

Ein Beitrag zur frühzeitigen Abschätzung der Produkt- komplexität und zur Definition einfacher Produkte

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktoringenieur

(Dr.-Ing.)

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Stephan Hartmann

geb. am 13.12.1980 in Beckendorf - Neindorf

genehmigt durch die Fakultät Maschinenbau

der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Dr.h.c. S. Vajna

Prof. Dr.-Ing. H. Meerkamm

Stephan Hartmann

Ein Beitrag zur frühzeitigen Abschätzung der Produkt-komplexität und zur Definition einfacher Produkte

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Integrierte Produktentwicklung, Band 18

© 2013 Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Lehrstuhl für Maschinenbauinformatik
Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Sándor Vajna
Postfach 4120
D - 39016 Magdeburg
<http://lmi.uni-magdeburg.de/>

Alle Rechte vorbehalten, auch das des Nachdruckes, der Wiedergabe (Photokopie etc.), der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, auszugsweise oder vollständig.

Printed in Germany

ISBN 978-3-941016-06-4

Vorwort

Produkte sind Ergebnisse von Prozessen und umgekehrt. Komplizierte und komplexe Produkte führen daher zu entsprechend komplizierten und komplexen Entwicklungs- und Herstellungsprozessen. Dies wird heute dadurch verschärft, dass Prozesse sich nicht mehr in einem starren Bezugsrahmen (bzgl. Anforderungen, Zeit und Budget) bewegen, sondern in einem dynamischen Umfeld agieren müssen, das durch laufende Veränderung der definierenden und begleitenden Bedingungen gekennzeichnet ist. In diesem Spannungsfeld ist die vorliegende Arbeit angesiedelt.

Eine der wesentlichen Forderungen bei der Entwicklung von Produkten gerade in einem solchen dynamischen Umfeld lautet, dass die Lösungen eindeutig, einfach und sicher sein sollen (dabei wird zu Recht festgestellt, dass die Entwicklung einfacher Produkte dazu beiträgt, die Wettbewerbssituation eines Unternehmens zu verbessern). Es ist erstaunlich, dass auf diesem Gebiet bislang kaum Forschungsaktivitäten festgestellt werden.

Während Eindeutigkeit und Sicherheit eines Produkts sich unmissverständlich vorgeben, erreichen und messen lassen, ist dies bei der Einfachheit eines Produkts bisher nicht möglich, denn die meisten der zur Beschreibung verwendeten Begriffe definieren "Einfachheit" nur indirekt über das Nichtvorhandensein von bestimmten Phänomenen (z.B. kritische Eigenschaften und Inkompatibilitäten). Die Schwierigkeiten mit dem Begriff „einfach“, der in der deutschen Sprache sehr verschiedenartige Bedeutungen haben kann, äußern sich beispielsweise darin, dass es ohne Kenntnis der Einflüsse der jeweiligen Umgebung nicht möglich ist, diesen Begriff eindeutig zu definieren. Herr Dr. Hartmann zeigt auf, dass "Einfachheit" meist ein subjektives Verständnis darstellt, das von der jeweiligen Kultur, in der sich der Beurteiler befindet, beeinflusst ist. Er stellt außerdem fest, dass man es sich zu einfach machen würde, würde man „Einfachheit“ einfach als Gegenteil von „Komplexität“ definieren.

In der vorliegenden Arbeit wird ein Bewertungsverfahren für die Einfachheit vorgestellt, das auf einheitlichen Begriffen und Vorgehensweisen aufbaut. Dabei werden nicht nur Produkte als Ergebnisse von Prozessen berücksichtigt, sondern auch die den Prozessen innewohnenden Komplexitäten und die Qualifikationen der mit ihrer Bearbeitung betrauten Mitarbeiter. Dadurch kommt es zu einer Erweiterung des Bewertungsverfahrens, dessen wesentliche Ziele neben einer reproduzierbaren Gruppierung von Lösungen auch Verfahren zur Reduktion der Vielzahl von gleichwertigen Lösungen sind, genauso wie Hinweise zum Zeitpunkt einer Be-

wertung und zum Personenkreis, der eine solche Bewertung durchführt. Die Bewertung selbst erfolgt sowohl auf der Produkt- als auch auf der Prozessseite anhand miteinander vernetzter Partialmodelle. Die Leistungsfähigkeit seines Bewertungsverfahrens demonstriert Herr Dr. Hartmann an drei Beispielen unterschiedlicher Einfachheit.

Die vorliegende Dissertationsschrift leistet Pionierarbeit zum besseren Verständnis der sich gegeneinander beeinflussenden Anforderungen und Bedingungen bei Konzeption und Auslegung von einfachen Produkten und einfachen Prozessen.

Magdeburg, im Mai 2013

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Sándor Vajna

Abstrakt

Die zunehmenden Anforderungen, die heutzutage an Produkte gestellt werden, führen zu neuen Herausforderungen im Entwicklungs- und Entstehungsprozess technischer Produkte. Neben den qualitativ und quantitativ steigenden Anforderungen ist es vor allem die Technologieentwicklung, die neue Funktionsmöglichkeiten bereitstellt und somit die Entwicklung komplexer Produkte vorantreibt.

Allerdings gelten für Produkte immer noch die Gestaltungsrichtlinien, dass sie möglichst einfach, eindeutig und sicher sein sollen. Während die Richtlinien sicher und eindeutig definierbar und bestimmt werden können, kann die einfache Gestaltung eines Produktes bisher nicht eindeutig und nicht objektiv ermittelt werden.

Während des Produktentstehungsprozesses entstehen viele Konzepte, die miteinander bewertet werden müssen, welches durch unterschiedlichste Methoden ermöglicht wird. Allerdings liefern diese Methoden keine Informationen über die Komplexität oder Einfachheit eines Produktes, bzw. unterschiedlicher Konzepte von Produkten.

Ziel dieser Arbeit ist es daher, über den gesamten Entwicklungsprozess mögliche Kennzahlen zur Identifikation von einfachen bzw. komplexen Produkten aufzuzeigen. Dadurch soll dem Produktentwickler ein Werkzeug an die Hand gegeben werden, mit dem schon frühzeitig ungewollte Komplexitäten entdeckt und sie anschließend durch Optimierungen des Produktes oder des Konzeptes vermieden werden können.

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Maschinenbauinformatik am Institut für Maschinenkonstruktion der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Sandor Vajna, dem Inhaber des Lehrstuhls für Maschinenbauinformatik, für die Förderung und Unterstützung dieser Arbeit. Viele Gespräche haben mich neu inspiriert und mir ermöglicht, meine Gedanken neu zu strukturieren.

Weiterhin bedanke ich mich sehr herzlich bei Prof. Dr.-Ing. Harald Meerkamm, dem ehemaliger Inhaber des Lehrstuhls für Konstruktionstechnik in Erlangen, für die Übernahme des Korreferats und die aufmerksame Durchsicht dieser Arbeit.

Ebenfalls möchte ich mich bei allen Kolleginnen und Kollegen des Lehrstuhls für viele hilfreiche Diskussionen und gedankliche Anregungen bedanken. Besonders Herr Dr.-Ing. Dipl.-Math. Michael Schabacker stand mit von den ersten Ideen bis zur Abgabe sehr hilfreich zu Seite.

Magdeburg, im Mai 2013

Stephan Hartmann

Inhaltverzeichnis

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	IX
TABELLENVERZEICHNIS	XI
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	XIII
1. EINLEITUNG	1
1.1 AUSGANGSSITUATION	1
1.2 MOTIVATION	4
1.3 ZIELSETZUNG	5
1.4 AUFBAU DER ARBEIT.....	6
2. DEFINITION VON PRODUKTEN UND DES PRODUKTLEBENSZYKLUS.....	7
2.1 PRODUKTE.....	7
2.2 TECHNISCHE PRODUKTE.....	10
2.3 PRODUKTLEBENSZYKLUS	12
2.3.1 BETRIEBSWIRTSCHAFTLICHE GRUNDMODELLE DES PRODUKTLEBENSZYKLUS.....	12
2.3.2 TECHNISCHES MODELL DES PRODUKTLEBENSZYKLUS	15
2.3.3 EIGENSCHAFTEN EINES PRODUKT IM PRODUKTLEBENSZYKLUS	19
2.3.4 FAZIT.....	21
3. EINFACHE UND KOMPLEXE PRODUKTE	22
3.1 ALLGEMEINE VERSTÄNDLICHKEIT VON EINFACHHEIT UND KOMPLEXITÄT.....	22
3.1.1 EINFACHHEIT	22
3.1.2 KOMPLEXITÄT	24
3.2 VORTEILE DER EINFACHHEIT.....	25
3.2.1 VORTEILE EINFACHER PRODUKTE	25
3.2.2 VORTEILE EINFACHER KONSTRUKTIONEN BEZÜGLICH DES PRODUKTLEBENSZYKLUSSES	26
3.3 GRUNDLAGEN DER SYSTEMTHEORIE	28
3.3.1 EINFACHES SYSTEM.....	30
3.3.2 KOMPLIZIERTES SYSTEM	30
3.3.3 KOMPLEXES SYSTEM.....	32
3.3.4 VORTEILE EINFACHER SYSTEME.....	34
3.3.1 ZUSAMMENFASSUNG EINFACHER UND KOMPLEXER SYSTEME	35
3.4 KOMPLEXITÄT IM PRODUKTENTWICKLUNGSPROZESS	37
3.5 EINFACHE UND KOMPLEXE PRODUKTE IN DER PRODUKTENTWICKLUNG	38
3.6 DEFINITION EINES EINFACHEN PRODUKTES	42
3.7 ERWEITERUNG DER BEWERTUNGSPROZESSES	48
3.8 ZIEL DES BEWERTUNGSVERFAHRENS	51
3.9 ANWENDUNGSZEITPUNKT DER BEWERTUNG.....	54
3.10 ANWENDER DES BEWERTUNGSVERFAHRENS.....	55
3.11 WERKZEUGE UND METHODEN ZUR BEHERRSCHUNG DER PRODUKTKOMPLEXITÄT	56

3.11.1	PRODUKTKONFIGURATOR.....	56
3.11.2	FUNKTIONSMODELL.....	57
3.11.3	3D-CAD-SYSTEM	59
3.11.4	AUSBLICK FERTIGUNGSPLANUNG UND PRODUKTION	59
4.	BEWERTUNGSVERFAHREN IN DER PRODUKTENTWICKLUNG	62
4.1	NUTZWERTANALYSE	62
4.2	TECHNISCH-WIRTSCHAFTLICHE BEWERTUNG NACH VDI 2225.....	65
4.3	KOSTEN-NUTZEN-ANALYSE.....	66
4.4	KOSTEN-WIRKSAMKEITS-ANALYSE	68
4.5	BINÄRES BEWERTUNGSVERFAHREN	71
4.6	RANGFOLGEVERFAHREN	72
4.7	FEHLER-MÖGLICHKEITS- UND EINFLUSS-ANALYSE	78
4.8	RISIKO-/GEFAHRENANALYSE	81
4.8.1	RISIKOARTEN.....	82
4.8.2	ERMITTLUNG DER EINZELRISIKEN	84
4.9	VERGLEICH DER BEWERTUNGSVERFAHREN	86
5.	ERARBEITUNG EINES BEWERTUNGSKONZEPTES	87
5.1	BEWERTUNGSKRITERIEN	88
5.2	BEWERTUNG DES PRODUKTES	88
5.2.1	ERARBEITUNG DER KENNZAHLEN DER PRODUKTPLANUNG.....	103
5.2.2	ERARBEITUNG DER KENNZAHLEN DER PRODUKTENTSTEHUNG	106
5.2.3	ERARBEITUNG DER KENNZAHLEN DER AUSLIEFERUNG UND NUTZUNG	107
5.2.4	ERARBEITUNG DER KENNZAHLEN DES RECYCLINGS	108
5.3	BEWERTUNG DES PRODUKTRISIKOS	108
5.3.1	ERMITTLUNG DES PRODUKTRISIKOS.....	108
5.3.2	ERMITTLUNG DES GESAMTRISIKOS.....	110
5.3.3	BEISPIEL EINER RISIKOAGGREGATION	113
5.4	ERGEBNISDARSTELLUNG DER KOMPLEXITÄT	115
5.5	TECHNISCHE UMSETZUNG DER BEWERTUNG.....	117
6.	BEISPIELHAFTE UMSETZUNG DER BEWERTUNG	119
6.1	PRODUKTKOMPLEXITÄT	119
6.2	PRODUKTRISIKO	126
6.3	ERGEBNISDARSTELLUNG	129
7.	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	134
	LITERATURVERZEICHNIS	137
	LEBENS LAUF	146

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Wachsende Unternehmensanforderungen [BUR01].....	2
Abbildung 1-2: Entgangener Deckungsbeitrag für PKWs (obere Mittelklasse) [MCK01]	3
Abbildung 2-1: Phasen des Produktlebenszyklus [ZIN03]	13
Abbildung 2-2: Phasen des Produktlebenszyklus [SAKR05]	14
Abbildung 2-3: Produktlebenszyklus nach EHRENSPIEL [KES95].....	16
Abbildung 2-4: Produktlebenszyklus nach VAJNA [VAJ11].....	16
Abbildung 2-5: Produktlebenszyklus nach ISO 9004-1 [ISO9004].....	17
Abbildung 2-6: Acht Produkteigenschaften in der PE [VAJ11]	20
Abbildung 2-7: Übersicht der Gerechtheiten in der Produktentwicklung [nach LIP08]	21
Abbildung 3-1: Darstellung eines Systems [DBG01]	29
Abbildung 3-2: Einfaches System [nach ENG01]	30
Abbildung 3-3: Kompliziertes System [nach ENG01]	31
Abbildung 3-4: Komplexes System [nach ENG01]	33
Abbildung 3-5: Komplexität als Merkmal der Systemstruktur [PAT82].....	36
Abbildung 3-6: Komplexität des Produktlebenszyklus [KFG07]	37
Abbildung 3-7: Flaschenöffner [www05]	44
Abbildung 3-8: Getriebe [HAR09]	45
Abbildung 3-9: Fahrrad [www06].....	46
Abbildung 3-10: Aspekte der Produktentwicklung [LIP08]	48
Abbildung 3-11: Abhängigkeiten der Produktkomplexität	49
Abbildung 3-12: Allgemeines Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren [VDI93]	51
Abbildung 3-13: Vorgehensmodell nach Olsson [OLS85]	52
Abbildung 3-14: Produktwechsel [OTT89]	53
Abbildung 3-15: Produktkonfigurator [www08]	56
Abbildung 3-16: Ausschnitt eines Funktionsmodells am Beispiel eines Montageroboters	57

Abbildung 3-17: Detailliertes Funktionsmodell mit Haupt- und Nebenfunktionen	58
Abbildung 3-18: Y-CIM Modell für technische und dispositive Prozessketten [SCH88].....	60
Abbildung 4-1: Erstellen eines Zielsystems [BRK97]	62
Abbildung 4-2: Ermittlung der Gewichtungen einzelner Stufen [BRK97].....	64
Abbildung 4-3: Diagramm zur Darstellung der Bewertungsergebnisse [BRK97]	65
Abbildung 4-4: Kosten-Nutzen-Modell	66
Abbildung 4-5: Kosten-Wirksamkeits-Diagramm [DRH07]	71
Abbildung 4-6: Formblatt der FMEA [PBF06].....	80
Abbildung 4-7: Risikokategorien und Einordnung von technischen Risiken [GIR01]	83
Abbildung 4-8: Risikomatrix [www07]	85
Abbildung 5-1: Abhängigkeiten der Produktkomplexität	87
Abbildung 5-2: Produktkomplexität.....	88
Abbildung 5-3: Lebensphasen des PLZ (nach [KES95]).....	89
Abbildung 5-4: Simultaneous Engineering/ Concurrent Engineering [STV99]	90
Abbildung 5-5: Partialmodelle des Produktlebenszyklus	91
Abbildung 5-6: Partialmodelle in der Produktplanung	94
Abbildung 5-7: Partialmodelle in der Produktentstehung	99
Abbildung 5-8: Partialmodelle im Produktlebenszyklus	102
Abbildung 5-9: Mögliche Ausprägung von Kennzahlen	103
Abbildung 5-10: Ermittlung des Produktrisikos	108
Abbildung 5-11: Beispiel einer Risikoaggregation [GLB07]	111
Abbildung 5-12: Gewinnverteilung [GLB07]	112
Abbildung 5-13: Risikoaggregation	112
Abbildung 5-14: Darstellung der Komplexität eines Produktes	115
Abbildung 6-1: Baugruppe Antriebswelle [HAR09]	121
Abbildung 6-2: Gesamtbaugruppe Getriebe [HAR09]	122
Abbildung 6-3: Visualisierung der Komplexität von Produkten	129
Abbildung 6-4: Visualisierung der Komplexität der Getriebe	133

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Gegenüberstellung verschiedener Produktlebenszyklen [nach LKA12]	18
Tabelle 3-1: Morphologie von Systemeigenschaften [EVS04].....	35
Tabelle 3-2: Kriterien für den Vergleich einfacher Produkte	43
Tabelle 3-3: Produktvergleich bezüglich der Einfachheit [nach STS08].....	47
Tabelle 3-4: Aufgabenverteilung im Unternehmen [WIß05].....	55
Tabelle 4-1: Werteskala [BÖG10]	63
Tabelle 4-2: Zusammenfassung für die Fertigung einer Getriebewelle.....	67
Tabelle 4-3: Kosten-Nutzen-Analyse einer Getriebewellenfertigung.....	68
Tabelle 4-4: Problemidentifizierung der KWA.....	69
Tabelle 4-5: Alternativen der KWA.....	69
Tabelle 4-6: Einzelbeschreibung der KWA	69
Tabelle 4-7: Maßstabsfestlegung der KWA.....	70
Tabelle 4-8: Bewertung der KWA	70
Tabelle 4-9: 1. Möglichkeit.....	72
Tabelle 4-10: 2. Möglichkeit.....	73
Tabelle 4-11: 3. Möglichkeit.....	73
Tabelle 4-12: 4. Möglichkeit.....	74
Tabelle 4-13: 5. Möglichkeit.....	74
Tabelle 4-14: 6. Möglichkeit.....	74
Tabelle 4-15: 7. Möglichkeit.....	75
Tabelle 4-16: 8. Möglichkeit.....	75
Tabelle 4-17: 9. Möglichkeit.....	75
Tabelle 4-18: Ermittlung der Maßzahlen	76
Tabelle 4-19: Ermittlung der Rangfolge der Bewertungskriterien.....	77
Tabelle 4-20: Ergebnis des Rangfolgeverfahren	77

Tabelle 4-21: Identifikation von Einzelrisiken [ZIE07].....	84
Tabelle 4-22: Ermittlung des Schadenspotentials ([SCV04], [SCA05]).....	85
Tabelle 4-23: Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit ([SCV04], [SCA05])	85
Tabelle 5-1: Einteilung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580 [FRI10].....	97
Tabelle 5-2: Integralbauweise durch Gießverfahren [EKL07].....	98
Tabelle 5-3: Eintrittswahrscheinlichkeiten und Schadensausmaße der Einzelrisiken	113
Tabelle 5-4: Auszug einer Risikoaggregation	114
Tabelle 6-1: Informationen des Flaschenöffners I	119
Tabelle 6-2: Informationen des Flaschenöffners II	119
Tabelle 6-3: Informationen des Getriebes I.....	120
Tabelle 6-4: Informationen des Getriebes II	121
Tabelle 6-5: Informationen des Fahrrads I	123
Tabelle 6-6: Informationen des Fahrrads II.....	124
Tabelle 6-7: Ermittlung der Produktkomplexität	125
Tabelle 6-8: Ermittlung der aggregierten Teilrisiken.....	128
Tabelle 6-9: Informationen des Getriebe 2 (I)	130
Tabelle 6-10: Informationen des Getriebe 2 (II)	131
Tabelle 6-11: Vergleich der Komplexitäten	131
Tabelle 6-12: Vergleich der Getriebevarianten	132

Abkürzungsverzeichnis

Fachliche Abkürzungen

CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAX	Computer Aided X
CE	Concurrent Engineering
CIM	Computer Integrated Manufacturing
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
ERP	Enterprise Resource Planning
FMEA	Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse
KISS	Keep it short and simple
MS	Microsoft
NC	Numeric Control
PDM	Product Data Management/ Produktdatenmanagement
PLM	Product-Lifecycle-Management/ Produktlebenszyklusmanagement
SE	Simultaneous Engineering
UN	Unternehmen
www	World Wide Web

Grammatikalische Abkürzungen

bzgl.	b ezü g lich
bzw.	b ezie h ungs w eise
Nr.	N ummer
S.	S eite
s.o.	siehe o ben
u.a.	u nter a nderem
usw.	u nd so w eiter
z.B.	zum B eispiel

1. Einleitung

„Keep it short and simple“ oder „Keep it simple, stupid“ (KISS) besagt, dass für die Lösung eines Problems die möglichst einfachste Lösung verwendet werden soll. Das KISS – Prinzip ist weit verbreitet und kann auf verschiedene Bereiche des Lebens, wie zum Beispiel der erfolgreichen Kommunikation, aber auch auf die Problemlösung der Informatik oder der Produktentwicklung angewendet werden. Aber wann ist gerade im Bereich der Produktentwicklung ein Produkt einfach und wann ist es komplex ([NIE04], [TOE07])?

1.1 Ausgangssituation

In den vergangenen Jahren haben sich die Wettbewerbsbedingungen für Unternehmen wesentlich verändert. Zum einen agieren Unternehmen auf zunehmend gesättigten und fragmentierten Nischen-Märkten mit spezifischen Nachfragebedürfnissen, die raschen Änderungen unterworfen sind. Zum anderen führen globale Absatzmärkte zu immer stärker werdenden Konkurrenzdruck der Unternehmen untereinander. Aber auch der Kunde ist aufgrund verbesserter Informations- und Kommunikationskanäle umfassender informiert und verlangt immer intensiver nach kundenindividuellen Produkten, die seinen gestiegenen Ansprüchen genügen. Aus diesen Gründen hat der Innovationsdruck auf die Unternehmen rasant zugenommen und somit den Produktlebenszyklus deutlich verkürzt. Steigende Forschungs- und Entwicklungskosten bei gleichzeitig sinkenden Erträgen sind die Folge [KFG07].

Abbildung 1-1 zeigt vier wesentliche Faktoren Zeit-, Innovations-, Kosten- und Qualitätsdruck, mit denen Unternehmen aus heutiger Sicht konfrontiert sind.

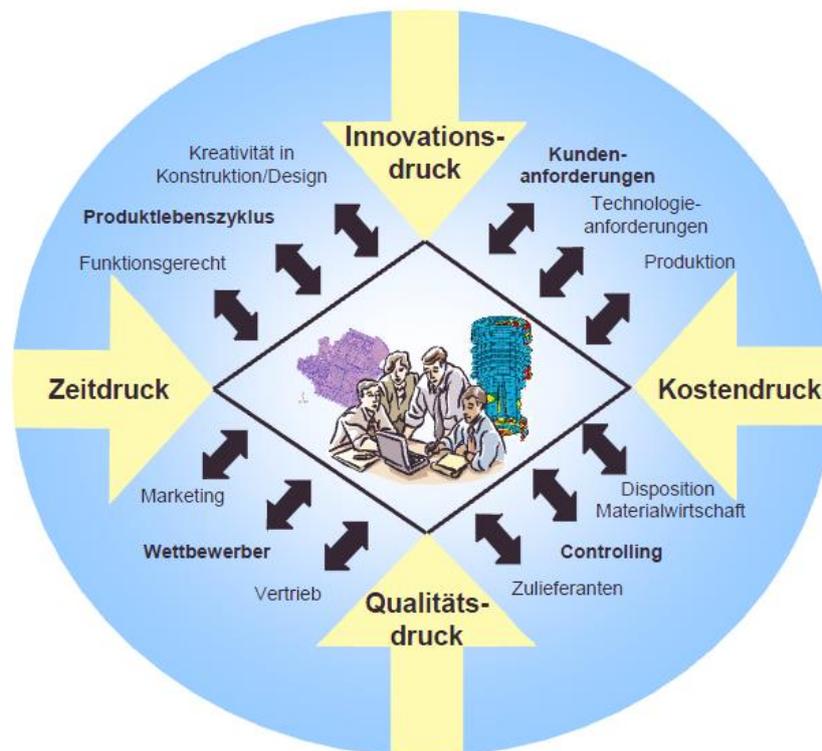


Abbildung 1-1: Wachsende Unternehmensanforderungen [BUR01]

Alle genannten Faktoren beeinflussen die Arbeit des Produktenwicklers. Dieser wird dazu angehalten, Produkte in kürzeren Entwicklungszyklen günstiger und stetig besser zu entwickeln [BUR01]:

- Produkte müssen hinsichtlich anderer Konkurrenzprodukte qualitativ besser sein oder mindestens gleiche Merkmale wie Konkurrenzprodukte aufweisen.
- Das Gesamtbudget sollte das der Konkurrenzprodukte nicht übersteigen.
- Die Dauer der Produktentwicklungszyklen sollten zur Minimierung der Kosten nicht die Zyklen der Konkurrenz übersteigen.
- Zur Abgrenzung zur Konkurrenz sollten alle Produkte ein Innovationspotential aufweisen.

Trotz der gewachsenen Anforderungen müssen Fehler am Produkt vermieden werden. Fehler im Produktentwicklungsprozess oder Änderungen nach Beginn der Serienproduktion führen aufgrund ihrer Beseitigung zu längeren Entwicklungszeiten und damit unweigerlich zu einem höheren Kostenaufwand.

Abbildung 1-2 stellt mögliche Fehlplanungen und nachträgliche Veränderungen im Automobilbereich und eine geschätzte Differenz des Deckungsbeitrages dar. Eine Verzögerung der Markteinführung eines PKWs kann für einen Automobilhersteller einen entgangenen Deckungsbeitrag von 300 Mio. Euro bedeuten [MCK01].

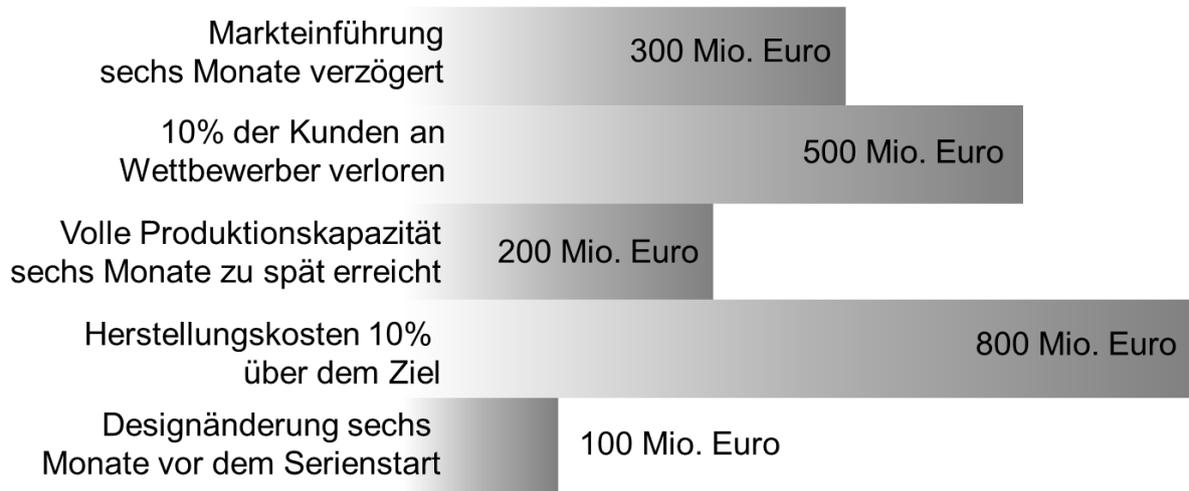


Abbildung 1-2: Entgangener Deckungsbeitrag für PKWs (obere Mittelklasse) [MCK01]

Mögliche Fehlplanungen im Produktentstehungsprozess können aufgrund von einem zu großen Änderungsaufwand zu wirtschaftlichen Nachteilen des Unternehmens führen. Auftretende Probleme können zum Beispiel zu notwendigen Designänderungen kurz vor dem Serienstart führen, welche mit einem Schaden von 100 Mio. Euro geschätzt werden.

Um solche Verluste zu verhindern, sollen Produkte sowie deren Prozesse trotz vieler Anforderungen möglichst überschaubar und beherrschbar sein. Dabei wird hier die Behauptung aufgestellt, dass einfache Produkte eher überschaubar und beherrschbarer sind als komplexe Produkte.

Um Fehlplanungen zu vermeiden, müssen schon zu Beginn der Produktentwicklung wegweisende Entscheidungen für die nachfolgenden Prozesse getroffen werden. Es sollen mögliche auftretende Probleme späterer Phasen des Entwicklungsprozesses bereits im Vorfeld identifiziert und dazu Lösungen ausgearbeitet werden. Diese Probleme können auch aufgrund sehr komplexer, vielleicht auch unnötig komplexer Produktdetails oder deren Entwicklungsprozesse entstehen.

Die Arbeit beschäftigt sich mit der Definition von einfachen Produkten und ermöglicht eine frühzeitige Abschätzung sowie eine Identifikation von Produktkomplexitäten. Auf Basis dieser Informationen können schon frühzeitige Verbesserungen des Produktes durchgeführt werden.

1.2 Motivation

Eine Vielzahl von wissenschaftlichen Arbeiten behandelt das Thema des Variantenmanagements als Komplexitätstreiber. Hierbei werden Lösungswege aufgezeigt, die einen wirtschaftlichen Umgang mit variantenreichen Produkten ermöglichen. Der allgemeine Konsens aller Arbeiten liegt in der Komplexitätsreduzierung durch Analyse und Bewertung vorhandener Varianten, um wirtschaftlich unattraktive Alternativen zu eliminieren und somit die Komplexitäten in allen Bereichen eines Unternehmens beherrschbar zu gestalten und für zukünftige Produkte eine unnötig hohe Komplexität zu vermeiden.

Ein Schwerpunkt dieser Arbeit liegt in der Identifizierung der Komplexität von technischen Produkten, die weitestgehend unabhängig von der Variantenvielfalt entstehen, aber trotzdem rückwirkend auch auf diese einen komplexitätsreduzierenden Einfluss ausüben können.

