

*Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.**The German version of this standard shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.*

Inhalt	Seite
Vorbemerkung .....	2
Einleitung .....	2
<b>1 Anwendungsbereich</b> .....	3
<b>2 Begriffe</b> .....	4
<b>3 Grundlagen der Produktentwicklung</b> .....	11
3.1 Grundlagen zu Systemen und Modellen ..	12
3.2 Grundlagen des Problemlösens .....	14
<b>4 Modell der Produktentwicklung</b> .....	23
4.1 Produktentwicklung .....	24
4.2 Allgemeines Modell der Produktentwicklung .....	27
4.3 Aktivitäten in Wechselwirkung mit der Produktentwicklung .....	42
<b>5 Methoden</b> .....	49
<b>6 Rechnerunterstütztes Vorgehen</b> .....	50
Schrifttum .....	53
Benennungsindex englisch – deutsch.....	56

Contents	Page
Preliminary note.....	2
Introduction.....	2
<b>1 Scope</b> .....	3
<b>2 Terms and definitions</b> .....	4
<b>3 Basics of product design</b> .....	11
3.1 Basics of systems and models.....	12
3.2 Basics of problem-solving .....	14
<b>4 Model of product design</b> .....	23
4.1 Product design .....	24
4.2 The general model of product design.....	27
4.3 Activities in interaction with product design.....	42
<b>5 Methods</b> .....	49
<b>6 Computer-assisted procedures</b> .....	50
Bibliography .....	53
Term index English – German.....	56

## Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen ([www.vdi.de/richtlinien](http://www.vdi.de/richtlinien)), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Eine Liste der aktuell verfügbaren Blätter dieser Richtlinienreihe ist im Internet abrufbar unter [www.vdi.de/2221](http://www.vdi.de/2221).

## Einleitung

Die ersten VDI-Richtlinien zu Methoden der Produktentwicklung sind in den 1970er-Jahren erschienen. Sie konnten einen wesentlichen Beitrag zur Harmonisierung damals neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse (siehe [1] für einen historischen Überblick) und zu ihrer Verbreitung in Praxis und Lehre leisten.

Seither haben sich in Praxis, Wissenschaft und Lehre gravierende Änderungen ergeben. Diese betreffen sowohl die Produkte, die sich zunehmend aus mechanischen, elektrischen/elektronischen sowie informationsverarbeitenden Komponenten zusammensetzen und auch Dienstleistungen einschließen können, als auch die Prozesse und Methoden, z.B. durch global verteilte Entwicklungsprozesse und den inzwischen unerlässlichen Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien zur Unterstützung der Produktentwicklung.

Dazu kommen etwa seit 1990 neue Vorschläge aus der Wissenschaft. Genannt seien insbesondere die Axiomatic Design Theory von *Suh* [2], der Function-Behaviour-Structure-Ansatz von *Gero* [3], die Concept-Knowledge-Theory von *Hatchuel* und *Weil* [4], das Entwerfen auf der Basis von Wirkflächenpaaren und Leit-Stützstrukturen nach *Albers* und *Matthiesen* [5], das Münchener Vorgehensmodell von *Lindemann* [6; 7], das eigenschaftsbasierte Entwickeln von *Weber* [8] oder Konzepte, die insbesondere mechatronische Fragestellungen adressieren (z.B. Richtlinie VDI 2206 sowie *Gausemeier* und *Möhringer* [9] für einen Überblick). Es deutet viel darauf hin, dass alle Ansätze nicht nebeneinanderstehen, sondern sich ergänzen, indem

## Preliminary note

The content of this standard has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the standard VDI 1000.

All rights are reserved, including those of reprinting, reproduction (photocopying, micro copying), storage in data processing systems and translation, either of the full text or of extracts.

The use of this standard without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions ([www.vdi.de/richtlinien](http://www.vdi.de/richtlinien)) specified in the VDI Notices.

We wish to express our gratitude to all honorary contributors to this standard.

A catalogue of all available parts of this series of standards can be accessed on the Internet at [www.vdi.de/2221](http://www.vdi.de/2221).

sie auf bestimmte Entwicklungsziele oder bestimmte Tätigkeiten im Entwicklungsprozess fokussieren.

Vor diesem Hintergrund hat sich eine grundlegende Überarbeitung und Neugliederung zahlreicher VDI-Richtlinien zu Methoden der Produktentwicklung als unabdingbar erwiesen. Dabei kann eine Richtlinie kein Lehrbuch sein, das alle inzwischen existierenden Ansätze erläutert. Vielmehr wird versucht, das Bewährte in Richtung auf aktuelle Herausforderungen in der Praxis weiterzuentwickeln.

Die aktuellen Richtlinien zu Methoden der Produktentwicklung sind wesentlich stärker prozessorientiert als ihre Vorgänger. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass in der Praxis heute die Beherrschung der Prozesse, die in immer stärkerem Maße fachdisziplin-, unternehmens- und nationenübergreifend sind, als vorrangige Herausforderung gesehen wird.

Der Richtlinienreihe VDI 2221 kommt weiterhin die Rolle einer Kernrichtlinie der Produktentwicklung zu. Im Interesse einer besseren Übertragbarkeit in die Praxis wurde sie in zwei Blätter geteilt:

- Blatt 1 behandelt Grundlagen der methodischen Entwicklung aller Arten von technischen Produkten und Systemen und definiert in einem „Modell der Produktentwicklung“ zentrale Ziele, Aktivitäten und Arbeitsergebnisse, die wegen ihrer generellen Logik und Zweckmäßigkeit zentrale Leitlinien für die interdisziplinäre Anwendung in der Praxis darstellen.
- In Blatt 2 werden exemplarisch Produktentwicklungsprozesse in unterschiedlichen Kontexten (z.B. Branchen, Produktarten, Stückzahlen) erläutert und Zuordnungen der möglichen Aktivitäten zu Prozessphasen in „kontextspezifischen Entwicklungsprozessen“ vorgeschlagen. Die Beispielprozesse sollen Anwendern helfen, das eigene Vorgehen inhaltlich und organisatorisch zu reflektieren und gegebenenfalls anzupassen.

## **1 Anwendungsbereich**

Die Grundlagen und Vorgehensweisen dieser Richtlinie können auf alle Arten technischer Produkte und Systeme sowie die entsprechenden interdisziplinären Entwicklungs- und Entstehungsprozesse angewendet werden.

Für Sonderaspekte und Details der methodischen Produktentwicklung und Lösungsfindung gelten gegebenenfalls zusätzliche Richtlinien wie VDI 2222, VDI 2223 oder VDI 2206.

Die Zielgruppen dieser Richtlinie sind:

- Prozessverantwortliche und Leiter von Entwicklungsprojekten
- Produktentwickler, Produktmanager und Prozessbeteiligte
- Hochschullehrer und Studierende

## **2 Begriffe**

Für die Anwendung dieser Richtlinienreihe gelten die folgenden Begriffe:

***Absicherung*** (Eigenschaftsabsicherung)

Bestandteil der Qualitätssicherung, der die beiden Aspekte →Verifikation und →Validierung umfasst [in Anlehnung an VDI 2206]

**Anmerkung:** Die Qualitätssicherung dient allgemein dem Nachweis der Erfüllung vorgegebener Anforderungen, der präventiven Vermeidung von Mängeln und der Sicherstellung einer Prozessqualität, wobei sowohl die →Methoden wie die begleitenden Prozesse berücksichtigt werden. Unter der Qualität wird nach DIN EN ISO 8402 die Gesamtheit von Merkmalen einer Einheit bezüglich ihrer Eignung, festgelegte und vorausgesetzte Erfordernisse zu erfüllen, definiert. [VDI 2206]

***Analyse***

systematisches Untersuchen einer Ausgangslage/Istsituation oder von (Zwischen-)Ergebnissen [in Anlehnung an [10]]

***Änderungsmanagement***

Organisation, Verwaltung und Abwicklung von Änderungsanträgen während des Projektablaufs [in Anlehnung an DIN 69901-5, 3.6]

***Anforderung***

Beschaffenheit, Fähigkeit oder Leistung, die ein →Produkt, Prozess oder die am Prozess beteiligte Person erfüllen oder besitzen muss, um einen Vertrag, eine Norm, eine →Spezifikation oder andere, formell vorgegebene Dokumente zu erfüllen [DIN 69901-5, 3.7]

***Architektur***

grundlegendes Konzept, Eigenschaften eines Systems oder allgemein die fundamentale Struktur eines Systems [in Anlehnung an [11; 12]]

**Anmerkung:** Architekturen können aus unterschiedlichen Sichten und mit unterschiedlichem Abstraktionsgrad erstellt werden (vergleiche funktionale-, logische- und physische Architektur).

***Aufgabe***

mit bekannten Mitteln erreichbare Zielsetzung [in Anlehnung an [13]]

***Baukasten***

Menge aller technischen Subsysteme, die dem zugehörigen Regelwerk folgen, mit dem Ziel, aus diesen Subsystemen technische Systeme mit jeweils unterschiedlicher Menge aller →Funktionen konfigurieren zu können [in Anlehnung an [14]]

***Baureihe***

Anzahl technischer Systeme, die eine ähnliche Produktarchitektur aufweisen [in Anlehnung an [14]]

**Anmerkung:** Die jeweiligen technischen Systeme unterscheiden sich dabei durch die Ausprägung einzelner Attribute, die durch Skalieren variiert werden.

***Bewertungskriterium***

Merkmal eines Systems, das hinsichtlich seiner Ausprägungen bei unterschiedlichen Lösungsideen/Lösungsalternativen im Rahmen einer Vorauswahl/Bewertung untersucht wird [in Anlehnung an [6]]

***Black Box***

Abbildung einer grundlegenden →Funktion oder des wesentlichen Zwecks eines Systems und seiner Interaktion mit der Umwelt, ohne dabei den inneren Aufbau des Systems zu betrachten

[in Anlehnung an [15]]

**Anmerkung:** Durch diese Abstraktion lässt sich die →Komplexität eines Sachverhalts deutlich reduzieren.

***Concurrent Engineering***

Aufteilen und überlappendes Bearbeiten von Tätigkeiten [in Anlehnung an [16]]

**Anmerkung:** Beispielsweise wird eine Automobilkarosserie an vielen Stellen gleichzeitig konstruiert.

***cyber-physische Systeme***

über eine Kommunikationsschicht (meist das Internet) vernetzte mechatronische Systeme, die im Verbund eine gemeinsame →Funktion erfüllen [in Anlehnung an [7]]

***Design for Six Sigma***

→Methode des →Qualitätsmanagements, die auf strukturierte Vorgehensweisen und Methodenanwendungen in der →Produktentwicklung abzielt, um durch präventive Maßnahmen fehlerfreie Produkte und Prozesse sicherzustellen [in Anlehnung an [17]]

***Design to X/Design for X***

Reihe von Gestaltungsrichtlinien für die →Produktentwicklung, zur Verfolgung verschiedener Ziele, z.B. Kosten-, Gewichts- oder Fertigungsziele

[in Anlehnung an [13]]

***Effekt***

Grundsatz, nach dem ein technisches (physikalisches, chemisches, biologisches, informationstechnisches usw.) Geschehen voraussehbar beschrieben werden kann [in Anlehnung an [6]]

***Eigenschaft***

aufgrund von Beobachtungen, Messergebnissen, allgemein akzeptierten Aussagen usw. von einem Objekt festgestelltes Ergebnis [in Anlehnung an [18]]

**Anmerkung:** Eine Eigenschaft, die besonders herausgehoben werden soll, wird als →Merkmal bezeichnet.

***Emergenz***

selbstorganisiertes Entstehen von neuen Eigenschaften oder Zusammenhängen in einem System, infolge des Aufeinanderwirkens der im System vorhandenen Elemente [in Anlehnung an [19]]

***Fehlermöglichkeiten- und -einflussanalyse***

(FMEA)

Methode zur Risikoanalyse von →Produkten und Prozessen [20]

***Funktion***

allgemeiner und gewollter Zusammenhang zwischen Eingang und Ausgang eines Systems mit dem Ziel, eine →Aufgabe zu erfüllen [21]

***funktionale Architektur***

lösungsneutrale Beschreibung rein funktionaler Zusammenhänge eines Systems anhand einer Menge von miteinander zusammenhängenden →Funktionen und Subfunktionen [12]

***Funktionsstruktur***

Anordnung und meist netzwerkartige Verknüpfung einzelner →Funktionen zu einer oder mehreren komplexen Funktionen (z.B. zur Gesamtfunktion) [in Anlehnung an [22]]

***Heuristik***

meist auf individuellen Erfahrungen beruhender, bewährter Vorgehensplan zur Lösung von Problemen [in Anlehnung an [18]]

***Industriedesign***

funktionale und kreative Gestaltung eines industriell hergestellten →Produkts [VDI/VDID 2424]

**Anmerkung:** Das Industriedesign berücksichtigt neben der technischen Dimension insbesondere die psychologischen, physiologischen und sozialen Bedürfnisse der Nutzer über den gesamten Produktlebenszyklus. Dies sind u.a. Anforderungen zur Bedienbarkeit und der Qualität der Benutzbarkeit sowie zur Sichtbarkeit und Erkennbarkeit.

***Innovationsmanagement (IMS)***

systematische Planung, Steuerung, Bewertung und Kontrolle der Umsetzung von neuen oder signifikant verbesserten →Produkten (Güter, Dienstleistungen bzw. Prozesse) [in Anlehnung an DIN CEN/TS 16555-1, 3.2]

***Iteration***

gewollte oder ungewollte Wiederholung einer Handlung [in Anlehnung an [13]]

**Anmerkung:** Eine Iteration kann beispielsweise auf das gleiche Problem bei gleicher Eingangssituation bezogen sein.

***Konfigurationsmanagement***

Managementtätigkeit, die die technische und administrative Leitung des gesamten Produktlebenszyklus, der Konfigurationseinheiten des →Produkts und der produktkonfigurationsbezogenen Angaben über-

nimmt [in Anlehnung an ISO/IEC/IEEE 16326]

### ***Kostenmanagement***

Managementprozess, in dem insbesondere die Kosten in einem Unternehmen analysiert und zielgerichtet beeinflusst werden

### ***Lastenheft***

Dokumentation der vom Auftraggeber festgelegten Gesamtheit der Forderungen an die Lieferungen und Leistungen eines Auftragnehmers innerhalb eines (Projekt-)Auftrags

**Anmerkung:** siehe DIN 69901-5; VDI 2519 Blatt 1

### ***Lean Product Development***

Ausrichtung der Aktivitäten in der →Produktentwicklung auf →Prinzipien wie die Fokussierung auf den Kundennutzen und die Verbesserung des Wertstroms durch die Vermeidung von Verschwendungen

### ***Lösungsprinzip***

grundätzliche Umsetzung einer →Funktion oder mehrerer verknüpfter Funktionen durch Auswahl von Effekten oder →Wirkprinzipien

[in Anlehnung an [22]]

### ***Merkmal***

Charakteristikum eines Systems, das durch seine Ausprägung als Eigenschaft wahrgenommen wird  
[in Anlehnung an [13]]

### ***Metakognition***

Reflektieren der eigenen kognitiven Prozesse, somit ein „Nachdenken über das Denken“ [in Anlehnung an [15]]

### ***Methode***

planmäßiges Vorgehen in einer Abfolge von Tätigkeiten zum Erreichen eines bestimmten Ziels  
[in Anlehnung an [18]]

### ***Modell***

vereinfachtes, abstrahiertes Gebilde, das Analogien zu einem Objekt aufweist [in Anlehnung an [18]]

**Anmerkung:** Modelle sind zweckorientiert und trennen das für die jeweilige Problematik Wesentliche vom Unwesentlichen. Damit können aus dem Verhalten des Modells Rückschlüsse auf das Objekt gezogen werden.

### ***Modul***

Subsystem eines Produkts [in Anlehnung an [14]]

**Anmerkung:** Es wird entweder von Modulen gesprochen, wenn die Subsysteme zeitlich oder organisatorisch verteilt entwickelt werden (siehe Abschnitt 4.2.2), oder auch, wenn zur Variantenbildung (siehe Abschnitt 4.3.2) ein Subsystem durch ein oder verschiedene andere technische Subsysteme ersetztbar sein soll, sodass damit die Menge aller →Funktionen oder →Attribute des technischen Systems variiert werden kann.

***morphologischer Kasten***

Ordnungsschema zur systematischen Kombination von Wirk- und →Lösungsprinzipien [in Anlehnung an [21]]

***Pflichtenheft***

Dokumentation der vom Auftragnehmer erarbeiteten Realisierungsvorgaben auf Basis des vom Auftraggeber vorgegebenen →Lastenhefts

**Anmerkung:** siehe DIN 69901-5; VDI 2519 Blatt 1

***physische Produktarchitektur***

Gesamtheit der →Module oder Lösungsbausteine, aus denen das →Produkt/System besteht  
[in Anlehnung an [12]]

***Plattform***

Menge von Subsystemen, die in unterschiedlichen technischen Systemen unverändert zum Einsatz kommen [in Anlehnung an [14]]

***Prinzip***

allgemeine Strategie oder allgemeiner Grundsatz, der das Handeln im Entwicklungsprozess prägt  
[in Anlehnung an [6]]

**Anmerkung:** Verhaltensweisen, die als elementare Gestaltungselemente des Vorgehens dienen; finden sich in vielen →Methoden wieder und prägen dadurch ihre Wirkungsweise.

***Problem***

Aufgabe oder Fragestellung, deren Lösung nicht offensichtlich ist und auch nicht direkt mit bekannten Mitteln angegeben werden kann

[in Anlehnung an [18]]

***Produkt***

Erzeugnis oder Leistung materieller wie immaterieller Art, das oder die allein oder als System angeboten wird, um den Bedarf am Markt sowie die Bedürfnisse von Nutzern zielgruppengerecht zu befriedigen [in Anlehnung an VDI 4520 Blatt 1]

***Produktdokumentation***

Gesamtheit aller relevanten Dokumente, die in oder aus einem Produktentwicklungsprojekt entstehen, Verwendung und Anwendung finden oder anderen Bezug zum Projekt haben

[in Anlehnung an DIN 69901-5, 3.55]

***Produktentstehung***

Teil des Produktlebenszyklus, der die Phasen „Produktplanung“, „Produktentwicklung“ und „Produktionseinführung“ umfasst

***Produktentwicklung***

interdisziplinärer Unternehmensprozess zur Entwicklung eines marktfähigen Produkts, basierend auf der Definition initialer Ziele und Anforderungen an das Produkt, die im Lauf des Prozesses kontinuierlich weiterentwickelt und iterativ angepasst werden

**Anmerkung:** Die Phase der Produktentwicklung schließt die Konstruktion mit ein. Oft werden die Begriffe Produktentwicklung und Konstruktion synonym verwendet. Im Rahmen dieser Richtlinie wird jedoch einheitlich der Begriff „Produktentwicklung“ verwendet.

### ***Produktplanung***

Gestaltung des Angebots eines Unternehmens, abhängig von den Zielmärkten und den dort erzielbaren Renditen und Marktführerschaften [in Anlehnung an [16]]

**Anmerkung:** Die Produktplanung besteht aus den Phasen „Forschung“, „Erstellen des Produktpportfolios“ und „Marketing“.

### ***Produkt-Service-System***

System, das integrativ aus einem physischen →Produkt und einem dazugehörigen Dienst besteht [in Anlehnung an [7]]

### ***Produktwertstrom***

auftragsbezogener Teilwertstrom im Konzept des →Lean Product Development  
[in Anlehnung an [23]]

### ***Prozessmanagement***

Identifikation, Gestaltung, Dokumentation, Implementierung, Steuerung und Verbesserung von Geschäftsprozessen [in Anlehnung an [24]]

### ***Qualitätsmanagement***

aufeinander abgestimmte Tätigkeiten zum Leiten und Lenken einer Organisation mit dem Ziel einer maximalen Produkt- und Prozessqualität [in Anlehnung an DIN EN ISO 9000]

### ***Simultaneous Engineering***

paralleles Bearbeiten unterschiedlicher Aufgaben mit kontinuierlicher Abstimmung des Fortschritts [in Anlehnung an [16]]

**Anmerkung:** Beispielsweise kann die Planung der Herstellprozesse in der Prozessplanung leicht zeitversetzt, aber fast parallel zur →Produktentwicklung erfolgen.

### ***soziotechnisches System***

System, das aus technischen und sozialen Bestandteilen besteht [in Anlehnung an [19]]

**Beispiel:** Bedienpersonal, das ein technisches Gerät nutzt

### ***Spezifikation***

formale Beschreibung eines Systems mit dem Ziel, →Merkmale zu definieren und zu quantifizieren, mit denen das →Produkt des Auftragnehmers bei der Übergabe an den Auftraggeber geprüft und durch den Auftraggeber abgenommen werden kann [in Anlehnung an [6]]

### ***Stakeholder***

Person, Gruppe oder Institution, die irgendeine Art von Beziehung zum oder ein Interesse am Verlauf oder Ergebnis eines Prozesses oder Projekts hat

[in Anlehnung an [12]]

***Synthese***

Ausarbeitung und Darstellung von Lösungsalternativen für ein gesetztes Ziel auf Basis einer →Analyse [ in Anlehnung an [10]]

***SysML* (Systems Modeling Language)**

standardisierte Programmiersprache auf UML2-Basis zur grafischen Modellierung von technischen Systemen

***Systemarchitektur***

grundlegender Aufbau und Strukturierung eines technischen Systems über verschiedene Konkretisierungsstufen hinweg, also die Funktionsstruktur, die Wirkstruktur, die Baustruktur und deren Verknüpfungen [in Anlehnung an [13]]

***Systemdenken***

Denken in funktionalen, strukturalen und hierarchischen Zusammenhängen und/oder →Modellen  
[in Anlehnung an [19]]

***Systems Engineering* (SE, Systemtechnik)**

interdisziplinärer Ansatz, um komplexe technische Produkte/Systeme in großen Projekten zu entwickeln und zu realisieren [in Anlehnung an [11]]

**Anmerkung:** Systems Engineering konzentriert sich darauf, den Kundenbedarf und eine erforderliche Funktionalität früh im Laufe der Entwicklung zu definieren, Anforderungen zu dokumentieren und dann mit Designsynthese und Designbestätigung unter Berücksichtigung des vollständigen →Problems fortzufahren: Anwendung, Kosten und Zeitplan, Leistung, Schulung und Unterstützung, Nachweis, Produktion und Entsorgung. Systems Engineering berücksichtigt sowohl den wirtschaftlichen als auch den technischen Bedarf aller Kunden mit dem Ziel, ein Qualitätszeugnis bereitzustellen, das den Benutzerbedarf deckt.

***Systemtheorie***

interdisziplinärer Wissenschaftsansatz, der sich mit den grundlegenden Aspekten und →Prinzipien von Systemen befasst [in Anlehnung an [19]]

***UML* (Unified Modeling Language)**

standardisierte Sprache zur grafischen Modellierung von Softwaresystemen [in Anlehnung an [12]]

***Validierung***

Prüfung, inwieweit die Testresultate tatsächlich das darstellen, was durch den Test bestimmt werden soll [in Anlehnung an [25]]

**Anmerkung:** Auf technische Systeme übertragen, ist hierunter die Prüfung zu verstehen, ob das →Produkt bezogen auf seinen Einsatzzweck geeignet ist bzw. den gewünschten Wert erzielt. Hier gehen die Erwartungshaltung des Fachexperten und des Anwenders ein. Umgangssprachlich ist Validierung die Beantwortung der Frage: „Wird das richtige Produkt entwickelt?“

***Variantenmanagement***

aktives und übergreifendes Gestalten der Produktarchitektur und der variablen technischen Ausprägung von →Produkten oder Produktportfolien  
[in Anlehnung an [26]]

### **Verifikation**

Nachweis über die Wahrheit von Aussagen [in Anlehnung an [25]]

**Anmerkung:** Auf technische Systeme übertragen, ist hierunter die Überprüfung zu verstehen, ob eine Realisierung mit der Spezifikation übereinstimmt. Umgangssprachlich ist die Verifikation die Beantwortung der Frage: „Wird das Produkt richtig entwickelt?“

### **Vorgehensmodell**

Beschreibung wichtiger Elemente einer Handlungsfolge für bestimmte Situationen oder Zielsetzungen [in Anlehnung an [13]]

**Anmerkung:** Drei wesentliche Anwendungszwecke sind die Prozessplanung, die Prozessnavigation und die Prozessreflexion.

### **White Box**

detaillierte Betrachtung – im Gegensatz zu einer →Black Box – des inneren Aufbaus eines Systems [in Anlehnung an [19]]

### **Wirkprinzip**

Lösungsprinzip unter Einbeziehung des eingesetzten physikalischen Effekts sowie geometrischer und stofflicher →Merkmale (Wirkgeometrie, Wirkbewegung und Werkstoff) [in Anlehnung an [23]]

### **Wirkstruktur**

Anordnung und Verknüpfung mehrerer →Wirkprinzipien [in Anlehnung an [18]]

### **Wissensmanagement**

Organisation aller Prozesse, in denen Informationen, Erkenntnisse und Erfahrungen identifiziert, erzeugt, gespeichert, verteilt und angewendet werden [VDI 5610 Blatt 1, Abschnitt 2.3]

### **Wissenswertstrom**

auftragsunabhängiger, wissensbezogener Teilwertstrom im Konzept des →Lean Product Development [in Anlehnung an [52]]

## **3 Grundlagen der Produktentwicklung**

Im Rahmen der Entwicklung eines Produkts müssen Menschen durch ihr Denken und Handeln unterschiedliche Informationen er- und verarbeiten, damit aus einem Bedarf oder einem Auftrag ein funktionsfähiges und herstellbares Produkt entstehen kann. Im Produktentwicklungsprozess müssen somit diese Informationen sowie die zu deren Erstellung und Bearbeitung erforderlichen Ressourcen in einen zweckmäßigen Zusammenhang gebracht werden.

Auch wenn die zu erstellenden Informationen im Detail so unterschiedlich sein können wie die aus einem Entwicklungsprozess hervorgehenden Produkte, so liegen jedem Produktentwicklungsprozess doch zugleich generische Bausteine zugrunde, die sich insbesondere aus den Gebieten der Sys-

## **3 Basics of product design**

In the context of designing a product, people have to compile and process differing information in order that a functioning and manufacturable product can arise from a requirement or assignment. In the product design process, therefore, this information and the resources necessary for compiling and processing it shall be put into a useful relationship.

Even though the details of the information to be compiled can differ as much as the products arising from a design process, each product design process is simultaneously based on generic modules resulting in particular from the fields of systems theory, various model representations and the human abili-

temtheorie, aus verschiedenen Modelldarstellungen sowie aus den menschlichen Fähigkeiten des Denkens und Handelns als Individuum und in Gruppen ergeben.

### **3.1 Grundlagen zu Systemen und Modelle**

Die Systemtheorie bzw. das damit verbundene Systemdenken haben sich seit langer Zeit in zahlreichen, sehr unterschiedlichen Fachdisziplinen, z.B. der Technik, Naturwissenschaft, Wirtschaft, Soziologie und der Philosophie, als besonders nützlich erwiesen. Im technischen Bereich stellt die Systemtheorie ebenfalls eine wichtige Grundlage für die Produktentwicklung und das Systems Engineering dar (siehe [10; 11]). Auch wenn die Systemtheorie in unterschiedlichen Fachdisziplinen im Detail verschiedene Ausprägungen erfährt und damit auch zum Teil unterschiedliche Begriffe und Definitionen zum Einsatz kommen, so haben diese im Kern ihrer Definition in der Regel die gleichen Inhalte und Aussagen gemeinsam: Als ein System wird eine von einer Umgebung durch eine gedachte Systemgrenze abgegrenzte Menge von Elementen und zwischen ihnen bestehenden Relationen verstanden, die einen definierten Zweck erfüllen sollen.

Was genau ein System ist und was darin als Elemente und Beziehungen aufgefasst wird, ist im Rahmen der Systemtheorie nicht weiter festgelegt. Diese Festlegung erfolgt abhängig von dem vom Ersteller oder auch vom Betrachter des Systems verfolgten Zweck. So kann ein Produkt beispielsweise als ein System mit darin enthaltenen Bauteilen (Elementen) betrachtet werden. Ebenso kann ein System jedoch auch aus darin enthaltenen Produkten bestehen und somit als ein „System aus Systemen“ betrachtet werden. Dies ist z.B. in Bezug auf die Entwicklung von Produkt-Service-Systemen oder cyber-physischen Systemen oftmals der Fall.

Zur Beschreibung von Systemen werden häufig drei Grundkonzepte benannt (siehe [19]): Das „Funktionale Konzept“ beschreibt, dass ein System, „von außen“ als Black Box betrachtet, auf einen Input (Eingabe) mit einem (gegebenenfalls zeitverzögerten) Output (Ergebnis) oder einer Zustandsänderung reagiert. Damit das System dies kann, verfügt es gemäß dem „strukturalen Konzept“, als White Box betrachtet, in seinem „Innen“ über definierte Elemente und zwischen ihnen bestehende Beziehungen. Die Elemente können entsprechend dem „hierarchischen Konzept“ selbst auch wieder als Systeme betrachtet werden, womit eine beliebige Gliederungstiefe von Super- über Subsysteme bis hin zu Elementen (Bauteilen, Bau-

### **3.1**

elementen oder einzelnen Befehlen in einem Computerprogramm) möglich ist. Bild 1 verdeutlicht diese drei Grundkonzepte der Systemtheorie.

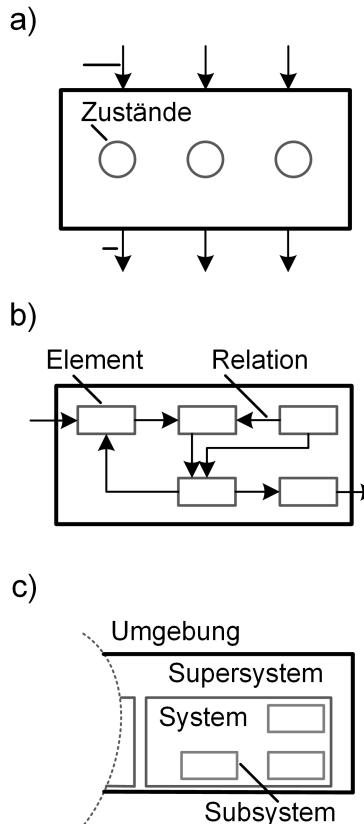


Bild 1. Bestandteile von Systemen  
(in Anlehnung an [13])

- a) funktionales Konzept
- b) strukturelles Konzept
- c) hierarchisches Konzept

Sowohl das System selbst als auch dessen Beziehungen und Elemente verfügen über Eigenschaften, mit denen sie unterschieden werden können. Eine große Anzahl unterschiedlicher Elemente und Beziehungen, bzw. deren jeweiligen Eigenschaften, sind zugleich ein Maß für die Komplexität von Systemen. Die Eigenschaften eines ganzen Systems ergeben sich jedoch meist nicht ausschließlich aus den Eigenschaften der einzeln betrachteten Elemente und Beziehungen, sondern erst aus deren Zusammenwirken. Schon *Aristoteles* machte dazu eine Aussage, die in gekürzter Form meist zitiert wird als: „Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile.“ Dieser Zusammenhang wird auch als Emergenz bezeichnet und kann dazu führen, dass sowohl erwünschte als auch unerwünschte und damit oftmals unerwartete Eigenschaften eines Systems auftreten.

Bei der Struktur eines Systems aus Elementen und Beziehungen wird insbesondere zwischen den sta-

rates these three basic concepts of systems theory.

