

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|----------|------------------------|---|----------------------------------|---|--|---|--|---|---|---|-----------------------------------|---|---|----|------------------------------|----|--------------------------------------|----|--|----|--|----|---|----|-----------------------------|----|-----------------------------|----|----------------------|----|
| VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE | Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte | VDI 2221 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Systematic approach to the development and design of technical systems and products | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inhalt | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table><tr><td>Vorbemerkung</td><td>2</td></tr><tr><td>1 Zielsetzungen</td><td>2</td></tr><tr><td>2 Grundlagen der Methodik</td><td>3</td></tr><tr><td>3 Vorgehensstrategien</td><td>6</td></tr><tr><td> 3.1 Entwicklungs- und Konstruktionsaufgaben</td><td>6</td></tr><tr><td> 3.2 Generelles Vorgehen</td><td>7</td></tr><tr><td> 3.3 Rechnerunterstütztes Vorgehen</td><td>13</td></tr><tr><td>4 Beispiele</td><td>17</td></tr><tr><td> 4.1 Beispiele Maschinenbau</td><td>17</td></tr><tr><td> 4.2 Beispiel Verfahrenstechnik</td><td>24</td></tr><tr><td> 4.3 Beispiel Feinwerktechnik</td><td>27</td></tr><tr><td> 4.4 Beispiel Software-Entwicklung</td><td>30</td></tr><tr><td>5 Methoden</td><td>32</td></tr><tr><td>6 Begriffe</td><td>39</td></tr><tr><td>Schrifttum</td><td>42</td></tr></table> | | | Vorbemerkung | 2 | 1 Zielsetzungen | 2 | 2 Grundlagen der Methodik | 3 | 3 Vorgehensstrategien | 6 | 3.1 Entwicklungs- und Konstruktionsaufgaben | 6 | 3.2 Generelles Vorgehen | 7 | 3.3 Rechnerunterstütztes Vorgehen | 13 | 4 Beispiele | 17 | 4.1 Beispiele Maschinenbau | 17 | 4.2 Beispiel Verfahrenstechnik | 24 | 4.3 Beispiel Feinwerktechnik | 27 | 4.4 Beispiel Software-Entwicklung | 30 | 5 Methoden | 32 | 6 Begriffe | 39 | Schrifttum | 42 |
| Vorbemerkung | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 Zielsetzungen | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 Grundlagen der Methodik | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 Vorgehensstrategien | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.1 Entwicklungs- und Konstruktionsaufgaben | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.2 Generelles Vorgehen | 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.3 Rechnerunterstütztes Vorgehen | 13 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 Beispiele | 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.1 Beispiele Maschinenbau | 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.2 Beispiel Verfahrenstechnik | 24 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.3 Beispiel Feinwerktechnik | 27 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.4 Beispiel Software-Entwicklung | 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 Methoden | 32 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 Begriffe | 39 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Schrifttum | 42 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Zu beziehen durch Beuth Verlag GmbH, Berlin – Alle Rechte vorbehalten © Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf 1993 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Frühere Ausgabe 11.86 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Externe elektronische Auslegestelle-Beuth-Hochschulbibliothekszentrum des Landes Nordrhein-Westfalen (HBZ)-KdNr.227109-ID.CM9GRXS64U73VXXOGA1D1GB2.3-2018-04-16 13:41:24 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Vervielfältigung – auch für innerbetriebliche Zwecke – nicht gestattet | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb Ausschuß Methodisches Konstruieren | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VDI-Handbuch Konstruktion | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Vorbemerkung

Die Richtlinie VDI 2221 liegt seit August 1985 als Entwurf und seit November 1986 als Weißdruck vor. Sie wurde vom Ausschuß „Methodisches Konstruieren“ unter Beteiligung von Konstruktionswissenschaftlern verschiedener Ausrichtungen und Mitarbeitern aus der Industriepraxis der alten Bundesländer erarbeitet. Entsprechend den in VDI 1000 festgelegten Regeln wurde nach fünfjähriger Laufzeit dieser Richtlinie eine Überprüfung und eine Überarbeitung notwendig. Nach Meinung des Ausschusses, der durch Konstruktionswissenschaftler aus den neuen Bundesländern ergänzt wurde, ist die Erstfassung der Richtlinie nach wie vor praxisgerecht, entspricht im wesentlichen noch dem gegenwärtigen Stand der Konstruktionsforschung und erscheint nur bei wenigen Aussagen ergänzungsbedürftig. Anregungen zu geringfügigen Änderungen und Ergänzungen ergaben sich aus schriftlichen Stellungnahmen von Ausschußmitgliedern und aus kritischen Bemerkungen der Öffentlichkeit während der bisherigen Laufzeit der Richtlinie.

Die nun vorliegende 2. Ausgabe des Weißdrucks der Richtlinie VDI 2221 entstand deshalb im Umlaufverfahren aufgrund einer Vorlage des Obmanns und der VDI-EKV-Geschäftsstelle sowie deren kritischer Durchsicht durch die Ausschußmitglieder.

Alle Beteiligten hoffen, mit dieser Neuausgabe der Richtlinie der nationalen und internationalen Fachwelt erneut eine Arbeitsunterlage zur Verfügung zu stellen, die die im Abschnitt 1 aufgeführten Zielsetzungen erfüllt und die Kompetenz der VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb für grundlegende, branchenübergreifende Aussagen zur Entwicklung und Konstruktion technischer Produkte unterstreicht.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE

1 Zielsetzungen

Die wettbewerbsfähige Herstellung technischer Produkte wird entscheidend von der Leistungsfähigkeit des Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses beeinflußt. Dieser Prozeß ist geprägt durch eine große Vielfalt zu lösender Aufgaben, unternehmensspezifischer Bedingungen sowie marktseitiger und arbeitstechnischer Entwicklungstrends. Eine allgemein anwendbare *Methodik zum Entwickeln und Konstruieren* technischer Systeme und Produkte muß diese Vielfalt berücksichtigen, um den Bedürfnissen der Praxis gerecht zu werden. Diese anspruchsvolle Zielsetzung soll durch eine Strukturierung wesentlicher Zusammenhänge und daraus ableitbarer Arbeitsanleitungen mit Hilfe mehrerer VDI-Richtlinien erreicht werden.

Die Richtlinie VDI 2221 behandelt allgemeingültige, branchenunabhängige Grundlagen methodischen Entwickelns und Konstruierens und definiert diejenigen Arbeitsabschnitte und Arbeitsergebnisse, die wegen ihrer generellen Logik und Zweckmäßigkeit Leitlinie für ein Vorgehen in der Praxis sein können. Wesentliche methodische Grundlagen sind hierbei Nomenklatur und Instrumentarium der Systemtechnik als allgemeine Problemlösungsmethodik [20; 35] sowie die insbesondere für den Maschinenbau und die Feinwerktechnik bekannten Methodenvorschläge [57; 71; 84; 91; 102; 105]. Abläufe für unterschiedliche Branchen sollen dem Anwender dieser Richtlinie den Bezug zu speziellen Verhältnissen und Begriffen erleichtern, obwohl Abgrenzungen zwischen den Branchen mehr und mehr verschwinden, auch durch den Zwang zur Teamarbeit. Ferner sollen sie die Möglichkeit geben, den vorhandenen Entwicklungs- und Konstruktionsablauf inhaltlich und organisatorisch zu überdenken und gegebenenfalls zu ändern, mit dem Ziel, den Aufwand zu reduzieren, die Möglichkeiten der Datenverarbeitung optimal einzusetzen und die Marktfähigkeit der entwickelten Produkte zu gewährleisten. Vor allem für eine durchgängige, integrierende Datenverarbeitung im Gesamtunternehmen erscheint es notwendig, den Einsatz der Datenverarbeitung beim Entwicklungs- und Konstruktionsprozeß in ein methodisches Vorgehen zu integrieren. Diese Richtlinie wurde deshalb vor allem auch unter diesem Gesichtspunkt erarbeitet.

Ein weiteres Ziel ist es, die besonders in den letzten Jahren durch Forschungs- und Praxisarbeiten entstandene Vielfalt von Methoden zur Durchführung einzelner Entwicklungs- und Konstruktionsschritte zusammenzustellen und zu ordnen, so daß der Leser deren typische Anwendungsbereiche erkennen kann. Dabei wird auf eine ausführliche Methodenbeschreibung verzichtet.

Weiterhin werden die zum generellen Vorgehen erforderlichen Begriffe definiert. Das dient sowohl dem Verständnis der Richtlinie als auch der Vereinheitlichung der Begriffsinhalte in Wissenschaft und Praxis.

Aufbauend auf dieser *Dachrichtlinie* wurden weitere Richtlinien für bestimmte Konstruktionsphasen, z.B. für das Konzipieren und das Entwerfen technischer Systeme sowie für das Vorgehen in speziellen Branchen, z.B. in der Feinwerktechnik, geschaffen oder sollen geschaffen werden. Durch den damit möglichen größeren Detaillierungsgrad des Vorgehens lassen sich sowohl die speziellen Bedingungen der Arbeitsabschnitte und der verschiedenen Fachgebiete als auch die Unterschiede einzelner *Methodikschulen* besser berücksichtigen. Ferner sollen in den anderen Richtlinien die in Betracht kommenden Einzelmethoden ausführlicher mit Beispielen erläutert werden.

Dieses Vorgehen soll jedoch nicht die angestrebte Zielsetzung der Schaffung einer allgemeinen anwendbaren Entwicklungs- und Konstruktionsmethodik in Frage stellen, sondern soll trotz Herausarbeiten der speziellen Zusammenhänge die Möglichkeiten zum Anwenden einheitlicher Methoden erkennbar machen.

2 Grundlagen der Methodik

Beim Entwickeln und Konstruieren technischer Produkte muß eine Vielzahl unterschiedlicher Probleme gelöst werden. Es liegt deshalb nahe, das Vorgehen bei einem allgemeinen Problemlösungsprozeß auch auf den Entwicklungs- und Konstruktionsprozeß zu übertragen.

Ein *Problemlösungsprozeß* stellt einen engen Zusammenhang zwischen Zielsetzung, Planung, Durchführung und Kontrolle dar, verbunden durch Entscheidungen. Die *Systemtechnik* als interdisziplinäre Problemlösungsmethodik für künstliche Systeme gibt eine allgemeine Darstellung dieses Prozesses [20; 35; 78]. Das *systemtechnische Vorgehensmodell* gemäß Bild 2.1 gliedert zunächst den zeitlichen Werdegang eines Systems vom Abstrakten zum Konkreten hin in sogenannte *Lebensphasen*. Ferner enthält das Vorgehensmodell eine Problemlösungsstrategie, die prinzipiell auf jede Lebensphase anwendbar ist.

Problemanalyse: Jede Problem- bzw. Aufgabenstellung bewirkt zunächst eine Gegenüberstellung mit mehr oder weniger Unbekanntem hinsichtlich der Lösung des Problems. Diese Konfrontation hängt vom Wissens- und Informationsstand des Bearbeiters ab. Häufig wird eine über die Eingangs-Problemstellung hinausgehende Information erforderlich oder hilfreich sein, bei der Näheres über die Aufgabe und deren Schwerpunkte, Bedingungen und mögliche Lösungswege gewonnen wird.

Problemformulierung: Eine anschließende Formulierung und vor allem Präzisierung des zu lösenden Pro-

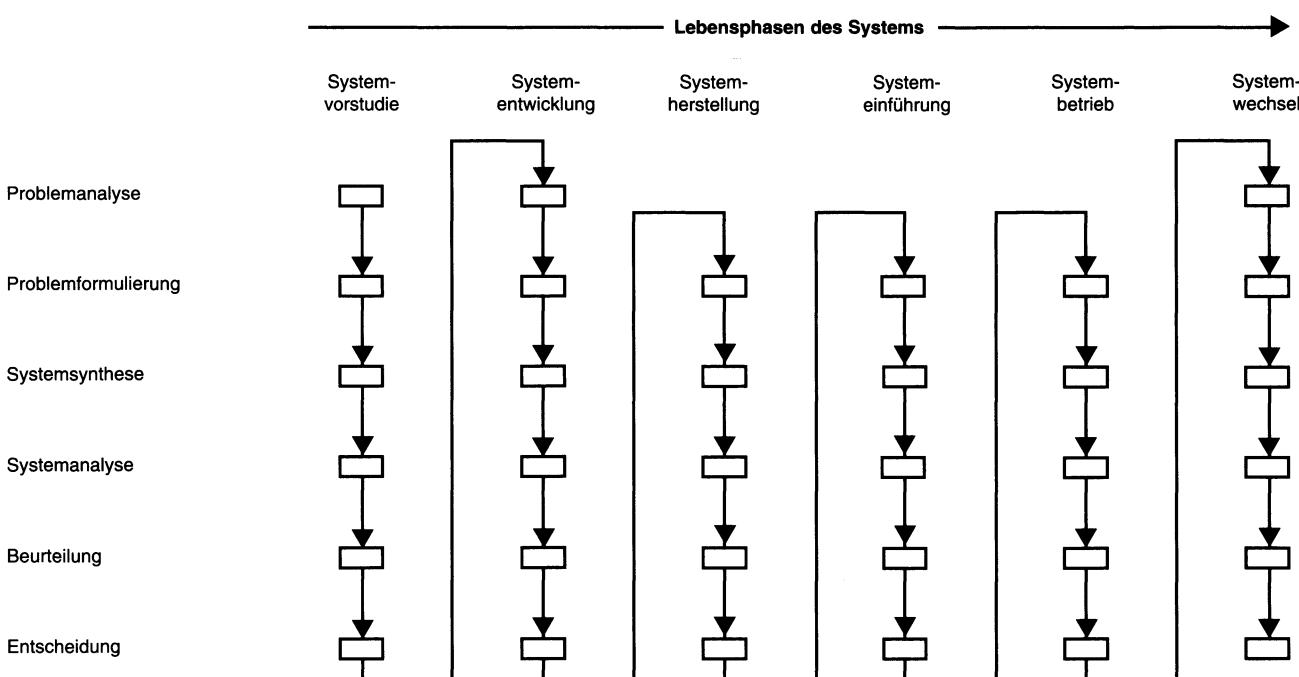


Bild 2.1. Systemtechnisches Vorgehensmodell in Anlehnung an [9; 35; 78]

blems aufgrund des vollständigeren Informationsstandes erleichtert die Lösungssuche, weil mit dieser der Wesenskern der Aufgabe und die zu beachtenden Anforderungen ohne Vorfixierung auf Lösungen in der Sprache des Bearbeiters ausgedrückt werden.

Systemsynthese: Beim Suchen nach Lösungen in dieser Phase des Problemlösungsprozesses werden Lösungsideen oder schon konkrete Lösungen erarbeitet und kombiniert. Wesentliches Merkmal ist das Entwickeln bzw. Erkennen nicht nur einer Lösung, sondern mehrerer Lösungen.

Systemanalyse: In einem anschließenden Schritt wird dann dieses Lösungsfeld hinsichtlich der Eigenschaften seiner Lösungen analysiert, um die für eine Lösungsauswahl erforderlichen Informationen zu gewinnen.

Beurteilung und Entscheidung: Die Beurteilung der Lösungseigenschaften in bezug auf die gestellten Anforderungen ist Grundlage für eine anschließende Entscheidung über eine bevorzugte und zur Weiterführung der Systementwicklung geeignete Lösung oder über einen Abbruch der Entwicklung.

Erst eine zweckmäßige Verbindung dieser Schritte führt zu einer Vorgehensstrategie oder einem Vorgehensplan. Die in Bild 2.1 vereinfachend dargestellte lineare Aneinanderreihung der Vorgehensschritte reicht bei komplexen Problemstellungen nicht zur Lösungsfindung aus. Als wichtig und üblich helfen dann *Wiederholungszyklen*, bei denen die Vorgehensschritte *mehrma*ls durchlaufen werden. Dieses iterative Vorgehen führt zum Anheben des Informationsniveaus für einen erneut zu durchlaufenden Schritt entsprechend einem Lernprozeß, Bild 2.2.

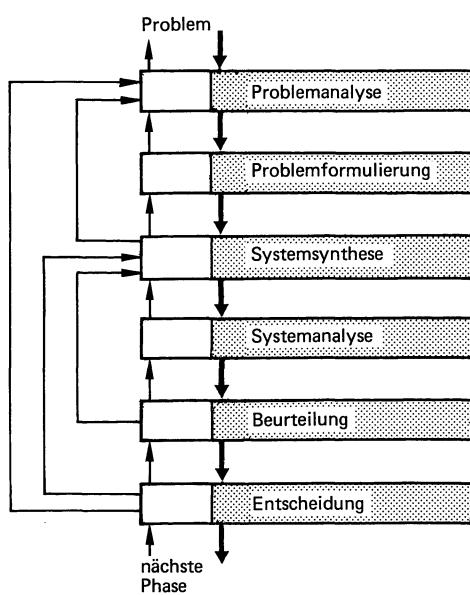


Bild 2.2. Systemtechnische Problemlösungszyklen

Die Vorgehensschritte enthalten einzeln und in ihrer Gesamtheit Tätigkeiten zum Gewinnen, Verarbeiten und Ausgeben von Informationen. Bei diesem *Informationsumsatz* hat eine Ausgabe von Informationen eine Gewinnung von Informationen zur Folge, entweder für den nächsten Vorgehensschritt oder für einen vorangegangenen. Gewinnen und Verarbeiten von Informationen kennzeichnen auch die Analyse und die Synthese, die stets eng miteinander verknüpft sind und einander bedingen.

Eine Aufgliederung des Problemlösungsprozesses in parallellaufende Lösungswege wird von der Kybernetik als wirksame und wirtschaftliche Vorgehensweise zur Lösung komplexer Probleme genannt. Das auch in der Praxis bewährte Prinzip besteht in der Aufgliederung eines komplexen Gesamtproblems in erkennbare Teilprobleme und Einzelprobleme zu einem möglichst frühen Zeitpunkt. Dadurch können auf einfacher Weise Lösungen gefunden werden. Anschließend werden diese Einzel- bzw. Teillösungen zur Gesamtlösung des Gesamtproblems verknüpft.

In Bild 2.3 wird dieses wichtige Vorgehensprinzip erläutert, dessen methodische Grundlage auch in einer Strukturierung eines Systems in Teilsysteme und Systemelemente zu sehen ist. Eine solche Strukturierung fördert das Erkennen von Teilproblemen, das ganzheitliche Denken durch Offenlegen von Strukturen und Zusammenhängen, den Zwang zur Systematisierung, das Erarbeiten alternativer Lösungen, das Übernehmen bekannter und bewährter Teillösungen und auch das Einführen rationeller organisatorischer Arbeitsteilungen. Nicht unproblematisch bei diesem Vorgehensprinzip ist das Erkennen der Kombinier-

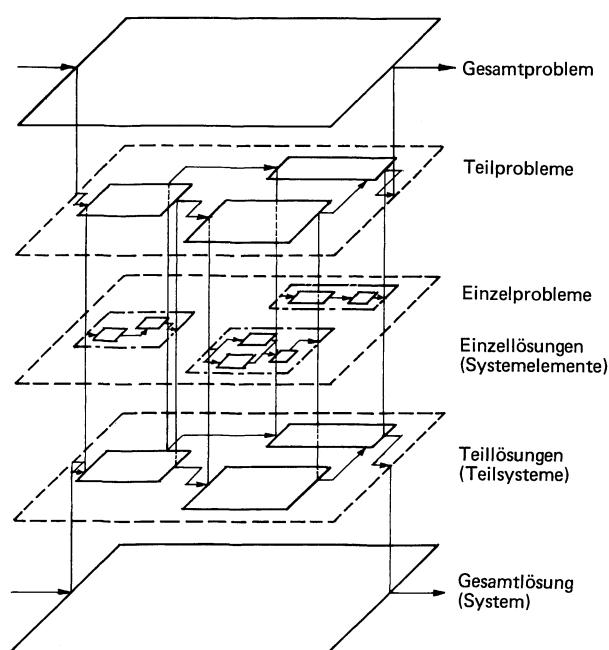


Bild 2.3. Methode der Aufgliederung und Verknüpfung zur Problem- und Systemstrukturierung

barkeit von Einzellösungen zu Teillösungen und Gesamtlösungen, d.h. der Verträglichkeit der Einzellösungen bzw. der Teillösungen untereinander. Alle genannten Aspekte sind auch Grundlagen für die Anwendung der Datenverarbeitung.

Eine weitere allgemein gültige Erkenntnis für das Lösen von Aufgaben bzw. Problemen besteht darin, daß es zweckmäßig ist, den Lösungsprozeß in Phasen zunehmender Konkretisierung durchzuführen — Strategie: *vom Abstrakten oder Allgemeinen zum Konkreten, Besonderen*. So werden zunächst in einer prinzipiellen Lösung die grundlegenden Zusammenhänge und erst in einem realisierbaren Entwurf die weiteren Einzelheiten festgelegt. In die gleiche Richtung geht die Strategie: *vom Wesentlichen zum weniger Wesentlichen bzw. von den Hauptproblemen zu den Teilproblemen*.

Forschungsergebnisse aus der Denkpsychologie und empirische Konstruktionsuntersuchungen [27; 28; 30; 39; 111] werden in zunehmendem Maße zur Weiterentwicklung konstruktionsmethodischen Vorgehens herangezogen, weil das Verhalten des Konstrukteurs und damit seine Einbindung in eine Vorgehensmethodik von den menschlichen Fähigkeiten stark beeinflußt werden. Kernfrage bei den konstruktionsrelevanten denkpsychologischen Untersuchungen ist: *Wodurch zeichnen sich gute Problemlöser bzw. erfolgreiche Konstrukteure aus?* Zunächst besitzen sie ein gut geordnetes Fachwissen. Darüber hinaus betreiben sie eine sorgfältige Problemanalyse, finden ein richtiges, an das zu lösende Problem angepaßtes Maß zwischen Konkretheit und Abstraktion, haben einen Blick für wesentliche Hauptprobleme bzw. Hauptfunktionen und beginnen bei diesen mit der Lösungssuche, betreiben eine, dem Problem angepaßte Variantensuche und verwenden viel Zeit zur genauen Analyse und Beurteilung von Lösungen, können auch bei auftretenden Schwierigkeiten z.B. durch Umstrukturieren oder Zusammenfassen von Informationen oder durch Ändern des Arbeitsablaufs handeln; sie nutzen eine inhaltlich begründbare Strategie zur Ablaufsteuerung des Problemlösungsprozesses, verfügen über ein signifikant besseres Vorstellungsvermögen für Lösungen (beim Konstruieren, vor allem räumliches) und haben ein flexibles Entscheidungsverhalten. Neben Fakten- und Methodenkenntnissen verfügen gute Problemlöser über eine hohe sogenannte „Heuristische Kompetenz“ [39], wozu vor allem die Aktivierung zielgerichteter Kreativität, das Erkennen von Wichtigkeit und Dringlichkeit sowie das Planen, Steuern und Kontrollieren der eigenen Arbeit gezählt werden kann. Nach [28] wirkt sich auf die Kreativität positiv auf: die Fähigkeit zum Erzeugen konkreter Vorstellungsbilder und

zum Denken in beziehungsreichen (vernetzten) Systemen, eine Frustationstoleranz bezüglich des Umgangs mit Ungelöstem, ein Kompetenzbewußtsein sowie die Bereitschaft bzw. der Spaß an Denkarbeit zur Problemlösung.

Auch aus den Erkenntnissen der Denkpsychologie ist ableitbar, daß es keine streng linearen oder einsinnigen Ablaufpläne beim Problemlösen bzw. Konstruieren gibt, sondern daß nur iteratives Vorgehen, das sich flexibel dem zu lösenden Problem, dem Kenntnis- und Erfahrungsstand, dem Lösungsfortschritt und den persönlichen Fähigkeiten des Bearbeiters anpaßt, zum Erfolg führt.

Hierzu gehört auch die Erkenntnis und Erfahrung [50], daß der gute Konstrukteur die Methodenanwendung und sein Denken und Handeln an die unterschiedlichen Aufgabenstellungen von vornherein anpaßt, d.h. die Methodenanwendung ist personen- und aufgabenabhängig. So wird er bei Konstruktionsaufgaben, die für ihn Routine und kein echtes Problem darstellen, sich kompetent fühlen, mit der Aufgabenbearbeitung sofort beginnen und Methodik eher unbewußt anwenden. Bei der Aufgabenbearbeitung können dann aber doch Schwierigkeiten entstehen, die das Verlangen nach stärker methodischem, schrittweisen Vorgehen auslösen. Beim Beherrschen eines solchen Vorgehens steigt das Kompetenzgefühl des Konstrukteurs; er wird die Schwierigkeiten bei der Problemlösung beherrschen. Eine solche Situation kann auch entstehen, wenn sofort Probleme erkennbar werden, für die erst Lösungen gesucht werden müssen.

Schwierig wird die Situation, wenn der Konstrukteur die zu lösenden Probleme nicht sofort erkennt, sondern unsystematisch versucht, Lösungen durch Intuition zu erzwingen. Bei Arbeitsabläufen in der Praxis können die angedeuteten Situationen abwechseln. Wichtig erscheint deshalb die Fähigkeit des Konstrukteurs, sein handlungsfähiges, d.h. beherrschbares Methodenmix selbst zu erkennen und dieses den unterschiedlichen Aufgabensituationen und Konstruktionsproblemen zuzuordnen. Da Kenntnisse und Fähigkeiten der Konstrukteure unterschiedlich sind, gehört es zu den wichtigen Aufgaben eines Konstruktionsmanagements, diese Unterschiede bei der Arbeitsteilung in einem Konstruktionsbereich zu berücksichtigen. Auch eine leistungsfähige Teamzusammensetzung muß solche Unterschiede nutzen.

Insbesondere bei Problemstellungen des Industrial Design [117] ist es notwendig, zu Beginn des Lösungsprozesses eine ganzheitliche Betrachtung bzw. eine Gesamtlösung des Problems vorzunehmen, ehe man zu einer Aufgliederung in Teilprobleme bzw.

Teilaufgaben kommt. Die Konzeption des Gesamterscheinungsbildes hat dabei Priorität vor den gestalterischen Einzelheiten (Prinzip: von „außen“ nach „innen“ konstruieren, während sonst in der Regel von „innen“ nach „außen“ konstruiert wird). Weitere Beispiele sind Aufgaben bzw. Bereiche der Ergonomie, die sich an menschlichen Wahrnehmungen, wie z.B. visuellen, akustischen oder geschmacklichen, orientieren: Architektur, Musik, Mode, Genussmittel-Industrie.

Industrial Design und methodisches Problemlösen dürfen nicht als Gegensatz betrachtet, sondern müssen zu Beginn einer Systementwicklung aufeinander abgestimmt werden. So wird z.B. bei der designbentonten Entwicklung eines Gebrauchsprodukts der erste Gesamtentwurf für das äußere Erscheinungsbild noch vor einer funktionsorientierten konstruktionsmethodischen Lösungssuche erfolgen. Dadurch lassen sich unter Umständen noch wesentliche Anforderungen erkennen, die in der ersten Problemformulierung fehlten.

3 Vorgehensstrategien

Von der im Abschnitt 2 dargelegten systemtechnischen Problemlösungsmethodik einschließlich der denkpsychologischen Erkenntnisse sind generelle Vorgehensabläufe für Entwicklungs- und Konstruktionsprozesse ableitbar, die auf die speziellen Verhältnisse beim Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte zugeschnitten sind. Solche Vorgehensabläufe müssen für die Vielfalt der Entwicklungs- und Konstruktionsaufgaben anwendbar sein. Diese Aufgaben werden deshalb einleitend charakterisiert, um die entwickelte Grobstruktur des Vorgehens zu begründen.

