s. auch extra Sachworte\*) 222, 335, 509
  - apparativer Stahlbau 513
  - Aufgaben/Übersicht 336
  - -ausführungsplanung 509
  - Ausführungszeichnung 510, 512, 514
  - Baukonzept\* 220, 222
  - Bauvorplanung\* 222
  - Beschichtung\* 345, 347, 348, 522
  - Brandschutz/-konzept\* 108, 224, 229, 342, 519
  - Dämmung\* 344, 520
  - -Detailzeichnung 512
  - Dokumentarten (Zeichnungen) 340, 514
  - -entwurfsplanung 335
  - -Entwurfszeichnung 338, 339
  - fachspezifische Berechnung 344
  - Fertigungs-/Werkstattzeichnung 512
  - Feuerfestbau 520, 521
  - nach HOAI 223, 336, 345
  - Industriearchitektur/Fernsicht 6, 221, 224, 439
  - Korrosionsschutz\* 327, 345, 521, 522
  - nach HOAI 223, 336, 345, 510
  - Raumbuch 342, 518, 519
  - Raumprogramm 342, 519
  - Säureschutz 336, 521, 522

- statische Berechnung 344, 519
  - Tragwerksplanung 344, 345
  - -Vorentwurfszeichnung 337
  - -Vorlagezeichnung 510
  - -Werkzeichnung 510, 511
- Bearbeitungsstatus 6, 57
- Definition 55
  - gemäß Phasenmodell 58
- Befugnis 23, 26, 437
- Arten von -- 24
  - Definition 23
  - Übertragung 26
- Behälter (s. Ausrüstung bzw. Apparat)
- Benennung (s. Kennzeichnung und Kennbuchstaben)
- Beschaffung/Procurement 10, 239, 579, 580, 582
- Beschaffungsrichtlinie 580
  - -konzept 239
  - -kosten 457
  - Dokumentation 55, 582, 583, 584
  - in Phasenmodell 4, 10
  - im Ingenieur-/EPCM-Vertrag 173, 175, 182
  - im General-/LSTK-Vertrag 176, 177
- Beschaffungskonzept 239
- Beschichtung 327, 329, 347, 348
- an Ausrüstung 329, 330
  - an Rohrleitung 329, 330
  - beim Hersteller 347
  - im Stahlbau 347, 348
- Beschilderung 488, 536
- Bestellung (verantwortungsseitig) 27, 29, 31
- Beste verfügbare Technik (BVT) 113, 442
- BVT-Merkblatt 113, 442
  - BVT-Schlussfolgerung 114, 442
- Betriebsanleitung 92, 96, 103
- Definition 103
  - nach ATEX-Hersteller-RL 104
  - nach Druckgeräte-RL 96
  - nach MRL 92
- Betriebsanweisung 118, 391
- Betriebsdokumentation 56
- Definition 56
- Betriebstestat 51, 53, 589
- Beweislast(-pflicht) 134, 169, 172, 188, 191
- im Dienstvertrag 172
  - im Kaufvertrag 171, 188
  - im Werkvertrag 169, 188
  - nach ProdHaftG 142
  - nach UmweltHG 134
- Bezahlung (s. Vergütung)
- Bilanzieren/Bilanz 216, 289, 292, 479
- Ablauf (Workflow 290
  - Energie- 216, 289, 481
  - Masse-/Menge- 216, 289
  - Stoff- 216, 289
- Brandschutz 108, 130, 224, 229, 342, 401, 519
- Brand-/Feuermelder 229, 401
  - Rauchmelder 229, 401
  - TGA-Maßnahmen 232, 372, 563
- Brandschutzkonzept 224, 342, 343, 519, 571
- Brandabschnitt 343, 344
  - Feuerwehrplan 343
  - Feuerwiderstandsklasse 344
  - Rauchabschnitt 344
  - Rauchabzugsanlagen 343
- BRD-Recht 120, 125, 126, 138, 148
- ArbSchG 149
  - ArbZG (s. auch Arbeitszeit) 152
  - BetrSichV (s. auch Arbeitsmittel bzw. überwachungsbedürftige Anlagen) 142
  - BIImSchG (s. auch Genehmigungsverfahren nach BIImSchG) 125
  - ChemG (s. auch Stoff) 129
  - DGUV-Vorschriften 122, 124, 149, 150
  - GefStoffV (s. auch Stoff) 129
  - KrWG (s. auch Abfall) 128
  - Produkthaftungsgesetz (s. auch Produkt) 139

- ProdSG (s. auch Produkt bzw. überwachungsbedürftige Anlagen) 138
  - Struktur der Vorschriften 126
  - TA-Lärm 526
  - TA-Luft 115
  - Übersicht zum Recht 120, 121, 122, 126
  - UmweltHG 133
  - Unfallverhütungsvorschriften (s. DGUV-Vorschriften) 122, 124, 149, 150
  - DGUV-Vorschrift I 150
  - WHG/VAwS (s. auch Wasser gefährdende Stoffe) 127
- CE-Kennzeichen** (s. Konformität)
- Commissioning** (s. Inbetriebnahme)
- Construction** (s. Montage)
- Cost Estimation** (s. Kostenermittlung)
- Dämmung** (Wärme, Kälte, Schall) 344, 479, 480, 488, 489
  - im Bau 344, 520
  - von Apparat/Behälter 479, 480, 488
  - von Rohrleitung 526, 528
- Datei** 54, 206
  - bearbeitbare -- 161, 203
  - Dateiname 57, 206
  - Definition 54
- Datenblatt** 110, 300, 357, 548
  - Ausrüstungs- 217, 300, 301
  - Motoren- 365, 549
  - PLT-Stellen- 356, 357, 547
  - Regelventil- 548
  - Sicherheits- 109, 110, 131, 242
- Detail Engineering** (s. Ausführungsplanung)
- Dichtung** 293, 311, 313, 315
  - Dichtflächenform 312, 313
  - Dichtungsgruppe 312, 313
  - Dichtungsklasse (s. extra Sachwort)
  - Kennbuchstaben 315
- Dichtungsklasse** 303, 315, 524, 535
  - Definition 315
- Dimensionieren/Bemessen** 295, 311, 484, 485, 486, 523
  - Definition 295
  - Druckgerät 484, 486
  - Rohrleitung 311, 523
- Dienstvertrag** 171, 172
  - Vertragsgegenstand 171
- Dokument** 53, 54
  - Bearbeitungsstatus 6, 55, 57, 58
  - Definition 53
  - "einfrieren" (Freezing Point) 479
  - Form 204
  - Freigabe 57, 58, 59
  - Kenntnisnahme 59
  - -kennzeichen 55, 205
  - Master- 55, 57
  - -Management-System
  - Original
  - Prüfung 57, 58
  - Qualitätskontrolle 59
  - Revisionierung 57, 206
  - Übersichts- 481
- Dokumentation** 53, 54, 56, 60, 161, 201, 247, 414, 572, 585
  - Abwicklungstruktur 202, 573, 574
  - Anlagen- 56, 573, 574, 585
  - Apparat/Behälter 497, 498
  - AS BUILT- 12, 56, 162, 573, 575, 585, 593
  - Basic Engineering- 56, 414, 415
  - Beschaffungs- 55
  - Betreiber- 53, 54
  - Betriebs- 56
  - Definitionen 53, 54
  - Detail-Engineering- 56, 572, 574
  - Eigentum 207
  - Engineering- 53, 54, 55
  - Errichter- 53, 54
  - FEL- 13
  - Genehmigungs- 55
  - Gewährleistung 188