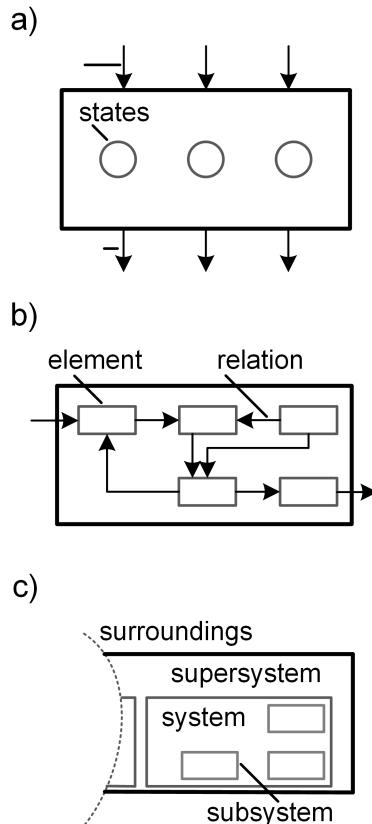


Figure 1. Components of systems  
(adapted from [13])

- a) functional concept
- b) structural concept
- c) hierarchical concept

The system itself as well as its relationships and elements have properties allowing them to be distinguished. At the same time, a large number of different elements and relationships (or their properties in each case) are a measure of the complexity of systems. However, the characteristics of an entire system usually do not only result from the characteristics of the elements and relationships viewed in isolation, but only from their interaction. *Aristotle* made a statement on this, which is usually quoted in abbreviated form as follows: “The whole is more than the sum of its parts.” This state of affairs is also known as “emergence” and can lead to the occurrence of desirable as well as undesirable (and therefore often unexpected) characteristics of a system.

With regard to the structure of a system consisting of elements and relationships, a distinction is in

tischen und dynamischen Zusammenhängen unterschieden. Je nachdem, welcher Zweck verfolgt und was als Element eines Systems betrachtet wird, werden dann bei soziotechnischen Systemen mittels den Beziehungen insbesondere Materie, Energie oder Information sowie damit verbundene Operationen (z.B. Speichern, Leiten, Verknüpfen, Umformen und Wandeln) innerhalb von Raum oder Zeit sowie auch beliebige Kombinationen daraus ausgedrückt.

Der Begriff des Systems ist ebenfalls eng mit dem Begriff des Modells verbunden. Jedes Modell verfügt nach einer weitverbreiteten Definition von Stachowiak [27] ebenfalls über drei charakteristische Merkmale. Demnach ist ein Modell immer das Abbild eines Originals (Abbildungsmerkmal) für einen bestimmten Zweck (pragmatisches Merkmal), wobei das Original jedoch nur in reduziertem oder abstrahiertem Umfang (Verkürzungsmerkmal) wiedergegeben wird.

Modelle sind somit mögliche Abbilder von Systemen, sie beschreiben Systeme mittels geeigneter Zeichen [28]. Diese reichen von rein textuellen über grafische sowie matrizenbasierte oder mathematische Beschreibungen bis hin zu realen sowie virtuellen, zweidimensionalen zeichnerischen oder auch dreidimensionalen gestaltorientierten Mitteln. Insbesondere eine Mischung aus Graphen sowie zeichnerischen und textuellen Elementen, wie sie z.B. die standardisierte Modellierungssprache „SysML“ (Systems Modeling Language) bietet, erweist sich für die Beschreibung von Systemen als besonders geeignet. So können die Systemelemente und deren statische und dynamische Zusammenhänge untereinander oder zur Systemumgebung anschaulich beschrieben werden (siehe [11; 12; 29]).

### **3.2 Grundlagen des Problemlösens**

Die Konzepte zu Systemen und Modellen unterstützen insbesondere das Denken und Handeln des Menschen sowie dessen Kommunikation. Untersuchungen zu Denkprozessen haben sich seit einigen Jahrzehnten zu einem umfangreichen Forschungsfeld in der Denkpsychologie (Kognitive Psychologie) sowie in der empirischen Produktentwicklungsforschung entwickelt, die insbesondere das sogenannte „Entwurfsproblemlösen“ (design problem solving) analysieren (siehe [30 bis 32]). Denn bei der Entwicklung von Produkten müssen eine Vielzahl unterschiedlicher Aufgaben und insbesondere auch Probleme gelöst werden.

#### **3.2.1 Problemlösezyklus**

Zwischen den beiden Begriffen „Problem“ und „Aufgabe“ erfolgt oftmals eine bewusste Abgren-

lems, to be solved.

zung. Denn ein Problem wird meist dadurch charakterisiert, dass es zwischen einem unerwünschten Anfangszustand (Ist) und einem gewünschten Endzustand (Soll) eine Barriere gibt, die es durch eine (gedankliche) Transformation und mittels geeigneter Hilfsmittel (Operatoren) zu überwinden gilt [18; 33]. Im Unterschied zum Problem sind bei einer Aufgabe hingegen der Anfangs- sowie der Endzustand und auch die Hilfsmittel und Transformationsregeln bekannt und eine Barriere besteht somit für den Problemlöser nicht.

Bild 2 verdeutlicht den Aufbau von Problemen und deutet zugleich an, dass Modelle zur Problemlösung bzw. als Hilfsmittel zur Überwindung der Barriere genutzt werden können.

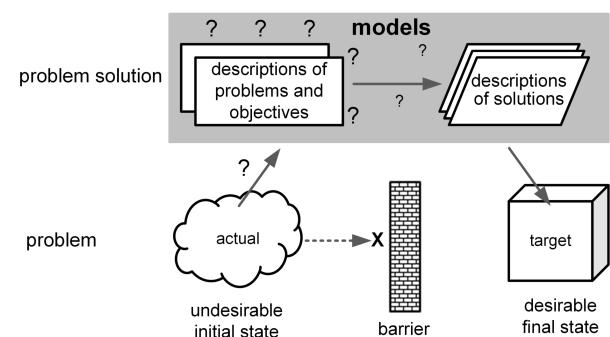
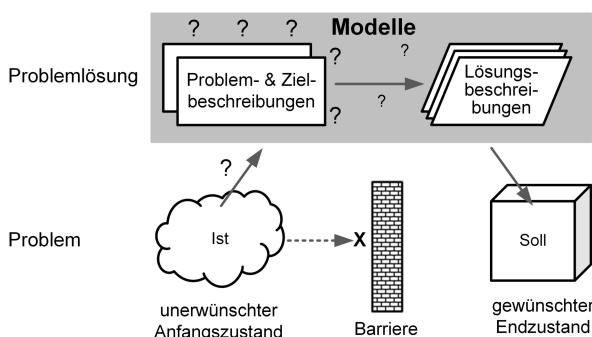


Bild 2. Problem und Problemlösung mit Modellen

Als charakteristische Merkmale von Problemen werden häufig die folgenden vier Punkte der Tabelle 1 angesehen [33; 34], zu denen Empfehlungen zur Verbesserung des Problemlösens gegeben werden können.

Probleme, die alle genannten charakteristischen Merkmale aufweisen, werden meist zugleich als komplexe Probleme bezeichnet. Diese sind für die Produktentwicklung besonders charakteristisch. Beim Lösen komplexer Probleme greift der Mensch aufgrund seiner beschränkten kognitiven Fähigkeiten dann meist auf unterschiedliche Strategien zurück.

Einfache, aber gegebenenfalls auch fehleranfällige Strategien zur Problemlösung werden auch als Heuristiken bezeichnet. Heuristiken entsprechen „Daumenregeln“ und basieren meist auf Erfahrung sowie auf einem Aufspannen und Absuchen des Problemraums nach dem Prinzip „Versuch und Irrtum“ oder nach dem Ausschlussverfahren [35; 36]. Andere Strategien zur Problemlösung haben hingegen zum Ziel, schrittweise Vorstellungen oder Beschreibungen zum Problem bzw. zu möglichen Lösungen aufzubauen. Die dazu erforderlichen Schritte können zu allgemeingültigen Problemlöseprozessen zusammengefasst werden.

Tabelle 1. Problemmerkmale und darauf basierende Empfehlungen

Problemmerkmal: Beschreibung	Empfehlung
<b>Intransparenz:</b> Es liegen nur unvollständige oder unklare Informationen zum Ausgangszustand vor.	Vermeidung von Intransparenz durch die möglichst umfassende Sammlung und Verfügbarkeit von Informationen
<b>Vielzieligkeit (Polytelie):</b>  Ein Problem hat nicht nur ein, sondern meist viele Ziele, die sich sowohl ergänzen als auch widersprechen können.	eindeutige Priorisierung von Zielen unter frühzeitiger Berücksichtigung möglicher Zielkonflikte
<b>Vernetztheit:</b> Die Bestandteile des Problems und der Lösung bedingen einander gegenseitig, sodass ein Verändern eines Teils meist auch Auswirkungen auf andere Teile hat.	fortlaufende Erfassung der unter- und zueinander vernetzten Abhängigkeiten von Problem- und Lösungsbestandteilen
<b>(Eigen-)Dynamik:</b> Ein Problem kann sich über die Zeit aufgrund der Bearbeitung des Problems selbst oder auch aufgrund externer Einflüsse verändern.	zeitliche Planung des Vorgehens sowie deren fortlaufende Kontrolle und Aktualisierung bei neuen Erkenntnissen


Im Kern orientieren sich Problemlösungsprozesse häufig an Modellvorstellungen zu Regelzyklen unseres Denkens und Handelns. Beispiel solcher Regelzyklen sind das TOTE-Schema (Test-Operate-Test-Exit) von *Miller*, der VVR-Zyklus (Vergleich-Veränderung-Rückkopplung) von *Hacker* sowie der PDCA-Zyklus (Plan-Do-Check-Act) von *Deming* [6]. In diesen Zyklen werden, ausgehend von einem gesetzten oder gefassten Ziel, durch verschiedene Aktivitäten des Denkens und Handelns Ergebnisse erzeugt (Synthese), wobei bewusst oder teilweise auch unbewusst ein fortlaufender Abgleich der Ergebnisse mit den Zielen erfolgt (Analyse), bis die Lösungssuche aufgrund der zufriedenstellenden Güte des erreichten Ergebnisses oder oft auch aufgrund von zeitlichen Rahmenbedingungen beendet wird. Ein einziges Ziel und eine einzige Aktivität reichen meist nicht aus, um komplexe Probleme zu lösen, deshalb werden sowohl bewusst als auch unbewusst Zwischenergebnisse bzw. Zwischenziele gebildet und ebenfalls gegeneinander abgeglichen.

Bild 3 zeigt einen generischen Regelungszyklus aus Zielen, Aktivitäten der Synthese und Analyse sowie Ergebnissen.

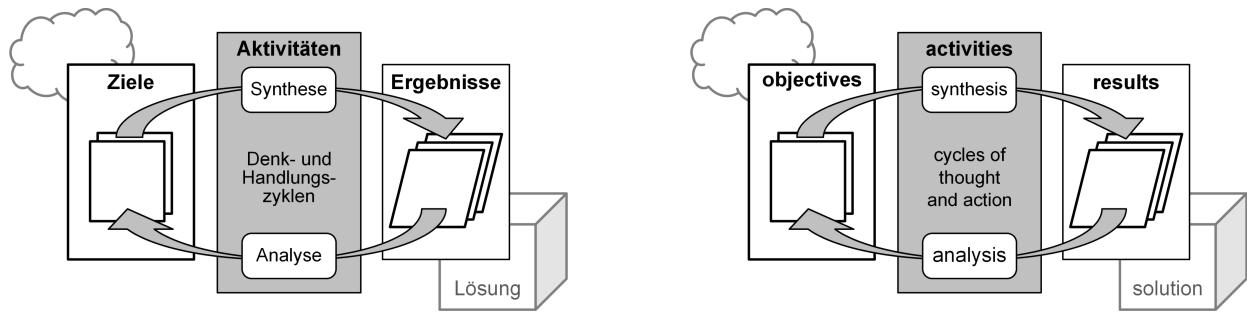


Bild 3. Regelungszyklus zwischen Zielen, Aktivitäten und Ergebnissen

Basierend auf solchen elementaren Regelungszyklen des menschlichen Denkens und Handelns sowie auf den zuvor benannten Problemcharakteristiken – bzw. den damit zusammenhängenden Empfehlungen – können auch komplexere Problemlösungszyklen beschrieben werden. Ein solcher Problemlösungsprozess enthält dann beispielsweise die Aktivitäten Zielsuche, Lösungssuche und Lösungsauswahl [6; 12; 18; 37].

Diese Aktivitäten können beispielsweise in die in Bild 4 aufgeführten und nachfolgend beschriebenen Aktivitäten weiter detailliert werden:

a) Situationsanalyse

Jede Problemstellung bewirkt zunächst eine Gegenüberstellung mit mehr oder weniger Unbekanntem hinsichtlich der Lösung des Problems. Diese Konfrontation hängt vom Wissens- und Informationsstand des Problemlösers ab. Häufig ist eine über die Eingangsproblemstellung hinausgehende Analyse erforderlich oder hilfreich, bei der zusätzliche Informationen über das Problem selbst sowie dessen Schwerpunkte, Bedingungen und mögliche Lösungswege gewonnen werden.

b) Zielformulierung

Eine anschließende Formulierung und vor allem Präzisierung des zu lösenden Problems bzw. des erwünschten Endzustands erleichtert die Lösungssuche, weil damit der Wesenskern des Problems und die zu beachtenden Bedingungen ohne Vorfixierung auf Lösungen in der Sprache des Problemlösers ausgedrückt werden können.

c) Synthese von Lösungen

Beim Suchen nach Lösungen werden alternative Lösungsideen oder schon konkrete Lösungen oder Teile davon erarbeitet und kombiniert. Wesentlich ist dabei das Entwickeln bzw. Erkennen nicht nur einer Lösung, sondern auch von Lösungsalternativen.

d) Analyse von Lösungen

In einem anschließenden Schritt werden diese Lösungsalternativen dann hinsichtlich ihrer Ei-

genschaften analysiert, um die für eine Lösungsauswahl erforderlichen Informationen zu gewinnen.

e) Bewertung

Anschließend werden die Eigenschaften der Lösungsalternativen in Bezug auf das Ziel als Grundlage für eine abschließende Entscheidung bewertet.

f) Entscheidung

Abschließend erfolgt die Festlegung auf eine oder mehrere zur Weiterführung geeignete Lösungen sowie deren Umsetzung oder eine Iteration oder der Abbruch des Vorgehens.

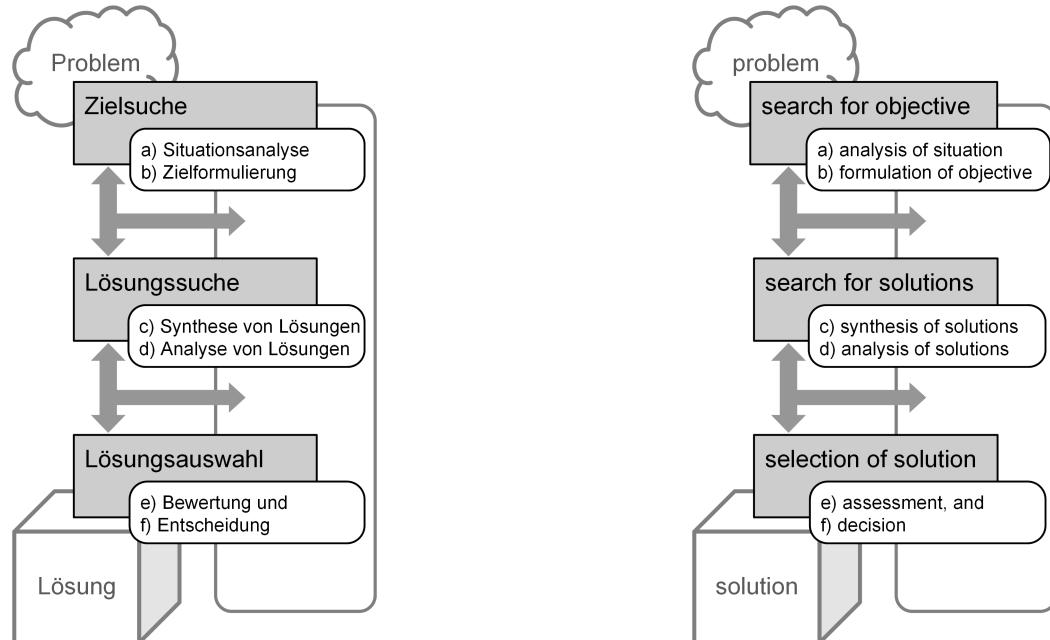


Bild 4. Aktivitäten eines typischen Problemlösungsprozesses

Mit allen Aktivitäten geht für gewöhnlich auch ein Nachbereiten und Lernen einher, wodurch das Informationsniveau fortlaufend angehoben wird. Dies erfordert die Dokumentation aller gesammelten sowie erstellten Informationen. Durch die kontinuierliche Reflexion des durchlaufenden Problemlösungsprozesses können Erfahrungen ausgewertet und Verbesserungen umgesetzt werden. Damit wird eine Reflexion des Problemlösungsprozesses und gegebenenfalls ein Festhalten von Erkenntnissen für zukünftige Prozesse sowie das Ableiten von Erfolgsrezepten (Best Practices) ermöglicht [38].

Die in Bild 4 enthaltenen Pfeile deuten an, dass eine strikte Abfolge der Aktivitäten natürlich nicht immer gegeben ist. Streng aufeinander folgende Aktivitäten sind oft nur einer übersichtlicheren Darstellung der grundlegenden Zusammenhänge geschuldet. Die in realen Problemlösungsprozessen stattfindenden Iterationen sind darin meist nur an-

gedeutet. Iterationen und andere Prinzipien werden im nächsten Abschnitt detaillierter beschrieben.

### 3.2.2 Iterationen und andere Grundprinzipien

Aus Untersuchungen der Denkpsychologie ist unter anderem bekannt, dass es keine streng aufeinander folgenden Vorgehensschritte beim Problemlösen gibt, sondern dass meist nur bewusste oder auch unbewusste Wiederholzyklen zum Erfolg führen. Iterationen sind deshalb als üblich, meist nicht vermeidbar und auch als durchaus wichtig anzusehen. Sie entstehen insbesondere auch aufgrund der unter den Problemmerkmalen angesprochenen (Eigen-)Dynamik des Problems, bzw. der Koevolution von Problem und Lösung. Bei Iterationen können einzelne Aktivitäten oder auch ein kompletter Prozess mehrmals durchlaufen werden. Der Umfang und die Anzahl an Wiederholzyklen sind dabei sowohl abhängig von dem Problem an sich als auch von den persönlichen Kenntnissen, Erfahrungen und Fähigkeiten der Problemlöser. Mit jeder Iteration gewinnt der Problemlöser darüber hinaus an Erfahrung hinzu. Iterationen sollten deshalb immer in Abhängigkeit von dem zu lösenden Problem bzw. dem Lösungsfortschritt entsprechend situationsabhängig und flexibel erfolgen.

In Entwicklungsprozessen können charakteristische Gründe für Iterationen unterschieden werden, von denen einige als Beispiele in Tabelle 2 zusammengefasst sind.

Iterationen erfolgen meist im Rahmen von weiteren Prinzipien des Vorgehens. Dazu zählen beispielsweise das Zerlegen/Zusammenführen, das Abstrahieren/Konkretisieren sowie das Variieren/Einschränken. Weitere Prinzipien finden sich z.B. auch bei „Theorie des erfinderischen Problemlösens (TRIZ)“ [39], siehe auch VDI 4521. Die zuvor genannten drei Grundprinzipien werden häufig auch miteinander kombiniert und können anschaulich in einem Raum auf drei Achsen dargestellt werden [13; 15].

Tabelle 2. Gründe für Iterationen (in Anlehnung an [27])

	<b>Bezeichnung und Erklärung</b>
	Exploration bezeichnet Iterationen, welche das abwechselnde Erkunden des Problems und der Lösung zugrunde liegt.
	Konvergenz bezeichnet Iterationen, bei denen eine Annäherung an einen gewünschten Zielzustand durch das wechselnde Anpassen verschiedener, sich meist gegenseitig beeinflussender, vernetzter Parameter erfolgt.

### 3.2.2 Iteration and other basic principles

Tabelle 2. Gründe für Iterationen (in Anlehnung an [40]) (Fortsetzung)

	<b>Bezeichnung und Erklärung</b>
	Verfeinerung bezeichnet Iterationen, bei denen z. B. eine Optimierung von sekundären Produktmerkmalen (z. B. Ästhetik oder Kosten) verfolgt wird.
	Nachbesserung bezeichnet Iterationen, bei denen auf Fehler in der Lösung oder im Vorgehen reagiert wird oder die aufgrund einer Anpassung an geänderte Randbedingungen erfolgen muss.
	Verhandlung bezeichnet Iterationen, die aufgrund einer Klärung von Konflikten zwischen den Zielen unterschiedlicher Beteiligter erfolgen.
	Repetition bezeichnet Iterationen, welche dieselben Aktivitäten an verschiedenen Stellen im Entwicklungsprozess wiederholen, um damit jedoch unterschiedliche Ziele zu erreichen. Dies unterscheidet sich von anderen Iterationen, bei denen unterschiedliche Aktivitäten zum Erreichen des gleichen Ziels wiederholt werden.


Bild 5 zeigt eine solche Darstellung eines „Vorgehensraums“. Darin sind mit einigen Begriffen die Schritte zum Zerlegen und zur Abstraktion eines Problems oder eines Ziels sowie die Schritte zur Problemlösung angedeutet.

Wie viele und welche Stufen in den drei Dimensionen eines solchen Vorgehensraums erforderlich sind, kann nicht pauschal angegeben werden.

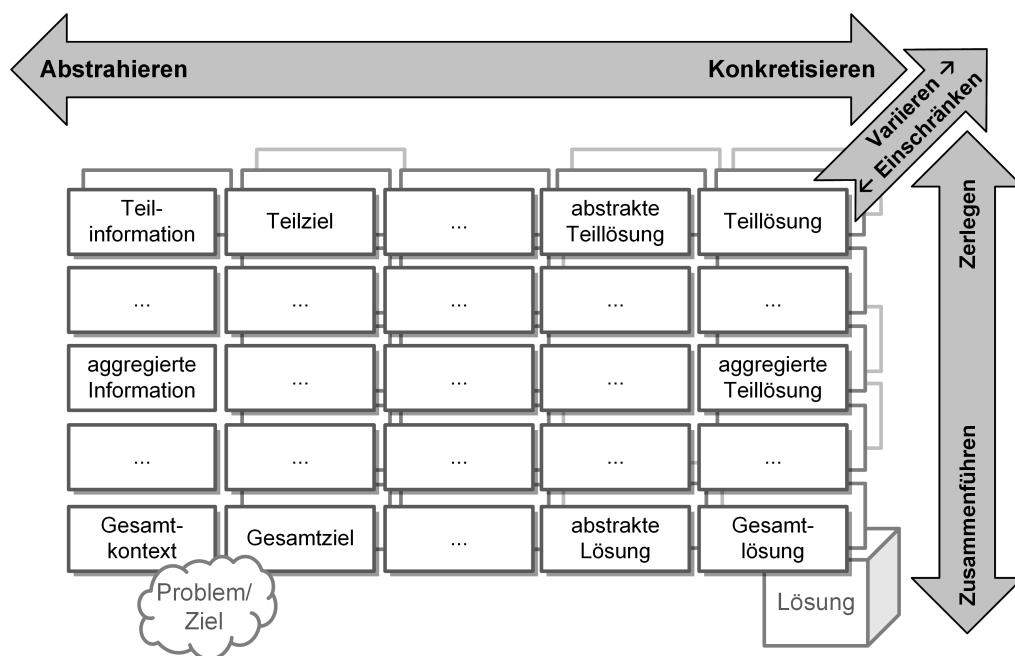
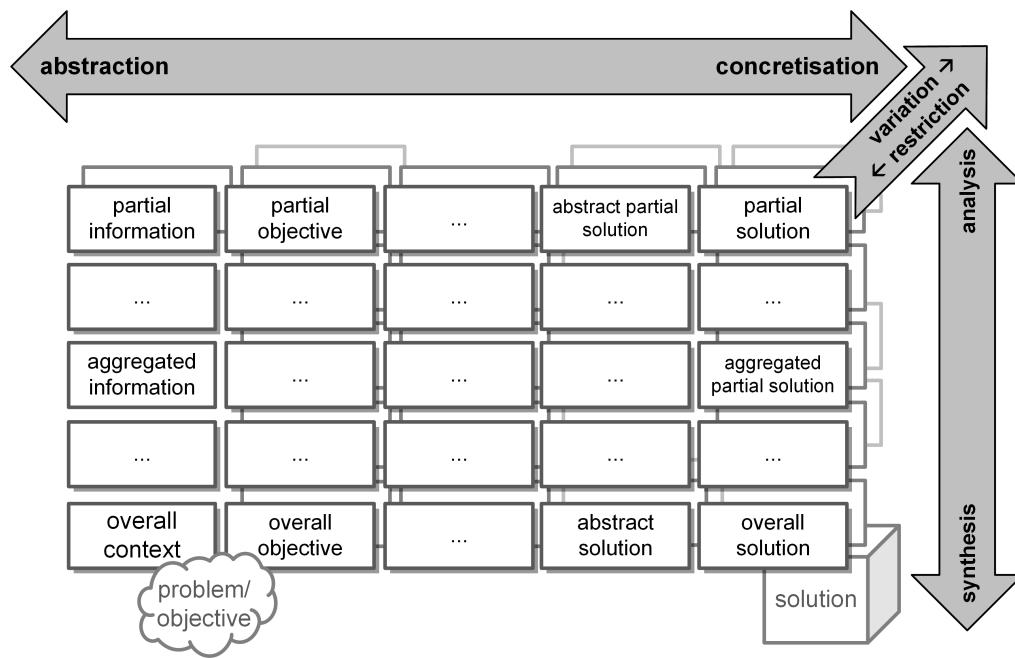


Bild 5. Vorgehensraum mit den drei wichtigsten Grundprinzipien Abstrahieren, Zerlegen und Variieren



Ebenso kann auch der Startpunkt eines Problemlösungsprozesses in diesem Raum an verschiedenen Stellen liegen, sodass auf dem Weg zur Gesamtlösung verschiedene, ebenfalls iterative Schritte in allen möglichen Richtungen der Abstraktion/Konkretisierung sowie des Zerlegens/Zusammenführens und des Variierens/Einschränkens möglich sind.

### 3.2.3 Gute Problemlöser, Kreativität und Teamarbeit

Gute Problemlöser bzw. Entwickler beachten viele der zuvor aufgeführten Zusammenhänge und sind sich meist darüber bewusst bzw. verfügen über eine gute (Selbst-)Reflexion und Metakognition, durch die sie fortlaufend „über ihr eigenes Denken nachdenken“ [41]. Insbesondere wählen gute Problemlöser ein richtiges, an das zu lösende Problem angepasste Maß zwischen Konkretheit und Abstraktion, haben einen Blick für wesentliche Hauptprobleme und beginnen bei diesen mit der Lösungssuche. Sie betreiben auch eine dem Problem angepasste Suche nach Lösungsalternativen und verwenden viel Zeit zur genauen Analyse und Beurteilung von Lösungen. Auch bei auftretenden Schwierigkeiten können sie z. B. durch Umstrukturieren oder Zusammenfassen von Informationen oder durch das Ändern des Arbeitsablaufs handeln, nutzen eine inhaltlich begründbare Strategie zur Ablaufsteuerung des Problemlösungsprozesses und besitzen zugleich ein flexibles Entscheidungsverhalten [18; 34]. Neben gut geordnetem Fachwissen verfügen gute Problemlöser aber auch über ein signifikant besseres Vorstellungsvermögen für

Lösungen. Sie haben gute Fakten- und Methodenkenntnisse sowie eine hohe sogenannte „heuristische Kompetenz“, wozu vor allem das Erkennen von Wichtigkeit und Dringlichkeit und das Planen, Steuern und Kontrollieren der eigenen Arbeit sowie auch die Aktivierung zielgerichteter Kreativität gezählt werden können [18; 36; 37].

Insbesondere Kreativität wird als eine wichtige Grundlage des Problemlösens angesehen. Sie „fängt da an, wo der Verstand aufhört, das Denken zu behindern“ und für jede Phase des Problemlösungsprozesses gibt es eine Vielzahl verschiedener Methoden [42].

Kreativität ist somit nicht nur auf bloße Geistesblitze zurückzuführen, sondern kann gezielt unterstützt, aber damit ebenso auch behindert oder verhindert werden. So wirken sich z.B. die folgenden Dinge positiv auf die Kreativität aus:

- die Fähigkeit zum Erzeugen konkreter Vorstellungsbilder
- das Denken in beziehungsreichen (vernetzten) Systemen
- eine hohe Frustrationstoleranz bezüglich des Umgangs mit Ungelöstem
- ein hohes Kompetenzbewusstsein
- die Bereitschaft zur Denkarbeit beim Problemlösen

Als weitere personenbezogene Kreativitätsmerkmale spielen neben Erfahrung und Wissen auch eine hohe intrinsische Motivation, weit gespannte Interessen, Offenheit, Nonkonformismus (bewusste Grenzüberschreitung, Regelverstöße, unkonventionelles Verhalten), Risikobereitschaft und Flexibilität eine wichtige Rolle [42 bis 44].

Bei einer prozessualen Betrachtung von Kreativität sind ebenfalls die Aktivitäten „Zielsuche“, „Lösungssuche“ und „Lösungsauswahl“ erkennbar. So erfordert Kreativität zunächst ebenfalls eine intensive Analyse der Situation (Präparation). Darauf aufbauend wird dann bei der Lösungssuche durch die Kombination einzelner Aspekte und die Umstrukturierung vorhandenen Wissens – sowohl bewusst als auch unbewusst – eine Vielzahl von Informationen zu neuen Gedanken verknüpft (Inkubation), bis einer der Gedanken dann – zu einem meist ungewissen Zeitpunkt – ins Bewusstsein tritt und zur Einsicht (Illumination) führt.

Dieser Gedanke wird vergleichbar der Lösungsauswahl nach einer Bewertung (Verifikation) schließlich für brauchbar erklärt. Zur Förderung der Kreativität wird jedoch dazu geraten, die Bewertung der Lösung nicht zu früh vorzunehmen [45].

Wie beim Problemlösungszyklus bereits angesprochen, folgen auch diese Aktivitäten keinem streng aufeinanderfolgenden Ablauf, sondern es sind Vor-/Rücksprünge und Überschneidungen zwischen den einzelnen Aktivitäten üblich.

Eine Übersicht zu Aspekten der Kreativität im Rahmen der Produktenwicklung zeigt die Richtlinie VDI 2806. Darin wird unter anderem sowohl auf die individuelle Kreativität als auch auf die Kreativität in Gruppen eingegangen.

Bei der Betrachtung komplexer Problemlösungsprozesse im Rahmen der Produktentwicklung ist ebenfalls relevant, dass die Lösung des Problems fast nie die Leistung einer einzelnen Person, sondern eher die von parallelen oder auch aufeinanderfolgenden Tätigkeiten einer Gruppe bzw. eines Teams von Problemlösern aus oftmals verschiedenen Fachdisziplinen darstellt.

Grundlage jeder Teamarbeit ist stets eine gute Kommunikation. Studien zeigen, dass die Leistung eines Teams beim Lösen komplexer Probleme insbesondere von umfassender, problembezogener und handlungsrelevanter Kommunikation profitiert [46]. Kommunikation stellt somit die Basis der Teamarbeit dar, auf der dann die Koordination und Kollaboration der verteilten Tätigkeiten aufbauen können.

Zur Koordination verteilter Arbeit müssen sowohl geeignete Modelle zum Problem, zu den (Zwischen-)Lösungen sowie insbesondere auch zum Vorgehen vorhanden sein. Dazu müssen vor allem implizite (allgemeingültige) und explizite (vereinbarte) Regeln zur zeitbezogenen Planung und Regelung der verteilten Vorgehensweisen sowie zu den Zuständigkeiten und dem Arbeitsfortschritt definiert werden [46]. Eine Zusammenfassung von Aspekten der Teamarbeit findet sich in der Richtlinie VDI 2807.

Eine klar strukturierte und allen Beteiligten bekannte Beschreibung des Vorgehens im Rahmen der Produktentwicklung auf Basis der zuvor dargestellten Erkenntnisse zum problemlösenden Denken ist somit für den verteilten Entwicklungsprozess in Unternehmen von großer Bedeutung. Im Folgenden werden diese Erkenntnisse zu einem Modell der Produktentwicklung weiter detailliert.

#### **4 Modell der Produktentwicklung**

Aus der in Abschnitt 3 dargelegten systematischen Problemlösungsmethodik, einschließlich der denkpsychologischen Erkenntnisse, sind Modelle für die Produktentwicklung ableitbar, die auf die speziellen Verhältnisse beim Entwickeln technischer Produkte zugeschnitten sind.

Solche Modelle müssen für die Vielfalt der Produktentwicklungsaufgaben anwendbar sein. Diese

Aufgaben werden deshalb in Abschnitt 4.1 einleitend charakterisiert, um die entwickelte Grobstruktur des Vorgehens zu begründen.