3.1 Entwicklungs- und Konstruktionsaufgaben

Die Aufgabenvielfalt wird zunächst von der Herkunft der Aufgabenstellung bestimmt. Hier sind vor allem Entwicklungsaufträge, die von einer unternehmensinternen Produktplanung vorbereitet werden, Kundenaufträge mit festem Pflichtenheft sowie innerbetriebliche Konstruktionsaufträge für Betriebseinrichtungen oder Fertigungsvorrichtungen zu unterscheiden. Dementsprechend gibt es externe und interne Aufgabenstellungen oder Entwicklungsaufträge.

Ein weiteres wichtiges Bestimmungsmerkmal ist die Fertigungsart. Es ist naheliegend, daß Produkte und Produkteprogramme (-systeme) der Serien- und der Massenfertigung einen anderen organisatorischen Durchlauf nehmen und auch andere Konstruktions schwerpunkte aufweisen als Produkte der Einzelfertigung.

Ein drittes Bestimmungsmerkmal ist der Neuheitsgrad. Dieser unterscheidet nach Neuentwicklungen, Weiterentwicklungen und Anpassungskonstruktionen. Der Neuheitsgrad einer Konstruktionsaufgabe kann sich entweder auf das zu entwickelnde Gesamtprodukt oder nur auf einzelne Baugruppen beziehen und bestimmt in hohem Maße die erforderlichen Konstruktionsschritte, die einsetzbaren Hilfsmittel und auch den organisatorischen Ablauf.

Eine Branchenabhängigkeit des Konstruktionsprozesses ist dadurch gegeben, daß die Anforderungen an Produkte aus unterschiedlichen Branchen verschieden sind. In der Feinwerktechnik führen z.B. die angestrebte Miniaturisierung und die Funktionsqualität zu einem verstärkten Einsatz der Mikroelektronik, im Großmaschinenbau stehen z.B. Sicherheitsaspekte im Vordergrund, im Werkzeugmaschinenbau Forderungen nach Arbeitsgenauigkeit, Arbeitsgeschwindigkeit und Flexibilität, im Fahrzeugbau Fragen der Sicherheit, der Ergonomie, der Fertigungs- und der Gebrauchskosten sowie des Industrial Design. In der Chemie- und Verfahrenstechnik

handelt es sich häufig um Großapparate und -anlagen mit weitreichenden Anforderungen an die Anlagensicherheit und Anlagenfunktion, letzteres, um die geforderten Qualitäten und Herstellkosten der stofflichen Produkte zu gewährleisten.

Entsprechend den unterschiedlichen Anforderungen an zu entwickelnde Produkte sind typische Konstruktionsziele zu erfüllen, z.B. Funktionsoptimierung, Kostenminimierung, Erfüllung von Extrembedingungen (z.B. hinsichtlich Leistung, Leichtbau, Genauigkeit) oder auch ergonomisch günstige, kennzeichnende und formschöne Gestaltung. Die Beachtung weiterer genereller Anforderungsbereiche bzw. Ziele kennzeichnet die Produktqualität, z.B. Sicherheit, Fertigungs- und Montageeinfachheit, Transport- und Verpackungseinfachheit sowie Recycling- und Entsorgungsfähigkeit. Solche Ziele müssen entsprechend ihrer Gewichtung entweder mehr oder weniger gleichberechtigt beachtet werden, oder ein Ziel prägt den gesamten Konstruktionsvorgang.

Der Ablauf des Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses wird nicht nur durch die Anforderungen an das Produkt selbst, sondern auch durch allgemeine externe Zwänge oder innerbetriebliche Notwendigkeiten bestimmt. Hierzu gehören:

- die *Wettbewerbssituation*: Sie führt dazu, daß Produktentwicklungen häufiger und schneller durchgeführt werden müssen. Dabei verstärkt sich die Notwendigkeit zu Produktinnovationen und/oder Produktdiversifikationen sowie zum Einsatz der Datenverarbeitung als Konstruktions- und Fertigungsmittel (CIM – Computer Integrated Manufacturing, Simultaneous Engineering).
- der *Kostendruck*: Er erfordert eine verstärkte Kostenminimierung, und zwar sowohl der Herstellungs- als auch der Gebrauchskosten (Produkt-Gesamtkosten [133]).
- der *Termindruck*: Er erfordert die Planung des Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses sowie Parallelarbeit.
- die *Sonderwünsche*: Diese nehmen insbesondere in der Einzelfertigung bei Anlagen und Maschinen für spezielle Anforderungen zu, was den Bedarf an Produktprogrammen erhöht, die solche Anforderungen mit Bausteinen und vorhandenen Teilen sowie vorhandenen Fertigungs- und Montagemöglichkeiten kosten- und termingünstig erfüllen.
- die *Vorschriftenvielfalt*: Diese hat durch den hohen Exportanteil vieler Branchen einen großen Umfang angenommen.
- die *Fremdfertigung*: In zahlreichen Unternehmen muß die Produktentwicklung so erfolgen, daß das Gesamtprodukt oder einzelne Baugruppen in

Fremd- oder in ausländischen Produktionsbetrieben problemlos hergestellt werden können.

- gestiegene *Anforderungen und Komplexität* der Produkte: Hierdurch steigt die Anzahl der für die Konstruktion erforderlichen neuen Wissensgebiete ständig.
- das Eindringen der *Mikroelektronik*: Sie dringt auch in Bereiche, in denen bisher nur mechanische Lösungen eingesetzt wurden.
- der große *Forschungs- und Entwicklungsfortschritt* auf zahlreichen klassischen und modernen Wissensgebieten (z.B. Festigkeitslehre, Werkstofftechnik, Maschinenelemente, Getriebetechnik, Maschinendynamik, Strömungstechnik, Fertigungstechnologie sowie Mathematik und Informatik): Dieser verursacht einen ständigen Weiterbildungsbedarf der Entwicklungs- und Konstruktionsingenieure.

3.2 Generelles Vorgehen

Aus den in Abschnitt 2 dargelegten Zusammenhängen wird im folgenden ein generelles, für die Aufgabenvielfalt gemäß Abschnitt 3.1 allgemein anwendbares Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren abgeleitet. Trotz der branchenübergreifenden Zielsetzung dieser VDI-Richtlinie lehnen sich die darin benutzten Begriffe zunächst stärker an die Nomenklatur des Maschinenbaus an. In Abschnitt 4 wird dann der Bezug zu Begriffen anderer Branchen vollzogen, und die Allgemeingültigkeit der Aussagen wird erkennbar.

Die in Bild 2.1 dargelegten Lebensphasen eines Systems sind für technische Produkte des Maschinenbaus, der Feinwerktechnik, des verfahrenstechnischen Anlagenbaus und auch für Software-Systeme gleichermaßen gültig. Bild 3.1 zeigt eine Zuordnung der in diesen Branchen üblichen Begriffe zu den Lebensphasen der Systemtechnik. Ausgangspunkt sind unternehmensexterne (Markt, Kunde) und/oder unternehmensinterne Anforderungen und Bedingungen. Diese definieren entweder direkt die Entwicklungs- bzw. Konstruktionsaufgabe oder werden in einer vorgesetzten Produktplanung zur Produktidee bzw. Aufgabenstellung verarbeitet [76; 129]. Im Entwicklungs- und Konstruktionsbereich erfolgt dann eine Produktkonkretisierung bis zu den Ausführungs- und Nutzungsangaben (Produktdokumentation), so daß eine Realisierung, bei mechanischen Produkten z.B. durch Teilefertigung und Montage, erfolgen kann. Anschließend findet eine Prüfung bzw. Erprobung des so geschaffenen Produkts statt, ehe es über den Vertrieb bzw. Verkauf einem Gebrauch oder einem Verbrauch (einer Nutzung) zugeführt wird. Trotz zwischengeschalteter Instandhaltungs-

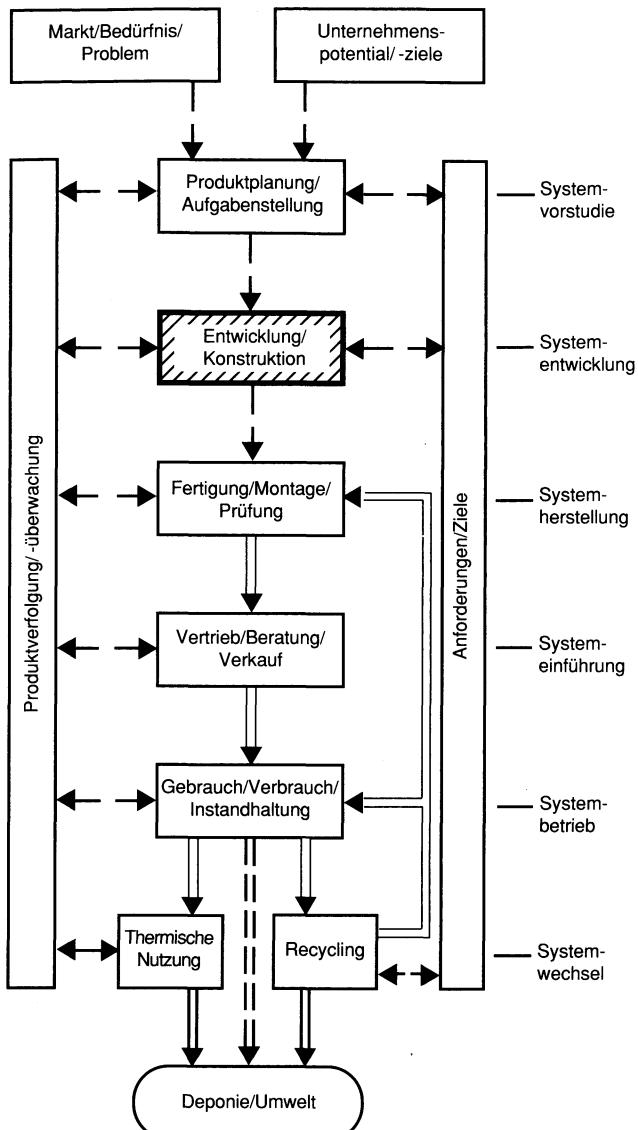


Bild 3.1. Produktkreislauf mit Produktentstehungs- und -lebensphasen einschließlich erforderlicher Informationswege nach VDI 2243 [132]. Die Lebensphasen eines Systems gemäß Bild 2.1 sind zugeordnet.

maßnahmen oder nachgeschalteter Aufarbeitung zur Wiederverwendung ist die Produktnutzungsdauer in der Regel begrenzt. Anzustreben ist dann ein Recycling des Altprodukts durch Wiederverwertung der Altstoffe. Zur Ressourcenschonung und Umweltentlastung gewinnt diese Lebensphase zunehmend an Bedeutung [132].

In Bild 3.1 nur angedeutet ist die zentrale Bedeutung des Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses für den gesamten Produktentstehungs-, -nutzungs- und -recyclingprozeß. In diesem Bereich werden die Ergebnisse und Erfahrungen der vor- und nachgeschalteten Phasen für die laufenden oder für spätere Produktentwicklungen umgesetzt, d.h. eine erfolgreiche Produktentwicklung hängt stark von den Informationsflüssen zum und vom Umfeld ab.

Ein solcher Ablauf erfolgt für ein Produkt der Einzelfertigung im Maschinen- und Anlagenbau in der Regel nur einmal, Bild 3.2. Bei Produkten der Serienfertigung im Maschinen-, Fahrzeug- und Gerätebau sowie im Feingerätebau wäre eine unmittelbare Realisierung zum Endprodukt zu risikoreich. Hier erfolgt ein erster Planungs-, Entwicklungs-, Konstruktions-, Fertigungs- und Montagedurchlauf zunächst bis zu einem Funktions- bzw. Labormuster, das durch seine Erprobung gegebenenfalls Möglichkeiten zur Verbesserung der Konstruktion erkennen läßt. Solche Informationen fließen in einen erneuten Entwicklungs-, Konstruktions- und Fertigungszyklus ein, entweder um ein verbessertes Funktionsmuster herzustellen und zu erproben (dünne Linie) oder um z.B. aus dem Funktionsmuster einen Prototyp mit praktisch vollständigen Produktfunktionen oder schon eine Nullserie zu schaffen. Nach Erprobung des Prototyps bzw. der Nullserie können wiederum Verbesserungen lohnend sein, die schließlich nach er-

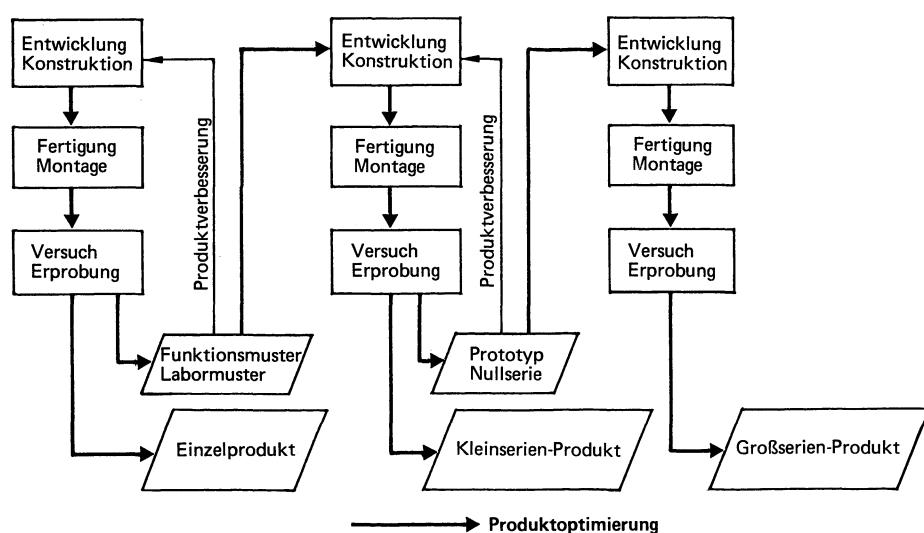


Bild 3.2. Phasen der Produktentstehung

neuem Durchlauf dieses Produktentstehungsprozesses zum Endprodukt bzw. zur Serienreife führen.

Der Entwicklungs- und Konstruktionsprozeß im Zuge der dargelegten Produktentstehung wird nun in generelle Arbeitsabschnitte untergliedert, die das Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren überschaubar, rationell und branchenunabhängig machen, Bild 3.3.

Das Gesamtvorgehen wird in sieben Arbeitsabschnitte gegliedert, aus denen entsprechend sieben Arbeitsergebnisse hervorgehen. Diese Abschnitte werden je nach Aufgabenstellung vollständig, nur teilweise oder mehrmals iterativ durchlaufen. In Bild 3.3 wurde diese unabdingbare Ablaufflexibilität durch eine informationstechnische Integration aller Arbeitsabschnitte gekennzeichnet. In der Praxis werden oft einzelne Arbeitsabschnitte zu Entwicklungs-

bzw. Konstruktionsphasen zusammengefaßt, an denen sich auch terminliche und organisatorische Ablaufpläne orientieren können. Eine solche Zusammenfassung in Phasen kann je nach Branche und Unternehmen unterschiedlich erfolgen, auch hinsichtlich der verwendeten Begriffe (siehe Abschnitt 4).

In Bild 3.3 sind die in allen Arbeitsabschnitten erforderlichen Auswahl- und Entscheidungsschritte, die gegebenenfalls auch zu einem Zurückspringen auf vorhergehende Abschnitte führen können, nicht gesondert aufgeführt, um das Bild nicht zu überladen. Solche Auswahl- und Entscheidungsschritte sind aber ein wichtiges Merkmal für konstruktionsmethodisches Vorgehen.

Der *Arbeitsabschnitt 1* ist notwendig, um die *Anforderungen* der vom Kunden oder der Produktplanung

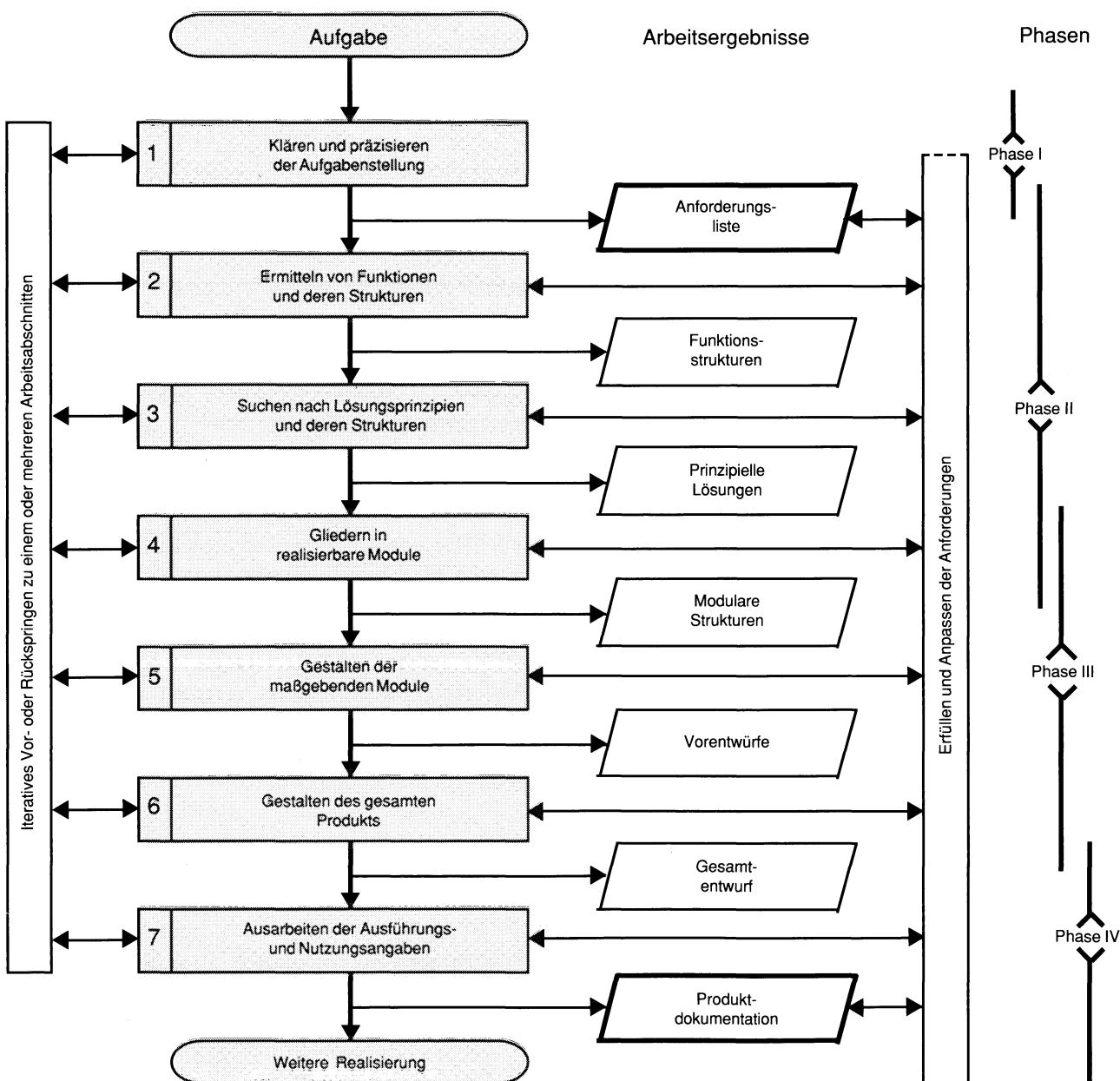


Bild 3.3. Generelles Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren

formulierten Aufgabe zu klären und zu präzisieren. Dazu gehören das Zusammenragen aller verfügbaren Informationen und das Erkennen von Informationslücken, das Überprüfen und Ergänzen der externen Anforderungen, das Hinzufügen unternehmensinterner Anforderungen sowie das Formulieren der Aufgabenstellung aus der Sicht des Konstrukteurs einschließlich bereits möglicher und notwendiger Strukturierungen.

Arbeitsergebnis ist die *Anforderungsliste*, die abhängig von der Vorgehensart strukturiert werden kann. Diese Liste der Anforderungen ist für alle folgenden Arbeitsabschnitte eine begleitende und stets auf dem aktuellen Stand zu haltende Informationsunterlage. Wesentliche Erkenntnisse während des Entwicklungsablaufs können dazu führen, daß bestehende Anforderungen geändert und/oder neue Anforderungen hinzugefügt werden müssen. Entsprechend dieser Bedeutung sollen solche Änderungen bzw. Ergänzungen fortlaufend und konsequent durchgeführt werden.

Die Notwendigkeit des ständigen Anpassens der Anforderungsliste durch eine entwicklungsbegleitende Präzisierung und gegebenenfalls Modifizierung der Aufgabenstellung während der einzelnen Arbeitsabschnitte ist in Bild 3.3 durch eine Informationsbrücke zwischen Anforderungsliste und Arbeitsabschnitten gekennzeichnet. Diese Informationsbrücke muß sich zu den anschließenden Fertigungsbereichen fortsetzen, insbesondere zur Arbeitsplanung. Sie ist aber auch zur Produktplanung und zum Kunden offen, da auch von dort spätere Änderungswünsche auftreten können. In der Praxis wird die Anforderungsliste nach einer gewissen Entwicklungszeit „eingefroren“, um die Entwicklungsdauer nicht durch laufende Änderungen unbestimbar zu machen.

Im *Arbeitsabschnitt 2* erfolgt das Ermitteln von *Funktionen*, und zwar zunächst der *Gesamtfunktion* und der wesentlichen, vom zu entwickelnden Produkt bzw. System zu erfüllenden *Teilfunktionen* (Hauptfunktionen). Deren Gliederung und Kombination zu Strukturen bildet die Grundlage zum Suchen nach Lösungen für das Gesamtprodukt bzw. die Gesamtfunktion. Bei *einfachen* Produkten genügt oft auch nur die Festlegung einzelner Teilfunktionen ohne Verknüpfung zu Funktionsstrukturen; letztere sind insbesondere bei Produkten mit *komplexen* Energie-, Stoff- und Signalflüssen hilfreich.

Arbeitsergebnis sind eine oder mehrere *Funktionsstrukturen*, die als Beschreibungen oder als formale Darstellungen und Schaltungen festgelegt werden können.

Im *Arbeitsabschnitt 3* werden für alle Funktionen oder zunächst für die wesentlichen Teilstufen der Funktionsstruktur *Lösungsprinzipien* gesucht. Hierzu müssen in einem ersten Schritt physikalische, chemische oder andere Effekte ausgewählt werden. Anschließend müssen diese Effekte durch sog. wirkstrukturelle Festlegungen realisiert werden. Bei mechanischen Systemen betreffen solche wirkstrukturellen Festlegungen z.B. die Geometrie (Wirkgeometrie), die Bewegung (Wirkbewegung) und die Werkstoffart. Diese Festlegungen bilden das *Lösungsprinzip*. Die für Teilstufen gefundenen Lösungsprinzipien müssen anschließend entsprechend den Funktionsstrukturen zur Wirkstruktur verknüpft werden. Dabei können weitere Funktionen (Nebenfunktionen) erkennbar werden, die die Realisierung bestimmter Effekte bzw. Lösungsprinzipien erst möglich machen.

Arbeitsergebnis sind nach Auswahl eine oder mehrere *Prinzipielle Lösungen*, die die Wirkstruktur zum Erfüllen einzelner Funktionen oder der Funktionsstruktur des zu entwickelnden Produkts darstellen. Sie können als Prinzipskizze, Schaltung oder auch Beschreibung dokumentiert werden.

Im *Arbeitsabschnitt 4* wird die Prinzipielle Lösung in *realisierbare Module* gegliedert, bevor deren weitere, in der Regel arbeitsaufwendige Konkretisierung erfolgt.

Arbeitsergebnis ist eine *modulare Struktur*, die im Gegensatz zur Funktionsstruktur oder Wirkstruktur bereits die Gliederung der Lösung in die für deren Realisierung wesentliche reale Gruppen und Elemente (Teilsysteme und Systemelemente) einschließlich deren Verknüpfungen (Schnittstellen) erkennen läßt. Darstellungsformen können z.B. Anordnungsskizzen, Graphen, Logikpläne, Struktogramme oder Fließbilder sein. Eine Modularisierung vor den arbeitsintensiven Gestaltungsschritten ist insbesondere bei komplexen Produkten wichtig, um eine effiziente Aufteilung der Konstruktionsarbeit zu erleichtern und durch Strukturierung bestimmte Entwicklungs schwerpunkte besser erkennen und lösen zu können. So unterscheidet man z.B. Konstruktionsmodule mit Abgrenzungen nach arbeitstechnisch-pragmatischen Gesichtspunkten, Montagemodule zur montagegerechten Produktgestaltung, Wartungsmodule für einen instandhaltungsfreundlichen Produktaufbau, Recycling-Module sowie Basis- und Variationsmodule, die eine baukastenartige Struktur ermöglichen [100]. Bei diesem Arbeitsabschnitt verzweigt sich eine Produktentwicklung oft in parallele Konstruktionslinien, die zunächst Baugruppen und danach auch Einzelteile getrennt voneinander bearbeitet (vgl. Abschnitt 4.3).

Im *Arbeitsabschnitt 5* erfolgt ein wichtiger Konkretisierungs- bzw. Realisierungssprung durch Gestalten der für die Produkt- bzw. Systemoptimierung maßgebenden Module. Hierbei hat es sich als zweckmäßig erwiesen, den Konkretisierungs- und Vollständigkeitsgrad der geometrischen, stofflichen und/oder programmtechnischen Festlegungen nur so weit zu treiben, daß ein Erkennen und Auswählen eines Gestaltungsoptimums möglich wird. Es wird hierbei auch von einem Vorgestalten oder Grobgestalten gesprochen. Auch dieser Arbeitsabschnitt kann für einzelne Module getrennt erfolgen.

Arbeitsergebnis sind *Vorentwürfe* für die maßgebenden Module, die als grobe maßstäbliche Zeichnungen, Stromlaufpläne u.ä. dargestellt sein können.

Im *Arbeitsabschnitt 6* werden die bereits vorentworfenen Module durch weitere Detailangaben, durch *Gestalten und Ergänzen noch nicht bearbeiteter Gruppen und Elemente* sowie durch Verknüpfen aller Gruppen und Teile endgültig festgelegt. Es wird bei diesem Abschnitt auch von einem Endgestalten oder Feingestalten gesprochen. Insbesondere die Festlegung der im Arbeitsabschnitt 5 noch nicht realisierten Module ist u.U. durch Auswahl bekannter bzw. handelsüblicher Elemente möglich.

Arbeitsergebnis ist ein *Gesamtentwurf*, der alle wesentlichen gestalterischen Festlegungen zur Produktrealisierung enthält. Darstellungsformen sind vor allem maßstäbliche Zeichnungen, vorläufige Stücklisten, Instrumentenfließbilder u.ä. (siehe Abschnitt 4).

Der *Arbeitsabschnitt 7* dient dem *Ausarbeiten* der vom Entwicklungs- und Konstruktionsbereich zu verantwortenden Ausführungs- und Nutzungsangaben. Dieser Arbeitsabschnitt überlappt insofern den vorhergehenden, weil in diesem bereits wesentliche Festlegungen zur fertigungstechnischen Realisierung sowie zum Produktgebrauch getroffen wurden.

Arbeitsergebnis ist die *Produktdokumentation* mit Nutzungsangaben, z.B. in Form von Einzelteil-, Gruppen- und Gesamtzeichnungen, Stücklisten, Fertigungs- Montage-, Prüf- und Transportvorschriften, Betriebsanleitungen oder Benutzerhandbüchern. An dieser Stelle sei auf die Bedeutung des Änderungswesens hingewiesen, das je nach Änderungsnotwendigkeiten auch in anderen Arbeitsabschnitten stattfinden muß. Rationale Änderungsmöglichkeiten, insbesondere durch CAD-Unterstützung, sind für die Kosten und den Zeitablauf in Konstruktion und Fertigung besonders wichtig [112].