Für Unternehmen ist es von besonderer Bedeutung, die steigende Komplexität und die damit einhergehenden Kostentreiber zu analysieren, um ein effektives Komplexitätsmanagement betreiben zu können.

In dieser Arbeit wird das Ziel verfolgt, dem Produktentwickler ein Werkzeug zur Hand zu geben, mit dem das Produkt oder auch unterschiedliche Konzepte eines Produktes und deren Produktlebenszyklus hinsichtlich auftretender Komplexitäten untersucht und bewertet werden kann. Dabei soll die Frage evaluiert werden, ob die gewählte Lösung die beste und einfachste Lösung für die zu bearbeitende Problemstellung ist.

1.3 Zielsetzung

Viele Bewertungsmethoden ermöglichen eine subjektive Bewertung von Lösungen. Dabei können viele Faktoren wie Bewusstseinsänderungen, Gefühlsregungen oder die jeweilige Tagesform des Einzelnen dazu beitragen, für ein und dieselbe Bewertung von Produkten zu verschiedenen Zeitpunkten variierende Ergebnisse zu erzielen. Daher ist es hilfreich, objektive Verfahren anzuwenden, bzw. nach objektiven Kriterien zu bewerten, um nicht von Gefühlen oder Vorurteilen gelenkt zu werden, sondern unvoreingenommen bewerten zu können [OPH04].

Eine objektive Bewertung kann jederzeit neu erfolgen und führt immer zu dem gleichem Ergebnis. Die objektive Bewertung sollte sich durch folgende Eigenschaften auszeichnen [GHO98]:

- Sie unterliegen genau definierten Bedingungen.
- Sie sind reproduzierbar.
- Sie sind nicht durch äußere Umwelteinflüsse beeinflussbar.

Im weiteren Verlauf der Arbeit werden unterschiedliche Verfahren erläutert, die zur Bewertung eines Produktes herangezogen werden können. Im Anschluss soll überprüft werden, inwieweit mittels der Bewertungen der Einfachheitsgrad bzw. der Komplexitätsgrad eines Produktes ermittelt werden kann. Das Bewertungsverfahren muss dabei folgende Bedingungen erfüllen:

- Anpassbarkeit an unterschiedliche Produktarten
- Erweiterbar für die Betrachtung produktspezifischer Eigenschaften
- Objektiv und damit auch jederzeit reproduzierbar
- Zeitlich angemessen (die Ergebnisse können in einem kurzen Zeitraum erarbeitet werden.)

Die Bewertung von Produkten oder Konzepten und die damit verbundene Entscheidungsfindung erfolgen bereits in den frühen Phasen der Produktentwicklung (z. B. nach der Ausarbeitung der ersten Lösungskonzepte). Dabei müssen aber auch spätere Phasen des Produktlebenszyklus berücksichtigt werden. Eine Bewertungsmatrix soll frühzeitige Fehlentscheidungen vermeiden und die Ergebnisqualität verbessern [KEL05].

1.4 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit beginnt im zweiten Kapitel mit den grundlegenden Definitionen von Produkten und deren Lebenszyklus.

Im dritten Kapitel werden bestehende Definitionen zu einfachen und komplexen Produkten zusammengetragen. Für das Begriffsverständnis von Einfachheit und von Komplexität werden die Grundlagen der Systemtheorie herangezogen.

Anschließend folgt eine Überprüfung, ob die bisher getroffenen Definitionen hinsichtlich eines einfachen oder komplexen Produktes hinreichend sind, oder ob diese Erkenntnisse weiter ausgebaut werden müssen.

Im vierten Kapitel werden verschiedene Methoden zur Bewertung von Produkten vorgestellt. Anschließend wird geprüft, welche dieser Methoden für die Bestimmung von einfachen oder komplexen Produkten geeignet ist.

Im fünften Kapitel wird die Bewertung eines Produktes hinsichtlich seiner Einfachheit bzw. Komplexität theoretisch vorgestellt. Die Umsetzung der Bewertung wird im sechsten Kapitel beschrieben. Dabei wird zur Darstellung der Allgemeingültigkeit des Verfahrens die Bewertung anhand drei verschiedener Produkte vorgenommen.

Das letzte Kapitel gibt eine kurze und knappe Zusammenfassung der gewonnenen Ergebnisse und mögliche Ausblicke für eine Erweiterung der Bewertung.

2. Definition von Produkten und des Produktlebenszyklus

Für die Bewertung von Produkten ist ein einheitliches Verständnis des Produktbegriffs notwendig. Dieser soll in diesem Kapitel erarbeitet und ein Verständnis des Produktlebenszyklusses geschaffen werden.

2.1 Produkte

Das Produkt wird in der wissenschaftlichen Literatur vielfältig, aber nicht eindeutig definiert. Grund hierfür sind die verschiedenen Betrachtungsweisen, die für eine Abgrenzung des Produktbegriffes in Frage kommen.

Ausgehend von der lateinischen Herkunft (*producere*, *productum*) wird unter dem Produktbegriff ein "Erzeugnis" im weitesten Sinne verstanden [BHE86]. Dabei werden Erzeugnisse in der Norm DIN EN ISO 6789 beschrieben als "...in sich geschlossene, aus einer Anzahl von Gruppen und/oder Teilen bestehende funktionsfähige Gegenstände (z. B. Maschinen, Geräte) als Fertigungs-Endergebnisse..." [DIN01].

Diese Definition wird weitestgehend von der Norm DIN 199-1 gestützt. Dort heißt es: "Ein Erzeugnis ist ein durch Fertigung entstandener gebrauchsfähiger beziehungsweise verkaufsfähiger Gegenstand" [DIN02].

Rein wirtschaftlich muss der Produktbegriff aber genauer differenziert werden, da nicht mehr nur von einem "substantiellen Produktbegriff", der ein abgrenzbares, physisches Kaufobjekt beinhaltet, gesprochen werden kann, sondern viele Unternehmen mittlerweile Dienstleistungen und Software als Produkte bezeichnen, um eine Bewertungs- und Strategiegrundlage zu schaffen. Dies erfordert einen "erweiterten Produktbegriff", der alle mit dem substantiellen Produkt zusammenhängenden Dienstleistungen umfasst [MEF00].

Diese differenzierte Sichtweise wird in der Wirtschaftswissenschaft von weiteren Definitionen gestützt. Zum einen ist die Definition von BROCKHOFF zu nennen, die sich dem Produktbegriff vom absatzwirtschaftlichen Gesichtspunkt annähert. Demnach ist ein Produkt "...eine vom Anbieter gebündelte Menge von Eigenschaften zur Bedürfnisbefriedigung beim bekannten oder unbekanntem Verwender". Des Weiteren gilt für ein Produkt, dass es "...Gegenstand eines Tauschs ist, um mit der im Tausch erlangten Gegenleistung zur Erfüllung der Anbieterziele beizutragen" ([BRO99], S. 13).

Zum anderen ist die Definition von KOTLER und ARMSTRONG erwähnenswert, die den Produktbegriff aus angebotsorientierter Sicht näher beleuchten [KAG98]. Diese Definition bezeichnet alles als Produkt, was “im Rahmen eines Marktes zum Gebrauch oder Verbrauch angeboten werden kann und einen Wunsch oder ein Bedürfnis befriedigt“ und somit der Nutzenerfüllung dient.

Als Produkte zählen [KAG98]:

- physische Objekte
- Dienstleistungen bzw. Service
- Personen bzw. deren Leistungsfähigkeit
- Orte
- Ideen

Eine weitere Annäherung an den Produktbegriff folgt aus der Rechtswissenschaft. Der Gesetzgeber definiert im §2 des Produkthaftungsgesetzes (ProdHaftG) [www01] den Produktbegriff wie folgt:

„Produkt im Sinne dieses Gesetzes ist jede bewegliche Sache, auch wenn sie einen Teil einer anderen beweglichen Sache oder einer unbeweglichen Sache bildet, sowie Elektrizität“.

Des Weiteren wird im Produkthaftungsgesetz ein Produkt als ein für den Verbraucher bestimmtes und im Rahmen einer zu Erwerbszwecken ausgeübten Tätigkeit hervorgebrachtes Gut definiert.

Auch im Geräte- und Produktsicherheitsgesetz (GPSG) definiert der Gesetzgeber den Produktbegriff. Hiernach ist ein Produkt ein “technisches Arbeitsmittel“ und/oder ein “Verbraucherprodukt“ [www02]:

- „Als technisches Arbeitsmittel werden verwendungsfertige Arbeitseinrichtungen bezeichnet, die bestimmungsgemäß ausschließlich bei der Arbeit Verwendung finden.“
- „Hingegen werden Verbraucherprodukte als Gebrauchsgegenstände und sonstige Produkte bezeichnet, die für Verbraucher bestimmt sind oder die von Verbrauchern benutzt werden können, selbst wenn sie nicht für diese bestimmt sind. Als Verbraucherprodukte gelten auch Gebrauchsgegenstände und sonstige Produkte, die dem Verbraucher im Rahmen der Erbringung einer Dienstleistung zur Verfügung gestellt werden.“

Auch in der Norm zum Qualitätsmanagement DIN ISO 9000:2005 [QMN05] findet sich eine Annäherung an den Produktbegriff. Demnach ist ein Produkt das Ergebnis eines Prozesses, wobei ein Prozess als ein Bündel von Tätigkeiten verstanden wird, die in Wechselbeziehung bzw. Wechselwirkung stehen.

In [QMN05] werden hierfür die vier Produktkategorien

- Dienstleistungen,
- Hardware,
- verfahrenstechnische Produkte und
- Software gebildet.

Als *Dienstleistung* wird das Ergebnis mindestens einer Tätigkeit bezeichnet, die an der Schnittstelle zwischen Lieferant und Kunde ausgeführt wird und üblicherweise immateriell ist [www09]. Als Beispiel ist der Transport von Waren, aber auch die Reparatur eines Personenkraftwagens (PKW) zu nennen.

Unter *Hardware* werden alle unmittelbaren, materiellen Produkte verstanden, deren Menge ein zählbares Merkmal darstellt, wie beispielsweise ein mechanisches Motorteil.

Im Unterschied dazu stellen *verfahrenstechnische Produkte* (die zwar auch materielle Produkte bezeichnen) ein kontinuierliches Merkmal dar. Hierzu zählen jegliche Arten von Hilfsstoffen wie z.B. Schmiermittel.

Als *Software* werden Informationen bezeichnet, die immateriell sind und die Formen von Herangehensweisen, Transaktionen oder Verfahren aufweisen. Beispielhaft für diese Kategorie sind Rechnerprogramme oder auch elektronische Wörterbücher und Enzyklopädien.

Da viele Produkte aus mehreren Elementen der verschiedenen Kategorien Hardware, Software, Dienstleistungen und verfahrenstechnischen Produkten bestehen, ist das vorherrschende Element ausschlaggebend für die Einordnung in die jeweilige Kategorie.

Ein Automobil beispielsweise besteht aus der Hardware wie Motor und Karosserie, aus verschiedenen verfahrenstechnischen Produkten wie Schmieröle und Batterieladung, aus unterschiedlicher Software wie Motorsteuerungssoftware und Betriebsanleitungen und ergänzenden Dienstleistungen wie Gewährleistung und Reparatur. Das ausschlaggebende Element ist in diesem Beispiel die Hardware, denn alle anderen Elemente richten sich nach ihr aus und dienen dem Zweck der Funktionalitätserfüllung der Hardware "Automobil" [QMN05].

Da sich herausgestellt hat, dass der Produktbegriff sehr weitläufig aufgefasst werden kann, wird dieser Begriff im folgenden Abschnitt für technische Produkte weiter eingegrenzt. Die Eingrenzung erfolgt für die Erarbeitung eines Bewertungskonzeptes des Komplexitätsgrad zur Entscheidungsfindung in den frühen Phasen der Produktentwicklung.

2.2 Technische Produkte

Ausgehend von den aufgeführten Definitionen des Produktbegriffs in Abschnitt 2.1, die aus den unterschiedlichen Aspekten beleuchtet wurden, wird im Folgenden eine Definition für technische Produkte erarbeitet, die Bezug auf den Produktlebenszyklus mit dem besonderen Augenmerk auf die technische Produktentwicklung nimmt.

Eine allgemeingültige Definition eines technischen Produktes lässt sich erwartungsgemäß nicht finden. Daraus folgend wird zuerst ein Überblick über bereits existierende Definitionen zusammengetragen.

Es gibt zwei Herangehensweisen für die Definition eines technischen Produktes. Im ersten Fall wird ein Konglomerat aus den Worten Technik und Produkt – mit den dazugehörigen Definitionen – gebildet. Hierbei sind wieder zwei Fälle zu unterscheiden. Zum einen begrenzt man die Technik per Definition auf sachliche, physische Gebilde, oder man schränkt den allgemeinen Produktbegriff bezüglich der Technik ein.

In der zweiten Herangehensweise nähert man sich dem Begriff des technischen Produktes von der Verfahrensseite. Demnach wird die Definition eines technischen Systems, eines Sachsystems oder technischen Verfahrensgut reduziert.

EHRENSPIEL hat sich dem technischen Produkt per Definition von der Betrachtung technischer Systeme genähert. Dazu schreibt er: „[...] technische Systeme sind künstlich erzeugte geometrisch-stoffliche Gebilde, die einen bestimmten Zweck (Funktion) erfüllen, also Operationen (physikalische, chemische, biologische Prozesse) bewirken. [...] Sieht man vornehmlich das geometrisch-stoffliche Gebilde und weniger den Prozess oder das Verfahren, welches das Gebilde durchführt, so spricht man von einem technischen Produkt“ ([KES95], S.26).

EHRENSPIEL ist mit seiner Definition eines technischen Produktes ein Einzelfall, denn andere Fachbücher definieren den Begriff des technischen Produktes nicht getrennt, sondern sehen darin ein allgemeines Produkt mit Einschränkungen.

In der Praxis wird – in Ermangelung einer allgemeingültigen Definition – ein technisches Produkt als solches klassifiziert, wenn es sowohl per Definition Technik und Produkt ist. Nachfolgend soll der Technikbegriff laut VDI 3780 mit der Produktdefinition nach ENGELN [ENG06] verknüpft werden.

„Technik ist:

1. die Menge der nutzenorientierten, künstlichen, gegenständlichen Gebilde (Artefakte oder technische Sachsysteme),
2. die Menge menschlicher Handlungen und Einrichtungen, in denen Sachsysteme entstehen, und
3. die Menge menschlicher Handlungen, in denen Sachsysteme verwendet werden.“
([BGKR06], [VDI3780], [BRH03], [www03]).

„Als Produkt sollen alle Leistungen materieller und immaterieller Art gelten, die ein Unternehmen im Markt anbietet, um seine Unternehmensziele zu erreichen“ ([ENG06], S.4).

Zusammenfassend und für diese Arbeit wird ein technisches Produkt – auf der Grundlage der obigen Definitionen – wie folgt definiert:

Als technisches Produkt sollen alle nutzenorientierte und künstliche Gebilde materieller Art gelten, die ein Unternehmen im Markt anbietet, um seine Unternehmensziele zu erreichen.

Diese Definition bildet die Grundlage des Begriffs des technischen Produktes für diese Arbeit. Die Einschränkung auf technische Produkte wurde vorgenommen, um eine erste Grundlage für die Bestimmung der Komplexität bzw. Einfachheit zu schaffen. Basierend auf diesem Konzept soll in folgenden Arbeiten eine Erweiterung der Bewertung auf alle Produkte erfolgen.

2.3 Produktlebenszyklus

Das Ziel dieser Arbeit ist die Bestimmung der Komplexität bzw. Einfachheit von Produkten (in diesem Fall technische Produkte). Die Identifikation verschiedener Kriterien zur Bewertung eines Produktes kann anhand der Informationen des Produktlebenszyklus oder anhand der Eigenschaften oder Sichtweisen eines Produktes erfolgen. Dieser Abschnitt stellt sowohl den Produktlebenszyklus als auch die Sichtweisen oder Eigenschaften eines Produktes vor.

Der Produktlebenszyklus bildet den gesamten Werdegang inklusive der Nutzung und Entsorgung eines Produktes ab. Dabei kann er aus zwei Perspektiven betrachtet werden, die sich zu einem schlüssigen Gesamtbild fügen. Beide Perspektiven werden der Vollständigkeit halber in den folgenden Abschnitten vorgestellt.

Die erste Perspektive ist die technische Sichtweise, die sich mit der Entwicklung, Herstellung, Nutzung und des Recyclings eines Produktes beschäftigt [KES95]. Für diesen Zyklus findet man verschiedene Ausführungen, wobei diese in ihrer inhaltlichen Gestaltung teilweise sehr ähnlich sind.

Dieser technische Produktlebenszyklus betrachtet lediglich den stofflichen bzw. geistigen Transfer und nicht die finanzielle Rentabilität, das heißt die Differenz zwischen Kosten und Erlösen, die bestimmend für den Erfolg und die weitere Vorgehensweise mit dem Produkt ist. Hierfür wird der Produktlebenszyklus der Betriebswirtschaft genutzt, der die Entwicklung von Kosten, Erlös und auch dem Gewinn über vier Phasen darstellt. Dazu wird nicht jedes erzeugte Produkt betrachtet, sondern die Summe aller Erzeugnisse eines Produktes dokumentiert.

2.3.1 Betriebswirtschaftliche Grundmodelle des Produktlebenszyklus

Nach [ZIN03] beschreibt ein Produktlebenszyklusmodell die Lebensspanne eines Produkts am Markt. Es gibt eine Einteilung in fünf, klar nach Absatz- oder Umsatzzahlen und erster Ableitung der Absatz- oder Umsatzentwicklung differenzierbare, zeitlich aufeinanderfolgende Phasen. Hier wird unterschieden zwischen

- (1) Einführungsphase,
- (2) Phase des schnellen Wachstums,
- (3) Reifephase,
- (4) Sättigungsphase und
- (5) Degeneration.

In der Einführungsphase wird das Produkt im Markt positioniert. Die Phase des schnellen Wachstums beginnt nach der Einführung des Produkts in den Markt, sobald eine Akzeptanz der Kunden erreicht wurde. Hier beginnen auch häufig Mitbewerber damit, ähnliche oder gleiche Produkte am Markt zu positionieren. Von der Reifephase wird dann gesprochen, wenn sich das Produkt soweit am Markt verbreitet hat, dass das Wachstum stagniert. Es ist zu dieser Zeit weder Neuigkeit noch Trend, sondern ein sogenanntes „must-have“. Die Reifephase sollte durch verschiedene Strategien, wie Erhaltungsmarketing und Produktdiversifikation, verlängert werden, da sie zumeist die profitabelste ist. Sobald der Zeitpunkt erreicht ist, dass die Nachfrage nahezu befriedigt ist, spricht man von der *Sättigungsphase*. Charakteristisch ist, dass Preissenkungen als Strategien zur Erhaltung der Marktposition eingesetzt werden. Geht der Absatz des Produkts irreversibel zurück, wird von *Degeneration* gesprochen. Das Produkt läuft aus und wird nur so lange am Markt gehalten, bis seine Deckungsbeiträge noch positiv sind oder das Nachfolgeprodukt eingeführt wurde.

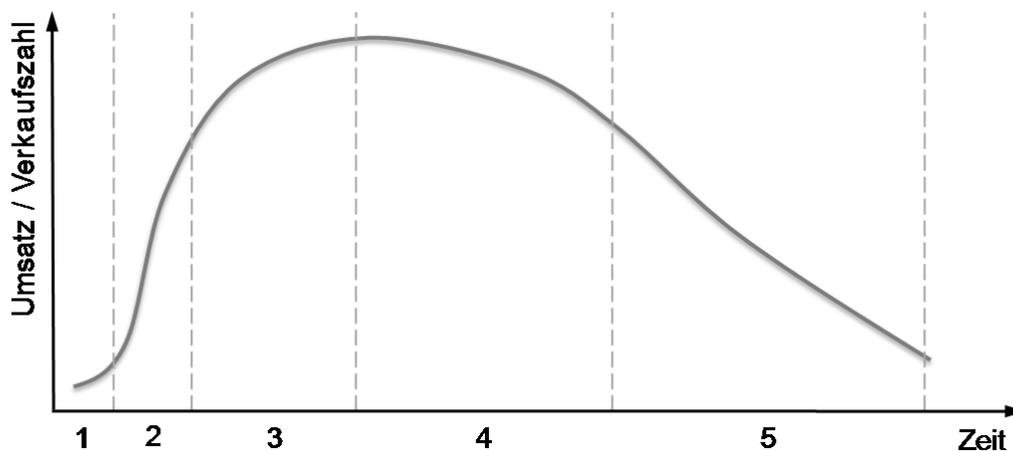


Abbildung 2-1: Phasen des Produktlebenszyklus [ZIN03]

[SAKR05] beschreibt ein ähnliches Modell. Wesentlicher Unterschied ist jedoch die Einteilung in vier Phasen. Hierbei wird zwischen

- Entstehung,
- Wachstum,
- Reife und
- Alter

unterschieden. In der *Entstehung* liegen Markteintritt und Überwindung von Eintrittsbarrieren. Das *Wachstum* ist gekennzeichnet durch Marktdurchdringung. Innerbetrieblich werden Fertigung und Vertrieb aufgebaut und verbessert. Behauptet sich das Produkt am Markt, wird von

der *Reife* gesprochen. Die Produkte werden weiter verfeinert, differenziert und rationalisiert, um den Gewinn zu steigern. Am Ende des Produktlebens steht das *Alter*. Nach weiteren Rationalisierungen erfolgt der Austritt aus dem Markt.

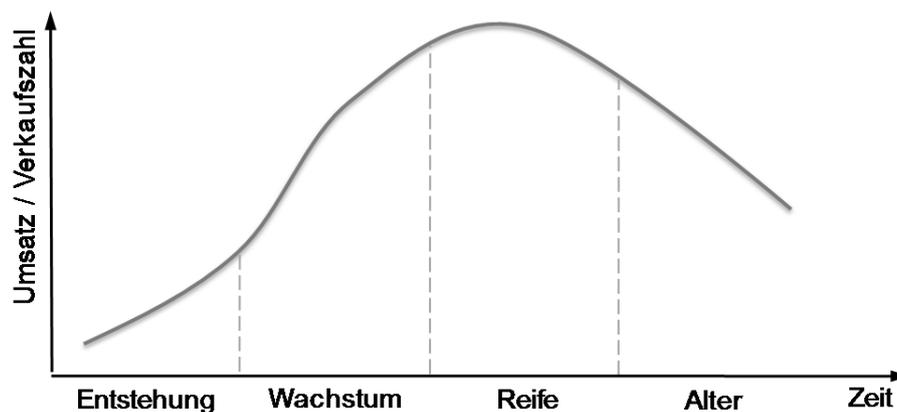


Abbildung 2-2: Phasen des Produktlebenszyklus [SAKR05]

Die zwei gezeigten betriebswirtschaftlichen Grundmodelle sind inhaltlich sehr ähnlich. Es wird eine Betrachtung durchgeführt, die eine Baureihe, hier nur als Produkt beschrieben, über ihre am Markt angebotene Zeit begleitet.

In [KFG07] werden die Modelle um die Produktentstehung erweitert und die Umsätze bzw. Investitionen in allen Phasen aufgezeigt. Weitere Unterschiede zu den Modellen aus [ZIN03] und [SAKR05] bestehen jedoch nicht. In den Modellen wird nicht auf Weiterentwicklung, Nutzung und Wiederverwertung des Produkts oder Informationsübertragung zwischen einzelnen Abschnitten eingegangen. Daher bieten sich diese Sichtweisen des Produktlebenszyklus für die Identifikation möglichst vielen Kriterien zur Bestimmung der Einfachheit oder Komplexität eines Produktes nicht an.

2.3.2 Technisches Modell des Produktlebenszyklus

Bei einem Produktlebenszyklus aus technischer Sicht wird auch häufig von den Lebensphasen eines Produktes gesprochen. Der Produktlebenszyklus stellt sich als Abfolge aller Prozesse von der Produktplanung, der Entwicklung und Konstruktion, der Arbeitsvorbereitung inklusive der Fertigung, Montage, Versuch, dem Vertrieb, der Nutzung und letztlich der Außerbetriebnahme und dem Recycling dar. Dieser Zyklus schließt sich, indem recycelte Bauteile und/oder Stoffe neuen Produkten zugeführt werden und Erkenntnisse des Produktlebenszyklus zur Verbesserung folgender Produkte genutzt werden [DIN03]. Dabei beschreibt der technische Zyklus nicht nur das Produkt an sich, sondern jede produzierte Einheit dieses Gutes, da jedes indirekt entwickelt wird bzw. Resultat des Entwicklungsprozesses ist, aber direkt hergestellt, vertrieben, genutzt und recycelt werden muss [KES95]. Allgemein kann gesagt werden, dass es eine große Varianz in der Komplexität der Auslegung solcher Lebensphasen gibt. Im Folgenden werden verschiedene Modelle des Produktlebenszyklusses vorgestellt und anschließend gegenübergestellt.

Für die Bestimmung der Einfachheit oder Komplexität eines Produktes sollen relevante Informationen für eine mögliche Bewertung identifiziert werden. Diese Daten sollen anhand vorhandener Modelle des Produktlebenszyklusses ermittelt werden.

Die Abbildung 2-3 stellt den Produktlebenszyklusses nach EHRENSPIEL dar. Er führt folgende Oberkategorien ein [KES95]:

- Produktplanung,
- Entwicklung/ Konstruktion,
- Produktdefinition,
- Produktion und
- Produkterstellung.

Diese Kategorien erstrecken sich über mehrere Teilphasen des Produktlebenszyklusses. So beinhaltet z.B. die Entwicklung/ Konstruktion die Konzeption, den Entwurf und die Ausarbeitung und Produktplanung eines Produktes.

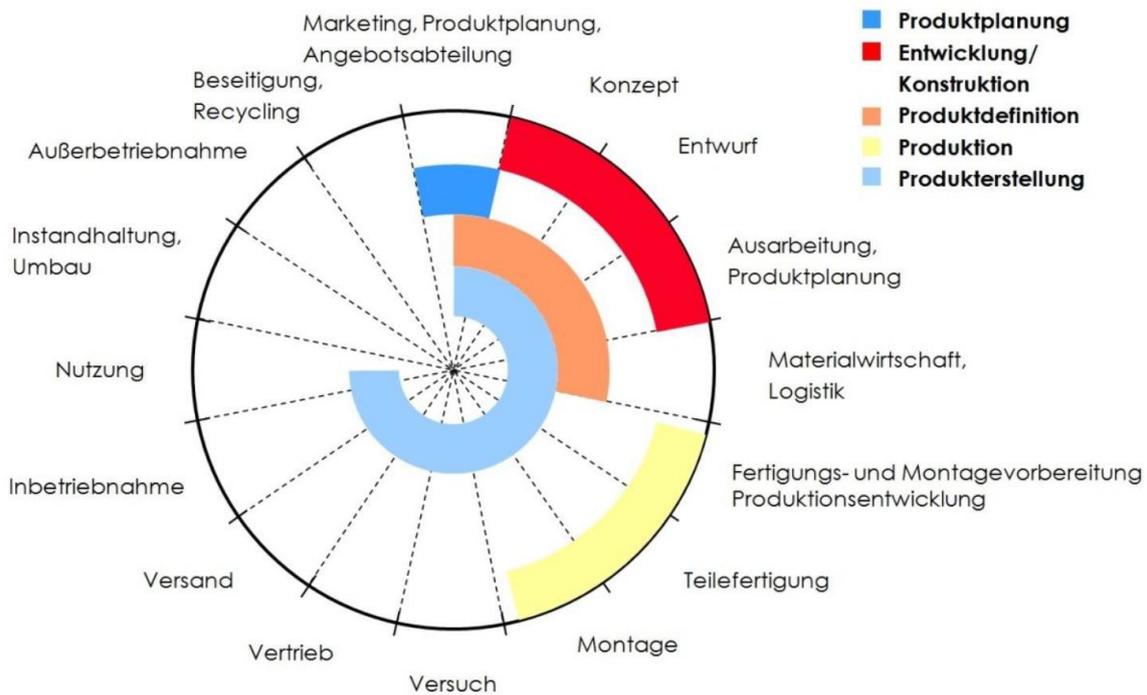


Abbildung 2-3: Produktlebenszyklus nach EHRENSPIEL [KES95]

Ähnlich dem Aufbau von EHRENSPIEL stellt VAJNA die Lebensphasen als einen Zeitstrahl dar. Zusätzlich wird im Lebenszyklus noch die Freigabe des Produktes hervorgehoben (roter Balken). Dadurch wird der Übergang vom Informationsfluss zum Materialfluss gekennzeichnet. Dabei ist allerdings zu beachten, dass zum Informationsfluss weiterhin parallel der Materialfluss verläuft.



Abbildung 2-4: Produktlebenszyklus nach VAJNA [VAJ11]

Eine andere Darstellung ist in der ISO 9004-1 [ISO9004] zu finden. Diese zeigt den Produktlebenszyklus als Kreis, um die Idee eines zyklischen, sich wiederholenden Vorgangs zu unterstreichen (Abbildung 2-5).