## 4.1 Produktentwicklung

### 4.1.1 Kontextfaktoren

Im Rahmen der Produktentwicklung sind über den gesamten Lebenszyklus hinweg unterschiedliche Entwicklungsziele zu erfüllen, wie die Funktionsoptimierung, die Kostenminimierung oder die Erfüllung weiterer Bedingungen (hinsichtlich Leistung, Leichtbau, Genauigkeit, Bedienbarkeit usw.). Die Beachtung weiterer, genereller eher technischer Anforderungsbereiche bzw. Restriktionen und Ziele kennzeichnet die Produktqualität, z. B. in Hinsicht auf Sicherheit, Fertigung, Montage, Verpackung, Transport, Recycling und Entsorgung. Solche Ziele müssen entsprechend ihrer Gewichtung entweder gleichberechtigt beachtet werden, oder einzelne Restriktionen bzw. Ziele prägen den gesamten Entwicklungsvorgang (siehe dazu auch Abschnitt 4.3.1).

Die Entwicklung von Produkten wird von einer Vielfalt an Kontextfaktoren bestimmt. Aus Sicht des Unternehmens kann zunächst zwischen externen und internen Faktoren unterschieden werden, siehe VDI 2221 Blatt 2.

Zu den externen Faktoren gehören entsprechend:

- makroökonomische Faktoren (z. B. Gesellschaft und Umwelt)
- mikroökonomische Faktoren (z. B. Markt und Kunde)

Zu den internen Faktoren gehören:

- organisatorische Faktoren (z. B. Unternehmensstruktur und -strategie, Branche)
- projektbezogene Faktoren (z. B. Innovationswesen und Projektmanagement)
- individuelle Faktoren (z. B. Wissen und Kompetenzen)

Diese Merkmale führen zu individuellen Ausprägungen von kontextspezifischen Modellen der Produktentwicklung (spezifische Produktentwicklungsprozesse), auf die in VDI 2221 Blatt 2 näher eingegangen wird.

Die Aufzählung dieser vielfältigen Ziele verdeutlicht bereits, dass die Entwicklung von Produkten in der Regel ein interdisziplinäres Vorgehen zusammen mit Personen aus Bereichen wie der Betriebswirtschaft, dem Industriedesign, der Produktion und/oder dem Vertrieb erforderlich macht. Der Ablauf des Entwicklungsprozesses wird nicht nur durch die Anforderungen an das Produkt selbst, son-

dern auch durch allgemeine externe Zwänge oder innerbetriebliche Notwendigkeiten bestimmt. Diese Einflüsse lassen sich im Wesentlichen unter die drei Dimensionen Qualität, Kosten und Zeit subsumieren. Sie werden in VDI 2221 Blatt 2 näher betrachtet.

#### 4.1.2 Produktlebenszyklus und Produktentstehung

Die Produktentwicklung ist ein wesentlicher Bestandteil der Produktentstehung und damit Grundlage des Produktlebenszyklus.

Zum Begriff des Produktlebenszyklus gibt es unterschiedliche Verständnisse. Während aus betriebswirtschaftlicher Sicht der Lebensweg eines Produkts am Markt mit den Phasen „Produkteinführung“, „Wachstum“, „Reife“, „Sättigung“ und „Degeneration“ betrachtet wird (z.B. [22]), orientieren sich ökologische Ansätze (Ökobilanzierung, Eco-Design) an einer Ressourcenbetrachtung von der Rohstoffgewinnung/-erzeugung über die Produktion und Nutzung bis zur endgültigen Beseitigung des Produkts [47]. Die technische Sicht fokussiert den Lebensweg eines Produkts von der Produktentstehung über die Produktion/Realisierung und die Nutzung bis zum Lebenszyklusende. Die Produktentstehungsphase umfasst dabei die Aktivitäten „Produktplanung“, „Produktentwicklung“ und „Produktion/Realisierung“. Falls erforderlich, erfolgt in der Produktentstehungsphase zudem die Entwicklung der benötigten Produktionssysteme.

Bild 6 zeigt ein allgemeines Verständnis der technischen Sichtweise des Produktlebenszyklus.

Die Aktivitäten der Produktentstehung werden zwar häufig sequenziell aufeinander folgend dargestellt, in der Regel jedoch iterativ (Abschnitt 3.2.2) sowie (teil-)parallelisiert (Abschnitt 4.1.3) durchlaufen.

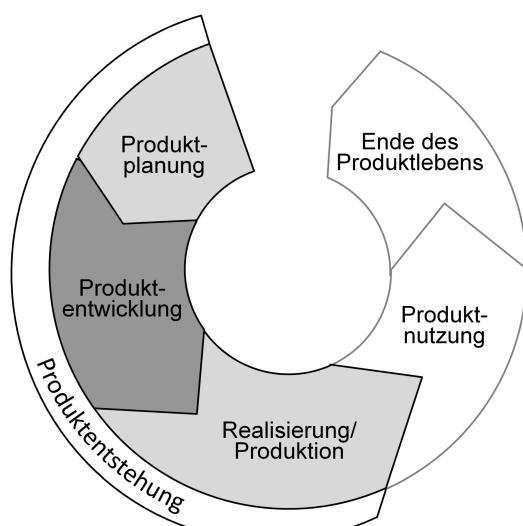


Bild 6. Technischer Produktlebenszyklus

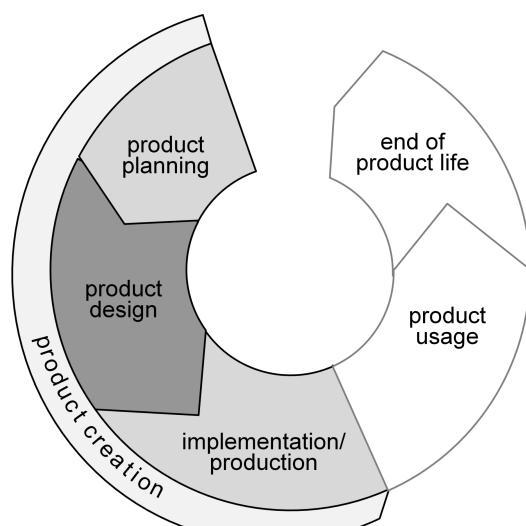


Figure 6. Technical product lifecycle

#### **4.1.3 Simultaneous Engineering und**

##### **Concurrent Engineering**

Konzepte des Simultaneous und des Concurrent Engineering fokussieren auf das Parallelisieren von Aktivitäten im Produktentstehungsprozess.

Beim Simultaneous Engineering werden unterschiedliche Aktivitäten (beispielsweise die Produktentwicklung und die Produktionssystementwicklung) überlappt und parallel ausgeführt.

Beim Concurrent Engineering wird dagegen eine einzelne umfangreiche Aufgabe (z.B. innerhalb der Produktentwicklung) auf mehrere Personen oder Gruppen aufgeteilt, die von diesen dann parallel bearbeitet wird.

Wichtigstes Kriterium für das Parallelisieren ist bei Simultaneous Engineering und Concurrent Engineering die Frage, wann die Ergebnisse des vorher begonnenen Arbeitsschritts soweit stabil sind, dass die statistische Wahrscheinlichkeit einer Änderung und die damit verbundenen Änderungskosten geringer sind als die Kosten, die durch zu spätes Weiterarbeiten verursacht werden.

Stage-Gate-Ansätze sind führungsorientierte Modelle von Produktentstehungsprozessen und stellen den Ausgangspunkt für Simultaneous Engineering dar. Hierbei werden in einem Phasenmodell die Aktivitäten in ihrer zeitlichen Abfolge dargestellt. Auf diese Weise werden eine Planung und Steuerung des Entwicklungsprojekts ermöglicht.

Dazu werden Stages (deutsch „Phasen“) und Gates (auch „Quality Gates“, deutsch „Entscheidungs-Milesteine“ oder „Tore“) definiert. Zu jedem Gate erfolgt ein Projektreview. Es wird darin dokumentiert, welche Ergebnisse zu den einzelnen Gates vorliegen.

Cooper [48] schlägt einen flexibleren Ansatz als Stage-Gate-Prozess der dritten Generation vor. Die unterschiedlichen Generationen von Stage-Gate-Prozessen sind in Bild 7 dargestellt.

Mit der ersten Generation wird der von der NASA in den 1960er-Jahren entwickelte Ansatz beschrieben. Die erste Generation ist stark von einer Auftraggeber- und Zulieferer-Sichtweise innerhalb des Produktentstehungsprozesses geprägt. Dabei ist jede Phase gleichzeitig der Kunde der vorhergehenden Phase.

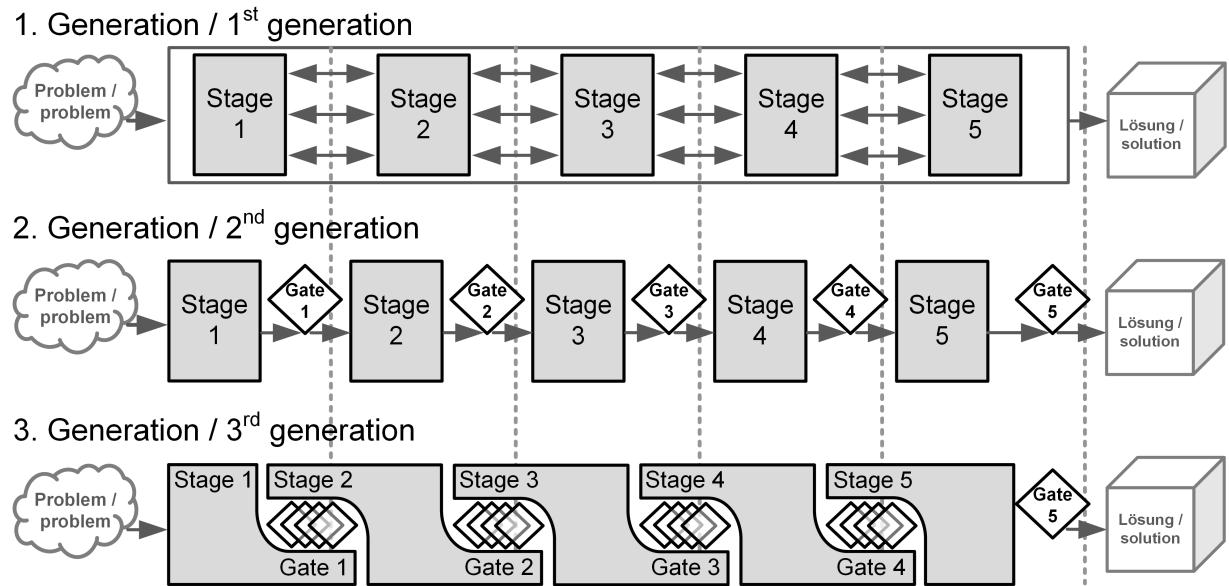


Bild 7. Stage-Gate-Ansätze unterschiedlicher Generationen (in Anlehnung an [48]) /  
Figure 7. Stage-gate approaches of different generations (adapted from [48])

Dies führt zu einer Fokussierung auf das Ergebnis jeder Phase, wodurch alle Aufgaben am Ende einer Phase erledigt sein müssen, bevor mit der nächsten Phase begonnen werden kann. Neben den dadurch entstehenden zeitlichen Verzögerungen wird an diesem Vorgehen auch die Konzentration auf ausschließlich technische Aspekte kritisiert.

In der zweiten Generation von Stage-Gate-Modellen werden nicht technische Erfolgsfaktoren wie Marketingaspekte bei den Meilensteinen stärker berücksichtigt. Dadurch wird die Marktorientierung forciert und die Wahrscheinlichkeit eines Produkterfolgs erhöht. Außerdem können einzelne Aktivitäten in den Phasen parallelisiert werden. Dies erhöht zwar den Abstimmungsaufwand, kann aber gleichzeitig eine Zeitersparnis mit sich bringen. Eine Überlappung der Phasen ist aber nach wie vor nicht vorgesehen.

Das Potenzial zur Zeitersparnis durch überlappende Phasen nach *Takeuchi* und *Nonaka* [49] ist in Bild 8 angedeutet. Dieses Konzept greift *Cooper* in der dritten Generation von Stage-Gate-Prozessen auf. Dadurch wird der starke Bezug von Aktivitäten der Produktentwicklung und ihrer zeitlichen Abfolge aufgelöst. Außerdem werden Planänderungen durch eine flexiblere Gestaltung der Meilensteine besser berücksichtigt.

#### 4.2 Allgemeines Modell der Produktentwicklung

Aus den dargelegten Zusammenhängen wird im Folgenden ein generelles, für die Aufgabenvielfalt gemäß Abschnitt 3.1 allgemein anwendbares Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren abgeleitet.

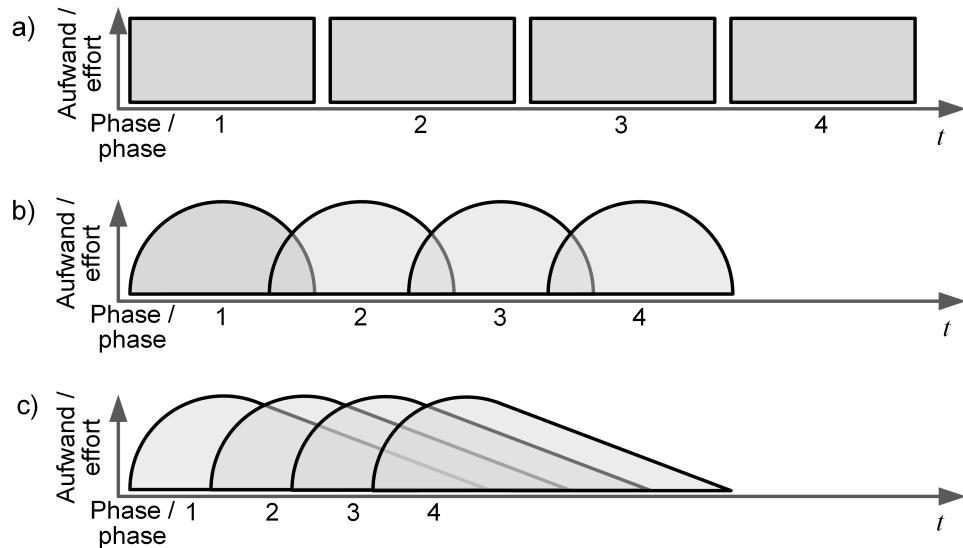


Bild 8. Sequenzielle (a) und überlappende Phasen (b und c) (in Anlehnung an [49]) /  
Figure 8. Sequential (a) and overlapping phases (b and c) (adapted from [49])

Für Modelle zur Beschreibung eines generischen Vorgehens im Rahmen der Produktentwicklung gilt das gleiche wie für alle Modellbeschreibungen: Sie geben die Realität nur abstrahiert und reduziert für einen vorher definierten Zweck wieder.

Produktentwicklungsmodellen ist gemein, dass sie die Abläufe in der Produktentwicklung wie beim Stage-Gate-Prozess in eine idealisierte Form von einzelnen, sequenziell aneinandergereihten Arbeitsschritten mit einer Hierarchie von Phasen und untergeordneten Aktivitäten sowie dabei entstehenden Zwischenergebnisse untergliedern. Details zu zeitlichen Aspekten wie die tatsächliche Dauer, der Aufwand und die Überlappung oder die Anzahl an Wiederholungen von einzelnen Arbeitsschritten werden oftmals vereinfacht, da diese sehr stark von den bereits angesprochenen Kontextfaktoren abhängen.

Je nach Faktoren und Verwendungszweck existieren unterschiedliche Inhalte und Umfänge, die in Prozessabläufen betrachtet werden. Daraus ergeben sich unterschiedliche Darstellungsformen zur Beschreibung des Vorgehens. Auch wenn Vorgehensmodelle manchmal ähnliche Inhalte haben, so kann deren Darstellung dennoch stark variieren.

Bild 9 zeigt exemplarisch unterschiedliche Darstellungsarten von Abläufen innerhalb der zwei Dimensionen Detaillierungsgrad und Formalisierungsgang.

Vielen Darstellungsformen ist gemein, dass sie zur besseren Lesbarkeit eine starre und oftmals ideale Sequenzialität des Vorgehens suggerieren. Dies entspricht aber weder der Intention der Darstellungen noch der Realität. Entsprechend sind gedanklich Iterationsschleifen und Parallelisierungen zu ergänzen.

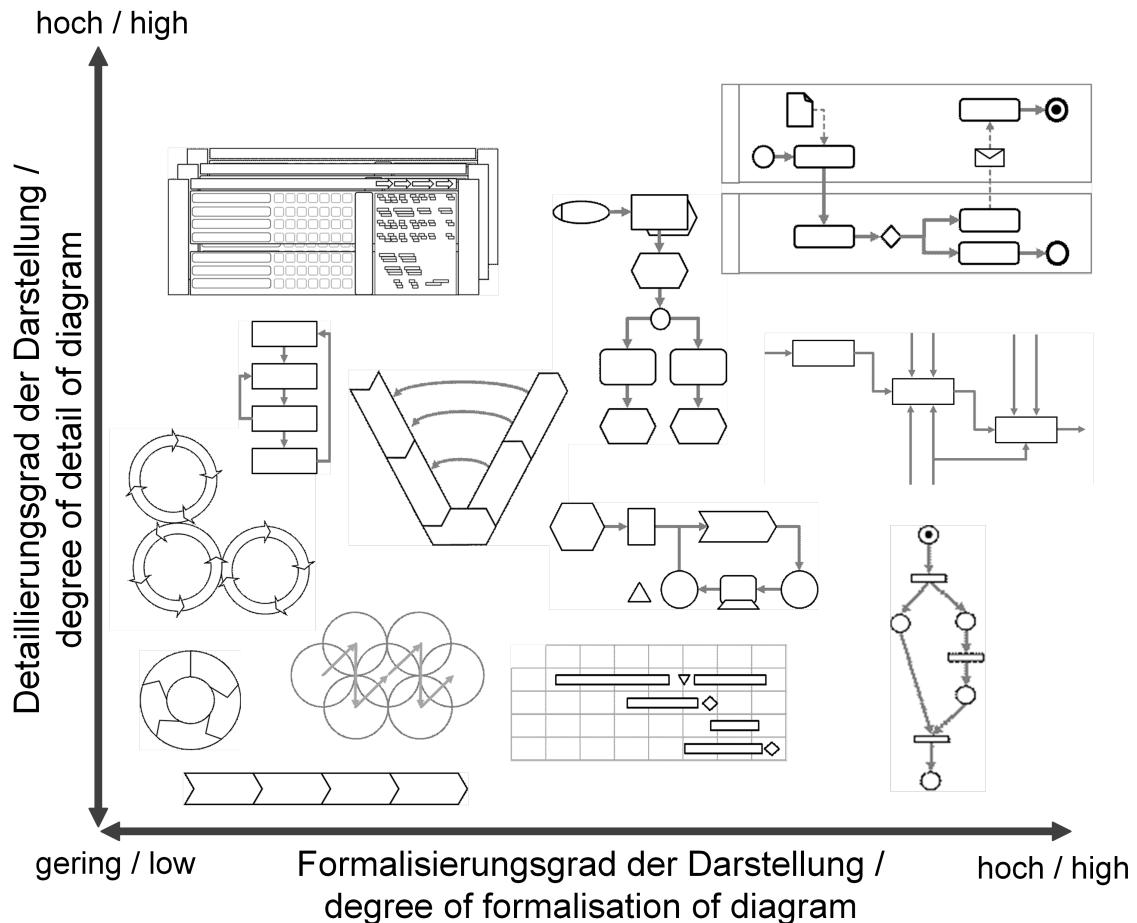


Bild 9. Unterschiedliche Darstellungsarten von Abläufen

Die Beispiele in Bild 9 reichen von einfachen, nicht standardisierten grafischen Elementen zur Darstellung einfacher Zusammenhänge bis hin zu standardisierten Prozessbeschreibungen mittels Petrinetzen und verschiedenen Diagrammen, die aufgrund ihres hohen Formalisierungsgrads auch maschinell verarbeitbar sind und zur Simulation oder sogar Steuerung von Abläufen verwendet werden können. Solche Darstellungen werden häufig bei konkreten Vorgehensbeschreibungen verwendet. Allgemeiner verwendbare Vorgehensmodelle bedienen sich hingegen einer nicht formalisierten, einfachen, grafischen Darstellung der Abläufe.

So verfügen einfache Flussdiagramme über einen geringen Detaillierungs- und Formalisierungsgrad, während das 3-Zyklen-Modell der Produktentstehung [22] oder Netzwerke wie das „Münchener Vorgehensmodell“ [6] einen ganzheitlicheren Ansatz verfolgen. Einen höheren Grad der Formalisierung geben branchenspezifische Darstellungen wie das V-Modell der Richtlinie VDI 2206, mit dem sich mechatronische Systeme hinsichtlich ihres funktionalen Aufbaus aus Modulen (Systemelemente, Bauteile) betrachten lassen. Matrixorientier-

te Modelle wie das integrierte Produktentstehungsmodell (iPeM) [47] geben dem Anwender eine detaillierte Orientierung durch die Beschreibung der Schritte in Mikro- und Makroaktivitäten. Als Vertreter der hoch formalisierten Darstellungsformen, die sowohl vom Menschen leicht lesbar als auch von Rechnern leicht verarbeitbar sind, sind unter anderem die „Ereignisgesteuerte Prozesskette“ (EPK), die „Structured Analysis and Design Technique“ (SADT) sowie die „Business Process Model and Notation“ (BPMN) zu nennen.

Basierend auf den dargelegten Beschreibungen und insbesondere auf der matrixorientierten Struktur des iPeM stellt Bild 10 ein Vorgehen als allgemeines Produktentwicklungsmodell mit einfachen grafischen Mitteln dar. Wenn die Darstellung in Bild 10 auch sequenziell erscheint, so werden die Arbeitsabschnitte doch eng verzahnt und je nach Aufgabenstellung vollständig, nur zum Teil oder auch mehrmals iterativ durchlaufen. Auf diesen Sachverhalt wird in VDI 2221 Blatt 2 näher eingegangen. Dort wird aufgezeigt, wie aus dem allgemeinen Modell der Produktentwicklung ein konkreter Ablauf in einem realen Projekt werden kann. Dieser Inhalt von VDI 2221 Blatt 2 ist in Bild 10 auf der rechten Seite angedeutet.

Bild 11 zeigt zusätzlich, wie das charakteristische Pendeln zwischen den verschiedenen Aktivitäten im Rahmen eines realen Produktentwicklungsprozesses zu unterschiedlichen Zeitabschnitten stattfinden kann.

Das in Bild 10 dargestellte allgemeine Modell der Produktentwicklung wird hier in Aktivitäten untergliedert, die das Vorgehen beim Entwickeln überschaubar, rationell und branchenunabhängig machen. Das Gesamtvorgehen zur Konzeptentwicklung, Detaillierung und Ausarbeitung wird in Aktivitäten gegliedert, aus denen erforderliche Arbeitsergebnisse hervorgehen.

Die (Zwischen-)Ergebnisse werden entlang des gesamten Vorgehens jeweils mit den (sich ebenfalls weiterentwickelnden) Anforderungen abgeglichen und je nach Fortschritt entweder durch virtuelle (Berechnung, Simulation) oder reale Absicherungen (Versuch, Test) oder auch mit einer Mischung aus beiden geprüft. In der Praxis werden oft einzelne Aktivitäten zu Entwicklungsphasen zusammengefasst, an denen sich terminliche oder organisatorische Ablaufpläne orientieren können.

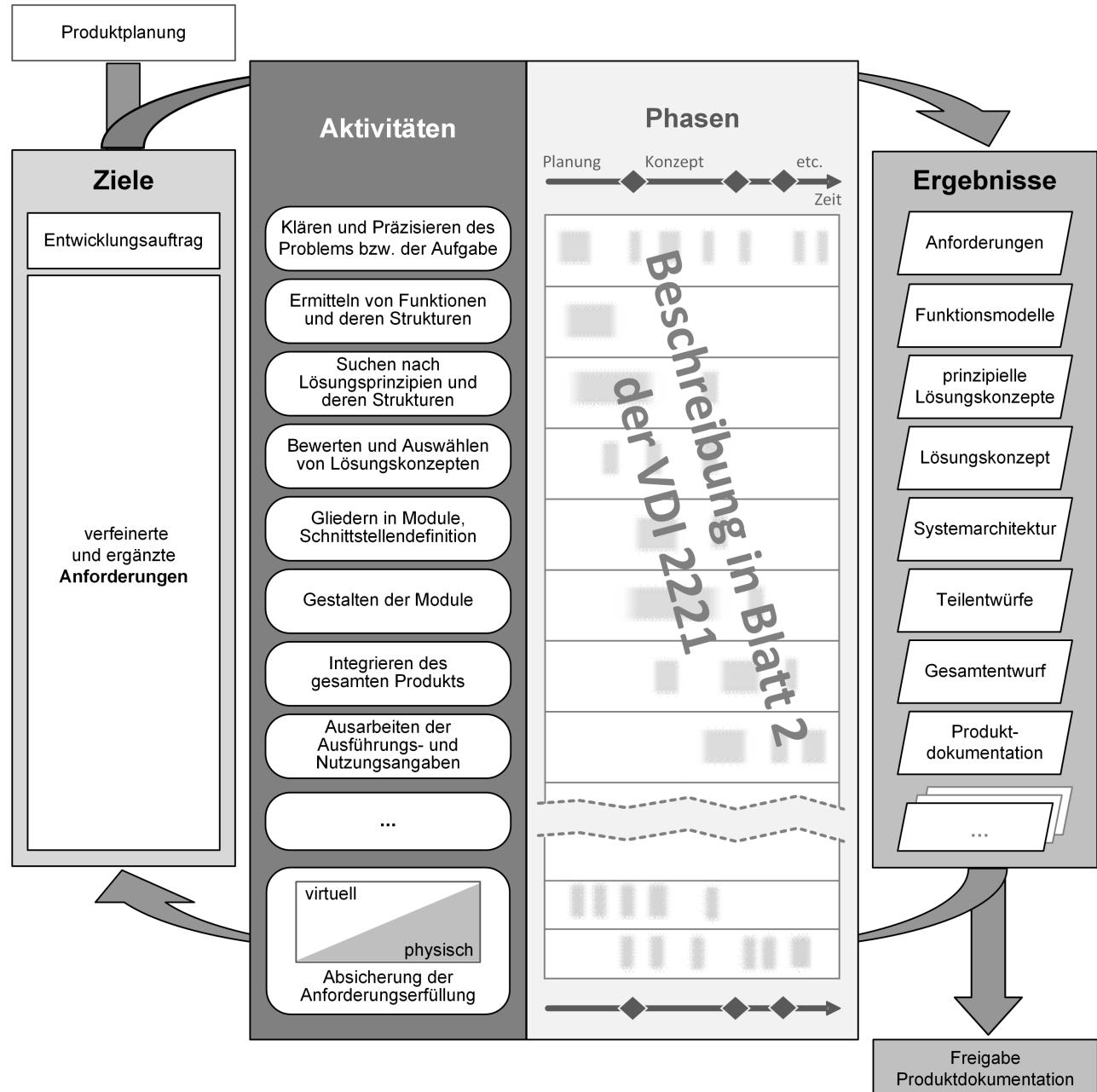


Bild 10. Allgemeines Modell der Produktentwicklung

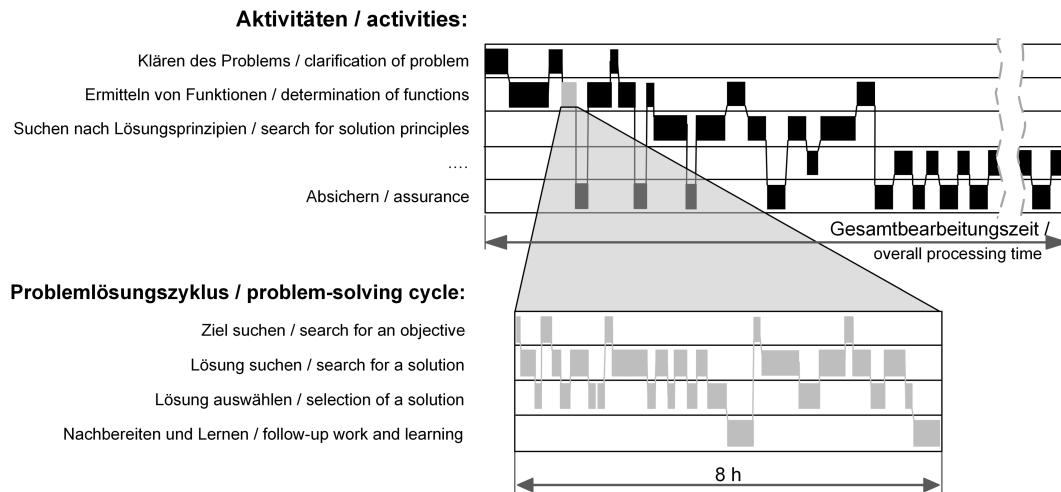


Bild 11. Pendeln zwischen verschiedenen Aktivitäten der Produktentwicklung bzw. der Problemlösung (in Anlehnung an [18]) /

Eine solche Zusammenfassung in Phasen kann je nach Produkt, Branche und Organisation im Unternehmen auf unterschiedlich Art und Weise erfolgen, sowie auch andere Begriffe verwenden. Weitere Details dazu sind in VDI 2221 Blatt 2 beschrieben.

#### 4.2.1 Ziele und Anforderungen

Ausgangspunkt für die Produktentwicklung ist oft eine unternehmensexterne oder auch -interne Produktplanung, welche eine je nach Projektsituation mehr oder weniger detaillierte Beschreibung eines Entwicklungsauftrags als Ergebnis hat. Die Bandbreite kann dabei vom namentlich benannten Auftraggeber und Kunden bis hin zur Entwicklung für abstrakte Kundengruppen oder Marktsegmente reichen. Ein Entwicklungsauftrag kann somit eine große Bandbreite aufweisen und sowohl Ideen, Wünsche, Visionen, Ziele usw. als auch bereits detaillierte Anwendungsfälle, Anforderungen zu Funktionen, Merkmalen oder Eigenschaften und Schnittstellen des Produkts beinhalten.

Der Auftraggeber steht meist nur stellvertretend für die Bedürfnisse von Personen(gruppen) oder Organisationen, die an dem zu entwickelnden Produkt irgendein Interesse haben bzw. davon in irgendeiner Art und Weise betroffen sein werden. Das können z.B. die Benutzer, Bediener, Betreiber, Besitzer, aber auch die Entwickler, Hersteller, Verkäufer, Lieferanten, Käufer, Entsorger, Gesetzgeber oder auch nur die Betrachter eines Produkts sein. Sie alle haben sehr unterschiedliche Anforderungen an das Produkt und werden als Personengruppen häufig mit dem englischen Begriff „Stakeholder“ (Interessensvertreter, Wissensträger, Betroffene, Anspruchsberichtigte) zusammengefasst, der auch meist im Deutschen verwendet wird.

Anforderungen werden damit nicht nur an gesamten Produkt oder an seinen einzelnen Bestandteilen und Schnittstellen gestellt, sondern auch an den mit dem Produkt verbundenen Phasen des Produktlebenszyklus sowie auch an Entwicklungsprojekt selbst (z.B. zu Kosten, Terminen, Vertragsfragen).

Damit wird deutlich, dass Anforderungen nicht nur zu Beginn der Produktentwicklung erhoben und dokumentiert werden, sondern dass diese in unterschiedlichen Detaillierungsgraden kontinuierlich verfeinert, abgeleitet und gegebenenfalls auch immer wieder aktualisiert und geändert werden müssen.

In der Praxis werden definierte Teile von Anforderungen zu bestimmten Meilensteinen freigegeben und eingefroren, um die Entwicklungsdauer nicht aufgrund fortlaufender Änderungen unbestimmt zu machen. Ein wichtiger Grund für das Einfrieren von Anforderungen ist vor allem auch die arbeitsteiligen Prozesse der Produktentwicklung. Anforderungen sind in der Regel eine zentrale Kommunikationsbasis, wenn Lösungen durch mehrere beteiligte Personen, Bereiche oder Unternehmen parallel oder aufeinanderfolgend erarbeitet werden.