Allen genannten Arbeitsabschnitten ist gemeinsam, daß bei ihnen jeweils mehrere Lösungsvarianten untersucht, gegebenenfalls in Mustern bzw. Prototypen erprobt und anschließend beurteilt werden müssen. Solche Aus-

wahl-, Optimierungs- und Entscheidungsschritte müssen in allen Arbeitsabschnitten durchgeführt werden. Sie wurden im generellen Vorgehensplan nicht gesondert aufgeführt. Es sei betont, daß die sieben Arbeitsabschnitte je nach Komplexität der Aufgabenstellung noch in weitere Arbeitsschritte untergliedert werden (vgl. Abschnitt 4).

Als wichtige Aussage sei wiederholt, daß die Arbeitsabschnitte nicht starr nacheinander ablaufen, sondern durch Zurückgehen auf vorangegangene Abschnitte häufig iterativ durchlaufen werden, um schrittweise eine Optimierung zu erreichen.

Je nach Neuheitsgrad und Zielsetzung der Aufgabe werden bei einer Produktentwicklung die Arbeitsabschnitte in unterschiedlicher Intensität notwendig sein. So kann z.B. bei einer völlig neuen Aufgabenstellung das Erkennen mehrerer Teilfunktionen schwierig sein. Man wird dann zunächst nach einem ersten Lösungsprinzip suchen und dieses nach funktionalen Zusammenhängen analysieren, um dadurch zu weiteren wesentlichen Teilfunktionen zu kommen. Ein vollständiges Überspringen einzelner Abschnitte erscheint aber gefährlich, weil dann eine Produktentwicklung nicht mehr nachvollziehbar wird und die für Entscheidungen erforderlichen Informationen fehlen.

Es gibt Produkte, deren Entwicklungsumfang und/oder deren beteiligte Fachgebiete eine Paralleldurchführung einzelner Arbeitsabschnitte erfordern. So werden z.B. bei Großanlagen der Verfahrenstechnik die chemisch/physikalischen, maschinenbaulichen und bauingenieurmäßigen Entwicklungen weitgehend getrennt abgewickelt, natürlich in enger Abstimmung zueinander. In der Feinwerktechnik gibt es parallele Entwicklungen für die Elektromechanik, die elektrische Schaltung und die Software.

In Bild 3.4 ist der generelle Vorgehensplan für solche Aufgabenstellungen mit koordinierten Teilentwicklungen dargestellt. Hiernach ist es zweckmäßig, zunächst das Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung sowie das Ermitteln der zu erfüllenden Funktionen und einer vorläufigen prinzipiellen Lösung noch für die Gesamtaufgabe durchzuführen, ehe die übrigen Arbeitsabschnitte parallel ablaufen. Nach Konkretisierungsfortschritten in jedem Entwicklungszweig werden die Einzel-Arbeitsergebnisse in einer gemeinsamen Unterlage zusammengefaßt, schon um die gegenseitige Verträglichkeit der Einzelergebnisse überprüfen und sicherstellen zu können. Die Abstimmung der Teilprojekte erfolgt zweckmäßigerweise in Teamarbeit.

Die Gliederung gemäß Bild 3.4 kann natürlich nur als Beispiel dienen. Sie muß entsprechend den jeweili-

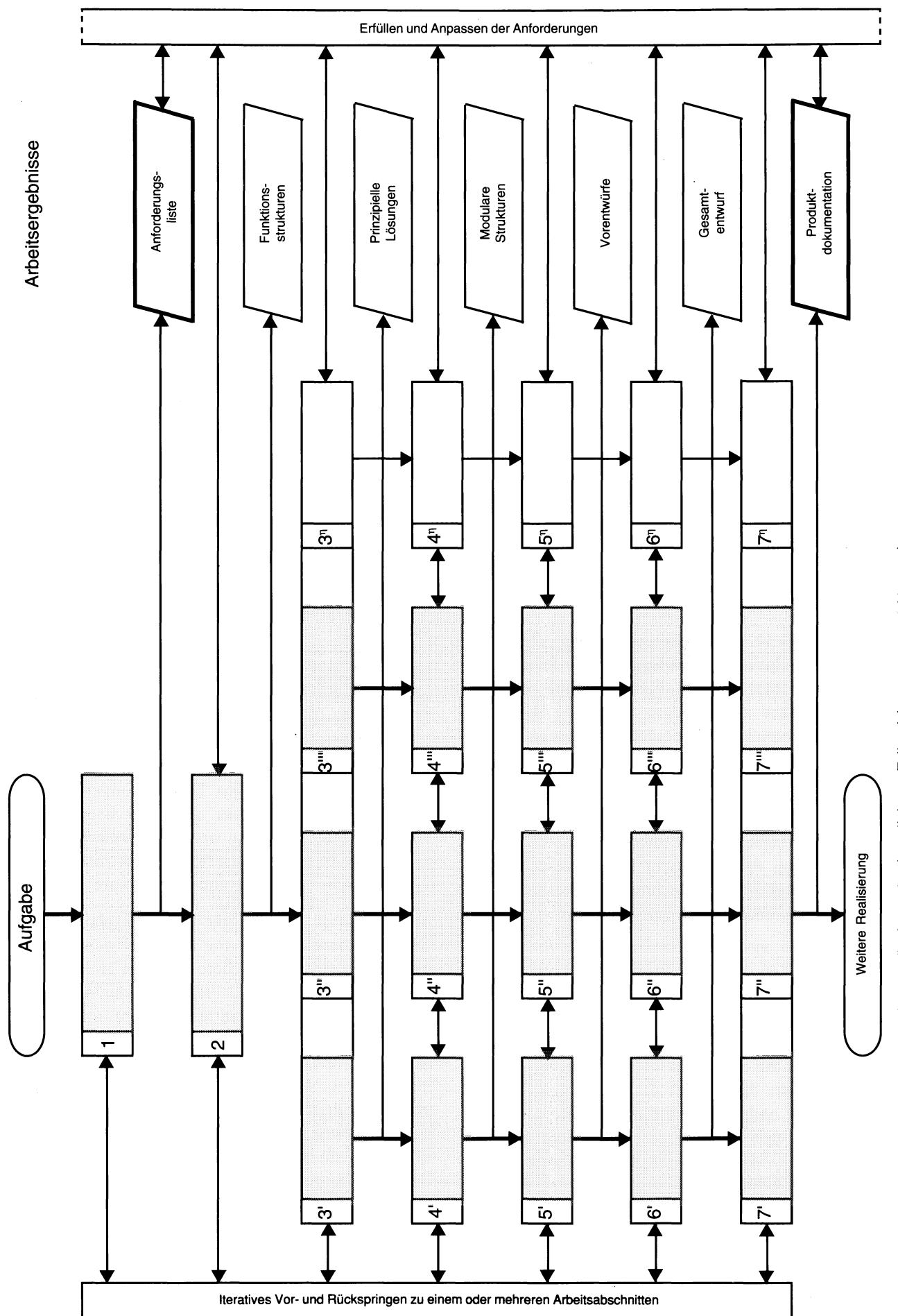


Bild 3.4. Vorgehen bei einem Gesamtprojekt mit unabhängigen, aber koordinierten Teilprojekten (Teilentwicklungen)

gen speziellen Bedingungen der Aufgabenstellung und auch der Organisation modifiziert werden.

Die Bilder 3.3 und 3.4 zeigen Entwicklungsabläufe hinsichtlich zweckmäßiger Konkretisierungsstufen und Arbeitsergebnisse. Solche Abläufe müssen nun im Unternehmen organisatorisch in das Management eingebunden sein, was unterschiedlich erfolgen kann. Festzulegen sind hierzu die *Ablauforganisation* des Konstruktionsprozesses, dessen *Aufbauorganisation* und ein leistungsfähiges *Informationsmanagement*. Besonders letzteres wird stark vom Rechnereinsatz geprägt (vgl. Abschnitt 3.3). Ablauf- und Aufbauorganisation sollten für unterschiedliche Anforderungen von Aufgabenstellungen oder aufgrund von Arbeitsergebnissen flexibel anpaßbar bzw. veränderbar sein (Projektmanagement).

Um die Zeitspanne von der Produktplanung über die Produktentwicklung, Fertigungsplanung und -steuerung einschließlich Betriebsmittelkonstruktion und Materialwirtschaft sowie Fertigung und Montage bis zum Kunden oder zur Markteinführung zu reduzieren und eine ganzheitliche Produkt- und Prozeßoptimierung einschließlich einer durchgängigen Qualitätsplanung zu erleichtern, führt sich zunehmend ein *Simultaneous Engineering* ein [124]. Dieses sieht nicht nur Parallelarbeiten innerhalb des Entwicklungs- und Konstruktionsbereichs vor (Bild 3.4), sondern auch eine frühzeitige Einbeziehung und parallele Projektarbeit aller am Produktentstehungsprozeß beteiligten Unternehmensbereiche. Voraussetzung hierfür ist eine enge Zusammenarbeit aller Bereiche, die insbesondere durch eine rechnergeführte Informationsvernetzung ermöglicht wird [124].

Zusammenfassend lässt sich das generelle Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren wie folgt kennzeichnen:

- Das Vorgehen enthält das Formulieren von Anforderungen zur Präzisierung der zu lösenden Aufgaben, das Suchen und Entwickeln von Lösungen und das Auswählen bzw. Optimieren von Lösungsvarianten.
- Beim Formulieren von Anforderungen sind Vollständigkeit, Genauigkeit, Gewichtung, Lösungsunabhängigkeit und Ordnung erforderlich.
- Das Suchen und Entwickeln von Lösungen geschieht in unterschiedlichen Konkretisierungs- und Komplexitätsgraden:
 - prinzipielle Lösungen für die Gesamtfunktion und/oder für einzelne Teilfunktionen,
 - Gestaltungselemente und -module, einzeln und zu Gruppen höherer Ordnung verknüpft, als unvollständige (grobgestaltete) Vorentwürfe,

- Gestaltungselemente und -module, zum vollständigen (feingestalteten) Gesamtentwurf verknüpft,
- herstellungs- und nutzungsorientierte Detailfestlegungen als Produktdokumentation.

– Das Entscheiden für Lösungsvarianten mit dem Ziel der Lösungsoptimierung ist durch eine vergleichende Beurteilung (Bewertung) der Erfüllungsgrade der Varianten hinsichtlich der gestellten Anforderungen gekennzeichnet. Dabei werden Gebrauchs- oder Nutzwerte sowie Schwachstellen einer Lösung durch Bezug auf eine definierte Ideallösung ermittelt.

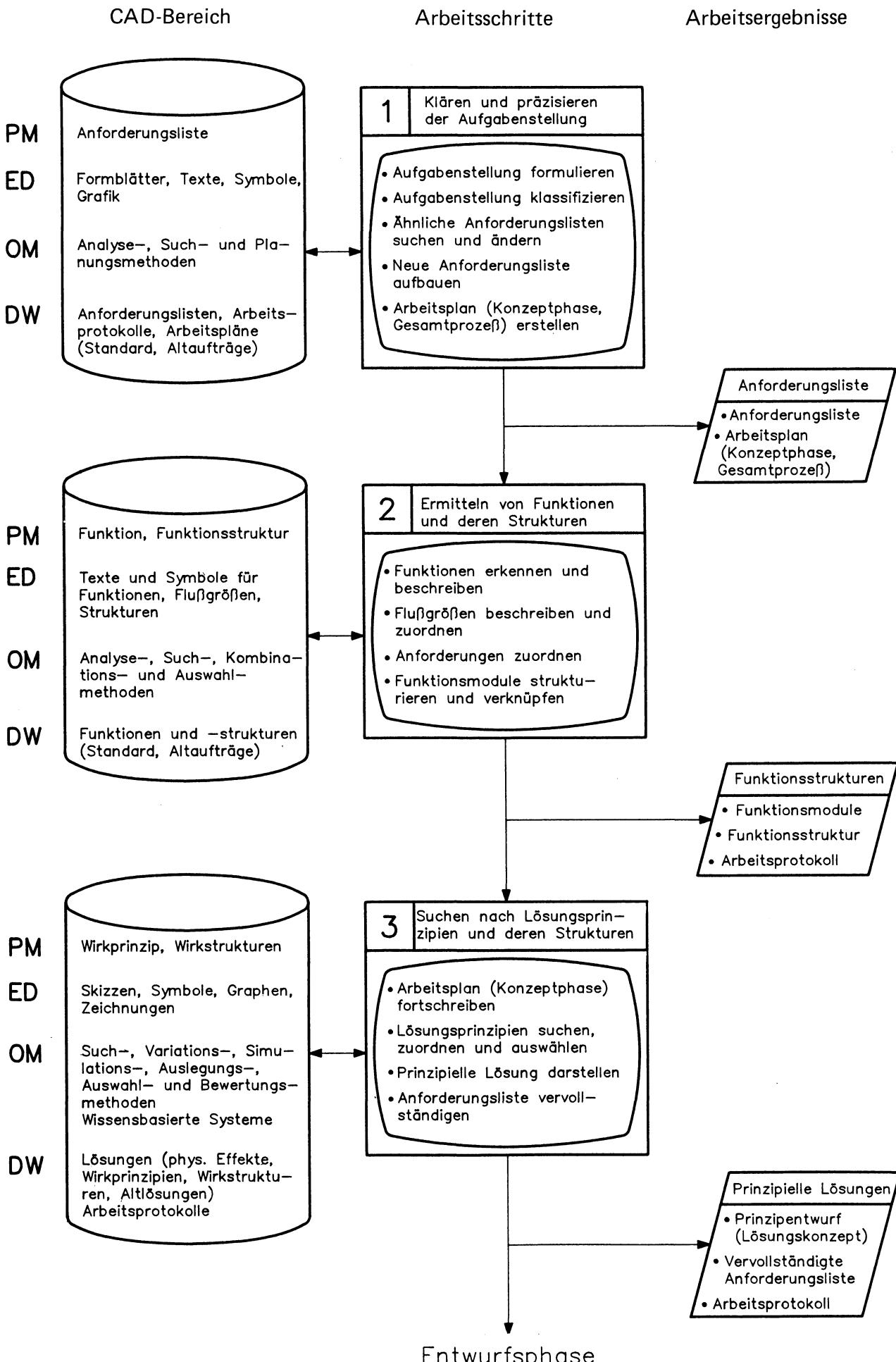
3.3 Rechnerunterstütztes Vorgehen

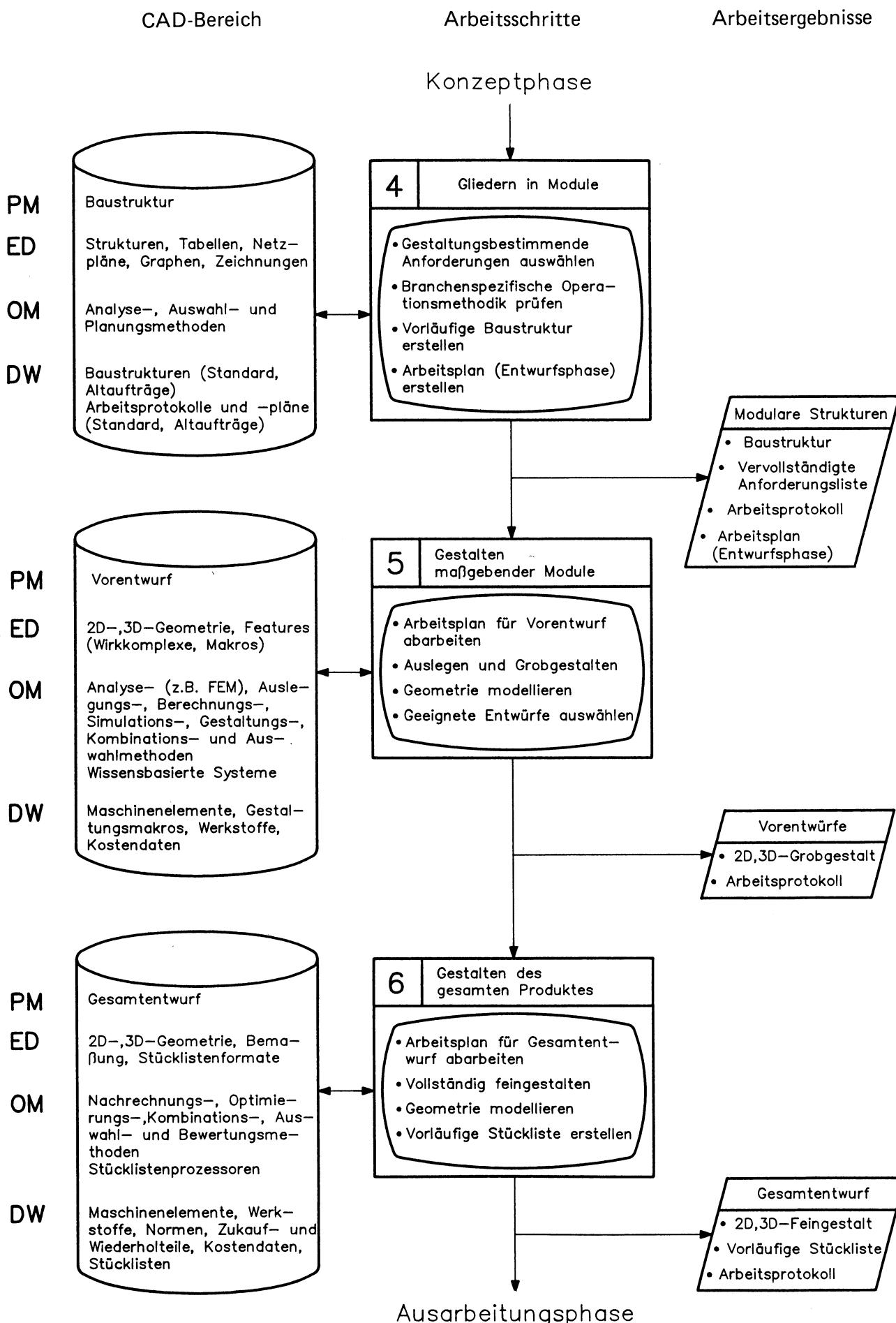
Soll für den Entwicklungs- und Konstruktionsprozeß eine Rechnerunterstützung erreicht werden, die über die Anwendung einzelner Berechnungs-, Zeichnungs- und Informationsbereitstellungsprogramme (Insellösungen) hinausgeht, so muß eine Verknüpfung von Einzelprogrammen zu Programmsystemen erfolgen, die eine Durchgängigkeit des Daten- und Arbeitsflusses sowie eine flexible Anwendung für unterschiedliche Aufgabenstellungen ermöglicht [54] (siehe auch Beispiel 4.1). Solche z.B. als Konstruktionsleitsysteme [4; 34] bekannte CAD-Systeme erfordern einen methodischen Entwicklungs- und Konstruktionsablauf, für den sich ebenfalls das generelle Vorgehen nach Abschnitt 3 (Bild 3.3) anbietet.

Bild 3.5 zeigt ein Ablaufmodell für ein durchgängiges rechnerunterstütztes Vorgehen. Bei diesem wurden zu den Arbeitsabschnitten nach Bild 3.3 zweckmäßige Arbeitsschritte zugeordnet, für die eine Rechnerunterstützung erfolgen soll. Voraussetzung für eine derartige Rechnerunterstützung sind folgende Programmteile in einem CAD-System, die für die einzelnen Arbeitsabschnitte entsprechende Daten, Methoden und Kommunikationsmöglichkeiten enthalten:

Produktmodelle (PM) sind erforderlich, um schrittweise Strukturen und Datenkomplexe zur Beschreibung und Darstellung des zu entwickelnden Produkts aufzubauen (Produktdarstellende Modelle und Produktdefinierende Daten [108 bis 110], Produktbeschreibende Modelle [4; 34; 88]). Sie enthalten die das Produkt oder Teile eines Produkts kennzeichnenden Daten mit ihren Verknüpfungen, jeweils mit dem Konkretisierungs- und Vollständigkeitsgrad des jeweiligen Arbeitsabschnitts (auch Partialmodelle genannt).

Operationsmethoden (OM): Lösungs- und Arbeitsmethoden sind in einer großen Vielzahl für die Bearbeitung der Entwicklungs- und Konstruktions-





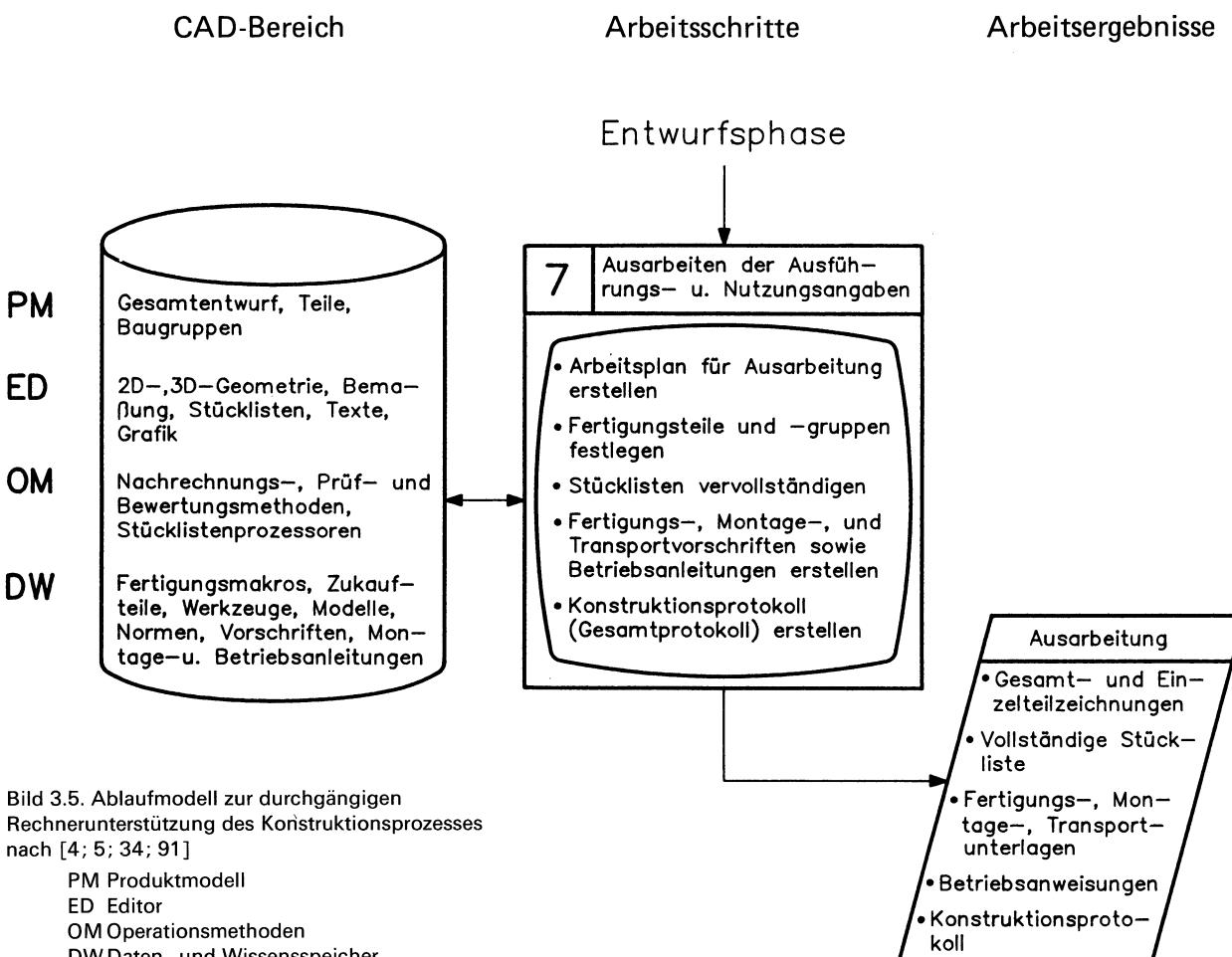


Bild 3.5. Ablaufmodell zur durchgängigen Rechnerunterstützung des Konstruktionsprozesses nach [4; 5; 34; 91]

PM Produktmodell

ED Editor

OM Operationsmethoden

DW Daten- und Wissensspeicher

schritte erforderlich und müssen z.B. als Berechnungs-, Zeichnungs-, Gestaltungs- und Informationssuchprogramme zur Verfügung stehen (Modellierungsprogramme).

Eine *Daten- und Wissensbank (DW)* dient der Speicherung von allgemein anwendbaren oder produkt-spezifischen Daten und Lösungen, von Arbeitsergebnissen, von Kommunikationssymbolen oder von Vorentwicklungen und früheren Konstruktionsunterlagen.

Zur *Kommunikation* mit dem Entwicklungs- und Konstruktionsingenieur müssen *Editoren (ED)* und Geometriemodellierer zur Verfügung stehen, deren Einfachheit, Anschaulichkeit, Flexibilität und Praxis-nähe einen wesentlichen Beitrag zur Anwendungsfreundlichkeit solcher Systeme liefern (Benutzeroberfläche).

Dieses für Produktentwicklungen zweckmäßige rechnerunterstützte Ablaufmodell ist auch für den Aufbau wissensbasierter Systeme hilfreich, wenn diese sich mit der Zusammenfassung von Konstruktions-schritten für einzelne Phasen des Konstruktionsprozesses oder mit einzelnen Komponentenentwick-lungen befassen.

Neben einer rechnerunterstützten Konstruktion durch schrittweise Konkretisierung von rechnerintern gespeicherten Produktmodellen sind auch Vor-gehensmethoden zur direkten Lösung begrenzter konstruktiver Aufgaben durch den Rechner bekannt. Als Beispiel sei die von K.-H. Roth [106] vorgeschla-gene Möglichkeit genannt, die Anordnungen von Elementenpaarungen durch logische Matrizen dar-zustellen, die durch Boolesche Operationen unteneinander verknüpft werden. Das Ergebnis einer solchen Verknüpfung ist einer körperlichen Verbindung kon-form, so daß eine entsprechende Körperpaarung ge-nieriert werden kann.

4 Beispiele

Nachdem im Abschnitt 3 ein allgemein anwendbares Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren definiert wurde, wird in diesem Abschnitt dieses Vorgehen auf vier Branchen übertragen. Dabei wird deutlich, daß eine Anwendbarkeit auch bei den branchenspezifisch unterschiedlichen Verhältnissen und Begriffen ohne Einschränkungen möglich ist. An zwei Beispielen aus dem Maschinenbau wird diese Feststellung ausführlich, für drei weitere Branchen vor allem die begriffliche Übertragbarkeit nachgewiesen.

4.1 Beispiele Maschinenbau

Einführung

Unter Produkten des Maschinenbaus werden im Rahmen dieser Richtlinie solche technischen Systeme verstanden, bei denen vor allem Energie und Stoffe umgesetzt werden und die nicht hinsichtlich Baugröße und Komplexität der Anlagentechnik oder der im wesentlichen dem Signalumsatz dienenden Feinwerktechnik zuzuordnen sind. Natürlich ist eine eindeutige Abgrenzung einzelner Branchen kaum möglich; sie ist aber auch nicht notwendig, weil die Anforderungen an ein technisches Produkt und dessen Eigenschaften durch Funktions-, Gestalt-, Herstellungs- und Gebrauchsmerkmale eindeutig definiert werden können.

Als Entwicklungstrends im Maschinenbau sind außer einer funktionalen Optimierung und Funktionenvielfalt insbesondere die Herstellkostenminimierung, z.B. durch hohe Materialausnutzung und Modulbauweise, sowie eine Absenkung der Gebrauchskosten, z.B. durch hohe Arbeitsgeschwindigkeiten und Wirkungsgrade zu nennen. Hinzu kommt der verstärkte Einsatz der Elektronik als Leistungselektronik für die Antriebstechnik oder als Mikroelektronik für die Steuerungstechnik. Besonders die letztgenannte Entwicklung wirkt sich stark auf das Vorgehen des Konstrukteurs aus, weil er bei der Suche nach Lösungen außer mechanischen und elektrischen Lösungsprinzipien auch elektronische Prinzipien bzw. Komponenten und auch Software-Lösungen betrachten muß. Hinzu kommen verstärkt Anforderungen der Sicherheit und der Ergonomie, die insbesondere das Erscheinungsbild der Werkzeugmaschinen grundlegend gewandelt haben.