- Hersteller- 56, 204, 495, 497, 584, 585
  - im Lastenheft 160, 161
  - im Projekt 60, 61
  - im Vertrag 61
  - Kosten 60
  - Lebenszyklus 53, 54
  - Lieferanten- 495, 497, 584, 585
  - Maschine 91, 495, 496
  - mögliche Versäumnisse 35
  - Package-unit-Dokumentation 574, 582, 583
  - Pflichtenheft 7, 414, 415
  - Pharmaprojekte 72, 74
  - Phasen- 53, 54, 56, 203, 204
  - Pre-Basic- 56, 247
  - Produkt- 55, 495, 497
  - Projekt- 18, 33, 55
  - Qualitätsmerkmale 61, 161, 206, 586
  - Rückbau- 54
  - Software-Werkzeuge 202, 203
- Dokumentationskonzept 55, 162, 201, 207
- Dokumentationsprozess 161, 162
- Dokumentenart 55, 61, 202, 205, 481, 536, 564
- Bau/Stahlbau- 340, 514
  - Document-Classification Code (DCC) 205
  - Kennzeichnung/Benennung 205
  - Liste wichtiger -- 61, 207
  - PLT- 349, 351
  - Rohrleitung- 536, 537
  - TGA- 564
  - Verfahren- 481
- Druck 94, 292, 293
- Ansprech- 304
  - Auslegungs- 293
  - Definitionen 293
  - maximal zulässiger- 293
  - minimal zulässiger- 293
  - Nenndruck 293
  - -stufe/-trennung 293, 294
  - nach Druckgeräte-RL 94
- Druckgerät 94, 96, 145, 483, 491, 494
- Betriebsanleitung 96
  - Definitionen 94
  - Einstufung/Kategorie/Modul 97, 98, 145, 146
  - Dimensionierung/Festigkeitsnachweis 483, 491
  - Inverkehrbringen 94, 494
  - Konformität 95, 97, 98, 494
  - Konstruktion 483, 485, 491
  - Nutzung EN 13445/AD 2000 486
  - Prüfungen 96, 97, 485, 491
  - Sicherheitsanforderungen 95, 96
- Druckstufe 292
- Durchführbarkeitsstudie 3, 5, 82, 86
- Abschlussbericht 86
  - Definition 82
  - Standortwahl 84
  - Vorgehensweise (Workflow) 83
- EG-Konformitätserklärung (s. Konformität)
- Eingriff (s. PLT-Schutzeinrichtung)
- Elektrotechnik (s. ET-Planung)
- Emission 112, 244, 272, 397, 436, 437
- Beurteilung 244, 397
  - Definition 436
  - Grenzwerte 114, 272
  - nach Industrieemissions-RL 112, 114
- Enddokumentation (s. AS BUILT-Dokumentation)
- Engineering (s. auch extra Sachworte\*) 2, 199, 269, 425, 453, 477
- Anlagenmodellierung\* 219, 331, 500
  - Aufstellungsplanung\* 331, 334, 506
  - Ausrüstungen (Haupt-)\* 217, 294, 482
  - Bau/Stahlbauplanung\* 222, 335, 509
  - Beschaffung 580
  - Bearbeitungsstatus 55, 57, 58

- Beschichtung\* 327, 329, 347, 348, 480, 487, 488, 528
  - Besondere Hinweise 569
  - Dämmung\* 344, 479, 480, 488, 489, 528
  - Definition 2
  - Druckverlustberechnung 534
  - Fließschema\* 211, 214, 273, 478
  - Inbetriebnahme\* 377, 380, 592
  - Infrastruktur\* 235, 239, 373, 568
  - Instandhaltung\* 383
  - Korrosionsschutz\* 327, 329, 345, 487, 488, 521, 528
  - Kosten\* 223, 271, 335, 455, 456, 509, 570
  - Lage-/Layoutplanung\* 217
  - Logistik\* 235, 236, 372, 565
  - Montage 377, 378, 553, 585
  - Package-unit-Anlagen\* 10, 185, 574, 582
  - Pharmaanlagen 62
  - Projektplanung\* 41
  - Planungstiefe/-grad 270, 401, 457, 458, 460
  - Prozessleittechnik (PLT)\* 225, 349, 537
  - Qualitätskontrolle/-sicherung 14, 16, 21, 52, 58, 59, 67, 152, 159, 176, 238, 328, 416, 454, 480, 483, 500, 529, 554, 569, 581, 582, 583
  - Rohrleitungstechnik (RT)\* 308, 522
  - Säureschutz 522
  - Sicherheitsarbeit\* 47, 50, 241, 386, 570
  - Sicherheitsarmatur 303, 305, 306
  - Software-Werkzeuge 202, 203, 216
  - Technische Gebäudeausrüstung (TGA)\* 231, 371, 559
  - und Dokumentation 56
  - und Konstruktion 296, 482
  - Verfahrenstechnik\* 208, 271, 478
  - Vertragsmodelle\* 164, 178, 180, 185
  - Werkstoffauswahl\* 5, 102, 270, 313, 325, 327, 479
- Engineeringdokumentation 53, 54, 55, 247, 414, 572
- Engineeringplanung 41, 47
- Detailplanung 43
  - -dokumente 41, 47
  - Grobplanung 41
  - Fachdisziplin 42
  - Hierarchie 44, 46
  - Planungsumfang 42
  - Ressourcen- 46
  - Schritte/Methodik 44, 47
  - Strukturierung 42
  - Terminplan 47
- Engineeringvertrag (s. Ingenieurvertrag)
- Entwicklung (s. Verfahrensentwicklung)
- Entwurfsplanung/Basic Engineering (s. auch extra Sachworte\*) 7, 269, 414
- Aufgaben/Ziele 7, 269
  - Bau/Stahlbau-\* 335
  - Basic Engineering-Dokumentation 414, 415
  - -Dokumentation 56, 414, 415
  - 3D-Anlagen- 331
  - Entwurfstestat 387
  - Explosionsschutzdokument\* 399
  - Extended Basic 8, 61, 179, 201, 271, 414, 415
  - Fließschema\* 273, 286, 289
  - Gewährleistung/Garantie\* 187
  - inbetriebnahmegerichte -- 380, 381
  - Infrastruktur-\* 373
  - in Phasenmodell 4, 7
  - Instandhaltungsaudit/-konzeption 383

- Kosten/Vergütung\* 270, 271, 457
  - Logistik-\* 372
  - montagegerechte -- 377, 378
  - nach HOAI 223, 270, 335, 457
  - PLT- 349
  - Risikobeurteilung\* 386, 391
  - Rohrleitung- 308
  - Sicherheitsarmatur \* 303, 305, 306
  - Sicherheitstechnische Entwurfsplanung\* 51, 52, 386
  - SIL-Einstufung\* 397
  - TGA-\* 371
  - Verfahrensplanung\* 271
- ET-Planung (s. auch extra Sachworte\*) 365, 368, 554, 555
- Ablauf (Workflow) 368, 555
  - Elektro-Energiebedarf 367, 368, 481
  - ET-Geräte 350, 358, 538
  - ET-Schaltpläne 366
  - Motoren-/liste 365, 366, 367, 549
  - Notstromversorgung 225, 230, 356, 368, 369, 418, 555
  - Sanftanlaufgerät 366
  - Schaltanlagen 367, 368, 555
  - Spannungsebenen 366
  - Spannungsversorgung 366, 368
  - Frequenzumrichter 228, 366
- EU-Richtlinie (RL) (s. auch Europa-recht) 87, 88, 112
- EU-Verordnung (VO) (s. auch Europa-recht) 88, 107, 108, 112
- Europarecht 87, 94, 99, 105, 106, 107, 108, 112, 116
- ATEX-Betriebs-RL 116, 118
  - ATEX-Hersteller-RL (s. auch Geräte) 99, 119
  - Bauprodukte-VO 107, 108
  - Druckgeräte-RL (s. auch Druck-gerät) 94
  - EMV-RL 106, 107
  - GHS/CLO-VO 112, 131
  - Industriemissions-RL 112
- Maschinen-RL (s. auch Maschinen) 88
  - Niederspannungs-RL 105, 106
  - REACH-Verordnung (s. auch Stoff/Gemisch) 108, 131
  - Übersicht 87, 88
- Explosion 402
- Definitionen 402, 403, 404
  - -Dreiecksdiagramm 403
  - -grenzen 403, 404, 405
  - -Sauerstoff-Grenzkonzentration 404
- Explosionsschutz 99, 102, 116, 118, 130, 132, 144, 229, 400, 492, 538
- Ablauf/Workflow 400
  - Anweisung 118
  - Arbeitsfreigabe 118
  - Definitionen 100, 116, 130, 131
  - Gaswarneinrichtung 229
  - Einsatz von Geräten 102
  - Einstufung elektrischer Geräte 538
  - Einstufung nicht-elektrischer Geräte (inkl. Maschinen) 492
  - explosionsfähige Atmosphäre/ Gemisch 100, 116, 117, 130
  - Ex-Zonen/-einteilung 117, 409, 507
  - Gefahrenzonenplan 402, 411, 507
  - nach ATEX-Betriebs-RL 116
  - TGA-Maßnahmen 232, 372, 563
  - Unterweisungen 118
- Explosionsschutzdokument 118, 119, 120, 132, 144, 399, 410, 412, 413, 507, 571
- Einstufung Ex-Bereiche/Zonen 404, 405, 407, 408
  - Einordnen in Projektabwicklung 413
  - Gefahrenzonenplan 410, 411, 507
  - Inhaltsverzeichnis/Beispiel 412
  - rechtliche Grundlagen 118, 120, 132, 144, 402, 404, 410
  - Verantwortlichkeit 413