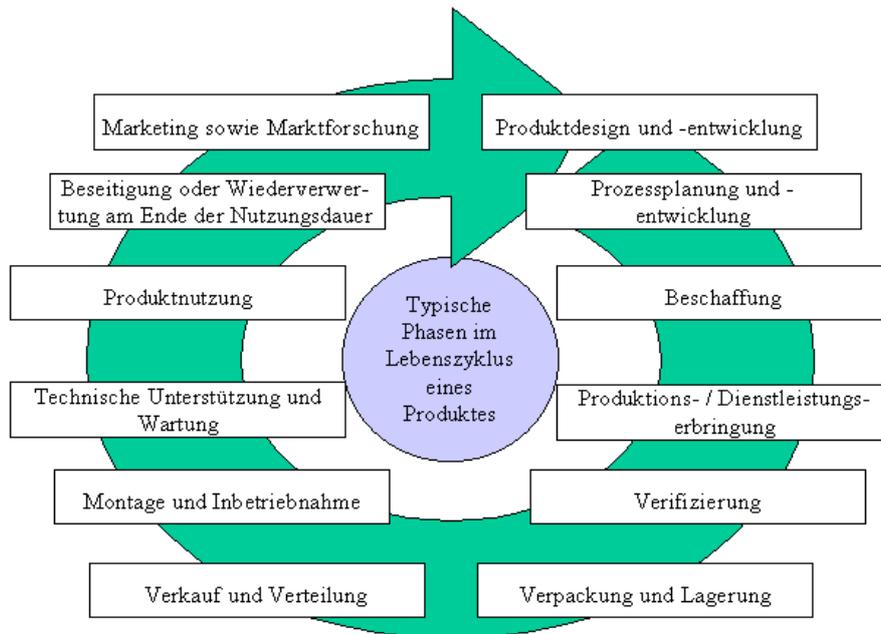


Abbildung 2-5: Produktlebenszyklus nach ISO 9004-1 [ISO9004]

Auf weitere Darstellungen der verschiedenen Modelle des Produktlebenszyklusses soll verzichtet werden. Die Inhalte der Modelle sind sehr ähnlich, jedoch unterschiedlich detailliert aufgeführt.

Im Folgenden sollen die vorgestellten Produktlebenszyklen miteinander gegenübergestellt werden und auf Vollständigkeit miteinander verglichen werden.

Tabelle 2-1: Gegenüberstellung verschiedener Produktlebenszyklen [nach LKA12]

Modell von Ehrlenspiel	Modell von Vajna	Modell nach ISO 9004-1
Marketing, Produktplanung, Angebotsabteilung	Forschung	Marketing und Marktforschung
	Vertrieb, Marketing	
	Styling, Formgebung	
Konzept	Entwicklung	Prozessplanung und - entwicklung
Entwurf	Konstruktion	
Ausarbeitung		
Materialwirtschaft, Logistik	Beschaffung	Beschaffung
Fertigungs- und Montagevorbereitung, Produktionsentwicklung	Prozessplanung	Produktions- /Dienstleistungserbringung
	Fertigungssteuerung	
Teilefertigung	Fertigung	
Montage		
Versuch, Prototyp		
Vertrieb		Versand
Versand	Verkauf und Verteilung	
Inbetriebnahme	Nutzung, Service	Montage und
Nutzung		Technische Unterstützung
Instandhaltung, Umbau		Produktnutzung
Außerbetriebnahme	Recycling, Entsorgung	Beseitigung oder Wiederverwendung am Ende der Nutzungsdauer
Beseitigung, Recycling		

Die hier vorgestellten Modelle beschreiben die Lebensphasen eines Produktes in unterschiedlichen Detaillierungsstufen. Die verschiedenen Ansichten der Produktlebenszyklen kommen unter anderem aufgrund eines nicht einheitlichen Begriffsverständnisses der einzelnen Lebensabschnitte zustande. In Tabelle 2-1 ist zu erkennen, dass das Modell von EHRENSPIEL im Vergleich zu den anderen vorgestellten Lebenszyklen die größte Detaillierungsstufe aufweist. Da sich alle verschiedenen Modelle prinzipiell nicht voneinander unterscheiden, wird dieser für die weiteren Betrachtungen verwendet.

2.3.3 Eigenschaften eines Produkt im Produktlebenszyklus

Eine alternative Möglichkeit zur Identifikation aller Eigenschaften eines Produktes bietet sich über die Betrachtung der Sichtweisen nach VAJNA an. Ein Produkt, welches den Freigabestatus des Lebenszyklus erreicht hat, muss verschiedene Eigenschaften aufweisen, die als gleichwertig zu betrachten sind (Abbildung 2-7) [VAJ11]:

- Bei der *Funktionalität* geht es um eine „angemessene Realisierung der Funktionen mit hohem Erfüllungsgrad“.
- Die *Gestalt* soll ansprechend sein, aber nicht mehr versprechen, als das Produkt einlösen kann.
- Im Bereich der *Zuverlässigkeit und Sicherheit* sollen alle Produkteigenschaften bei jeder Betriebsbedingung vollständig und sicher zur Verfügung stehen.
- Die *Handhabbarkeit* fordert, dass die „Nutzung von Produkt und Komponenten intuitiv, angemessen und nachvollziehbar ist“.
- Nicht nur für den Menschen, sondern auch Umwelt, Ökonomie und Soziales betrachtend, ist im Bereich der *Nachhaltigkeit* auf geringsten Energieaufwand, sortenreine Materialien, leichte Demontierbarkeit und Wiederverwendung zu achten.
- Bei der *Herstellbarkeit* steht geringe Komplexität während der Herstellung und Montage im Vordergrund.
- Eine leichte Demontierbarkeit zieht den Faktor der *Wartbarkeit* mit sich, der leicht einstellbare und austauschbare Komponenten fordert.
- Im Bereich des Preis-Leistungs-Verhältnisses bzw. der Wirtschaftlichkeit wird eine hohe Produkteffizienz gefordert.

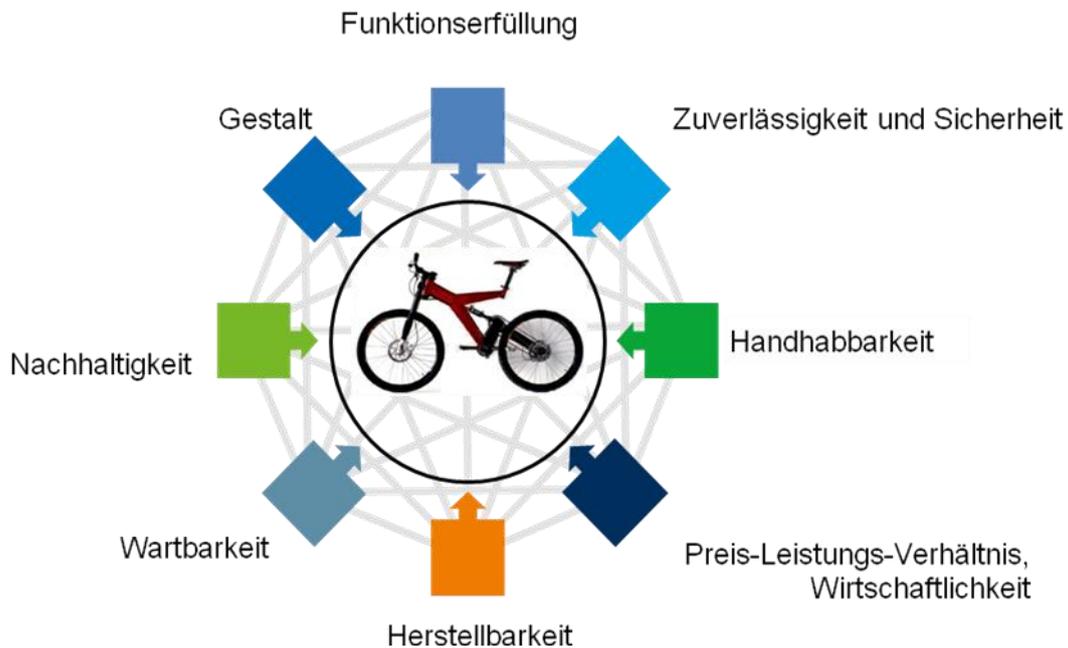


Abbildung 2-6: Acht Produkteigenschaften in der PE [VAJ11]

Die Qualität wird in diesem Modell nicht als separate Produkteigenschaft aufgeführt. Sie muss in jedem der acht Produkteigenschaften entsprechend den Anforderungen erfüllt werden [VAJ11].

Eine weitere Möglichkeit zur Betrachtung der Sichtweisen ist das „Design for X“. Darunter sind Gestaltungsrichtlinien zu verstehen, die bereits in den frühen Phasen der Produktentwicklung berücksichtigt werden müssen. Das „x“ ist als Platzhalter für eine spezifische Gestaltungsrichtlinie zu verstehen. In Abbildung 2-7 ist eine Vielzahl von notwendigen Gerechtheiten oder Eigenschaften in der Produktentwicklung dargestellt. Dabei kann prinzipiell in traditionelle Gerechtheiten wie das fertigungsgerechte Konstruieren [ULE95], das montagegerechte Konstruieren [AKL88] oder das kostengünstige Konstruieren [EKL07], aber auch immer stärker betrachtete Prozessthemen unterschieden werden. Darunter versteht man zum Beispiel die workflowgerechte Gestaltung der Entwicklungsprozesse [MEE06]. Viele dieser Gerechtheiten beeinflussen sich allerdings gegenseitig. Das Produkt muss also nicht nur einen, sondern mehreren Aspekten gleichzeitig gerecht werden.



Abbildung 2-7: Übersicht der Gerechtheiten in der Produktentwicklung [nach LIP08]

2.3.4 Fazit

Ziel dieser Arbeit ist ein Konzept zur Bewertung eines Produktes über den gesamten Lebenszyklus. Alternativ bietet sich eine Bewertung eines Produktes aufgrund seiner Produkteigenschaften (Abbildung 2-6) oder aufgrund der definierten Gerechtheiten (Abbildung 2-7) an. Anwender des Bewertungsverfahrens sind zum Beispiel Produktentwickler, Projektingenieure oder Konstrukteure. Das Ziel der Anwendung ist die Optimierung der eigenen Entwicklungsprozesse sowie aller anderen Teilprozesse des Produktlebenszyklus. Die Produkteigenschaften können sich allerdings auf viele verschiedene Teilprozesse beziehen. So kann zum Beispiel das geräuscharme Konstruieren Auswirkungen auf das Produkt an sich oder auf deren Fertigungsprozesse haben. Eine eindeutige Identifizierung für eine Optimierung eines Produktes erscheint somit schwieriger.

Daher erfolgt in dieser Arbeit die Erstellung eines Bewertungskonzeptes anhand des Produktlebenszyklus. Die verschiedenen Modelle der Produktlebenszyklen sind inhaltlich sehr ähnlich. Da alle Informationen der verschiedenen Modelle in dem Lebenszyklus nach EHRENSPIEL aufgehen, wird dieses Modell in dieser Arbeit für die Konzeption eines Bewertungsverfahrens genutzt.

3. Einfache und komplexe Produkte

Der Produktentwickler muss in der Lage sein, trotz gewachsener Anforderungen die richtigen Entscheidungen bei der Gestaltung und Definition eines technischen Produktes aus einer Vielzahl von möglichen Konzepten zu treffen und das für den Anwendungsfall am besten geeignete Konzept weiter zu verfolgen [CAN11].

Das Konzept muss zum einem mindestens allen Anforderungen und Gerechtheiten entsprechen und zum anderen auch möglichst „einfach“ sein [PBFG06]. Nur, wann ist ein Produkt einfach oder komplex?

In diesem Kapitel sollen Informationen und Definitionen zu den Begriffen Einfachheit/ einfach und Komplexität/ komplex zusammengetragen werden. Ziel des Kapitels ist das Schaffen einer Grundlage für die Definition und das Bewerten von einfachen und komplexen Produkten. Das Kapitel umfasst den Stand der Technik mit verschiedenen Sichtweisen der Begriffe Einfachheit und Komplexität in der Produktentwicklung.

Viele Quellen ([CAN11], [PUL04], [LRZ06]) beziehen sich bei der Definition der Begriffe Einfachheit und Komplexität auf die Definition der Systemtheorie. In der Systemtheorie sind einfach, komplizierte und komplexe Systeme quantifizierbar. Für das allgemeine Verständnis der Systemtheorie werden daher die Grundlagen in diesem Kapitel vermittelt.

3.1 Allgemeine Verständlichkeit von Einfachheit und Komplexität

Für das Zusammentragen aktueller Sichtweisen und Definitionen einfacher und komplexer Produkte soll vorab ein allgemeines Verständnis für die Begriffe Einfachheit und Komplexität geschaffen werden.

3.1.1 Einfachheit

Synonym für „Einfachheit“ oder „einfach“ stehen unter anderem Begriffe wie simpel, leicht verständlich, unkompliziert, unproblematisch, schlicht, aber auch primitiv, langweilig, billig und einfalllos. Allerdings sind auch diese Begriffe ebenso wie Einfachheit nur schwer greifbar und unterliegen dem subjektiven Urteil des Betrachters.

Der Begriff Einfachheit wird als Synonym mit Eingängigkeit, Verständlichkeit oder Schlichtheit beschrieben. Einfachheit wird (allgemein formuliert) als Gegenteil zur Komplexität verstanden [BHE86].

Zunächst werden zehn Gesetze für die Einfachheit nach MAEDA dargestellt. Diese Grundregeln beziehen sich nicht nur auf technische Produkte oder deren Entstehungsprozesse, sondern sie sind allgemeingültig formuliert und können in vielen Lebenssituationen angewendet werden ([MAE07], [www10]):

1. Reduktion. Die einfachste Weise zum Erzielen von Einfachheit ist wohlüberlegte Reduktion. Das Entfernen von z.B. Funktionalitäten technischer Geräte vereinfacht diese für den Anwender. Allerdings werden dadurch Verwendungs- und Einsatzmöglichkeiten eingeschränkt.
2. Organisieren. Aufräumen lässt eine Vielzahl geringer erscheinen. Das Zusammenfassen von z.B. Funktionen in Gruppen vereinfacht ein Produkt.
3. Zeit. Zeitersparnis empfinden wir als Vereinfachung. Benötigen Geräte zur Bereitstellung ihrer Funktionalität wenig Zeit, werden diese als einfacher empfunden.
4. Lernen. Wissen macht alles einfacher. Intuitiv bedienbare Geräte wirken einfacher als Geräte, bei denen es notwendig ist, Gebrauchsanweisungen zu studieren.
5. Gegensätze. Einfachheit und Komplexität bedingen einander. Vergleicht man mehrere komplexe Geräte, wirken weniger komplexe Geräte einfach.
6. Kontext. Das Umfeld der Einfachheit ist zweifellos nicht unbedeutend. Bei der Integration von Produkten in das Umfeld sollte dieses nicht außer Acht gelassen werden.
7. Emotion. Mehr Emotionen sind besser als weniger Emotionen. Ist eine Person einem Produkt emotional positiv gestimmt, wirkt es auf diese einfacher.
8. Vertrauen. Man vertraut der Einfachheit. Sind einem Elemente des Produktes bekannt oder vertraut, empfindet man das Produkt als einfach.
9. Fehlschläge. Manche Dinge können niemals einfach gemacht werden. Zu viele Vereinfachungen können das Produkt wieder komplex erscheinen lassen.
10. Das Eine. Einfachheit entsteht durch Fortlassen des Offensichtlichen und dem Hinzufügen von Bedeutsamen.

Diese Gesetze beruhen auf Beobachtungen von Gegebenheiten des alltäglichen Lebens. Sie sind nicht ohne weiteres auf die Beschreibung einfacher oder komplexer Produkte anzuwenden [MAE07]. Daher werden in diesem Abschnitt weitere Definitionen einfacher Produkte zusammen getragen.

3.1.2 Komplexität

Der Begriff Komplexität ist abgeleitet vom lateinischen Wort *plectere* (flechten) sowie der lateinischen Präposition *com* (zusammen) und bedeutet so viel wie umfassen bzw. umgeben [STO94].

Für den Begriff Komplexität existiert aber keine allgemeingültige Definition, vielmehr wird der Begriff je nach Autor und Wissenschaftsgebiet unterschiedlich interpretiert [WIß05].

ULRICH [UFM95] definiert die Komplexität einer Situation oder eines Zustandes mit der Vielzahl einwirkenden Faktoren und dem Ausmaß ihrer gegenseitigen Abhängigkeiten. Diese charakterisiert er als Merkmal schlecht strukturierbarer Entscheidungssituationen.

HOLMDAHL [HOM07] hat Eigenschaften für Komplexität und komplexe Systeme zusammengetragen. Dazu gehören unter anderem:

- Komplexe Systeme sind offen. Es kann einen Austausch von z. B. Informationen über die Systemgrenzen hinweg erfolgen [MCK04].
- Komplexe Systeme verfügen über eine hohe Anzahl von Elementen (dynamisch) [MCK04].

Aus systemtheoretischer Sicht bezeichnet Komplexität das Aufeinandertreffen von Vielschichtigkeit, die sich aus der Anzahl und Unterschiedlichkeit der Variablen sowie deren Verknüpfungen begründet [BLI00]. Hierbei ist der entscheidende Faktor die dynamische Veränderlichkeit, denn der Grad der Komplexität ist maßgebend von der Eigenschaft geprägt, vielfältige Zustände und Verhaltensweisen in einem betrachteten Zeitraum einnehmen zu können [SCH05].

Demnach lassen sich einige charakteristische Merkmale für Komplexität festhalten ([VAJ11], [BLO10]):

- Undurchsichtigkeit
- Hoher Vernetzungsgrad
- Unübersichtlichkeit
- Eigendynamik
- Instabilität

Für den Menschen stellt sich Komplexität meist als Undurchsichtigkeit, Unübersichtlichkeit und Unüberschaubarkeit dar. Als Beispiel hierfür sind Softwareprogramme zu nennen, deren Anwendung viele Menschen als kompliziert oder sogar komplex empfinden. Das liegt überwiegend an einer benutzungsunfreundlichen Bedienungs- und Anwendungsmaske. Vermehrtes Einsetzen von intuitiven Vorgehensmustern könnte die Bedienung benutzungsfreundlicher gestalten.

3.2 Vorteile der Einfachheit

In der Literatur und auch in dieser Arbeit wird empfohlen, möglichst einfach Produkte zu entwickeln, beziehungsweise die Konzepte einfacher Produkte weiter zu verfolgen. Aufgrund der in Abschnitt 3.5 zusammengetragenen Kernaussagen werden in den folgenden Abschnitten die Vorteile einfacher Produkte zusammengetragen.

3.2.1 Vorteile einfacher Produkte

Ein einfaches Produkt bringt nicht nur im Entwicklungsprozess Vorteile, sondern auch für nachgelagerte Prozesse, primär im Gebrauch des Produktes. Folgende Faktoren beeinflussen unter anderem die Einfachheit eines Produktes:

- Benutzerakzeptanz:

Einfache Produkte werden leichter verstanden und erfahren daher eine höhere Akzeptanz unter den Nutzern.

- sichere und fehlerfreie Nutzung:

Der Erklärungsbedarf für die Handhabung eines Produktes ist minimiert, was eine vergleichbar sichere und fehlerfreie Nutzung zur Folge hat.

- Wiederkaufsrate:

Einfache Produkte können eine hohe Wiederkaufsrate verzeichnen, da sie eine geringere Ausfall- und Fehlerquote vorweisen können und alle Anforderungen erfüllen. Weiterhin wirkt sich die einfache Handhabung oder Bedienung positiv auf die Wiederverkaufsrate aus.

- Geringe zusätzliche Kosten:

In Folge der selbsterklärenden, einfachen Handhabung und Konstruktion werden die Inanspruchnahme von Kundendiensten und Reparaturen sowie deren Dauer minimiert und Kosten für Kunden als auch Hersteller reduziert.

- Weiterentwicklung:

Einfache Produkte können in Folge der gesenkten Komplexität und der Optimierung von Form und Anordnung kostengünstiger und schneller weiterentwickelt und an die veränderten Anforderungen des Marktes angepasst werden.

3.2.2 Vorteile einfacher Konstruktionen bezüglich des Produktlebenszyklus

Zusätzlich zu den allgemeinen Vorteilen eines einfachen Produktes, die insbesondere auf dessen nutzerorientierte Eigenschaften wirken, ergeben sich durch die angestrebte Einfachheit in den einzelnen Produktebenen Vorteile, die wiederum dem Gesamtprodukt zu Gute kommen:

- kostengünstigere Fertigung :

In Folge einer einfachen Gestaltung bzw. fertigungsgerechten Gestaltung des Designs verkürzen sich Umspann-, Rüst-, Warte- und Nachbearbeitungszeiten.

- verringerter Montageaufwand:

Die Montage aller Bauteile wird aufgrund ihrer einfachen Form sowie Anordnung leichter und verständlicher.

- Verständlichkeit:

Da die Wirk- und Funktionsprinzipien auf das Wesentliche beschränkt sind (reduzierte Komplexität), wird das Produkt verständlicher, Reparaturen sowie Instandhaltung gestalten sich einfacher.

- Beeinflussbarkeit:

Wechselwirkungen und Funktionsprinzipien des Produktes sind beherrschbar, wodurch bewusst von außen auf das Produkt eingewirkt werden kann, um sein Verhalten und den Output zu verändern.

- Prognostizierbarkeit:

Wirk- und Funktionsprinzipien sowie die einfache Form und Anordnung der Elemente fördert die Vorhersehbarkeit der Reaktionen des Systems auf mögliche äußere und innere Einflüsse bzw. Veränderungen.

- Modularität und Modifizierbarkeit:

Aufgrund einfacher und standardisierter Formen und deren strukturierter Anordnung können Produkte aus definierten Bausteinen aufgebaut werden, die für viele Produkte genutzt werden können. Dadurch sind die Produkte flexibel und leichter wandelbar bzw. an neue Anforderungen anpassbar. Sie können untereinander gekoppelt werden und die Weiterentwicklung eines Produktes wird beschleunigt, da nur einzelne Module verändert werden müssen. Außerdem wird die Montage für den Endnutzer erleichtert.

- autark:

Da die Komplexität reduziert wird, das betrifft auch die Wechselwirkungen des Systems mit der Umwelt, ist das Produkt im Rahmen der Möglichkeiten unabhängiger von externen Faktoren.

- Redundanzfreiheit:

Im Sinne der Bauteilmengenreduzierung werden überflüssige Bauteile mit gleicher Funktionserfüllung vermieden, sofern diese Doppelbelegung nicht aus sicherheitstechnischen Gründen, d.h. der Wahrung der Funktionsfähigkeit in Notfall, erforderlich ist.

- Recycling:

Durch eine einfache Form, Anordnung und Verbindung von Elementen können die Demontage und das Recycling effektiv und effizient erfolgen. Weiterhin fördert die Wahl der Materialien sowie deren Kombination das Recycling.

3.3 Grundlagen der Systemtheorie

Viele Literaturquellen beziehen sich bei der Verwendung der Begriffe Einfachheit und Komplexität auf die Systemtheorie, die deswegen in ihren Grundlagen hier beschreiben wird.

Der Ursprung des Systembegriffs liegt in dem altgriechischen Wort *sýstema*. Demzufolge ist ein System definiert als ein *“aus mehreren Teilen zusammengesetztes und gegliedertes Ganzes“* [DUD97].

In der modernen Wissenschaft gewinnt der Systembegriff seit Mitte des 20. Jahrhunderts an Bedeutung. Die Systemwissenschaft, speziell Systemtheorie und Systemtechnik, aber auch die Kybernetik prägen seither maßgeblich den Begriff des Systems.

In der Literatur sind viele von unterschiedlichen Intentionen abhängige Systemdefinitionen zu finden, die sich jedoch generell zu folgender interdisziplinären Definition von HALL und FAGEN aus dem Jahr 1956 zusammenfassen lassen [WIß05]:

“Ein System ist eine Ansammlung von Elementen und deren Eigenschaften, die durch Wechselbeziehungen miteinander verbunden sind“ [MAT03].

Aus heutiger natur- und ingenieurwissenschaftlicher Sicht wird zwischen natürlichen und künstlichen (vom Menschen geschaffenen) Systemen unterschieden [HER07].

Zu den natürlichen Systemen gehören zum Beispiel das Sonnensystem mit seinen Planeten oder der menschliche Organismus. Als künstliche, speziell technische Systeme werden beispielsweise verschiedene technische Gebilde bezeichnet wie Anlagen oder Maschinen [DBG01].

Da im Mittelpunkt der Betrachtung die technische Produktentwicklung steht, wird im Folgenden eine umfassende Definition des technischen Systembegriffs gegeben, der auch Gemeinsamkeiten mit dem Systembegriff aus sozial-, wirtschafts- und naturwissenschaftlicher Sicht einschließt.

Ein technisches System besteht aus einem Verbund von Elementen, die zueinander eine geordnete Beziehung aufweisen und aufgrund ihrer Eigenschaften untereinander in Wechselbeziehungen stehen. Als Elemente können nicht weiter zerlegbare Einzelteile und Maschinenelemente bezeichnet werden, aber auch Baugruppen und Komponenten wie Maschinen, Apparate oder Geräte, die ein eingebettetes Teilsystem bilden. Als Beispiel dient ein PKW als Gesamtsystem, das aus Teilsystemen wie z.B. Motor, Getriebe oder Rädern besteht. Das Teil-

system "Rad" wiederum besteht aus den Einzelteilen Felge, Reifen und Schrauben, die zueinander in einer definierten Beziehung stehen.

Charakteristisch für technische Systeme sind nicht nur die Wechselwirkungen der Elemente untereinander, sondern auch die Rückkopplungen des Systems mit seiner Systemumgebung. Damit ist auch der Begriff der Systemgrenze definiert, die das System von seiner Umwelt abgrenzt und über die Wechselbeziehungen durch bestimmte Eingangs- und Ausgangsgrößen mit der Umgebung umgesetzt werden. Diese Eingangs- und Ausgangsgrößen werden in Materie, Energie und Information untergliedert, wobei in technischen Systemen typischerweise eine der drei Größen dominiert [DBG01].

Abbildung 3-1 zeigt den exemplarischen Aufbau eines Systems mit Systemgrenze, Eingangs- und Ausgangsgrößen, eingebundenen Teilsystemen und einzelnen Systemelementen.

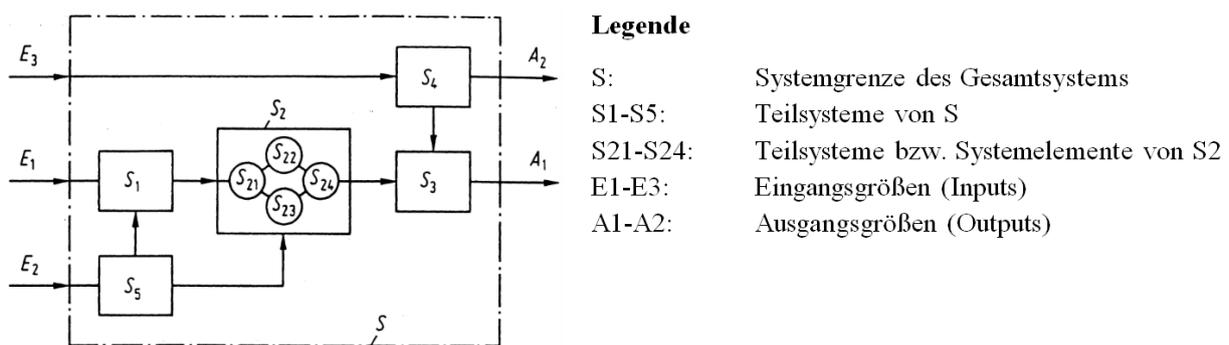


Abbildung 3-1: Darstellung eines Systems [DBG01]

Aus dem genannten Grund der Wechselwirkungen des Systems mit seiner Umgebung wird auch deutlich, dass es sich bei technischen Systemen in aller Regel um offene (es ist ein Austausch von Energie oder Materie mit seiner Umgebung möglich) und nicht um geschlossene oder gar isolierte Systeme handelt, die keinen Materie-, Energie oder Informationsaustausch zulassen [LUD01].

Eine weitere wichtige Eigenschaft technischer Systeme beruht auf den schon genannten Eingangs- und Ausgangsgrößen, den sogenannten Zustandsgrößen des Systems. Ein System kann statisch oder dynamisch sein, das hängt von den im Betrachtungszeitraum abhängigen Zustandsgrößen ab. Kommt es im betrachteten Zeitraum zu Zustandsänderungen, dann wird von einem dynamischen System gesprochen, ansonsten handelt es sich um ein statisches System. Technische Systeme zeigen in aller Regel Zustandsänderungen und sind daher als dynamisch zu bezeichnen [MAT03].

3.3.1 Einfaches System

Ein einfaches System besteht aus wenigen Elementen, welche minimal miteinander verknüpft sind. Ebenso gibt es nur eine geringe Zahl von Einflussgrößen (Abbildung 3-2).

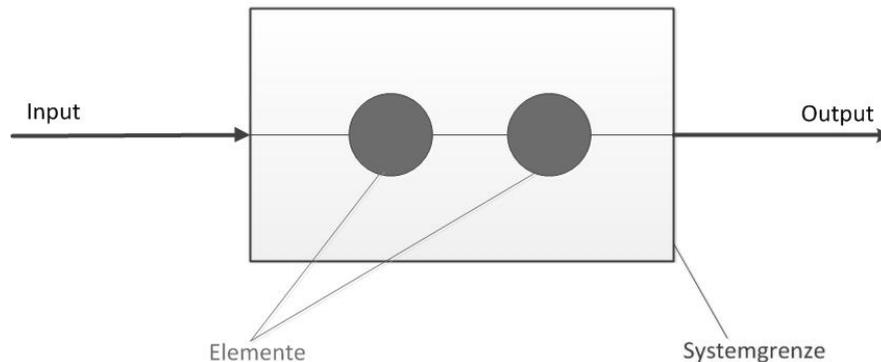


Abbildung 3-2: Einfaches System [nach ENG01]

Das einfache System folgt einem einfachen Ursache-Wirkungs-Zusammenhang, die wenigen Wirkungsverläufe sind bekannt, und Probleme können leicht aufgrund von Kenntnissen und Erfahrungen gelöst werden.

Einfache Systeme sind in der Regel stabile Systeme. Solange sie von außen nicht beeinflusst werden, zeigen sie keine Veränderungen in ihrem Verhalten.

3.3.2 Kompliziertes System

In seinem Gesamtbild kann ein kompliziertes System verworren erscheinen. Mittels Aufschlüsselung in kleine, überschaubare Teile (Elemente/Subsysteme) können sie jedoch relativ einfach entwirrt werden. Ist dies geschehen, ist das Zusammenspiel der einzelnen Elemente und Subsysteme berechenbar bzw. organisierbar.

Im Gegensatz zu einfachen erhöht sich bei komplizierten Systemen schon die Anzahl der Eingangs- bzw. Einflussgrößen. Weiterhin befinden sich innerhalb der Systemgrenzen mehr Elemente, welche auch zu verschiedenen Subsystemen zusammengefasst werden können. Der Vernetzungsgrad, also die Anzahl der Beziehungen/Wechselwirkungen, ist wesentlich höher als bei einem einfachen System (Abbildung 3-3).