Auch im Maschinenbau können wesentliche Funktionseinheiten als firmeneigene, handelsübliche oder genormte Maschinenelemente zur Verfügung stehen, die der Konstrukteur zwar auslegen und auswählen, aber nicht neu entwickeln muß.

Das Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren von Maschinen wird an zwei Beispielen erläutert.

Das erste Beispiel behandelt die Entwicklung eines stationären Betonmischers, d.h. einer verfahrenstechnischen Maschine mit überwiegend Stoffumsatz (Hauptumsatz), stellvertretend für Spezialmaschinen kleiner und mittlerer Serien. Das zweite Beispiel betrachtet eine Hydraulik-Steuerplatten-Konstruktion, stellvertretend für das Vorgehen bei Baugruppen, das betriebsintern entweder in einer Parallelentwicklung oder im Zuge der Gesamtmaschinenentwicklung ablaufen kann. Dieses Beispiel soll auch zeigen, wie der Konstruktionsprozeß durch den Einsatz des Rechners unterstützt werden kann (CAD). Bei beiden Beispielen wurden zum Teil spezielle Begriffe verwendet, die bewußt nicht vereinheitlicht wurden, um der Begriffsvielfalt in der Konstruktionswissenschaft und -praxis Rechnung zu tragen und um herauszustellen, daß trotz unterschiedlicher Detailbegriffe und -schritte ein einheitliches Vorgehen im Gesamtablauf möglich und zweckmäßig ist.

Betonmischer

Arbeitsabschnitt 1

Das Klären der Aufgabenstellung führte für einen zu entwickelnden stationären Betonmischer, Bild 4.1, zu folgenden wesentlichen Anforderungen: Durchsatz von Beton (als Hauptumsatz), Mischqualität in Abhängigkeit von der Qualität und Mengenverteilung der Zuschlagsstoffe, Mischzeit, Geräusch, äußere Abmessungen und Herstellkosten.

Arbeitsabschnitt 2

Die Ermittlung der vom Mischer zu erfüllenden Funktionen bezieht sich zunächst auf den sogenannten Hauptumsatz und diejenigen Nebenumsätze, die sich bereits aus den Anforderungen und dem Erkenntnisstand ableiten lassen. Zu vermeiden sind zu detaillierte Funktionsstrukturen, weil sie Lösungen vorfixieren und dadurch ein schrittweises Optimieren der Lösung erschweren. Andererseits erleichtert die Aufgliederung der Gesamtfunktion in Teilstufen den Einsatz bekannter und bewährter Lösungen und läßt die Möglichkeiten einer rationellen Produktmodularisierung (Baureihen- und Baukastensysteme) erkennen. Der Hauptumsatz des Mixers ist seinem Zweck entsprechend ein Stoffumsatz, der die Ausgangsstoffe Sand, Kies, Zement und Wasser zu Beton verarbeitet. Nebenumsätze stellen die Antriebsenergie und die notwendigen Steuersignale dar. Die Gesamtfunktion „Beton mischen“ läßt sich z.B. in die Teilstufen „Stoffe zuführen“, „Stoffe mischen“ und „Beton abführen“ aufgliedern, die den Charakter von Hauptfunktionen haben, da sie dem bestimmungsgemäßen Zweck entsprechen. Nebenfunktionen sind z.B. „Antreiben“, „Lagern“, „Dichten“ und „bei Überlastung abschalten“.

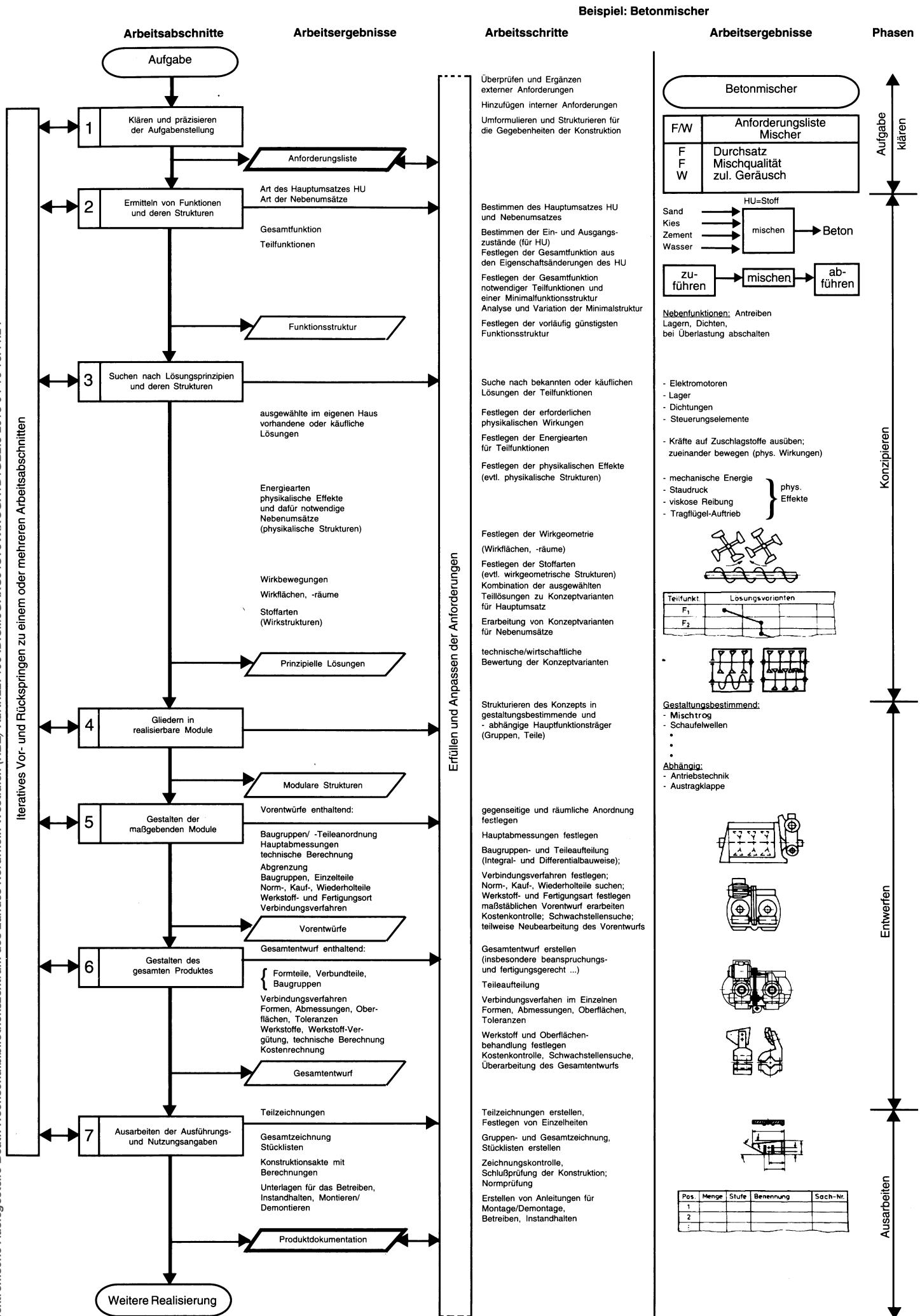


Bild 4.1. Vorgehen bei der Entwicklung eines stationären Betonmischers (genereller Ablauf siehe Bild 3.3)

Arbeitsabschnitt 3

Die Suche nach prinzipiellen Lösungen hängt zunächst von dem Neuheitsgrad der Aufgabenstellung und dem Erfahrungsstand des Unternehmens bzw. Konstrukteurs ab. Anzustreben sind in der Regel bewährte und käufliche Lösungen, insbesondere zur Realisierung von Nebenfunktionen. Für diese entfallen dann einzelne Arbeitsschritte dieses Abschnitts. Bei vorliegendem Beispiel sind das Elektromotoren, Lager, Dichtungen und Steuerelemente.

Für diejenigen Teifunktionen, für die neue Lösungen notwendig oder im Interesse einer Produktoptimierung wichtig erscheinen, wird die Lösung durch Suchen geeigneter Lösungsprinzipien gefunden oder, falls solche nicht bekannt sind, durch Suchen geeigneter physikalischer Effekte. Anschließend erfolgt dann deren prinzipielle Realisierung durch Festlegen der Wirkgeometrie, der Wirkbewegungen und der in Betracht kommenden Stoffe (wirkstrukturelle Merkmale) zu Lösungsprinzipien. Für die Teifunktion „Mischen“ sind solche Lösungsprinzipien z.B. rotatorisch und translatorisch bewegte Mischschaufeln in unterschiedlicher Anordnung, Form und Zahl sowie archimedische Schnecken mit feststehenden Hindernissen und Mischräumen.

Lösungsprinzipien, die vorhandene Teifunktionen erfüllen, müssen entsprechend der Funktionsstruktur verknüpft werden. Es wird dann von Wirkstrukturen oder *Konzepten* gesprochen. Aus der Vielfalt möglicher Lösungsprinzipien und Verknüpfungen ergeben sich mehrere Konzeptvarianten, aus denen nach einer technisch-wirtschaftlichen Bewertung das günstigste Konzept (Lösungskonzept) ausgewählt werden muß. Hier wurden als Konzept parallele, gegenläufige, horizontale Mischwellen mit aufgesetzten Mischschaufeln zu einem fast quadratischen Mischtrog gewählt. Zur Festlegung des endgültigen Konzepts sind eingehende Versuche mit Mustern oder Prototypen notwendig (siehe Bild 3.2).

Die Konkretisierungsschritte dieses Vorgehensabschnittes – Festlegen der physikalischen Effekte, Festlegen der wirkstrukturellen Merkmale zu Lösungsprinzipien und Verknüpfen der Lösungsprinzipien zum Lösungskonzept – können entweder schrittweise oder auch integral ablaufen. Das hängt von der Erfahrung des Konstrukteurs und von den verwendeten Hilfsmitteln wie z.B. Lösungskatalogen, Datenbanken für physikalische Effekte oder CAD-Menüseldern für Lösungsprinzipien ab.

Die Arbeitsabschnitte 1 bis 3 werden im Maschinenbau überlicherweise als *Konzeptphase* bezeichnet.

Arbeitsabschnitt 4

Vor einer weiteren Konkretisierung des Konzepts wird in gestaltungsbestimmende, d.h. für die weitere Gestaltung maßgebende Gruppen oder Teile (Hauptfunktionsträger), und von diesen abhängige Gruppen oder Teile strukturiert. So sind bei dem Betonmischer Mischtrog und Schaufelwellen sicher für die Gestaltung maßgebender als die zugekauften Antriebe. Diese Strukturierung legt die zweckmäßige Reihenfolge der anschließenden Gestaltungsschritte und auch die wichtigen Optimierungsaufgaben fest.

Arbeitsabschnitt 5

Die Gestaltung der maßgebenden Module geschieht zunächst nur so weit, daß eine funktionale Optimierung und das Erkennen wesentlicher Fertigungs- und Montagetechnologien möglich wird. Dazu gehören das Festlegen der Hauptabmessungen, die Baugruppen- und Teileanordnung mit den wesentlichen Fügestellen sowie die Werkstoffauswahl. Dieser Arbeitsabschnitt kann sehr berechnungsintensiv sein und führt zum sogenannten Vorentwurf oder zu mehreren Vorentwürfen.

Arbeitsabschnitt 6

Die weitere Konkretisierung besteht in der Feingestaltung der bisher nur grob gestalteten Gruppen und Teile sowie in der Gestaltung der sonstigen Gruppen und Teile. Hierzu gehört auch die Vervollständigung zum Gesamtentwurf durch endgültiges Auswählen von Wiederhol-, Norm- und Zukaufteilen bzw.-gruppen. Der Gesamtentwurf enthält alle für eine Ausarbeitung der Fertigungs- und Nutzungsunterlagen erforderlichen Festlegungen hinsichtlich Formen, Abmessungen, Oberflächen, Toleranzen und Werkstoffen. Während der Arbeitsabschnitte 5 und 6 können die Herstellkosten abgeschätzt und noch beeinflußt werden. Die wesentliche Kostenbeeinflussung erfolgt aber durch das im Arbeitsabschnitt 3 festgelegte Konzept.

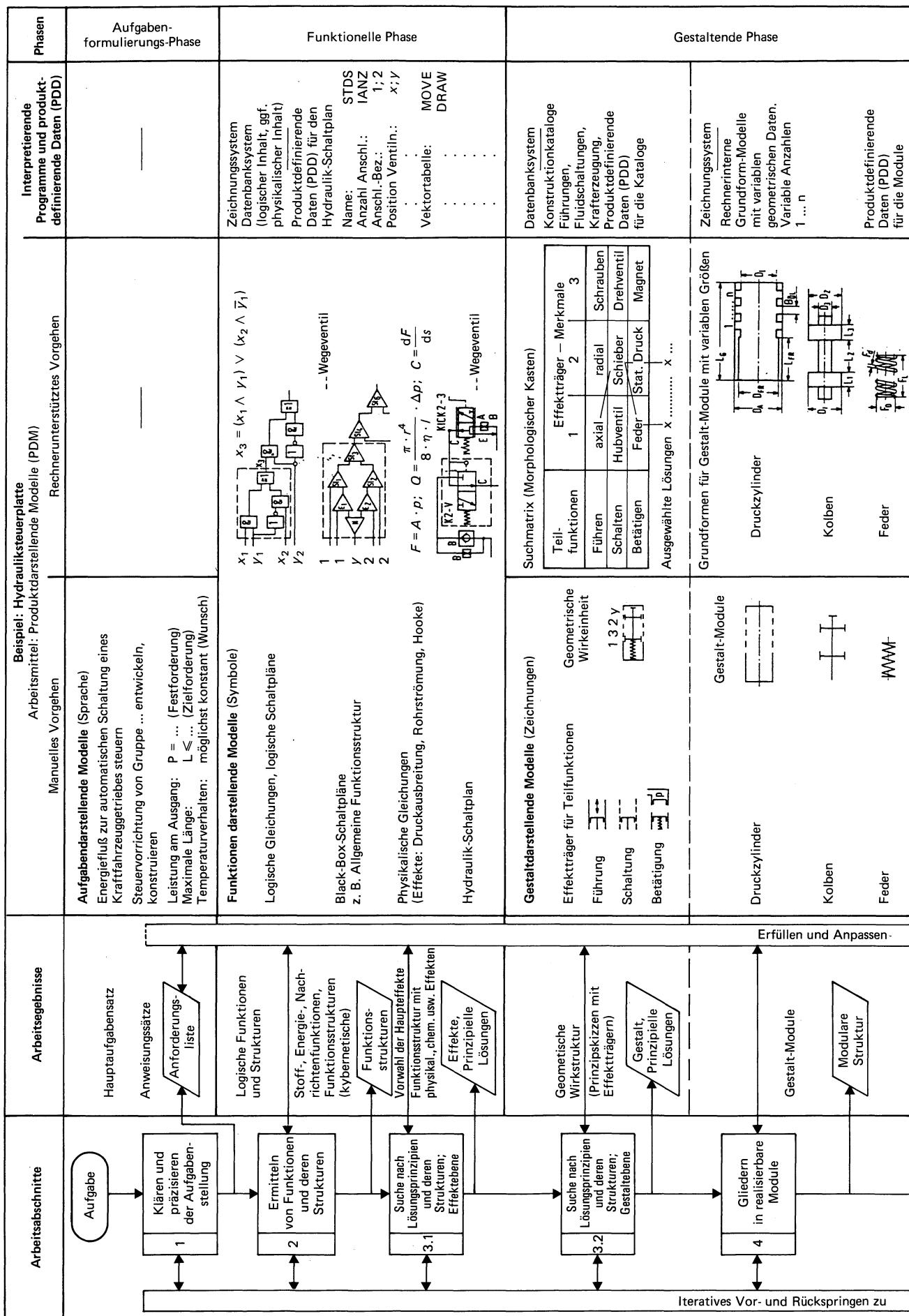
Die Arbeitsabschnitte 4 bis 6 werden im Maschinenbau überlicherweise als *Entwurfsphase* bezeichnet.

Arbeitsabschnitt 7

In diesem auch als *Ausarbeitungsphase* bezeichneten Abschnitt werden vor allem Einzelteil-, Gruppen- und Gesamtzeichnungen einschließlich Stücklisten, ferner Fertigungs- und Montageanweisungen, Prüfvorschriften sowie Gebrauchsanleitungen erstellt. Die Arbeitsergebnisse sind eine vollständige Produktdokumentation zur Herstellung und Nutzung des Produktes.

Hydrauliksteuerplatte

Die Konstruktion von Hydrauliksteuerplatten nach Bild 4.2 dient als Beispiel für eine Konstruktions-



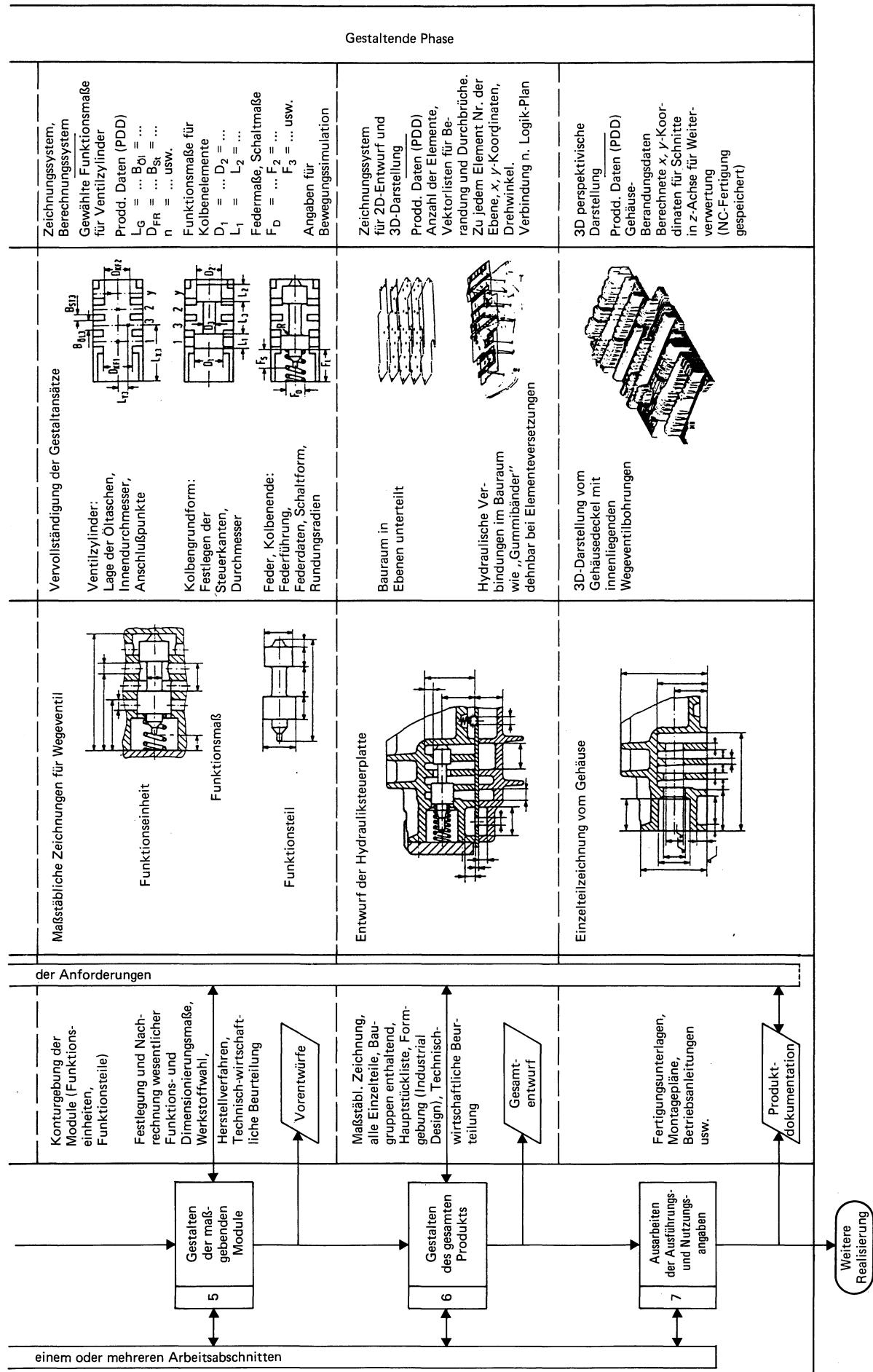


Bild 4.2. Konstruktion von Hydrauliksteuerplatten

aufgabe, bei der eine stärkere Formalisierung der Anforderungen und Algorithmierung der Konstruktionsschritte einen weitgehend kontinuierlichen Einsatz der CAD-Technik ermöglicht. Zur formalen Darstellung und rechnerinternen Verarbeitung der Arbeitsschritte und Arbeitsergebnisse werden hier „produktdarstellende Modelle“ verwendet, die mit Hilfe „produktdefinierender Daten“ gekennzeichnet und verarbeitet werden [108]. Es ist erkennbar, daß auch ein CAD-orientiertes Vorgehen sich unmittelbar den in Abschnitt 3 vorgeschlagenen generellen Arbeitsabschnitten zuordnen läßt, die an einem manuellen Vorgehen ausgerichtet sind. Die an einigen Stellen abweichenden Formulierungen mögen die Begriffsvielfalt im Maschinenbau und bei bekannten Methoden-Veröffentlichungen zeigen, die zwar durch diese Richtlinie in vertretbarem Maße abgebaut, aber im Interesse einer pluralistischen Weiterentwicklung der Methoden nicht völlig vereinheitlicht werden kann und soll.

Arbeitsabschnitt 1

Für Bedingungen, Restriktionen und weitere Informationen über die zu lösende Aufgabe, welche durch Klären und Präzisieren zur Anforderungsliste konkretisiert und vervollständigt werden müssen, kann es zweckmäßig sein, eine Strukturierung und Formalisierung vorzunehmen, mit der das Erkennen wesentlicher Funktionen und das Durchführen der nachfolgenden Arbeitsabschnitte erleichtert wird. Außer den für das Produkt relevanten Anforderungen werden deshalb in vorliegendem Beispiel herausgestellt:

- die Summe aller Wirkungen und Abläufe, die zur Erfüllung der *Hauptaufgabe* des Produkts notwendig sind (nach [105] Hauptaufgabensatz). Sie bestimmt im nächsten Arbeitsabschnitt die Hauptfunktion und den Hauptumsatz des Produkts.
- *Anweisungen*, welche für die Summe aller notwendigen Tätigkeiten, Veranlassungen und Handlungen zur Erstellung der entsprechenden Produktunterlagen erforderlich sind (nach [105]: Anweisungssatz)

Als Arbeitsmittel für diesen Abschnitt werden aufgabendarstellende Modelle eingesetzt, vorwiegend Elemente der Sprache, die in bestimmter Weise formuliert sind, weshalb von der *Aufgabenformulierungs-Phase* gesprochen wird.

Arbeitsabschnitt 2

Ausgang für diesen Abschnitt ist die Hauptaufgabe, für die eine Hauptfunktion gesucht wird, die sie erfüllt. Die Hauptfunktion ist wichtigster Bestandteil

der Gesamtfunktion, kann aber in der Regel nur mit Hilfe von Nebenfunktionen realisiert werden.

Besonders für vorliegendes Beispiel mit Steuerungsaufgaben und zum Erleichtern des Rechnereinsatzes erscheint es zweckmäßig, Funktionen und Funktionsstrukturen auf rein logischer Ebene (logische Funktionsstruktur) und auf der Ebene der Stoff-, Energie- und Nachrichtenumsätze (allgemeine Funktionsstruktur) zu erstellen. Solche Funktionsstrukturen (funktionendarstellende Modelle) lassen sich nur dann mit Rechnern gut verarbeiten, wenn sie aus einer beschränkten Anzahl normierter Elemente und deren eindeutigen Verknüpfungen bestehen, z.B. aus technischen Symbolen. Dabei ist zu beachten, daß außer ihrem zeichentechnischen Inhalt ihr logischer und ihr physikalischer Inhalt in der entsprechenden Datenstruktur enthalten ist.

Arbeitsabschnitt 3

Nach der vorphysikalischen Ebene des Abschnitts 2 müssen nun prinzipielle Lösungen zur Erfüllung der logischen und allgemeinen Funktionsstruktur gesucht werden. Zur besseren Algorithmierung dieses Arbeitsabschnittes wurde eine Unterteilung vorgenommen.

Arbeitsabschnitt 3.1

Die physikalische Realisierung einzelner Funktionen bzw. der Funktionsstruktur erfolgt durch Auswahl physikalischer bzw. chemischer Effekte (z.B. aus einem Konstruktionskatalog [105]), die z.B. durch physikalische Gleichungen beschrieben werden. Für vorliegende Steuerplattenkonstruktion wurden der Druckausbreitungseffekt, der Effekt laminarer Strömung und der Hookesche Effekt als Haupteffekte ausgewählt. Die Verknüpfung dieser Effekte nach der Funktionsstruktur führt zu einem Hydraulik-Schaltplan, der bereits eine Prinzipielle Lösung auf rein physikalischer Ebene darstellt.

Die *rechnerunterstützte* Bearbeitung geschieht nun so: Der Schaltplan wird mit Hilfe interpretierender Programme und produktdefinierender Daten im Rechner gespeichert, enthält und veranlaßt bei allen folgenden Tätigkeiten die logische Verknüpfung der entsprechend benannten Funktionseinheiten und Anschlußpunkte und kann auch jederzeit wieder am Bildschirm reproduziert werden. Erstmaliger Aufbau und Änderungen des Schaltplanes am Bildschirm erfolgen meist mit Hilfe der Menütechnik. Arbeitsmittel für die Arbeitsabschnitte 2 und 3.1 sind Funktionen und Funktionen erfüllende physikalische, chemische usw. Effekte, dargestellt durch mathematische, physikalische, chemische usw. Gleichungen bzw.

Zeichnungssymbole, weswegen diese beiden Abschnitte nach [105] zur *funktionellen Phase* zusammengefaßt werden. Nötige Software: Zeichnungssystem, Programm-Modul für logische Verknüpfung der Elemente.

Arbeitsabschnitt 3.2

Die weitere Konkretisierung der prinzipiellen Lösung erfolgt auf gestalterischer Ebene durch Festlegen der geometrischen Wirkstruktur, die aus den geometrischen, kinematischen und stofflichen Merkmalen, die eine Erfüllung der physikalischen Effekte ermöglichen, gebildet wird (den sogenannten Effektrträgern). Als Beispiel werden in Bild 4.2 nur das Wegeventil mit den Teilstufen „Führen“, „Schalten“ und „Betätigen“ betrachtet. Die so prinzipiell realisierten Effektrträger bestimmen die prinzipielle Gestalt. Ihre Verknüpfung zur Wirkeinheit bzw. Wirkstruktur ergibt die *prinzipielle Lösung* in der grundsätzlichen Gestaltform, mit der die geforderten Funktionen physikalisch, chemisch, informationstechnisch usw. erfüllt und schematisch dargestellt werden (gestaltdarstellende Modelle).

Es müssen selbstverständlich mehrere Lösungen untersucht werden, um eine möglichst günstige zu finden. So hätte beispielsweise statt des gewählten Längsschieberprinzips das Drehschieberprinzip ausgewählt werden können, was aus Einbau- und Fertigungsgründen unterblieb. Arbeitsmittel für diesen Abschnitt sind Zeichnungen mit schematischen Darstellungen der Teile und Gelenke. Sie geben nur Auskunft über Ausdehnungsrichtung der Wirkräume, Wirkflächen und Freiheitsgrad der Wirkflächenpaarungen.