Ein extern eingebrachter Auftrag wird in der Regel als rechtlich verbindliches Vertragsdokument in Form eines Lastenhefts formuliert. In diesem sollen nach DIN 69901-5 die „vom Auftraggeber festgelegte Gesamtheit der Forderungen an die Lieferungen und Leistungen eines Auftragnehmers innerhalb eines Auftrags“ enthalten sein. Im weiteren Verlauf der Produktentwicklung wird dann als Antwort darauf ein Pflichtenheft erstellt, welches die „vom Auftragnehmer erarbeiteten Realisierungsvorgaben auf der Basis des vom Auftraggeber vorgegebenen Lastenhefts“ enthält (siehe auch VDI 2519 Blatt 1).

Anforderungen sollten sowohl untereinander als auch zu den Lösungselementen sowie zu „Aktivitäten der Absicherung“ nachvollziehbar vernetzt werden. Die mit der Dokumentation und Pflege der Anforderungen verbundenen Aktivitäten werden auch als Anforderungsmanagement bezeichnet. Diese Nachvollziehbarkeit herzustellen und im Laufe der Entwicklung auch kontinuierlich zu pflegen, kann sehr aufwändig sein, erzeugt aber die Möglichkeit, die Auswirkung von Fehlern oder Änderungen schneller beurteilen zu können. Deshalb wird sie z.B. bei der Entwicklung von sicherheitskritischen Produkten meist vorgeschrieben. Daher werden diese Aktivitäten durch spezielle Softwarewerkzeuge des Anforderungsmanagements unterstützt.

Von besonderer Bedeutung ist der Bezug zwischen Anforderungen und der Analyse bzw. der Absicherung der entwickelten Ergebnisse. Jede Anforderung gibt das zu erreichende Ziel (Soll) vor, mit dem ein Ergebnis (Ist) irgendwann abgeglichen werden muss (Soll-Ist-Vergleich). Zu jeder Anforderung sollte deshalb auch beschrieben sein, von wem, wie und womit geprüft wird, ob diese Anforderung erfüllt ist.

Weitere Informationen zum Erheben, Analysieren, Dokumentieren, Strukturieren, Abstimmen, Bewerten und Prüfen von Anforderungen finden sich unter anderem in [48; 49].

#### **4.2.2 Aktivitäten und Ergebnisse**

Im Folgenden werden Aktivitäten der Produktentwicklung vorgestellt. Sie können je nach Komplexität der Aufgabenstellung noch in weitere Teilaktivitäten untergliedert werden. Als wichtige Aussage sei hier noch einmal wiederholt, dass die Aktivitäten nicht starr nacheinander ablaufen müssen, sondern durch Zurückgehen auf vorangegangene Abschnitte häufig iterativ durchlaufen werden, um schrittweise bessere Lösungen oder Optimierungen zu erreichen.

Abhängig von der Entwicklungsaufgabe (siehe Abschnitt 4.1.1) sind Aktivitäten im Rahmen einer Produktentwicklung in unterschiedlicher Intensität notwendig (siehe dazu VDI 2221 Blatt 2). Die beschriebenen Entwicklungsabläufe müssen im Unternehmen organisatorisch eingebunden sein, was auf unterschiedliche Art und Weise erfolgen kann. Festzulegen sind hierzu die Ablauforganisation des Entwicklungsprozesses, dessen Aufbauorganisation und ein leistungsfähiges Informationsmanagement. Besonders letzteres wird stark vom Rechnereinsatz geprägt (Abschnitt 6). Ablauf- und Aufbauorganisation sollen für unterschiedliche Aufgabenstellungen flexibel anpassbar bzw. veränderbar sein und durch ein geeignetes Projektmanagement und Änderungsmanagement unterstützt werden.

##### **4.2.2.1 Klären und Präzisieren des Problems bzw. der Aufgabe**

Anforderungen gehören nicht nur zu den Zielen, sondern sind zugleich auch ein Ergebnis von Aktivitäten, die rund um das Klären und Präzisieren des Auftrags bzw. der Aufgabe oder des Problems stattfinden. Zu diesen Aktivitäten gehören z.B. das Zusammenragen aller verfügbaren Informationen zum Produktkontext und das Erkennen von Informationslücken, das Überprüfen und Ergänzen der erhaltenen Anforderungen, das Hinzufügen eigener Anforderungen bzw. das bewusste Formulieren des Problems aus Sicht des Entwicklers einschließlich

bereits möglicher und notwendiger Strukturierungen und dem Planen des weiteren Vorgehens.

Eine Formulierung und vor allem Präzisierung des zu lösenden Problems erleichtert die Lösungssuche, weil mit dieser Beschreibung der Kern des Problems und die zu beachtenden Anforderungen – ohne Vorfixierung auf Lösungen in der Sprache, den Bildern oder den Modellen des Bearbeiters – ausgedrückt werden können. Ein zentrales Arbeitsergebnis ist dabei auch eine strukturierte Sammlung von Anforderungen.

Die Anforderungen sind für alle folgenden Aktivitäten eine begleitende, weiter zu verfeinernde und stets auf dem aktuellen Stand zu haltende Informationsbasis. Erkenntnisse während des Entwicklungsablaufs können dazu führen, dass bestehende Anforderungen geändert sowie neue Anforderungen hinzugefügt werden müssen. Entsprechend der zentralen Bedeutung von Anforderungen müssen Änderungen bzw. Ergänzungen an den Anforderungen fortlaufend und konsequent durchgeführt und dokumentiert werden sowie zugleich auch immer gegenüber Änderungswünschen der Produktplanung bzw. des Auftraggebers hin offen sein. Die Definition und Verwendung der Anforderungen endet auch nicht mit der Freigabe der Entwicklungsdokumentation, sondern sie setzt sich auch mit der Realisierung des Produkts fort.

#### **4.2.2.2 Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen**

Eine weitere zentrale Aktivität im Rahmen der Produktentwicklung besteht im Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen. Insbesondere bei Neuentwicklungen oder grundsätzlichen Problemlösungen kann eine funktionsorientierte Herangehensweise helfen, den Suchraum zu erweitern und die Suche nach alternativen oder innovativen Lösungsprinzipien unterstützen. Funktionen bilden zudem die Grundlage für verbreitete Entwicklungsmethoden wie die Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse (FMEA).

Funktionen definieren, was das Produkt oder ein Bestandteil davon tut bzw. tun soll. Neben rein technischen Funktionen, die z.B. durch physikalische oder mathematische Zusammenhänge als Gleichungen beschrieben werden, müssen in soziotechnischen Systemen jedoch noch weitere Arten von Funktionen betrachtet werden. Funktionen werden deshalb oftmals in einer einfachen „Objekt-Verb-Form“ (z.B. „Energie bereitstellen“) beschrieben. In soziotechnischen Systemen werden neben den auf den Zweck des Produkts fokussierenden technischen Gebrauchsfunktionen (z.B. „Drehbewegung erzeugen“) zusätzlich auch noch sogenann-

## Geltungsfunktionen (z.B. „Wertigkeit ausstrahlen“) betrachtet, zu denen z.B. die Anmutung, Ästhetik oder Symbolik eines Produkts zählen (VDI 2803 Blatt 1). Darüber sollten neben erwünschten Zweckfunktionen auch unerwünschte Störfunktionen (z.B. „Lärm verursachen“) unterschieden werden, damit auch dafür Lösungen zu ihrer Vermeidung oder Minderung ermittelt werden können. Alle Arten von Funktionen können zusätzlich noch nach Haupt- und Nebenfunktionen unterschieden werden, um die Relevanz von einzelnen Funktionen hervorzuheben.

Bei einfachen Produkten genügt oft eine rein verbale Beschreibung in Form von Funktionslisten. Für komplexere Produkte mit umfangreicheren Energie-, Stoff- und Informationsflüssen kommen hingegen Funktionsmodelle, wie hierarchisch strukturierte Funktionsdiagramme (Funktionshierarchien, Funktionsbäume) aus Gesamt- und Teifunktionen sowie graphen- oder matrizenorientierte Funktionsstrukturen zum Einsatz, welche die netzwerkartigen Beziehungen zwischen Funktionen besser verdeutlichen. Eine solche – zunächst möglichst technologieneutrale – Beschreibung aller Funktionen, in der verschiedene funktionsorientierte Zusammenhänge im Hinblick auf die zu entwickelnden Bestandteile des Produkts geordnet werden, wird auch als funktionale Architektur bezeichnet. Sie dient als Grundlage für die spätere Gestaltung der logischen Architektur sowie der physischen Produktarchitektur.

Die Richtlinie VDI 2803 Blatt 1 sowie Literatur zur Produktentwicklung [18; 21] und zur Anwendung der UML oder SysML [12] zeigen, wie Funktionen und deren Architekturen beschrieben werden können. Dabei zeigen Untersuchungen, dass insbesondere durch die integrative Betrachtung von Funktion und Gestalt komplexe technische Fragestellungen bearbeitet werden können [5].

### **4.2.2.3 Suchen nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen**

Für die festgelegten Funktionen oder Gruppen von Funktionen folgt das Suchen nach Lösungsprinzipien und ihren Strukturen. Dabei werden zunächst Lösungsprinzipien für die wesentlichen Teifunktionen gesucht. Hierzu müssen in einem ersten Schritt natürliche (physikalische, chemische, elektrische ...) oder andere Effekte (z.B. Algorithmen aus der Informationstechnik) ausgewählt werden.

Anschließend müssen diese Effekte durch sogenannte wirkstrukturelle Festlegungen (Wirkprinzipien) realisiert werden. Bei mechanischen Bestandteilen betreffen solche wirkstrukturellen Festlegungen z.B. die Geometrie (Wirkgeometrie), die Be-

wegung (Wirkbewegung) oder die Werkstoffart. Die für Teilstrukturen gefundenen Wirkprinzipien können anschließend zu Wirkstrukturen verknüpft werden, die das Lösungsprinzip zum Erfüllen der Gesamtfunktion beschreiben. Dabei können z.B. wieder weitere Funktionen (Nebenfunktionen oder unerwünschte Funktionen) erkennbar werden, die die Realisierung bestimmter Effekte bzw. Lösungsprinzipien erst möglich machen oder auch verhindern. Die Kombination von Wirk- bzw. Lösungsprinzipien zu Gesamtlösungskonzepten kann beispielsweise durch die Methode des „Morphologischen Kastens“ unterstützt werden. Die Richtlinie VDI 2222 Blatt 1 beschreibt weitere Details zum Suchen nach Lösungsprinzipien und zum Beschreiben von Wirkstrukturen.

Arbeitsergebnisse der Suche nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen sind eine oder mehrere prinzipielle Lösungen, die die Wirkstruktur zum Erfüllen einzelner Funktionen oder der ganzen Funktionsstruktur des zu entwickelnden Produkts darstellen. Die prinzipiellen Lösungen können als verbale Beschreibungen, Prinzipskizzen, Diagramme, Zeichnungen oder Modelle dokumentiert werden und bilden zusammen ein oder auch mehrere prinzipielle Lösungskonzepte. Die Lösungskonzepte stellen die logische Architektur des Produkts dar.

#### **4.2.2.4 Bewerten und Auswählen des Lösungskonzepts**

Aufgrund der kontinuierlichen Überprüfung der Ergebnisse gegenüber den Anforderungen wird die Menge möglicher Lösungen zwar bereits fortlaufend eingeschränkt, in der Regel bleiben aber dennoch unterscheidbare Alternativen von prinzipiellen Lösungskonzepten übrig, die alle die zuvor definierten Anforderungen erfüllen. Da eine Detaillierung aller Alternativen aus zeitlichen oder finanziellen Gründen meist nicht möglich ist, muss es demnach bewusste Aktivitäten zur Bewertung und Auswahl der vielversprechendsten Lösungskonzepte geben.

Dazu gilt es, zunächst geeignete Bewertungskriterien zu definieren. Dies erfolgt z.B. durch eine Gewichtung der bereits vorhandenen Anforderungen. Es kann jedoch auch erforderlich sein, dass zusätzlich weitere Kriterien definiert werden müssen. Oft sind diese Kriterien, mit denen der Aufwand (Kosten oder Zeit) und der Nutzen eines prinzipiellen Lösungskonzepts sowie damit gegebenenfalls verbundene Risiken zum weiteren Bewerten herangezogen werden.

Das Durchführen von Bewertungen kann je nach Komplexität und Ziel der Bewertung durch unterschiedliche Methoden (paarweiser Vergleich, ABC-

Analyse, SWOT-Analyse, Nutzwertanalyse o.Ä.) unterstützt werden [10; 18].

Häufig beruhen diese Bewertungsmethoden auf einer verbalen oder einer mathematischen Gegenüberstellung der Lösungskonzepte in einfachen Tabellen oder auch komplexeren Matrizen. Da jedoch auch für Bewertungen ähnliche Merkmale (Intransparenz, Vernetztheit, Dynamik) wie für Probleme gelten, können die meisten Bewertungen letztlich nicht frei von subjektiven Einflüssen durchgeführt werden. Deshalb sind auch bei mathematischen Verfahren die resultierenden Bewertungsergebnisse stets zu hinterfragen und keinesfalls dogmatisch als unveränderbar hinzunehmen. Insbesondere bei geringem Unterschied in den Bewertungsergebnissen sollten letztlich auch Erfahrung und Intuition bei der finalen Entscheidung für ein Lösungskonzept mit einfließen.

Die Entscheidungen und die Ergebnisse jeder Bewertung sollten ebenso wie der Weg dorthin mit all ihren dafür definierten Parametern dokumentiert werden. Nicht nur, weil dies dem Nachweis eines einwandfreien Vorgehens dient, sondern auch weil diese Informationen oft im Rahmen von später stattfindenden Iterationen erneut verwendet und dann untereinander verglichen werden können.

#### **4.2.2.5 Gliedern in Module – Schnittstellendefinitionen**

Sind die auszuarbeitenden Lösungskonzepte ausgewählt, werden diese in zu realisierende Module gegliedert, bevor deren weitere, in der Regel arbeitsaufwändige Konkretisierung erfolgt.

Arbeitsergebnis ist eine Systemarchitektur (modulare Struktur, modulare physische Produktarchitektur), welche die funktionale und die logische Architektur (Funktionsstruktur und Wirkstruktur) aus früheren Aktivitäten weiterentwickelt und die angestrebte Lösung in die für deren Realisierung wesentlichen Gruppen und Elemente (Teilsysteme und Systemelemente) gliedert, einschließlich deren Verknüpfungen (Schnittstellen). Darstellungsformen können z.B. Anordnungsskizzen, Graphen, Logikpläne, Struktogramme oder UML- bzw. SysML-Diagramme sein.

Eine Modularisierung vor den arbeitsintensiven Gestaltungsschritten vorzunehmen ist insbesondere bei komplexen Produkten wichtig, um eine effiziente Aufteilung der Entwicklungsarbeit zu erleichtern und durch Strukturierung bestimmte Entwicklungsschwerpunkte besser erkennen und lösen zu können.

Module können disziplinspezifisch (Mechanik, Elektrik/Elektronik, Software) oder nach arbeitstechnisch-pragmatischen Gesichtspunkten auch

disziplinübergreifend (mechatronische Systeme) gebildet werden.

An dieser Stelle verzweigt sich eine Produktentwicklung oft in parallele Entwicklungslinien, in denen einzelne Module im Wesentlichen parallel und getrennt voneinander, aber zugleich auch untereinander koordiniert entwickelt werden (siehe Abschnitt 4.3).

#### **4.2.2.6 Gestalten der Module**

Die Aktivität „Gestalten der Module“ führt zu einem wichtigen Konkretisierungs- bzw. Realisierungssprung durch das Detaillieren der für die Produkt- bzw. Systemoptimierung maßgebenden Module. Hierbei hat es sich als zweckmäßig erwiesen, den Konkretisierungs- und Vollständigkeitsgrad der geometrischen, stofflichen und/oder informationstechnischen Festlegungen nur so weit zu treiben, dass ein Erkennen und Auswählen eines Gestaltungsoptimums möglich werden. Es wird hierbei auch von einem Vorgestalten oder Grobgestalten gesprochen.

Auch diese Aktivität kann für einzelne Module getrennt erfolgen.

Arbeitsergebnis sind Vorentwürfe für die maßgebenden Module, die als grobe maßstäbliche Zeichnungen, CAD-Modelle, Stromlaufpläne, Datenmodelle, Programmablaufpläne u. Ä. dargestellt sein können.

#### **4.2.2.7 Integrieren des gesamten Produkts**

Im Rahmen der Integration 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 und zu einem Produkt zusammengeführt.

Es wird bei diesem Abschnitt auch von einem „Endgestalten“ oder „Feingestalten“ gesprochen. Insbesondere die Festlegung der in früheren Aktivitäten noch nicht realisierten Module ist durch Auswahl bekannter bzw. handelsüblicher Elemente wie Normteile oder Standardkomponenten möglich.

Arbeitsergebnis ist ein Gesamtentwurf, der alle wesentlichen gestalterischen Festlegungen zur Produktrealisierung enthält. Darstellungsformen sind vor allem maßstäbliche Zeichnungen, ausgearbeitete CAD-Modelle, vorläufige Stücklisten, Instrumentenfließbilder u. Ä.

#### **4.2.2.8 Ausarbeiten der Ausführungs- und Nutzungsangaben**

Das Ausarbeiten der Ausführungs- und Nutzungsangaben überlappt insofern mit vorhergehenden

Aktivitäten, weil in diesen Aktivitäten bereits wesentliche Festlegungen zur fertigungstechnischen Realisierung sowie zum Produktgebrauch getroffen wurden.

Arbeitsergebnis ist die Produktdokumentation mit Herstellungs-, Nutzungs- und Zertifizierungsangaben, z. B. in Form von technischen Zeichnungen, CAD-Modellen, Programmcode-Dokumentationen, Stücklisten, Fertigungs-, Montage-, Prüf- und Transportvorschriften, Betriebsanleitungen oder Benutzerhandbüchern, Recycling- und Entsorgungsanleitungen. An dieser Stelle sei auf die Bedeutung des Änderungswesens hingewiesen, das je nach Änderungsnotwendigkeiten auch in anderen Aktivitäten stattfinden muss. Rationale Änderungsmöglichkeiten, insbesondere durch Rechnerunterstützung, sind für die Kosten und den Zeitablauf in Produktentwicklung und Fertigung besonders wichtig.

#### **4.2.2.9 Absichern der Anforderungserfüllung**

Unter dem Begriff der „Absicherung der Anforderungserfüllung“ fallen alle Aktivitäten der Analyse, die zum Abgleich von Ergebnis und Ziel (bzw. den Anforderungen) kontinuierlich als einer der wesentlichen Bestandteile der Produktentwicklung durchgeführt werden.

Darunter fallen alle Berechnungs-, Simulations-, Versuchs- und Testaktivitäten eines Entwicklungsprojekts von der Materialerprobung bis hin zu Versuchen oder Dauerlauftests. Dabei kann zusätzlich zwischen der Verifikation und der Validierung unterschieden werden. Unter Verifikation ist die Analyse zu verstehen, ob eine Realisierung mit den Anforderungen in der Spezifikation übereinstimmt. Unter Validierung ist hingegen die Analyse zu verstehen, ob das Produkt für seinen Einsatzzweck geeignet ist bzw. den Bedarf und Nutzen aus Sicht der Stakeholder auch wirklich erfüllt (siehe VDI 2206).

Bei der Validierung müssen sowohl Ergebnisse als auch Ziele den eigentlichen Bedarfen und den zukünftigen Anwendungsfällen gegenübergestellt werden. Hierfür sind die Einflüsse der Stakeholder und die Umgebung des Produkts oder seiner Teile in Form von geeigneten Modellen abzubilden. Ein Ansatz hierzu in der Forschung und Anwendung ist „X-in-the-Loop“ [25].

Die verwendeten Modelle können je nach Validierungszweck und Reifegrad – wie auch das zu untersuchende System selbst – in physischer (Prototyp) oder virtueller Form (Simulationsmodell) vorliegen.

Häufig vorkommende Mischformen werden als gemischt physisch-virtuelle Absicherung bezeichnet.

net. Dabei findet die Absicherung kontinuierlich im Entwicklungsprozess statt und detailliert zugleich auch die Ziele und Anforderungen. Häufig werden durch die Erkenntnisse aus der Absicherung zudem auch neue Entwicklungsaktivitäten initiiert, wodurch die Absicherung eine zentrale Aktivität der Produktentwicklung darstellt.

#### **4.3 Aktivitäten in Wechselwirkung mit der Produktentwicklung**

Abschnitt 4.2 beschreibt ein allgemeines Produktentwicklungsmodell und die wesentlichen Aktivitäten und Ergebnisse, die im Laufe eines Produktentwicklungsprojekts von Bedeutung sein können.

Neben diesen projektbezogenen Aktivitäten sind meist weitere unterstützende Elemente erforderlich, um eine Produktentwicklung sowohl im Rahmen eines Prozesses als auch innerhalb einer Organisation zum Erfolg zu führen.

Diese Elemente werden im Folgenden kurz dargestellt.

Bild 12 zeigt im Zentrum die projektbezogenen Kernaktivitäten des allgemeinen Produktentwicklungsmodells.

Diese werden ergänzt durch:

- Design to/for X fokussiert auf besondere Restriktionen, Nebenbedingungen oder Entwicklungsziele, die während der Entwicklung neben der reinen Funktionserfüllung als zusätzliche Anforderungen zu berücksichtigen sind. Für weitere Ausführungen siehe Abschnitt 4.3.1.
- Begleitaktivitäten stellen im weiteren Sinne ebenfalls projektbezogene Aktivitäten dar. Als Komponenten der operativen Ablauforganisation bilden sie den prozessbegleitenden Rahmen für die Kernaktivitäten des Produktentwicklungsmodells. Hierzu zählen insbesondere das Projektmanagement, Änderungsmanagement, Konfigurationsmanagement, Qualitätsmanagement und Kostenmanagement, siehe Abschnitt 4.3.2.
- Querschnittsaktivitäten stellen projektunabhängige oder -übergreifende Aktivitäten in einer Produktentwicklungsorganisation dar. Als Komponenten der strategischen Ablauforganisation bilden sie den grundlegenden Rahmen der Produktentwicklung. Hierzu zählen das Prozessmanagement, Variantenmanagement, Wissensmanagement, Technologiemanagement und Innovationsmanagement, siehe Abschnitt 4.3.3.

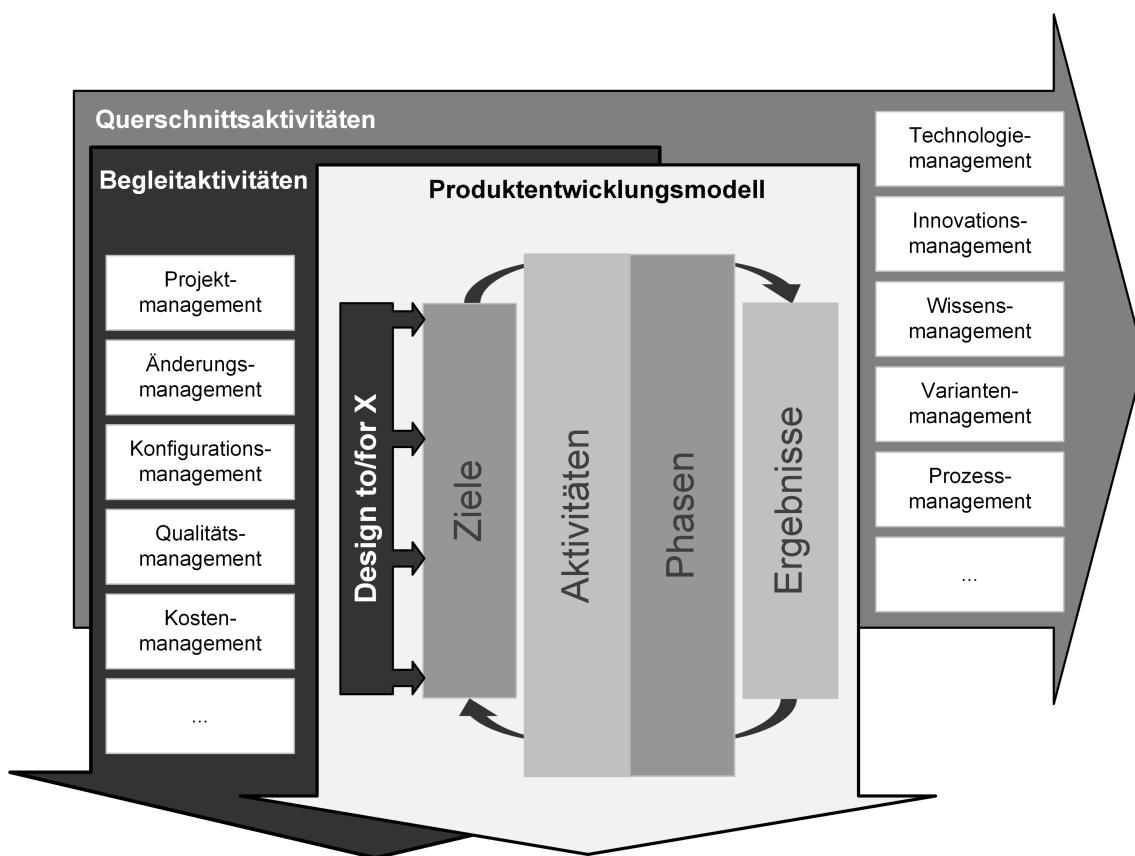


Bild 12. Unterstützende Elemente der Produktentwicklung

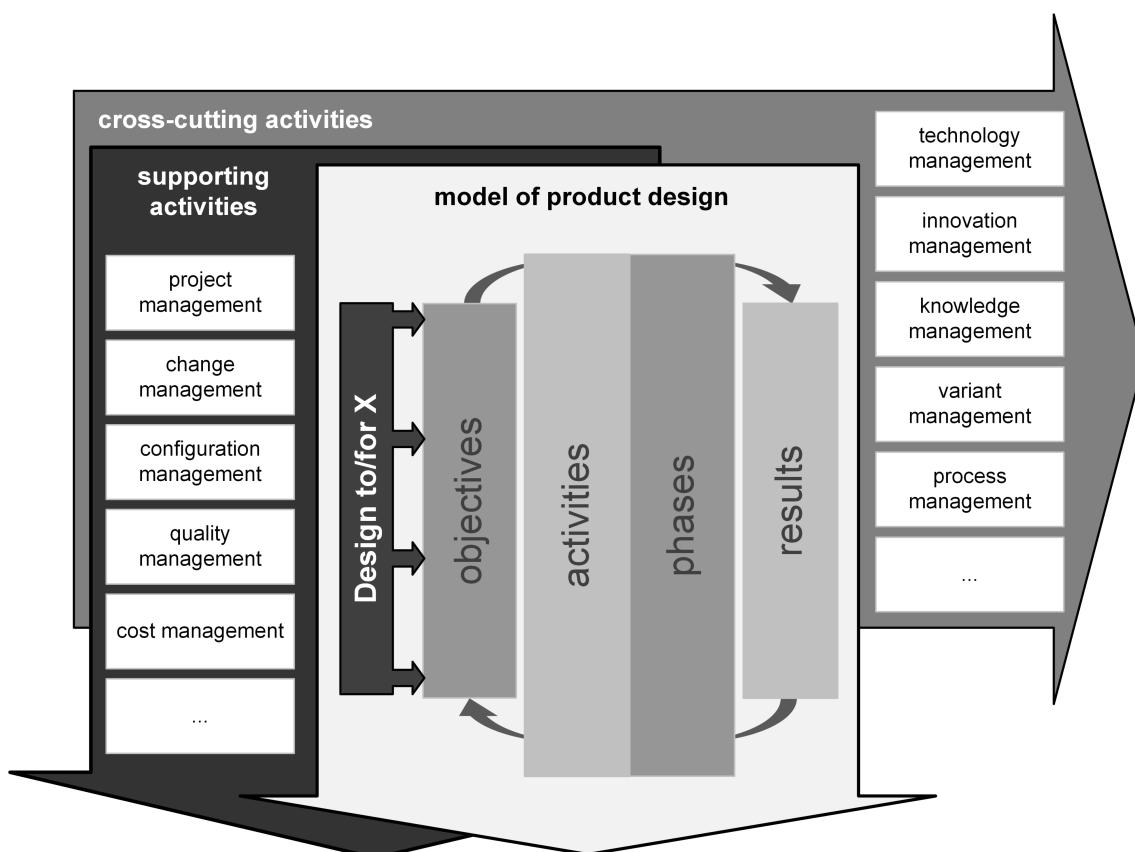


Figure 12. Supporting elements of product design

#### 4.3.1 Design to/for X

Das in Abschnitt 4.2 vorgestellte generelle Vorgehen unterliegt in der Anwendung einer Vielzahl von Einflüssen und Entwicklungsz Zielen, die neben den Hauptzielen Qualität, Kosten und Zeit stehen bzw. diese konkretisieren. Derartige Restriktionen werden oft durch sogenannte „Design-to-X“- oder „Design-for-X“-Prinzipien adressiert und neben die Hauptziele gestellt. Das „X“ beschreibt dabei das jeweilige Entwicklungsziel (z.B. Bewertungskriterium, gegebenenfalls Gruppe von Soll-Eigenschaften). *Hubka* [50] definiert „Design for X“ als Wissenssystem, in dem die Erkenntnisse, wie einzelne Eigenschaften technischer Systeme beim Konstruieren zu erreichen sind, gesammelt und geordnet werden.

„Design-to-X“-Prinzipien sind in der Regel auf Schwerpunktziele des Entwicklungsprozesses selbst (z.B. Design to Safety) gerichtet, während „Design-for-X“-Prinzipien Folgeeffekte oder -prozesse des Entwicklungsprozesses adressieren (z.B. Design for Manufacturing; Design for Assembly).

Jedes dieser Entwicklungsprinzipien wird beschrieben durch Richtlinien und Methoden, die entlang des Entwicklungsprozesses (auch im Sinne von Begleitaktivitäten gemäß Abschnitt 4.3.2) zur Anwendung kommen können, und bildet somit ergänzende Sichten auf das beschriebene generelle Vorgehen. Die Wichtigkeit der einzelnen Entwicklungsziele hängt von der jeweiligen Entwicklungs-aufgabe und ihren Kontextfaktoren ab (Abschnitt 4.1.1). So wird insbesondere bei Neuentwicklungen zunächst ein Fokus auf die Funktionserfüllung gelegt, während andere „Design-for/to-X“-Prinzipien wie Kosten oder Gewicht erst nachträglich optimiert werden.

Eine besondere Herausforderung stellt die in der Regel erforderliche Kombination mehrerer Entwicklungsprinzipien dar, denn die entsprechenden Richtlinien oder Methoden können zu sich einander widersprechenden Anforderungen führen (Zielkonflikte). Zudem sind die Entwicklungsprinzipien insbesondere in den frühen Phasen der Entwicklung zu berücksichtigen, in denen die Einflussmöglichkeiten auf die Produktlösungen und -kosten am größten sind. Simultaneous-Engineering-Konzepte (Abschnitt 4.1.3) müssen die organisatorischen Randbedingungen dazu bereitstellen, beispielsweise durch Simultaneous-Engineering-Teams oder -Workshops.

Tabelle 3 fasst wesentliche Entwicklungsziele und -prinzipien zusammen und gibt Hinweise auf weiterführende Richtlinien oder Literatur.