- Zoneneinteilung in Anlage 410
  - Explosionsschutzkonzept 120, 132, 144, 401, 402, 411
  - Explosionsschutzmaßnahmen 118, 119, 133, 400, 401, 411
  
  - Fachdisziplin/Gewerk 42
  - Fahrlässigkeit 38, 40, 41, 121
    - fahrlässiges Handeln 38, 40
    - grobe -- 38
  - Feldbus 226, 228
  - Festigkeitsberechnung (s. Dimensionieren)
  - Festpreis (s. Pauschalpreis)
  - Feuerfestbau 520, 521
  - Flansch 94, 309, 311, 407, 408, 486, 504
    - Dichtheitsnachweis 535, 535
    - Sonder- 524
  - Fließschema 211, 214, 273, 478
    - -arbeit 273
    - Grund- 211
    - R&I 273, 478
    - Verfahrens- 214
  - Freianlage 220
  - Frequenzumrichter (FU) 228, 366
  - Front-End-Loading (FEL)/Front-End-Engineering (FEE) 12, 13
    - Definition 13
    - Dokumentation (s. Basic Engineering-Dokumentation)
    - Grafik 13
  
  - Garantie 186, 191
    - Definition 191
    - in Anlagenverträgen 166
    - Lebensdauer- 192
    - Leistungs-/Verfahrens- 179, 187, 191
    - Produktions- 192
    - Technische -- 192
  - Gefährdung 48, 116, 131, 143, 241, 388, 391, 481
    - Brand- 131, 401
    - Definition 388
  
  - -- durch Korrosion 326
  - Explosions- 100, 116, 131, 132, 144, 401, 402,
  - Gefahrstoff- 131
  - Personen- 388
  - Umwelt- (allgemein) 129
  - von Arbeitsmitteln 143
  - Wasser- 127
- Gefährdungsbeurteilung 49, 120, 132, 143, 151, 390, 572
  - Abgrenzung 386, 388
  - Ablauf/Hauptschritte 390
  - Definition 49, 390
  - nach ArbSchG 49, 151, 390
  - nach BetrSichV 49, 120, 143
  - nach GefStoffV 120, 132
- Gefahrenübergang 169, 171, 180
  - im Kaufvertrag 171
  - im Werkvertrag 169
- Genehmigung 4, 429, 436, 448, 449
- Genehmigungsantrag 427, 428, 441
- Genehmigungsbescheid 51, 427, 447, 571
  - Beispiel 448
  - Einhaltung/Kontrolle 5, 9, 136, 137, 571
  - Inhalt 447
  - Nutzung 448, 571
- Genehmigungsdokumentation 55
  - Antrag/-unterlagen 438, 449
  - Bescheid 447, 448
- Genehmigungsfähigkeit 85, 427, 428
- Genehmigungsplanung (s. auch extra Sachworte\*) 425
  - Änderungsgenehmigung 439
  - Begriffsdefinitionen 425, 426
  - Beste verfügbare Technik (BVT)\* 114, 115, 428
  - Entwurfsdaten in Lastenheft 6, 8, 159, 428, 438
  - Flansch/Armatur\* 535, 536
  - Genehmigungsbescheid\* 447
  - Genehmigungsfähigkeit\*
  - Genehmigungsprognose\*
  - Genehmigungsverfahren\*
  - Industrieemissions-RL 112

- in Phasenmodell 4, 8, 427
  - in Projektabwicklung 4, 427, 428
  - Schallimmission 526
  - Stand der Technik\* 115, 450
  - Stoffliche Emissionen/Immissionen 112, 114, 244, 289
  - TA-Lärm 36, 428, 438, 526
  - TA-Luft 36, 115, 438, 535
  - Umweltverträglichkeitsprüfung\* 433
- Genehmigungsprognose/-konzeption 217, 428
- Genehmigungsverfahren (allgemein) 429, 571
  - Beste verfügbare Technik (BVT) 115, 428, 438
  - Einfluss Antragsteller
  - nach Baurecht 433
  - nach Bergrecht 433
  - nach BImSchG (s. extra Sachwort) 429
  - nach KrWG 432
  - nach WHG 430
  - Überblick BRD 429
  - überwachungsbedürftige Anlagen 138, 431
- Genehmigungsverfahren (nach BImSchG) 429, 436, 448
  - Ablauf (Workflow) 443, 444
  - Änderungen (§15) 439, 448, 450
  - Antrag/-unterlagen 438, 441
  - Bescheid 447
  - besondere Vorschriften 445
  - Bestimmungsgemäßer Betrieb 442
  - Definitionen 436, 442
  - Einfluss Antragsteller 437
  - Erörterung 445
  - Förmliches -- 443, 444
  - Frist/Dauer 428, 445, 446
  - nachträgliche Anordnungen (§17) 439, 450
  - Sicherheitsbericht 52, 270, 442
  - Strörfall-Anlagen 52, 270, 442
  - Vereinfachtes -- 444, 446
- vorzeitiger Beginn 429
  - wesentliche Änderungen (§16) 439
- Gerät (allgemein)
  - Darstellung auf Fließschema 274, 278, 279, 282
  - Übersicht 350
- Gerät/Schutzsystem (in explosionsgefährdeten Bereichen) 99, 119, 492, 538
  - Betriebsanleitung 103
  - Definitionen 99
  - Einsatz in Ex-Zonen 102, 119, 492, 538
  - elektrische Betriebsmittel 100
  - Gerätekategorie 100, 493, 539, 541
  - Gerätekategorie 101, 119, 493, 539
  - Kennzeichen 493, 539
  - Konformität 103
  - Maschinen 100, 492, 493, 494
  - Sicherheitsanforderungen 102, 103
  - Temperaturklasse 493, 542
  - Zündschutzart 493, 540, 542
- Gesetze (s. BRD-Recht)
- Gesundheitsschutz 50, 122, 148, 149
- Gewährleistung 186, 187
  - -frist 170, 188, 190
  - Definition 187
  - für Basic Engineering 187
  - für Dokumentation 61, 187, 188
  - im Kaufvertrag 171, 189, 190
  - im Werkvertrag 170, 187
  - Technische -- 192
- Gewerk (s. Fachdisziplin)
- GEP (Good Engineering Practice) 64, 74
- GMP (Good Manufacturing Practice) 62, 66, 67, 72, 74
  - Definition 67
  - GMP-Anforderungen 62, 66,
  - GMP-Testate 62, 65, 66
- Grenzwert (s. Alarm bzw. PLT-Schutzeinrichtung)
- Grundfließschema 211