Die Zuordnung gestalterischer Festlegungen zu dem logischen und physikalischen Inhalt des Schaltplans wird in erster Linie durch die Kreativität des Konstrukteurs erfolgen. *Rechnerunterstützung* kann dabei zur Zeit nur indirekt gegeben werden, wenn z.B. immer wiederkehrende Teilstufen und Effektrträger in der Datenbank in Form von Konstruktionskatalogen vorliegen und nach Angabe der Teilstufen ein Lösungsspektrum als Suchmatrix (morphologischer Kasten), evtl. mit Prinzipskizzen, am Bildschirm generiert wird. Nötige Software: Datenbanksysteme für Konstruktionskataloge.

Arbeitsabschnitt 4

Das Gliedern der prinzipiellen Lösung in Gestalt-Module zur besseren Weiterbearbeitung ist zwar bei manuellem Vorgehen für so einfache Baugruppen wie das Wegeventil nicht typisch, jedoch für kompliziertere Einheiten zweckmäßig.

Bei Bearbeitung mit dem *Rechner* muß der Konstruktionsprozeß noch feiner gegliedert werden, weshalb sich die Modularisierung besonders empfiehlt. Es hat sich als hilfreich erwiesen, für immer wiederkehrende Teile und deren Umrisse Grundformen festzulegen, die qualitativ alle geometrischen Besonderheiten wie Absätze, Durchbrüche, Oberflächenform haben, quantitativ aber – das heißt bezüglich der Anzahl von Absätzen, Durchbrüchen usw. und bezüglich der Längenmaße – völlig variabel sind. Bei der Rechnerunterstützung werden in diesem Abschnitt daher zweckmäßige Grundformen mit variablen Maßen und Anzahlen durch ein geeignetes Zeichnungssystem erstellt. Diese werden häufig auch sehr branchenspezifisch sein.

Nötige Software: Zeichnungssystem (z.B. 3D-Systeme für symmetrische und unsymmetrische Körper).

Arbeitsabschnitt 5

Es werden zunächst die maßgebenden Bereiche der Wirkstruktur gestaltet. Diese Vorentwürfe (gestaltdarstellende Modelle) enthalten schon die Körperkonturen mit den für die Funktionserfüllung wichtigen Funktionsmaßen, legen die Funktionsteile, Werkstoffe, Trennfugen, Montierbarkeit und notwendige Verbindungen fest. Da im wesentlichen alle wichtigen Maße vorliegen, können die Berechnungen zur Dimensionierung durchgeführt werden.

Arbeitsmittel für diesen Abschnitt sind technische Darstellungen in orthogonaler, axionometrischer oder Zentralprojektion mit Querschnitten und Körperkonturen.

Die *Rechnerunterstützung* kann hier punktuell erfolgen, z.B. durch Ausführung von Volumen- und Festigkeitsrechnungen, oder auch allgemein durch maßliche Konkretisierung, Dimensionierung und Zusammenstellung der Grundformen zu funktionsfähigen Baugruppen mit der Möglichkeit der Simulation von Bewegungen. Vorteil: Alle geometrischen Daten sind im Rechner, und Änderungen, die aus irgendeinem Grund nötig sind, können jederzeit schnell und fehlerfrei unter Berücksichtigung aller Nebenwirkungen auf die Nachbarsteile durchgeführt werden. Nötige Software: wie in Arbeitsabschnitt 4.

Arbeitsabschnitt 6

Wenn Größe und Form der maßgebenden Funktioneinheiten als elementare Baugruppen festliegen, kann der Gesamtentwurf durch Gestaltung der verbleibenden Bereiche, ergänzt durch die noch fehlenden Maße, erarbeitet werden. Im Vordergrund steht nun die günstigste Anordnung der Baugruppen. Die Entwürfe sollten so vollständig sein, daß eine technisch-

wirtschaftliche Beurteilung anhand der vorgegebenen Anforderungen möglich ist. Arbeitsmittel sind die gleichen wie in Arbeitsabschnitt 5.

Beim *rechnerunterstützten Konstruieren* wird in vorliegendem Beispiel der Bauraum in maßgebende Konstruktionsebenen zerlegt und deren Berandung abgegrenzt. Anschließend werden die Ventile in einer Ebene, z.B. in der obersten, untergebracht und aufgrund des Schaltplanes die Verbindungsleitungen erzeugt, welche zunächst wie dehnbare Gummibänder die Wegeventile und anderen Anschlußelemente verknüpfen. Diese Verbindungen bleiben auch erhalten, wenn die Ventile zum Zwecke der kreuzungsfreien Leitungsführung verschoben werden. Die bearbeitungsgerechte Leitungsführung beendet diesen Abschnitt interaktiver Konstruktion. Nötige Software: 2D- und 3D-CAD-System, produktsspezifische Programmodule, z.B. für Plattenberandung, für „Gummiband“-Verbindungen usw.

Arbeitsabschnitt 7

Die Gestaltung des Produktes wird mit der Detaillierung von Einzelteilen abgeschlossen. Wichtige Angaben zur Herstellung, Verteilung, Verwendung und Wiederverwendung bestimmter Komponenten (Recycling) des Produktes werden in Form von Fertigungszeichnungen, Montageplänen und Betriebsanleitungen dokumentiert. Arbeitsmittel sind technische Zeichnungen, Stücklisten und Vorschriften.

Rechnerunterstützt ist es möglich, z.B. aufgrund der vorgegebenen Abmessungen der Innenteile, automatisch die Form eines Gußgehäuses durch entsprechend zahlreiche Längsschnitte zu generieren und die Daten der Gehäuseabmessungen direkt zu verwenden, z.B. zur Erstellung der Steuerdaten für eine NC-Maschine zum Fräsen eines Elektroerosionswerkzeuges für die Herstellung von Gußformen. Arbeitsmittel der Arbeitsabschnitte 3.2 bis 7 sind in erster Linie geometrische und technologische Größen, dargestellt durch Skizzen, Zeichnungen und Zeichnungsangaben, so daß nach [105] auch von einer *gestaltenden Phase* gesprochen werden kann.

4.2. Beispiel Verfahrenstechnik

Einführung

Die Verfahrenstechnik befaßt sich mit der technischen Durchführung von Verfahren, Stoffe chemisch, biologisch und/oder physikalisch nach Art, Eigenschaften und/oder Zusammensetzung zu ändern. Ein Verfahren ist stets ein komplexes Wirkungssystem aus vielen Elementen, die untereinander und mit der Umgebung durch Stoff-, Energie- und Informationsflüsse verknüpft sind. Sie vollziehen sich in Appara-

ten und Maschinen, die ein konstruktives System, nämlich die verfahrenstechnische Produktionsanlage bilden.

Wie alle technischen Systeme durchläuft auch ein Stoffänderungsverfahren mehrere Lebensphasen (Bild 2.1) [9]. Am Beginn steht der Bedarf nach einem neuen Verfahren, der durch den Bedarf nach neuen Stoffen ausgelöst wird, oder nach Änderung eines bestehenden Verfahrens, der durch veränderte Rohstoff-, Energie- und Umweltbedingungen oder durch neue, kostensparende Technologien notwendig wird. Sodann folgt die Verfahrensentwicklung, in der die technischen Möglichkeiten untersucht werden, eine gewünschte Stoffänderung auf technisch machbaren, wirtschaftlichem und industriell auswertbaren Weg zu erreichen. Im Falle einer positiven Entscheidung des zuständigen Entscheidungsträgers schließt sich der Verfahrensentwicklung die Anlagenprojektierung mit den notwendigen Detailkonstruktionen an. Es folgen Apparate- und Maschinenherstellung sowie die Apparatemontage vor Ort und die Inbetriebnahme, bevor die Produktionsanlage ihren Dauerbetrieb aufnehmen kann.

Die Verfahrensentwicklung beeinflußt ganz wesentlich den Kapitalbedarf für die Produktionsanlage und deren Betriebskosten. Ihr Ablauf wird im Rahmen dieser Richtlinie stellvertretend für die Vorgehensweise in den verschiedenen Lebensphasen des verfahrenstechnischen Systems geschildert, die sich nicht im Prinzipiellen, wohl aber im Detail unterscheiden.

Verfahrensentwicklung ist entsprechend dem Konstruieren in hohem Maße Informationsumsatz. Häufig werden in ihrem Verlauf Informationslücken offenbar, die es während der Verfahrensentwicklung durch theoretische und experimentelle Arbeiten zu schließen gilt. Ganz besonders betrifft das die charakteristischen Stoffdaten, die stoff- und betriebsspezifischen Funktionen von Apparaten und Maschinen sowie das betriebssichere Zusammenwirken des gesamten Systems. Diese Informationslücken unterbrechen den Problemlösungszyklus und erfordern eigenständige Maßnahmen wie etwa die Stoffdatenermittlung, die Funktionsprüfung einzelner Apparate und der gesamten verfahrenstechnischen Anlage im Pilotmaßstab. Derartige Maßnahmen sind aus der Darstellung nach Bild 3.3 bzw. Bild 4.3 nicht ersichtlich. Sie können sowohl als der Entwicklungs-/Konstruktions-Phase nach Bild 3.2 nachgeschaltete oder auch in gewisser Weise parallelgeschaltete Phasen notwendig werden.

Ausgeprägter als bei Systemen des Maschinenbaus und der Feinwerktechnik sind bei der Verfahrensentwicklung mehrere Fachgebiete beteiligt und zu inter-

disziplinärer Zusammenarbeit genötigt, z.B. technische Chemie, Biotechnologie, Verfahrenstechnik, konstruktiver und fertigungstechnischer Maschinenbau, Elektro-, Meß- und Regeltechnik, Bauingenieurwesen, Sicherheitstechnik, Betriebswirtschaft. Diese Komplexität der Zusammenarbeit vermag der im folgenden beschriebene grobe Vorgehensplan nicht wiederzugeben. Jedoch hält die Systemtechnik Methoden und Hilfsmittel für die weitergehende Differenzierung der Vorgehensschritte bereit [20; 35].

Vorgehen

Eine Verfahrensentwicklung wird zweckmäßigerweise in drei Konkretisierungsphasen aufgeteilt: eine Vorstudie, eine Hauptstudie und Detailstudien, die der Hauptstudie folgen oder auch überlagert sein können.

In der *Vorstudie* werden mit den Mitteln der Synthese und der Analyse und mit vertretbarem Aufwand

- die Bedürfnisfrage für ein neues System geklärt,
- die Systemgrenzen festgelegt,
- die grundsätzlichen Anforderungen definiert,
- die grundsätzlichen Lösungsprinzipien und ihre Machbarkeit in technischer, wirtschaftlicher, politischer, sozialer, psychologischer und ökologischer Hinsicht geprüft,
- das erfolgversprechendste Lösungsprinzip mit Hilfe nachprüfbarer Beurteilungskriterien herausgearbeitet.

Ganz konkret umfaßt die Vorstudie auch die Durchführbarkeit der chemischen oder biologischen Reaktionen, also auch die Rohstoffwahl und die Prüfung der daraus folgenden Konsequenzen.

Die Vorstudie entspricht damit der Produktplanung im Maschinen- und Gerätebau nach Bild 3.1, die der Produktentwicklung vorgeschaltet ist. Sie ist oft sehr umfangreich und aufwendig und kann wegen unbefriedigender Ergebnisse zum Abbruch der Verfahrensentwicklung führen. In jedem Fall wird also vor Beginn der Hauptstudie eine erste Entwicklungseinscheidung gefällt.

Der Entwicklungs- und Konstruktionsphase in Bild 3.1 ist demnach die *Hauptstudie mit Detailstudien* zuzuordnen. In der Hauptstudie konzentrieren sich Synthese und Analyse auf der Basis der in der Vorstudie festgelegten Reaktionswege auf das gesamte verfahrenstechnische System mit dem Ziel, das Gesamtkonzept für die Investitionsentscheidung zu liefern. Außerdem sind während der Hauptstudie Detailstudien zu definieren und Prioritäten für ihre Durchführung festzulegen. Bild 4.3 enthält die Phasen der Hauptstudie, die in analoger Weise auch für

die Vorstudie gelten. In diesem Bild sind nur die Arbeitsergebnisse und Phasen branchenorientiert bezeichnet und den generellen Arbeitsabschnitten zugeordnet worden.

Arbeitsabschnitt 1

Dieser Arbeitsabschnitt wird in vielen Fällen durch die Untersuchungen der Vorstudie abgedeckt, insbesondere wenn Vorstudie und Hauptstudie von demselben Entwicklungsteam durchgeführt werden. Bei organisatorischer und personeller Trennung dürfte allerdings auch dieser Arbeitsabschnitt zusätzlich zweckmäßig sein, um die Anforderungen für die weitere Verfahrensentwicklung zu präzisieren und in der Sprache der bearbeitenden Abteilung zu formulieren. Auch können bei der Entwicklungseinscheidung noch weitere Randbedingungen und Anforderungen hinzukommen.

Arbeitsabschnitt 2

Mit diesem Arbeitsabschnitt beginnt die *Funktionsebene*, bei der aus der Anforderungsliste oder anderen aus der Vorstudie vorliegenden Unterlagen die vom Verfahren zu erfüllenden Funktionen definiert und zu einer Funktionsstruktur verknüpft werden. Arbeitsergebnis ist das sogenannte *Grundfließbild*.

Arbeitsabschnitt 3

In der *physikalischen Ebene* erfolgt die Suche, Bewertung und Auswahl geeigneter physikalischer Effekte und Operationen zur Erfüllung der Funktionen wie beispielsweise Verdampfung oder Kondensation sowie deren Verknüpfung zur Prozeßstruktur gemäß der festgelegten Funktionsstruktur. Arbeitsergebnis ist das sogenannte *verfahrenstechnische Fließbild*.

Arbeitsabschnitt 4

Bevor eine weitere Konkretisierung dadurch erfolgt, daß nach geeigneten Apparaten und Maschinen zur Realisierung der physikalischen Operationen der Prozeßstruktur gesucht wird, ist es zweckmäßig, die *Prozeßstruktur* zunächst in realisierbare Module aufzugliedern. Dann können beispielsweise bereits bewährte Verfahrenskomponenten frühzeitig festgelegt und damit die Komplexität des Prozesses verringert oder auch bauliche Gegebenheiten berücksichtigt werden.

Arbeitsabschnitt 5

Mit diesem Arbeitsabschnitt beginnt die *Bauart-Ebene*, auf der für die maßgebenden Prozeßmodule *Apparate- und Maschinenkonzepte* festgelegt bzw. ausgewählt werden müssen. In der Regel handelt es

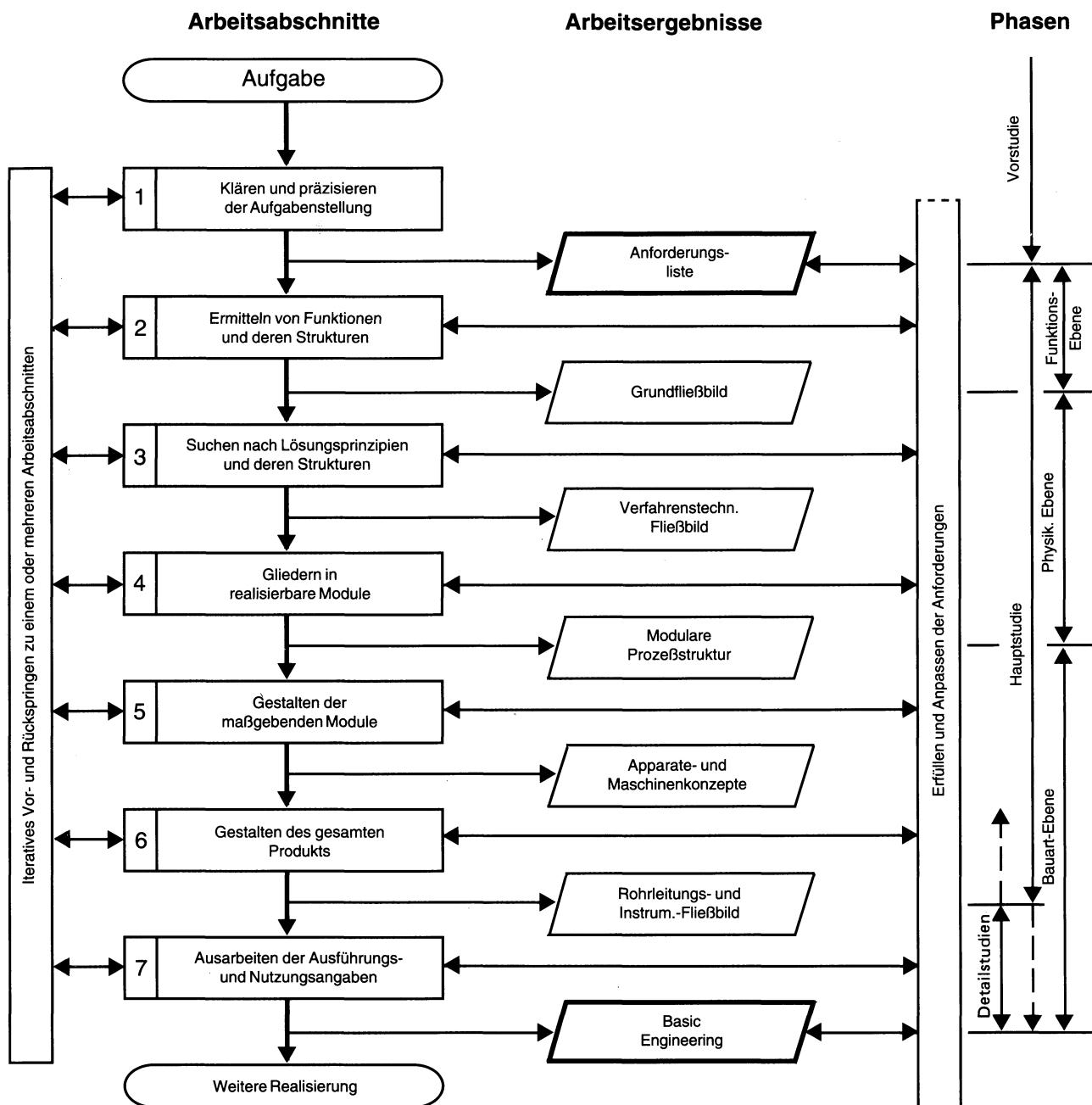


Bild 4.3. Vorgehen bei einer Verfahrensentwicklung

sich hier um bewährte Lösungen oder um Anpassungskonstruktionen. Dabei wird die Konkretisierung der Apparate- und Maschinenbauarten nur so weit erfolgen, wie es zur Investitionsentscheidung notwendig ist.

Arbeitsabschnitt 6

Die ausgewählten Apparate- und Maschinenkonzepte werden entsprechend den Stoffflüssen der Prozeßstruktur und den erforderlichen Energie- und Signalflüssen zur Anlagenstruktur mit Leitungen verknüpft. Dabei kann es notwendig sein, weitere Anlagenkomponenten zu ergänzen sowie – je nach Erfahrungsstand – bereits Detailstudien zur weiteren

Konkretisierung einzelner Anlagenkomponenten zu veranlassen. Arbeitsergebnis ist das *Rohrleitungs- und Instrumenten-Fließbild*.

Arbeitsabschnitt 7

In diesem Arbeitsabschnitt wird die durchgeführte Verfahrensentwicklung so weit vervollständigt und dokumentiert, daß eine endgültige *Investitionsentscheidung* möglich ist und im positiven Fall alle Unterlagen zur anschließenden Projektierung bzw. Festlegung der Bauangaben zur Verfügung stehen. In vielen Fällen wird es notwendig sein, durch Detailstudien weitere Unterlagen auszuarbeiten. Das Arbeitsergebnis wird *Basic Engineering* genannt.

Das Vorgehen bei der anschließenden Anlagenprojektierung bzw. -konstruktion entspricht dem Entwicklungs- und Konstruktionsprozeß im Maschinenbau.

4.3 Beispiel Feinwerktechnik

Einführung

Die Entwicklung auf dem Gebiet der Feinwerktechnik wird entscheidend geprägt durch die Innovationen der Halbleitertechnologie und die Vielfalt der Gebrauchsanforderungen. Besonderheiten der Feinwerktechnik sind:

- Anwendung und Integration von Elementen unterschiedlicher physikalischer Bereiche in einem Gerät (mechanische, optische, elektronische, elektromechanische, optoelektronische, chemische),
- Ausnutzen von Prinzipien bis zu einer physikalischen Grenze,
- schnelle Innovation technischer Lösungen (Ablösen mechanischer durch elektronische Prinzipien, elektronischer durch optische, analoger durch digitale, Hardware durch Software usw.),
- Automatisierung geräteinterner Funktionen durch Mikroelektronik,
- Erreichen hoher Präzision durch spezielle Strukturierung der Erzeugnisse (Funktionenintegration oder -trennung, fehlerarme Kompensation und Justierung),
- große Vielfalt technologischer Verfahren (Fertigung von Unikaten bis Massenproduktion),
- Betonung der äußeren Formgebung bei Produkten, bei denen sie die Kaufentscheidung wesentlich beeinflußt (Industrial Design).

In der Regel werden Geräte mit hohen Stückzahlen in Serienfertigung hergestellt und erfordern hohe Investitionen in Fertigung, Montage, Vertrieb und Service. Häufig notwendige Innovationssprünge sind beachtliche Risiken, die durch eine gründliche Erprobung vor der Freigabe zur Serienfertigung in Grenzen gehalten werden müssen. Der Bau von Mustern, gegebenenfalls von Vorserien, deren Erprobung und das Einarbeiten der Erprobungsergebnisse zur Produktoptimierung erfordern ein mehrfaches Durchlaufen einzelner oder mehrerer Entwicklungsschritte und beanspruchen einen erheblichen Anteil der Entwicklungskosten und der Entwicklungszeit (Bild 3.2).

Vorgehen

Charakteristisch für den Entwicklungsablauf ist die interdisziplinäre, aber geschlossene Entwicklung des Gesamtprinzips für ein Gerät – meist in Verbindung mit geeigneten Laboruntersuchungen. Bei Produk-

ten, bei denen die Kaufentscheidung wesentlich vom äußeren Erscheinungsbild bestimmt wird, ist die Mitarbeit des Industrial-Designers erforderlich.

Trotz der angedeuteten speziellen Gegebenheiten der Feinwerktechnik kann der Entwicklungsablauf dem in Abschnitt 3.2 dargestellten generellen Vorgehen zugeordnet werden, Bild 4.4. Die Arbeitsabschnitte werden auch für diese Branche nur kurz und ohne Beispiel kommentiert. Zum detaillierten Vorgehen wird auf die Richtlinie VDI 2422 „Entwicklungsmethodik für Geräte mit Steuerung durch Mikroelektronik“ verwiesen.

Arbeitsabschnitt 1

Die Anforderungen an das zu entwickelnde Gerät kommen in den seltensten Fällen vom Kunden, sondern werden als gemeinsame Aufgabe mehrerer Unternehmensbereiche festgelegt. Dabei obliegt der Entwicklungsabteilung das Einbringen der technischen Innovation. Arbeitsergebnis ist eine Anforderungsliste und bei konsumnahen Produkten gegebenenfalls ein Modell des Industrial-Designers.

Arbeitsabschnitt 2

Die Festlegung der Funktionsstruktur eines Gerätes erfolgt ausgehend von dem Informationsaustausch zwischen der Gerätesteuerung auf der einen Seite und dem Benutzer, dem Prozeß und den Kommunikationsleitungen auf der anderen Seite. Die Funktionsstruktur wird ergänzt durch eine abstrakte Beschreibung des Informationsflusses an den Schnittstellen zum Benutzer, zum Prozeß und zu den Kommunikationsleitungen.

Arbeitsabschnitt 3

Es folgt die Festlegung der Übergabeverfahren für den Benutzerdialog. Bedienelemente und Anzeigen werden ausgewählt. Der Prozeß wird in voneinander unabhängige Teilprozesse gegliedert, die nur durch die Steuerung koordiniert werden. Verfahren werden ausgewählt, Aktoren und Sensoren festgelegt. Für die Kommunikationsschnittstelle werden Übertragungsverfahren ausgewählt und Leitungen festgelegt. Nach einer Abschätzung des Informationsumsatzes und des Speicherbedarfs folgt die Festlegung der Architektur der Steuerung und eine Abgrenzung der Steuerungsaufgaben, die durch Software zu lösen sind.

Arbeitsergebnis dieses Arbeitsabschnittes sind die Abgrenzung und die prinzipiellen Lösungen der erforderlichen Teilgebiete. Zum Beispiel: Für die *Software* ist es die Wahl des Betriebssystems und eine grobe Struktur der Anwenderprogramme. Für die *Schaltung* ist es die Wahl der Schaltkreistechnik und

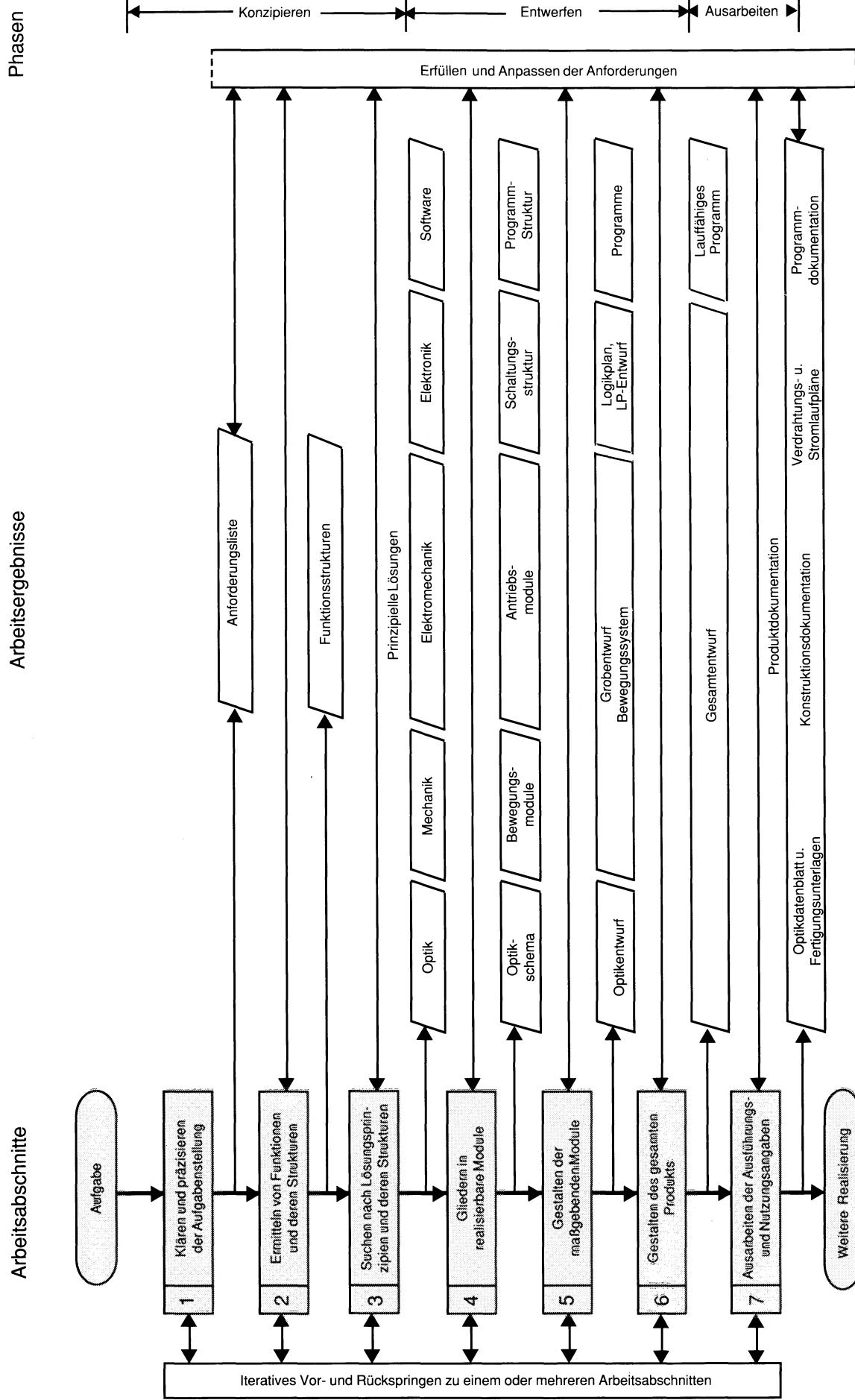


Bild 4.4

der Komponenten der Steuerung, die Verknüpfung zur elektrischen Schaltung, die Festlegung der Versorgungsspannungen, eine Abschätzung des Strom- und Raumbedarfs sowie ein Konzept der Stromversorgung und der Maßnahmen zur Entstörung. Für die *elektromechanische Konstruktion* ist es das Konzept für die Anordnung der Betätigungs elemente und Anzeigen, zur Unterbringung der elektrischen Bau gruppen und zur Verwirklichung der Teilprozesse mit ihrem Stoff- und Energieumsatz in einem Gehäuse.