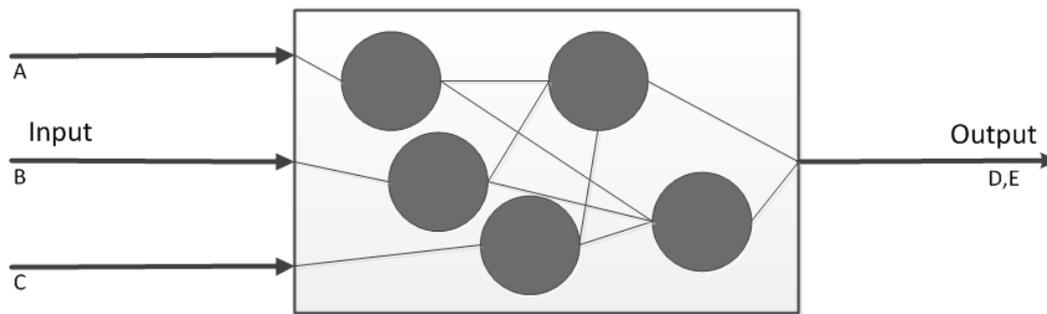


Abbildung 3-3: Kompliziertes System [nach ENG01]

Die Anzahl der möglichen Beziehungen lässt sich über die Anzahl der Systemelemente einfach berechnen:

$$\text{Anzahl der möglichen Beziehungen} = n * (n - 1) \quad (1)$$

Diese Formel ist allgemeingültig. Für ein einfaches System mit zum Beispiel drei Systemelementen ergeben sich also sechs mögliche Beziehungen. In einem System mit 20 Systemelementen steigt die Anzahl allerdings schon auf 380 mögliche Beziehungen. Dies belegt das exponentielle Ansteigen der Anzahl der Beziehungen parallel zum Anstieg der Anzahl der Elemente.

Aufgrund verschiedener Einflussgrößen können komplizierte Systeme durchaus einer geringen Dynamik unterliegen. Sie sind zumeist stabil oder wenigstens metastabil. Dies bedeutet, dass das System auch nach Änderungen oder Störungen der Systembedingungen wieder in den Ursprungszustand zurückkehrt oder wenigstens in einen neuen stabilen Zustand übergeht.

Die Heizungsanlage eines Einfamilienhauses ist ein geeignetes Beispiel für ein kompliziertes System. Hiermit werden in Abhängigkeit von verschiedenen Eingangsgrößen die Temperaturen der einzelnen Räume auch unabhängig voneinander beeinflusst.

Die Systemgrenzen werden hier durch die Wandungen der Heizkörper, Rohre, Brennstoffbehälter usw. und durch das Gehäuse des Brennsystems und Ähnliches beschrieben. Es können viele verschiedene Elemente und Subsysteme identifiziert werden.

Dazu gehören zum Beispiel:

- Temperaturmesssysteme zur Aufnahme von Messwerten innen und außen
- Regelsystem zum Vergleich/Auswerten von Ein- und Ausgangsgrößen

- Heizsystem zum Umwandeln von z. B. chemische Energie in thermische Energie
- Rohrsystem Wasserführung

Jedes dieser Subsysteme besteht aus einzelnen Elementen, welche miteinander in Beziehungen stehen. Auch wenn nicht jedes Subsystem mit jedem anderen wechselwirkt, kann man doch erahnen, dass dieses System als Ganzes betrachtet sehr vernetzte Beziehungsstrukturen aufweist.

Es ist also eindeutig ersichtlich, dass dieses augenscheinlich simple Produkt bei näherem Betrachten schon aufgrund seiner Systemstruktur ein kompliziertes System darstellen kann.

Um dies zu untermauern, werden weitere Merkmale betrachtet. Eingangssignale bzw. Einflussgrößen der Heizungsanlage sind Energie, Umwelteinflüsse (Temperaturen), aber auch Informationen in Form von Daten wie zum Beispiel die Daten einer programmierbaren Uhr, welche die Funktionen zu verschiedenen Tagen und Tageszeiten steuert. Die Anlage ist ein dynamisches und metastabiles System: metastabil, da es zum Beispiel bei einem Stromausfall nicht den ursprünglichen, aber einen anderen stabilen Zustand einnimmt. Das bedeutet, dass zum Beispiel die Zufuhr des Brennstoffes bis zur Beseitigung der Störung unterbrochen wird, um Beschädigungen oder Gefährdungen zu vermeiden.

Der Output dieses Systems ist primär die thermische Energie und sekundär z. B. die Abfallprodukte, welche bei der Verbrennung anfallen.

3.3.3 Komplexes System

Die Begriffe kompliziertes und komplexes System wurden in der Vergangenheit meistens als gleichwertig betrachtet. In den letzten Jahren hat sich jedoch ein Paradigmenwechsel vollzogen, was die Interpretation dieser Termini betrifft. Infolge dessen sind beide Begriffe klar getrennt.

Im Gegensatz zum komplizierten System hat ein komplexes System Merkmale, welche seine Elemente primär nicht in sich selbst tragen müssen. Es ist mehr als die Summe seiner Elemente und Subsysteme. Hierbei wird von emergenten Merkmalen oder einfach von Emergenz gesprochen.

Die strukturellen Merkmale ähneln auf den ersten Blick denen des komplizierten Systems. Auch hier gibt es mehrere Eingangs- und Einflussgrößen. Jedoch ist ihre Anzahl schon weit aus höher und sie sind stark miteinander vernetzt. Die Interaktion dieser Größen unterliegt ei-

ner temporalen Varianz. Weiterhin sind komplexe Systeme durch Art und Anzahl ihrer Elemente gekennzeichnet (Abbildung 3-4).

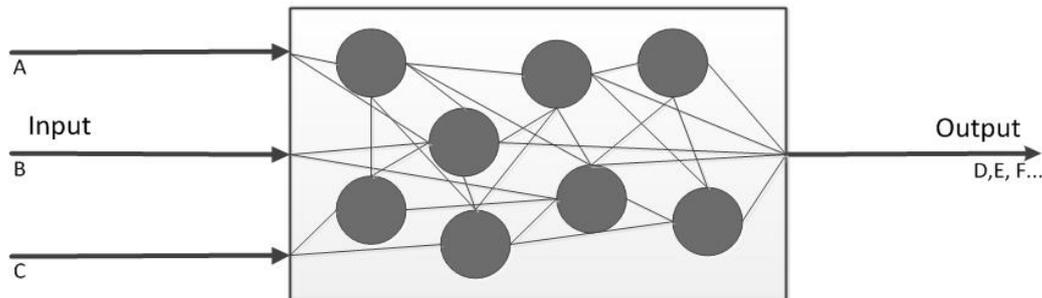


Abbildung 3-4: Komplexes System [nach ENG01]

Speziell muss hier der Fokus auf die Anzahl, Art und Dichte der Beziehungen zwischen ihnen gelegt werden. Die Beurteilung dieser Merkmale führt zum Maß der strukturellen Komplexität K :

$$K = \frac{n_r}{n_e} \quad (2)$$

mit

n_r = Anzahl der Relationen/Beziehungen

n_e = Anzahl der Elemente

Weiterhin kann man die temporale Komplexität als Maß für den Grad der Komplexität heranziehen. Diese ergibt sich aus der Anzahl der möglichen Zustände, welche in einer bestimmten Zeitspanne durch das System angenommen werden können.

Im Allgemeinen heißt es, dass komplexe Systeme nicht zerlegbar, nicht berechenbar und nicht organisierbar sind. Dies trifft auf technische Systeme nur bedingt zu. Technische Systeme sind in der Regel bis zu einem gewissen Grad zerleg-, berechen- und organisierbar. Trotzdem können sie in ihrer Gesamtheit die verschiedenen Kriterien der Komplexität erfüllen.

Als Beispiel hierfür soll ein PKW dienen. PKWs nach dem derzeitigen Stand der Technik setzen sich aus einer sehr großen Zahl von vielfältigen Elementen und Subsystemen zusammen. Die Anzahl der Subsysteme und somit auch der Elemente des Gesamtsystems PKW vervielfacht sich mit steigendem Ausstattungsniveau aufgrund von benötigten Steuer- und Regelsystemen und dem damit verbundenen Datenverarbeitungsaufwand. Viele dieser Subsysteme

sind über Steuersysteme miteinander verbunden, welche ihrerseits wieder miteinander wechselwirken.

Aufgrund von Rechner-, Steuer- und Regel- und mechanischer Technik ist das Gesamtsystem zwar in Subsysteme unterteilbar, die Aufteilung einiger Subsysteme in seine Elemente wird aber aus Sicht des Betreibers unmöglich. Die Vernetzung innerhalb und zwischen vielen Subsystemen ist ebenfalls nicht mehr zu übersehen.

Der Output dieses Systems ist primär Bewegungsenergie. Sekundär allerdings werden zum Beispiel Wärme/Kälte, Licht und natürlich Daten erzeugt. Wärme und Licht verlassen das System. Die Daten werden zum Teil weiterverwertet. Dies kann direkt zum Nutzen des Systems geschehen (Temperatur-, Abgas-, Positionsdaten) oder auch indirekt für Wartung, Weiterentwicklung oder Statistik.

3.3.4 Vorteile einfacher Systeme

In den vorangegangenen Abschnitten wurde festgestellt, dass die Einfachheit bei identischer Zweckerfüllung der Komplexität vorzuziehen ist. Durch Einfachheit werden folgende Aspekte von Systemen verbessert:

- **Verständlichkeit:** Der Aufbau des Systems ist nachvollziehbar. Dieses bildet die Basis für die folgenden Aspekte.
- **Beeinflussbarkeit:** Von außerhalb des Systems kann gezielt Einfluss auf Elemente genommen werden, um einen anderen Output zu erzielen oder interne Abläufe zu steuern.
- **Prognostizierbarkeit:** Der Output und die möglichen Zustände eines Systems sind vorhersehbar, Auswirkungen von Änderungen überschaubar.
- **Modifizierbarkeit:** Das System kann verändert werden, um andere Zwecke zu erfüllen. Es genügen Modifikationen und für diese Zwecke muss kein neues System entwickelt werden. Die Modifizierbarkeit betrifft eine Umstrukturierung des Systems, während bei der Beeinflussbarkeit interne Abläufe verändert werden.
- **Störungsarmut:** Weniger Elemente und Wechselwirkungen in einem System führen zu geringerer Anfälligkeit für Störungen im Betrieb.
- **Selbstständigkeit:** Das System funktioniert (weitgehend) ohne äußere Einflussnahme.
- **Redundanzfreiheit:** Im System befinden sich keine überflüssigen Elemente, die die gleiche Funktion erfüllen. Es ist dadurch nicht überdefiniert und mögliche Kompetenzkonflikte werden vermieden.

Redundanzfreiheit ist nicht immer gewünscht, da einige Systeme kritische Elemente mehrfach beinhalten sollen. Würde das kritische Element ausfallen, käme das System zum Stillstand oder würde ungewünschte Ergebnisse oder Defekte produzieren. Das parallele Vorhandensein redundanter Elemente wirkt dem Ausfall des Systems entgegen. Dieses Prinzip zeigt sich im IT-Bereich bei RAID-Systemen oder beim Bereithalten von Notstromaggregaten.

Systeme wie Schwarmintelligenzen basieren sogar auf redundanten Elementen. Alleingestellt sind diese Elemente relativ einfach. Im Kollektiv können sie aber komplexe Aufgaben lösen [PIN08]. Ein Beispiel dafür sind Ameisen-Kolonien.

3.3.1 Zusammenfassung einfacher und komplexer Systeme

Eine Darstellung der wichtigsten Systemeigenschaften zeigt Tabelle 3-1. Die unterstrichenen Merkmale sind für technische Systeme charakteristisch. Prinzipiell ist aber zu sagen, dass ein technisches System sowohl einfache als auch komplizierte oder sogar komplexe Formen annehmen kann.

Tabelle 3-1: Morphologie von Systemeigenschaften [EVS04]

Eigenschaften von Systemen	Merkmale der Systeme		
	1	2	3
Relationen/Beziehungen	Einfach	Kompliziert	Komplex
Abgrenzungen	<u>Offen</u>	Geschlossen	Isoliert
Zustandsgrößen	Statisch	<u>Dynamisch</u>	——
Entstehungsart	Natürlich	<u>Künstlich</u>	——
Kontinuität	Kontinuierlich	<u>Diskret</u>	——
Struktur	Starr	<u>Flexibel</u>	——

Die Systemtheorie dient zur Veranschaulichung und zum allgemeinen Verständnis des Begriffes der Komplexität.

Ein komplexes System ist durch die hohe Anzahl der Elemente und durch die hohe Anzahl von Beziehungen zwischen den Elementen gekennzeichnet (Abbildung 3-5). Bei einem komplexen System sind die Reaktionen auf interne und externe Einflüsse bzw. Veränderungen sehr schwer zu erfassen.

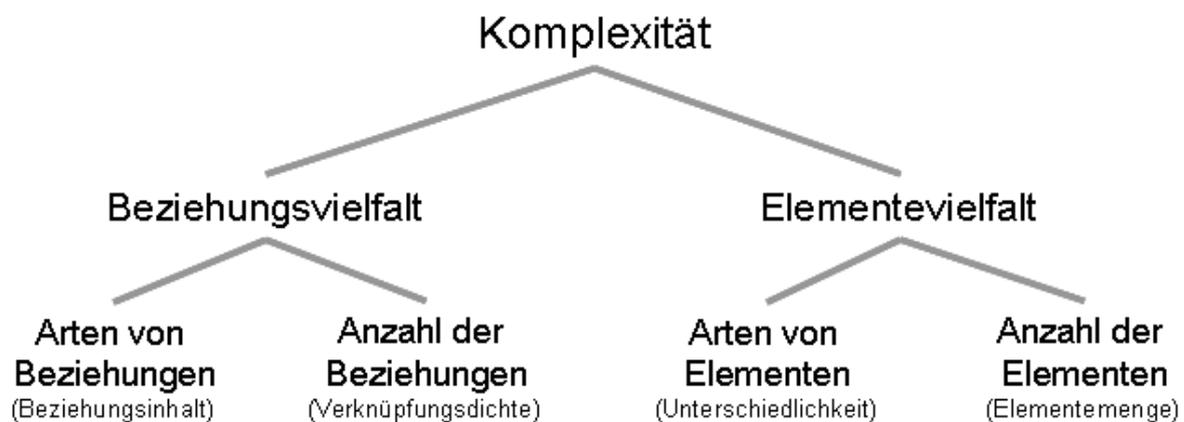


Abbildung 3-5: Komplexität als Merkmal der Systemstruktur [PAT82]

„Komplexität“ ist die Eigenschaft eines Systems, aufgrund seiner Summe aus Teilsystemen und Elementen nur schwer beschreibbar und in seinem Verhalten vorhersagbar zu sein. Die Gestalt, die Anordnung der Elemente sowie deren Zusammenhänge und Wechselwirkungen werden nicht einbezogen. Lediglich die Menge aller Elemente bestimmt im Umkehrschluss über die Einfachheit des Systems, wobei mit steigender Anzahl an Elementen die Einfachheit ab- bzw. die Kompliziertheit zunimmt.

Demnach zeichnet sich ein einfaches System durch die Reduktion der Menge an Elementen und deren Verknüpfungen aus, wobei die Minimierung nicht unbegrenzt möglich ist. Bei einem einfachen System muss zu jedem Zeitpunkt die exakte, fehlerfreie, vollständige und sichere Erfüllung der Systemaufgabe gewährleistet sein.

3.4 Komplexität im Produktentwicklungsprozess

Komplexitäten im Produktentwicklungsprozess werden primär durch Produktinnovationen, einem beschleunigten gesellschaftlichen und politischen Wandel und durch wachsende Informationsfluten getrieben.

Für alle auftretenden Komplexitäten können interne und externe Komplexitäten identifiziert werden. Beispiele dafür sind in Abbildung 3-6 dargestellt.

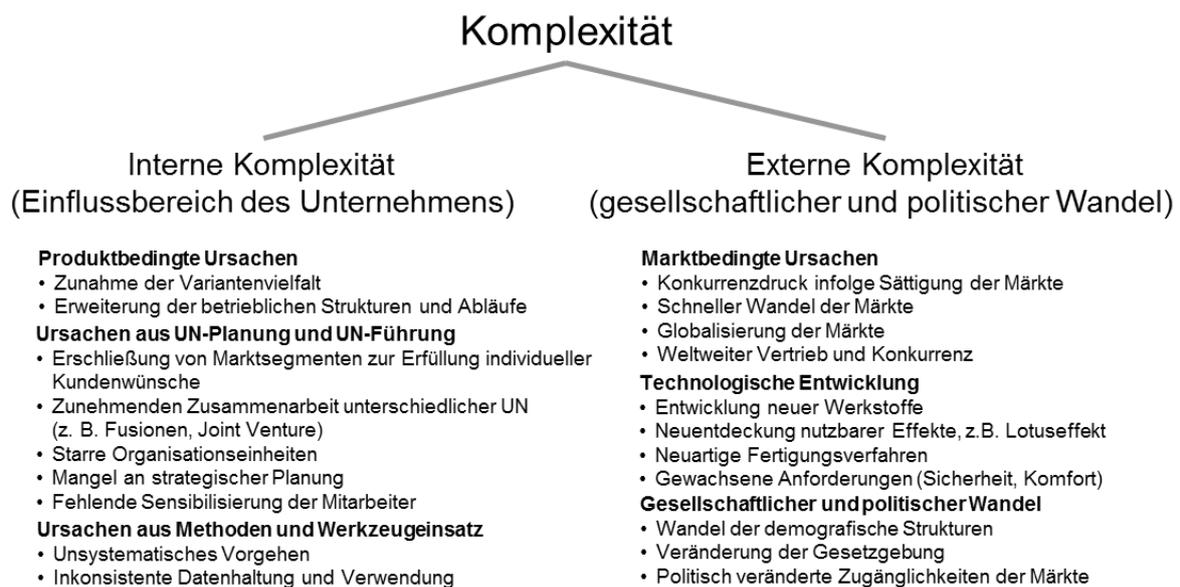


Abbildung 3-6: Komplexität des Produktlebenszyklus [KFG07]

Interne Komplexitäten resultieren aus dem Einflussbereich des Unternehmens. Dazu zählen produktbedingte Ursachen, Ursachen aus der Unternehmensplanung und Unternehmensführung und Ursachen für einen mangelhaften Methoden- und Werkzeugeinsatz [MEN01].

Externe Komplexitäten entstehen aus dem Wandel der Politik und der Gesellschaft. Als Ursachen sind veränderte Marktbedingungen (z.B. Globalisierung), technologische Fortschritte (z.B. neue Erkenntnisse in der Grundlagenforschung) und Veränderung der gesellschaftlichen Struktur zu nennen (z.B. Wandel der demografischen Struktur) [KFG07].

Diese Komplexitäten werden durch eine Erhöhung des Variantenreichtums bedingt. Ein Mehr an Varianten kann zu einer Erhöhung des Kundennutzens und somit zur Erschließung neuer Marktnischen führen.

Ursprung dieser Erweiterung ist in der Produktentwicklung zu suchen. In diesem Bereich werden Produkte erdacht, entwickelt und erprobt und Entscheidungen bezüglich des Gebrauchs sowie des Produkts- und Materialrecyclings getroffen [KFG07].

Vorgelagerte oder nachgelagerte Prozesse, wie z. B. die Vermarktung oder administrative Bereiche des Unternehmens werden durch die Erweiterung der Varianten ebenfalls angepasst. Im Rahmen dieser Arbeit soll ein Werkzeug für die objektive Bewertung der Einfachheit/Komplexität von Produkten bzw. von frühen Konzepten entstehen. Daher wird in der weiteren Ausarbeitung primär die interne Komplexität betrachtet.

3.5 Einfache und komplexe Produkte in der Produktentwicklung

Basierend auf den vorangegangenen Beschreibungen von Einfachheit und Komplexität sollen in diesem Abschnitt vorhandene Definitionen und Beschreibungen von einfachen / komplexen Produkte zusammengetragen werden.

Nach [STS08] wird die Einfachheit bzw. die Komplexität eines Produktes mit den Grundregeln der Systemtheorie verglichen. Die Kompliziertheit eines Systems wird hierbei nicht erwähnt. Ein einfaches Produkt wird hier gleichgesetzt mit einem einfachen System (siehe Abschnitt 3.3). Dies bedeutet, dass ein Produkt, welches aus wenigen Komponenten oder Teilen besteht, die einfach ausgeführt und angeordnet sind, einfach ist. Weiterhin wird ein einfaches Produkt definiert durch [STS 08]:

- Geringe Anzahl von Bauteilen, Baugruppen sowie Vorgängen zur Realisierung der Funktion
- Einfache geometrische Formen, die sich möglichst analytisch beschreiben lassen, wie z. B. Kugel, Zylinder
- Ausnutzung von Symmetrie sowohl für Geometrien von Bauteilen und Baugruppen als auch für die Krafteinleitung
- Sinnfällige bzw. intuitive Mensch-Maschine-Schnittstelle, wenige, übersichtliche Anzeigen und Bedienelemente unter Beachtung der Richtlinien zur ergonomischen Gestaltung [LUCZ93]
- Anwendung möglichst weniger und einfacher Fertigungsverfahren
- Leicht identifizierbare Teile
- Klare und schnell durchschaubare Montagevorgänge
- Einfache Fehlererkennung durch z.B. leichte Erkennbarkeit von Abweichungen (Anschläge und Symmetrien)

- Einfaches Recycling durch Verwendung verträglicher Werkstoffe und Demontage-möglichkeiten

In einigen Punkten der Beschreibung werden Merkmale der Einfachheit aufgezählt (leicht identifizierbare Teile, schnell durchschaubare Montagevorgänge, sinnfällige Mensch-Maschine-Schnittstelle...), diese sind aber wiederum sehr allgemein und gar nicht quantifizierbar gehalten. Folgende Fragestellungen werden durch die Definition nicht beantwortet:

- Wann ist ein Teil leicht identifizierbar?
- Wann sind Montagevorgänge schnell durchschaubar?
- Wann ist die Entsorgung eines Produktes einfach?
- ...

Gemäß dieser Definition wäre ein einteiliges Produkt immer einfach. Da diese Aussage definitiv strittig ist, ist auch die Definition unzulänglich. Da das aber nicht deklariert wird, erscheint die Definition des einfachen Produkts für den versierten Leser als ungenügend und mehr als global. Des Weiteren besteht hier nur ein Bezug zu sehr wenigen Abschnitten des Produktlebenszyklus.

Nach [EKL07] tritt der Begriff „Einfachheit“ nur indirekt als Inverses der Komplexität auf. Anfangs wird festgestellt, dass komplexe Produkte (welche nicht näher definiert werden) meist komplexe Prozesse in allen Bereichen des Unternehmens bedingen können. In diesem Zusammenhang wird dargelegt, dass diese Komplexität in ihren wesentlichen Ausprägungen nicht sichtbar ist und mit den üblichen Controlling-Instrumenten auch nicht erkannt werden kann. Die Einflussgrößen der Komplexität im Unternehmen begründen sich hier hauptsächlich aus der Tatsache, dass Produkte viele unterschiedsteile und aufgrund dessen auch viele eingesetzte Technologien, Entwickler, Partner, Relationen usw. erfordern.

Diese Aussagen legen wieder den Schluss nahe, dass die Definition der komplexen/einfachen Produkte an die der Systeme angelehnt ist.

Weiter wird in [EKL07] eine Teilekomplexität gleichgestellt mit einer hohen Zahl variantenspezifischer Teile und geringer Anzahl standardisierter Teile. Wird hier, wie auf den ersten Blick zu vermuten, die Teilekomplexität mit der Produktkomplexität gleichgesetzt, so fehlt dieser Aussage der Sinn. Nur weil ein Teil variantenspezifisch ist, ist es nicht automatisch komplexer als andere. Auch ein standardisiertes Teil kann einen hohen Grad an Komplexität aufweisen. Aufgrund dessen ist hier wahrscheinlich die Gesamtheit der Teile im Unternehmen als komplex gemeint. Des Weiteren wird in [EKL07] auf Produktionskomplexität und Kom-

plexitätskosten eingegangen, immer vor dem Hintergrund der Variantenvielfalt und der daraus folgenden Komplexität im Unternehmen.

In [PBFG06] ist die Einfachheit ähnlich wie in [STS08] definiert. Auch hier ist ein einfaches Produkt gleichbedeutend mit einem einfachen System. Einzelne Aspekte (Funktion, Wirkprinzip, Auslegung, Ergonomie usw.) werden betrachtet und erklärt. Diese Aspekte entsprechen prinzipiell den Partialmodellen (wenngleich nicht allen) des Produktlebenszyklus (Funktionsmodell, Prinzipienmodell, Auslegungsmodell, Ergonomiemodell usw.).

Wie bei [STS08] werden Merkmale zur Einfachheit genannt. Dazu zählen nach [PBFG06]:

- Funktion:
 - eine möglichst geringe Anzahl
 - eine übersichtliche und folgerichtige Verknüpfung von Teilfunktionen
- Auslegung:
 - Es sollen geometrische Formen zugrunde liegen, die direkt für die mathematischen Ansätze in der Festigkeits- und Elastizitätslehre tauglich sind,
 - mit der Wahl symmetrische Formen sollen übersichtlich Verformungen bei der Fertigung, unter Last und unter Temperatur erzwungen werden
- Ergonomie: Die Mensch-Maschine Beziehung soll ebenfalls einfach sein und kann mit
 - sinnfälligen Bedienvorgängen,
 - übersichtlichen Anordnungen und
 - verständlichen Signalen entscheidend verbessert werden.
- Fertigung und Kontrolle: Fertigung und Kontrolle können einfacher, d.h. rascher und genauer vorgenommen werden, wenn
 - geometrische Formen gängige, wenig zeitraubende Bearbeitungen ermöglichen
 - wenige Fertigungsverfahren mit geringen Umspann-, Rüst- und Wartezeiten möglich sind
 - übersichtliche Formen die Kontrolle erleichtern und beschleunigen

Wiederum fehlt aber eine Quantifizierung der genannten Eigenschaften. Anhand von Beispielen wird gezeigt, wie Produkte / Systeme einfacher oder weniger einfach sein können. Wann ein Übergang von einfach zu kompliziert oder gar komplex vollzogen wird, bleibt aber offen.

[LRZ06] setzt den Produktbegriff mit dem Begriff System gleich. Definitionen zur Einfachheit oder Komplexität sind hier nicht zu finden. Die Autoren behandeln ausschließlich Probleme und Auswirkungen auf die Komplexität verschiedenster Partialmodelle aufgrund von steigenden Individualisierungsanforderungen durch die Kunden. Hierbei wird allerdings weder qualitativ noch quantitativ darauf eingegangen, wann ein Produkt, System oder Problem einfach, kompliziert oder komplex ist.

In [SCU05] wird die Komplexität mit der Vielfalt oder Vielzahl von Elementen gleichgesetzt. Als Komplexitätstreiber werden z.B. die Unternehmensgröße, die Sortimentsbreite oder auch die Dynamik der Produktentwicklungsprozesse identifiziert. Weiterhin wird auf die Komplexität von Unternehmen, bzw. auf die Erhöhung der Komplexität aufgrund der Erweiterung des Produktsortiments eingegangen. Außerdem werden Maßnahmen zum Umgang mit Komplexität aufgrund der vorher genannten Gründe beschrieben. Eine Definition für die Komplexität eines Produktes wird in dieser Quelle nicht formuliert.

In ([STS08], [LRZ06], [PBFG06]) sind folgende Kernaussagen zu einfachen Produkten zu finden:

- Geringe Anzahl von Bauteilen, Baugruppen sowie Vorgängen zur Realisierung der Funktion ([STS08], [PBFG06])
- Anwendung möglichst weniger und einfacher Fertigungsverfahren ([STS08], [PBFG06])
- Klare und schnell durchschaubare Montagevorgänge [STS08]
- Sinnfällige Mensch-Maschine-Schnittstelle, wenige, übersichtliche Anzeigen und Bedienelemente unter Beachtung der Richtlinien zur ergonomischen Gestaltung [LUCZ93]
- Leicht identifizierbare Teile [STS08]
- Einfache Fehlererkennung z.B. durch leichte Erkennbarkeit von Abweichungen (Anschläge und Symmetrien) ([STS08], [PBFG06])
- Einfaches Recycling durch Verwendung verträglicher Werkstoffe und Demontagemöglichkeiten [STS08]

Nach [EKL07] bedingen komplexe Produkte komplexe Prozesse. Auch diese Aussage wird für weitere Untersuchungen verwendet.

Die Anzahl der Bauteile eines Produktes oder die Anzahl der Fertigungsverfahren werden in den aufgeführten Quellen nicht weiter quantifiziert. Somit kann aufgrund dieser Kernaussagen keine Aussage eines Produktes hinsichtlich seiner Einfachheit getroffen werden. Allerdings

sind diese Aussagen für die Definition einfacher Produkte für diese Arbeit im weiteren Verlauf gültig.

3.6 Definition eines einfachen Produktes

In diesem Abschnitt wird anhand drei verschiedener Produkte der „Einfachheitsgrad“ auf Basis der zusammengetragenen Informationen und Definitionen ermittelt. Durch das Bewerten von drei verschiedenen Produkten soll eine mögliche allgemeingültige Bewertung aufgezeigt werden.

Dazu werden die in dem Abschnitt 3.5 zusammengetragenen Beschreibungen einfacher Produkte verwendet. Im Anschluss wird erörtert, ob die genannten Kriterien hinreichend zur Bestimmung des „Einfachheitsgrad“ eines Produktes sind.

Es muss weiterhin darauf geachtet werden, dass alle ausgewählten Kriterien objektiv bewertbar sind. In diesem Fall sind Kriterien objektiv, wenn sie mit Kennzahlen, wie zum Beispiel die Anzahl aller Bauteile, quantifizierbar sind.