- Beispiel 211
  - Definition 211
  - Informationen 211
- Grundlagenermittlung** (s. auch extra Sachworte\*) 5
- BRD-Recht\* 120
  - Dokumentation\* 160
  - Europarecht\* 87
  - Gewährleistung/Garantie\* 186
  - in Phasenmodell 4, 5
  - Lastenheft\* 6, 154
  - Standort\* 84, 85
  - Vertragsmodelle\* 164, 178, 180, 185
- Grundoperation** 208
- Beispiele von -- 209
  - Definition 208
- Grundstücksplanung** 219
- GSU** (Gesundheit-Sicherheit-Umweltschutz) 47, 50, 122
- im Projekt 47
  - Sicherheitsarbeit (s. auch extra Sachwort) 50, 241, 386, 570
  - Übersicht zu Recht 122, 126
- Haftung** 133, 141, 171, 175
- Gefährdungshaftung 134, 142
  - nach BGB 171
  - nach ProdHaftG 141
  - nach UmweltHG 133
- HAZOP-Methode** 391
- Auftrag/Abgrenzung 392
  - Beispiele 394, 395
  - HAZOP-Leitwort-Tabelle 393
  - Risikobewertung/-matrix 393
  - Szenarien/Leitworte 393
- Hersteller** 95, 100, 103
- Definition 95
  - -dokument/-ation 55
- HOAI** 12, 222, 223, 270, 335, 336
- HSE** (Healthcare-Safety-Environment) (s. GSU)
- Immission** 436, 437
- Definition 436
- Inbetriebnahme** 4, 11, 89, 95, 380, 586, 592
- Heiß- 11
  - im EPCM-Vertrag
  - inbetriebnahmegerechte Planung 377, 380, 381
  - in Phasenmodell 4, 11
  - Kalt- 11
  - -kosten 377
  - Leistungsfahrt/-nachweis
  - von Druckgeräten 95
  - von Maschinen 89
  - von überwachungsbedürftigen Anlagen 144, 145
- Inbetriebnahmedokumentation** 11, 586
- Infrastrukturplanung** 235, 373, 568
- -ausführungsplanung 568
  - Anlagengrenze (s. auch extra Sachwort) 235
  - -entwurfsplanung 373
  - Infrastrukturkonzept 235, 239
  - Schnittstellendokument 374
  - Schnittstellenkontrolle/Checkliste 374
- Inhouseanlage** 220, 221
- Instandhaltung** 270, 383, 384
- -audit 384
  - Definitionen 383
  - Ersatz-/Verschleißteil 558, 564
  - -konzeption 386
  - -kosten 384
- Instrumentenluft** 350, 369, 557, 558
- Inverkehrbringen** 89, 94, 105, 107, 109, 139, 388
- von Bauprodukten 107, 520
  - von Gefahrstoffen 109, 130
  - von Geräten in Ex-Zonen 100
  - von Druckgeräten 94
  - von Maschinen 89
  - nach Niederspannungs-RL 105
  - nach ProdSG 139
  - verfahrenstechnische Anlage 388, 389
- Isolierung** (Wärme/Kälte/Schall) (s. Dämmung)

- Kabel 228, 358, 555, 557
- Lichtwellenleiter (LWL)- 228, 364
  - Kupfer- 228, 364
  - -liste 358, 359, 557
  - -trassen 222, 557
  - -verlegung 229, 230, 557
- Kaufvertrag 170, 189
- Gefahrenübergang 189
  - Gewährleistung/Garantie 171, 189, 181
  - Übergabe/Entgegennahme 171
  - vereinbarte Beschaffenheit 170, 189
  - Vertragsgegenstand 170
  - Vergütung/Zahlung 170, 171
- Kavitation 324, 325
- Kennbuchstaben/Kennzeichen 275, 282, 315, 317
- Aktoren 277, 317
  - Anlage 275
  - Apparate/Maschinen 276
  - Armaturen 277, 317
  - Dichtung 315
  - PCE-Kategorie (Mess-/Regelgröße) 282
  - PCE-Verarbeitungsfunktion 282
  - Rohrklasse 312
  - Rohrleitungen 277, 314
  - Teilanlage 275
  - Werkstoff 313, 314
- Kennzeichnung 205, 275
- Anlagen- 275
  - Dokumenten- 205
  - Sicherheits- 559
- Kondensatableiter 524, 525
- Konformität 90, 97, 103, 105, 107, 589, 592
- -bewertungsverfahren 97, 103, 106
  - Definitionen 95
  - -erklärung 89, 99, 105, 106, 107, 145, 589
  - für Bauprodukte 108, 520
  - für Druckanlagen 145
  - für Druckgerät 97, 99
- für Geräte 103
  - für Maschine 89
  - für vt Anlagen 589, 590, 592
- Konstruktion (s. auch extra Sachworte\*) 296, 482, 499
- Ablauf (Workflow) 484
  - Anforderungen 483
  - Apparat/Behälter /Tank 296, 482
  - Beispiele 490, 499
  - Beschichtung\* 487
  - Dämmung\* 488
  - Druckgerät\* 483, 485, 486, 491
  - Einflussfaktoren 296
  - Hauptausrüstung 482
  - Korrosionsschutz\* 329, 346, 487
  - Maschine\* 492, 493
  - Wärmeübertrager 296
- Korrosion 319, 320
- Definition 319
  - Flächenkorrosion (abtragende) 320
  - Interkristalline -- 323
  - Loch- 321
  - metallischer Werkstoff 319
  - Spannungsriß- 322
  - Übersicht 320
- Korrosionsschutz (s. auch extra Sachworte\*) 329, 345, 347, 487, 528
- an Ausrüstungen 327, 329, 346, 480, 487
  - an Rohrleitungen 327, 329, 346, 528
  - Auskleidung 327
  - Ausmauerung 192, 329, 330, 336, 521, 522
  - beim Hersteller 347
  - Beschichtung\* 329, 347, 487, 488
  - im Bau/Stahlbau 345, 347
  - Säureschutz 336, 521, 522
  - Übersicht 327, 346
  - Überzug 329
- Kosten (quantitativ)

- Ausführungsplanung 457, 509
- Dokumentationsleistungen 60
- Engineering 223, 271, 335, 454, 455
- Entwurfsplanung 270, 271, 457, 509
- Inbetriebnahme 377
- Instandhaltung 383, 384
- Montage 4, 10, 377
- nach HOAI 223, 270, 335, 456, 457, 509
- Objekt-/Bauüberwachung 457
- Vorplanung 223, 457, 509
- Kostenermittlung** 9, 453, 457, 471
  - Ablaufschema (Beispiel) 463
  - Anlagenkosten, Direkte 454, 463
  - Anlagenkosten, Indirekte 454, 463
    - Betriebskosten 471
  - Engineeringkosten 455, 456, 570
  - Genauigkeit 454, 458, 459, 460
  - Grundbegriffe/Kenngrößen 472, 474
  - in Phasenmodell 4, 9, 459
  - Investitionskosten 457
  - Investitionsrechnung 472, 475
  - Kapazitätsmethoden 461, 462
  - Kostenverlauf 13, 475
  - Modulmethode 467
  - nach HOAI 455, 456, 457
  - Planungstiefe/-grad 457, 458, 460
  - Übersicht 459
  - Unvorhergesehenes 467
  - Zuschlagsfaktoren 465
  - Zuschlagsfaktorenmethode 462, 463, 464, 466, 467
- Laboranalysentechnik (LAT)** 225, 231, 370
- Laborplanung** 231, 370
- Lageplanung** 217, 218
  - Grundstücksplanung 218, 219
  - Lageplan 218
  - Übersichtslageplan 220
- Lärm** (s. Schall)
- Lastenheft** 6, 154, 155, 158, 210
  - Checkliste 155, 161
  - Definition 154
  - Gliederung 158
  - Management Statements 160
  - Mitwirkung Investor
  - Standortbedingungen 157, 158
  - Vorgaben zur Dokumentation 61, 160, 161
- Layoutplanung** 217
- Lebenszyklus** 1, 2, 54
  - der Anlage 1, 2
  - der Dokumentation 54
- Leistungsfahrt** 11
- Leistungsnachweis** 11, 169, 171, 178, 183, 192
- Leitebene** 226, 364, 365
- Leittechnik** (s. Prozessleitsystem)
- Listen (Kopfdaten)**
  - Analysenprogramm 558
  - Druckbehälter- 300
  - Geräte- 358
  - Kabelliste 358, 359
  - Messstellenliste 356
  - Rohrleitungsliste 317
  - Steuerluftverteiler-Liste
  - Ursache-Wirkung-Liste (UWL) 360, 361
- Logistikplanung** 235, 372, 565
  - -ausführungsplanung 565
  - Anlagengrenze (s. auch extra Sachwort) 235
  - Definitionen 235
  - -entwurfsplanung 372, 373
  - -konzept 235
  - Ladungsträger 237
  - Logistikeinheiten 237
  - Roh-/Zusatzstofflogistik 237, 565
  - Zwischen-/Endproduktlogistik 237, 238, 566