Die Konzeptphase (Prinzipphase) gewinnt in der Feinwerktechnik an Bedeutung. Die Aufgliederung der Gerätefunktion auf mechanische, elektronische, optische u.a. Träger ist zu optimieren, neue Prinzipien sind einzubeziehen sowie Entscheidungen über die Nutzung von Analog- oder Digitaltechnik, Hard- oder Softwaresteuerung zu treffen.

Arbeitsabschnitt 4

Die Modularisierung innerhalb der Teilgebiete in realisierbare Module bzw. Einheiten ermöglicht es, die Nahtstellen zwischen den Teilgebieten endgültig festzulegen und zu beschreiben. Von diesem Arbeitsabschnitt an, in dem das eigentliche Konzept für das Gerät festgelegt wird, läuft der Entwurf und die Ausarbeitung der prinzipiellen Lösungen der einzelnen Teilgebiete parallel und voneinander getrennt ab und liefert in den folgenden Abschnitten Arbeitsergebnisse, die sich zum Teil sowohl in ihrem sachlichen Inhalt als auch in ihrer Benennung von denen im generellen Vorgehensplan unterscheiden.

Arbeitsabschnitte 5 bis 7

Die Erläuterungen der Entwurfs- und Ausarbeitungsphase werden zusammengefaßt und für elektromechanische Geräte mit den Teilgebieten Elektromechanik, elektrische Schaltung und Software exemplarisch dargestellt.

Bei der Entwicklung der Elektromechanik sind es häufig einzelne Wandler (Aktoren oder Sensoren), die für die Leistungsfähigkeit und für die Kosten des Gerätes von entscheidender Bedeutung sind. Ausgehend von der Optimierung dieser Wandler im Arbeitsabschnitt 5 folgt die Gestaltung des technischen Prozesses, die Anordnung der Anzeigen und Bestätigungs elemente und die Unterbringung und Verbindung der Schaltung einschließlich der Steuerung in dem Gehäuse (Arbeitsabschnitt 6). Im Arbeitsabschnitt 7 wird die Detaillierung und die Dokumentation der Ausführungs- und Nutzungsangaben durchgeführt.

Auch bei der Entwicklung der elektrischen Schaltung liegen häufig für die Produktoptimierung maßgeb-

liche Module vor, z.B. Regelstrecken, Leistungsverstärker oder rauscharme Verstärker zur Detektion von Signalen. Häufig ist die Leistungsaufnahme der Schaltung und die Stromversorgung ein kostenbestimmender Faktor. Entsprechend Arbeitsabschnitt 5 und 6 entstehen, ausgehend von den kritischen Schaltungsabschnitten, die Stromlaufpläne und Bauteilelisten sowie die Aufteilung in Baugruppen. Häufiger werden die Arbeitsergebnisse der Abschnitte 5 und 6 für den elektromechanischen und den Schaltungsteil schon zu einem Gesamtentwurf zusammengefaßt. Im Arbeitsabschnitt 7 werden daraus Auflösungen und Bestückungspläne sowie die Baugruppenverdrahtung erarbeitet. Zugleich entstehen Prüfanweisungen, Angaben über automatische Fehlersuche und Abgleichvorschriften.

Die Entwicklung der Software für die Gerätesteuerung geschieht grundsätzlich „top down“, d.h. ausgehend von der Benutzeroberfläche und den wenigen dort unterscheidbaren Zuständen erfolgt eine immer weitergehende Unterteilung der Abläufe in Teilabläufe bis hin zur Steuerung des Prozesses und den Kommunikationsstellen. Insbesondere zeitkritische Module werden vorab „bottom up“ untersucht. In den Arbeitsabschnitten 5 und 6 folgt die Modularisierung bis zur Feinstrukturierung des logischen Steuerflusses mit den Mitteln der strukturierten Programmierung, anschließend die programmtechnische Implementierung mit Hilfe einer Programmiersprache, zunächst der Programm-Module und anschließend die Integration zu einem lauffähigen Gesamtsystem. Im Arbeitsabschnitt 7 erfolgt die Programmdokumentation oder das Laden von Speicherbausteinen.

Die Entwurfs- und Ausarbeitungsphasen haben bei Geräten der Feinwerktechnik eine hohe Komplexität durch starke Vernetzung der Teilsysteme und Forderungen, wie Unterbringung der Bauelemente auf engstem Raum, Berücksichtigung aller Störeinflüsse, Wiederholteilverwendung trotz weitreichender Innovation, zunehmende Integration technologischer Entscheidungen in den Gestaltungsablauf (justier-, montage-, automatisierungsgerechte Gestaltung).

Erprobung

Nachdem die Arbeitsergebnisse aus allen Teilbereichen vorliegen (Produktdokumentation), können ein oder mehrere Muster eines Gerätes gefertigt und erprobt werden (Funktionsmuster, Prototypen oder Null-Seriengeräte). Hierzu gehört auch die Zusammenfassung der Arbeitsergebnisse in Form einer vollständigen Produktdokumentation mit den Ausführungs- und Nutzungsangaben. Die Schwerpunkte beim Bau und bei der Erprobung von Mustern kön-

nen je nach erreichtem Entwicklungsstand in verschiedenen Arbeitsabschnitten liegen. So ist bei der Entwicklung eines Funktionsmusters der Schwerpunkt in den ersten Arbeitsabschnitten zu sehen, während bei der Entwicklung des Prototyps das Schwergewicht bei den Arbeitsabschnitten 6 und 7 liegt und nur gelegentlich kleine Änderungen am Konzept erforderlich werden sollten. Die Entwicklung des Serienstandes wird sich im allgemeinen im Arbeitsabschnitt 7 abspielen. Allerdings kann auch hier je nach Erprobungsergebnis ein mehr oder weniger tiefgreifender Rücksprung nötig sein.

4.4 Beispiel Software-Entwicklung

Einführung

Software-Entwicklungen sind heute neben Maschinen- und Geräteentwicklungen ebenfalls als wichtige Produktentwicklungen anzusehen. Sie sind nicht nur als unternehmensinterne Eigenentwicklungen zur Unterstützung vielfältiger Tätigkeiten oder für Funktionsbausteine bei Geräteentwicklungen zu verstehen (vgl. Abschnitt 4.3), sondern auch in Software-Häusern oder sonstigen Spezialunternehmen als Aufträge anderer Firmen oder als Marktangebot. Programmentwicklungen sollten deshalb ebenfalls methodisch erfolgen, um sie planbar, optimierbar und dokumentierbar zu machen. Hinzu kommt auch bei solchen Systementwicklungen die Notwendigkeit zur Aufwandsenkung, die durch Standardisierung einzelner Programm-Module, durch Einsatz von Entwicklungshilfen (Tools) sowie durch ein schrittweises Konkretisieren mit der Möglichkeit der Arbeitsteilung erreicht werden kann.

Die Parallelentwicklung zahlreicher Softwaremethoden verhindert vorläufig, daß sich eine einheitliche Terminologie durchsetzt. Für manche Software-Entwickler werden daher einige Begriffe des Beispiels ungewohnt sein.

Vorgehen

Die Entwicklung von Software kann analog zur Entwicklung anderer technischer Systeme betrachtet werden [17]. Es wird sogar von Software-Konstruktion gesprochen. Gemäß Bild 4.5 lassen sich den Arbeitsabschnitten des generellen Vorgehens nach Bild 3.3 entsprechende Phasen der Software-Entwicklung zuordnen. Dabei wird der Ablauf überlicherweise in die

- *Definitionsphase* entsprechend dem Arbeitsabschnitt 1,
- *Entwurfsphase* entsprechend den Arbeitsabschnitten 2 bis 4,
- *Realisierungsphase* entsprechend den Arbeitsabschnitten 5 bis 6 und

- *Dokumentationsphase* entsprechend dem Arbeitsabschnitt 7 grob gegliedert.

Aufgrund innerer logischer Zusammenhänge ist die Reihenfolge, in der jede Phase auf die andere folgt, genau festgelegt und praktisch unabhängig von der Problemstellung. Der Übergang von der ersten Phase zur nächsten erfolgt über das sogenannte *Pflichtenheft*, das mit der Anforderungsliste für mechanische Systeme vergleichbar ist. Den Übergang zwischen der Entwurfs- und Realisierungsphase bilden die so genannten *Programmspezifikationen*.

Vom methodischen Standpunkt aus gesehen besteht zwischen einzelnen Phasen keine Rückwirkung. Ein Zurückgehen auf eine bereits durchlaufene Phase und eine damit verbundene Modifikation der Spezifikationen aus dieser davorliegenden Phase ist in der Regel unzulässig. Ist das dennoch erforderlich, so deshalb, weil das Ergebnis Fehler aufweist.

Innerhalb der genannten Phasen werden Arbeitsschritte erforderlich, die den Arbeitsabschnitten des generellen Vorgehens zugeordnet werden können.

Auch die Arbeitsschritte (auch Mikrophasen genannt) sind logisch und funktional aufeinander bezogen und in einer bestimmten Reihenfolge zu durchlaufen, jedoch stehen sie im Unterschied zur Definitionsphase, Entwurfsphase und Realisierungsphase in einem iterativen Zusammenhang, d.h. die Arbeitsschritte innerhalb einer Phase können beliebig oft durchlaufen werden. Aus methodischer Sicht ist das sogar die äußere Bedingung für eine schrittweise Verfeinerung der Konzepte.

Abhängig von der jeweiligen Problemstellung können einzelne Phasen bzw. Arbeitsschritte mehr oder weniger ausgeprägt in Erscheinung treten, insbesondere bestehen auch beträchtliche Unterschiede, was den Umfang der dokumentierten Ergebnisse in den einzelnen Phasen betrifft.

Arbeitsabschnitt 1

In diesem Arbeitsabschnitt wird das Pflichtenheft (Anforderungsliste, Spezifikation) festgelegt, das für die gesamte Projektabwicklung verbindlich ist.

Bei einer *Situationsanalyse* geht es zunächst darum, durch ursachenorientierte, umgebungsorientierte und mittelorientierte Betrachtung das Problem zu verstehen.

Bei der anschließenden *Problemdefinition* geht es um das Formulieren eines Pflichtenheftes als einer exakten Definition des zu lösenden Problems (verbindliche Grundlage zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer). Das Pflichtenheft (Spezifikation) enthält Aussagen über die Anforderungen an das Software-

produkt, über „das Was“, nicht über „das Wie“ der programmtechnischen Realisierung. Das Pflichtenheft muß eine exakte und vollständige Beschreibung der Benutzeranforderungen enthalten sowie Angaben über die EDV-Umgebung (Hardware und bereits existierende Systemsoftware).

Arbeitsabschnitt 2

Bei der *Funktionsfindung* erfolgt ein Zerlegen vorgegebener Funktionen (Gesamtaufgabe) in Teilaufgaben unter operationalen Gesichtspunkten und eine Grobfestlegung der Schnittstellen. Die Funktionsfindung kann sowohl prozedurorientiert als auch datenorientiert sein. Es sind hierarchische wie funktionale Beziehungen zwischen den

Teilaufgaben möglich. Ergebnis der Funktionsfindung sind Funktionsstrukturen.

Arbeitsabschnitt 3

Bei der *Prinzipfindung* geht es, ausgehend von den Funktionsstrukturen, um die Suche nach prinzipiellen Algorithmen und Datenstrukturen, um damit die gegebenen Funktionen zu realisieren.

Arbeitsabschnitt 4

Dieser Arbeitsabschnitt umfaßt die *Modularisierung*. Ausgehend von den Funktionsstrukturen und den Lösungsprinzipien werden die endgültigen Schnittstellen für die Programm-Module festgelegt, exakt spezifiziert und die Algorithmen formuliert (Hilfsmit-

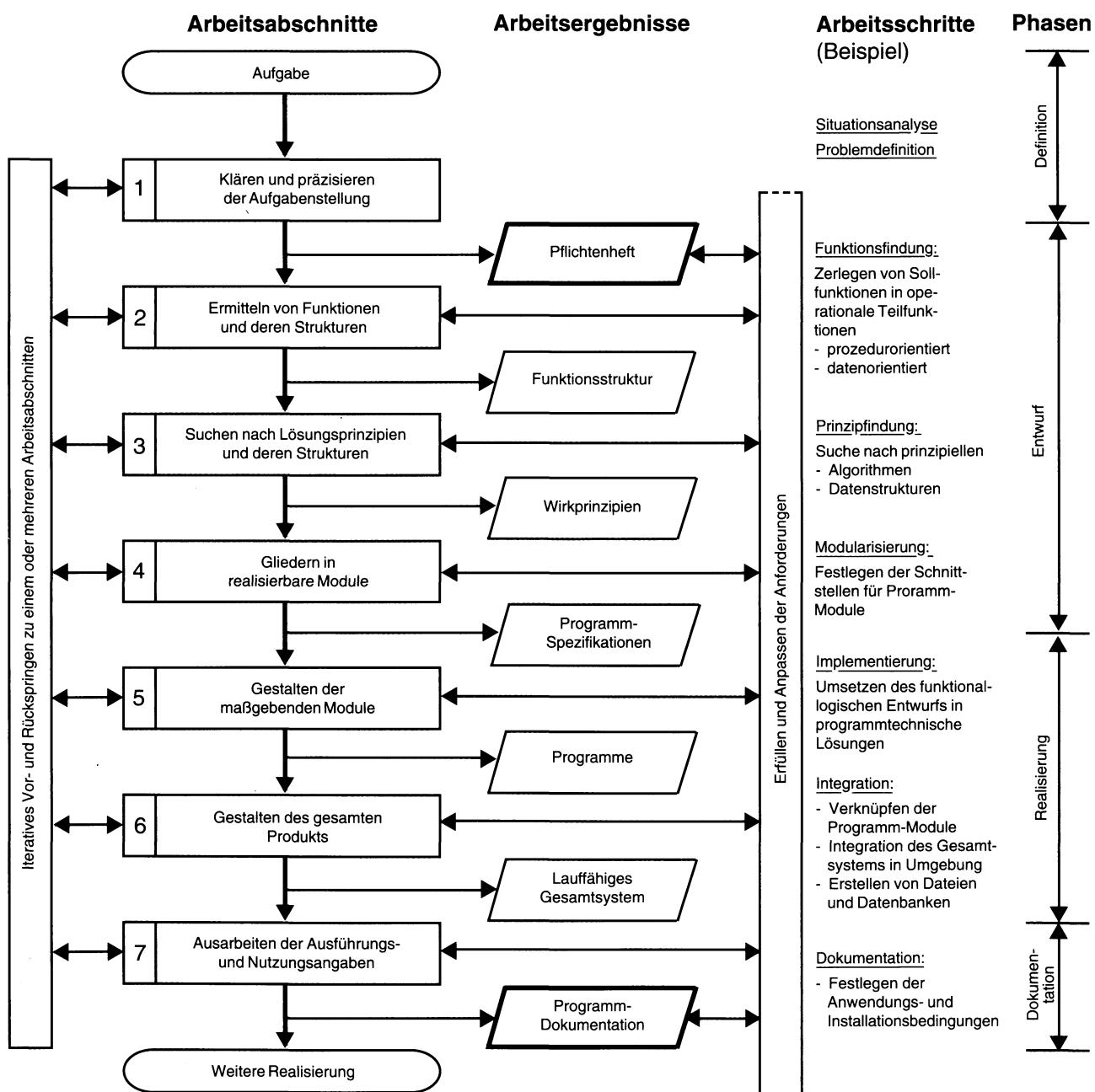


Bild 4.5. Vorgehen bei der Software-Entwicklung

tel: Programmablaufplan, Struktogramme usw.). Es entsteht die Programmspezifikation, das Pflichtenheft für die Programmierer.

Die Arbeitsabschnitte 2 bis 4, auch *Entwurfsphase* genannt, umfassen das Erarbeiten der logisch-funktionalen Lösung für das im Pflichtenheft definierte Problem.

Arbeitsabschnitt 5

Es ist Aufgabe der *Implementierung*, den funktional-logischen Entwurf in eine programmtechnische Lösung umzusetzen.

Der erste Schritt dieser Umsetzung ist, abhängig von den gewählten Programmiersprachen und der vorliegenden Form der Spezifikation, mehr oder weniger durch deren vorläufigen Charakter gekennzeichnet. Die darauf folgenden Schritte sind: Editieren des Quellcodes, Übersetzen, Fehlersuche und -beseitigung, Testen, Erstellen von Bibliotheken.

Arbeitsabschnitt 6

Die *Integration* umfaßt das Zusammenführen einzelner Programm-Module zu einem Gesamtsystem. Dazu gehören auch die Zuordnung des Gesamtsystems zu seiner Umgebung und das Erstellen von Dateien und Datenbanken.

In den Arbeitsabschnitten 5 und 6, auch *Realisierungsphase* genannt, wird für die Programmspezifikationen eine (programm-)technische Lösung in Form eines Programms in einer (oder mehreren) festgelegten Programmiersprache(n) erarbeitet. Ergebnis der Realisierungsphase ist das lauffähige System. Diese Phase würde der Fertigung eines Prototyps bei der Entwicklung materieller Produkte entsprechen.

Arbeitsabschnitt 7

Die *Dokumentation* der Arbeitsergebnisse, insbesondere der Einzelprogramme und des lauffähigen Gesamtsystems in Form von Handbüchern für den Benutzer und den Programminstallateur, ist ein Vorgang, der zur eigentlichen Softwarekonstruktion häufig parallel verläuft und aus den Dokumentationen der einzelnen Phasen die Ergebnisse übernimmt. Die weitere Realisierung besteht in der *Systeminstallation* beim Anwender.

5 Methoden

Zur Durchführung und Unterstützung der vielfältigen Tätigkeiten und Einzelschritte der in den Vorgehensplänen dargelegten Arbeitsabschnitte benötigt der Entwicklungs- und Konstruktionsingenieur eine Vielzahl von Methoden, Verfahren und Hilfsmitteln. Zwar gibt es über diese ein umfangreiches Schrifttum, in der Praxis besteht jedoch eine Unsicherheit bezüglich ihrer Anwendungseignung, da diese in starkem Maße von

- der Qualifikation, Vorbildung und Erfahrung der Mitarbeiter,
- vom Produkteprogramm bzw. den zu lösenden Entwicklungs- und Konstruktionsaufgaben,
- von der Größe und Struktur des Unternehmens sowie
- von den Möglichkeiten der Methoden selbst abhängig ist. Die sich aus diesen Einflußgrößen ergebenden unterschiedlichen Anforderungen kann keine der von verschiedenen Schulen entwickelten Methoden allein und optimal erfüllen. Vielmehr ist es erforderlich, aus einem System von Methoden diejenigen auszuwählen, die für das personelle, materielle, finanzielle und organisatorische Umfeld des jeweils zu bearbeitenden Projekts voraussichtlich geeignet oder sogar nachweisbar optimiert sind [44].

Eine bestgeeignete Methodenauswahl zur Durchführung der verschiedenen Arbeitsabschnitte verlangt grundsätzlich eine genaue Kenntnis

- aller für das jeweilige Entwicklungsprojekt erforderlichen Tätigkeiten, gegebenen Anforderungen und vorhandenen Erfahrungen sowie
- der wichtigsten Eigenheiten und Voraussetzungen der Methoden.

Die erste Forderung kann im allgemeinen als erfüllt gelten – nicht zuletzt deshalb, weil sie ein wichtiger Bestandteil jedes methodischen Vorgehens (also auch des in dieser Richtlinie beschriebenen) ist. Gleich gute Kenntnisse und Erfahrungen bezüglich der zweiten Forderung liegen jedoch normalerweise nicht vor.

Allenfalls nach Abschluß mehrerer methodisch erarbeiteter Projekte kann auf Wissen und Können auch im Bereich optimierter Methodenanwendung zurückgegriffen werden. Zu wünschen wäre ein System von Methoden-Bausteinen, aus dem für die jeweiligen Bedingungen des Einzelfalls geeignete Methoden zusammengestellt werden. Entwicklungen mit dieser Zielsetzung sind DV-Methodenbanken und wissensbasierende Expertensysteme, deren anwendungsreife Realisierungen für die Konstruktionspraxis aber begonnen haben.

Zur Erleichterung einer ersten Auswahl und zum

Aufzeigen möglicher Alternativen ist daher nachstehend in einer Methodenmatrix eine Zuordnung bewährter Methoden zu den verschiedenen Arbeitsabschnitten – oder diese übergreifend – dargestellt. Die Matrix soll eine methodische Hilfe bei der Zusammenstellung einer projektbezogenen Auswahl bestgeeigneter Methoden geben.

Zur ersten Orientierung dienen kurzgefaßte Hinweise auf das Prinzip und eine Grobklassifizierung über die Eignung der aufgeführten Methoden innerhalb der verschiedenen Arbeitsabschnitte. Eingehendere Informationen müssen dem angegebenen Schrifttum entnommen werden. Es liegt in der Natur solcher

Methodensammlungen und Schrifttumshinweise, daß sie keine auch nur angenäherte Vollständigkeit erreichen können. Sie können aber dem Anwender als Ordnungsschema für weitere und eigene Methoden sowie für weiteres Schrifttum dienen.

Eine erfolgreiche Methodenauswahl und vor allem -anwendung ist jedoch nicht allein durch das Studium der Methodenmatrix und des Schrifttums garantiert: Gründliche Schulung durch Aus- und Weiterbildung, durch Unternehmensberatung u.ä., das heißt intensiver Kontakt mit Fachleuten und Institutionen, die Wissen und Erfahrung in diesen Bereichen haben, sind hierzu unabdingbare Voraussetzung.

| Methoden | Arbeitsabschnitte | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--|---|---|--|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|--|---|
| Analyse- und Zielevorgabe-Methoden | | | | | | | | |
| Aus der Analyse eines vorhandenen bzw. aus Vorstellungen über die Eigenschaften eines neuen Produktes sowie des künftigen Produktumfeldes werden Ziele hergeleitet, die Orientierungsvorgaben für die Produktentwicklung und -konstruktion sind. | Klären und präzisieren der Aufgabenstellung | Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen | Suchen nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen | Gliedern in realisierbare Module | Gestalten der maßgebenden Module | Gestalten des gesamten Produkts | Ausarbeiten der Ausführungs- und Nutzungsangaben | |
| Marktanalyse [10; 12] (Bedarf, Preise, Funktionen, Trends, Anwendergruppen, Zielgruppen, ...) | ● | | | | | ● | ● | |
| Prognosemethoden [3; 10; 12; 14; 45; 65; 80; 83] (Anwendergruppen, Bedarf, Trends, ...) | ● | | ● | | | | | |
| Wettbewerberanalyse [10; 12; 139] (Stärken, Schwächen, vermutete Strategie, ...) | ● | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | |
| Fremderzeugnisanalyse [139] (Leistung, Kosten, Stärken, Schwächen, Funktionen, Technik, ...) | ● | ● | ● | ● | ● | ● | | ○ |
| Unternehmensanalyse [6; 52; 142] (Finanzen, Personal, Fertigungsmöglichkeiten, ...) | ● | | ○ | ○ | ○ | | | |
| Produktplanung [1; 3; 6; 10; 12 bis 14; 45; 52; 65; 76; 77; 80; 83; 129; 138; 139; 142] (Innovation, Marketing, Anwendergruppen, Zielgruppen, ...) | ● | ○ | | | | | ○ | ● |
| Problemeanalyse [3; 6; 10; 12; 14; 45; 52; 65; 80; 83; 139] (ABC-Analyse, Analyse potentieller Probleme, ...) | ● | ○ | ○ | ● | ● | ● | | ○ |
| Zieledefinition [6; 71; 91; 102; 125; 139; 142; 143] (Funktionen, Preis, Kosten, Markt, Zielgruppen, ...) | ● | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● |
| Analysen und Vorgabe von Produkteigenschaften Das Abstrahieren der Eigenschaften von Produkten in Form von Funktionen, das Gliedern und Strukturieren dieser Funktionen sowie das Festlegen und Quantifizieren zusätzlicher, die Lösungen beeinflussender Vorgaben sind notwendige Voraussetzungen für das erfolgreiche Suchen nach möglichen Lösungen für technisch-wirtschaftlich optimierte neue Produkte. | | | | | | | | |
| Funktionenbeschreibung durch | | | | | | | | |
| – Verbale Definition mittels Substantiv und Verb [8; 19; 43; 48; 86; 91; 105; 125; 137; 143] | ○ | ● | ● | ● | | | | |
| – Physikalische Elementarfunktionen und Grundoperationen [19; 48; 57; 71; 86; 91; 102; 105; 125; 137; 143] | | ● | ● | ○ | | | | |

| Methoden | Arbeitsabschnitte | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Analyse- und Zielevorgabe-Methoden Aus der Analyse eines vorhandenen bzw. aus Vorstellungen über die Eigenschaften eines neuen Produktes sowie des künftigen Produktumfeldes werden Ziele hergeleitet, die Orientierungsvorgaben für die Produktentwicklung und -konstruktion sind. | Klären und präzisieren der Aufgabenstellung Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen Suchen nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen Gliedern in realisierbare Module Gestalten der maßgebenden Module Gestalten des gesamten Produkts Ausarbeiten der Ausführungs- und Nutzungsangaben | | | | | | | |
| – Mathematische Darstellung in Form von Algorithmen, Gleichungen, mathematischen bzw. rechnerinternen Modellen, ... [11; 53; 57; 71; 79; 102; 105; 107; 109; 110; 136; 141; 146] | | ○ | ○ | ○ | ● | ○ | ○ | ○ |
| – Symbole [91] oder andere Darstellungen | | ● | ○ | ○ | | | | |
| Funktionenstrukturierung | | | | | | | | |
| – Funktionen-Hierarchie (Funktionenbaum) [43; 48; 91; 125; 137; 143] | | ● | ● | ● | | | | |
| – Verknüpfte Funktionenstruktur (Funktionennetz) [43; 48; 57; 71; 91; 102; 105; 125] | | ○ | ○ | ○ | | | | |
| – Verbaler Funktionenstrang (FAST/Logischer Funktionenpfad) [19; 86; 143] | | ● | ● | ● | | | | |
| – Mathematische Modelle [48; 57; 71; 102; 105; 136; 141] | | ○ | | | | ○ | | |
| Anforderungen-Quantifizierung durch | | | | | | | | |
| – Anforderungenliste („Pflichtenheft“) [36; 48; 57; 71; 91; 102; 105; 125; 143] | | ● | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ |
| – Technische Wertigkeit (Verhältnis von Qualität der ausgeführten Lösung zu idealer Funktionenerfüllung) [125; 136] | | | | | | | ○ | ○ |
| Simulations- und Ähnlichkeitsrechnung [61; 94; 116; 146] | | | ● | | ● | ● | | |
| Strukturmechanik (Finite-Elemente-Methode) [79] | | | | | ● | ● | | |