Für die Bewertung der Einfachheit werden folgende Produkte miteinander verglichen:

- Flaschenöffner
- Getriebe
- Fahrrad

Vorab müssen allerdings weitere Einschränkungen vorgenommen werden. Die genannten Kriterien sehen eine Teilbewertung unter anderem aufgrund der Anzahl der Fertigungsverfahren vor. Wie bereits in der Einleitung erwähnt, soll das Bewertungsverfahren eine schnelle Bewertung von verschiedenen Konzepten oder Produkten ermöglichen.

Damit eine Bewertung von Produkten mit großen Baugruppen, also eine Gesamtbauteilanzahl von zum Beispiel mehr als 50 Bauteilen, auch zeitlich vertretbar ist und nicht eine Bewertungszeit von mehreren Arbeitstagen in Anspruch nehmen, wird bei allen Baugruppen zwischen Zukaufteilen und firmeneigenen Bauteilen (intern gefertigte Bauteile) unterschieden.

Dabei werden Fertigungsschritte der Zukaufteile nicht in die Bewertung einfließen. Der Aufwand der Fertigung wird dementsprechend auf externe Ressourcen ausgelagert. Daraus resultiert allerdings, dass sich der Grad der Einfachheit von Unternehmen zu Unternehmen für gleiche Produkte unterscheiden kann.

Vor der Bewertung müssen einige Informationen zu dem produzierenden Unternehmen und zu dem Produkt selbst gesammelt werden. Aufgrund der Definitionen von ([STS08],

[LRZ06], [PBF06]) werden die in der Tabelle 3-2 aufgeführten Kriterien miteinander verglichen.

Die Bewertung erfolgt mittels einer Rangordnung, da keine anderen Vorgaben getroffen wurden. Die Rangordnung ist ein sehr einfaches Verfahren, bei dem Kriterien mit verschiedenen Ausprägungen gegenüber gestellt werden [ROT94]. In diesem Beispiel wird unter anderem die Bauteilanzahl der verschiedenen Produkte miteinander verglichen. Das Produkt mit den geringsten Bauteilen bekommt die maximale Punktzahl und das Produkt mit den meisten Bauteilen bekommt die minimale Punktzahl.

Da in diesem Beispiel nur drei Produkte miteinander verglichen werden, wird eine Skala von 1-3 verwendet. Auf eine Gewichtung der Kriterien wird in diesem Beispiel verzichtet.

Tabelle 3-2: Kriterien für den Vergleich einfacher Produkte

	Produkt 1	Produkt 2	Produkt 3
Bauteilanzahl			
Anzahl der Fertigungsverfahren			
Anzahl der Montagevorgänge			
Fehlererkennung			
Recycling			
Σ			

Die Bauteilanzahl erfasst die Anzahl aller Bauteile der zu bewertenden Produkte. Mit der Anzahl der Fertigungsverfahren wird die Anzahl der Fertigungsverfahren des Unternehmens verglichen. Dazu gehören nicht die Fertigungsverfahren der zugekauften Komponenten oder Baugruppen.

Die Anzahl der Montageschritte vergleicht alle im Unternehmen ausgeführten Montageschritte. Bereits zugekaufte montierte Baugruppen werden dabei nicht berücksichtigt.

Die Fehlererkennung beschreibt das Erkennen von möglichen Abweichungen des Produktes. Dieses Kriterium ist stark abhängig von der Bauteilanzahl sowie das Verbauen von Bauteilen im Gehäuse. Diese ermöglichen nur schwer das leichte Erkennen von auftretenden Fehlern.

Das Recycling beschreibt unter anderem die Demontage und damit die Anzahl aller Arbeitsschritte des Vorgangs. Das eigentliche Recycling, also der Aufwand für die Aufbereitung und Bereitstellung des Rohmaterials, fließt in dieser Bewertung nicht ein.

Abbildung 3-7 zeigt das erste Produktbeispiel für die Bewertung. Es handelt sich um ein einteiliges Produkt. Folgende Fakten gelten für dieses Produkt:

- Bauteilanzahl - 1
- Anzahl der Fertigungsverfahren - 3 (das Produkt wird umgeformt, geschliffen und anschließend wird die Oberfläche veredelt)
- Anzahl der Montagevorgänge - 0
- Fehlererkennung - sofort möglich (da dieses Produkt nur aus einem Element besteht, können Fehler sofort identifiziert werden)
- Recycling - 0 (es sind keine Demontageschritte notwendig)



Abbildung 3-7: Flaschenöffner [www05]

Das zweite Produkt ist ein zweistufiges Getriebe [HAR09]. Das Getriebe ist von zwei unterschiedlichen Gehäusehälften umschlossen, welche mit verlorenen Formen gegossen werden müssen. Die beiden Gehäusehälften, die Antriebswelle und die Abtriebswelle werden im Unternehmen B endbearbeitet. Alle anderen Bauteile wie Zahnräder, Kugellager, Distanzhülsen, Sicherungsringe und Schrauben sind Zukaufteile. Daher spielen deren Fertigungsvorgänge für diese Bewertung keine Rolle. Die Montage der gesamten Baugruppe erfolgt im Unternehmen B.

- Bauteilanzahl - 44
- Anzahl der Fertigungsverfahren - 10 (die Gehäuse werden gegossen und anschließend werden bestimmte Oberflächen nachbearbeitet. Die Wellen werden gedreht und gefräst.)
- Anzahl der Montagevorgänge -49
- Fehlererkennung – nicht sofort möglich (eine Fehlererkennung ist aufgrund des Gehäuses nicht möglich.)
- Recycling – 49 (umgekehrte Montagereihenfolge)

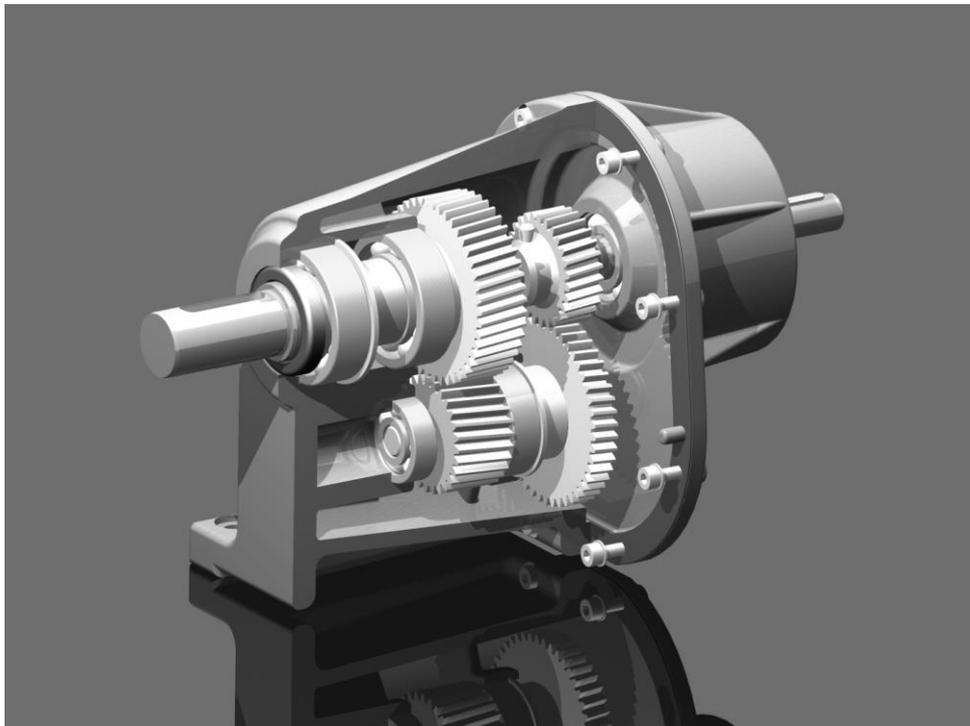


Abbildung 3-8: Getriebe [HAR09]

Bei dem dritten Produkt handelt es sich um ein Fahrrad. Für den Vergleich der Produkte wird ein Crossbike ohne zusätzliche Anbauten wie Lichtelemente, Schutzbleche oder Gepäckträger verwendet. Das Fahrrad besteht aus vielen Zukaufteilen (in diesem Beispiel aus 71 Zukaufteilen). Der Rahmen des Fahrrades wird im Unternehmen C angefertigt. Dafür werden acht Rohre auf definierte Längen zugeschnitten und anschließend verschweißt. Danach wird der fertige Rahmen im Unternehmen C lackiert beziehungsweise gepulvert. Die Montage des Fahrrades erfolgt auch im Unternehmen C.

- Bauteilanzahl - 79
- Anzahl der Fertigungsverfahren - 18 (Der Rahmen besteht aus acht Rohren Jedes Rohr muss zugeschnitten und geschweißt werden. Anschließend wird der Rahmen geschliffen und lackiert.)
- Anzahl der Montagevorgänge - 63
- Fehlererkennung - sehr schnell möglich (fast alle Bauteile sind sofort erkennbar.)
- Recycling - 63 (umgekehrte Montagereihenfolge)



Abbildung 3-9: Fahrrad [www06]

Nach der Erarbeitung aller notwendigen Informationen können alle Produkte miteinander verglichen werden.

Tabelle 3-3: Produktvergleich bezüglich der Einfachheit [nach STS08]

	Flaschenöffner	Getriebe	Fahrrad
Bauteilanzahl	3	2	1
Anzahl der Fertigungsverfahren	3	2	1
Anzahl der Montagevorgänge	3	2	1
Fehlererkennung	3	2	1
Recycling	3	2	1
Σ	<u>15</u>	<u>10</u>	<u>5</u>

Der Flaschenöffner ist aufgrund der Bewertung das einfachste Produkt. Das Fahrrad ist das komplexeste Produkt. Das Ergebnis ist aufgrund der Summe aller vergebenen Punkte zustande gekommen.

Fazit:

Aufgrund der bisher zusammengetragenen Kriterien können Produkte miteinander verglichen werden. Dabei werden verschiedene Aspekte des Produktlebenszyklus betrachtet.

Allerdings ermöglichen die vorgegebenen Kriterien nur ein Vergleichen verschiedener Produkte miteinander. Das Ergebnis ermöglicht keine Aussage über die Einfachheit eines einzelnen Produktes. In dieser Arbeit wird das Ziel verfolgt, eine Aussage über die Einfachheit oder Komplexität eines einzelnen Produktes zu treffen. Das bedeutet, dass ein Produkt mit einer spezifischen Kennzahl identifiziert werden soll.

Weiterhin erfolgt nach ([STS08], [LRZ06], [PBF06]) die Ermittlung der Kriterien für „Anzahl der Fertigungsvorgänge“ und „Anzahl der Montagevorgänge“ nur aufgrund der Anzahl aller Bauteile.

Die Art der Bauteile (Zukaufteile und Bauteile in Eigenfertigung) wird dabei nicht unterschieden. Es ist allerdings ratsam, zwischen Zukaufbauteilen und unternehmenseigenen Bauteilen zu unterscheiden. Letztere verursachen im Unternehmen einen viel größeren Aufwand. Sie müssen je nach Art des Produktes entwickelt, getestet, gefertigt und geprüft werden.

Demzufolge sind die in der Literatur aufgeführten Beschreibungen für einfache Produkte nicht hinreichend.

Weiterhin fehlt in der Beschreibung jegliche Quantifizierung der genannten Kriterien. Es wird zum Beispiel beschrieben, dass möglichst wenig Fertigungsverfahren oder Montageschritte angewendet werden sollen.

Leider wurde keine Aussage getroffen, bei wie vielen Fertigungsschritten ein Produkt einfach oder komplex ist. Daher ist derzeit keine Aussage über die Einfachheit oder Komplexität eines Produktes möglich.

3.7 Erweiterung der Bewertungsprozesses

Die Arten der Komplexität von Produkten können sehr vielschichtig sein. Einerseits sind Produkte komplex, wenn sie sich durch eine hohe Anzahl von Bauteilen und deren Vernetzung auszeichnen. Andererseits können aber scheinbar einfache Produkte, wie zum Beispiel PVC-Einkaufstaschen, aufgrund deren Prozesse, wie zum Beispiel das Minimieren der Herstellungskosten bei hoher Haltbarkeit, sehr komplex werden.

Das vorherige Beispiel zeigt, dass es wichtig ist, nicht nur das Produkt mit seinen Eigenschaften hinsichtlich der Komplexität zu bewerten, sondern auch zugehörige Entstehungsprozesse in die Bewertung einzubeziehen.

Abbildung 3-10 zeigt die Aspekte der Produktentwicklung. Die Produktentwicklung ist ein Teil des Produktlebenszyklus.

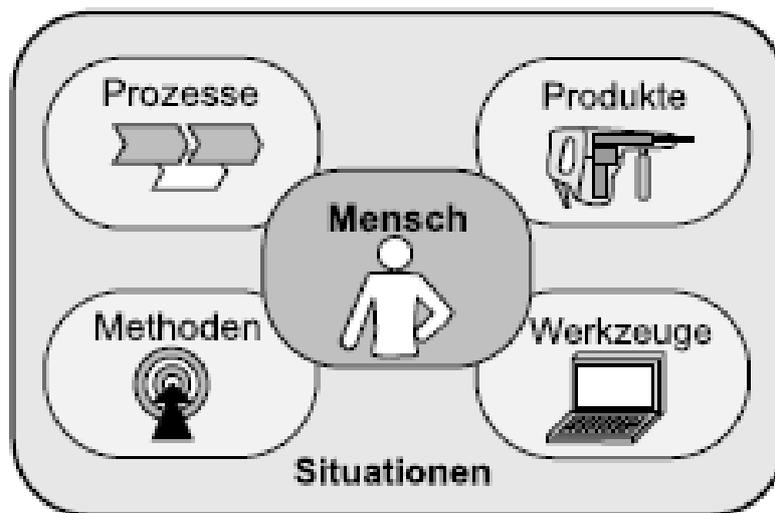


Abbildung 3-10: Aspekte der Produktentwicklung [LIP08]

Die Produktentwicklung ist neben dem Produkt durch Prozesse, Methoden und Werkzeuge gekennzeichnet. Das anwendende und ausführende Organ der Produktentwicklung ist der Mensch. Ohne den Menschen können keine neuen Produkte entstehen. Ihm stehen dafür Methoden und Werkzeuge zur Verfügung, die dem Menschen die Produktentwicklung ermöglichen oder vereinfachen [FRE01]. Weiterhin ermöglichen diese Methoden und Werkzeuge überhaupt den Umgang mit komplexen Produkten. Sie sind allerdings nur Hilfsmittel, die den Menschen bei seiner Arbeit unterstützen.

Unter der Annahme, dass der Produktentwickler die Methoden und Werkzeuge effizient einsetzt, kann ein Produkt nur einfach sein, wenn die Produkteigenschaften und auch deren Produktlebenszyklusprozesse einfach sind (Abbildung 3-11).

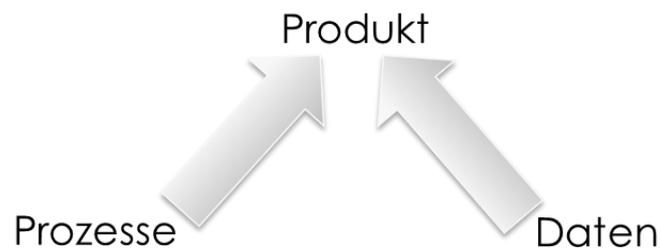


Abbildung 3-11: Abhängigkeiten der Produktkomplexität

Diese These soll an einem einfachen Beispiel näher erläutert werden. Das Unternehmen A produziert einen Flaschenöffner, wie er im Abschnitt 0 beschrieben wurde. Das Unternehmen B produziert genau den gleichen Flaschenöffner. Die Produkte sind identisch und nach der letzten Gegenüberstellung sogar einfach. Unternehmen A erzeugt allerdings in der Fertigung einen Ausschuss von 10%, Unternehmen B nur einen Ausschuss von 5%. Somit beherrscht das Unternehmen B die Fertigungsprozesse besser als Unternehmen A. Da die Fertigungsprozesse von Unternehmen B zuverlässiger sind, besteht ein geringeres Risiko für Fehler in der Fertigung.

Ein geringes Risiko für Prozesse kann zum Beispiel vorliegen, weil

- alle Restrisiken eliminiert werden konnten oder
- wenige Störgrößen für Prozesse vorhanden sind.

Sind Prozesse weniger risikobehaftet, werden diese Prozesse in der weiteren Arbeit als einfach bezeichnet. Aus diesem Grund kann angenommen werden, dass das Produkt für Unternehmen B einfacher als für Unternehmen A ist.

Somit lässt sich die Komplexität eines Produkts durch zwei Hauptkategorien beschreiben, durch die Produktkomplexität und durch die Beherrschbarkeit der Prozesse im Produktlebenszyklusses. Die damit ermittelte Gesamtkomplexität des Produktes ergibt sich somit aus der Sichtweise des zu produzierenden Unternehmens.

3.8 Ziel des Bewertungsverfahrens

Bewertungsverfahren sind während der Produktentwicklung unabdinglich. Sie dienen zur Reduktion zu einer endlichen Menge von Lösungen.

Während des Nutzungsprozesses werden vergleichbare Produkte verschiedener Hersteller durch unabhängige Institute (z. B. Stiftung Warentest) untereinander verglichen, um die Vorzüge aber auch Nachteile des jeweiligen Produktes für den Anwender transparent abzubilden.

Aber auch während des Entwicklungsprozesses werden Bewertungsverfahren nicht nur einmalig, sondern beliebig häufig angewendet. Es ist eine wichtige Methode, Entscheidungen herbei zu rufen.

Betrachtet man den Produktentwicklungsprozess, kann dieser in mehrere Phasen unterteilt werden. Dazu gibt es ähnlich des Produktlebenszyklus mehrere Ansätze.

Ein weit verbreiteter Ansatz zur Strukturierung von Produktentwicklungsprozessen wurde in der VDI-Richtlinie 2221 definiert (Abbildung 3-12).

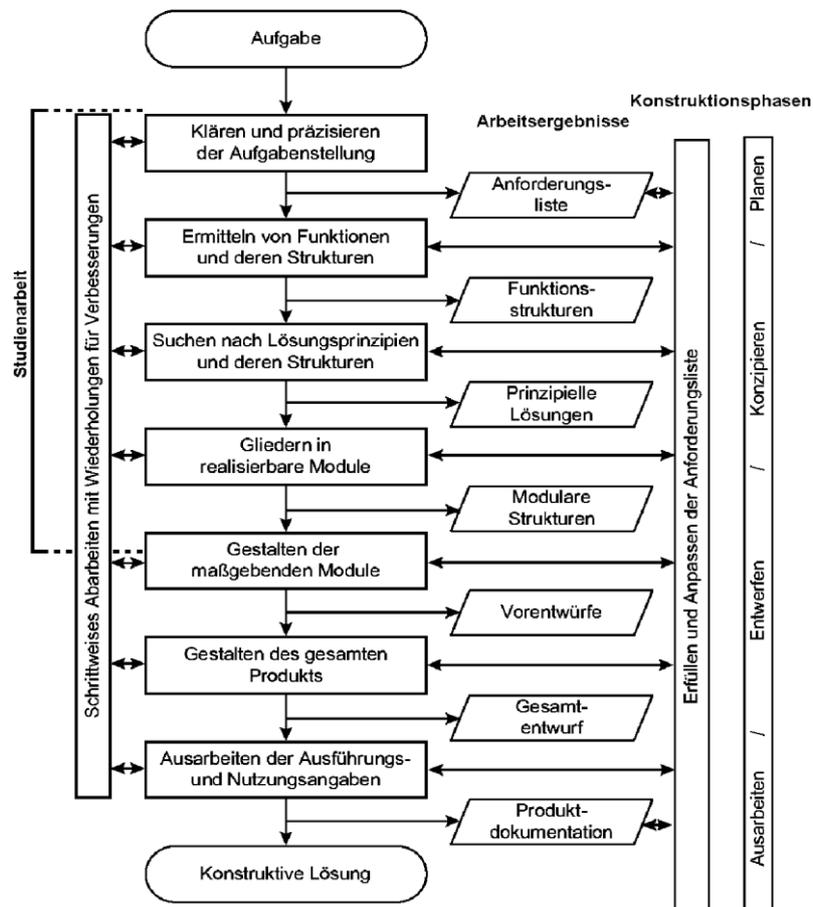


Abbildung 3-12: Allgemeines Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren [VDI93]

Dieser Produktentwicklungsprozess ist in verschiedene Phasen und deren zugehörigen Arbeitspaketen unterteilt. Die erste Phase beschreibt die Projektinitialisierung. Ziel diese Phase ist die Aufgabedetaillierung. In dieser Phase werden die ersten Recherchen durchgeführt und die Anforderungen mit dem Auftraggeber abgestimmt.

Die zweite Phase dient zur Erstellung verschiedener Lösungsvarianten beziehungsweise verschiedener Konzepte. Diese Varianten können aufgrund der Kombination verschiedener Teillösungen entstehen. Nach dieser Phase sollen die Anzahl der Lösungsvarianten reduziert werden. Dafür ist eine Bewertung bzw. eine Gegenüberstellung der verschiedenen Lösungsvarianten notwendig.

In der dritten Phase soll die reduzierte Anzahl der Lösungen detailliert und weiter entwickelt werden. Die letzte Phase dient zur Anfertigung aller fertigungsrelevanter Unterlagen.

Weiterführende Vorgehensmodelle der Produktentwicklung beschreiben einen prinzipiellen ähnlichen Aufbau des Produktentwicklungsprozesses.

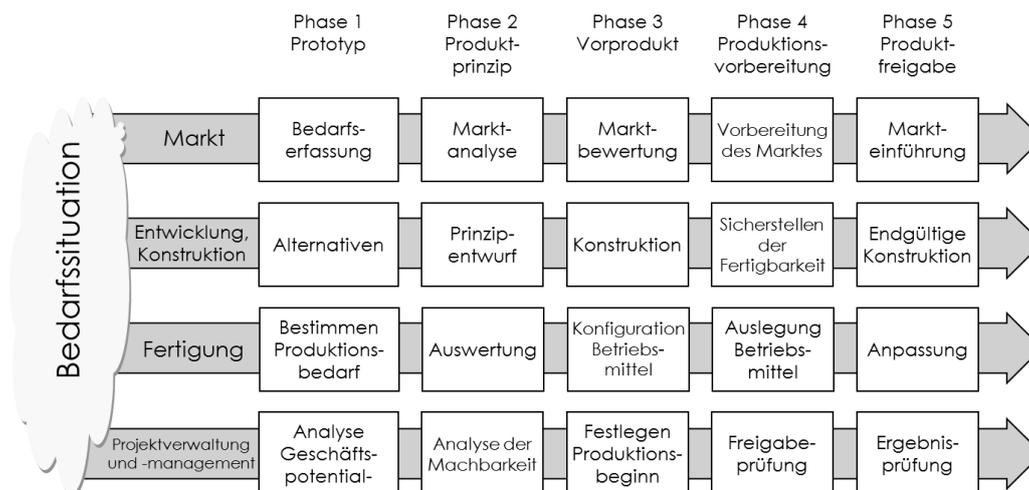


Abbildung 3-13: Vorgehensmodell nach Olsson [OLS85]

Nach OLSSON wird der Produktentwicklungsprozess um mehrere Bedarfsanalysen erweitert. Zur Entwicklung/ Konstruktion verlaufen parallel die Prozesse des Marktes, der Fertigung und der Projektverwaltung. Aber auch nach diesem Modell ist eine Lösungsreduktion zwischen der Konzeption und der Detaillierung angebracht.

Eine frühzeitige Lösungsreduktion ist notwendig, um den immer kürzeren Produktentwicklungsprozess gerecht zu werden. Das hier erarbeitete Bewertungsverfahren soll eine Bewertung verschiedener Konzepte ermöglichen.

Weiterhin soll mit Hilfe dieses Bewertungsverfahrens eine Analyse der eigenen Produktpalette ermöglicht werden. Abbildung 3-14 zeigt den Produktwechsel von einem Produkt zu seinem Nachfolger. Dabei werden die Erfahrungen und das Wissen des Vorgängers genutzt, um die Entwicklungsprozess des neuen Produktes effizienter zu gestalten.

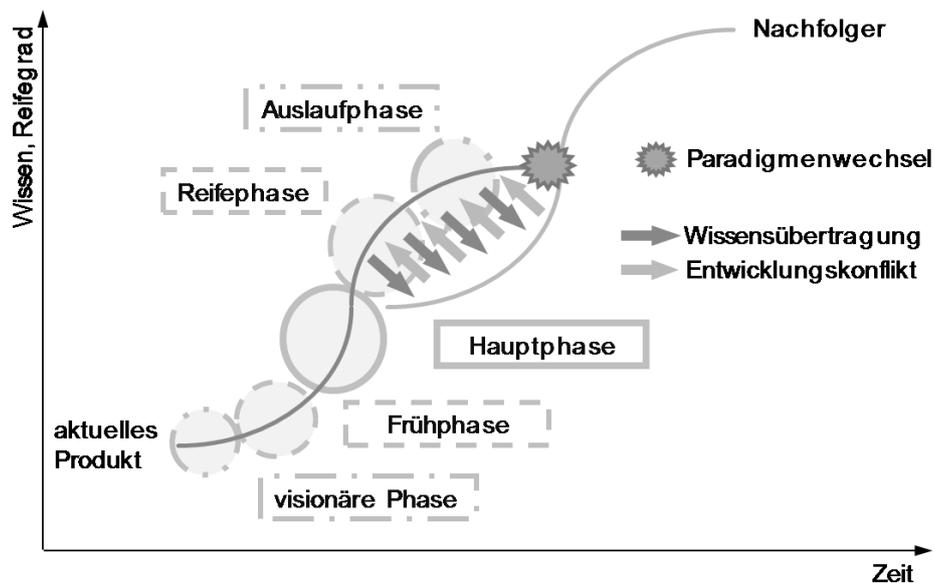


Abbildung 3-14: Produktwechsel [OTT89]

Dafür bedarf es einer Analyse des Vorgängerproduktes. Das Bewertungsverfahren ermöglicht diese Analyse und soll mögliche Schwachstellen (z.B. ungewollte Komplexitäten) eines Produktes aufdecken.

Das Ergebnis der Arbeit stellt ein grundlegendes Konzept zur Differenzierung von einfachen oder komplexen Produkten dar. Das Verfahren soll einen Vergleich verschiedener Produkte ermöglichen. Das Ergebnis der Bewertung ist ein Faktor, der sich aus der Produktkomplexität und aus dem Produktrisiko der Teilprozesse ergibt.

3.9 Anwendungszeitpunkt der Bewertung

Der Produktentwicklungsprozess wird permanent von Bewertungen geprägt. Diese dienen zum Finden von Entscheidungen, um den Entwicklungsprozess voran zu treiben. Eine Bewertung ist notwendig, um Entscheidungen zwischen zwei oder mehreren Lösungen zu treffen und das damit verbundene Risiko für Fehlentscheidungen zu minimieren [BRK97].

Für eine Bewertung sind Bewertungskriterien, deren Wertigkeiten und ein vergleichbares Aussageniveau der Konzepte notwendig.

Für die Anwendung der Bewertung bedarf es u.a. folgende Informationen:

- Produktstruktur
- Anmutung
- Gesamtheitliche Ergonomiebetrachtungen
- Fertigungsverfahren
- Instandhaltbarkeit
- Recyclingsfähigkeit
- Allgemeine Vertriebsmöglichkeiten
- Allgemeine Unternehmenskenngrößen

Diese Informationen stehen dem Anwender im Allgemeinen nach Abschluss der Konzeptphase zur Verfügung. Daher kann das Bewertungsverfahren nach Abschluss der Konzeptphase eingesetzt werden.

3.10 Anwender des Bewertungsverfahrens

Der Produktentwicklungsprozess erfordert in den meisten Fällen eine Bearbeitung durch einen größeren Personenkreis. Projekte sind organisiert durch einen Steuerkreis, der Projektleitung, den Arbeitspaketleitern und den Arbeitspaketmitarbeitern [WIß05]. In der Tabelle 3-4 sind die wichtigsten Rollen und deren Arbeitspakete zusammengefasst.

Tabelle 3-4: Aufgabenverteilung im Unternehmen [WIß05]

	Aufgaben	Kompetenzen	Verantwortung
Lenkungsausschuss	<ul style="list-style-type: none"> • Projektrahmen definieren • Projektziele festlegen 	<ul style="list-style-type: none"> • Projektauftrag erteilen • Grundsatzentscheidungen treffen • Projektphasen freigeben 	<ul style="list-style-type: none"> • Projekterfolg • Konformität mit strategischen Zielen • Ressourcenschonung
Steuerkreis	<ul style="list-style-type: none"> • Projektrahmen definieren • Projektziele festlegen • Abstimmung mit anderen Projekten • Maßnahmen genehmigen 	<ul style="list-style-type: none"> • Projektentscheidung treffen • Projektziele in kleinen Rahmen anpassen • Ressourcen überwachen 	<ul style="list-style-type: none"> • Verantwortung gegenüber den Gesellschaftern
Projektleitung	<ul style="list-style-type: none"> • Ressourcen planen • Projektcontrolling durchführen • Foren moderieren • Bericht erstatten 	<ul style="list-style-type: none"> • Operative Entscheidungen treffen • Ressourcen steuern 	<ul style="list-style-type: none"> • Verantwortung gegenüber dem Steuerkreis bezüglich Ablauf und Ressourcen • Erreichung der Projektziele
Arbeitspaketverantwortlicher	<ul style="list-style-type: none"> • Arbeitspakete planen • Arbeitspakete kontrollieren • Bericht erstatten 	<ul style="list-style-type: none"> • Fachliche Entscheidungen treffen 	<ul style="list-style-type: none"> • Erreichung der Arbeitspaketziele • Abgestimmte Schnittstellen zu anderen Arbeitspaketen
Arbeitspaketmitarbeiter	<ul style="list-style-type: none"> • Aktivitäten ausführen • Probleme erkennen und analysieren • Lösung selbstständig erarbeiten und ggf. umsetzen • Bericht erstatten 	<ul style="list-style-type: none"> • Fachliche Entscheidungen treffen 	<ul style="list-style-type: none"> • Erreichung der Arbeitspaketziele • Abgestimmte Schnittstellen zu anderen Arbeitspaketen

Anwender des Bewertungsverfahrens sind Mitarbeiter eines Unternehmens, die auf Informationen des gesamten Projektablaufs zurückgreifen können. Daher kommen als Anwender nach der Tabelle 5-1 Arbeitspaketverantwortliche und deren Mitarbeiter unterstützend durch die Projektleitung in Frage.