Tabelle 3. Design to/for X in Wechselwirkung mit der Produktentwicklung

„Design to/for X“-Prinzipien und Kurzbeschreibung	Quellen
<b>Design for Manufacture</b> beschreibt die fertigungsgerechte Produktgestaltung, die Belange aller Bereiche berücksichtigt, welche die Teile und Baugruppen bis zur Montagereife vorbereiten [53].	[17; 20]
<b>Design for Manufacture</b> kann mit <b>Design for Assembly</b> zu <b>Design for Manufacture and Assembly</b> zusammengefasst werden. In der Praxis wird DFMA oft als bedeutendstes „Design for X“-Prinzip gesehen [53].	
<b>Design for Assembly</b> beschreibt die montagegerechte Produktgestaltung, bei der Produkte bereits in frühen Entwicklungsphasen so gestaltet werden, dass sie mit minimalem Montageaufwand bei gleichzeitig minimalen Herstellkosten hergestellt werden können [53].	[17; 20; 54; 55]
<b>Design to Ergonomics</b> beschreibt die ergonomiegerechte Produktgestaltung, die auf eine eigenschafts-, fähigkeits-, fertigkeits- und bedürfnisgerechte Ausgestaltung der Beziehungen zwischen Mensch und technischem Erzeugnis durch konstruktive Maßnahmen zielt [56].	VDI 2242
<b>Design to Safety</b> beschreibt die sicherheitsgerechte Produktgestaltung, gegebenenfalls auch im Sinne geltender Rechts- und sonstiger Vorschriften [57].	DIN 31000, VDI 2244
<b>Design for Maintenance</b> beschreibt die Gestaltung instandhaltungs- und servicegerechter Produkte.	VDI 2246 Blatt 1 und Blatt 2
<b>Design for Recycling</b> zielt auf eine recyclinggerechte Produktgestaltung und trägt damit der steigenden Bedeutung von Lebenszyklusaspekten und Ressourcenschonung Rechnung.	VDI 2243
<b>Design for Six Sigma</b> zielt auf eine strukturierte Vorgehensweise und Methodenanwendung in der Produktentwicklung mit dem Ziel, durch präventive Maßnahmen fehlerfreie Produkte sicherzustellen.	[20]


Zusätzlich zu den „Design for/to X“-Ansätzen“ hat das Industriedesign allgemein bei immer mehr Produkten großen Einfluss auf die Anforderungen, Aktivitäten und Ergebnisse der Produktentwicklung.

Viele Einflüsse auf das Produkt ergeben sich nicht ausschließlich bzw. nicht direkt aus den technischen oder wirtschaftlichen Entwicklungszielen,

sondern insbesondere aus den physischen, psychischen oder sozialen Bedürfnissen von Menschen/Nutzern [51].

In der Umsetzung ergonomischer oder formalästhetischer Entwicklungsziele berücksichtigen Industriedesigner insbesondere die Mensch-Maschine-Schnittstelle und dabei z.B. auch gezielt die Altersgruppe, das Geschlecht, die Kultur oder Historie verschiedener Stakeholder. Sie steigern somit die Qualität des Produkts mit einer ganzheitlichen, insbesondere auf den Menschen und seine Bedarfe ausgerichteten Sicht auf das Produkt (siehe VDI/VDID 2424).

Industriedesigner müssen deshalb möglichst früh in den Produktentwicklungsprozess eingebunden werden. Ihre über weite Teile des Entwicklungsprozesses überlappenden und im Vergleich zum Ingenieur oftmals auch ähnlichen Aktivitäten erfordern darüber hinaus eine kontinuierliche und intensive Abstimmung des Vorgehens in der gesamten Produktentstehungsphase [52].

#### **4.3.2 Begleitaktivitäten**

Das in Abschnitt 4.2 beschriebene allgemeine Modell der Produktentwicklung umfasst den operativen Kernentwicklungsprozess eines Produkts mit Aktivitäten vom Klären und Präzisieren des Problems als Eingangsinformation der Produktplanung bis zur Produktionsfreigabe.

Begleitend zu diesem Kernprozess sind jedoch weitere projektbezogene Begleitaktivitäten erforderlich, um ein Entwicklungsprojekt hinsichtlich seiner Vielzahl an Zielen (siehe Abschnitt 3.4) erfolgreich abzuwickeln. Hierbei ist Kommunikation und Teamwork ein zentrales Element (siehe Abschnitt 3.2.3).

So unterscheidet die ISO/IEC/IEEE 15288 im Systems Engineering ca. 30 Teilprozesse in den Prozessgruppen *Technische Prozesse*, *Technische Managementprozesse*, *Organisatorische Projektunterstützungsprozesse* und *Vertragsprozesse*, von denen sich die frühen technischen Teilprozesse mit dem Kernentwicklungsprozess aus Abschnitt 4.2 überdecken.

Die darüber hinausgehenden technischen Teilprozesse adressieren über den Rahmen dieser Richtlinie hinausgehende Lebenszyklusphasen, während Teilprozesse der weiteren Prozessgruppen im Wesentlichen Begleitprozesse im Sinne dieses Abschnitts darstellen.

Tabelle 4 stellt wesentliche projektbezogene Begleitaktivitäten dar und gibt Hinweise auf weiterführende Richtlinien oder Literatur.

Tabelle 4. Begleitaktivitäten in Wechselwirkung mit der Produktentwicklung

Begleitaktivität und Kurzbeschreibung	Quellen
<p><b>Projektmanagement</b> ist in der DIN 69901 als Gesamtheit von Führungsaufgaben, der Projektorganisation, der Techniken und der Mittel für die Abwicklung eines Projekts definiert.</p> <p>In der Produktentwicklung befasst sich Projektmanagement entsprechend mit den organisatorischen Aspekten eines Projekts (z. B. Aufbauorganisation, Ablauforganisation, Projektcontrolling).</p>	DIN 69901-1, ISO/IEC/IEEE 16326, [11]
<p><b>Änderungsmanagement</b> umfasst nach DIN 69901 allgemein die Organisation, Verwaltung und Abwicklung von Änderungsanträgen während des Projektverlaufs.</p> <p>In der Produktentwicklung beschreibt Änderungsmanagement Funktionen und Prozesse, die in einer Organisation etabliert werden, um Änderungen an Produkten der Organisation kontrolliert und dokumentiert vorzunehmen.</p>	DIN 69901-1
<p><b>Konfigurationsmanagement</b> ist in der DIN ISO 10007 als eine Managementtätigkeit definiert, die die technische und administrative Leitung des gesamten Produktlebenszyklus, der Konfigurationseinheiten des Produkts und der produktkonfigurationsbezogenen Angaben übernimmt.</p> <p>In der Anwendung beinhaltet Konfigurationsmanagement sowohl Teile des Varianten- als auch des Änderungsmanagements.</p>	DIN ISO 10007
<p><b>Qualitätsmanagement</b> ist in der DIN EN ISO 9000 Qualitätsmanagement allgemein definiert als aufeinander abgestimmte Tätigkeiten zum Leiten und Lenken einer Organisation bezüglich Qualität.</p> <p>In der Produktentwicklung befasst sich Qualitätsmanagement entsprechend mit dem Einsatz von qualitätsorientierten Methoden und Werkzeugen in Entwicklungsprojekten.</p>	[20], DIN EN ISO 9000
<p><b>Kostenmanagement</b> beschreibt allgemein einen Managementprozess, in dem insbesondere die Kosten in einem Unternehmen analysiert und zielgerichtet beeinflusst werden.</p> <p>In der Produktentwicklung werden in der Regel 70 % bis 80 % der Produktkosten festgelegt [18]. Daher ist Kostenmanagement hier von besonderer Bedeutung.</p>	VDI 2234, VDI 2235, [18]


#### 4.3.3 Querschnittsaktivitäten

Neben dem operativen und auftragsbezogenen Kernentwicklungsprozess nach Abschnitt 4.2 und den ebenfalls operativen und auftragsbezogenen

Begleitaktivitäten nach Abschnitt 4.3.1 sind weitere (auftragsunabhängige bzw. -übergreifende) Aktivitäten erforderlich, um Produktentwicklungsorganisationen strategisch zu entwickeln und Produktentwicklungsprojekte entsprechend dauerhaft erfolgreich zu gestalten. Diese Querschnittsprozesse gestalten die Rahmenbedingungen einer Produktentwicklungsorganisation.

So finden die operativ geprägten Projekt-, Änderungs- und Qualitätsmanagementaktivitäten hier im Prozessmanagement ihre strategische Entsprechung. Der operativen auftragsbezogenen Gestaltung und Integration von Modulen gemäß Abschnitt 4.2 und dem diesbezüglichen Konfigurationsmanagement gemäß Abschnitt 4.3.1 ist ein strategisches Variantenmanagement zur Seite zu stellen.

Eine weitere wichtige Querschnittsaktivität stellt das Wissensmanagement dar: In wissensorientierten Ansätzen z.B. des Lean Product Development tritt der Wissenswertstrom als gleichberechtigte Säule einer Entwicklungsorganisation neben den Produktwertstrom, die Mehrung des Produktentwicklungswissens entsprechend als Ziel neben den Erfolg von Produktentwicklungsprojekten. Ausprägungen des Wissensmanagements stellen auch die Bereiche des Technologie- und Innovationsmanagements dar, die die Grundlage für zukünftige Produktplanungen bilden.

Tabelle 5 fasst die wesentlichen strategischen Querschnittsaktivitäten zusammen und gibt Hinweise auf weiterführende Richtlinien oder Literatur.

Tabelle 5. Querschnittsaktivitäten in Wechselwirkung mit der Produktentwicklung

Querschnittsaktivität und Kurzbeschreibung	Quellen
<b>Technologiemanagement</b> umfasst die Planung, Durchführung und Kontrolle der Entwicklung und Anwendung von (neuen) Technologien zur Schaffung erfolgswirksamer Wettbewerbsvorteile.	[53]
<b>Innovationsmanagement</b> umfasst die systematische Planung, Steuerung und Kontrolle von neuen Ideen oder Erfindungen mit hohem Innovationspotenzial in Organisationen und damit die Überführung von Technologien und Produktideen in erfolgreiche Produkte auf dem Markt.	DIN CEN/TS 16555-1
<b>Prozessmanagement</b> beschäftigt sich allgemein mit der Identifikation, Gestaltung, Dokumentation, Implementierung, Steuerung und Verbesserung von Geschäftsprozessen.  In der Produktentwicklung sind entsprechend – auch als Teil eines Qualitätsmanagementsystems – Entwicklungsabläufe zu definieren und zu beschreiben, die die Basis für Projektmanagementsysteme und Meilensteinpläne (oft auch Produktentwicklungssysteme genannt) darstellen können.	[24]
<b>Variantenmanagement</b> beschreibt das aktive und übergreifende Gestalten der Produktarchitektur und der variablen technischen Ausprägung von Produkten oder <b>Produktpportfolios</b> . Ziel ist die ein oder mehrere Produkte übergreifende Definition und gegebenenfalls die Standardisierung von Produktbestandteilen durch <b>Baukasten-, Plattform- und Baureihenprinzipien</b> .	[26; 58]
<b>Wissensmanagement</b> wird in der Richtlinie VDI 5610 definiert als das Organisieren aller Prozesse, in denen Informationen, Erkenntnisse und Erfahrungen identifiziert, erzeugt, gespeichert, verteilt und angewendet werden.  In der Produktentwicklung sind entsprechend alle auftragsbezogenen und -übergreifenden Informationen im Fokus des Wissensmanagements.	VDI 5610


## 5 Methoden

Der Begriff „Methode“ beschreibt nach VDI 2223 ein planmäßiges Vorgehen zum Erreichen eines vorher definierten Ziels. Die Forschung bietet Produktentwicklern eine beständig wachsende Zahl an Methoden an. Der Methodenbegriff wird in der Literatur häufig als ein regelbasiertes und geplanter Ablauf von Aktivitäten verstanden [6]. Methoden können somit als die Abfolge chronologisch ablaufender Elemente aufgefasst werden, die eine gewisse Vorgehensweise beschreiben, um ein gegebenes Problem Schritt für Schritt zu lösen [8]. Um Entwickler bei der Erfüllung der vorliegenden Anforderungen zu unterstützen, werden Methoden eingesetzt, die zur Verbesserung des Produkts und des Produktentstehungsprozesses führen [9]. Indem Methoden Handlungsschritte nach bestimmten Regeln vereinheitlichen [18], können sie den Entwicklungsprozess in mehrfacher Hinsicht unterstützen. Der Einsatz geeigneter Methoden bewirkt einerseits die Strukturierung der einzelnen Aktivitäten, wodurch die jeweiligen Ergebnisse nachvollziehbar werden. Zum anderen wird durch den Einsatz geeigneter Methoden Transparenz geschaffen. Zusätzlich können Methoden auch die Kreativität anregen [42].

Jede Aktivität im Rahmen der Produktentstehung verfolgt bestimmte Ziele. Methoden sind Hilfsmittel, die diese Zielerreichung unterstützen [8]. Entsprechend muss die Auswahl einer Methode jeweils aufgabenspezifisch abgestimmt werden [11]. Die Menge von Methoden in der Produktentwicklung lässt sich unter anderem hinsichtlich der Ziele gliedern, deren Erreichung sie unterstützen. *Pahl*

und *Beitz* [21] unterteilen Methoden in allgemein einsetzbare Lösungs- und Beurteilungsmethoden, Methoden zur Produktplanung und Aufgabenklärung, Methoden zum Konzipieren, zum Entwerfen, zum Ausarbeiten und zur qualitätssichernden Produktentwicklung.

Es gibt diverse Arbeiten, in denen Methodensammlungen aufbereitet sind. Hier wird exemplarisch auf die Richtlinie VDI 2223, Methodenhandbücher (z.B. [6; 18; 21; 56]) und digitale Anwendungen nach DIN 31000 verwiesen.

## 6 Rechnerunterstütztes Vorgehen

Produktentstehung ist heute ohne einen umfassenden Einsatz von sich ständig weiterentwickelnder Informations- und Kommunikationstechnik nicht mehr denkbar. Allgemeine Ziele des Rechnereinsatzes im Produktentstehungsprozess sind z.B.:

- eine Beschleunigung des gesamten Produktentstehungsprozesses
- die durchgängige Dokumentation, der rasche Austausch bzw. die einfache Wiederverwendung von Arbeitsergebnissen
- die bessere Nachvollziehbarkeit und Steuerung von Aktivitäten
- die frühe Analyse des Verhaltens von Produkten durch die Nutzung von rechnerunterstützten Berechnungs-/Simulationswerkzeugen
- die Weiterverwendung der Daten in Folgeprozessen, z.B. zur Fertigung mittels CNC- oder Rapid-Prototyping-Verfahren

Zur Realisierung dieser Zielsetzungen finden verschiedene Arten von entwicklungsunterstützenden IT-Werkzeugen Verwendung. Als ein Oberbegriff für viele in der Produktentstehung (sowie teilweise darüber hinaus) eingesetzte Autoren- und Absicherungswerkzeuge wird häufig das Kürzel „CAx“ (Computer Aided) verwendet, wobei „x“ als Platzhalter für einen Begriff der jeweiligen Verwendung steht. Die Grenzen zwischen diesen Werkzeugarten sind heute jedoch meist fließend, da die Werkzeuge immer mehr ineinander integriert werden.

Einige zentrale Werkzeugarten der Produktentwicklung sind in Tabelle 6 dargestellt.

Alle IT-Werkzeuge können im Produktentstehungsprozess nur unterstützend wirken. Es ist stets zu beachten, dass ihre Einführung und ihre effiziente Nutzung nur eingebettet in einem aufgabenangepassten methodischen Gesamtkonzept für die Produktentwicklung möglich sind.

Tabelle 6. IT-Werkzeuge in der Produktentwicklung

Werkzeugart	Quellen
<p><b>Autorenwerkzeuge</b> werden im Produktentwicklungsprozess eingesetzt, um grundlegende funktionale, logische, geometrische und technologische produktrelevante Informationen zu erzeugen. Hierzu zählen z. B. Werkzeuge für das Anforderungsmanagement, die Geometriebeschreibung in der Mechanikdomäne (M-CAD) oder der Elektrik/Elektronikdomäne (E-CAD) oder für die Sofwaredomäne (Computer Aided Software Engineering, CASE).</p>	[16; 59]
<p><b>Absicherungswerkzeuge</b> dienen zur Berechnung und Simulation (Computer Aided Engineering, CAE). Sie werden oft auch zu den Autorenwerkzeugen gezählt bzw. sind direkt darin integriert. Hierzu zählen z. B. Werkzeuge für mechanische oder thermische Berechnungen mittels der Finite Elemente Methode (FEM), für Strömungsberechnungen (Computer Fluid Dynamics, CFD), Mehrkörpersimulationen (MKS) zur Kinematikberechnung oder auch zur Elektronik-/Softwaresimulation (Hardware-in-the-Loop, HiL, sowie Software-in-the-Loop, SiL).</p>	
<p><b>Datenmanagementwerkzeuge</b> verwalten die erzeugten Daten nah an den Autorenwerkzeugen (Team Data Management, TDM) oder übergreifend (Produktdaten Management, PDM) über den ganzen Lebenszyklus (Produkt Lebenszyklus Management, PLM).</p>	


Die bereits im Jahr 1997 von *Spur* und *Krause* formulierte Vision des (vollständig) virtuellen Produkts [60] bzw. der darauf aufbauenden virtuellen Produktentwicklung [29; 61] kann als die möglichst vollständige digitale Repräsentation und Absicherung aller relevanten Eigenschaften eines Produkts ausschließlich mithilfe entsprechender IT-Werkzeuge angesehen werden.

Da die Zusammenhänge in der realen Welt jedoch noch zu komplex sind, um diese heute mit vertretbarem Aufwand vollständig rechnerunterstützt zu beschreiben und abzusichern, kommen auch Zwischenstufen auf dem Weg zur Umsetzung dieser Vision zum Einsatz.

Ein Beispiel ist der sogenannte „X in the Loop“-Ansatz [25], der eine Mischung aus virtuellen und physischen Absicherungsmethoden beinhaltet, die aufgaben- und phasenabhängig auch wechseln können. Die Vielfalt und die Komplexität der Produkteigenschaften sind auch dafür verantwortlich, dass häufig viele verschiedene CAx-Werkzeuge

eingesetzt werden müssen. Dadurch wird der Austausch von Daten zwischen diesen Werkzeugen zu einem zentralen Thema für eine effektive und effiziente Gestaltung des gesamten Produktentstehungsprozesses.

Eine wichtige Grundlage hierfür ist derzeit z. B. der sogenannte Standard for the Exchange of Product Model Data (STEP) (siehe ISO 10303).

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEURE

Entwicklung technischer Produkte und Systeme  
Gestaltung individueller  
Produktentwicklungsprozesse  
Design of technical products and systems  
Configuration of individual product design processes

VDI 2221

Blatt 2 / Part 2

Ausg. deutsch/englisch  
Issue German/English

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

The German version of this standard shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.



Inhalt	Seite
Vorbemerkung .....	2
Einleitung .....	2
<b>1 Anwendungsbereich</b> .....	4
<b>2 Normative Verweise</b> .....	4
<b>3 Begriffe</b> .....	4
<b>4 Spezifische Produktentwicklungsprozesse</b> .....	5
4.1 Modellierung von Produktentwicklungsprozessen .....	6
4.2 Kontextfaktoren der Produktentwicklung .....	10
<b>5 Gestaltung des spezifischen Produktentwicklungsprozesses</b> .....	14
5.1 Analyse des Entwicklungskontexts und Identifikation relevanter Kontextfaktoren .....	14
5.2 Ableiten von Referenzprozessen .....	16
5.3 Gestaltung spezifischer Produktentwicklungsprozesse .....	17
<b>Anhang</b>	
Beispiele .....	20
A1 Automobilzulieferer .....	21
A2 Automobilhersteller .....	22
A3 Maschinenbauunternehmen – Standard- und Sondermaschinen .....	27
A4 Hersteller von Elektrogeräten .....	32
A5 Studentisches Entwicklungsprojekt .....	38
Schrifttum .....	42

Contents	Page
Preliminary note .....	2
Introduction .....	2
<b>1 Scope</b> .....	4
<b>2 Normative references</b> .....	4
<b>3 Terms and definitions</b> .....	4
<b>4 Specific product design processes</b> .....	5
4.1 Modelling product design processes .....	6
4.2 Contextual factors in product design .....	10
<b>5 Configuring the specific product design process</b> .....	14
5.1 Analysis of the design context and identification of relevant contextual factors .....	14
5.2 Deriving reference processes .....	16
5.3 Configuring specific product design processes .....	17
<b>Annex</b>	
Examples .....	20
A1 Automotive suppliers .....	21
A2 Automotive manufacturers .....	22
A3 Mechanical engineering companies – standard and special-purpose machines .....	27
A4 Manufacturers of electrical appliances .....	32
A5 Student design project .....	38
Bibliography .....	42

## Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen ([www.vdi.de/richtlinien](http://www.vdi.de/richtlinien)), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Eine Liste der aktuell verfügbaren Blätter dieser Richtlinienreihe ist im Internet abrufbar unter [www.vdi.de/2221](http://www.vdi.de/2221)

## Einleitung

Die in dieser Richtlinie beschriebene Vorgehensweise zur Erstellung eines unternehmensspezifischen Entwicklungsprozesses resultiert aus dem seit der letzten Fassung der Richtlinie VDI 2221 aus dem Jahr 1993 in der Praxis stark zugenommenen Bedarf nach einer kontextspezifischen Gestaltung von Produktentwicklungsprozessen. In der Industriepraxis wurde ein Ansatz vermisst, der bei der Überführung der in der VDI 2221 bisher dargestellten Logik des Entwickelns und Konstruierens in die unternehmerische Prozesslandschaft im Rahmen der Produktentwicklung unterstützt. Da es aufgrund der Vielzahl identifizierter Kontextfaktoren keine explizite Methode zur Umsetzung der Vorgehenslogik in einen kontextspezifischen Entwicklungsprozess geben kann, wurde eine neuartige, pragmatische Vorgehensweise vorgeschlagen. Diese Vorgehensweise basiert auf einem methodischen Rahmen, der, wie die Beispiele im Anhang zeigen, zu möglichen Entwicklungsprozessen führt, für die jedoch keine umkehrbar eindeutige Zuordnung zwischen Kontextfaktoren und Prozessmerkmalen möglich ist. Die Beispiele zeigen dennoch auf, dass sich Produktentwicklungsprozesse bezüglich ihrer übergeordneten Logik sehr ähnlich darstellen, jedoch gerade bei der Ausgestaltung und Einbindung in das unternehmensspezifische Umfeld verschieden ausfallen. Das bestätigt die Individualisierungsnotwendigkeit jedes Entwicklungsprozesses, der sich nicht aus einer starren Methode mit eindeutigen Ursache-Wirkungs-Beziehungen, wie etwa mit einem Konfigurator, erstellen lässt.

Das in VDI 2221 Blatt 1 beschriebene allgemeine Modell der Produktentwicklung geht von einem systematischen Ablauf der Produktentwicklung

aus, bei dem die Entwicklungstätigkeit in logische Phasen gegliedert wird, die sich durch Ziele, Aktivitäten, Reifegrad und Umfang unterscheiden. Dieses Modell abstrahiert einen realen Entwicklungsprozess. Iterationen oder die zeitgleiche Durchführung verschiedener Aktivitäten, z.B. im Rahmen des Simultaneous und Concurrent Engineering (VDI 2221 Blatt 1, Abschnitt 4.1.3) werden nicht dargestellt. Zur Umsetzung in einem realen Entwicklungsprozess ist die Berücksichtigung spezifischer Kontextfaktoren erforderlich. Kontextfaktoren sind die Faktoren, die Einfluss auf die Produktentwicklung haben und somit bei der Gestaltung des Entwicklungsprozesses berücksichtigt werden müssen. Im spezifischen Kontext eines Unternehmens können die Ziele, Aktivitäten und Ergebnisse von Produktentwicklungsprozessen unterschiedlich sein, jedoch lassen sie sich durch entsprechende Konkretisierungen aus dem allgemeinen Modell der Produktentwicklung ableiten.

Im Blatt 2 wird diese Ableitung aus der in VDI 2221 Blatt 1 beschriebenen allgemeinen Logik des Entwicklungsprozesses in einen spezifischen Entwicklungsprozess behandelt (siehe Bild 1).

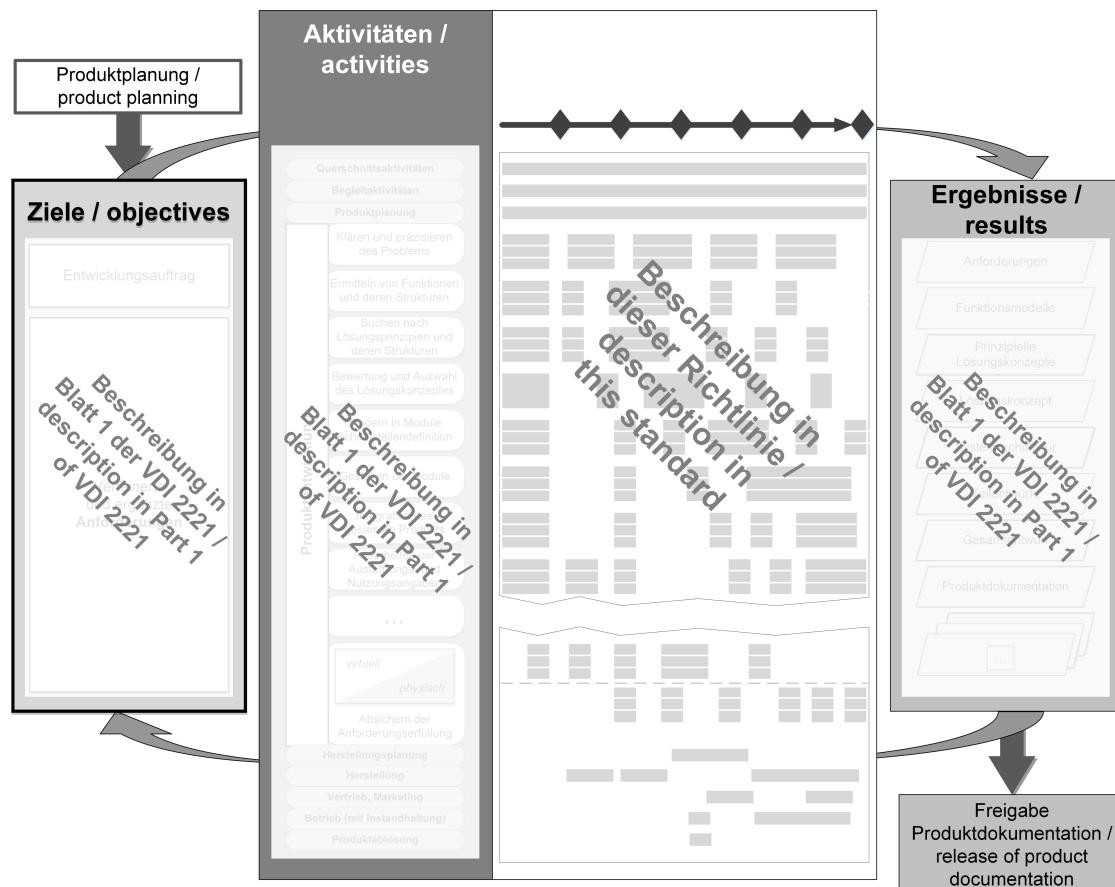


Bild 1. Zusammenhang zwischen VDI 2221 Blatt 1 und Blatt 2 /

Die Anpassung des allgemeinen Modells der Produktentwicklung an einen unternehmensspezifischen Kontext wird nachfolgend als „kontextspezifisches Modell der Produktentwicklung“ oder kurz als „spezifischer Produktentwicklungsprozess“ bezeichnet. Es ist möglich, dass in einem Unternehmen mehrere Modelle für spezifische Produktentwicklungsprozesse existieren, um z.B. den Besonderheiten unterschiedlicher Produktlinien oder einzelner Produkte oder Produktvariationen Rechnung zu tragen.

Da es sich bei der Gestaltung spezifischer Produktentwicklungsprozesse um eine komplexe Aufgabe handelt, wird dem Leser neben einer systematischen Handlungsanleitung (siehe Abschnitt 5) auch eine Orientierungshilfe in Form von fünf repräsentativen Fallbeispielen bereitgestellt (siehe Anhang). Darin werden die fallspezifischen Besonderheiten, aber auch die strukturellen Gemeinsamkeiten zwischen dem allgemeinen Modell der Produktentwicklung und den spezifischen Produktentwicklungsprozessen aufgezeigt. Hierfür wird in Abschnitt 4 zunächst die verwendete Prozessmodellierung dargestellt und die Bedeutung der Kontextfaktoren aufgezeigt.

## **1 Anwendungsbereich**

Die Grundlagen und Vorgehensweisen der Richtlinienreihe VDI 2221 können auf alle Arten technischer Produkte und Systeme sowie die entsprechenden interdisziplinären Entwicklungs- und Entstehungsprozesse angewendet werden. Für Sonderaspekte und Details der methodischen Produktentwicklung und Lösungsfindung gelten gegebenenfalls zusätzliche VDI-Richtlinien.

Die Zielgruppen dieser Richtlinie sind

- Prozessverantwortliche und Leiter von Entwicklungsprojekten,
- Produktentwickler, Produktmanager und Prozessbeteiligte sowie
- Hochschullehrer und Studierende.

## **2 Normative Verweise**

Das folgende zitierte Dokument ist für die Anwendung dieser Richtlinie erforderlich:

VDI 2221 Blatt 1:2019-11 Entwicklung technischer Produkte und Systeme; Modell der Produktentwicklung

## **3 Begriffe**

Für die Anwendung dieser Richtlinie gelten die Begriffe nach VDI 2221 Blatt 1.

## 4 Spezifische Produktentwicklungsprozesse

Das Vorgehen in der Produktentwicklung unterliegt vielfältigen, miteinander in Wechselwirkung stehenden Kontextfaktoren, die sich zudem mit der Zeit ändern können. Für eine bestimmte Gruppe von Kontextfaktoren kann es mehrere geeignete Produktentwicklungsprozesse geben, umgekehrt kann ein spezifischer Produktentwicklungsprozess für verschiedene Kontexte passend sein. Für die Anpassung des allgemeinen Modells der Produktentwicklung an den jeweiligen Entwicklungskontext können demnach keine eindeutigen Ursache-Wirkung-Beziehungen angegeben werden [1]. Eine automatisierte Prozesskonfiguration ist damit nach heutigem Wissensstand nicht realisierbar. Vielmehr erfordert die Gestaltung des spezifischen Produktentwicklungsprozesses eine den jeweiligen Kontext berücksichtigende Synthese der in VDI 2221 Blatt 1 gezeigten Aktivitäten des allgemeinen Modells der Produktentwicklung mit jenem Prozesswissen, das z.B. in Form von bereits existierenden Referenzprozessen, Prozessdokumentationen oder Erfahrungswissen für das Unternehmen verfügbar ist (siehe Bild 2). Im Rahmen dieser Synthese wird der spezifische Produktentwicklungsprozess je nach Entwicklungsaufgabe entweder individuell oder systematisch durch Adaption von Prozessschritten von den verantwortlichen Organen zugeschnitten.