● gut geeignet ○ geeignet
für den jeweiligen Arbeitsabschnitt

| Methoden | Arbeitsabschnitte | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Methoden zum Entwickeln von Lösungsideen Voraussetzung für das Entwickeln optimierter Lösungen ist das Vorliegen möglichst vieler Lösungsideen: Nachdem die abstrakte Darstellung mittels Funktionen das größtmögliche Suchfeld eröffnet hat, führen heuristische und diskursive Ideenfindungstechniken – am besten miteinander kombiniert – zu Ideenquantität und -qualität. Iteratives Durchlaufen der Arbeitsschritte nach – und vor – der Ideensuche ist charakteristisch gerade für diesen Arbeitsabschnitt. | Klären und präzisieren der Aufgabenstellung Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen Suchen nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen Gliedern in realisierbare Module Gestalten der maßgebenden Module Gestalten des gesamten Produkts Ausarbeiten der Ausführungs- und Nutzungsangaben | | | | | | | |
| Methodisch-intuitiv (heuristisch) zum Lösen „schlechtstrukturierter“ [27; 42] also nicht algorithmierbarer Probleme zur Stimulation der menschlichen Kreativität | | | | | | | | |
| Kreativitätstechniken [41; 42; 49; 50; 59; 82] | | | | | | | | |
| – Brainstorming [87] zur Ideensuche im Team mittels vielfältigster Assoziationsauslöser | ○ | ● | ● | | | | | |
| – Methode 66 [41] zum Einbeziehen nahezu beliebig großer Teilnehmer-Anzahlen | | ● | ● | ○ | | | | |
| – Methode 635 [41] zur Ideensuche im Team in kurzer Zeit | | ● | ● | ○ | | | | |

| Methoden | Arbeitsabschnitte | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--|---|---|---|--|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|--|
| Methoden zum Entwickeln von Lösungsideen | | | | | | | | |
| Voraussetzung für das Entwickeln optimierter Lösungen ist das Vorliegen möglichst vieler Lösungsideen: Nachdem die abstrakte Darstellung mittels Funktionen das größtmögliche Suchfeld eröffnet hat, führen heuristische und diskursive Ideenfindungstechniken – am besten miteinander kombiniert – zu Ideenquantität und -qualität. Iteratives Durchlaufen der Arbeitsschritte nach – und vor – der Ideensuche ist charakteristisch gerade für diesen Arbeitsabschnitt. | | | | | | | | |
| – Provokation [42] zum Auslösen von Assoziationen durch Bilder, Stichworte, Fragen, ... | Klären und präzisieren der Aufgabenstellung | | Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen | Suchen nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen | Gliedern in realisierbare Module | Gestalten der maßgebenden Module | Gestalten des gesamten Produkts | Ausarbeiten der Ausführungs- und Nutzungsangaben |
| – Ideen-Delphi [42] zum Ideensammeln durch schriftliches Befragen von 15 bis 25 untereinander anonymen Teilnehmern, z.B. wenn diese als hochqualifizierte Fachleute nicht zusammenkommen können [82] | ○ | | ○ | ○ | ○ | ○ | | |
| Systematisch-diskursiv [41; 42; 55; 56; 59; 82] zum Lösen „wohlstrukturierter“ [42], also algorithmierbarer Probleme | | | | | | | | |
| Morphologie [55] | | | | | | | | |
| – Morphologischer Kasten [8; 55; 105; 147] in Form einer 2-(3- ...) dimensionalen Matrix zum systematischen Sammeln, Zuordnen und Kombinieren von Lösungselementen | | ● | ● | ● | ○ | | | |
| – Bescheidene Morphologie [55; 56] durch Kombinationsmatrix von Lösungselementen mit vorherigem Unterdrücken „sinnloser“ Kombinationen zum Vermindern der Kombinationen-Vielzahl | | ● | ● | ● | ○ | | | |
| – Eigenschaftenlisten [55] als 2-dimensionaler morphologischer Kasten zum Kombinieren von Lösungselementen | | ○ | ● | ● | | | | |
| Systematische Variation, z.B. des physikalischen Geschehens [48; 57; 71; 91; 102; 105; 125], von Struktur, Gestalt, ... [64; 96] | | ○ | ● | ○ | ● | ● | | |
| Konstruktionskataloge/Lösungskataloge [21; 74; 105; 131] als vollständige Sammlung möglicher Lösungen bzw. Lösungselemente zum Erarbeiten von Lösungsvarianten | | ● | ● | ○ | ● | ● | | |
| Gestaltungsregeln und -richtlinien; Vorgehen beim Entwerfen [91], Grundregeln [91], Gestaltungsrichtlinien [91], z.B. für fertigungsgerechte [91; 130], montagegerechte [2], ergonomiegerechte [91; 128], recyclinggerechte [63; 91; 132], lärmarme [115] Gestaltung technischer Erzeugnisse, Funktionenintegration [70; 73] | | | | | ● | ● | ● | ● |
| Bausteinesystem/Baureihen [40; 44; 72; 91] zum terminlichen Optimieren des Entstehens sowie zum technisch-wirtschaftlichen Optimieren des Entstehens und der Nutzung von Produkten, Verfahren, organisatorischen Abläufen, Methodensystemen, Vorgehensweisen usw. durch Realisierung gleicher Teifunktionen mittels gleicher Bausteine/Module bzw. Baureihen-Elemente | | | ● | ○ | ● | ● | ● | ● |
| Lösungsdarstellung (Struktur, Anordnung, Gestalt) durch | | | | | | | | |
| – Zeichnungen, Modelle, Bilder in Form von technischen Skizzen [119] und Zeichnungen, dreidimensionalen Modellen [140], perspektivischen Darstellungen wie in den Ingenieurwissenschaften, im Industrial Design [38; 68; 123; 135] usw. üblich | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ● |
| Kombinationen (heuristisch/diskursiv) | | | | | | | | |
| Kombinationen obengenannter Methoden oder Methodenelemente: Methoden-Bausteinesystem, Methoden-Baukasten [44] mit Methoden-Modulen | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Synektik [46]; Bilden neuer Denkmuster mittels Verfremden des zu lösenden Problems durch Analogiebildung aus – meist nichttechnischen – Bereichen, Analysieren dortiger Problemlösungen und Rückübertragung | ○ | ● | ● | | | | | |
| – Gemilderte Synektik: Beschränkung auf Analogiebildung zur Assoziationsauslösung, z.B. Bionik mit Analogien aus der Biologie [51; 85; 93]. | | ○ | ● | ○ | ○ | ○ | ○ | |

● gut geeignet ○ geeignet
für den jeweiligen Arbeitsabschnitt

| Methoden | Arbeitsabschnitte | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|--|---|---|---|---|---|---|---|
| Kosten- und Wirtschaftlichkeitsberechnungsverfahren (Kalkulationsverfahren) Da das Optimieren eines Produktes immer dessen ganzheitliche technisch-wirtschaftliche Behandlung erfordert, müssen Verfahren zur Analyse und Prognose der Produktkosten gleichwertig neben diejenigen zum Berechnen der technischen Produkteigenschaften treten. | Klären und präzisieren der Aufgabenstellung Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen Suchen nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen Gliedern in realisierbare Module Gestalten der maßgebenden Module Gestalten des gesamten Produkts Ausarbeiten der Ausführungs- und Nutzungsaufgaben | | | | | | | |
| Kalkulationsverfahren [22; 24; 26; 97; 127; 133] zum Ermitteln der absoluten Kosten bei der Entstehung eines Produktes (Entwicklung und Herstellung) | | | | | | | | |
| Kostenvergleichsrechnung [126]: Zum Vergleich von Lösungsvarianten werden nur <i>unterschiedliche</i> Kostenanteile berücksichtigt. | ○ | | ○ | | ● | ● | ● | |
| Vollkostenrechnung [22; 24; 26; 97; 127; 133]: Alle im Unternehmen entstehenden Kosten werden voll den Produkten zugerechnet. | | | | ○ | ● | ● | ● | |
| Deckungsbeitragsrechnung mit Abdeckung der fixen Kosten des Unternehmens durch produktabhängige Erlösanteile, die über den variablen Kosten des betreffenden Produktes liegen [22; 24; 26; 127; 133] | ○ | | ○ | | ● | ● | ● | |
| Zuschlagskalkulation mit Abdeckung der fixen Kosten durch kostenstellenabhängige prozentuale Zuschläge auf eine produktspezifische Kostenbasis, z.B. Lohn, variable Kosten, Materialkosten, ... [22; 24; 26; 127; 133] | | | | ○ | ● | ● | ● | |
| Grenzkostenrechnung [22; 24; 26; 127; 133] mit Berücksichtigung produkspezifischer, meist variabler Kosten ohne Abdecken fixer Kosten zum Definieren einer möglichen Preisuntergrenze | ○ | | | ○ | ● | ● | ● | |
| Kostenfrüherkennungsmethoden zum Bestimmen von Absolut- bzw. Relativkosten eines Produktes/Objektes so früh wie möglich während dessen Entstehung [22; 23; 24; 26; 31; 32; 67; 89; 99; 127; 133; 136] | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ○ | |
| Relativkostenkataloge [31; 136]: auf Werkstoff, Form- und Fertigungskomplexität u.ä. bezogene Kosten-Kennzahlen, die auf der Basis von Kostenrelationen zum Erstellungszeitpunkt des Kataloges einen Kostenvergleich verschiedener Entwürfe, nicht jedoch deren Absolutkosten zu ermitteln gestatten | | | | ○ | ● | ● | ○ | |
| Kurzkalkulationen [66]: Bestimmung von Absolutkosten unter Berücksichtigung vieler Parameter zur Beschreibung auch komplexer Objekte | | | | ○ | ○ | ● | ● | ○ |
| Kostenwachstumsrechnung [92] mit Berücksichtigung physikalischer Ähnlichkeiten | | | | ○ | ○ | ● | ○ | ○ |
| – Ähnlichkeitsrechnung [22; 89] mit Berücksichtigung allgemeiner Ähnlichkeiten (zusätzlich zu physikalischen) von Objekten, Fertigungsabläufen, Kalkulationsprinzipien, Unternehmensstrukturen usw. | | | | ○ | ○ | ● | ○ | ○ |
| Wirtschaftlichkeitsrechnung in Form einer Kosten-Nutzen-Rechnung eines Produktes/Objektes als Gesamtsystem [94], wobei die Systemgrenzen von der Entstehung über die Nutzung während der Lebensdauer bis nach deren Ende (Verschrottung des Produktes/Objektes) reichen können [133] | ● | | ○ | | ● | ● | ● | |
| Investitionsrechnung [75; 139] zum Ermitteln der Investitionen, die zur Realisierung eines Produktes/Objektes erforderlich sind, sowie der Amortisationszeiten hierfür | ● | | | | ○ | ○ | ● | |
| Bemessungslehre [136] mit gemeinsamen Algorithmen für das Bestimmen von Abmessungen, Konstruktions- und Gestaltungsprinzipien usw. nach technischen <i>und</i> wirtschaftlichen Gesichtspunkten | | | ○ | ○ | ● | ○ | ○ | |

● gut geeignet ○ geeignet
für den jeweiligen Arbeitsabschnitt

| Methoden | Arbeitsabschnitte | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--|--|---|---|---|---|---|---|---|
| Bewertungsverfahren und Entscheidungstechniken Lösungsideen werden durch ihre Bewertung und durch Auswahl nach technisch-wirtschaftlichen sowie allgemeinen Kriterien (Funktionsziele; Kostenziele; Sicherheit) zu Lösungen verdichtet, von denen wiederum durch Bewertung und Auswahl die bestgeeigneten ermittelt werden. Nach iterativem Durchlaufen vorhergehender – und nachfolgender – Arbeitsschritte folgt hieraus die Entscheidung für die optimierte Gesamtlösung [75; 92; 104; 121; 122; 137; 139; 143; 145; 146]. | Klären und präzisieren der Aufgabenstellung Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen Suchen nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen Gliedern in realisierbare Module Gestalten der maßgebenden Module Gestalten des gesamten Produkts Ausarbeiten der Ausführungs- und Nutzungsaufgaben | | | | | | | |
| 3-Stufen-Auswahl (Geeignet – Vielleicht geeignet – Nicht geeignet) als erste, grobe Kategorisierung von Lösungsideen, insbesondere aus heuristischen Ideenfindungsmethoden [113] | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ● | |
| Auswahlverfahren nach [91]: Auswahlkriterien: Verträglichkeit, Erfüllung der Forderungen, grundsätzlich realisierbar, Aufwand zulässig. Besonders geeignet zur schnellen Auswahl bei vielen Lösungsvorschlägen | | ○ | ● | ● | ● | ● | ○ | |
| 3-Kriterien-Bewertung (Vorteile-Nachteile-Kosten) zur vergleichenden Bewertung von Lösungsideen und -vorschlägen gegeneinander [113] | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Dual-Vergleich [139]: paarweiser Vergleich von jeweils zwei Ideen aus einer größeren Anzahl miteinander, nacheinander für jeweils ein Bewertungskriterium durchgeführt | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ● | ○ |
| Kosten-Nutzen-Analyse zur Bestimmung der Wirtschaftlichkeit eines Produktes/Objektes während dessen Existenz oder begrenzter Abschnitte hiervon | ● | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● |
| Nutzwert-Analyse [139; 145] durch Ermitteln des Erfüllungsgrades eines Lösungsvorschlages für jedes von mehreren gewichteten Bewertungskriterien. Die Summe der so (für jedes Kriterium) bestimmten Teilnutzwerte ist der Gesamtnutzwert des Lösungsvorschlages. Optimal ist die Lösung mit dem höchsten Gesamtnutzwert. | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Technisch-wirtschaftliche Bewertung [136] durch Eintragen von technischer (Abszisse) und von wirtschaftlicher Wertigkeit (Ordinate) von Produkten/Objekten in ein kartesisches Koordinatensystem: Beurteilung nach ausgeglichenen Produkten (auf Diagonale), zu teuren (unterhalb Diagonale) und zu schlechten (oberhalb Diagonale) möglich | | ○ | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Schwachstellenanalyse, Störgrößenanalyse [29; 31; 91; 102] zum Erkennen und Verringern ungünstiger Produkteigenschaften | | ○ | ● | | | ● | ● | |
| Fehlerbaumanalyse: Analyse der Ausfallursachen eines Systems durch UND/ODER-Verknüpfungen von möglichen Ausfällen der Systemelemente [81] | | ● | ○ | | | ○ | ● | ● |
| Expertenschätzung, ggf. nach Fragenlisten, als schnell verfügbares methodisch-intuitives Bewertungsverfahren, das in vielen Fällen – vor allem bei „schlecht strukturierten“ [42] Problemen – ausreicht. Die Ergebnisse anderer Verfahren sollen hiermit auf Plausibilität nachgeprüft werden. | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Operations-Research [146] zum Optimieren algorithmierbarer „wohlstrukturierter“ Probleme durch mathematische Methoden | ○ | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Entscheidungskriterien-Matrix [122; 137]: Entscheidungskriterien werden gewichtet und für verschiedene Lösungsvarianten mit Punkte- oder Geldwerten beurteilt. | | | ● | ● | ● | ● | ● | |
| Relevanzbaum/Entscheidungsbaum [75]: Nach Art eines verzweigten Baumes werden Entscheidungsabhängigkeiten und damit Rangfolge und Wichtigkeit dieser Entscheidungen dargestellt. | | ● | ● | ○ | ○ | | | |

● gut geeignet ○ geeignet
für den jeweiligen Arbeitsabschnitt

| Methoden | Arbeitsabschnitte | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|--|---|---|---|---|---|---|---|
| Integrierte Methoden (Handlungsmodelle) | | | | | | | | |
| Außer der in vorliegender Richtlinie beschriebenen methodischen Vorgehensweise beim Entwickeln und Konstruieren technischer Erzeugnisse gibt es weitere Methoden als Hilfe beim Lösen technischer und sonstiger Probleme, auf denen diese basiert bzw. durch welche diese ergänzt und erweitert wird. Vor allem der Rechnereinsatz gibt dem methodischen Entwickeln und Konstruieren Möglichkeiten, die (gegenüber der im Prinzip auch möglichen Vorgehensweise ohne Rechner) völlig neue Dimensionen öffnen. | Klären und präzisieren der Aufgabenstellung Ermitteln von deren Strukturen Suchen nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen Gliedern in realisierbare Module Gestalten der maßgebenden Module Gestalten des gesamten Produkts Ausarbeiten der Ausführungs- und Nutzungsangaben | | | | | | | |
| Systemtechnik [16; 20; 58; 78; 94] als grundlegende Methode zum Beschreiben von Systemen beliebiger Art zum Lösen in derartigen Systemen auftretender Probleme. Alle Problemlösungsmethoden können als „angewandte Systemtechnik“ angesehen werden. | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ | ○ | |
| Wertanalyse [75; 137; 143] als in Industrie und Administration weit verbreitetes Problemlösungsverfahren Sie berücksichtigt bei ihrem praktischen Einsatz besonders das Zusammenwirken und das gegenseitige Beeinflussen der drei Komponenten Methode, Verhaltensweisen, Management sowie des Ergebnisses als hiervon abhängiger und auf diese rückwirkender vierter Komponente. | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |
| Konstruktionsmethodik [1; 7; 18; 47; 48; 57; 58; 60; 71; 84; 91; 98; 102; 103; 105; 125; 136] als besonders intensiv an deutschen Hochschulen entwickelte Vorgehensweisen zur stark erweiterten Anwendung der Systemtechnik auf den Konstruktions- und Entwicklungsprozeß technischer Objekte und Produkte | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |
| Rechnerunterstützter Entwicklungs-, Konstruktions- und Fertigungsverbund | | | | | | | | |
| CAE, CAD/CAM, CIM, ... [4; 11; 33; 34; 37; 54; 69; 88; 108 bis 110; 120] mit Benutzung der gleichen rechnerinternen Modelle für Form, Abmessung, Werkstoffe, ... von Werkstücken zur Zeichnungs- und Stücklistenherstellung, zum Aufstellen von Arbeitsplänen, NC-Programmen, Lager-, Bestell- und Kostenrechnungs-Unterlagen usw. | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | |
| Rechnergraphik: Darstellung von beliebigen Gebilden in Ruhe und Bewegung | | | ○ | ○ | ● | ● | ● | |
| 6-Stufen-Methode (Refa) [113] | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | |
| Teamarbeit [15] mit ihrem Leistungsvorteil (gegenüber Einzelarbeit) durch Addition des Wissens verschiedener Disziplinen, den synergistischen Effekt und gruppendifnamische Wirkungen. In Teamarbeit entstandene Lösungen haben größere Überzeugungskraft und Durchsetzbarkeit. | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |
| Management-Methoden | | | | | | | | |
| Management by ... (Führungsverhalten) [95] | ● | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | |
| Projektmanagement [101; 114] | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| Planungsmethoden [129; 138] | ● | ○ | | ○ | ○ | ○ | ● | |
| Netzplantechnik [25; 62; 142; 144] zur Termineplanung nach geschätzten kürzesten und spätesten Endterminen für Teile eines terminierbaren Vorganges einschließlich unbedingt einzuhaltender — weil auf dem „kritischen Pfad“ liegender — Ereignisse | ○ | | | ○ | ○ | ○ | ● | |
| Kapazitätsplanung [3; 25; 139; 142] für den Einsatz vorhandener bzw. die Beschaffung zusätzlicher Kapazitäten für Fertigungs- und Montageeinrichtungen, Konstruktions- und Entwicklungsarbeiten usw. | ○ | | | | ○ | ○ | ● | |
| Investitionsplanung für die Beschaffung bzw. Errichtung von Fertigungs- und Montageeinrichtungen, Rechner, Meßeinrichtungen, Gebäuden, ... [139; 142] | ○ | | | | ○ | ○ | ○ | |
| Optimierungsrechnung [61; 116; 146] für mehrparametrische Abhängigkeiten mit linearen bzw. nichtlinearen Verläufen in Erweiterung der üblichen ingenieurwissenschaftlichen Berechnungen [53] | | | | | ○ | ○ | ○ | |
| Industrial Design [68; 117; 118; 123; 135] zum Bearbeiten und Optimieren der physischen [128] und psychischen Kontaktbereiche zwischen Mensch und Produkt | ● | | ● | ● | ● | ● | ● | |

● gut geeignet ○ geeignet
für den jeweiligen Arbeitsabschnitt

6 Begriffe

Die folgenden Begriffsbestimmungen wurden bewußt auf nur wenige Begriffe beschränkt, die für das Verstehen dieser Richtlinie unerlässlich sind und deren Vereinheitlichung als wichtiger Beitrag für eine branchenübergreifene Entwicklungs- und Konstruktionsmethodik erschien. Eine umfassende Harmonisierung der branchenspezifischen und „Methodikschulen“-orientierten Begriffsvielfalt war nicht möglich und wird auch nicht für erforderlich gehalten, weil das Anwenden des vorgeschlagenen generellen Vorgehens dem Praktiker nicht dadurch erschwert werden soll, daß er auch noch fremde Begriffe erlernen muß. Für die Erläuterung weiterer Begriffe sei dem Leser das Schrifttum empfohlen.

Zum leichteren Einstieg in die englischsprachige Literatur sind nachfolgend den Begriffen englische Übersetzungen hinzugefügt [90; 134].

| | |
|---|---|
| Algorithmus | <i>Algorithm</i> |
| Festgelegte, eindeutige, endliche Folge von Vorgehensschritten und Regeln, deren schematische Befolgung zu einer eindeutigen Lösung einer Klasse von Aufgaben führt. | |
| Anforderungen | <i>Requirements</i> |
| Qualitative und/oder quantitative Festlegung von Eigenschaften oder Bedingungen für ein Produkt. Dabei lassen sich für Anforderungen unterschiedliche Gewichtungen festlegen. | |
| Anforderungsliste (Anforderungenliste) | <i>Requirements List, Specification</i> |
| Schriftlich formulierte Sammlung der → Anforderungen an ein → Produkt. Die Anforderungsliste wird aufgrund einer → Aufgabenstellung zu Beginn des Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses erarbeitet und während dieses Prozesses laufend auf dem neuesten Stand gehalten. | |
| Arbeitsabschnitt | <i>Design Stage</i> |
| Abgrenzbare Summe von Tätigkeiten im Rahmen des methodischen → Entwickelns und → Konstruierns. | |
| Arbeitsergebnis | <i>Result</i> |
| Ergebnis eines → Arbeitsabschnittes. | |
| Arbeitsschritt | <i>Design Step</i> |
| Einzeltätigkeit im Rahmen eines → Arbeitsabschnittes beim methodischen → Entwickeln und → Konstruieren. | |
| Aufgabenstellung | <i>Task</i> |
| Anweisung, ein Produkt zu entwickeln und zu konstruieren. Sie enthält die wesentlichen Eingangsinformationen für einen Entwicklungs- und Konstruktionsprozeß und macht Angaben zu den | |

gefährdeten oder gewünschten → Funktionen und Eigenschaften. Darüber hinaus enthält sie auch Informationen zu Terminen, Kosten und organisatorischen Abläufen.

| | |
|--|----------------------------|
| Ausarbeiten | <i>Final Design</i> |
| Erarbeiten verbindlicher Festlegungen aller Einzelheiten der Beschaffenheit und Nutzung eines → Produkts aufgrund eines Gesamtentwurfs und einer → Anforderungsliste. Das Ergebnis des Ausarbeitens ist die → Produktdokumentation. | |
| Effekt | <i>Effect</i> |
| Das immer gleiche, voraussehbare, durch Naturgesetze bedingte Geschehen physikalischer, chemischer oder biologischer Art. | |
| Effektträger | <i>Effect Carrier</i> |
| Gebilde oder deren Teile (ggf. deren Flächen, Form oder Anordnung), die einen → Effekt ermöglichen. | |
| Entwerfen | <i>Embodiment Design</i> |
| Erarbeiten graphischer oder schriftlicher Darstellungen von Gestalt und Anordnung der Elemente eines → Produkts, bei technischen Erzeugnissen auch der Materialien aufgrund einer → Prinzipiellen Lösung und einer → Anforderungsliste. Nach dem Grad der Durcharbeitung von Einzelheiten lassen sich Grobentwerfen und Feinentwerfen unterscheiden. Das Ergebnis des Entwerfens ist der → Entwurf oder Gesamtentwurf. | |
| Entwickeln, technisches | <i>Product Development</i> |
| Zweckgerichtetes Auswerten und Anwenden von Forschungsergebnissen und Erfahrungen, z.B. technischer, ökonomischer und sonstiger Art. | |

Ziele des Entwickelns können sein: Stoffe, grund-sätzliche Lösungen, technische Erzeugnisse, Pro-gramme und dergleichen.

Entwurf *Layout (Design)*

Graphische Darstellung von Gestalt und Anord-nung der Elemente (Teile, Gruppen) eines zu ent-wickelnden → Produkts.

Funktion *Function*

Lösungsneutral beschriebene Beziehungen zwi-schen Eingangs-, Ausgangs- und Zustandsgrößen eines Systems.

Man unterscheidet → Gesamtfunktionen und → Teifunktionen sowie → Hauptfunktionen und → Nebenfunktionen.

(Der Funktionsbegriff wird in den Natur- und In-geieurwissenschaften auch zur Darstellung eines physikalischen oder mathematischen Zusam-mehangs, z.B. in Form einer Gleichung, verwen-det.)

Funktionsmuster *Functional Model*

Ein → Muster, das vollständig oder zum Teil die Wirkungsweise von Lösungen zeigen soll, wobei die äußere Gestalt und andere → Anforderungen unberücksichtigt bleiben können.

Funktionsstruktur *Function Structure*

Anordnung und Verknüpfung einzelner → Fun-ktionen zu einer oder mehreren komplexen → Funktionen (z.B. zur → Gesamtfunktion).

Gesamtfunktion *Overall Function*

Gesamtheit aller → Funktionen, die ein → Pro-duit verwirklicht oder verwirklichen soll. Die Ge-samtfunktion kann in → Teifunktionen aufgeglied-ert werden.

Die Gesamtfunktion wird aus der → Aufgaben-stellung abgeleitet; sie erfüllt die Gesamtaufgabe des → Produkts.

Gestalten *Form Design*

Gesamtheit aller Tätigkeiten, mit denen die Ge-stalt von → Produkten bestimmt wird, d.h. mit denen die Anordnung von Elementen, geometri-schen Formen, Oberflächen, ggf. Farben und Ab-messungen sowie Materialien festgelegt und zu ei-nem Ganzen gefügt werden. Bei nichtstofflichen Produkten, z.B. Software-Systemen, wird Gestal-ten auch zur Beschreibung programmtechnischer Lösungen verwendet.

Hauptfunktion *Main Function*

→ Funktion, die einen Hauptzweck eines → Pro-dukts beschreibt.

Industrie-Design *Industrial Design*

Gestaltungsprozeß von Produkten im Zusam-mehang mit den auf den Menschen bezogenen → Funktionen: Gestalten der visuell produkt-be-stimmenden Faktoren und hinsichtlich der Mensch-Produkt-Funktionen.

Ergebnis dieses Gestaltungsprozesses ist z.B. das Erscheinungsbild eines Produkts.

Konstruieren *Design Process*

Gesamtheit aller Tätigkeiten, mit denen – ausge-hend von einer → Aufgabenstellung – die zur Herstellung und Nutzung eines → Produkts not-wendigen Informationen erarbeitet werden und in der Festlegung der → Produktdokumentation enden. Diese Tätigkeiten schließen die vormaterielle Zusammensetzung der einzelnen Funktionen und Teile eines → Produkts, den Aufbau zu einem Ganzen und das Festlegen aller Einzelheiten ein.

Konstruktionsphase *Design Phase*

Abgrenzbarer Abschnitt des → Konstruktions-prozesses, der sich aufgrund festlegbarer Tätigkei-ten oder abgrenzbarer → Produktdarstellender Modelle im Vorgehensplan ergibt (z.B. Konzept-phase, Ausarbeitungsphase bzw. Aufgabenformu-lierungsphase, Funktionelle Phase, Gestaltende Phase).