3.11 Werkzeuge und Methoden zur Beherrschung der Produktkomplexität

Im Laufe der Zeit haben sich viele Methoden und Werkzeuge etabliert, die dem Entwickler die Möglichkeit geben, strukturiert Produkte zu entwickeln und einen Umgang mit komplexen Produkten zu ermöglichen. Eine große Auswahl der Arbeitsmittel wird in der Dissertation von FREISLEBEN vorgestellt und erläutert [FRE01].

In diesem Kapitel wird eine kleine Auswahl an Werkzeugen und Methoden vorgestellt, die den Umgang mit komplexen Produkten ermöglichen.

3.11.1 Produktkonfigurator

Vermeehrt wird in der Planungsphase technischer Produkte auf den Einsatz von Produktkonfiguratoren zurückgegriffen. Hierbei dienen diese vornehmlich als Werkzeug bzw. Hilfsmittel für Kunden, um Produkte nach individuellen Forderungen und Wünsche zu bestimmen.

Abbildung 3-15 zeigt das Nutzungsschema eines Produktkonfigurators sowie die daran beteiligten Personenkreise bzw. Abteilungen eines Unternehmens.

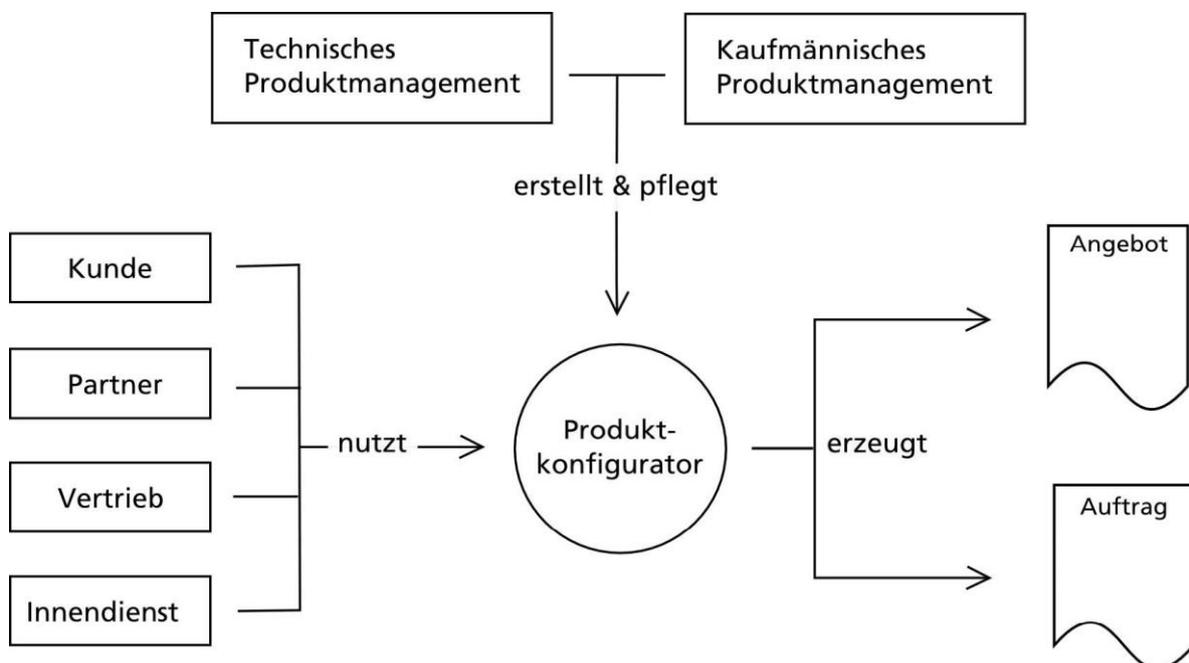


Abbildung 3-15: Produktkonfigurator [www08]

Der Produktkonfigurator kann dabei nicht nur als Auftragserteilungsinstrument dem Kunden zur Verfügung gestellt werden, sondern auch als unternehmensinternes Werkzeug zur Angebotserstellung durch den Vertrieb oder deren Partner genutzt werden.

3.11.2 Funktionsmodell

Funktionsmodelle beschreiben auf lösungsneutraler Ebene das technische System eines Produkts und bilden dieses in einer umsatzorientierten Struktur ab. Von zentraler Bedeutung ist hierbei das Denken in Funktionen, für das die Grundprinzipien Abstraktion, Zergliederung, Projektion und Konzentration stehen. Erst dadurch ist es möglich, im Rahmen der Problemlösung die entscheidenden Fragestellungen zu identifizieren und in einem Modell zu dokumentieren [PBFG06].

Als Beispiel dient der Aufbau des Funktionsmodells eines Montageroboters (Abbildung 3-16). Die Funktionserfüllung „Bauteilmontage“ setzt sich aus unterschiedlichen Teilfunktionen zusammen, die logisch gegliedert den Vorgang nachvollziehbar darstellen.

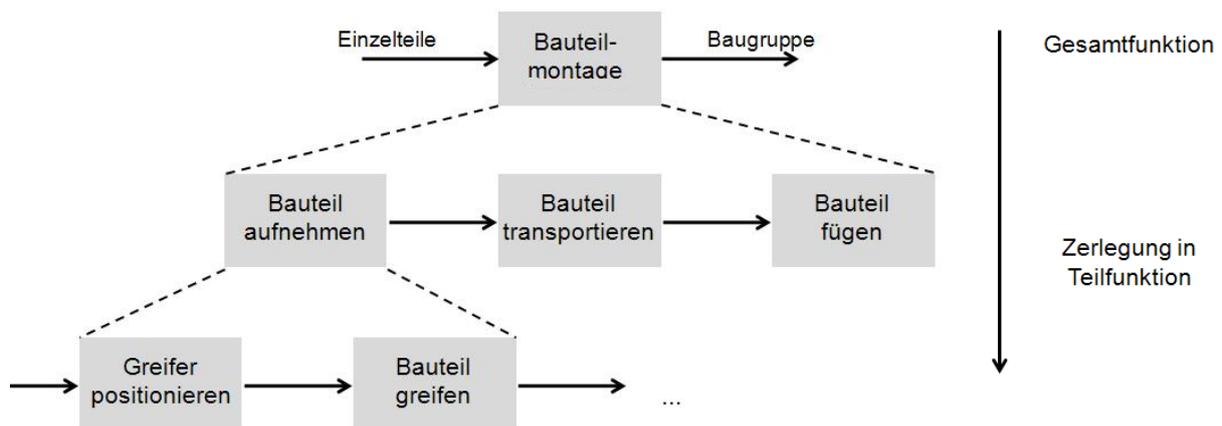


Abbildung 3-16: Ausschnitt eines Funktionsmodells am Beispiel eines Montageroboters

Die Gesamtfunktion „Bauteilmontage“ unterteilt sich in die Funktionen „Bauteil aufnehmen“, „Bauteil transportieren“ und „Bauteil fügen“, die nacheinander ablaufen, um die Gesamtfunktion zu erfüllen. Jeder dieser Schritte besteht wiederum aus Teilfunktionen, wie beispielsweise die Funktion „Bauteil aufnehmen“ in „Greifer positionieren“ und „Bauteil greifen“. Durch die Aufspaltung vom Groben hin zum Detail können die einzelnen Teilsysteme im Weiteren isoliert betrachtet werden und somit das komplexe Gesamtsystem auf eine überschaubare Ebene transferiert werden.

Anhand der Veranschaulichung des stofflichen Hauptflusses aus dem Beispiel ist es im Folgenden möglich, eine Detaillierung der notwendigen Nebenfunktionen und Nebenflüssen, wie Energie und Signal, vorzunehmen und mit den Hauptfunktionen zu verknüpfen.

Abbildung 3-17 zeigt einen Ausschnitt dieses Modells anhand der Funktion „Bauteil greifen“.

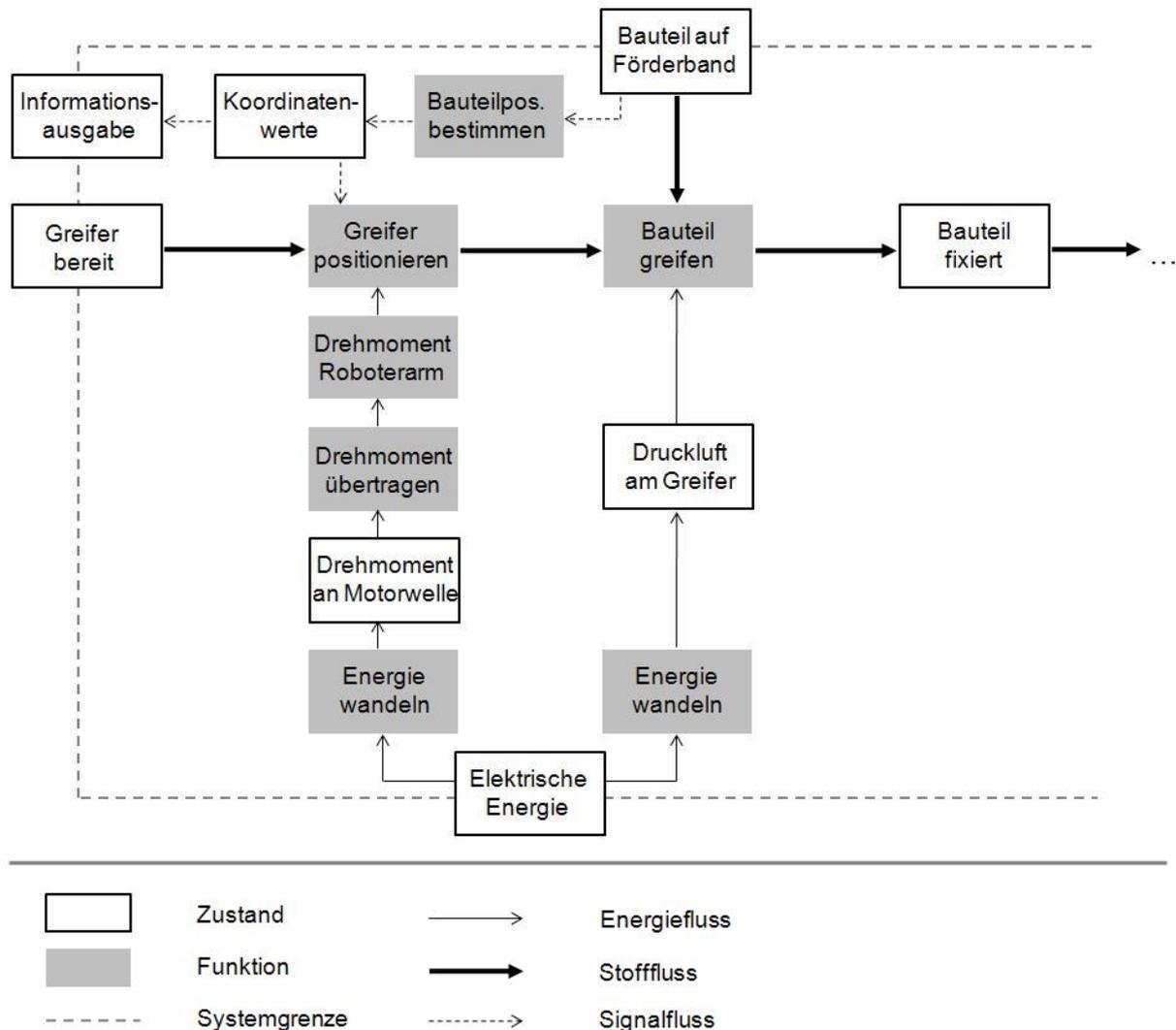


Abbildung 3-17: Detailliertes Funktionsmodell mit Haupt- und Nebenfunktionen

Hierbei ist auch zu erkennen, dass neben der Beschreibung und Abbildung der Teilfunktionen den Vernetzungen bzw. Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Systemelementen eine hohe Bedeutung zukommt. Gerade bei einer hohen Produktkomplexität, die sich besonders durch den Grad der Vernetzungen zwischen den Elementen und deren Beeinflussungen untereinander darstellt, ist die Methode des Funktionsmodells von großem Nutzen für die Entwicklung, denn durch die bildhafte Darstellung dieser Zusammenhänge und Vernetzungen ist es möglich, die Logik und das Systemverständnis zu schärfen und somit die technische Aufgabenstellung zu analysieren sowie Problemschwerpunkte und Verbesserungspotentiale zu identifizieren.

Auch die Projektorganisation wird durch den Einsatz von Funktionsmodellen unterstützt, da durch die Strukturierung in Teilfunktionen und Systemelemente die Notwendigkeit von Fachleuten und Spezialisten für einzelne Teilfunktionen bzw. Teilprobleme ersichtlich wird und

somit frühzeitig die Ressourcen organisiert werden können. Daraus ergibt sich auch ein optimierter Prozessablauf in der Entwicklung, da an verschiedenen Teilaufgaben zeitgleich gearbeitet werden kann. *Concurrent Engineering* und *Simultaneous Engineering* stehen hierfür als die strategischen Prozessplanungsinstrumente, um eine effiziente Projektabwicklung zu gewährleisten [GUO08].

3.11.3 3D-CAD-System

Der Einsatz von 3D-CAD Systemen zur Flächen- und Volumenmodellierung ermöglicht es dem Entwickler bzw. Konstrukteur, die Gestalt des Produktes in einem 3D-Modell abzubilden. Durch die Modellierung der einzelnen Bauteile und deren Zusammensetzung zu Baugruppen entsteht schließlich das gesamte Produkt in Form eines virtuellen Abbilds. Mit der Gestalt ist die geometrische Ausprägung der Bauteile gemeint, die in ihrer Gesamtheit das Produkt beschreibt.

Die Möglichkeiten eines 3D-CAD Systems beschränken sich aber nicht nur auf die Modellierung von Bauteilen bzw. Baugruppen. Des Weiteren können aus den 3D-Daten Einzelteilzeichnungen, Zusammenbauzeichnungen und Stücklisten abgeleitet werden. Für die Erstellung von Baugruppen kann auf Norm-, Zukauf- sowie Wiederholteilebibliotheken zurückgegriffen werden und mittels parametrischer Variation können zeitnah neue Produktvarianten erzeugt werden.

Im weiteren Verlauf der Produktentwicklung werden die geometrischen Informationen aus den CAD-Modellen für weiterführende Untersuchungen und Analysen genutzt. Dadurch entstehen Partialmodelle des Produkts, die rückwirkend wiederum auf die Konstruktion, durch Anpassung bzw. Änderung, Einfluss nehmen.

3.11.4 Ausblick Fertigungsplanung und Produktion

Die Aufgaben in der Fertigungsplanung und der anschließenden Produktion liegen in der Verknüpfung der technischen Produktdaten aus der Produktentwicklung mit der betriebswirtschaftlichen bzw. dispositiven Prozesskette.

Hierbei werden die betriebswirtschaftlich-planerischen Funktionen vorwiegend durch Produktionsplanungs- und Steuerungssysteme (PPS-Systeme) realisiert. Diese rechnerunterstützten Systeme übernehmen die organisatorische Planung, Steuerung und Überwachung der Produktionsabläufe von der Angebotserstellung bis hin zum Versand des Produkts und berücksichtigen hierbei Mengen-, Material- und Kapazitätsaspekte.

Abbildung 3-18 illustriert die jeweiligen Funktionen und ihre Systeme aus technischer und betriebswirtschaftlicher Sicht und zeigt den Zusammenschluss beider Prozessketten bei der Freigabe für die Fertigung.

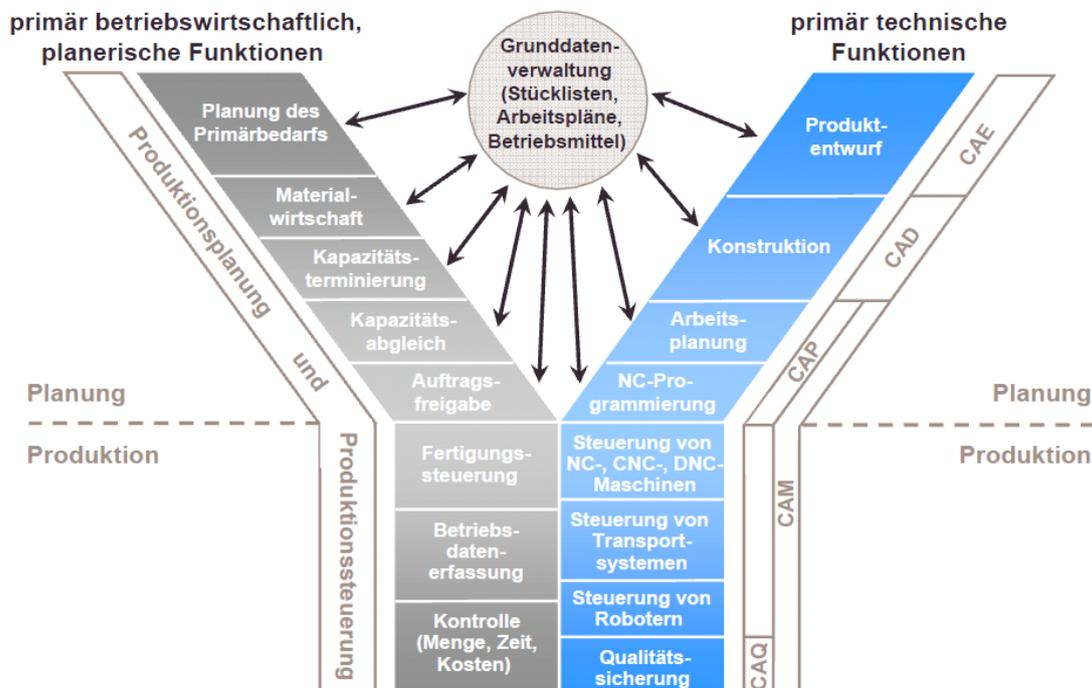


Abbildung 3-18: Y-CIM Modell für technische und dispositive Prozessketten [SCH88]

Ziel des Computer Integrated Manufacturing (CIM) ist es, die rechnerunterstützten Systeme miteinander so zu vernetzen, dass eine ganzheitliche Automatisierung des Produktionsprozesses möglich ist. Dadurch können automatisierte Fertigungsprozesse optimiert und eine wirtschaftliche Produktion garantiert werden.

Als zentraler Begriff hierfür steht die virtuelle Fabrik, deren Vision es ist, den gesamten Produktionsprozess rechnerunterstützt zu simulieren. Dadurch können neben der Ermittlung der optimalen Kapazitätsauslastung und des optimalen Materialflusses auch Qualitätsdefizite vor der eigentlichen Produktion aufgedeckt und somit vermieden werden.

Gerade bei komplexen Produktionsprozessen, deren Überschaubarkeit sich eingeschränkt darstellt, stellt die Simulation eine effiziente Möglichkeit bereit, schon vor der eigentlichen Produktion deren Prozesse optimal zu gestalten. Dies ist ohne dieses Instrument nur eingeschränkt möglich und würde nur durch eine Vielzahl von Änderungen und Anpassungen über einen langen Zeitraum zu dem Ziel der optimalen Gestaltung des Produktionsprozesses führen.

In der Realität bedeutet dies meist, dass die Optimierung nie dieses Stadium erreicht, da schon vorher sich die Rahmenbedingungen, wie Technologiewechsel bei Produkt und Produktion, ändern. Somit könnte die Vision der virtuellen Fabrik zu einer flexibleren Produktion bei gleichzeitig optimalem Produktionsprozess führen.

4. Bewertungsverfahren in der Produktentwicklung

In der Produktentwicklung gibt es eine Vielzahl von Methoden für die Bewertung. Dieses Kapitel erläutert eine Auswahl verschiedener Bewertungsverfahren. Diese sollten folgende Kriterien erfüllen:

- Es soll eine Bewertung über den gesamten Produktlebenszyklus möglich sein.
- Es werden eine Reihe von Bewertungskriterien definiert. Eine Erweiterung um weitere Kriterien muss möglich sein.
- Das Verfahren soll den Entscheidungsprozess bei der Auswahl eines Konzeptes unterstützen. Dabei sollte die Bewertung zügig durchgeführt werden können (nicht länger als ein Arbeitstag).

Im Anschluss soll geprüft werden, ob eines dieser Verfahren für die Bestimmung der Einfachheit genutzt werden kann.

4.1 Nutzwertanalyse

Um zwischen oft nah beieinander liegenden Lösungsansätzen bzw. Lösungsvarianten zu entscheiden, wird zu Beginn dieses Verfahrens eine Struktur erstellt, die das Hauptziel in mehrere Einzelziele gliedert. Dabei ist darauf zu achten, dass bei der Erstellung alle für die Entscheidung relevanten Anforderungen berücksichtigt werden, sie weitestgehend nicht voneinander abhängen und wenn möglich quantitativ erfassbar sind [ZAN70].

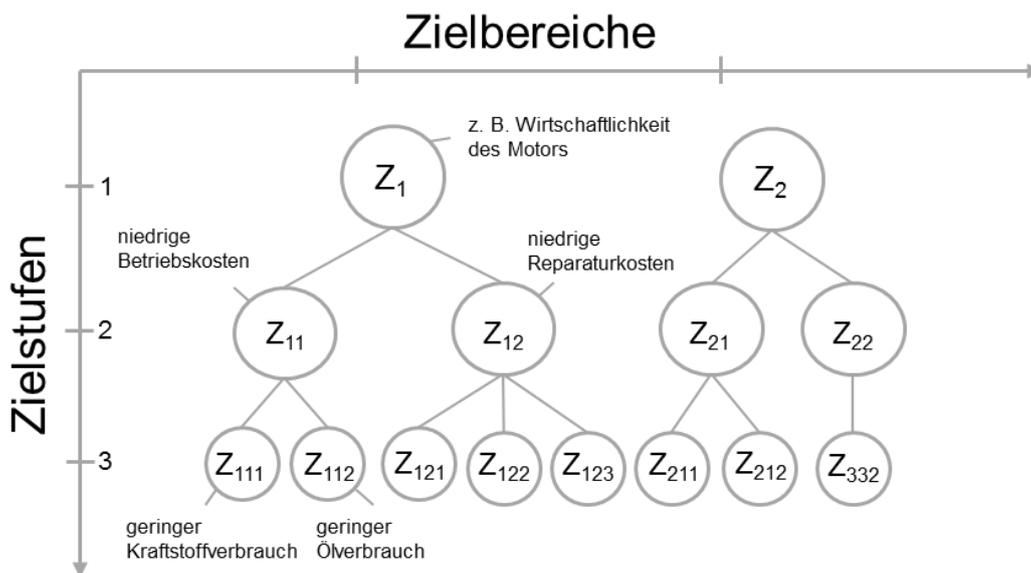


Abbildung 4-1: Erstellen eines Zielsystems [BRK97]

Daraus zu bestimmen sind nun die Kriterien, nach denen die Varianten zu untersuchen und anschließend zu bewerten sind. Um diese Bewertungskriterien voneinander nach ihrer Wichtigkeit abgrenzen zu können, werden sie gewichtet. Dies geschieht mit einer Gewichtung zwischen 0 und 1, wobei die Summe aller Gewichtungen in einer Zielstufe 1 ergibt.

Um letztendlich die Gewichtung der letzten Zielstufe bzw. der eigentlichen Bewertungskriterien zu erhalten, werden die einzelnen Gewichtungen der vorangegangenen Zielstufen miteinander multipliziert.

Daran anschließend werden die Eigenschaften der Lösungsvarianten den aufgestellten Kriterien zugeordnet und in einem Wertespektrum von 0 bis 10 bewertet.

Tabelle 4-1: Werteskala [BÖG10]

Bedeutung	Wert
Absolut unbrauchbare Lösung	0
Sehr mangelhafte Lösung	1
Schwache Lösung	2
Tragbare Lösung	3
Ausreichende Lösung	4
Befriedigende Lösung	5
Gute Lösung mit geringen Mängeln	6
Gute Lösung	7
Sehr gute Lösung	8
Über die Zielvorgaben hinausgehende Lösung	9
Ideallösung	10

Durch Multiplikation der Bewertung mit der Gewichtung des dazugehörigen Kriteriums ergibt sich letztendlich ein gewichteter Wert, mit dem im Vergleich zu den restlichen Eigenschaften die jeweilige Priorität ermittelt werden kann. Die folgende Abbildung veranschaulicht die Ermittlung der Gewichtungen der einzelnen Stufen.

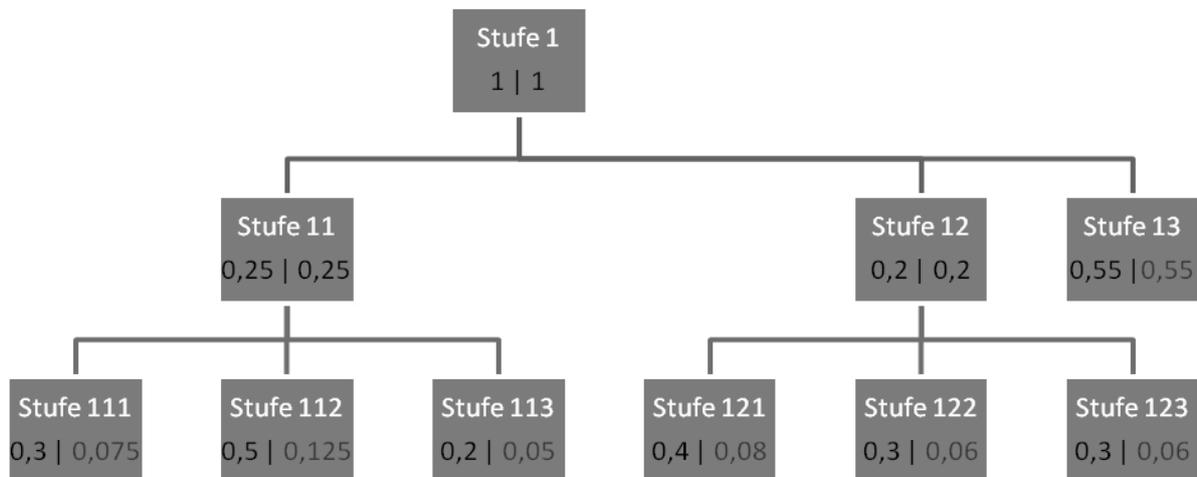


Abbildung 4-2: Ermittlung der Gewichtungen einzelner Stufen [BRK97]

Um die Gewichtung der jeweiligen Stufe und der dazugehörigen Ziele zu erhalten, ist es erforderlich, die jeweilige Stufe mit den davor stehenden Stufen zu multiplizieren. So ergibt sich beispielsweise für Stufe 111 in Abbildung 4-2 die Gewichtung durch $0,3 \times 0,25 \times 1 = 0,075$.

Wird nun der Wert (0-10) mit der jeweiligen Gewichtung multipliziert, erhält man einen aussagekräftigen gewichteten Wert, anhand dessen man entscheiden kann, ob eine weitere Verfolgung dieses Kriteriums in Frage kommt, bzw. welchen Stellenwert es im Vergleich zu den anderen besitzt [ZAN70].

Nach [BRK97] kann folgender Ablauf der Bewertung mittels der Nutzwertanalyse verwendet werden:

- Hierarchisches Aufstellen der Ziele der Bewertung
- Aufteilen der Hauptziele in Teilziele und deren Systematisierung
- Gewichten der Teilziele
- Berechnen der Gewichtungen aller Stufen
- Zusammenfassen aller Stufengewichte
- Aufstellen einer Tabelle, in der die Bewertungsziele der letzten Stufe und deren Gewichtungen abgebildet werden
- Festlegen der Zielwerte
- Multiplizieren der Zielwerte mit den Gewichten der Ziele zu Nutzwerten
- Summieren aller Nutzwerte pro Variante zu Gesamtnutzwerten
- Aufstellen der Nutzwertprofile

4.2 Technisch-Wirtschaftliche Bewertung nach VDI 2225

Bei diesem Verfahren werden die zu betrachtenden Kriterien in technische und wirtschaftliche Kriterien unterschieden. Ähnlich der Nutzwertanalyse wird bei der Bestimmung der Rangfolge verschiedener Lösungsvarianten eine Werteskala verwendet, hier jedoch im Spektrum von 0-4. Dabei kommt dieses Verfahren hauptsächlich ohne eine Gewichtung aus und bewertet direkt. Lediglich bei zu nah beieinander liegenden Ergebnissen ist eine Gewichtung vorzunehmen.

Weiterhin findet hier keine Aufgliederung in Unterziele statt, sodass keine hierarchische Ordnung verwendet wird.

Zur Visualisierung der wirtschaftlichen und technischen Ergebnisse der Bewertungen eignet sich die Darstellung in einem Diagramm. In Abbildung 4-3 ist dies kurz veranschaulicht, wobei das Ergebnis der technischen Bewertung (gewichtet oder ungewichtet) auf der x-Achse und das Ergebnis der wirtschaftlichen Bewertung auf der y-Achse abgetragen wird.

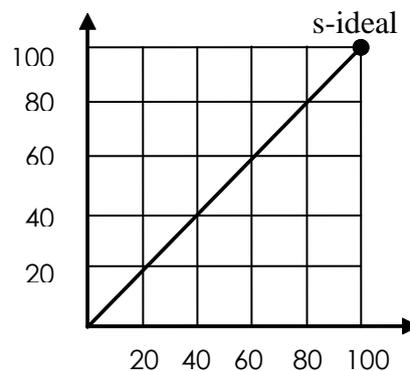


Abbildung 4-3: Diagramm zur Darstellung der Bewertungsergebnisse [BRK97]

Vorteil dieses Bewertungsverfahrens ist das im Vergleich zur Nutzwertanalyse kleinere Wertespektrum, was auch die Auswertung übersichtlicher und einfacher macht.

Die Anwendung der Bewertung nach VDI 2225 ist bei nicht sehr detaillierten Konzepten sinnvoll. Weisen Konzepte eine hohe Detaillierungsstufe auf, bietet sich aufgrund der größeren Werteskala die Anwendung der Nutzwertanalyse an.