- Maschine 88
- Betriebsanleitung 92
  - Darstellung auf Fließschemata 274, 276
  - Definitionen 89
  - Dokumentation 91
  - Dokumentenanforderung
  - Einbauerklärung 91
  - Gesamtheit von -- 89
  - in explosionsgefährdeten Bereichen 492, 493, 494
  - Inverkehrbringen 89, 494
  - Konformität 90, 494
  - Konstruktion 90, 492
  - Risikobeurteilung 90
  - unvollständige Maschine 89, 91
- Master (-dokument) 55, 57
- Mechanische Fertigstellung (MF) 10, 585, 589
- Mess-/Steuerungs-/Regelungstechnik (s. MSR-Planung)
- Modell (s. Anlagenmodell bzw. Phasenmodell)
- Montage 4, 10, 377, 553, 585, 589
- Betriebstestat 51, 53, 589
  - Feldgerät 552, 553
  - in Phasenmodell 4, 10
  - -kosten 377
  - Mechanische Fertigstellung 10, 585, 589
  - montagerechte Planung 377, 378
- MSR-Planung (s. auch extra Sachworte\*) 351, 538
- Alarm-/Grenzwertliste 356, 549
  - Funktionsplan 362, 363, 554
  - Hilfsenergieversorgung 369
  - Instrumenten-/Steuerluft 350, 369, 557, 558
  - Messstellenliste 356, 549
  - Messung/Messgrößen 282, 350, 370
  - MSR-Geräte 350, 358, 538
  - MSR-Stellenplan 358, 550
  - Regelarmatur\* 350, 543, 544, 548
  - Regelung\* 352, 360, 543
- Regelschema 360
  - Schaltplan\* 349, 549, 550
  - Steuerung\* 227, 280, 360
  - Symbol-Darstellung 274, 279, 282, 283, 284
  - Ursache-Wirkung-Liste 360, 361
- Nachrichtentechnik (NAT) 225, 231, 370, 558
- NOT-AUS -Schalter 361, 362
- NOT-HALT/NOT-STOP-Schalter 361, 362
- Ordnungswidrigkeitenrecht 24, 38, 121
- Organigramm 18, 20
- Beispiel 31
  - Definition 30
- Package-unit-Anlagen 10, 185, 210, 238, 574, 582
- Konformitätserklärung 592
  - Vertragsmodell 185
- Pauschal-/Festpreis 174, 175, 176, 178, 179, 180, 181, 184, 185, 186, 271
- Definition 176
- Pflicht 25
- Definition 25
  - Sorgfalts- 15, 16, 37
- Pflichtenübertragung 25, 26, 27, 28
- Musterformular 29
  - nach ArbSchG 27
  - nach DGUV-Vorschrift 27
  - nach Strafgesetzbuch 26
- Pflichtenheft 7, 154, 179, 414, 419
- Definition 414
- Pflichtverletzung 33, 37
- Konsequenzen 37, 38, 39
- Pharmaprojekte 62, 65, 67, 72
- Besonderheiten 62, 72
  - Dokumentation 64, 72
  - GMP-Anforderungen 62, 66, 72

- GMP-Testate 65, 66
- Good Engineering Practice (GEP) 72, 74
- Good Manufacturing Practice (GMP) 62, 67
- Phasenmodell 65
- Qualifizierung 62, 67
- Validierung 62, 67
- Phasenmodell 3, 4, 41
  - Ablauf/Worflow 4
  - Ausführungs-/Errichtungsabschnitt 4
  - für Anlagenprojekte 3, 4
  - für Bauprojekte 12
  - für Pharmaprojekte 5, 65
  - Konzept-/Entscheidungsabschnitt 3
  - Umsetzung im Projekt 14
- P&ID (s. R&I)
- Planning for permission (s. Genehmigungsplanung)
- Planfeststellung 129, 426, 432
- Planung (allgemein) 41, 44
  - Ablauf- 45
  - der Planung 44
  - Detail- 43
  - Engineering 41
  - Hierarchie 44, 46
  - Kosten- 46
  - Schritte/Methodik 44
  - Struktur- 44
  - Projekt- 41, 44
  - tiefe 270
- PLT-Planung (s. auch extra Sachworte\*) 225, 349
  - Ablauf (Worflow) 351, 369
  - Anordnungsplan 349, 556
  - Ausführungsplanung 537
  - Bus-Signalisten/-Logikpläne
  - Bestandteile der PLT 43, 225, 349, 538
  - Darstellung auf Fließschema 274, 279, 282, 283, 284, 538
  - Dokumentarten 349, 351
  - -Entwurfsplanung 349
- Elektrotechnik-Planung\* 366, 368, 554, 555
- Feldtechnik 330, 350, 359, 550, 552
- Funktionsplan 360, 362, 554
- Geräte (PLT)\* 350, 358
- Geräteliste 358, 538, 543
- Kabelliste 359, 557
- Kabeltrassen/-plan 333, 369, 557
- Klassifizierung PLT-Stellen 354
- Klemmenplan 557
- Laboranalysentechnik(LAT)-Planung\* 370, 558
- MSR-Planung\* 351, 538
- Nachrichtentechnik (NAT)-Planung\* 370, 558
- NOT-AUS-Schalter\* 361, 362, 559
- NOT-HALT-Schalter\* 361, 362
- Prozessanalysentechnik (PAT)-Planung\* 370, 558
- PLT-Montagezeichnung 552
- PLT-Ortswelt/-Infrastruktur 350, 369, 556
- PLT-Schutzeinrichtung\* 280, 354, 397
- PLT-Sicherungseinrichtung\*
- PLT-Stellendatenblatt 356, 357, 548
- PLT-Stellenliste 356, 549
- PLT-Vorplanung/-Kozept\*
- Process Control Engineering (PCE)\* 282, 538
- Prozessleitsystem\* 226, 365, 554
- Safety Integrity Level (SIL)\* 397, 399
- Stromlaufplan 359, 550, 551
- PLT-Sicherungseinrichtung 354
  - Klassifizieren 354
  - Wirkungsweise 354
- PLT-Schutzeinrichtung 280, 354, 397
  - Alarm-/Grenzwertliste 356
  - Darstellung auf R&I 280, 283, 284, 538