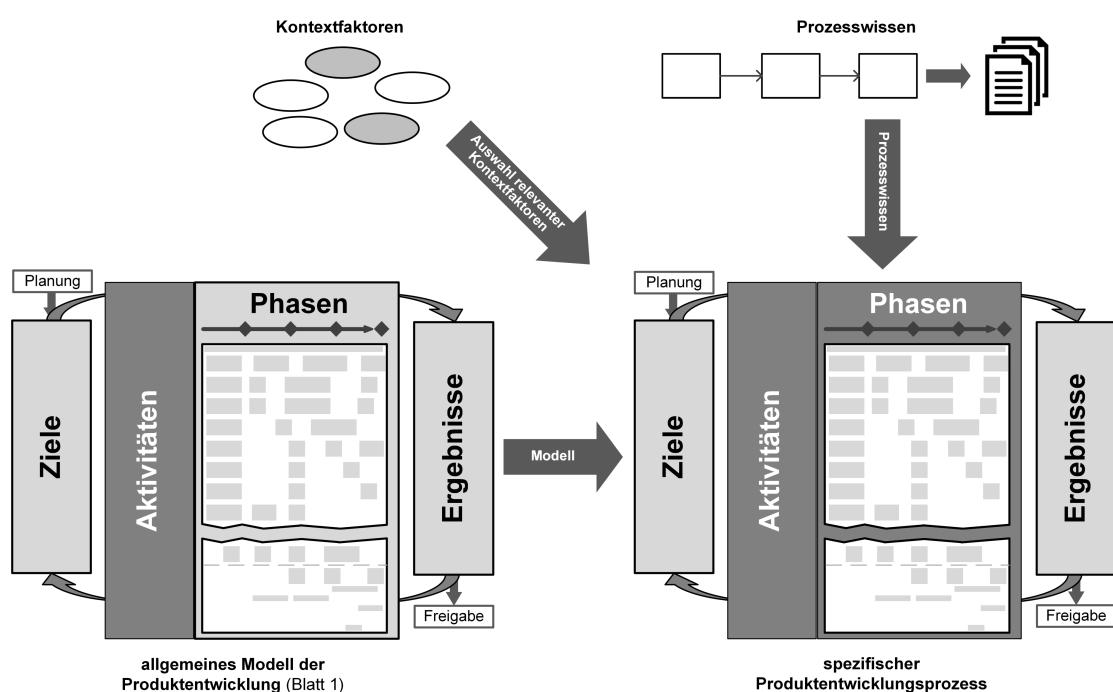
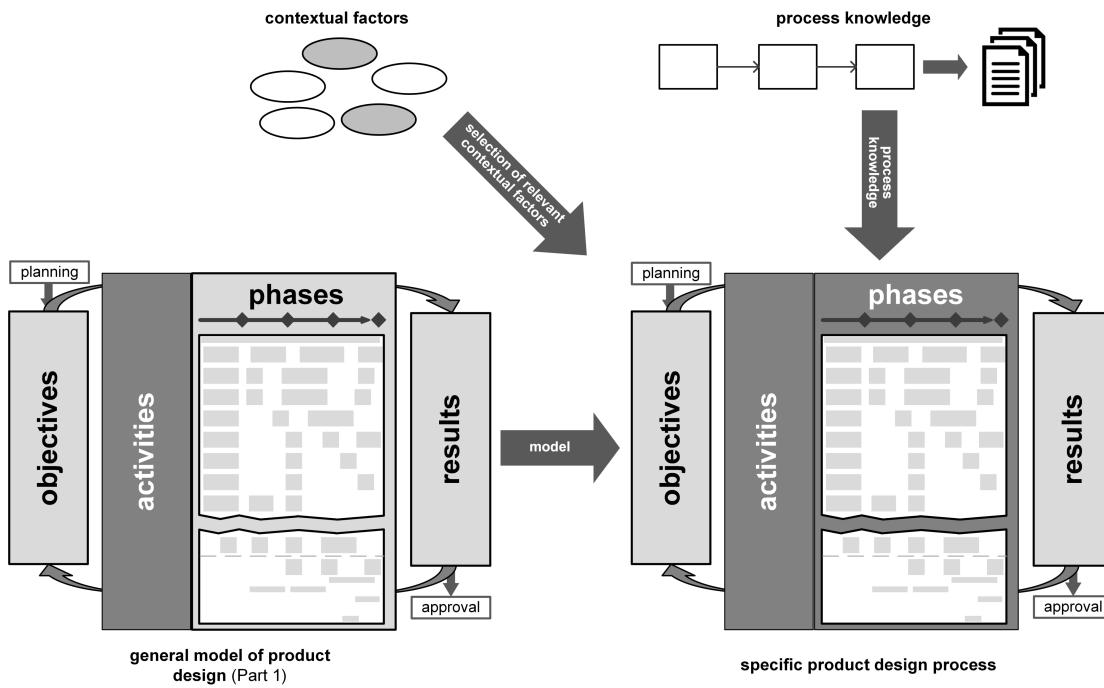


Bild 2. Synthese eines spezifischen Produktentwicklungsprozesses aus dem allgemeinen Modell der Produktentwicklung, Kontextfaktoren und aus verfügbarem Prozesswissen



Hierfür muss er stets im Hinblick auf seine Eignung zur Erreichung der Ziele im vorhandenen Kontext kritisch untersucht und im Falle von identifizierten Unstimmigkeiten und Defiziten angepasst werden. Das allgemeine Modell der Produktentwicklung bietet hierbei eine hilfreiche Orientierung, erleichtert eine durchgängige Begründung und Dokumentation der Prozessgestaltung und ermöglicht es internen und externen Projektbeteiligten, in kurzer Zeit Verständnis des spezifischen Produktentwicklungsprozesses zu erlangen.

#### 4.1 Modellierung von Produktentwicklungsprozessen

Für eine Beschreibung von Entwicklungsprozessen, wie sie im Rahmen der Prozessgestaltung notwendig ist, stehen eine Vielzahl alternativer Modellierungsansätze zur Verfügung (siehe VDI 2221 Blatt 1), z.B.: Integrated Definition Method (IDEF0, IDEF3) [2], Gantt-Diagramm [3], Netzplantechniken (DIN 69900), erweiterte ereignisgesteuerte Prozesskette (eEPK) [4], Design Structure Matrix (DSM) [5; 6], Petri-Netze [7], Signposting [8] sowie Business Process Model and Notation (BPMN).

BPMN (Geschäftsprozessmodell und -notation) ist eine grafische Spezifikationssprache in der Wirtschaftsinformatik und im Prozessmanagement. Sie stellt Symbole zur Verfügung, mit denen Fach-, Methoden- und Informatikspezialisten Geschäftsprozesse und Arbeitsabläufe modellieren und dokumentieren können.

Diese Ansätze ermöglichen es, ergänzende Informationen und Elemente in ein Modell zu integrieren und somit den Prozess mit einer höheren Detaillierung und Formalisierung zu beschreiben. Der Umfang der modellierten Informationen variiert dabei zum Teil erheblich. Informationen, die in einer detaillierten Darstellung berücksichtigt werden können, sind z. B. [9; 10]:

- Eingangsinformationen (Ergebnisse vorherge-

hender Aktivitäten und deren Dokumentationsart etc.)

- Aktivitäten (inklusive deren Abhängigkeiten zueinander sowie Angaben zu Dauer, Kosten etc.)
- Arbeitsergebnisse (inklusive deren Dokumentationsart, Ablageort und gegebenenfalls zusätzliche erforderliche Metadaten)
- Verantwortlichkeit für Eingaben, Aktivitäten und Ergebnisse (Personen, Rollen, Abteilungen)
- Arbeitsmittel (Vorlagen, Computerprogramme, Methoden, Ressourcen etc.)
- Termine
- Aktivitätsfortschritte, Meilensteine
- sonstige weitere Kennzahlen

Entwicklungsprozesse sollen im Unternehmen dafür sorgen, einerseits das Entwicklungsprojekt erfolgreich abwickeln zu können, andererseits den Entwickler selbst während des Prozesses zu unterstützen. Aus dieser Zielsetzung resultiert, dass auch bei der Beschreibung von Entwicklungsprozessen die Perspektiven des Managements und der Entwicklungstätigkeit berücksichtigt werden müssen. Prozessmodelle müssen folglich unterschiedlichen Verwendungszwecken genügen. Mögliche Verwendungszwecke von Prozessmodellen in der Produktentwicklung sind z. B. (nach [11]):

- Prozessvisualisierung  
zur Darstellung und Kommunikation von Aktivitäten, Abhängigkeiten und Zuständigkeiten
- Prozessplanung  
Auswahl von Aktivitäten, Prozessgestaltung und Strukturierung, Koordination von Zuständigkeiten und Ressourcen, Abschätzung und Optimierung von Kennwerten (Kosten, Dauer etc.)
- Prozessdurchführung und Kontrolle  
Fortschrittsbeurteilung, Meilensteine, Prozesskorrektur und -änderung, Ressourcenkontrolle
- Prozessverbesserung  
kontinuierliche Verbesserung des Prozesses, Wissensmanagement, Schulung von Mitarbeitern, Prozessdokumentation und Qualitätssicherung des Prozesses

Je nach Verwendungszweck gibt es einen unterschiedlichen Bedarf an Informationen, die in einem Prozessmodell zu berücksichtigen und darzustellen sind. Die oben genannten Modellierungsansätze sind unterschiedlich gut für die verschiedenen Zwecke geeignet [12].

Zur Darstellung der spezifischen Produktentwicklungsprozesse aus den Fallbeispielen (siehe Anhang) wird die Struktur des integrierten Produktentstehungs-Modells (iPeM) [13] verwendet und in der Terminologie angepasst. Hierdurch sind die strukturellen Gemeinsamkeiten, aber auch die fallspezifische Konkretisierung zwischen dem allgemeinen Modell der Produktentwicklung und den spezifischen Produktentwicklungsprozessen in geeigneter Weise darzustellen. Das spezifische Modell des Produktentwicklungsprozesses (siehe Bild 3) beinhaltet

- die Ziele der Produktentwicklung,
- die Aktivitäten und Phasen der Produktentwick-

lung, sowie

- die Ergebnisse, das heißt die Artefakte, die in den Prozessen entstehen.

Das in Bild 3 gezeigte Prozessmodell basiert zunächst auf den in VDI 2221 Blatt 1 eingeführten Produktlebenszyklusaktivitäten (siehe dort Bild 6) und dem Problemlöseprozess, den Aktivitäten des allgemeinen Modells der Produktentwicklung (siehe dort Bild 10) und den Begleit- und Querschnittsaktivitäten, die sich aus der Einbindung der Produktentwicklung in die unternehmerische Prozesslandschaft ergeben (siehe dort Tabelle 4 und Tabelle 5).

Zur Berücksichtigung der Einbettung der Produktentwicklung in den Produktlebenszyklus kann es erforderlich sein, den spezifischen Produktentwicklungsprozess gegenüber dem allgemeinen Modell der Produktentwicklung um vor- und nachgeschaltete Phasen und Aktivitäten des Produktlebenszyklus zu erweitern (siehe Abschnitt 5 und Anhang). Damit kann auch eine Anpassung der Ein- und Ausgangsgrößen der Produktentwicklung bzw. deren Erweiterung erforderlich werden.

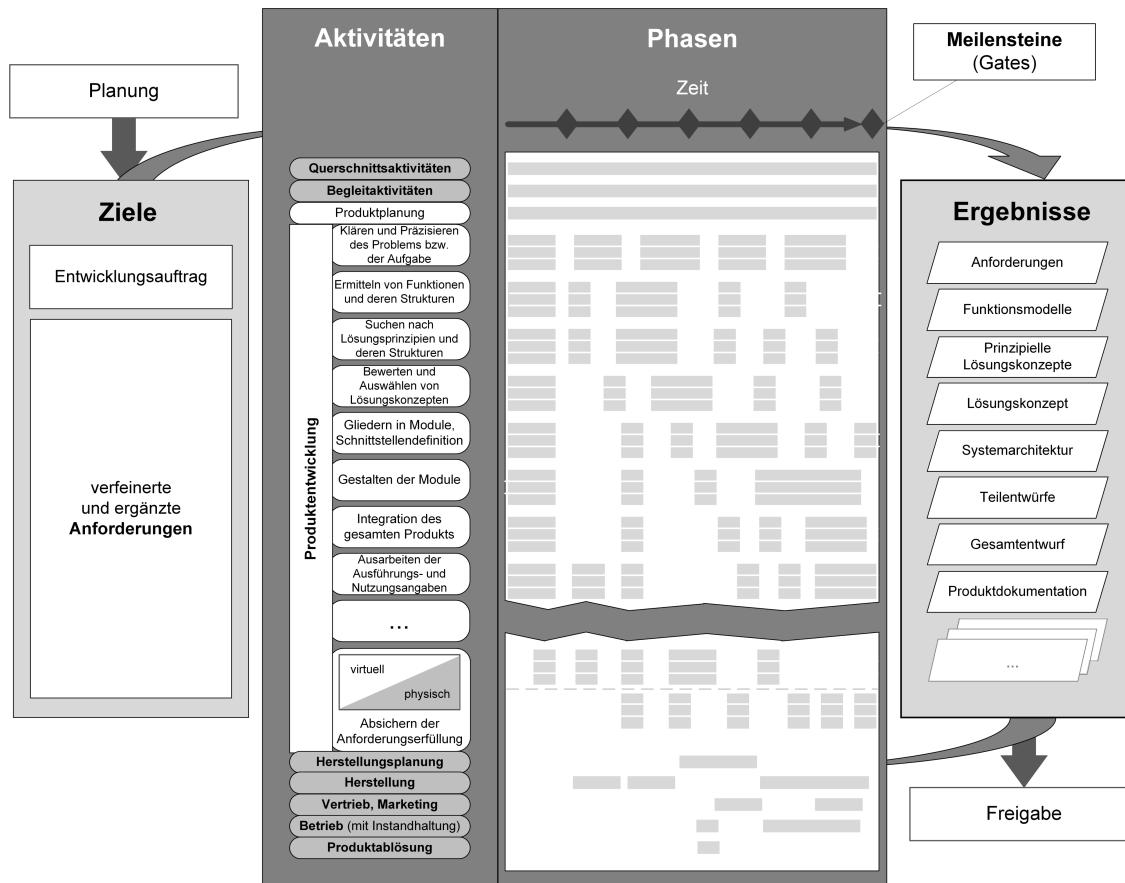
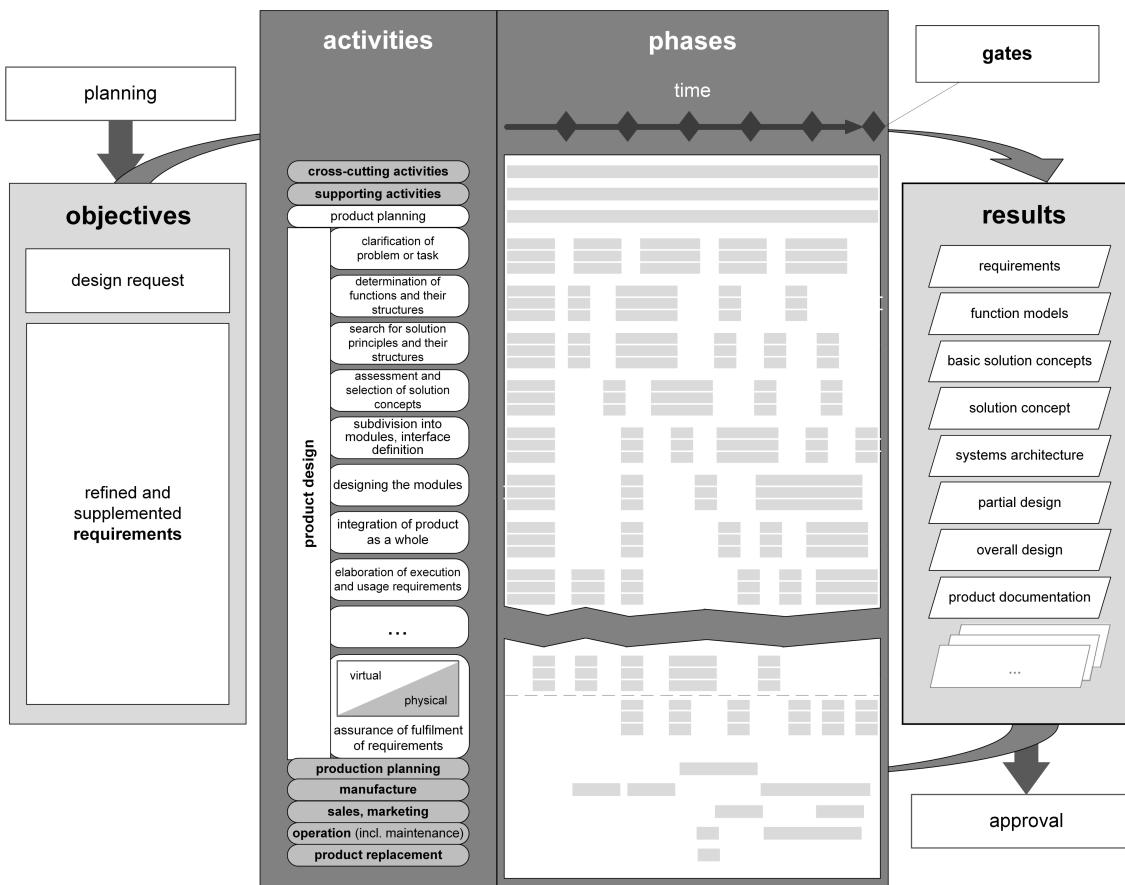


Bild 3. Spezifisches Modell eines Produktentwicklungsprozesses



Während im allgemeinen Modell der Produktentwicklung das Endergebnis durch eine freigegebene Produktdokumentation definiert ist, kann das Ergebnis im spezifischen Entwicklungsprozess auch die Freigabe für eine nachgeschaltete Phase des Produktlebenszyklus, beispielsweise zur Markteinführung, sein. Durch Planung der logischen und zeitlichen Abfolge aller Aktivitäten wird der Produktentwicklungsprozess kreiert. Welche Aktivitäten dabei berücksichtigt werden müssen und wie sie voneinander abhängen, ergibt sich aus dem Kontext und dem Prozesswissen des Unternehmens. Die einzelnen Phasen geben zum einen die zeitliche Zuordnung der Aktivitäten, zum anderen die Abhängigkeit einzelner Aktivitäten zueinander wieder. Durch die Phasenbildung der Aktivitäten entstehen Muster. Typische Muster sind beispielsweise Iterationen, die dann entstehen, wenn Aktivitäten zeitverschoben wiederholt werden. Auf die Muster und deren Deutung wird sowohl allgemein (Bild 6, Abschnitt 5.3) als auch spezifisch in den Fallbeispielen im Anhang näher eingegangen.

## 4.2 Kontextfaktoren der Produktentwicklung

Der Einfluss verschiedener Kontextfaktoren auf die Produktentwicklung und die damit einhergehenden Aktivitäten und Prozesse wurde in empirischen Studien ermittelt [1]. Verallgemeinerbare Wechselwirkungen von Kontextfaktoren und konkreten Ausprägungen von Entwicklungsprozessen sind jedoch nicht umfassend zu beschreiben. Hier wird deshalb nur aufgezeigt, welche Kontextfaktoren grundsätzlich von Bedeutung für einen spezifischen Produktentwicklungsprozess sein können. Anhand von realen Beispielen werden im Anhang spezifische Produktentwicklungsprozesse aus dem allgemeinen Modell der Produktentwicklung abgeleitet und exemplarisch gezeigt, welchen Einfluss einzelne Kontextfaktoren dabei haben. Die Bedeutung verschiedener Kontextfaktoren ändert sich je nach Unternehmen oder Produkt. Aus Sicht des Unternehmens kann zunächst zwischen internen und externen Faktoren unterschieden werden (siehe Bild 4). Externe Kontextfaktoren beziehen sich auf das Umfeld, in dem das Unternehmen agiert.

Die externen Kontextfaktoren können folgenden Ebenen zugeordnet werden:

- makroökonomische Ebene (z. B. Gesellschaft und Umwelt)
- mikroökonomische Ebene (z. B. Markt und Kunde)

Interne Kontextfaktoren beschreiben das operative Umfeld der Produktenwicklung. Interne Kontextfaktoren sind u.a. der Entwicklungsauftrag, individuelle Voraussetzungen und Gruppenvoraus-

setzungen und entsprechen in diesem Modell folgenden Ebenen:

- Organisationsebene (z. B. Unternehmensstruk-

tur und -strategie, Branche)

- Projektebene (z. B. Innovationswesen und Projektmanagement)
- individuelle Ebene (z. B. Wissen und Kompetenzen)

In Tabelle 1 ist eine Übersicht von Gruppen bekannter Kontextfaktoren und die Zuordnung zu den Ebenen dargestellt. Sie kann als Anhaltspunkt bei der individuellen Gestaltung eines spezifischen Produktentwicklungsprozesses dienen.

Der Einfluss dieser Faktoren wurde im Rahmen empirischer Forschung in den Bereichen Produktentwicklung und Entwicklungsmanagement, Projektmanagement, Unternehmensführung, Organisationstheorie und Psychologie nachgewiesen [1].

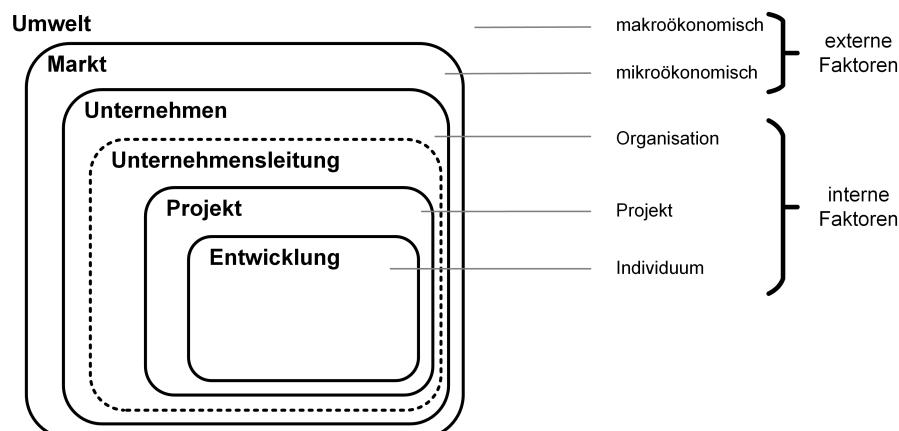


Bild 4. Einteilung der Kontextfaktoren der Produktentwicklung (nach [14])

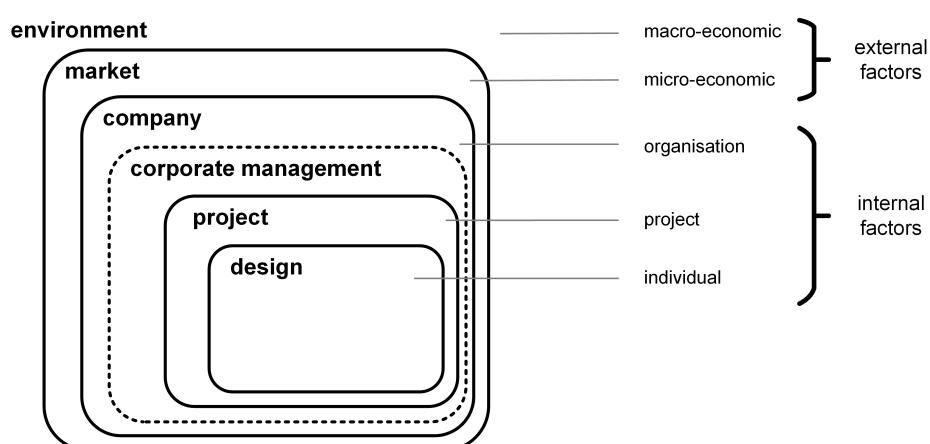


Tabelle 1. Gruppierung von Kontextfaktoren und Erläuterungen [15]

<b>Kontextebenen</b>		<b>Unterteilung</b>	<b>Erläuterung</b>
1	<b>Makroökonomisch</b>	1.1 Kultur	kulturelle Normen und Werte
		1.2 Gesellschaft	politisches Klima, Gesetzgebung, ökonomische Situation, Arbeitsmarkt, Steuern, ökologische Aspekte
2	<b>Mikroökonomisch</b>	2.1 Markt	Größe des Markts und Marktanteil, Nachfrage, Wettbewerb, Risiken, Exportanteil
		2.2 Ressourcen	Finanzen, Technologie, Rohstoffe, Energie, Fachkräfte
		2.3 Kunde	Erwartungshaltung, Verständnis und Dringlichkeit der Bedürfnisse, Kundenbindung
3	<b>Organisation</b>	3.1 Branche	Teilbereich der Wirtschaft, in dem das Unternehmen aktiv ist
		3.2 Unternehmensstruktur	Globalisierung, Unternehmensgröße, Rechtsform, Organisationsform (Hierarchien), Produktportfolio, Wachstumsstrategie, wirtschaftliche Situation
		3.3 Arbeitsumfeld	Arbeitszeit- und Vergütungsregelungen, Altersvorsorge, Weiterbildungsangebote, Gewerkschaftseinfluss, Bürokratie
		3.4 Unternehmensstrategie	Klarheit und Dynamik der Unternehmenszeile, Inhalte und Zeitraum der Unternehmensstrategie und Risikobereitschaft
		3.5 Unternehmenskultur	Arbeitsklima, Unternehmensverantwortung, kreativer Freiraum, informelle Kommunikation, Vertrauen und Offenheit, Wertschätzung und Belohnungssysteme
		3.6 Produktion	verfügbare Fertigungstechnologien, Flexibilität, Fertigungstiefe, Kapazität, Logistik, Prüfeinrichtung
		3.7 Stakeholder	am Unternehmen interessierte/involvierte Personen, Gruppen, fremde Unternehmen
		3.8 Zulieferer	Verfügbarkeit, Organisation der Zusammenarbeit, Standort
	<b>Leitung</b>	3.9 Werte, Leitmotiv	Engagement, Einbindung, Begeisterung
		3.10 Führungsstil	Handlungsfreiheit und Mitarbeit
		3.11 Führungskompetenz	Qualität der Planung, Koordination und Kommunikation, Effektivität
		3.12 Unternehmensleitung	Anzahl der beteiligten Personen, Motivation, Erfahrung, Führungskompetenz, Vertrauen
4	<b>Projekt</b>	4.1 Innovationswesen	Innovationskultur, -strategie, -management
		4.2 Projektmanagement	Projektziel, Auflagen, technische und wirtschaftliche Machbarkeit, Planungssicherheit, Organisationsform, verfügbare Ressourcen, Qualifizierung der Projektpartner, Prozessbeschreibung
		4.3 Produktentwicklungs-team	Gruppenorganisation, Arbeitsstandards, Fähigkeiten, Erfahrungen, Kommunikation, Diskussions- und Verhandlungskultur, Engagement und Motivation, Gruppenklima, Macht, Kundenbindung
		4.4 Erwartung an Entwicklungsergebnisse	Produktivität, Erfolgsdruck, Fehlerkosten, Qualität der Arbeitsergebnisse
		4.5 Projektumfeld	Arbeitsumfeld
		4.6 Entwicklungsauftrag	Eindeutigkeit und Verständlichkeit der Entwicklungsziele, Priorität, Kosten, Umsatzziele, Projektdauer, Verbindlichkeit von Anforderungen, Komplexität und Neuheitsgrad, Entwicklungsaufgabe, Patentlage, Risikobewertung
		4.7 Einsatz von Methoden und Tools	Kenntnis von Entwicklungsmethodik, Aufwand für Methodeneinsatz, Offenheit gegenüber neuen Methoden und IT-Werkzeugen und Unterstützung durch Management, Normwesen
		4.8 Fertigungstechnologie	Losgröße, Automatisierung und Standardisierung von Fertigungsprozessen
5	<b>Individuum</b>	5.1 Wissen	Wissen, Erfahrung, Expertise, Methodenkenntnisse
		5.2 Kompetenzen und Fertigkeiten	Analyse- und Synthesefähigkeit, Problemlösungskompetenz, räumliches Denken und Skizziervermögen, Kommunikationsvermögen, Verhandlungsgeschick und soziale Kompetenz
		5.3 individuelle Denk- und Arbeitsweise	individuelle Denkmuster und Methoden
		5.4 Persönlichkeitsmerkmal	Werte, Offenheit, Selbstdisziplin und Selbstvertrauen, Durchsetzungsvermögen, Integrität, Lernbereitschaft
		5.5 Motivation und Emotion	Enthusiasmus, Hartnäckigkeit, Humor


## 5 Gestaltung des spezifischen Produktentwicklungsprozesses

Die Gestaltung des spezifischen Produktentwicklungsprozesses in einem Unternehmen erfordert die Planung der logischen und zeitlichen Abfolge von Phasen und Aktivitäten sowie die Ergänzung um weitere Aktivitäten und gegebenenfalls das Weglassen einzelner Schritte. Die grundsätzliche Logik des allgemeinen Modells der Produktentwicklung bleibt, wie in VDI 2221 Blatt 1 beschrieben, erhalten.

Bei der Gestaltung eines spezifischen Produktentwicklungsprozesses wird auf vorhandenes Prozesswissen zurückgegriffen. Dabei wird von einer Prozessanalyse des derzeitigen Arbeitsablaufs bzw. der Analyse eines aus anderen Unternehmen oder Unternehmenssteilen bekannten Prozesses oder eines vorhandenen Referenzprozesses ausgegangen.

Um dabei alle relevanten Faktoren für die aktuelle Prozessgestaltung zu erfassen, muss der vorliegende Entwicklungskontext analysiert und das unternehmensinterne Prozesswissen bei der Gestaltung einbezogen werden. Auf dieser Basis wird entschieden, welche Varianten eines Produktentwicklungsprozesses aufgrund spezieller oder geänderter Kontextfaktoren (z.B. aus einer gesetzlichen Verpflichtung heraus) erstellt werden sollen.

### 5.1 Analyse des Entwicklungskontexts und Identifikation relevanter Kontextfaktoren

Eine Analyse des Entwicklungskontexts schließt interne und externe Faktoren ein. Die in Tabelle 1 aufgelisteten Faktoren sollten im individuellen Fall im Sinne einer Checkliste auf ihre Relevanz hin

überprüft werden. Hier ist zu klären, welche Kontextfaktoren von besonderer Bedeutung für den spezifischen Produktentwicklungsprozess sind. Die folgenden Gruppen von Kontextfaktoren sind für die Prozessgestaltung häufig von Bedeutung (Erläuterungen siehe Tabelle 1):

- Markt (2.1)
- Kunde (2.3)
- Produktion (3.6)
- Zulieferer (3.8)
- Innovationswesen (4.1)
- Projektmanagement (4.2)
- Erwartung an Entwicklungsergebnisse (4.4)
- Entwicklungsauftrag (4.6)
- Einsatz von Methoden und Tools (4.7)
- Fertigungstechnologie, Stückzahlen (4.8)

Je nach Betrachtungszeitraum des zu gestaltenden Produktentwicklungsprozesses ist zu berücksichtigen, dass sich einige der Kontextfaktoren ändern können. Daraus ergeben sich verschiedene Be trachtungshorizonte:

- strategisch

Definition eines oder mehrerer Referenzprozesse durch Synthese von spezifischen Produktentwicklungsprozessen

- operativ  
Ableitung des Projektplans für ein spezifisches Projekt bzw. für einen spezifischen Entwicklungsauftrag aus dem Referenzprozess
- situativ

Reaktion auf eine spezifische Projektsituation

Einige der Kontextfaktoren können für alle Gestaltungsschritte von Bedeutung sein. Entsprechend ist zu bewerten, ob sich relevante Kontextfaktoren voraussichtlich ändern werden. Faktoren, die einer geringen Dynamik unterliegen und somit den Entwicklungskontext langfristig beeinflussen, sind von strategischer Bedeutung.

Faktoren, die einer hohen Dynamik unterliegen, können besser operativ und situativ im erforderlichen Umfang berücksichtigt werden, was eine hohe Flexibilität und kurzfristige Anpassungsfähigkeit des spezifischen Produktentwicklungsprozesses erfordert und im Referenzprozess vorab zu berücksichtigen ist (siehe Bild 5). Man kann Faktoren mit hoher Dynamik entweder durch das spontane Anpassen eines vorgesehenen Prozesses begreifen oder mehrere kontextabhängige Varianten eines Produktentwicklungsprozesses vorsehen.

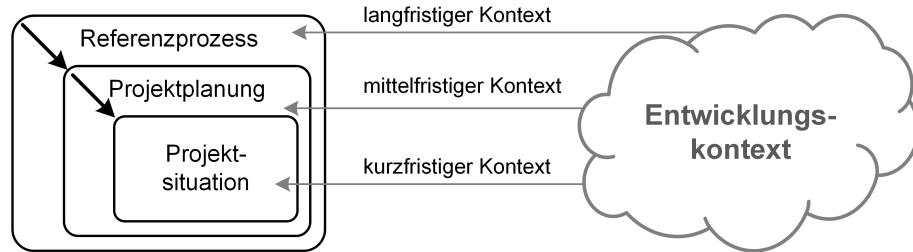
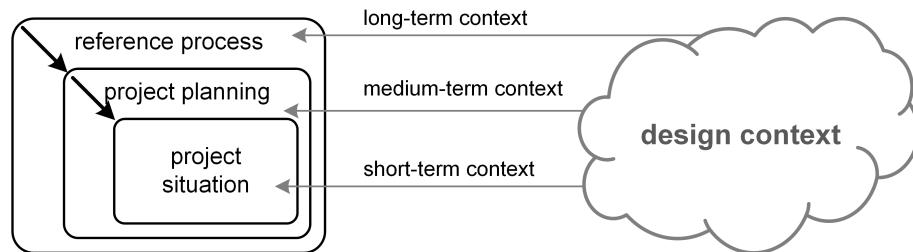


Bild 5. Relevanz der Kontextfaktoren für die Gestaltung spezifischer Produktentwicklungsprozesse (nach [16])



Je nach aktuellem Kontext (z.B. medizintechnisches Produkt) wird dann entschieden, nach welchem Prozess (z.B. erhöhter Aufwand bei der Produktsicherheit) vorzugehen ist.