4.3 Kosten-Nutzen-Analyse

Als eine Variable, welche einen hohen Stellenwert im Bereich der Produktentwicklung darstellt, ist der Kostenfaktor oft ein K.O. – Kriterium bzw. zwingt Projektteams von ihren eigentlichen Vorstellungen abzusehen und nach kostengünstigeren Alternativen suchen. Diesem Problem widmet sich die Kosten-Nutzen-Analyse (KNA).

Kernaufgabe ist es aus einer Vielfalt von alternativen Lösungsvorschlägen diejenige mit dem günstigsten Kosten-Nutzen-Verhältnis heraus zu filtern.



Abbildung 4-4: Kosten-Nutzen-Modell

Dabei werden die Alternativvarianten in ihren Kosten bewertet und in ein Verhältnis zu dem Nutzen, welche durch individuelle Aktionen veränderbar sind, gesetzt und anschließend bewertet [BRK97].

Grundvoraussetzung für die Durchführung dieses Verfahrens ist es, Nutzen und Kosten in Form von Geldeinheiten zu bewerten. Dabei werden Nutzen als Zugangsgröße finanzieller Mittel positiv und die Kosten als Abgangsgröße negativ bestimmt.

Der Ablauf der Kosten-Nutzen-Analyse ist in sechs Schritte eingeteilt:

1. Definieren des Problemfeldes
2. Feststellen von Alternativen
3. Beschreiben von Einzelzielen
4. Auswählen der Beurteilungskriterien
5. Festlegen von Bewertungsmaßstäben
6. Bewerten der Alternativen

Der erste Schritt dient dazu, das zu untersuchende Problem kurz, aber genau zu beschreiben. Im zweiten Schritt geht es darum, Alternativen zu dem Problem zu erörtern und diese ebenfalls zu beschreiben. Der dritte Schritt dient der expliziten Beschreibung dieser Alternativen. Diese können, falls es erforderlich ist, zusätzlich gewichtet werden. Im vierten Schritt werden die zur Bewertung erforderlichen Kriterien aufgestellt. Diese dienen als Messinstrumente. Der

fünfte Schritt wird dazu genutzt, Maßstäbe zur Bewertung bzw. Messung festzulegen, um im anschließenden und letzten Schritt die Bewertung der Alternativen durchzuführen.

Hier geht es hauptsächlich darum, die Kosten für die Umsetzung der Alternative in Bezug auf den daraus entstehenden Nutzen zu analysieren. Wichtig ist auch, die Lebensdauerzyklen mit einzubeziehen und zu betrachten, da es sonst zu fehlerhaften Resultaten kommen kann. Weiterhin müssen alle zur Entstehung eines Produktes relevanten, mit Kosten verbundenen Aufwänden, in die Bewertung mit einbezogen werden [DRH07].

Beispiel:

Im Folgenden wird das Verfahren anhand der Fertigung einer Getriebewelle mit einer NC-Maschine im Vergleich zu einer CNC-Maschine verdeutlicht.

Der wesentliche Unterschied der NC- zur CNC-Maschine besteht darin, dass die NC-Maschine keine Möglichkeit bietet, die erstellten Ablaufprogramme zu speichern, im Gegenteil zur CNC-Maschine, welche durch Computerunterstützung in der Lage ist, Programme im System abzulegen. So zieht die NC-Maschine durch ständiges Neu-Anlegen des jeweiligen Programms einen erhöhten Personalaufwand nach sich.

Tabelle 4-2: Zusammenfassung für die Fertigung einer Getriebewelle

<i>Prozess: Getriebewelle fertigen (100/Tag)</i>	
Welle mit NC gefertigt	Welle mit CNC gefertigt
<ul style="list-style-type: none"> - Personalaufwand: 30 min je Welle → 3000 min/Tag = 50 Std. / Tag → 8 Mitarbeiter bei 6,25 Std. / Tag 	<ul style="list-style-type: none"> - Personalaufwand: 5 min je Welle → 500 min/Tag = 8,3 Std. / Tag → 1,3 Mitarbeiter (→ 2 Mitarbeiter erforderlich) bei 6,25 Std. / Tag
<ul style="list-style-type: none"> - 8 NC-Maschinen = 100.000 € Investition - Stellfläche insg. 40 m² 	<ul style="list-style-type: none"> - 2 CNC-Maschinen = 100.000 € Investition - Stellfläche insg. 10 m²

Tabelle 4-3: Kosten-Nutzen-Analyse einer Getriebewellenfertigung

Kostenrechnung pro Jahr (in Euro):			
Investition:	25.000	Investition:	25.000
Zinsaufwand:	1250	Zinsaufwand:	1250
Instandhaltungskosten:	80.000	Instandhaltungskosten:	20.000
Personalaufwand:	192.000	Personalaufwand:	48.000
Summe:	298.250	Summe:	94.250
<i>Kostensparnis der CNC-Maschine im Vergleich zur NC-Maschine : 204.000</i>			

Um sich ein Urteil über die Sinnhaftigkeit des Nutzens eines Produktes oder eines Verfahrens bezogen auf die damit verbundenen Kosten zu bilden, bietet dieses Verfahren eine mit relativ geringem Zeitaufwand erstellbare Gegenüberstellung von Kosten und Nutzen.

Da jedoch die Arten des Nutzens in Form von Geldwerten gewandelt werden muss, besteht auch hier teilweise das Problem der Subjektivität in der Bewertung der Alternativen und es kann dadurch zu Fehlbewertungen kommen.

Daher ist dieses Verfahren im Bereich der Produktentwicklung, speziell mit Fokus auf eine geringe Abhängigkeit von subjektiven Bewertungen, nur eingeschränkt einsetzbar.

4.4 Kosten-Wirksamkeits-Analyse

Bei der Kosten-Wirksamkeits-Analyse (KWA) geht es, wie in der zuvor behandelten Kosten-Nutzen-Analyse, um die Bewertung von Alternativen. Dabei werden die Kosten der Aktionen mit den dadurch erzielten Wirksamkeiten verglichen und bewertet ([BRK97], [HAB96]).

Der signifikante Unterschied zur Kosten-Nutzen-Analyse besteht darin, dass die Werte der Wirksamkeiten im Vergleich der Nutzen nicht monetär gewandelt werden müssen.

Der Ablauf des Verfahrens ist gleich dem der Kosten-Nutzen-Analyse. Nach [DRH07] werden auch hier sechs Schritte durchlaufen, in denen zu Beginn das Problem näher erläutert wird, Alternativen erstellt werden, Einzelziele, Bewertungskriterien und Bewertungsmaßstäbe aufgestellt und anhand dessen abschließend die Alternativen bewertet werden.

Beispiel:

In der Lagerhalle eines Unternehmens werden alte Produktionsmaschinen durch neue und modernere ersetzt.

- Definieren des Problems:

Tabelle 4-4: Problemidentifizierung der KWA

1	Stellfläche	Nicht ausreichend
2	Fachpersonal	Nicht ausreichend vorhanden

- Suchen von Alternativen:

Tabelle 4-5: Alternativen der KWA

	Element	Alternative
1	Stellfläche	Zusätzliche Werkhalle anmieten
		Nicht mehr genutzte Maschinen entsorgen
2	Fachpersonal	Qualifizierteres Personal einkaufen
		Weiterbildung der eigenen MA

- Beschreiben von Einzelzielen:

Tabelle 4-6: Einzelbeschreibung der KWA

	Element	Alternative	konkret
1	Stellfläche	Platzerweiterung	Weitere Werkhalle mieten
		Recycling	Nicht mehr genutzte Maschinen entsorgen
2	Fachpersonal	Neues Personal	Qualifiziertes Personal einstellen
		Weiterbildung	

- Auswählen der Kriterien zur Beurteilung:

Dieser Schritt dient der Bestimmung von Kriterien zur Messung von Kosten und Wirksamkeit. In diesem Beispiel ist dies jedoch nicht erforderlich.

- Festlegen von Maßstäbe zur Bewertung:

Tabelle 4-7: Maßstabsfestlegung der KWA

Alternativen			Wirksamkeit	Aufwand in Stunden	Aufwand/Kosten	Kosten in €
1	Stellfläche	Platzerweiterung	Mehrleistung	50	Zusätzliche Mietkosten für das Unternehmen	10.000
		Recycling	Mehrleistung	100	Recyclingkosten	80
2	Fach-Personal	Neues Personal	Zeitersparnis	2000	Personalkosten	100.000
		Weiterbildung	Zeitersparnis	3000	Weiterbildungskosten	10.000

- Bewerten der Alternativen:

Tabelle 4-8: Bewertung der KWA

R a n g	Alternativen		Wirksamkeit	Aufwand in Stunden	Kosten in €	Kosten/ Wirk- samkeit
1	Stellfläche	Platzerweiterung	Mehrleistung	50	10.000	200
		Recycling	Mehrleistung	100	80	0,8
2	Fach-Personal	Neues Personal	Zeitersparnis	2000	100.000	50
		Weiterbildung	Zeitersparnis	3000	10.000	3,3

In Tabelle 2-1 Tabelle 4-8 kann durch Ermittlung des Verhältnisses von Kosten zu Wirksamkeit der Rang der Alternativen ermittelt werden. Hier hat beispielsweise die Alternative „Recycling“ (0,8) im Vergleich zur „Platzerweiterung“ des Elements „Stellfläche“ (200) den Vorrang, das heißt, je niedriger der Quotient, desto besser die Alternative.

Um im Falle von vielen guten Alternativen einen besseren Überblick zu erhalten, werden die Ergebnisse häufig in einem Diagramm visualisiert. Hier befinden sich auf der x-Achse die Kosten, welche durch das Maximalbudget begrenzt sind. Auf der y-Achse wird die Wirksamkeit aufgetragen, begrenzt durch die Mindestwirksamkeit [DRH07].

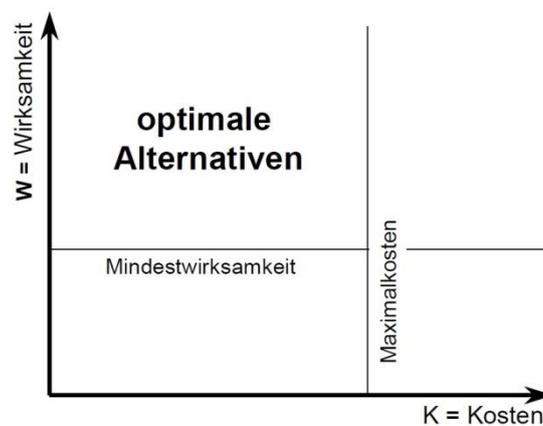


Abbildung 4-5: Kosten-Wirksamkeits-Diagramm [DRH07]

Da diese Art der Bewertung der Kosten-Nutzen-Analyse ähnelt, fällt auch das Fazit ähnlich aus. Hier werden nur die Aspekte, die in Zusammenhang mit Kosten stehen, betrachtet, wodurch dieses Instrument nicht alle Aspekte der Produktentwicklung ins Auge fasst. Weitere Kritikpunkte sind zudem, dass nach vollendeter Bewertung keine Rückschlüsse auf die vorangegangenen Bestandteile gezogen werden können.

4.5 Binäres Bewertungsverfahren

Um weniger detailreiche Bewertungen von Varianten durchzuführen, wird oftmals das binäre Bewertungsverfahren angewandt. Dabei werden die Kriterien zur Bewertung miteinander verglichen und die jeweils bessere Variante mit einer 1 und die schlechtere mit einer 0 bewertet. Am einfachsten geschieht dieser Vergleich durch Gegenüberstellung der Kriterien in einer Tabelle.

Die Summen der Werte jeder Spalte geben letztendlich Aufschluss über den Wert der untersuchten Variante. Anschließend werden nun alle vorherrschenden Varianten wiederum in ei-

ner Matrix gegenübergestellt und durch Vergleich der jeweiligen Werte voneinander abgegrenzt.

Dieses Verfahren wird vorrangig im Fall der Notwendigkeit einer schnellen Entscheidung zwischen Varianten genutzt, hat jedoch im Vergleich zu den beiden vorangegangenen Verfahren eher eine geringe Aussagequalität.

4.6 Rangfolgeverfahren

Bei dem Rangfolgeverfahren werden immer zwei der zu betrachtenden Kriterien miteinander verglichen und entschieden, welches davon zu bevorzugen ist oder ob beide gleich wichtig sind. Kann man zum Zeitpunkt der Entscheidung nicht klar die Wichtigkeit definieren, wird auch dies entsprechend gekennzeichnet.

In Form einer Tabelle werden hier die jeweiligen Bewertungskriterien aufgelistet und gegenübergestellt. Um die Ergebnisse des Vergleichs zu veranschaulichen, werden sie durch ein „+“, eine „0“ oder ein „-“ mit folgender Bedeutung gekennzeichnet [BRK97]:

- „+“ entspricht dem Vorzug von Kriterium n gegenüber Kriterium n+1
- „0“ entspricht der Gleichwertigkeit von Kriterium n gegenüber Kriterium n+1
- „-“ entspricht dem Nachteil von Kriterium n gegenüber Kriterium n+1

Für den Fall, dass noch keine Entscheidung getroffen werden kann, wird ein „?“ eingesetzt, um die noch ausstehende Bewertung zu kennzeichnen.

Anschließend an die Vergabe der Verhältnisse werden die mit einem „+“ markierten Felder zeilenweise ausgezählt. Die sich daraus ergebenden Summen und der Vergleich untereinander stellen letztendlich die Rangfolge der Wichtigkeiten der Kriterien dar. In den folgenden Tabellen werden neun verschiedene Möglichkeiten der Gewichtung dargestellt [BRK97].

Tabelle 4-9: 1. Möglichkeit

Kriterium	A	B	C
A		0	0
B	0		0
C	0	0	

Alle Kriterien sind gleichwertig. Kein Kriterium wird bevorzugt behandelt und ist einem anderen gegenüber dominant.

Tabelle 4-10: 2. Möglichkeit

Kriterium	A	B	C
A		+	0
B	-		-
C	0	+	

Das Kriterium A wird dem Kriterium B vorgezogen. Kriterium C wird dem Kriterium B vorgezogen. Die Kriterien A und C sind gleichwertig.

Tabelle 4-11: 3. Möglichkeit

Kriterium	A	B	C
A		-	0
B	+		+
C	0	-	

B wird A vorgezogen, B wird C vorgezogen und dementsprechend entstehen auch die jeweiligen Nachteile. A und C sind gleichwertig.

Tabelle 4-12: 4. Möglichkeit

Kriterium	A	B	C
A		0	+
B	0		+
C	-	-	

A wird C vorgezogen, B wird C vorgezogen und dementsprechend entstehen auch die jeweiligen Nachteile. A und B sind gleichwertig.

Tabelle 4-13: 5. Möglichkeit

Kriterium	A	B	C
A		+	+
B	-		?
C	-	?	

A wird B vorgezogen, A wird C vorgezogen und dementsprechend entstehen auch die jeweiligen Nachteile. Keine Aussage kann momentan zwischen den Kriterien B und C gegeben werden.

Tabelle 4-14: 6. Möglichkeit

Kriterium	A	B	C
A		-	+
B	+		+
C	-	-	

A wird C vorgezogen, B wird A vorgezogen und B wird C vorgezogen und dementsprechend entstehen auch die jeweiligen Nachteile.

Tabelle 4-15: 7. Möglichkeit

Kriterium	A	B	C
A		0	-
B	0		-
C	+	+	

C wird A vorgezogen, C wird auch B vorgezogen und dementsprechend entstehen auch die jeweiligen Nachteile. A und B sind gleichwertig.

Tabelle 4-16: 8. Möglichkeit

Kriterium	A	B	C
A		+	-
B	-		-
C	+	+	

A wird B vorgezogen, C wird A und C wird B vorgezogen. Dementsprechend entstehen auch die jeweiligen Nachteile.

Tabelle 4-17: 9. Möglichkeit

Kriterium	A	B	C
A		-	-
B	+		0
C	+	0	

B wird A vorgezogen, C wird A vorgezogen und dementsprechend ergeben sich die jeweiligen Nachteile. B und C sind gleichwertig.

Anschließend werden die Wertigkeiten mit der Anzahl der „+“ eines jeden Kriterium und der insgesamt verteilten „+“ durch die nachstehende Formel ermittelt:

$$g_i = \frac{100\%}{\sum g_+} * \sum_{i=1}^n + \quad (3)$$

g_i = Wertigkeit des einzelnen Kriteriums

g_+ = Wertigkeit aller Kriterien

Um die korrekte Durchführung der Bewertung zu kontrollieren, werden alle „-“ und alle „+“ ausgezählt und müssen dieselbe Häufigkeit aufweisen.

Im Folgenden soll anhand verschiedener Möglichkeiten des Ladens eines Mobiltelefons das Verfahren bzw. die Vorgehensweise der Ermittlung einer Rangfolge näher erläutert werden.

Zunächst werden in Tabelle 4-18 die Maßzahlen der Varianten bezogen auf die Bewertungskriterien vergeben. Dabei wird eine Werteskala von 1-4 (sehr schlecht – sehr gut) gewählt:

Tabelle 4-18: Ermittlung der Maßzahlen

Bewertungskriterien	Varianten			
	Ladekabel	Dockingstation	Ersatz Akku	Induktionsladegeräte
<i>Haltbarkeit</i>	4	3	2	2
<i>Gewicht</i>	4	2	3	1
<i>Mobilität</i>	2	2	4	2
<i>Anschaffungskosten</i>	4	3	2	1

Anschließend werden die Kriterien nacheinander miteinander verglichen und somit die Rangfolge ermittelt (Tabelle 4-19).

Tabelle 4-19: Ermittlung der Rangfolge der Bewertungskriterien

Nr.	Bewertungskriterien	1	2	3	4	Anzahl der „+“	Rangfolge
1	Haltbarkeit		+	0	-	1	2
2	Gewicht	-		-	-	0	3
3	Mobilität	0	+		0	1	2
4	Anschaffungskosten	+	+	0		2	1
	Anzahl der „-“	1	0	1	2	$\Sigma = 4$	

In Tabelle 4-20 werden nun die gewichteten Werte je Variante errechnet. Dabei werden alle Bewertungskriterien miteinander verglichen und gewichtet.

Tabelle 4-20: Ergebnis des Rangfolgeverfahren

Bewertungskriterien	Gewichtungs-faktor	Varianten							
		Ladekabel		Dockingstation		Ersatz Akku		Induktionsladeboard	
		Maßzahl	gewichtet	Maßzahl	gewichtet	Maßzahl	gewichtet	Maßzahl	gewichtet
<i>Haltbarkeit</i>	25	4	100	3	75	2	50	2	50
<i>Gewicht</i>	0	4	0	2	0	3	0	1	0
<i>Mobilität</i>	25	2	50	2	50	4	100	2	50
<i>Anschaffungskosten</i>	50	4	200	3	150	2	100	1	50
Wertigkeit			350		275		250		150
Normierte Wertigkeit			1,00		0,78		0,71		0,43
Rang		1		2		3		4	

Durch Multiplikation der jeweiligen Maßzahlen mit den Gewichtungsfaktoren erhält man einen gewichteten Wert, der in Summe die für die Ermittlung der Rangfolge maßgebliche Basis darstellt.

Um sich einen ersten Überblick über die Wichtigkeit der Kriterien bezüglich der Varianten zu verschaffen, ist das Rangfolgeverfahren sinnvoll. Komplexe Bewertungen lässt dieses Verfahren jedoch nicht zu. Dies liegt zum einerseits daran, dass die Ergebnisse relativ sind und daher nicht die nötige Aussagekraft erhalten. Andererseits ist wie in dem o.g. Beispiel zu sehen, dass das Kriterium „Gewicht“ komplett aus der Bewertung gefallen, was jedoch für die genauere Beurteilung der Varianten in Bezug auf Herstellung, Ergonomie etc. von Bedeutung sein könnte.

4.7 Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse

Die Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse (FMEA) wird im Rahmen des Qualitätsmanagements während der Entwicklungsphase eines Produktes hauptsächlich bei Neuentwicklungen angewendet. Dabei wird dieses Verfahren vorwiegend dazu genutzt, um eventuell entstehende Fehler oder Fehlerquellen bereits vor ihrem Auftreten zu detektieren und dahingehend zu analysieren, welche Ursache sie haben beziehungsweise welche Folgen sich daraus ergeben können. Daher ist das Ziel der FMEA die Vermeidung bzw. die Minimierung möglicher Fehler und damit nicht zuletzt auch eine Kostenersparnis für die Unternehmen [TDM11].

Nach [PBF06] wird die FMEA in Konstruktions- /Entwicklungs-FMEA, welche einen Abgleich von des zu entwickelnden Produktes mit der Anforderungsliste bewirkt, und Prozess- / Fertigungs-FMEA, welche die Art des Fertigungsprozessen beurteilt, untergliedert. Die FMEA wird in fünf verschiedenen Schritten abgehandelt:

Beschreibung des Systems:

- Konkretisieren und Festlegen der zu betrachtenden Prozesselemente wie Neuheitsgrad, Kosten, etc.

Fehleranalyse:

- Analysieren der möglicher Fehlerquellen beziehungsweise der Fehler.
- Welche potentiellen Fehlerursachen gibt es?
- Was für ein Fehler liegt vor?
- Wo taucht der möglicherweise Fehler auf?
- Welche Auswirkungen/Folgen können eventuell entstehen?
- Wie können die Fehler aufgedeckt werden?
- Wie können Fehler vermieden werden?

Risikobeurteilung:

- Wie wahrscheinlich ist es, dass der Fehler auftritt?
- Wie wahrscheinlich ist seine Entdeckung?
- Welche Auswirkung könnte der Fehler auf den Kunden haben?

Bestimmung der Risikoprioritätszahl:

Für einen Ausdruck der Dringlichkeit der Bearbeitung des Fehlers wird die Risikoprioritätszahl (RPZ) ermittelt:

$$RPZ = A * B * E$$

A Wahrscheinlichkeit des Auftretens der Fehlerursache

B Bedeutung der Folge des Fehlers

E Entdeckung der Ursache des Fehlers

Alle drei Variablen werden mit der Skala von 1 – 10 (nicht wahrscheinlich – sehr wahrscheinlich) bewertet. Somit kann eine Maximalpunktzahl von 1000 erreicht werden.

Ab einer Punktezahl >125 besteht akuter Handlungsbedarf. Das Produkt sollte angepasst, beziehungsweise verbessert werden.

Maßnahmen zur Risikoverringering:

- Änderung / Verbesserung des Produktes

 TU-Berlin		Fehler-Möglichkeiten und Einfluß-Analyse															
		Konstruktions-FMEA <input checked="" type="checkbox"/>					Prozeß-FMEA <input type="checkbox"/>										
Name/Abteilung/Lieferant/Telefon Institut für Maschinenkonstruktion - Konstruktionstechnik		Erteilt durch (Name/Abt./Telefon) Hr. Wende															
Fehler-Ort/Merkmal	Fehler-Art	Fehler-Auswirkung	Fehler-Ursache	Derzeitiger Zustand			Empfohlene Maßnahmen	Verbesserter Zustand									
				Kontroll-Maßnahmen	A	B		E	RPZ	Getroffene Maßnahmen	A	B	E	RPZ			
Welle	Bruch der Welle	Totalausfall	Belastungsart nicht korrekt erkannt		3	10	10	300									
Lagerung	Spiel in der Lageranordnung	unexakte Funktionserfüllung	Lockern der Wellenmutter im Betrieb (Schweißnaht)		3	8	10	240									80
	Dichtung durchlässig	frühzeitiger Lagerverschleiß	Dichtung genügt nicht den Anforderungen		2	5	10	100									50
Welle-Nabe-Verbindung (Flanschschraubverbindung)	Reißschluß nicht ausreichend	Querbeanspruchung der Schrauben	Auslegungsfehler (Nichtberücksichtigung der Reibwerte)		2	6	10	120									60
	Passungsgenauigkeit	Fügen nicht möglich bzw. Zentrierung nicht ausreichend	Konstruktionsfehler		2	5	1	10									5
	Bruch der Schrauben	Totalausfall	Belastungsart nicht korrekt erkannt		3	10	10	300									100
Kurvenzylinder	Flächenpressung zu groß	Pittings (Grübchen) in der Lauffläche	zu hohe Flächenpressung durch den Hebel		7	8	10	560									160

A: Auftreten
 Wahrscheinlichkeit des Auftretens (Fehler kann vorkommen)
 unwahrscheinlich = 1
 sehr gering = 2 - 3
 gering = 4 - 6
 mäßig = 7 - 8
 hoch = 9 - 10

B: Bedeutung
 Auswirkungen auf den Kunden
 kaum wahrnehmbare Auswirkungen = 1
 unbedeutender Fehler (geringe Belästigung des Kunden) = 2 - 3
 mäßig schwerer Fehler = 4 - 6
 schwerer Fehler (Verärgerung des Kunden) = 7 - 8
 äußerst schwerwiegender Fehler = 9 - 10

E: Entdeckung
 Wahrscheinlichkeit der Entdeckung (vor Auslieferung an Kunden)
 hoch = 1
 mäßig = 2 - 5
 gering = 6 - 8
 sehr gering = 9
 unwahrscheinlich = 10

RPZ: Risiko-Prioritätszahl
 hoch = 1000
 mittel = 125
 keine = 1

Abbildung 4-6: Formblatt der FMEA [PBF06]

Im Vergleich zu den zuvor behandelten Verfahren zur Bewertung während der Produktentwicklung geht es bei der FMEA weniger darum, aus diversen Varianten die beste herauszufinden, sondern um eine Bewertung des Auftretens der Wahrscheinlichkeiten von Fehlern, deren Ursachen, Folgen und Maßnahmen zur Fehlerminimierung /-beseitigung. Die FMEA ist ein wichtiges Werkzeug der Sicherung der Qualität des Produktentwicklungsprozesses.

Da der Kunde direkt mit der Qualität des Produktes in Verbindung kommt und möglichst vor der Auslieferung ein hohes Maß an Aufmerksamkeit darauf gerichtet sein muss, sollte eine solche Analyse in jedem Fall Anwendung finden und gewissenhaft durchgeführt werden.

4.8 Risiko-/Gefahrenanalyse

Das Risiko ist der Überbegriff für die Unsicherheit oder für die Ungewissheit. Es bezeichnet die Abweichung von einem theoretisch erwarteten Ereignis.

Für das Risiko existieren zwei verschiedene Sichtweisen, das technische Risiko und das wirtschaftliche Risiko. Das technische Risiko beschreibt in den meisten Fällen Störgrößen und die daraus resultierenden Folgen. Man spricht dabei von einer Verlust- oder Schadensgefahr. Alternativ kann das Risiko als die Nichterreichung eines geplanten Ziel definiert werden [GLL07].

Das wirtschaftliche Risiko hingegen wird aufgrund einer Differenz zu einem ursprünglich geplanten Ziel definiert [MEN90]. Das Risiko beschreibt eine Verlustgefahr, bei der das erwartete Kapital durch eine Gewinnminderung oder durch einen Gewinnentgang abgeschwächt wird [MEL11].

LEHMANN stellt den Begriff des Risikos einer Chance gegenüber. Dabei wird das Risiko als negative Auswirkung beschrieben. Die Chance hingegen ist ein positives Ereignis und sollte mindestens genauso groß sein wie das Risiko [LEH49].

Einen weiteren Ansatz für die Definition des Risikos ist die Ermittlung des Informationszustandes. Nach KNIGHT [KNI64] werden drei verschiedene Informationszustände definiert.

- Sicherheit
- Unsicherheit
- Risiko

Unter Unsicherheit versteht KNIGHT, dass keine oder nur subjektive Wahrscheinlichkeitsurteile zur Messung angegeben werden können. Risiko bedeutet, dass Wahrscheinlichkeiten eine

objektive Messung erlauben. Somit ergibt sich das Risiko aus der Vollkommenheit des Informationsgehaltes eines Systems ([WIß05], [KNI64]).

4.8.1 Risikoarten

Die Literatur unterscheidet für den Produktentwicklungsprozess zwischen Marktrisiken und technische Risiken. Das Marktrisiko beschreibt die Unsicherheit hinsichtlich des Erfüllens der Marktbedürfnisse. Das Marktrisiko wird durch die Beziehungen Markt und Unternehmen, Markt und Produkt sowie Markt und Umwelt beeinflusst [ECK85].

HÄNGGI geht davon aus, dass prinzipiell jedes technische System realisierbar ist. Im Idealfall gibt es für jedes technische Problem mindestens eine technische Lösung und somit auch kein technisches Risiko [WIß05].

Das technische Risiko entsteht, wenn dem technischen Problem nur ein begrenztes Kosten- und Zeitbudget zur Verfügung gestellt wird. Diese Vorgehensweise wäre allerdings in der überwiegenden Zahl der Forschungs- und Entwicklungsprojekte ökonomisch nicht zu rechtfertigen. Somit ergeben sich Qualitäts-, Kosten- und Terminrisiken, welche sich unter anderem in der Summe als technische Risiken oder Projektrisiken darstellen lassen, aufgrund wirtschaftlicher Randbedingungen. Die technischen Risiken beruhen hauptsächlich auf unzureichenden Kenntnissen und Erfahrungen einer Technologie bzw. der Kombination verschiedener Technologien, den technologischen Risiken ([HÄN96], [WIß05]).

Nach WESTKÄMPER und BALVE nehmen die technischen Risiken über die vier Technologie-Lebensphasen (Entstehung, Wachstum, Reife und Degeneration) von der Schrittmachertechnologie über Schlüssel- und Basistechnologie bis zur verdrängten Technologie ab. Mit dieser Abnahme sinkt allerdings auch das Entwicklungs- und Wettbewerbspotenzial einer Technologie [WBW03].

Technische Risiken werden durch unterschiedliche Faktoren beeinflusst [WIß05]:

- Subjektiver Neuerungsgrad für das Unternehmen in Bezug zur bisherigen Technologie,
- Grad der herstellungstechnischen Komplexität,
- Ausschöpfen der technologischen Grenze,
- Kreativitätspotential des Unternehmens,
- Effizienz des Informations- und Kommunikationssystems innerhalb und außerhalb des Unternehmens,
- Ressourceneinsatz hinsichtlich der bevorstehenden technischen Aufgaben.