- Identifizieren 356
- Kennzeichnung 283, 284, 355
- SIL-Einstufung 397, 571
- PLT-Vorplanung/-Konzept (s. auch Prozessleitsystem) 225
  - Bestandteile der PLT 225
  - ET-Varianten 230
  - Feldgeräte 229
  - Gebäude für PLT 229
  - NAT-Varianten 231
  - PAT-/LAT-Varianten 231
  - Signalübertragung 226, 228
  - Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) 227
  - Struktur des PLS 226
- Pre-Basic (s. Vorplanung)
- Process Control Engineering (PCE) 282, 538
  - Darstellung PCE-Aufgabe 283
  - PCE-Funktionalität 282, 538
  - PCE-Kategorie 282, 283
  - PCE-Kreis 284
  - PCE-Verarbeitungsfunktion 282, 283
- Procurement (s. Beschaffung)
- Produkt 138, 139
  - Definitionen 138, 139
  - -dokumentation 55
  - nach ProdHaftG 139
  - nach ProdSG 138
- Projekt 15, 41, 79
  - -abschnitte 3, 4
  - Definition 15
  - "determiniertes" -- 80
  - Einordnen Genehmigungsplanung 8, 427, 428
  - -kosten 13, 15, 16
  - Matrixstruktur 17
  - "offenes" -- 79
  - Pharma- 62
  - -phasen 4
  - -risiken 16
  - -team 31, 41
  - -ziele 15
- Projektabwicklung 14, 19, 136
  - Bearbeitungsstatus 58
- Bewertung Lösungsvarianten 245
- Erfahrungen 19, 22
- Fachdisziplinen/Gewerke 42
- gemäß UmweltHG 136
- Grundzüge 14
- Planung 41, 43
- Schnittstellen 32, 33
- Projektdokumentation 18, 30, 56
- Projekthandbuch 18, 30, 32, 55
  - Beispiel 18
  - Definition 18, 55
- Projektmanagement 14, 20, 41
  - Dokumentation 53, 60
  - Erfahrungen 20, 22
  - Fachdisziplinen/Gewerke 42
  - Schnittstellen 32, 33, 34, 373
  - Terminplanung 41, 46, 47
- Projektorganisation 14, 17, 200
  - Aufbau der -- 200
  - Organigramm 18, 30, 31
  - Stellenbeschreibung 18, 32
- Projektplanung 41, 43
  - Detail- 43
  - Hierarchie 44, 46
  - Schritte/Methodik 44
  - Termin- 47
- Projektvorbereitung 3, 79, 82, 83
  - Durchführbarkeitsstudie 3, 5, 82, 83, 86
  - Verfahrensentwicklung 81
- Prozess (s. Verfahren)
- Prozessanalysentechnik (PAT) 225, 230, 231, 370
- Prozessleitsystem (PLS) 226, 365, 554
  - Bedienmöglichkeiten 227
  - Ebenenstruktur PLS 226, 365, 554
  - Feldbus 226, 228
  - Prozessnahe Komponenten (PNK) 226
  - Software 554
  - Steuerung mit PLS 227
  - Systembus 226
- Prozessleittechnik (s. PLT)

- Prüfungen (s. Sicherheitsprüfungen) 294
- Qualifizierung (gemäß GMP) 67, 68
  - Definition/Übersicht 67, 68
  - Design Qualifizierung (DQ) 68, 69
  - Installation Qualifizierung (IQ) 69
  - Operational Qualifizierung (OQ) 70
  - Performance Qualifizierung (PQ) 70
- Qualitätskontrolle/-sicherung 14, 16, 21, 52, 58, 59, 67, 152, 159, 176, 238, 328, 416, 454, 480, 483, 500, 529, 554, 569, 581, 582, 583
- Qualitätsmanagement 14, 21, 59, 67
- Recht der BRD (s. auch BRD-Recht)
  - Übersicht 121
  - zu Sicherheit/Gesundheit 122
- Rechtsvorschriften (s. Europarecht und BRD-Recht)
- Regeln für Sicherheit/Gesundheit 122
  - DGUV-Regeln 122, 124, 149
- Regeln der Technik 122
  - allgemein anerkannte Regeln der Technik 123
  - Beste verfügbare Technik (BVT) 113
  - Technische Regeln (allgemein) 122, 123
  - Technische Regeln für Betriebssicherheit (TRBS) 123, 147
- Regelung 352, 360, 543
  - Bauteile 545
  - Kaskaden- 352
  - Regelarmaturen 543, 544
  - Regelschema 360
- Regelventil 543, 546
  - Auslegung 545, 546
  - Aufbau/Funktion 544
  - Einsatzfälle 547
  - Kennlinien 546
- Revision/Revisionierung (s. auch Bearbeitungsstatus) 57, 206
- R&I-Fließschema 270, 273, 285, 286, 478, 538
  - Apparateleiste 287
  - Beispiel 288
  - Beschreibung 289, 478
  - Darstellung MSR 279, 538
  - Definition 273
  - grafische Symbole 274, 278, 279
  - Informationen 273
  - Kennbuchstaben 275, 276, 277, 282, 283, 315, 317
  - Strukturieren 274, 285
- Risiko 16, 49, 241, 326, 391, 404
  - Definition 388
  - durch Explosion 116, 120, 404
  - durch Korrosion 326
  - bzgl. Einhaltung GSU 49, 116, 120
  - bzgl. Projektabwicklung 16
- Risikobeurteilung 49, 90, 120, 244, 386, 391, 571
  - Abgrenzung 386, 388, 390, 392
  - Definitionen 388
  - Einordnen ins Projekt 389
  - für Anlage 49, 120, 244, 388
  - für Produkt 90, 120, 386, 387
  - mittels HAZOP-Methode 391
  - mittels WHAT-IF-Methode 397
  - PLT-Schutzeinrichtung 365
  - vorläufige -- 244
- Rohrhalterung 309, 527, 528, 534
  - Arten 534
  - Körperschallentkopplung 527
- Rohrklasse 277, 303, 309, 310, 313, 535
  - Definition 309
  - Dichtflächenform 312, 313
  - Dichtungsgruppe 312, 313
  - Erarbeitung 310, 535
  - Inhaltsverzeichnis 309
  - Kennzeichnung/Benennung 312
  - Nutzung EN 13480/PAS 311, 312

- Rohrwerkstoff 309, 310, 313, 314, 318
- Rohrleitung 94, 297, 302
  - Nenndruck 293
  - Nennweite 302
  - nach BetrSichV 144, 145
  - nach Druckgeräte-RL 94
  - nach WHG/VAwS 297
  - Strömungsgeschwindigkeit 302, 303
  - Vakuum- 303
- Rohrleitungsplanung (s. auch extra Sachworte<sup>\*</sup>) 302, 311, 522
  - Ablauf (Workflow) 523
  - Ausführungsplanung 522
  - Auslegung\* 302, 479, 524
  - Armatur\* 315, 317, 524
  - Armaturenklasse\* 317, 524
  - Beschichtung 329, 487, 528
  - Beschilderung 536
  - Betriebsparameter 292, 293
  - Checklisten 503, 529
  - Dämmung 479, 488, 479, 528, 529
  - Darstellung auf Fließschema 274, 277, 278, 288
  - Dichtheitsnachweis 535
  - Dichtung\* 315
  - Dichtungsklasse\* 315, 524
  - Dimensionieren (Festigkeit) 311, 523
  - Dokumentenart\* 536, 537
  - Druckstufe\* 292, 293
  - Druckverlustberechnung 534
  - 3D-Rohrleitungsmodell 505, 529
  - Flansch\* 311, 535
  - Gefährdungsabschätzung (nach VAwS) 300, 535
  - ins 3D-Modell 333, 502, 503, 504, 525, 527, 528
  - Isolierung (s. Dämmung)
  - Kondensatableiter 524, 525
  - Korrosionsschutz\* 327, 329, 346, 528
  - Nutzung EN 13480/PAS 311, 312
  - Rohrbrücke 503
  - Rohrhalterung\* 309, 525, 527, 528, 534
  - Rohrklasse\* 277, 303, 309, 310, 312, 524
  - Rohrleitungsisometrie 531, 532
  - Rohrleitungs-Kennzeichen 309, 312
  - Rohrleitungsplan 529, 530
  - Rohrleitungsliste 317, 479, 525
  - Rohrtrassen/-plan 333, 519, 529
  - Schallentkopplung 526, 527
  - Schwingungsanalyse/-studie 532, 536
  - Sonderteile 309, 524, 527, 528
  - Stressberechnungen 532, 533
- Sanftanlaufgerät 366
- Safety Integrity Level (SIL) 397, 399
  - Begriffe/Normen 397, 398
  - Sicherheitsstufen 398
  - SIL-Einstufung 397, 398, 399, 571
- Säureschutz 336
- Schaden 33, 121, 134
  - -ersatz 38, 166, 167
  - Tatbestand 34, 35, 37, 40, 121
  - -ursachen 326
- Schall 526, 571
  - -dämmung 480, 489
  - -emission 189, 192, 242, 244, 526
  - Körper- 526, 527
  - -schutzkonzept 224, 270, 418, 571
- Schaltplan 349, 549, 550, 557
  - Bus-Signal-Logikplan 551
  - Funktionsplan 360, 363, 554
  - Klemmenplan/Anschlussplan 557
  - MSR-Stellenplan 359, 550
  - Stromlaufplan 550, 551
  - Übersichts- 349, 365, 549, 554