## 5.2 Ableiten von Referenzprozessen

Bei wiederkehrenden oder unterschiedlichen Ausprägungen des Kontexts kann es erforderlich sein, unterschiedliche spezifische Produktentwicklungsprozesse zu gestalten. Zur Standardisierung ist es erforderlich, einen oder mehrere spezifische Produktentwicklungsprozesse als Referenzprozesse zu definieren. Basierend auf einem solchen Referenzprozess können nachfolgend individuelle Entwicklungsprojekte durchgeführt werden. Kriterien, die unterschiedliche Referenzprozesse erfordern können, sind z.B.:

- unterschiedliche Ausprägungen zentraler Kontextfaktoren (z.B. Wahl unterschiedlicher Produktionsstandorte, Prozesskonformität in unterschiedlichen Zuliefererketten, Zertifizierungsvorschriften in verschiedenen Märkten)
- unterschiedliche Gruppen ähnlicher Projekte, z. B.:
  - Neuentwicklungen, Produktanpassung oder Produktgenerationsentwicklung (Beispiel 1 – Automobilzulieferer, Beispiel 2 – Automobilhersteller),
  - Serienprodukte oder Einzel-/Sonderentwicklungen (Beispiel 3 – Maschinenbauunternehmen),

- spezielle Produktfamilien (Beispiel 4 – Hersteller von Elektrogeräten),
- Entwicklung an einem oder mehreren Standorten (Beispiel 5 – studentisches Produktentwicklungsprojekt).

Die in den Klammern angegebenen Beispiele werden im Anhang erläutert.

### **5.3 Gestaltung spezifischer Produktentwicklungsprozesse**

Bei der Erstellung eines spezifischen Produktentwicklungsprozesses sollen, ausgehend vom allgemeinen Modell der Produktentwicklung (VDI 2221 Blatt 1), die relevanten Kontextfaktoren identifiziert und mit dem vorhandenen Prozesswissen zusammengeführt werden (Bild 2 in Abschnitt 4).

Vorhandenes Prozesswissen findet sich in Form von bereits definierten Referenzprozessen, existierenden Prozess- und Projektplänen oder lässt sich aus gelebten Prozessen ableiten. Im Rahmen der Prozessgestaltung müssen neben den Produktentwicklungsaktivitäten alle erforderlichen weiteren Aktivitäten hinzugefügt werden (siehe „Aktivitäten“ in Bild 3, Abschnitt 4.1), die für die Produktentwicklung im Zusammenhang mit dem gesamten Produktlebenszyklus von Bedeutung sind. Diese werden als relevante Aktivitäten bezeichnet.

Im spezifischen Produktentwicklungsprozess werden alle relevanten Aktivitäten erfasst und den Phasen zugeordnet. In Bild 3 werden zusätzlich zu den Phasen auch Meilensteine als Synchronisationspunkte dargestellt. Ziel ist es, alle Abhängigkeiten zwischen den relevanten Aktivitäten untereinander sowie zu den Begleit- und Querschnittsaktivitäten zu berücksichtigen. Damit werden auch die Schnittstellen zu anderen relevanten Unternehmensfunktionen bei der Prozessgestaltung entsprechend eingebunden. Jeder spezifische Entwicklungsprozess ist in dieser Darstellung durch ein charakteristisches Muster gekennzeichnet (Bild 3). Darüber hinaus lassen sich typische Musterelemente wie Parallelaktivitäten, Vor- und Rücksprünge oder Iterationen erkennen. Die Gestaltung spezifischer Entwicklungsprozesse kann auch durch die Anpassung bestehender Prozesse erfolgen. Wenn nicht auf vorhandenes Prozesswissen zurückgegriffen werden kann, sollten die allgemeinen Aktivitäten der Produktentwicklung (VDI 2221 Blatt 1) zugrunde gelegt und mithilfe der identifizierten Kontextfaktoren angepasst werden. Mögliche Elemente der Prozessgestaltung sind in Tabelle 2 beispielhaft genannt und in Bild 6 schematisch dargestellt.

Basierend auf dem hier beschriebenen Vorgehen werden im folgenden Abschnitt fünf Fallbeispiele

von Unternehmen gezeigt, für welche die spezifischen Produktentwicklungsprozesse und die für deren Anpassung jeweils relevanten Kontextfaktoren erläutert werden.

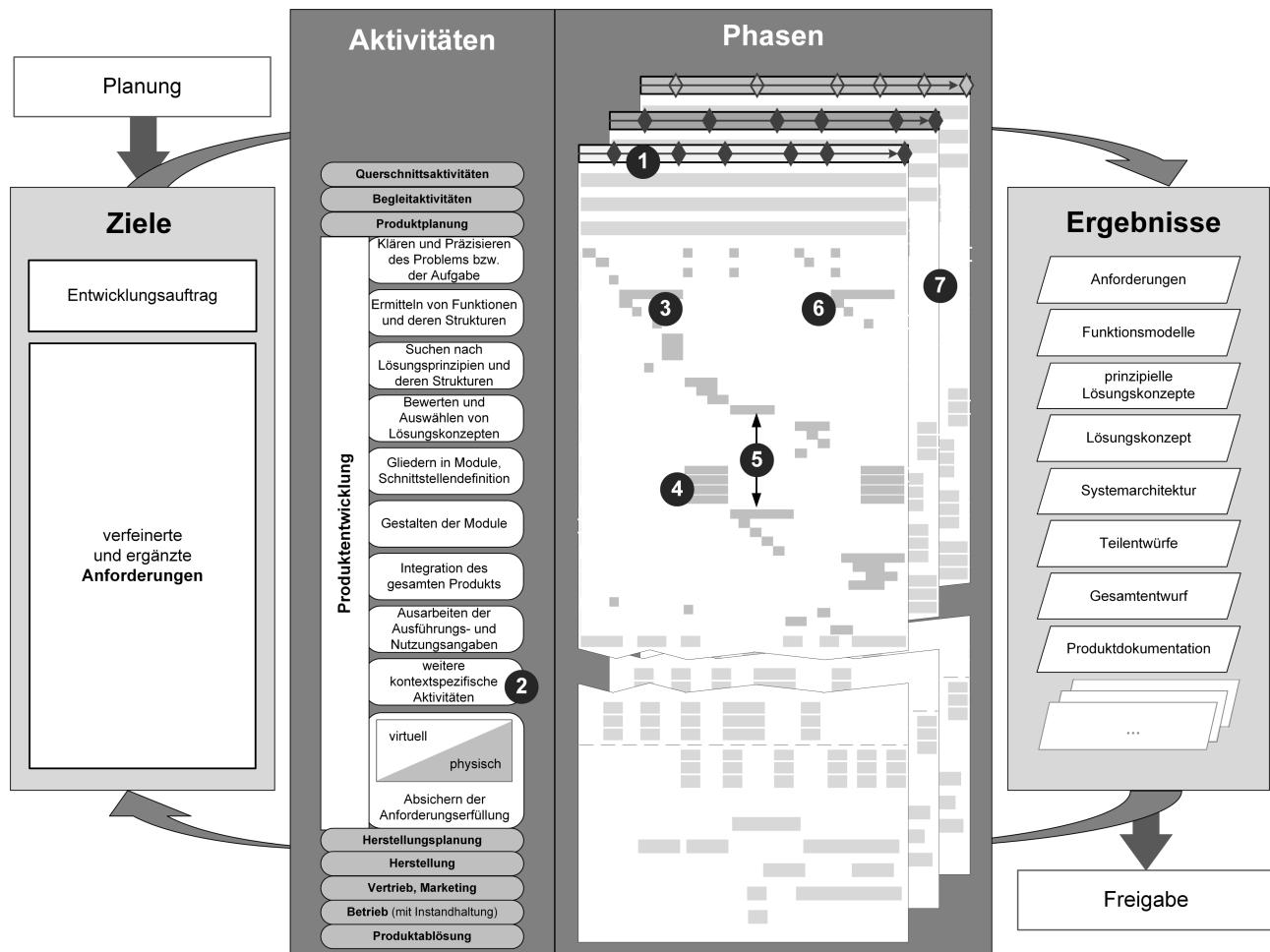


Bild 6. Spezifische Produktentwicklungsprozesse mit typischen Musterelementen (nach [15]) (Zur Erläuterung der Ziffern siehe Tabelle 2.)

Tabelle 2. Elemente der Prozessgestaltung

Nr.	Erläuterung
1	Umbenennung von Aktivitäten und Phasen (Nutzung der unternehmensinternen Terminologie)
2	Ergänzung relevanter Aktivitäten/Verzicht auf einzelne Aktivitäten
3	Untergliederung von Aktivitäten (sequenzielle Gliederung)
4	Vorziehen von Aktivitäten
5	Parallelisierung von Aktivitäten (parallele Gliederung)
6	Iteration von Aktivitäten (VDI 2221 Blatt 1, Tabelle 2)
7	Aufgliederung des Prozesses für verschiedene Gewerke und/oder Zulieferer in Teilprojekte

## Anhang Beispiele

Die Beispiele zeigen, wie spezifische Entwicklungsprozesse in Abhängigkeit von den Kontextfaktoren gestaltet sind. Aufgrund der Vielfalt und der jeweiligen Ausprägung des Kontexts kann keine vollständige Darstellung aller möglichen Entwicklungsprozesse gegeben werden. Daher wurde bei der Beispielauswahl eine große Bandbreite und Verschiedenartigkeit der Kontextfaktoren und der beschriebenen Entwicklungsprozesse angestrebt.

In Tabelle A1 werden die ausgewählten Beispiele zur Orientierung in einer Gesamtübersicht dargestellt. Die einzelnen Fallbeispiele werden darin durch die Ausprägungen von häufig relevanten Kontextfaktoren charakterisiert. Der Leser kann so die Beispiele heraussuchen, die seinem eigenen Kontext ähnlich sind. Für die Erläuterung der Beispiele wurde folgende Struktur gewählt:

- Beschreibung des Entwicklungskontexts und
- Beschreibung des Entwicklungsprozesses und

Konsequenzen für die Prozessgestaltung mithilfe des spezifischen Prozessmodells (Abschnitt 4.1).

Tabelle A1. Überblick über die Fallbeispiele und die spezifische Ausprägung wichtiger Kontextfaktoren

		Fallbeispiele					
Kontextfaktor	Abschnitt	Automobil-zulieferer	Automobil-hersteller	Maschinenbauunternehmen Standard- und Sonder-maschinenbau		Hersteller von Elektrogeräten	Studentisches Entwicklungs- projekt
		A1	A2	A3		A4	A5
Markt	Markt	B2B, global	B2C, global	B2B, Europa	B2B, global	primär B2B, global	B2B, national
	Produktion	eigene und fremde Produktion	eigene und fremde Produktion	eigene Produktion	eigene Produktion	eigene Produktion, geringe fremde Produktion	keine, nur Prototypen
	Zulieferer	Tier-1, breites Zulieferernetzwerk	OEM, breites Zulieferernetzwerk	wenige spezialisierte	wenige spezialisierte	wenige spezialisierte	wenige spezialisierte
	Projektmanagement	2 bis 4 Jahre > 50 Personen simultaneous engineering	4 bis 6 Jahre > 500 Personen simultaneous engineering	bis zu 6 Monate 10 bis 15 Personen	bis 1 Jahr bis 10 Personen	bis 1 Jahr bis 30 Personen simultaneous engineering	4 Monate 7 Personen agile Projektorganisation
	Erwartung an Entwicklungsprozess	Verbesserung nach Auslieferung mit extrem hohen Kosten verbunden	Verbesserung nach Auslieferung mit extrem hohen Kosten verbunden	Verbesserung nach Auslieferung möglich	Verbesserung nach Auslieferung möglich	Verbesserung nach Auslieferung mit hohen Kosten verbunden	kein Anspruch auf Serienreife
	Entwicklungsauftrag	Automobil, Teilsystem	Automobil, Gesamtsystem	Verpackungsanlagen, Gesamtsystem	Verpackungsmaschinen, Gesamtsystem	Elektrogeräte, Gesamtsystem	mechatronische Systeme
		ca. 20 % Neu-entwicklung	ca. 30 % Neu-entwicklung	ca. 20 % Neu-entwicklung	ca. 40 % Neu-entwicklung	ca. 20 % Neu-entwicklung	ca. 70 % Neu-entwicklung
	Einsatz von Methoden	etabliert in vielen Anwendungsbereichen	etabliert in vielen Anwendungsbereichen	ausgewählte Methoden	wenige ausgewählte Methoden	etabliert in vielen Anwendungsbereichen	sehr hoch, zum Erlernen
	Fertigungstechnologie, Stückzahl	> 100 000	> 100 000	1	1 bis 10	> 20 000	-

Contextual factor						

## A1 Automobilzulieferer

### A1.1 Beschreibung des Entwicklungskontexts

Der Markt in der Zuliefererindustrie ist gekennzeichnet durch einen hohen Grad der Globalisierung, zunehmende Sättigung der bereits erschlossenen Märkte und zusätzliche Herausforderungen in neuen Märkten. Neben diesen ökonomischen Randbedingungen der Automobilindustrie hat sich die Fahrzeugtechnik grundlegend weiterentwickelt. Hier hat insbesondere das Einfließen der Mikroelektronik in den Automobilbau zu innovativen Möglichkeiten der Steuerung und Regelung des Systems „Kraftfahrzeug“ geführt. Resultat ist eine zunehmende technische Komplexität moderner Fahrzeuge, was zu zusätzlichen Herausforderungen für Innovationen am Kraftfahrzeugmarkt führt. Im Vergleich zum allgemeinen Modell der Produktentwicklung unterscheidet sich das gezeigte Beispiel des Simultaneous Engineering (SE) bei einem Automobilzulieferer im Wesentlichen durch die in Tabelle A2 beispielhaft aufgeführten Prozessgestaltungen.

Simultaneous Engineering (siehe VDI 2221 Blatt 1, Abschnitt 2) hat als wichtiges Instrument zur Verbesserung der benötigten interdisziplinären Zusammenarbeit in Unternehmen in den letzten Jahren weite Verbreitung gefunden. Mit der Einführung von SE werden im Wesentlichen drei Ziele verfolgt [17]:

- Zeiteinsparung bei der Produktentwicklung und

-erstellung

- Kostenreduzierung
- Qualitätsverbesserung, bezogen auf die Vorstellungen des Kunden

### **A1.2 Beschreibung des Entwicklungsprozesses und Konsequenzen der Prozessgestaltung**

Mit dem Ziel einer Verkürzung der Produktentwicklungszeiten wird beim SE der Entwicklungsprozess neu organisiert. Eine hauptsächlich sequentielle Arbeitsweise wird durch eine koordiniert überlappte und parallele Arbeitsweise ersetzt. In der Zuliefererindustrie beginnt die Produktentwicklung häufig mit einer Anfrage des Kunden.

Darauf aufbauend werden – je nach Entwicklungsauftrag – die Phasen der Konzeptentwicklung, der Optimierung, der Serienentwicklung, des Serienanlaufs und des Serienhochlaufs durchlaufen.

In Bild A1 wird dargestellt, wie sich die theoretischen Denkansätze zum SE in die Praxis umsetzen lassen und welche Aktivitäten in den jeweiligen Phasen von Bedeutung sein können.

## **A2 Automobilhersteller**

### **A2.1 Beschreibung des Entwicklungskontexts**

In der Automobilindustrie werden Produkte oft in Produktgenerationen entwickelt. Darunter wird die Entwicklung verstanden, welche sowohl durch die Anpassung von Teilsystemen als Übernahmevariation als auch durch eine signifikante Neuentwicklung von Teilsystemen charakterisiert ist. Neu entwickelte Anteile der Produkte können sowohl durch Gestaltvariation als auch durch Variation von Lösungsprinzipien (z.B. durch den Einsatz neuer Technologien) realisiert werden. Neue Produktgenerationen basieren üblicherweise auf Referenzprodukten, die die grundsätzliche Architektur festlegen. Als Referenzprodukt können beispielsweise Vorgänger- oder Wettbewerbsprodukte verstanden werden, auf deren Grundlage die Entwicklung einer neuen Produktgeneration begonnen wird.

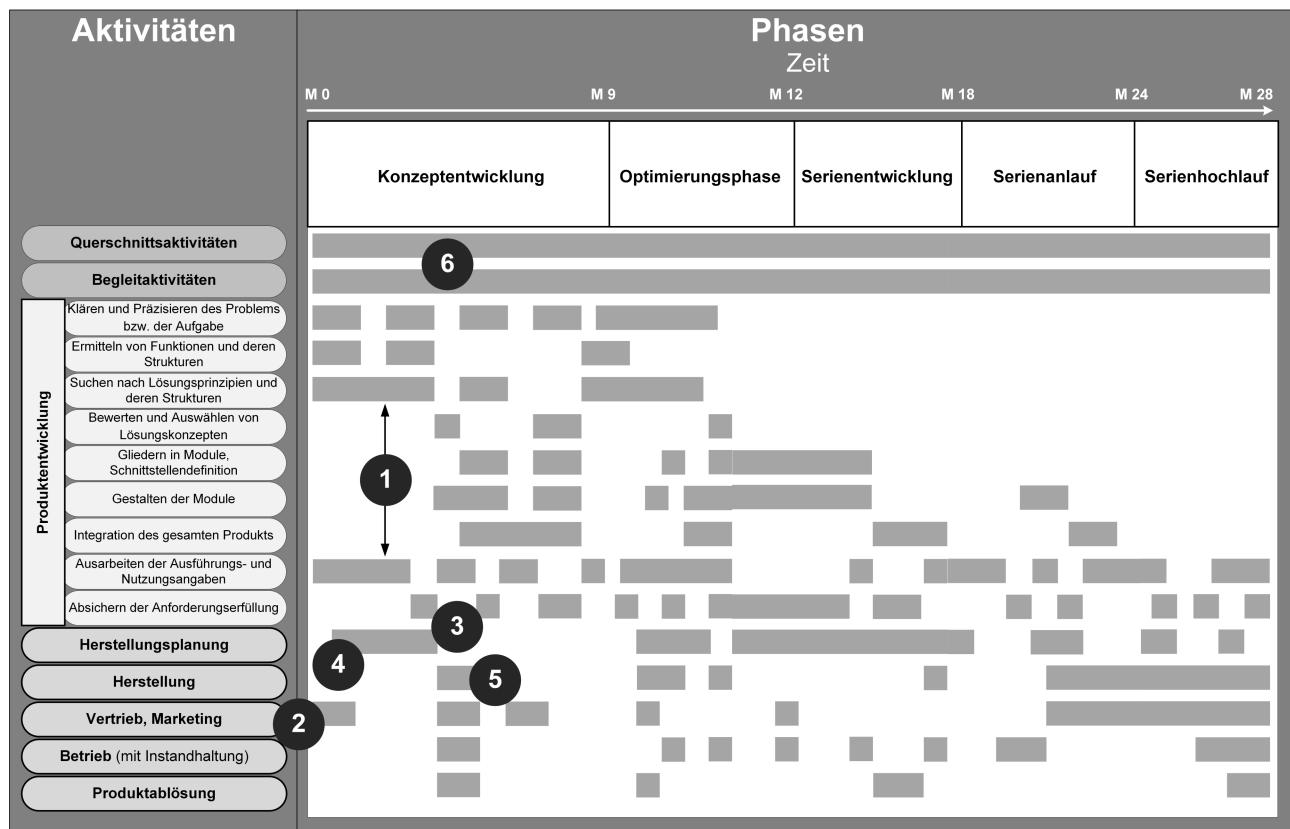


Bild A1. Prozessbeschreibung am Beispiel SE bei einem Automobilzulieferer (Zur Erläuterung der Ziffern siehe Tabelle A2.)

Tabelle A2. Maßnahmen der Prozessgestaltung am Beispiel SE bei einem Automobilzulieferer

Nr.	Erläuterung
1	Parallelisierung der Teilprozesse „Suche nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen“ und „Ausarbeitung der Ausführungs- und Nutzungsangaben“ durch aufgabenspezifische Arbeitsgruppen
2	Einbindung der Kunden ins Team zum frühzeitigen Abgleich zwischen Produkteigenschaften und Kundenwünschen
3	teamorientierte Entwicklung in Projektgruppen mit parallelem Einsatz von rechnerunterstützten Simulations- und Berechnungsverfahren sowie experimentellen Erprobungen und Eigenschaftsabsicherungen an Einzelementen unter Funktionsgesichtspunkten und am Gesamtsystem
4	frühzeitige Einbeziehung von Produktionsbereichen und Zulieferern zur fertigungs- und montagegerechten Gestaltung
5	frühzeitige Herstellung von Prototypen zur Validierung im Gesamtsystem
6	Einbinden unterschiedlicher Fachabteilungen (z.B. Qualitäts- und Kostenmanagement) in den Produktentstehungsprozess im Rahmen der Querschnitts- und Begleitaktivitäten

Produkte werden auf diese Weise in unterschiedlichen Produktgenerationen entwickelt, um gleichzeitig

- das Risiko bei der Produktentwicklung über-

schaubar zu halten und um

- innovative Produkte auf dem Markt platzieren zu können.

### **A2.2 Beschreibung des Entwicklungsprozesses und Konsequenzen der Prozessgestaltung**

Am Beispiel eines Fahrzeugentstehungsprozesses wird das Produkt in den frühen Phasen zunächst in einer ersten Produktbeschreibung anhand der Komponenten sowie der technischen Parameter beschrieben. Darauf aufbauend folgen die Phasen der Konzeptentwicklung, der Serienentwicklung, des Serienanlaufs und des Serienhochlaufs. In Bild A2 wird dargestellt, wie sich die theoretischen Denkansätze der Produktgenerationsentwicklung in die Praxis umsetzen lassen und welche Aktivitäten in den jeweiligen Phasen von Bedeutung sein können.

Im Vergleich zum allgemeinen Modell der Produktentwicklung unterscheidet sich das gezeigte Beispiel der Produktgenerationsentwicklung im Wesentlichen durch die in Tabelle A3 beispielhaft aufgeführten Prozessgestaltungen.

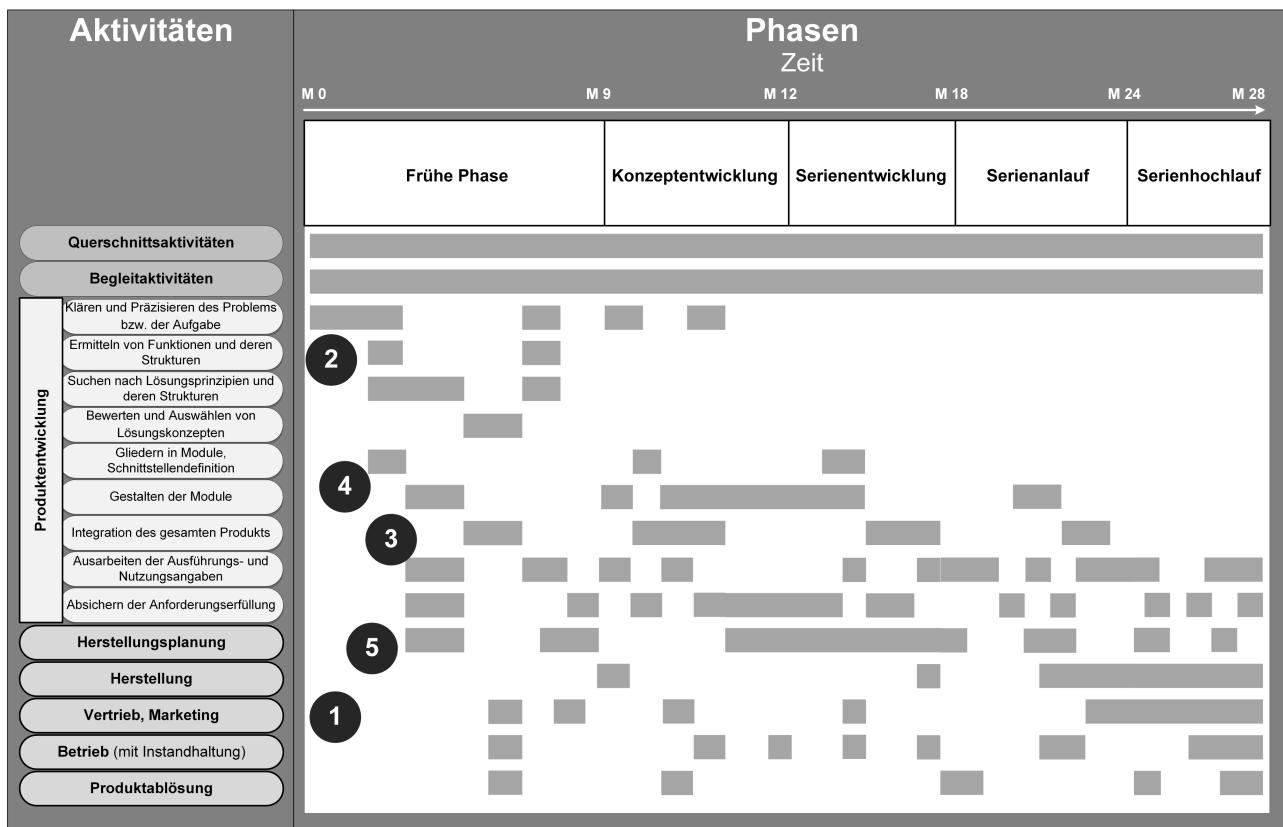
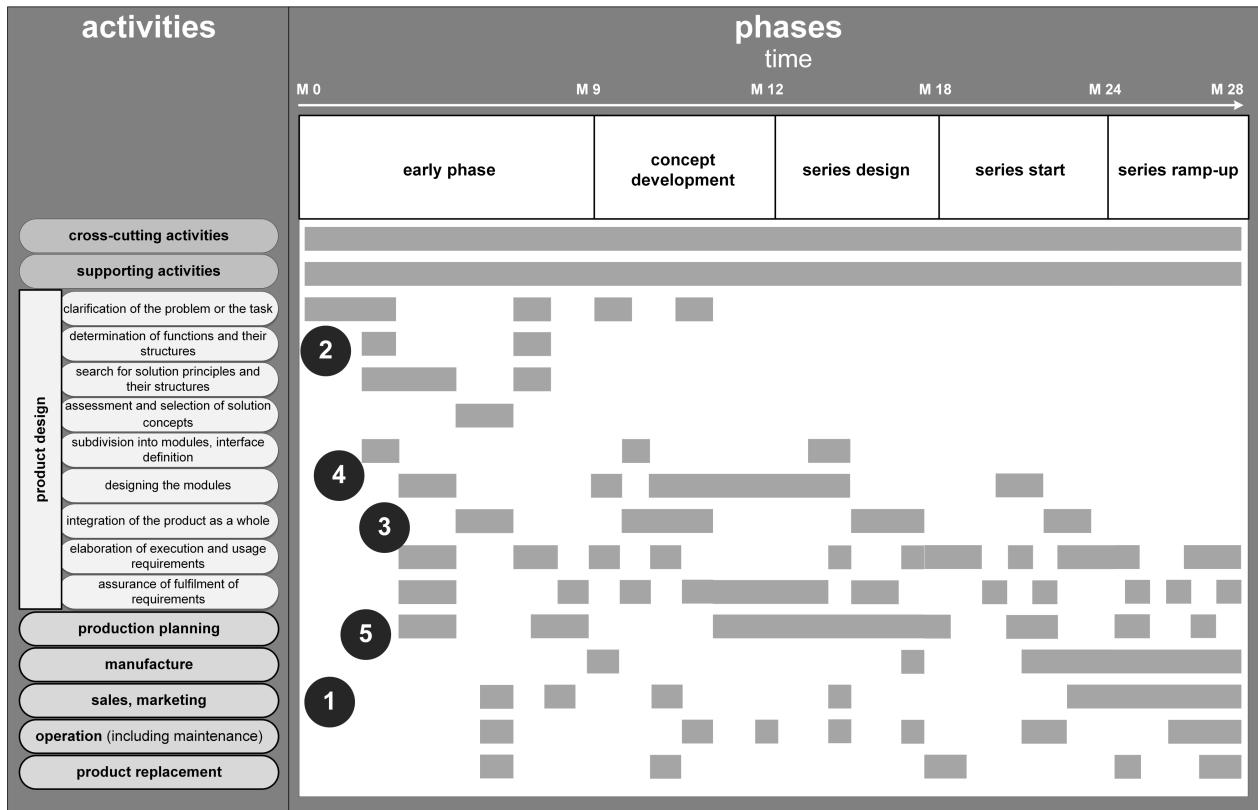


Bild A2. Prozessbeschreibung am Beispiel eines Automobilherstellers (Zur Erläuterung der Ziffern siehe Tabelle A3.)

Tabelle A3. Maßnahmen der Prozessgestaltung am Beispiel eines Automobilherstellers

Nr.	Erläuterung
1	Durch die Analyse der Referenzprodukte werden Informationen (z.B. die Kundenzufriedenheit, die Kosten, das Gewicht) genutzt, um frühzeitig neue Ziele zu beschreiben.
2	Die Funktionsstrukturen und Modulschnittstellen werden im Wesentlichen aus den Referenzprodukten übernommen.
3	Es erfolgt eine frühzeitige Integration überarbeiteter oder neu entwickelter Module in das Referenzprodukt, um die kritischen Elemente frühzeitig zu validieren.
4	Die kreative Entwicklungsleistung wird auf die Neuentwicklungsanteile fokussiert, um beispielsweise einen erweiterten Kundennutzen zu erzielen oder neue Gesetzesanforderungen zu erfüllen.
5	Bestehende Herstellungswerzeuge und Fertigungsinfrastrukturen können wiederverwendet werden und haben dadurch einen weitreichenden Einfluss auf die Gestaltung der Module.




### A3 Maschinenbauunternehmen – Standard- und Sondermaschinen

#### A3.1 Beschreibung des Entwicklungskontexts

Mittelständische Unternehmen des Maschinenbaus gehören zu den wichtigsten Trägern der deutschen Wirtschaft. Die Produkte sind meist gekennzeichnet durch eine mittlere bis hohe Komplexität und eine große Anzahl von Varianten. Das Produktprogramm ist häufig unterteilt in Standardlösungen, die über einen Katalog bestellt werden können, und in kundenspezifische Sonderlösungen. Im Gegensatz zu den Standardprodukten erfordern die Sonderlösungen einen auftragsspezifischen Entwick-

lungsaufwand. Die kundenspezifischen Lösungen besitzen eine höhere Produktkomplexität im Vergleich zu den Standardlösungen.

Kennzeichnend für das beschriebene Unternehmen ist, dass es seinen Hauptmarkt in Europa besitzt, gleichzeitig aber in wichtigen Märkten in Asien und den USA vertreten ist und teilweise auch dort produziert. Sondermaschinen werden fast ausschließlich im europäischen Markt verkauft, da für diese ein enger Kontakt zum Kunden notwendig ist. Der Wettbewerbsdruck bei den Standardmaschinen ist insbesondere durch neue Wettbewerber aus Asien stark angestiegen.

Die Zweiteilung des Produktprogramms in Standard- und Sondermaschinen spiegelt sich auch in der Aufbauorganisation des Unternehmens wider, allerdings in diesem Unternehmen nicht im Bereich der Produktentwicklung. Die Produktentwicklung als Organisationseinheit muss im betreffenden Unternehmen sowohl den Bereich der Sondermaschinen als auch den der Standardmaschinen bedienen. Die unterschiedlichen Anforderungen an Standard- und Sondermaschinen verlangten aber unterschiedliche Entwicklungsprozesse, abgestimmt auf die spezifischen Erfordernisse der jeweiligen Maschinen.

### **A3.2 Beschreibung des Entwicklungsprozesses und der Konsequenzen der Prozessgestaltung – Standardmaschinen**

Der Entwicklungsprozess für Standardmaschinen ist – im Vergleich zur Entwicklung von Sondermaschinen im Unternehmen – durch eine Produktplanung gekennzeichnet, in der festgelegt wird, welche Produkte neu- oder weiterentwickelt werden müssen.

Dies erfolgt für den relevanten Markt auf Basis einer wohldefinierten Auswahl potenzieller, in der Regel jedoch anonymer Kunden bzw. Kundengruppen. Nach der Auswahl einer Idee oder mehrerer Ideen, die weiterverfolgt werden sollen, wird in der Produktdefinitionsphase das interne Lastenheft erstellt. Dieses erfolgt, indem die Aufgabenstellung präzisiert wird, Markt- und Wettbewerbsdaten zusammengetragen werden, das Produkt positioniert wird und wesentliche technische Daten festgelegt werden.