Konzipieren *Conceptual Design*

Erarbeiten und Darstellen der → Funktionen, der → Funktionsstruktur, der → Effekte und → Ef-fektträger und deren Gliederung sowie der → Wirkstruktur aufgrund einer → Aufgabenstel-lung und einer → Anforderungsliste.

Das Ergebnis des Konzipierens ist die → Prinzi-pielle Lösung.

Lastenheft *Specification*

→ Pflichtenheft.

Lösungsprinzip *Solution Principle*

Grundsätzliche Verwirklichung einer → Funktion oder mehrerer verknüpfter Funktionen durch Auswahl von → Effekten (Effektebene) und wirk-struktureller Festlegungen (Gestaltebene).

Methodisches Konstruieren *Systematic Design*
 Planmäßiges und schrittweises Erarbeiten der Herstellungs- und Nutzungsunterlagen.
 Lehre zum planmäßigen und systematischen Vorgehen beim → Konstruieren.

Modell *Model*
 Abstrahierte Darstellung eines → Produkts (z.B. durch dessen Daten, Eigenschaften oder Gestalt).

Muster *Specimen*
 Gegenständliche → Produkte oder deren Teile zum Ermitteln und Zeigen von Eigenschaften (Gestalt, Funktion).

Nebenfunktion *Auxiliary Function*
 Funktion, die nicht Hauptfunktion ist. Eine → Teilfunktion eines Produkts kann, bezogen auf das Produkt, Nebenfunktion sein, bezogen auf das Teil des Produkts, in dem diese Teilfunktion vorkommt, kann sie → Hauptfunktion sein.

Pflichtenheft *Specification*
 Schriftlich formulierte → Aufgabenstellung, in der vom Kunden geforderte und gewünschte Eigenschaften eines → Produkts zusammengestellt sind; üblicher Begriff ist auch Lastenheft.

Prinzip *Principle*
 Anfang, der alles aus ihm Folgende bestimmt, der Ursprung, der Grundsatz.

Prinzielle Lösung *Principle Solution*
 Darstellung der → Lösungsprinzipien (in der Effekt- und der Gestaltebene) und deren Struktur (→ Wirkstruktur).

Produkt *Product*
 Erzeugnis, das als Ergebnis des → Entwickelns und → Konstruierens hergestellt oder angewendet wird. Das können materielle (z.B. Maschinen, Verfahren) oder auch immaterielle Erzeugnisse (z.B. Programme) sein.

Produktdarstellendes Modell *Product Representing Model*
 → Modell eines → Produkts, das die im jeweiligen → Arbeitsabschnitt benötigten Eigenschaften und Daten enthält (abbildet) und für notwendige Operationen (Variieren, Kombinieren, Ändern) geeignet ist.

Produktdefinierende Daten *Product Defining Data*
 Daten, mit denen ein → Produktdarstellendes Modell beschrieben wird.

Produktdokumentation *Product Documents*
 Gesamtheit der im Rahmen der Entwicklung und Konstruktion geschaffenen Unterlagen für Herstellung und Nutzung des Produkts.

Prototyp *Prototype*
 Erste Ausführung eines → Produkts.

Struktur *Structure*
 Darstellung von Teilen eines Ganzen und deren Beziehungen zueinander (gegliederter Aufbau, Gefüge, Verknüpfungen, Anordnungen).

System, technisches *Technical System*
 Gesamtheit von der Umgebung abgrenzbarer (Systemgrenzen), geordneter und verknüpfter Elemente, die mit dieser durch technische Eingangs- und Ausgangsgrößen in Verbindung stehen.

Teilfunktion *Sub-Function*
 Jede → Funktion, die sich durch Aufteilung einer übergeordneten Funktion gewinnen lässt. Teilfunktionen können → Hauptfunktionen und → Nebenfunktionen sein. Teilfunktionen lassen sich hierarchisch gliedern.

Wirkfläche *Active Surface*
 Fläche eines Körpers, eines Teils eines Produkts, an dem eine Wirkung erfolgt.

Wirkprinzip *Active Principle
(Working Principle)*
 Grundsatz, nach dem eine Wirkung erfolgt.

Wirkraum *Active Area*
 Raum eines Körpers, eines Teils eines Produkts, in dem eine Wirkung erfolgt. Ein Wirkraum kann durch eine oder mehrere → Wirkflächen begrenzt sein.

Wirkstruktur *Active Structure
(Working Structure)*
 Anordnung und Verknüpfung mehrerer Wirkprinzipien, z.B. bei mechanischen Gebilden mit Wirkflächen, Wirkflächenpaarungen, Wirkräumen und Wirkbewegungen.

Schrifttum

- [1] *Andreasen, M.M.; Hein, L.*: Integrated product development. Bedford, Berlin: IFS (Publications) Ltd, Springer-Verlag 1987.
- [2] *Andreasen, M.M., S. Kähler, u. T. Lund*: Montagegerechtes Konstruieren. Berlin: Springer-Verlag 1985.
- [3] *Ayres, R.*: Prognose und langfristige Planung in der Technik. München: Kösel-Verlag 1971.
- [4] *Bauert, F.*: Methodische Produktmodellierung für den rechnerunterstützten Entwurf. Schriftenreihe Konstruktions-technik, H. 18 (Hrsg. W. Beitz). Berlin: TU 1991.
- [5] *Beitz, W.*: Leistungsfähige Produktentwicklung durch rechnerunterstützte Konstruktionsmethodik und Kreativität. Tagungsband 7. Konstruktionstagung, Dresden: Kammer der Technik 1990.
- [6] *Bidlingmaier, J.*: Unternehmerziele und Unternehmerstrategien. Wiesbaden: Gabler-Verlag 1973.
- [7] *Birkhofer, H.*: Analyse und Synthese der Funktionen technischer Produkte. Fortschritts-Berichte VDI-Z. Reihe 1, Nr. 70. Düsseldorf: VDI-Verlag 1980.
- [8] *Birkhofer, H.*: Konstruieren im Sondermaschinenbau – Erfahrungen mit Methodik und Rechnereinsatz. VDI-Berichte Nr. 812. Düsseldorf: VDI-Verlag 1990.
- [9] *Blass, E.*: Verfahren mit Systemtechnik entwickelt. VDI-Nachrichten Nr. 29 (1981).
- [10] *Bloos, J.*: Marketing. Würzburg: Vogel-Verlag 1983.
- [11] *Bohle, D.*: Rechnerunterstütztes Konstruieren im Rahmen des Algorithmischen Auswahlverfahrens zur Konstruktion mit Katalogen. Diss. Techn. Univ. Braunschweig 1985.
- [12] *Borschberg, E.*: Das Marketing-System. Schriftenreihe „Die Orientierung“. Schweizerische Volksbank Nr. 65 (1977).
- [13] *Breuer, N.*: Einstellungstypen für die Marktsegmentierung. Beiträge zum Produktmarketing, Köln 1980.
- [14] *Brockhoff, K.*: Probleme und Methoden technologischer Vorhersagen. Betriebswirtschaft (1969) 2. Ergänzungsheft.
- [15] *Brocks, W.*: Teamarbeit für Ingenieure. Düsseldorf: VDI-Verlag 1979.
- [16] *Brunn, M.*: Systemtechnik – Methoden zur interdisziplinären Systementwicklung. Berlin: Springer-Verlag 1991.
- [17] *Brunthaler, St.*: Konstruktion von Anwendersoftware in Analogie zum Methodischen Konstruieren. Konstruktion 37 (1985) Nr. 7ff.
- [18] *Claussen, U.*: Methodisches Auslegen, Rechnergestütztes Konstruieren. München: Carl Hanser Verlag 1973.
- [19] *Creasy, R.*: FAST MANUAL. Society of American Value Engineers (SAVE). Texas: Fourth Printing 1980.
- [20] *Daenzer, W.F.*: Systems Engineering. Köln: P. Haunstein-Verlag 1978/79.
- [21] *Diekhöner, G.W.*: Erstellen und Anwenden von Konstruktionskatalogen im Rahmen des methodischen Konstruierens. Fortschritts-Berichte VDI-Z. Reihe 1, Nr. 75. Düsseldorf: VDI-Verlag 1981.
- [22] *Diels, H.*: Erstellung und Anwendung von Kostenwachstumsgleichungen – ein Mittel zur Kostenfrüherkennung. Diss. Univ.-GH Siegen 1985.
- [23] DIN 32992 Teil 3 (Entwurf 10.82) Kosteninformationen – Berechnungsgrundlagen: Ermittlung von Relativkosten-Zahlen.
- [24] DIN 32991 Teil 1 (Entwurf 9.82) Kosteninformationen, Gestaltungsgrundsätze für Kosteninformationsunterlagen
- [25] DIN 69900 Teil 1 (12.80) Netzplantechnik; Begriffe; Teil 2 (4.79) Darstellungstechnik
- [26] DIN 32990 Teil 1 (Entwurf 10.82) Kosteninformationen, Begriffe und Zeichen für Kostenrechnung und Kosteninformationsunterlagen
- [27] *Dörner, D.*: Problemlösen als Informationsverarbeitung. Stuttgart, Berlin, Köln, Mainz: Kohlhammer 1979.
- [28] *Dörner, D.*: Die Logik des Mißlingens. Reinbeck: Rowohlt 1989.
- [29] *Dümeland, M.*: Weiterentwicklung störungsbehafteter technischer Produkte nach konstruktionsmethodischen Kriterien. Diss. Univ. Bochum 1983.
- [30] *Dylla, N.*: Denk- und Handlungsabläufe beim Konstruieren. München: TU-Diss., Hanser-Verlag 1991.
- [31] *Ehrlenspiel, K.*: Kostengünstig konstruieren. Berlin, Heidelberg, New York. Tokio: Springer-Verlag 1985.
- [32] *Ehrlenspiel, K., A. Hillebrand u. A. Rutz*: Kostenvergleichssystem Gußteile. Abschlußbericht KFK-PFT 48 Kosteninformationssystem. Karlsruhe 1983.
- [33] *Farny, B.*: Rekonstruktion eines 3D-Getriebemodells aus Orthogonalprojektionen beim rechnergestützten Konstruieren. Diss. Techn. Univ. Braunschweig 1985.
- [34] *Feldhusen, J.*: Systemkonzept für die durchgängige und flexible Rechnerunterstützung des Konstruktionsprozesses. Schriftenreihe Konstruktionstechnik, H. 16 (Hrsg. W. Beitz). Berlin: TU 1989.
- [35] *Franke, H.-J.*: Methodische Schritte beim Klären konstruktiver Aufgabenstellungen. Konstruktion 27 (1975) S. 395/402.
- [36] *Franke, H.M.*: Der Lebenszyklus technischer Produkte. VDI-Berichte Nr. 512. Düsseldorf: VDI-Verlag 1984.
- [37] *Franz, L.; Hofmann, M.*: CAD/CAM-Systeme im Maschinenbau. Leipzig: Fachbuch-Verlag 1989.
- [38] *Frick, R.*: Arbeit des Industrial Designers im Entwicklungsteam. Konstruktion 42 (1990) S. 149/156.
- [39] *Fricke, G.; Pahl, G.*: Zusammenhang zwischen personenbedingtem Vorgehen und Lösungsgüte. Proceedings ICED '91 (WDK 20) Zürich: Heurista-Verlag 1991.
- [40] *Gerhard, E.*: Baureihenentwicklung. Konstruktionsmethode Ähnlichkeit. Grafenau: Expert-Verlag 1984.
- [41] *Geschka, H., u. H. Schlicksupp*: Kreativität, Dokumentation der Methoden. Manager Magazin (1972) Nr. 11, S. 51/57.
- [42] *Geschka, H., u. U. v. Reibnitz*: Vademeum der Ideenfindung. Battelle-Institut e.V., Frankfurt/M. 1981.
- [43] *Gierse, F.J.*: Funktionen und Funktionen-Strukturen, zentrale Werkzeuge der Wertanalyse. VDI-Berichte Nr. 849. Düsseldorf: VDI-Verlag 1990.
- [44] *Gierse, F.J.*: Wertanalyse und Konstruktionsmethodik in der Produktentwicklung. VDI-Berichte Nr. 430. Düsseldorf: VDI-Verlag 1981.
- [45] Global 2000: Das Volk der Vereinigten Staaten von Amerika – Der Bericht an den Präsidenten. Frankfurt: Zweitausendeins-Verlag 1980.
- [46] *Gordon, W.J.J.*: Synectics, the development of creative capacity. New York: Harper 1961.
- [47] *Hales, C.*: Analysis of the engineering design process in an industrial context. Eastleigh/Hampshire: Gants Hill Publications 1987.
- [48] *Hansen, F.*: Konstruktionswissenschaft – Grundlagen und Methoden. München, Wien: Carl Hanser Verlag 1974.
- [49] *Heinrich, W.*: Kreatives Problemlösen in der Konstruktion. Konstruktion 44 (1992) S. 57/63.
- [50] *Heinrich, W.*: Anregung intuitiver Erkenntnisse beim Konstruieren. In: VDI-Bericht Nr. 953 „Praxiserprobte Methoden erfolgreicher Produktentwicklung“. Düsseldorf: VDI-Verlag 1992.
- [51] *Hertel, H.*: Biologie und Technik, Struktur – Form – Bewegung. Mainz: Krausskopf-Verlag 1963.
- [52] *Hill, W.*: Unternehmensplanung. Schriftenreihe „Die Orientierung“. Schweizerische Volksbank Nr. 61 (1976).
- [53] *Hintzen, H., u. H. Laufenberg*: Konstruieren und Berechnen. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg-Verlag 1981.
- [54] *Höhne, G.*: Konstruieren in Verbindung mit CAD. Konstruktion 42 (1990) S. 305/311.

- [55] Holliger, H.: *Angewandte Morphologie*. Zürich: Verlag des Morphologischen Instituts 1982.
- [56] Holliger, H.: *Handbuch der allgemeinen Morphologie*. Zürich: Verlag des Morphologischen Instituts 1980.
- [57] Hubka, V.: *Theorie technischer Systeme*. Berlin, Heidelberg, New York, Tokio: Springer-Verlag 1984.
- [58] Hubka, V.; Eder, W.E.: *Theory of technical systems – A total concept theory for engineering design*. Berlin: Springer-Verlag 1988.
- [59] Hürlmann, W.: *Methodenkatalog. Ein systematisches Inventar von über 3000 Problemlösungsmethoden*. Schriftenreihe der Fritz-Zwicky-Stiftung. Bern: Verlag Peter Lang AG 1981.
- [60] Proceedings of ICED 1981–1991, Schriftenreihe WDK 7, 10, 12, 13, 16, 18, 19, 20. Zürich: Heurista-Verlag 1981 bis 1991.
- [61] Jacob, H.G.: *Rechnergestützte Optimierung statischer und dynamischer Systeme*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag 1982.
- [62] Johnson, K.L.: *Grundlagen der Netzplantechnik*. VDI-Taschenbuch T53. Düsseldorf: VDI-Verlag 1974.
- [63] Jorden, W., u. R.-D. Wege: *Recycling beginnt in der Konstruktion*. Konstruktion 31 (1979) Nr. 10, S. 381/87.
- [64] Jung, A.: *Funktionale Gestaltungsbildung – Gestaltende Konstruktionslehre für Vorrichtungen, Geräte, Instrumente und Maschinen*. Berlin: Springer-Verlag 1989.
- [65] Kieffer, K.W.: *Warum Mittlere Technologie? Handbuch zum VDI-Kongreß „Mittlere Technologie in der Produktionstechnik“*. Düsseldorf: VDI-Verlag 1976.
- [66] Kiewert, A.: *Kurzkalkulation und die Beurteilung ihrer Genauigkeit*. VDI-Z (1982) Nr. 12, S. 443ff.
- [67] Kiewert, A.: *Systematische Erarbeitung von Hilfsmitteln zum kostenarmen Konstruieren*. Diss. Techn. Univ. München 1979.
- [68] Klöcker, I.: *Produktgestaltung/Aufgabe – Kriterien – Ausführung*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag 1981.
- [69] Klose, J.: *Konstruktionsinformatik im Maschinenbau*. Berlin: Technik-Verlag 1990.
- [70] Köcher, H.: *Systematisches Vorgehen bei der Funktionsintegration*. Proceedings of ICED 83 (WDK 10). Zürich: Heurista 1983.
- [71] Koller, R.: *Konstruktionsmethode für den Maschinen-, Gerät- und Apparatebau*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag 1985.
- [72] Koller, R.: *Entwicklung und Systematik der Bauweisen technischer Systeme – ein Beitrag zur Konstruktionsmethodik*. Konstruktion 38 (1986) S. 1/7.
- [73] Koller, R.: *Methodisches Konstruieren: Integralbauweise. Konstruieren und Gießen* 1 (1978) S. 12/19.
- [74] Kopowski, E.: *Analyse und Konstruktionskataloge fester Verbindungen*. Diss. Techn. Univ. Braunschweig 1985.
- [75] Korte, R.J.: *Verfahren der Wertanalyse – Betriebswirtschaftliche Grundlagen zum Ablauf wertanalytischer Entscheidungsprozesse*. Berlin: Schmidt-Verlag 1977.
- [76] Kramer, F.: *Innovative Produktpolitik. Strategie – Planung – Entwicklung – Einführung*. Berlin: Springer 1986.
- [77] Kroeber-Riel, W.: *Konsumentenverhalten*. München: Verlag F. Vahlen 1975.
- [78] Lindemann, U.: *Systemtechnische Betrachtung des Konstruktionsprozesses unter besonderer Berücksichtigung der Herstellkostenbeeinflussung beim Festlegen der Gestalt*. Düsseldorf: VDI-Verlag 1980.
- [79] Link, M.: *Finite Elemente in der Statik und Dynamik*. Stuttgart: B.G. Teubner 1984.
- [80] Lovins, A.B.: *Sanfte Energie*. Deutsche Übersetzung von K.A. Klever. Reinbeck: Rowohlt-Verlag 1978.
- [81] Martin, P., u. M. Mathey: *Zuverlässigkeitssicherungen beim Turbinenschutz*. VEB Kraftwerkstechnik 55 (1975) S. 574/80 u. S. 655/60.
- [82] Matussek, P.: *Kreativität als Chance*. München, Zürich: PiPER & Co. Verlag 1979.
- [83] Meadows, D.: *Die Grenzen des Wachstums – Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit. Übersetzung der amerikanischen Ausgabe „The Limits of Growth“*. Stuttgart: DVA 1972.
- [84] Müller, J.: *Arbeitsmethoden der Technikwissenschaften – Systematik, Heuristik, Kreativität*. Berlin: Springer-Verlag 1990.
- [85] Nachtigall, W.: *Phantasie der Schöpfung*. Hamburg: Hoffmann & Campe 1974.
- [86] Naumann, K.H.: *Das FAST-Diagramm. Fortschrittliche Betriebswirtschaft und Industrial Engineering* 24 (1975).
- [87] Osborn, A.F.: *Applied Imagination – Principles and Procedure of Creative Thinking*. New York: Scribner 1957.
- [88] Pahl, G.: *Konstruieren mit 3D-CAD-Systemen. Grundlagen, Arbeitstechnik, Anwendungen*. Berlin: Springer-Verlag 1990.
- [89] Pahl, G., u. K.H. Beelich: *Ermittlung von Herstellkosten für ähnliche Bauteile*. VDI-Berichte Nr. 147. Düsseldorf: VDI-Verlag 1979.
- [90] Pahl, G.; Beitz, W. (Transl. and Ed. by K. Wallace): *Engineering design – A systematic approach*. London/Berlin: The Design Council/Springer-Verlag 1988.
- [91] Pahl, G., u. W. Beitz: *Konstruktionslehre – Handbuch für Studium und Praxis*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag 1976, 2. Aufl. 1986, 3. Aufl. 1993.
- [92] Pahl, G., u. F. Rieg: *Kostenwachstumsgesetze für Baureihen*. München: Hanser Verlag 1984.
- [93] Paturi, F.R.: *Geniale Ingenieure der Natur*. Düsseldorf, Wien: Econ-Verlag 1974.
- [94] Patzak, G.: *Systemtechnik*. Berlin: Springer-Verlag 1982.
- [95] Peters, T.J., u. R.H. Watermann: *Auf der Suche nach Spitzenleistungen*. Landsberg: Verlag Moderne Industrie 1984.
- [96] Pfiffner, M., u. H. Staubli: *Systematische Variation – eine Methode zur Lösungssuche*. Schweizerische Techn. Z. (1976) Nr. 37/38.
- [97] Plinke, W.: *Industrielle Kostenrechnung – Eine Einführung*, 2. Aufl. Berlin: Springer-Verlag 1991.
- [98] Pugh, S.: *Total design. Reading*: Addison-Wesley 1990.
- [99] Radermacher, W.: *Entwicklung eines Kosteninformationssystems für den Konstruktionsbereich*. Diss. RWTH Aachen 1982.
- [100] Richter, W.: *Gliedern eines Projekts*. Konstruktion 36 (1984) S. 488/90.
- [101] Rinza, P.: *Projektmanagement*. VDI-Taschenbuch T30. Düsseldorf: VDI-Verlag 1976.
- [102] Rodenacker, W.G.: *Methodisches Konstruieren. Konstruktionsbücher Band 27*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag 1984, 4. Aufl. 1991.
- [103] Rodenacker, W.: *Neue Gedanken zur Konstruktionsmethodik*. Konstruktion 43 (1991) S. 330/334.
- [104] Roozenburg, N.; Eekels, J. (Editors): *EVAD-evaluation and decision in design*. Zürich: Heurista-Verlag 1990.
- [105] Roth, K.-H.: *Konstruieren mit Konstruktionskatalogen*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag 1982.
- [106] Roth, K.: *Übertragung von Konstruktionsintelligenz an den Rechner*. VDI-Z 131 (1984) Nr. 5.
- [107] Roth, K.-H.: *Erzeugung produktdefinierender Daten aus produktdarstellenden Modellen*. 14. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik. Braunschweig 1984.
- [108] Roth, K.-H.: *Modellbildung für das methodische Konstruieren ohne und mit Rechnerunterstützung (CAD)*. VDI-Z 128 (1986) Nr. 1/2.

- [109] Roth, K.-H.: Verkürzung des Konstruktionsablaufs durch bestimmte Modellbildung beim rechnerunterstützten Konstruieren. VDI-Berichte Nr. 492, S. 79/87. Düsseldorf: VDI-Verlag 1983.
- [110] Roth, K.-H.: Modellbildung für die Lösung konstruktiver Aufgaben mit Rechenanlagen. Konstruktion 36 (1984) Nr. 2, S. 41/45.
- [111] Rutz, A.: Konstruieren als gedanklicher Prozeß. Diss. TU München 1985.
- [112] Saynisch: Konfigurationsmanagement. Essen: Verlag TÜV Rheinland.
- [113] Schlicksupp, H.: Ideenfindung. Würzburg: Vogel-Verlag 1980.
- [114] Schmitz, H., u. M.P. Winzhausen: Projektplanung. VDI-Taschenbuch T32. Düsseldorf: VDI-Verlag 1980.
- [115] Schulz, G.: Konstruktion lärmärmer Erzeugnisse — Optimierung der Vorgehensweise. VDI-Berichte Nr. 278. Düsseldorf: VDI-Verlag 1977.
- [116] Schwefel, H.P.: Numerische Optimierung von Computermodellen mittels Evolutionsstrategie. Basel, Stuttgart: Birkhäuser-Verlag 1977.
- [117] Seeger, H.: Design technischer Produkte, Programme, Systeme, Anforderungen, Lösungen, Bewertung. Berlin: Springer-Verlag 1992.
- [118] Seeger, H.: Export Design. Grundlagen und Beispiele für Konzeption und Gestaltung technischer Produkte für Ausländerkunden. Heidelberg: Verlag Decher u. Müller 1989.
- [119] Seeger, H.: Farbige Präsentationszeichnungen. Neue Techniken zur Erstellung und Reproduktion. Sindelfingen: Expert-Verlag 1989.
- [120] Spur, G., u. F.-L. Krause: CAD-Technik. München, Wien: Carl Hanser Verlag 1984.
- [121] Szyperski, N., u. U. Winand: Entscheidungstheorie. Stuttgart: Poeschel-Verlag 1974.
- [122] Thurner, R.: Entscheidungstabellen. VDI-Taschenbuch T33. Düsseldorf: VDI-Verlag 1972.
- [123] Tjalve, E.: Systematische Formgebung für Industrieprodukte. Düsseldorf: VDI-Verlag/Fachpress Goldach 1978.
- [124] Simultaneous Engineering — neue Wege des Projektmanagements. VDI-Berichte Nr. 758. Düsseldorf: VDI-Verlag 1989.
- [125] VDI 2222 Bl. 1 (5.77) Konstruktionsmethodik, Konzipieren technischer Produkte.
- [126] VDI 2802 (8.76) Kostenvergleichsrechnung bei Wertanalysen (zurückgezogen).
- [127] VDI 2234 (1.90) Wirtschaftliche Grundlagen für den Konstrukteur
- [128] VDI 2242 Bl. 1 u. 2 (4.86) Ergonomiegerechtes Konstruieren.
- [129] VDI 2220 (5.80) Produktpflege — Ablauf, Begriffe, und Organisation.
- [130] VDI 3237 Fertigungsgerechte Werkstückgestaltung im Hinblick auf automatisches Zubringen, Fertigen und Montieren
Blatt 1 (7.67) Beispieldokumentation mit 64 Beispielen.
Blatt 2 (1.73) Beispieldokumentation mit 32 Beispielen.
- [131] VDI 2222 Bl. 2 (2.82) Konstruktionsmethodik, Erstellung und Anwendung von Konstruktionskatalogen
- [132] VDI 2243 (Entwurf 5.91) Konstruieren recyclinggerechter Produkte.
- [133] VDI 2235 (10.87) Wirtschaftliche Entscheidungen beim Konstruieren, Methoden und Hilfen.
- [134] VDI 2221 (11.86) Systematic approach to the design of technical systems and products
- [135] VDI/VDE 2424 (5.86) Industrial Design.
- [136] VDI 2225 Bl. 1 u. 2 (4.77) Technisch-wirtschaftliches Konstruieren.
- [137] VDI-Taschenbuch T35. Wertanalyse, Idee, Methode, System. Düsseldorf: VDI-Verlag 1981.
- [138] Arbeitshilfen zur systematischen Produktplanung. VDI-Taschenbuch T79. Düsseldorf: VDI-Verlag 1978.
- [139] Systematische Produktplanung — ein Mittel zur Unternehmenssicherung. VDI-Taschenbuch T76. Düsseldorf: VDI-Verlag 1976.
- [140] Modell- und Entwicklungsschritt-Terminologie. VDID EXTRA. 2/84 (Juni), S. 21.
- [141] Waldvogel, H.: Analyse des systematischen Aufbaus von konstruktiven Funktionsbaugruppen und ihr mengentheoretisches Analogon. Diss. Techn. Univ. Stuttgart 1969.
- [142] Warnecke, H.J., u.a.: Planung in Entwicklung und Konstruktion. Grafenau: Expert-Verlag 1980.
- [143] Wertanalyse. DIN 69910 E (12.85)
- [144] Wille, Gewalt, Weber: Netzplantechnik. München: Oldenbourg-Verlag 1967.
- [145] Zangemeister, C.: Nutzwertanalyse von Projektalternativen. Produktplanung in der Wertanalyse. Zürich 1974.
- [146] Zimmermann, W.: Planungsrechnung und Entscheidungstechnik (Operations Research Verfahren). Braunschweig: Vieweg-Verlag 1977.
- [147] Zwicky, F.: Entdecken, Erfinden, Forschen im Morphologischen Weltbild. Taschenbuch 264. München, Zürich: Droeemer, Knaur 1971.