- 
- Schnittstellen 33, 34, 373, 374, 553, 568, 586
    - an Anlagengrenze 235, 373, 374
    - Beispiele 33, 34, 553
    - Checkliste 374
    - -dokument 374
    - im Projekt 34, 183, 184, 373, 586
  - Schutzrecht/Patent 248
    - Anmeldung 257, 261
    - Beispiel 262
    - Beschreibung 260
    - erfinderisch Tätigkeit 254, 255
    - Gebrauchsmuster 253, 254
    - Neuheit 254, 255
    - Patentansprüche 257
    - Patentdokument 258
    - Patent 253, 254
    - Patentrecherche 255
    - Prüfung/Erteilung 255, 259, 260
    - Technische Schutzrechte 253
    - Schutzrechtsstrategie 250, 251, 252
    - Schutzmfang/-bereich 256, 259
    - Voraussetzungen 254
  - Schwingung 152, 192, 532, 536
  - Sensor 229, 350
  - Sicherheit (s. auch extra Sachworte\*) 47
    - Anlagensicherheit\* 49
    - Arbeitssicherheit\* 49
    - Brandschutz\* 130, 229, 342, 343, 401
    - Definitionen 48
    - DGUV-Vorschriften 122, 124, 149, 150
    - Explosionsgrenzen 243
    - Explosionsschutz\* 99, 102, 116, 118, 130, 132, 144, 229, 399, 401
    - Ex-Zoneneinteilung 117, 409
    - Gefährdungen\* 49, 116, 388, 400
    - Gerät\* 99
    - Gesundheitsschutz\*
    - Prüfstatiken 519
  - Regeln der Technik/Sicherheit\*
  - Risiken\*
  - Schutzziele 48, 49
  - Testierung 51, 52
  - Thesen 48
  - Zündschutzarten 493, 540, 542
  - Sicherheitsarbeit (im Projekt) (s. auch extra Sachworte\*) 47, 50, 51, 52, 241, 386, 570
    - Brandschutzkonzept\* 342, 343, 571
    - Dichtheitsnachweis (nach TA-Luft) 535, 536
    - Elektrische Geräte im Ex-Bereich 538
    - Explosionsschutzdokument\* 399, 410, 507, 571
    - Ex-Zoneneinstufung 404, 405, 407, 408
    - Gefährdungsabschätzung (nach VAWs) 300, 535
    - Gefährdungsbeurteilung\* 49, 120, 132, 390
    - Geräteeinstufung nach ATEX-Hersteller-RL 492, 538
    - Klassifizierung PLT-Stellen 354
    - Leitlinien 48
    - Maschinen im Ex-Bereich 492, 493, 494
    - Prüfung Druckgerät 96, 97, 485, 491
    - Risikobeurteilung\* 244, 386, 391, 571
    - Safety Integrity Level (SIL)\* 397, 571
    - Schritte/Testate 51, 52, 242, 244, 386, 387, 570, 589
    - Sicherheitsbericht 52, 270, 442
    - Sicherheitsdatenblatt 109, 110, 131, 242
    - Sicherheitskonzept 242, 244
    - Sicherheitsprüfungen\*
    - Sicherheitstechnische Detailplanung 570
    - Sicherheitstechnische Grundlagenermittlung 241

- Sicherheitstechnische Entwurfsplanung 386
  - Strukturierung 50, 51, 52
- Sicherheitsarmatur 303, 306, 527
- Auslegen Sicherheitsventil 307, 479
  - Auswahl Sicherheitseinrichtung 303, 306, 307
  - Bauarten Sicherheitsventile 304, 305
  - Einbau Sicherheitsventil 527
  - Kennlinie 305
  - Sicherheitsventil-Datenblatt 307, 308
  - Sicherheitsventil-Liste 308, 479
- Sicherheitsprüfung 96, 144, 145, 485, 491, 572
- von Druckgeräten 96, 97, 145, 485, 491
  - von Sicherheitseinrichtungen 97
  - von überwachungsbedürftigen Anlagen 144, 145, 146
- Sicherheitstestat 51, 52, 242, 387, 570, 589
- Betriebstestat 51, 53, 589
  - Entwurfstestat 386, 387
  - Konzepttestat 242, 244
  - Planungstestat 570, 572
  - Überblick 51, 52
- SIL (s. Safety Integrity Level)
- Sorgfaltspflicht 15, 16, 37
- Stand der Technik 114, 115, 450
- Beste verfügbare Technik (BVT) 112, 115, 442
  - nach BImSchG 450
- Standort 84, 157, 236
- Kriterien 84, 85, 157
  - Makro- 84
  - Mikro- 84, 218
- Steuerluft (s. Instrumentenluft)
- Steuerung 227, 280, 360
- Ablauf- 363, 364
  - Darstellung im R&I 280, 282, 283, 284, 538
  - Funktionsplan 362, 363, 554
- grafische Darstellung 363
  - Grundfunktionsbeschreibung, 364 363, 554
  - NOT-AUS-Konzept 360, 361
  - prozessrelevante -- 279, 363
  - sicherheitsrelevante -- 227, 280
  - Speicherprogrammierbare -- 227
  - Ursache-Wirkung-Liste (UWL) 360, 361, 554
- Stellenbeschreibung 18, 32
- Formblatt 32
- Stoff/Gemisch 109, 129
- -datenblatt 109, 110, 131, 242
  - Definitionen 109, 129, 130
  - Einstufung 242, 243, 298
  - -emissionen 189, 192, 242, 244, 292
  - Gefahrstoffe 130, 242
  - gefährliche/umweltgefährliche -- 129
  - nach GHS/CLP-VO 112
  - nach ChemG 129
  - nach REACH-VO 108
  - nach WHG/VAWS 127
  - Sicherheitsdatenblatt 109, 110, 131, 242
  - wassergefährdende -- 127, 243, 296, 297
  - Wassergefährdungsklasse 243
- Stoffstromleiste 215, 216
- Strafrecht 26, 39, 40, 121, 124, 172
- Konsequenzen/Verantwortung 24, 27, 39, 40, 426
  - Tatbestand 34, 121
  - strafrechtlich relevante Versäumnisse 35, 39, 40
- Tank (s. Ausrüstung bzw. Apparat)
- Technische Regeln (s. Regeln der Technik bzw. Sicherheit)
- Temperatur 293
- maximal zulässige -- 293
  - minimal zulässige -- 293
- TGA-Planung 372, 559, 561