In der Konzeptphase werden, in Zusammenarbeit von Industriedesign, Mechanik-, Elektronik- und Softwareentwicklung, auf Basis eines abgestimmten Pflichtenhefts unterschiedliche Lösungskonzepte erarbeitet, erste Bauteile und Baugruppen erprobt sowie technisch und wirtschaftlich bewertet.

In der folgenden Phase der Serienentwicklung wird das ausgewählte Konzept detailliert ausgearbeitet und erprobt. Parallel dazu wird der Herstellungsprozess geplant und realisiert. Die Erprobung der Gesamtmaschine erfolgt im Unternehmen selbst und im Rahmen von ausgiebigen Feldtests bei potenziellen Kunden.

Nach Abschluss der Serienentwicklung werden erste Maschinen unter Nutzung des Serienproduktionsprozesses hergestellt, technische Probleme des Produkts an die Entwicklung rückgemeldet, die dafür Lösungen erarbeitet und umsetzt, bevor dann die Serienproduktion beginnt.

Im Vergleich zum allgemeinen Modell der Produktentwicklung unterscheidet sich das gezeigte Beispiel der Entwicklung von Standardmaschinen im Wesentlichen durch die in Bild A3 und Tabelle A4 beispielhaft aufgeführten Prozessgestaltungen.

### **A3.3 Beschreibung des Entwicklungsprozesses und Konsequenzen der Prozessgestaltung – Sondermaschinen**

Bei der Entwicklung von kundenspezifischen Sondermaschinen ist der Entwicklungsbereich des beschriebenen Unternehmens bereits während der Auftragsklärung – noch vor der Auftragserteilung durch den Kunden – eingebunden.

Die Entwicklung unterstützt den Vertriebsbereich bei der Analyse der prinzipiellen Machbarkeit der Maschinen.

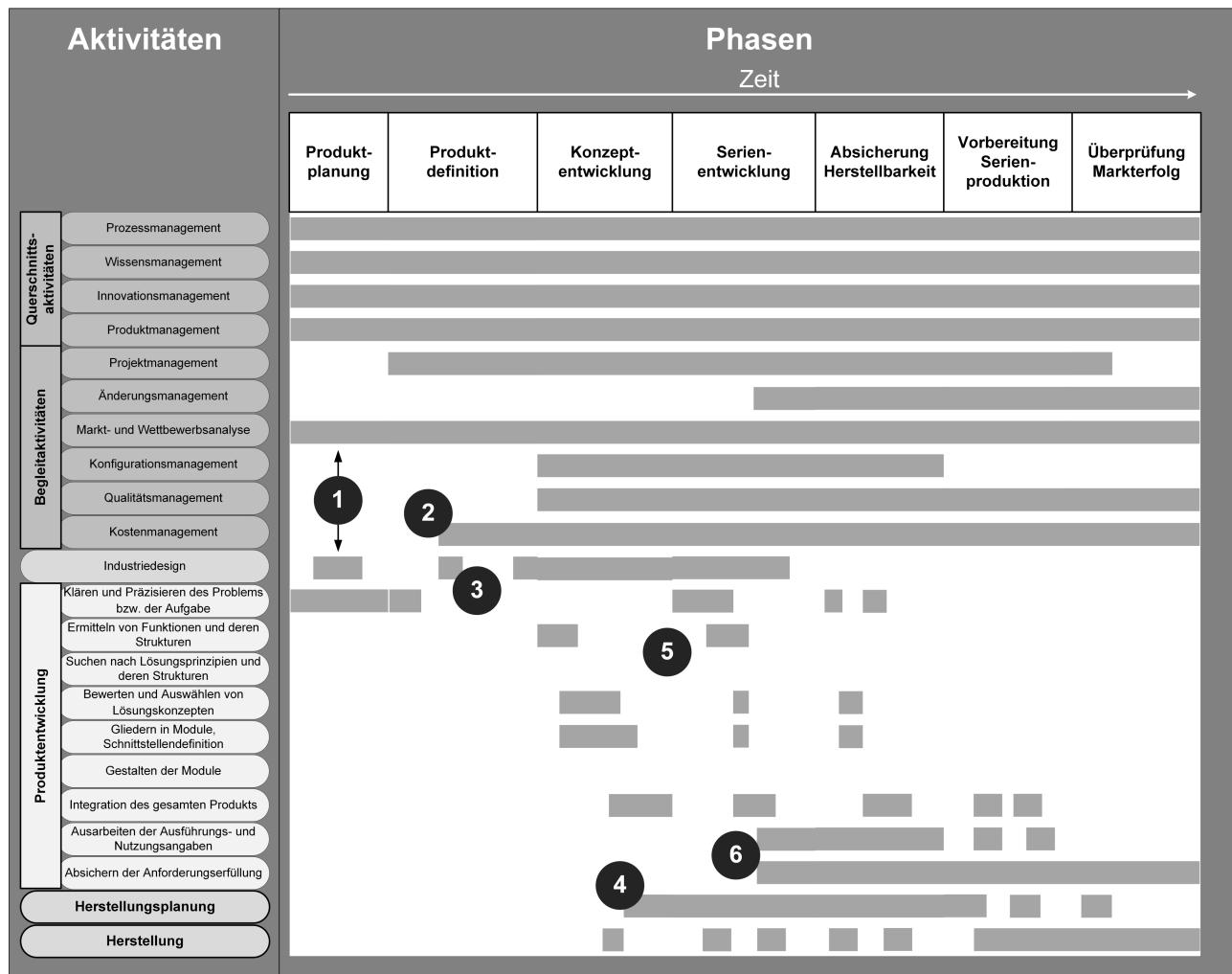


Bild A3. Prozessbeschreibung am Beispiel Entwicklung von Standardmaschinen im Maschinenbau (Zur Erläuterung der Ziffern siehe Tabelle A4.)

Tabelle A4. Maßnahmen der Prozessgestaltung am Beispiel Entwicklung von Standardmaschinen im Maschinenbau

Nr.	Erläuterung
1	Intensive Zusammenarbeit zwischen der Produktentwicklung im Unternehmen, den Querschnittsbereichen sowie dem Industriedesign in der Produktplanung zur Ideengenerierung. Dabei kann auf ausführliche Informationen der Markt- und Wettbewerbsanalyse zurückgegriffen werden.
2	Aufgrund des starken Wettbewerbsdrucks findet ein konsequentes Kostenmanagement statt, das den Entwicklungsprozess, beginnend mit der Produktdefinition, begleitet und auf die Einhaltung der definierten Zielherstellkosten achtet.
3	Wichtig für die Wiedererkennung der Maschinen, für die Gestaltung einer fortschrittlichen, ergonomischen Nutzerschnittstelle, aber auch zur Vermittlung der Corporate Identity des Unternehmens, ist das Industriedesign. Es ist im betrachteten Unternehmen als fester Bestandteil der Entwicklungsarbeit eng in den Entwicklungsprozess einzbezogen. Das Industriedesign begleitet den Entwicklungsprozess bis zur Serienfreigabe der Maschinen (siehe hierzu auch VDI/VDI 2424).
4	Die Planung und Realisierung des Produktionsprozesses erfolgt frühzeitig, parallel zur Maschinenentwicklung.
5	Grundlegende Phasen im Produktentwicklungsablauf aus dem allgemeinen Modell der Produktentwicklung (Ermitteln von Funktionen und deren Struktur, Gliedern in Module, Schnittstellendefinition, Integration des gesamten Produkts) werden in unterschiedlichen Phasen der Produktentwicklung mehrfach durchlaufen.
6	Bei Standardmaschinen wird besonderer Wert auf die Absicherung der Herstellbarkeit gelegt, um so eine hohe Qualität der Maschinen zu erreichen. Die Absicherung erfolgt durch frühzeitige Bauteil- und Baugruppenerprobung, Prototypenprobungen im Unternehmen und im Feld bei potenziellen Kunden.

In der Phase der Angebotserstellung sind vom Entwicklungsbereich Lösungskonzepte zu erarbeiten und deren Kosten abzuschätzen („Projektierung“).

Nach der Auftragserteilung durch den Kunden erfolgt die detaillierte Entwicklung der Maschinen durch Mechanik-, Elektronik- und Softwareentwicklung. Dabei sind gegebenenfalls noch einmal, aufgrund der Forderungen des mit dem Kunden vereinbarten Lastenhefts, Änderungen der technischen Spezifikation oder Konzeptanpassungen notwendig. Die Maschinen werden in großen Teilen aus bestehenden Baugruppen zusammengesetzt, wobei hier auch auf Komponenten der Standardmaschinen zurückgegriffen wird. Für spezifische Funktionen werden neue Lösungen erarbeitet. Teilebeschaffung, Teilefertigung und Montage von Baugruppen der Gesamtmaschine erfolgen parallel zur Entwicklung der Maschine. Die Validierung umfasst jeweils die Absicherung der Funktion einzelner Baugruppen sowie der Gesamtmaschine bis hin zur Abnahme der Maschine beim Kunden. Ein konsequentes Kostenmanagement während der Entwicklung und Realisierung der Maschine ist essenziell, um so den wirtschaftlichen Erfolg des Projekts abzusichern.

Im Vergleich zum allgemeinen Modell der Produktenwicklung unterscheidet sich das gezeigte Beispiel der Entwicklung von Sondermaschinen im Wesentlichen durch die in Bild A4 und Tabelle A5 beispielhaft aufgeführten Prozessgestaltungen.

## A4 Hersteller von Elektrogeräten

### A4.1 Beschreibung des Entwicklungskontexts

Das Unternehmen entwickelt handgeföhrte und teilstationäre Elektrogeräte niedriger bis mittlerer Komplexität, die ausschließlich in Serie produziert werden. Das Produktprogramm umfasst eine Vielzahl unterschiedlicher Produkte, die wiederum in mehreren Varianten angeboten werden. Die Produkte werden von Konsumenten und industriellen Kunden gekauft. Die Entwicklung der Produkte orientiert sich im Wesentlichen an den Anforderungen der industriellen Kunden. Der Vertrieb der Produkte erfolgt weltweit über den Fachhandel.

Das Unternehmen verfolgt das strategische Ziel der Innovationsführerschaft bei Kerntechnologien der Produkte. Neben der technischen Funktionalität legt das Unternehmen sehr großen Wert auf das Industriedesign seiner Geräte.

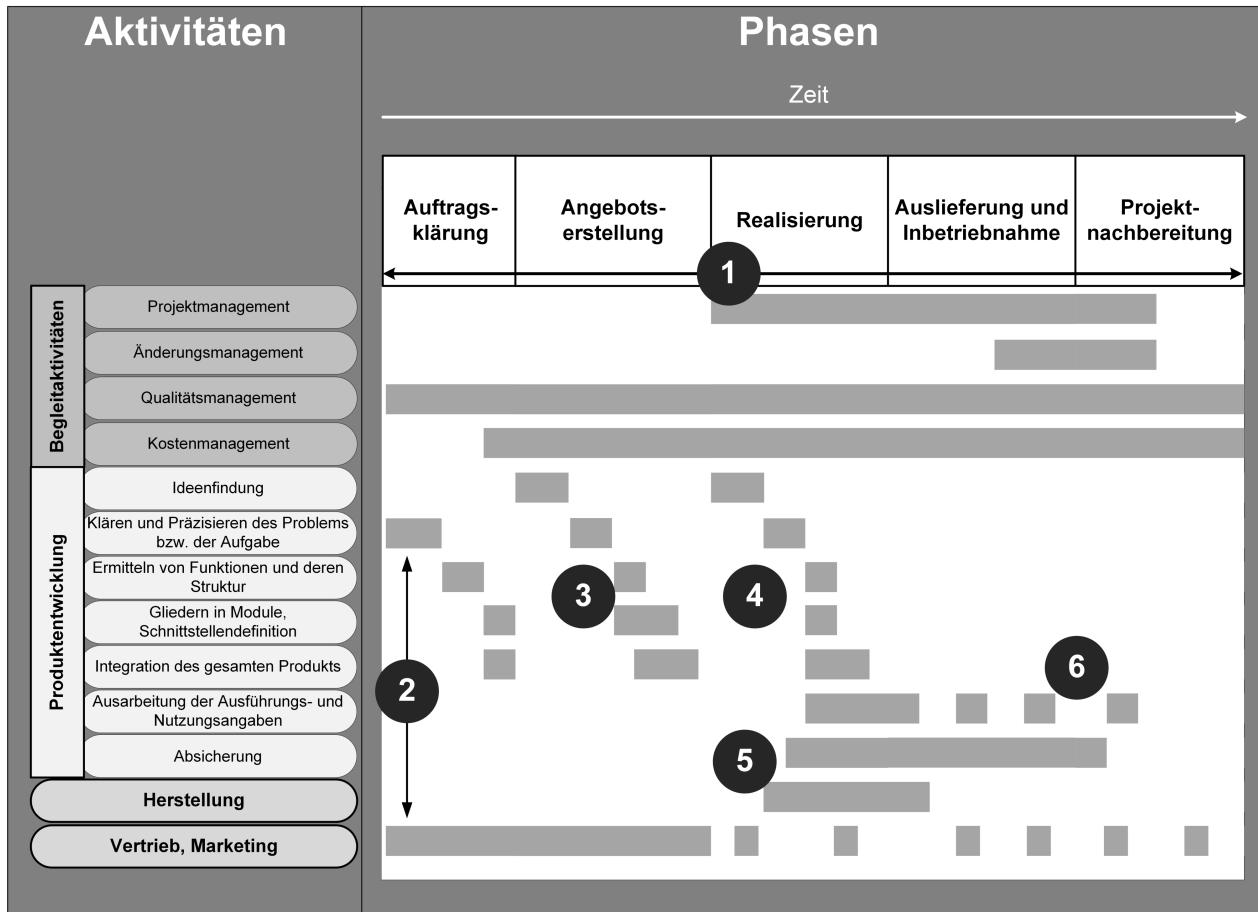


Bild A4. Prozessbeschreibung Beispiel Entwicklung von Sondermaschinen im Maschinenbau (Zur Erläuterung der Ziffern siehe Tabelle A5.)

Tabelle A5. Maßnahmen der Prozessgestaltung am Beispiel „Entwicklung von Sondermaschinen im Maschinenbau“

Nr.	Erläuterung
1	Entwicklungsarbeit findet in allen Phasen, von der Auftragsklärung bis zur Projektnachbereitung, statt. Zwischen den Phasen Auftragsklärung und Angebotserstellung sowie Angebotserstellung und Realisierung können längere Wartezeiten liegen.
2	Die Entwicklung ist bereits während der Klärung des Auftrags durch den Vertrieb mit eingebunden. Die Produktentwicklung hat direkten Kundenkontakt, um die genauen technischen Anforderungen an die Maschinen und die technische Machbarkeit zu klären. Erste Ansätze zur möglichen Realisierung werden auf Basis bekannter Baugruppen erarbeitet. Die Erkenntnisse aus der Auftragsklärung sind die Basis für den Angebotspreis bzw. für die Entscheidung, ob ein Angebot abgegeben wird oder nicht.
3	In der Phase der Angebotserstellung werden von der Entwicklung in enger Abstimmung mit dem Vertrieb prinzipielle Lösungskonzepte für die Aufgabenstellung erarbeitet und bewertet. Dazu werden erneut die Arbeitsschritte von der Ideenfindung bis zur Integration durchlaufen. Im betrachteten Unternehmen wird in dieser Phase ein Projektleiter benannt, der mit der Auftragserteilung die Verantwortung für das Projekt übernimmt.
4	Die endgültige Auftragserteilung durch den Kunden ist häufig mit Änderungen des Lastenhefts und des Zielpreises verbunden, sodass in der Realisierungsphase erneut der Prozess der Lösungssuche durchlaufen werden muss.
5	Typisch für den Sondermaschinenbau ist der frühzeitige Beginn der Herstellung der Maschinen. Beschaffungsprozesse für Komponenten, Vormontage von Baugruppen, Montage der Gesamtmaschinen müssen beginnen, bevor die Entwicklungsarbeiten komplett abgeschlossen sind.
6	Ausführungs- und Nutzungsunterlagen werden angepasst und auf den aktuellen Stand gebracht, bis die endgültige Abnahme der Maschine durch den Kunden erfolgt ist.

Die Wettbewerbssituation ist einerseits gekennzeichnet durch eine kleine Anzahl von Wettbewerbsunternehmen aus Europa, Asien und Nordamerika, die größer sind als das eigene Unternehmen, andererseits durch eine kleinere Anzahl von Wettbewerbern, die sich auf das Hochpreissegment konzentrieren. Neue Wettbewerber, insbesondere aus Asien, die sich im Niedrigpreissegment bewegen, drängen in den Markt.

Das Unternehmen produziert seine Geräte in Deutschland und Asien.

#### **A4.2 Beschreibung des Entwicklungsprozesses und Konsequenzen der Prozessgestaltung**

Als Reaktion auf die sich verändernde Wettbewerbssituation wurden in der Vergangenheit die Entwicklungszeiten deutlich reduziert, bei gleichbleibend hoher Produktqualität.

Der Entwicklungsbereich des Unternehmens ist entsprechend den Produktgruppen in unterschiedliche Bereiche aufgeteilt. Die einzelnen Bereiche sind für die komplette Entwicklung der jeweiligen Produktgruppe bis hin zur Markteinführung verantwortlich. Grundlegende Technologien, die in allen Produkten genutzt werden, werden in einem eigenen Bereich entwickelt. Es ist die Aufgabe der Technologieentwicklung, die spezifischen Produktentwicklungsprojekte mit neuen, abgesicherten Technologien zu versorgen.

Das Industriedesign entsteht in Zusammenarbeit mit einem externen Designbüro, das während des Entwicklungsprozesses sehr eng mit den Entwicklungsbereichen im Unternehmen zusammenarbeitet. Alle Entwicklungsbereiche pflegen eine enge Zusammenarbeit mit ausgewählten Kunden, um Kundenwünsche genau zu erfassen und gezielt in Produkte umzusetzen.

Im Vergleich zum allgemeinen Modell der Produktentwicklung unterscheidet sich das gezeigte Beispiel der Entwicklung von Elektrogeräten im Wesentlichen durch die in Bild A5 und Tabelle A6 beispielhaft aufgeführten Prozessgestaltungen.

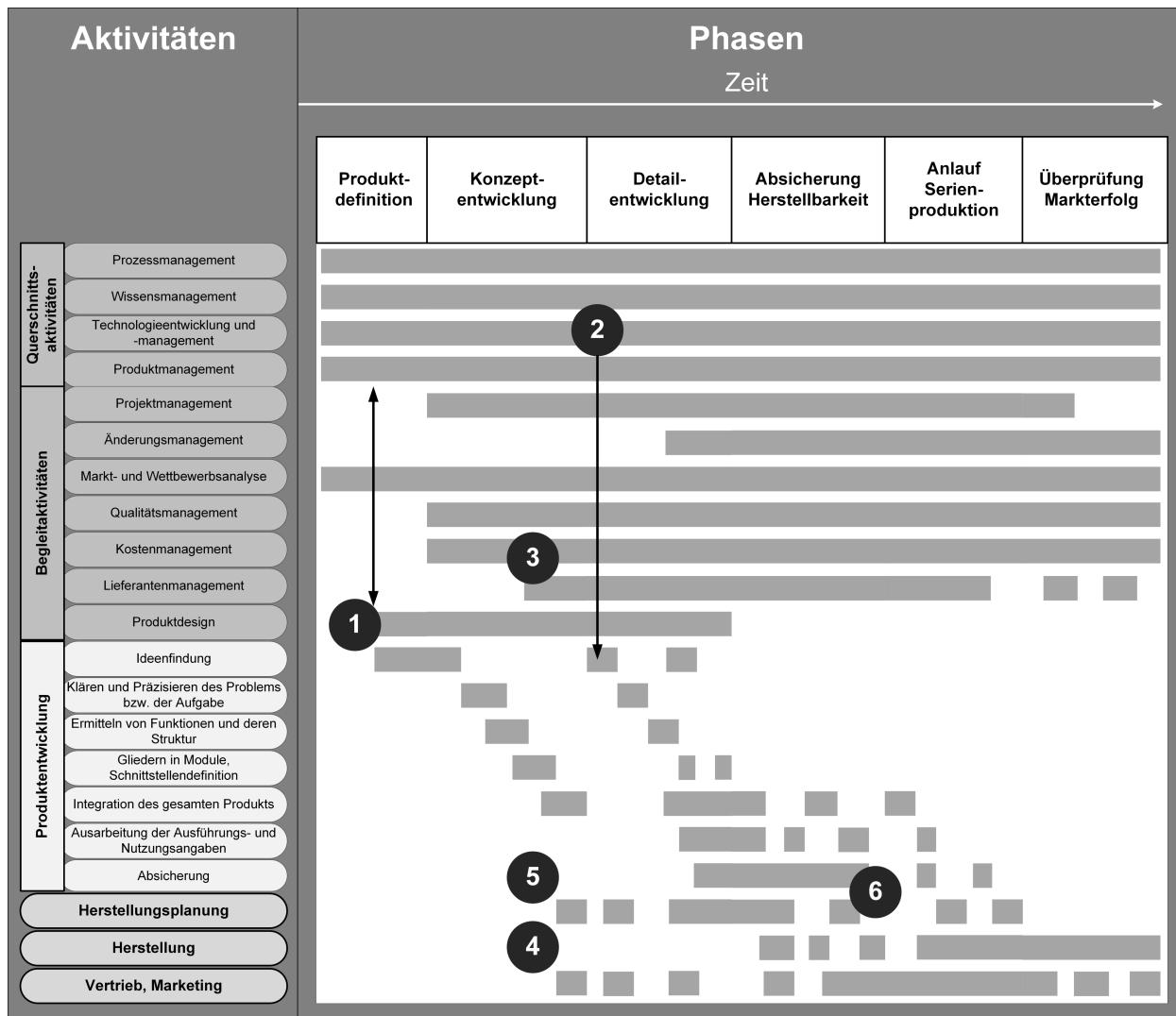


Bild A5. Prozessbeschreibung am Beispiel Entwicklung von Elektrogeräten (Zur Erläuterung der Ziffern siehe Tabelle A6.)

Tabelle A6. Maßnahmen der Prozessgestaltung am Beispiel Entwicklung von Elektrogeräten

Nr.	Erläuterung
1	Produktentwicklung, Industriedesign und Technologieentwicklung erarbeiten in Abstimmung mit dem Produktmanagement erste Ideen für die Neuentwicklung eines Produkts oder die Weiterentwicklung eines vorhandenen Produkts. Das Produktmanagement führt kontinuierlich Markt- und Wettbewerbsanalysen durch und erstellt auf dieser Basis, unter Berücksichtigung der Unternehmensstrategie, Lastenhefte für die Elektrogeräte.
2	Die Technologieentwicklung unterstützt die Konzeptentwicklung und liefert abgesicherte Technologien für die eigentliche Gerätetechnik.
3	Da für das Produkt ein hoher Anteil an Komponenten zugekauft wird, ist eine Einbindung des Lieferantenmanagements bereits bei der Konzeptentwicklung erforderlich. So kann das Lieferantenmanagement frühzeitig geeignete Lieferanten auswählen, um mit diesen parallel zur Entwicklung Lieferbedingungen zu klären.
4	Die geeigneten Vertriebs- und Marketingaktivitäten werden frühzeitig geplant, um die festgelegten Absatzzahlen für neue Geräte zu sichern. Geplante Stückzahlen beeinflussen wesentlich die von der Entwicklung zu erarbeitenden technischen Lösungen für die Elektrogeräte.
5	Zur Herstellungsplanung gehört für jedes Elektrogerät auch die Planung und Beschaffung der notwendigen Werkzeuge. Aufgrund langer Beschaffungszeiten für die Werkzeuge ist die Herstellungsplanung frühzeitig in den Entwicklungsprozess einzubinden.
6	Um das geforderte hohe Qualitätsniveau der Elektrogeräte zu erreichen, muss sichergestellt sein, dass sich die Geräte mithilfe der geplanten Herstellungsprozesse wie gefordert fertigen lassen. Dazu sind der Herstellungsprozess und das Produkt iterativ zu optimieren.

## A5 Studentisches Entwicklungsprojekt

### A5.1 Beschreibung des

#### **Entwicklungskontexts**

Das studentische Entwicklungsprojekt wird in einem Masterstudiengang des Maschinenbaus angeboten, um über eine Laufzeit von fünf Monaten Methoden und Prozesse der Produktentwicklung zu vermitteln und diese an realen Aufgabenstellungen in Zusammenarbeit mit einem Industriepartner anzuwenden [19].

Die Zielsetzung des Entwicklungsprojekts liegt in der Erarbeitung und Entwicklung von Produktkonzepten mit hohem Innovationspotenzial.

Darüber hinaus ist ein wesentlicher Schwerpunkt die Nachweisführung der technischen und wirtschaftlichen Machbarkeit, was den Aufbau von Prototypen erfordert. Innovationsprojekte sind gekennzeichnet durch einen im Vergleich zum industriellen Kontext hohen Neuentwicklungsanteil, flexible Prozessstrukturen und die intensive Nutzung verschiedener Entwicklungsmethoden und Tools.

Durch eine geringe Fehlerauswirkung bei Konzeptstudien im Vergleich zu Serienentwicklungen sind die Validierungsumfänge bei dieser Art der Produktentwicklung gering.

### **A5.2 Beschreibung des Entwicklungsprozesses und Konsequenzen der Prozessgestaltung**

In der Recherche phase wird ein vorgegebenes Suchfeld auf Basis einer groben Aufgabenstellung untersucht, notwendige Informationen über die relevanten Märkte, Technologien und zukünftige Trends werden analysiert und Wissensspeicher für nachfolgende Phasen befüllt.

In der Profilphase wird die Aufgabenstellung kontinuierlich weiter konkretisiert und es werden alternative Produktprofile erarbeitet. Produktprofile definieren Bedarfssituationen am Markt, unter Berücksichtigung der Ziele, Anforderungen und Randbedingungen, betonen hierbei Kunden- und Anbieternutzen und charakterisieren das zukünftige Produkt in seinen grundlegenden Eigenschaften.

Anschließend werden die Produktprofile mit dem höchsten Innovationspotenzial in Zusammenarbeit mit dem Industriepartner ausgewählt.

Eine verstärkte Integration des Kunden sowie der Nutzergruppe in dieser Phase ermöglicht eine erste Beurteilung des Innovationspotenzials.

Auf Basis der ausgewählten Produktprofile erfolgt die Erarbeitung von alternativen Lösungsprinzipien und ersten Struktrentwürfen. Die Validierung

erfolgt hierbei in Form von einfachen Funktionsprototypen zumeist auf Teilsystemebene.

In der Konzeptphase werden die ausgewählten Lösungskonzepte und die zugehörigen Strukturentwürfe (Systemarchitekturen) konkretisiert, modularisiert und anschließend in das gesamte Produkt integriert. Neben der Entwicklung und Validierung wird hier bereits die Fertigung der Prototypen für diese und die nachfolgende Phase geplant.

In der Prototypenphase werden Prototypen hergestellt und anschließend unter Kunden- und Nutzer-einbindung validiert. So werden Ziele und Anforderungen für potenzielle Serienentwicklungsprojekte weiter konkretisiert und das Innovationspotenzial erneut beurteilt.

Im Vergleich zum allgemeinen Modell der Produktentwicklung unterscheidet sich das gezeigte Beispiel eines studentischen Entwicklungsprojekts im Wesentlichen durch die in Bild A6 und Tabelle A7 beispielhaft aufgeführten Prozessgestaltungen.

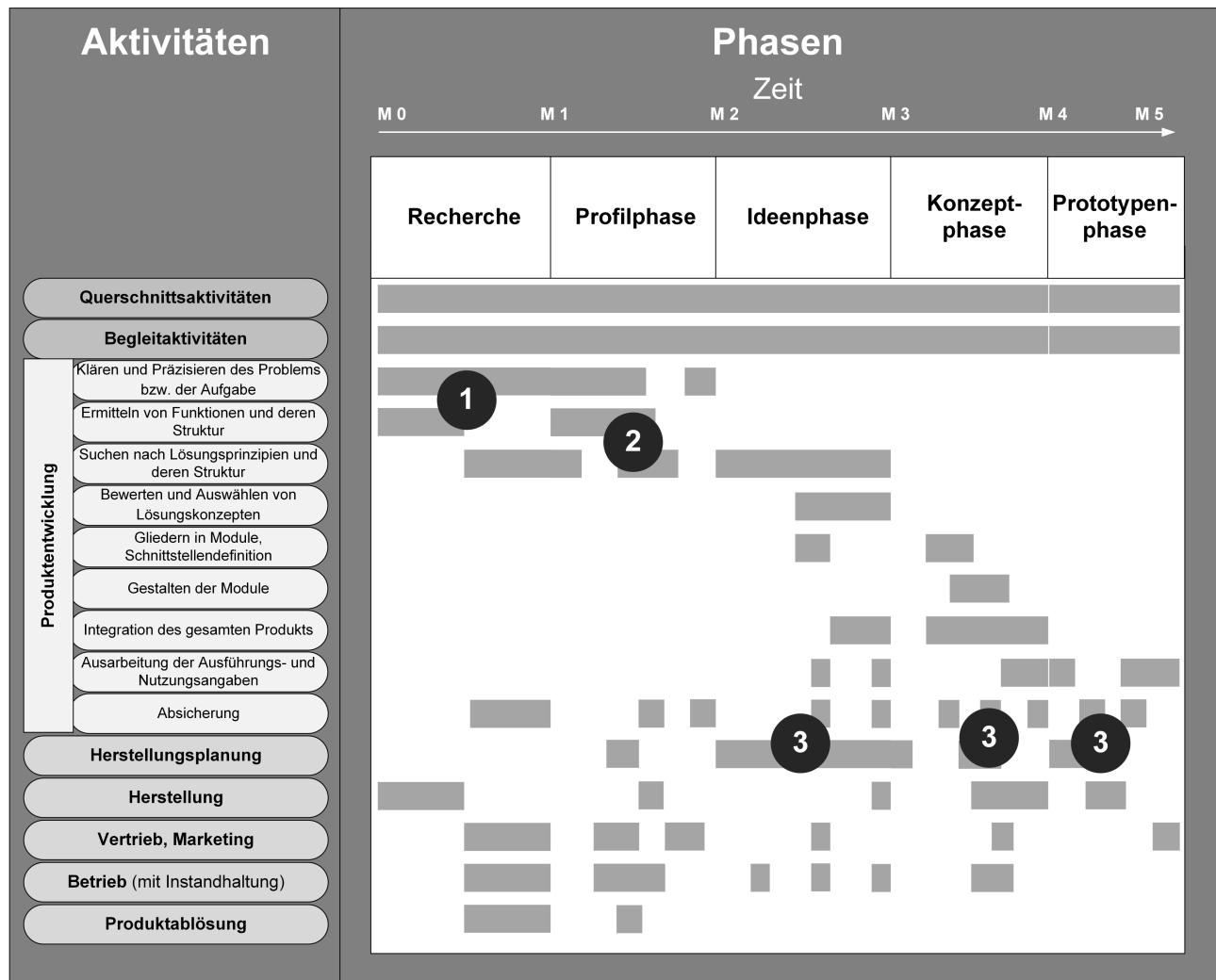


Bild A6. Prozessbeschreibung am Beispiel eines studentischen Entwicklungsprojekts (Zur Erläuterung der Ziffern siehe Tabelle A7.)

Tabelle A7. Maßnahmen der Prozessgestaltung am Beispiel eines studentischen Entwicklungsprojekts

Nr.	Erläuterung
1	Zur Klärung der Ausgangssituation recherchieren die Studierenden Informationen bezüglich Funktionen und Lösungsprinzipien sowie bezüglich Informationen zu Herstellung, Vertrieb, Instandhaltung und Produktablösung bestehender Produkte.
2	Parallel zur Entwicklung der Produktprofile definieren die Studierenden mögliche Funktionen und suchen nach Lösungsprinzipien.
3	Zur fortlaufenden Validierung werden sowohl virtuelle als auch physische Prototypen mit unterschiedlichen Detailierungsgraden erstellt. Hierfür werden neben der Suche nach Lösungsprinzipien auch erste Module gegliedert, gestaltet und in das Gesamtsystem integriert.