- Aufgaben der TGA 231, 232, 371, 561
- -Ausführungsplanung 559, 561
- -Dokumentation 234
- Dokumentarten 234
- -Entwurfsplanung 371, 372
- nach HOAI 559, 560
- TGA-Vorplanung/-Konzept 231
  - TGA-Varianten 233
  - TGA-Dokumente 234
- überwachungsbedürftige Anlagen 138, 143, 431
  - Definition -- 138, 143
  - Erlaubnisse von -- 431
  - nach BetrSichV 143
  - nach ProdSG 138
  - Prüfungen von -- 145, 146
  - Technische Regeln für Betriebs-sicherheit 123
- Umweltverträglichkeitsprüfung 433
  - Ablauf UVP 434
  - Definition 433, 436
  - Einbindung in BImSchG-Verfahren 435, 436
  - Unterlagen (Antrag) 434
  - Unterrichtung Behörde 434
  - UVP-Pflicht 434
- Validierung (nach GMP) 5, 67, 68, 70
  - Definition/Übersicht 67, 68
  - Prozessvalidierung 71
  - Reinigungsvalidierung 71
- Verfügbarkeit (technisch) 158, 160, 189, 191, 192
- Verantwortung 23, 26, 28
  - Arten von - 24
  - Aufsichts- 30
  - Auswahl- 28
  - Definition 23
  - fachliche 26
  - für Dokumentation 59, 61, 207
  - für Genehmigung 8, 426, 427, 437
  - Ordnungs- 30
  - ordnungsrechtliche - 24, 38, 430
  - sicherheitliche - 27, 29
  - strafrechtliche - 24, 26, 39, 426
  - zivilrechtlich - 37
- Verantwortungsübergang 169
- Verantwortungsübertragung 26, 27
  - Musterformular 29
  - nach ArbSchG 27
  - nach DGUV-Vorschrift 27
  - nach Strafgesetzbuch 26
- Verfahren 1, 208, 210
  - Definition 208, 210
  - -entwurf 208
  - -träger
  - Grundoperation 208, 209
- Verfahrensauswahl 208, 210
- Verfahrensentwicklung 3, 81, 209
  - Ablauf (Workflow) 82, 208
  - Definition 81
- Verfahrensentwurfsplanung 212, 213, 214, 216
  - Ablauf (Workflow) 212
  - Ausrüstungsdatenblatt 217, 300, 301
  - Ausrüstungsliste 217, 300, 479
  - Ergebnisse 212
  - Grob-Bilanzierung 216
  - Grundfließschema 211
  - Verfahrensfließschema 214, 215, 217
- Verfahrensfließschema 214, 216
  - Apparateleiste 217
  - Beispiele 214, 215
  - Beschreibung 214
  - Definition 214
  - Informationen 216
  - Stoffstromleiste 215, 216
- Verfahrensplanung/Basic Design (s. auch extra Sachworte\*) 6, 208, 212, 269, 271, 478
  - Ablauf (Workflow) 212, 272
  - Apparate-/Stoffstromleiste 215
  - Ausführungsplanung 478
  - Ausrüstungsart 294
  - Auslegung\* 291, 294, 295, 297, 479

- Ausrüstungsdatenblatt 217, 300, 301
  - Ausrüstungsliste 217, 300, 479
  - Beschreibung 214, 289, 478
  - Betriebsparameter 292, 293
  - Bilanzieren\* 216, 289, 479
  - Definition 269
  - Dokumentenart\* 481
  - Druckstufe 292, 293
  - Fließschemaarbeit 210, 272, 273, 286, 478
  - Gewährleistung/Garantie 187
  - Grundfließschema\* 211
  - Grundoperation 208, 209
  - in Detail Engineering 478
  - in Basic Engineering 269, 271
  - in Vorplanung 212
  - R&I-Fließschema (P&ID)\*
  - Sicherheitsarmatur\* 303
  - Verfahrensauswahl\* 210
  - Verfahrensfließschema\* 214
- Verfügbarkeit 192
- Vergütung/Zahlung (s. auch Kosten) 168, 170, 173, 583
  - Garantiert Maximal-Preis 181
  - im Generalvertrag 175, 176
  - im Ingenieurvertrag 173, 174
  - im Kaufvertrag 170, 171
  - im Werkvertrag 165, 168, 169
  - nach Aufwand 174
  - Pauschal-/Festpreis 174, 175, 176, 178, 179, 180, 181, 184, 185, 186, 271
  - Zielpreisvereinbarung 175, 181, 454
- Verriegelung (s. PLT-Schutzeinrichtung)
- Verordnungen (s. Europarecht bzw. BRD-Recht)
- Version (s. Bearbeitungsstatus)
- Vertragsform (Rechtsform) 164, 173
  - Grundsätzliches 164
  - Dienstvertrag 171
  - Kaufvertrag 170
  - Werkvertrag 165
- vereinbarte Beschaffenheit/ Erfolg 166, 169, 170
  - Übersicht 173
  - EPCM-Vertrag 173, 181, 182, 241, 414, 453
  - Generalvertrag 175
  - Ingenieurvertrag 173, 174
  - LSTK-Vertrag 176, 184, 240, 414, 453
  - Mustervertrag 176
- Vertragsmodelle 164, 178, 181, 186
  - mit/ohne Engineering-Schnittstelle 183, 240
  - nach Investitionsentscheidung 180, 181, 184
  - für Package-unit-Anlagen 185
  - über alle Projektphasen 185
  - vor Investitionsentscheidung 178
- Vibration (s. Schwingung)
- Verriegelung (s. PLT-Schutzeinrichtung)
- Vorplanung/Pre-Basic (s. auch extra Sachworte\*) 6, 199, 245
  - Aufbau Projektorganisation 200
  - Aufgaben/Ziele 199
  - Bauvorplanung/Baukonzept\* 220
  - Beschaffungskonzept 239
  - Bewertung Lösungsvarianten 245
  - Dokumentationskonzept\* 201
  - Ergebnisse/Dokumente 247
  - Layoutplanung\* 219
  - Infrastrukturkonzept 239
  - in Phasenmodell 4, 6
  - Konzepttestat 242, 244
  - Kosten/Vergütung\* 223, 457
  - Lageplanung\* 218
  - Logistikkonzept 235
  - nach HOAI 223
  - PLT-Vorplanung/-Konzept\* 225
  - Pre-Basic--Dokumentation 56, 247
  - Risikobeurteilung 244

- Schutzrechtliche Sicherung (s. auch Schutzrecht) 248
- Sicherheitstechnische Grundlagenermittlung (s. auch extra Sachwort) 51, 52, 241
- TGA-Vorplanung/-Konzept\* 231
- Verfahrensauswahl\* 210
- Verfahrensentwurfsplanung\* 212
- Vorsatz 35, 37, 40
  - vorsätzliches Handeln 37, 40
- Wassergefährdende Stoffe 127, 243, 296, 430
  - Anlagen mit -- 127, 243, 296
  - Definition 127
  - Einstufung 127, 243, 298
  - Rohrleitungen mit -- 297, 299, 300
  - Rückhaltung 298, 299, 300
  - VAWS/Entwurf AwSV 127
  - Wassergefährdungsklasse 243
- Werkstoff (s. auch Korrosion) 313, 318
  - Auswahl von -- 95, 102, 270, 313, 325, 479
  - Beanspruchung 318
  - für Ausrüstung 217, 327, 479
  - für Rohrleitungen/-teile 309, 310, 313, 314, 327
  - Kennbuchstaben 313, 314
  - Korrosion (s. auch extra Sachwort) 319
  - Schadensursachen 326
  - Stahlsorten 313
  - Übersicht 327
  - Werkstoffkonzeption 328
- Werkvertrag 165, 187
  - für Engineeringleistungen
  - Garantie 166, 191
  - Gewährleistung 166, 169, 187
  - vereinbarte Beschaffenheit 166, 187, 189
  - Vertragsgegenstand 166
- Vergütung/Zahlung 165, 168, 169
- Wetter/Klima (s. Standort)
- WHAT-IF-Methode 397
- Zahlung (s. Vergütung)
- Zivilrecht 24, 34, 37, 38, 40, 121, 124, 125, 172
- Zündschutzart 493, 540, 542
  - Beispiele 541
  - elektrische Geräte 539, 540, 542
  - nichtelektrische Geräte 493, 494
- Zuständigkeit 23, 25, 26, 438