Abbildung 4-7 stellt eine Auswahl verschiedener Risikoarten möglichen technischen Risiken gegenüber. Der Schwerpunkt dieser Arbeit ist die Bewertung technischer Produkte und somit die Betrachtung der technischen Risiken.

Allgemeine Unternehmensrisiken						Projektrisiken
Marktrisiken	Wettbewerbsrisiken	Leistungsrisiken	Finanzrisiken	Führungs- und Organisationsrisiken	Soziale und ökologische Risiken	Leistungserstellungsrisiken
<ul style="list-style-type: none"> Risiken aus dem gesamtwirtschaftlichen Marktumfeld z. B. Wirtschaftliche Entwicklung der Branche Beschaffungspreise Corporate Identity Öffentlichkeit ... 	<ul style="list-style-type: none"> Marktanteil Risiken in Bezug auf die eigene Wettbewerbsfähigkeit Risiken in Bezug auf Kundenzufriedenheit Risiken in Bezug auf das Marketing 	<ul style="list-style-type: none"> Risiken basierend auf das Leistungsangebot Leistungsbreite Leistungstiefe 	<ul style="list-style-type: none"> Finanzrisikostruktur Kostenstrukturrisiko Forderungsausfälle Zu geringe Rendite Zu geringer Cashflow Änderungen von Kreditkonditionen Finanzmarktrisiken ... 	<ul style="list-style-type: none"> Schlechte Problemlösung Schlechter Führungsstil Ungünstige Arbeitsteilung Lange Entscheidungswege ... 	<ul style="list-style-type: none"> Ungenügende Förderung Ungenügende Arbeitplatzsicherung Keine marktgerechte Entlohnung Schlechte Arbeitsbedingungen ... 	<ul style="list-style-type: none"> Risiken aus dem Leistungserstellungsprozess Rechtliche Risiken Terminliche Risiken Finanzielle Risiken Technische Risiken Managementrisiken Risiken des Umfeldes
Negative Auswirkungen auf die Zielerreichung						

Abbildung 4-7: Risikokategorien und Einordnung von technischen Risiken [GIR01]

Da der Produktentwicklungsprozess auch durch angewendete Methoden und Werkzeuge geprägt ist, können zur Bewertung weitere Risikoarten hinzugezogen werden, welche aus der Verwendung von Werkzeugen resultieren. Dazu gehören auch zum Beispiel die in der zum Beispiel Abbildung 4-7 dargestellten IT-Risiken und die Schadenrisiken.

Die Arten der für eine Bewertung verwendeten Risiken können auch aufgrund der unterschiedlichsten Produktarten variieren. Demzufolge muss ein Bewertungskonzept eine Erweiterung oder Ergänzung der Risiken ermöglichen.

4.8.2 Ermittlung der Einzelrisiken

Jeder Entwicklungsprozess bringt unterschiedliche Risiken mit sich. Die Risiken müssen identifiziert und quantifiziert werden.

Für die Identifikation der Risiken sind kreativ-intuitive oder analytisch-strukturierte Techniken und Methoden bekannt. Eine Auswahl einiger Methoden sind in Tabelle 4-21 dargestellt. Dabei handelt es sich um Methoden in Eigenausarbeitung und um Methoden, welche durch ein Team (z.B. Expertenteam mit Vertretern unterschiedlicher Arbeitsgebiete) abgearbeitet werden müssen. Nach der Identifikation müssen diese Risiken beschrieben werden.

Tabelle 4-21: Identifikation von Einzelrisiken [ZIE07]

Kreativ-intuitive Techniken	Analytisch-strukturierte Techniken
Brainstorming	Checklisten
Brainwriting	Ursache-Wirkungs-Diagramm (Ishikawa-Diagramm)
6-3-5-Methode	Einflussanalyse
Delphi-Methode	Engpass-Identifikation
Interviews	Kritischer-Pfad-Methode
Szenario-Technik [...]	Einzelschaden-Analyse [...]

Das Risiko kann durch eine Risikokennzahl quantifiziert werden. Diese Zahl ergibt sich aus dem Produkt der Eintrittswahrscheinlichkeit und dem Schadensausmaß:

$$R = W * A$$

R = Risikokennzahl,

W = Eintrittswahrscheinlichkeit/erwartete Häufigkeit,

A = Ausmaß (Schadenspotential).

Sowohl die Eintrittswahrscheinlichkeit als auch das Schadenspotential lassen sich durch einfache Abstufungen ermitteln (Beispiele siehe in Tabelle 4-22 Spalte A und Tabelle 4-23 Spalte W).

Tabelle 4-22: Ermittlung des Schadenspotentials ([SCV04], [SCA05])

A	Klassifizierung der Eintrittswahrscheinlichkeit	Ausmaß
1	<ul style="list-style-type: none"> Keine bzw. nur sehr kleine Auswirkungen auf Projektzeit, Projektkosten und Projektqualität Ohne Einfluss auf Wettbewerbssituation des Unternehmens 	unbedeutend
2	<ul style="list-style-type: none"> Geringe Auswirkungen auf Projektzeit, Projektkosten und Projektqualität Geringer Einfluss auf Wettbewerbssituation des Unternehmens 	spürbar
3	<ul style="list-style-type: none"> Deutliche Auswirkungen auf Projektzeit, Projektkosten und Projektqualität Deutlicher Einfluss auf Wettbewerbssituation des Unternehmens 	kritisch
4	<ul style="list-style-type: none"> Große Auswirkungen auf Projektzeit, Projektkosten und Projektqualität Wettbewerbssituation des Unternehmens gefährdet 	katastrophal

Tabelle 4-23: Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit ([SCV04], [SCA05])

W	Klassifizierung der Eintrittswahrscheinlichkeit	Eintrittswahrscheinlichkeit
1	<ul style="list-style-type: none"> Einsatz vorhandener Methoden und Verfahren in Konstruktion und Fertigung Große Erfahrung des Produkteinsatzes 	unwahrscheinlich
2	<ul style="list-style-type: none"> Modifikation vorhandener Methoden und Verfahren in Konstruktion und Fertigung Geringe Erfahrung des Produkteinsatzes 	selten
3	<ul style="list-style-type: none"> Deutliche Abweichung von vorhandenen Methoden und Verfahren in Konstruktion und Fertigung Keine ausreichenden Erfahrungen des Produkteinsatzes 	möglich
4	<ul style="list-style-type: none"> Neuartige Methoden und Verfahren in Konstruktion und Fertigung Eventuell negative Erfahrungen des Produkteinsatzes 	häufig

Demzufolge gibt es zwei Ansätze, ein Risiko zu minimieren. Entweder es wird versucht, die Eintrittswahrscheinlichkeit zu senken oder das Schadenausmaß zu minimieren oder zu eliminieren.

Die Ermittlung der Risikokennzahl R aus der Multiplikation der Variablen W und A aufgrund der Abstufungen ermöglichen eine schnelle Übersicht über die Größe und Relevanz des Risikos. Die Ergebnisse lassen sich in einer Risikomatrix gegenüberstellen und somit einen die Priorität der notwendigen Bearbeitungen ableiten (Abbildung 4-8).

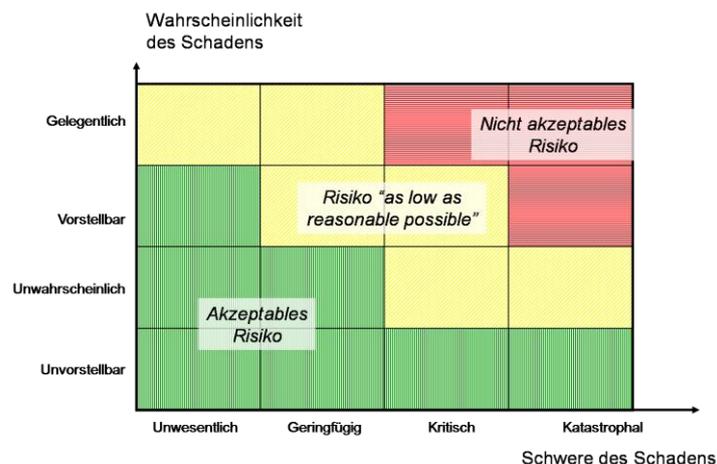


Abbildung 4-8: Risikomatrix [www07]

4.9 Vergleich der Bewertungsverfahren

In den vorangegangenen Abschnitten wurden unterschiedliche Verfahren vorgestellt, die eine Bewertung vor, während oder nach der Produktentwicklung ermöglichen. Dabei werden teilweise unterschiedliche Vorgehensweisen genutzt, mit deren Hilfe man zu einem Ergebnis gelangen kann.

Viele Bewertungsverfahren in der Produktentwicklung werden in Projektteams bestehend aus mehreren Teammitgliedern bearbeitet. Dabei ist es fast unumgänglich, subjektive Meinungen in die Bewertung einfließen zu lassen, wenn zwischen verschiedenen Alternativen von Varianten entschieden werden soll bzw. Maßzahlen oder Gewichtungen vergeben werden müssen. Entscheidend hierbei sind vor allem der Grad des Wissens der interdisziplinär zusammengestellten Experten und deren kundenorientierte Entscheidungsfähigkeit. Bei einer subjektiven Bewertung können viele Faktoren, wie Bewusstseinsänderungen, Gefühlsregungen oder die jeweilige Tagesform des Einzelnen dazu beitragen, für ein und dieselbe Variantenbewertung zu verschiedenen Zeitpunkten unterschiedliche Ergebnisse zu erzielen. Für die Bewertung ist es hilfreich, objektive Kriterien zu definieren, um nicht von Gefühlen oder Vorurteilen gelenkt zu werden, sondern unvoreingenommen bewerten zu können. Objektive Kriterien können zum Beispiel die Anzahl der Fertigungsverfahren oder die Anzahl aller Komponenten eines Produktes sein. Der Einfluss der Subjektivität soll durch das Hinzuziehen von Kriterien, die lediglich eine objektive Bewertung zulassen, minimiert werden.

Fazit:

Im Abschnitt 3.7 wurde erläutert, dass in dieser Arbeit das Ziel verfolgt wird, sowohl die Prozesse als auch die Daten eines Produktes zu bewerten. Für die Bewertung der Eigenschaften eines Produktes bietet sich die Nutzwertanalyse an. Eine objektive Bewertung soll die Auswahl zu bewertenden Kriterien ermöglichen.

Weiterhin wurde im Abschnitt 3.7 dargelegt, dass das Produkt nur dann einfach sein kann, wenn seine Prozesse beherrschbar sind. Wenn Prozesse beherrschbar sind, weisen sie ein geringes Restrisiko auf. Für die Ermittlung des Risikos eines Prozesses bietet sich eine Risikoanalyse an.

Daher erfolgt die Bestimmung der Einfachheit eines Produktes anhand einer der Kombination einer Risikoanalyse und einer Nutzwertanalyse.

5. Erarbeitung eines Bewertungskonzeptes

In diesem Kapitel sollen alle notwendigen Informationen für das Bewertungskonzept zusammengetragen werden.

Wie bereits erläutert, werden zum einem die Eigenschaften eines Produktes bewertet. Die Ermittlung der zu bewertenden Daten erfolgt anhand vorhandener Partialproduktmodelle, welche Teilbereiche des Produktlebenszyklusses beschreiben. Anschließend wird jedes Partialmodell analysiert und Kennzahlen werden für die Bewertung hinsichtlich der Einfachheit definiert.

Zum anderen werden die Prozesse bezüglich ihrer Beherrschbarkeit bewertet. Ein Prozess ist beherrschbar, wenn das Verhalten vorhersagbar und steuerbar ist. Treten Unsicherheiten oder Ungewissheiten auf, ist ein Prozess nicht mehr vollständig beherrschbar. Somit lässt sich die Beherrschbarkeit eines Prozesses durch sein Risiko definieren. Durch die Risikobewertung ergibt sich eine unternehmensspezifizierte Kennzahl zur Beschreibung des Produktrisikos. Somit ist es möglich, dass die Gesamtkomplexität eines identischen Produktes für unterschiedliche Unternehmen nicht identisch sein muss.



Abbildung 5-1: Abhängigkeiten der Produktkomplexität

Die Gesamtkomplexität ergibt sich aus der Kombination der Produktkomplexität und des Produktrisikos. Beide Teilbewertungen werden in diesem Kapitel erarbeitet und erläutert.

5.1 Bewertungskriterien

In diesem Kapitel werden Kriterien erarbeitet, die für die Bestimmung der Einfachheit bzw. der Komplexität herangezogen werden können. Diese müssen allgemeingütig und für jedes technische Produkt anwendbar sein. Aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher Produktarten und unterschiedlichen Randbedingungen kann eine Vollständigkeit aller Kriterien nicht gewährleistet werden. Die Bewertung muss das Hinzufügen weiterer Kriterien ermöglichen. Das gilt sowohl für die Produktkomplexität als auch für das Produktrisiko.

5.2 Bewertung des Produktes

Für eine objektive Bewertung sollen Kriterien ermittelt werden, die die Bestimmung der Einfachheit oder Komplexität eines Produktes ermöglichen sollen (Abbildung 5-2).



Abbildung 5-2: Produktkomplexität

Die Kriterien zur Ermittlung der Produktkomplexität werden anhand des Produktlebenszyklus (siehe Abschnitt 2) ermittelt. Anhand des Lebenszyklusses werden mögliche Modelle jedes Lebensabschnittes ermittelt. Die Summe aller Modelle (im folgenden Partialmodelle) soll die Gesamtheit aller Informationen eines Produktes entlang des Produktlebenszyklus abbilden. Im Anschluss wird überprüft, welche Partialmodelle zur Identifikation von Bewertungskriterien dienen können.

Abbildung 5-3 zeigt die einzelnen Lebensphasen eines technischen Produktes nach EHRENSPIEL [KES95]. Die Phasen des Lebenszyklus werden für eine spätere Strukturierung gruppiert.

Der erste Abschnitt umfasst die Produktplanung. Dieser enthält alle Phasen, in der das Produkt erdacht und entwickelt wird. Der zweite Abschnitt beschreibt die reale Produktentstehung. Zu diesem Abschnitt gehören die Fertigungs- und Montageplanung sowie die Fertigung und Montage an sich. Der dritte Abschnitt beschreibt den Zeitraum von der Fertigstellung des Produktes bis zur eigentlichen Nutzung. Dazu gehört der Vertrieb eines Produktes sowie die

Installation, beziehungsweise Bereitstellung zur Inbetriebnahme und die Produktnutzung, inklusive der eventuell notwendigen Wartung eines Produktes. Im letzten Abschnitt werden die Außerbetriebnahme und Beseitigung eines Produktes beschreiben.

Zu jedem Abschnitt werden mögliche Partialmodelle gesammelt und auf eine mögliche Bewertung hin untersucht.

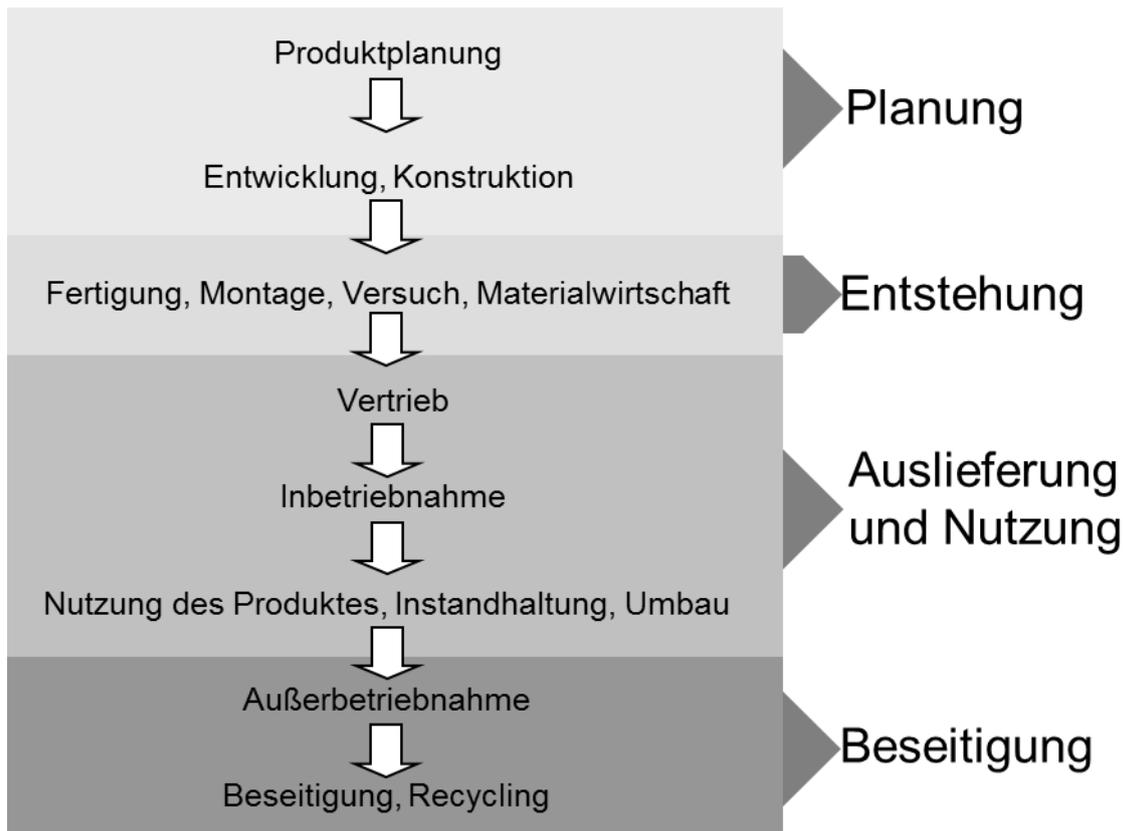


Abbildung 5-3: Lebensphasen des PLZ (nach [KES95])

Nicht alle Teilprozesse der Partialmodelle verlaufen sequentiell. Die derzeit immer kürzeren Entwicklungszyklen erfordern heutzutage ein verteiltes und paralleles Arbeiten. Dabei kann zwischen Simultaneous Engineering (SE) und Concurrent Engineering (CE) unterschieden werden. Nach [KAM06] ist SE und CE das gleichzeitige Bearbeiten durch Aufgaben eines interdisziplinären Teams.

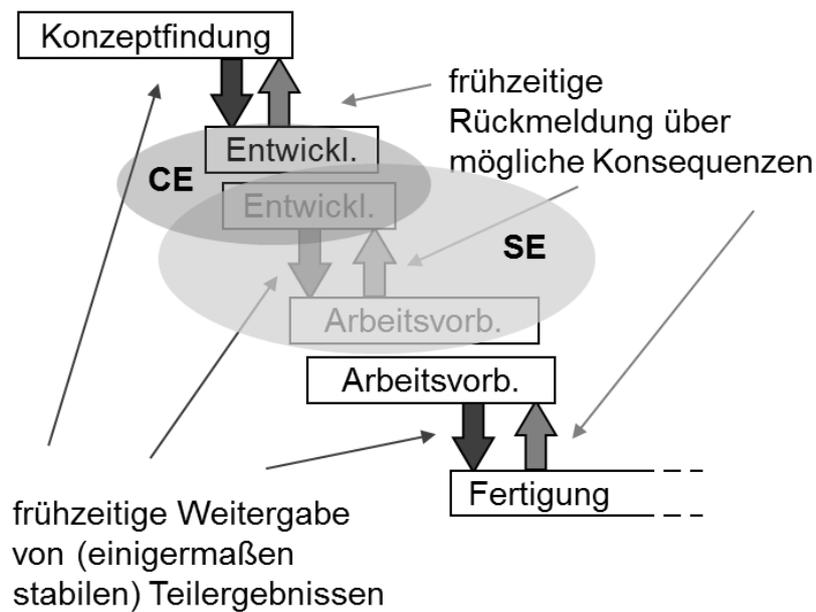


Abbildung 5-4: Simultaneous Engineering/ Concurrent Engineering [STV99]

Die Abbildung 5-4 stellt die Zeitverkürzungen grafisch dar. Beim Concurrent Engineering wird die Aktivität in Teilaktivitäten zerlegt und von unterschiedlichen Personen bearbeitet. Das Simultaneous Engineering hingegen beschreibt das Parallelisieren von unterschiedlichen Aktivitäten. Dabei werden Folgeprozesse wie zum Beispiel die Arbeitsvorbereitung begonnen, bevor die Entwicklung vollständig abgeschlossen wurde. Dabei muss sichergestellt werden, dass die weitergegebenen Informationen der Entwicklung zur Arbeitsvorbereitung einen Reifegrad erreicht haben, bei dem die Änderungen keine großen Auswirkungen auf den Folgeprozess mehr haben [GUO08].

Die Bewertung der Einfachheit eines Produktes soll anhand verschiedener Kriterien erfolgen, die anhand verschiedener Partialmodelle erarbeitet werden.

Die Partialmodelle bilden Teilinformationen eines Produktes ab. Im Gegensatz zum integrierten Produktmodell wird jede Information jedes Entwicklungsschrittes und „Lebensschritts“ eines Produktes in einem separaten Modell abgelegt bzw. gespeichert. Die Gesamtheit aller Informationen der Partialmodelle bilden des kompletten Produktlebenszyklus ab (Abbildung 5-5).

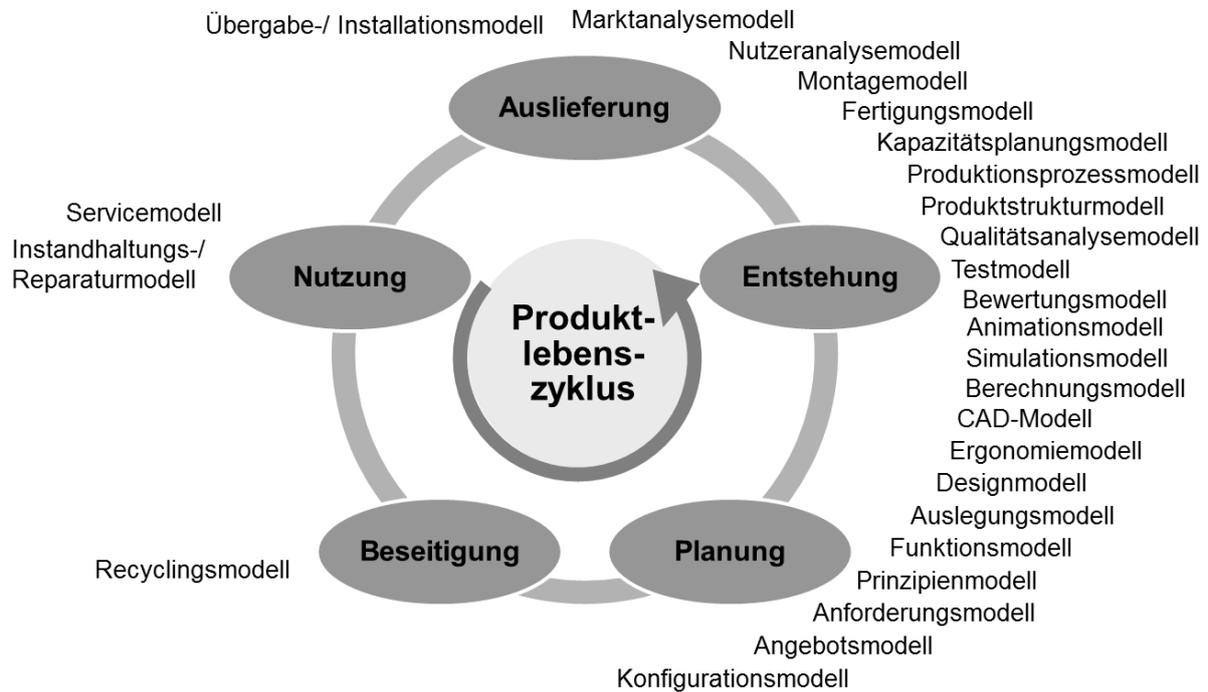


Abbildung 5-5: Partialmodelle des Produktlebenszyklus

Die Partialmodelle kommen jeweils in einer bestimmten Phase zum Einsatz. Sie müssen allerdings schon in der Planung bedacht und berücksichtigt werden. Bereits in der Konzeption eines Produktes muss der Entwickler sich im Klaren sein, wie das Produkt nach der Nutzung, wenn notwendig, demontiert werden kann, damit das Material nach dem Recycling wieder verwendet werden kann.

Einige der in Abbildung 5-5 aufgeführten Partialmodelle bilden jedoch ein Werkzeug oder eine Methode zur Erstellung eines Produktes ab. Weiterhin können andere Partialmodelle als Zwischenschritt oder als Grundlage anderer Modelle dienen.

Informationen dieser Modelle sollen nicht die Grundlage für die Bewertung bilden. Es sollen nur Kriterien zu Bewertung heran gezogen werden, die den Endzustand des Produktes, so wie es bei dem Kunden zu Einsatz kommt, beschreiben.

Im Folgenden werden die Partialmodelle für die Abschnitte des Produktlebenszyklus beschrieben und jeweils als primäres oder sekundäres Partialmodell definiert. Anhand der primären Partialmodelle werden Faktoren definiert, die das Produkt hinsichtlich der Einfachheit oder Komplexität beschreiben. Das sekundäre Partialmodell beschreibt entweder eine Methode, ein Werkzeug oder dient als Entwicklungsschritt eines anderen (primären) Partialmodells.

Die vorgestellten Modelle bilden in Summe das vollständige Produktmodell ab, welches alle relevanten Informationen über den Produktlebenszyklus beschreibt. Dabei wird der Lebenszyklus nach EHRENSPIEL zugrunde gelegt. Anhand des Lebenszyklus wurden Phasen des Produktes definiert. Diesen Phasen werden die vorgestellten Modelle zugeordnet.

Die Zusammenstellung der verschiedenen Modelle des Produktlebenszyklus laufen nicht sequentiell ab. Die Informationen werden in den genannten Lebensphasen verarbeitet.

Produktplanung:

Im ersten Schritt der Produktplanung werden die vorher ermittelten Anforderungen mit Hilfe von Anforderungsmodellen dokumentiert und fortlaufend ergänzt sowie angepasst. Die Aufgabenbeschreibung wird in einem Angebotsmodell festgehalten. Sollte der Kunde sich auf bereits existierende Produkte beziehen, können die Anforderungen auch mit Hilfe eines Konfigurators festgelegt werden.

Nach den ersten Festlegungen der Anforderungen entstehen die Prinzipienmodelle und Funktionsmodelle, welche die Lösungsalternativen für die Produkthanforderungen bereitstellen. Diese ermöglichen es mittels eines Auslegungsmodells erste Entscheidungen bezüglich der Bauraumeingrenzungen und Bauteilverknüpfungen zu treffen.

Anschließend folgt die Konstruktionsphase mit der Erstellung von Design- und Ergonomiemodellen sowie den geometriebeschreibenden CAD-Modellen für die einzelnen Bauteile und Komponenten. Ein Produktstrukturmodell bildet hierbei die Verknüpfungen und Relationen zwischen den Produkt-, Norm- sowie Zukaufteilen ab, die dann in einem Stücklistenmodell zusammengefasst werden. Weitere wichtige Bestandteile in der Konstruktionsphase sind die Berechnungs-, FEM- sowie Simulations- und Animationsmodelle, die zur Überprüfung und Optimierung verschiedener Eigenschaften des Produktes dienen. Hierzu gehören Prüfungen über das Verhalten der Bauteile bei Kräfteinwirkungen sowie Lebensdauerberechnungen, Kollisionsanalysen oder Strömungsanalysen zur Widerstandsoptimierung. Das Testmodell dient zur Überprüfung der Simulationsmodelle, oder zur Erstellung von zum Beispiel Langzeittest. Im Qualitätsanalysemodell wird überprüft, ob das Produkt den Ansprüchen des Kunden genügt. Das Testmodell und Qualitätsanalysemodell gilt in der Produktentstehung nur für die Prototypen. Diese Modelle sind auch nach der Produktentstehung wieder zu finden.

- Angebotserstellungsmodell: Produktbeschreibung, Dienstleistungen, Preise, Termine. Es handelt sich dabei um ein sekundäres Partialmodell. Dieses bildet die Grundlage für z.B. das Anforderungsmodell.

- Anforderungsmodell: Kunden-/Nutzeranforderungen an das Produkt, Anforderungen aus verschiedensten Restriktionen (Gesetze, DIN, EN, usw.); Es handelt sich dabei um ein sekundäres Partialmodell. Dieses bildet die Grundlage für z.B. das Prinzipien- oder Funktionserfüllungsmodell.
- Konfigurationsmodell: Vielfalt der möglichen Konfigurationen. Es handelt sich dabei um ein primäres Partialmodell. Aufgrund dieses Modells wird die Kennzahl zur Beschreibung der Anzahl der Konfigurationen verschiedener Bauteile ermittelt.
- Prinzipienmodell: verwendete Prinzipien (physikal., chem., usw.) und deren Vernetzung zur Funktionserfüllung. Es handelt sich dabei um ein sekundäres Partialmodell. Es bildet die Grundlage für z.B. das CAD-Modell.
- Funktionsmodell: Handhabung/Bedienung des Produkts zur Funktionserfüllung. Es handelt sich dabei um ein sekundäres Partialmodell. Dieses bildet die Grundlage für z.B. das CAD-Modell.
- Auslegungsmodell: Materialauswahl, Bestimmung von Maßen um vorgegebenen Belastungen standzuhalten. Es handelt sich dabei um ein sekundäres Partialmodell. Es bildet die Grundlage für z.B. das CAD-Modell.
- Designmodell: Produkthanmutung, -ästhetik. Es handelt sich dabei um ein sekundäres Partialmodell. Dieses bildet die Grundlage für z.B. das CAD-Modell.
- Ergonomiemodell: Mensch-Produkt-Schnittstellen, Ausführungsbedingungen bei Nutzung/Bedienung des Produkts. Es handelt sich dabei um ein sekundäres Partialmodell. Es bildet die Grundlage für z.B. das CAD-Modell.
- CAD-Modell: Aufbau, Abmessungen, Material, Parametrik des Produkts. Es handelt sich dabei um ein sekundäres Partialmodell. Dieses bildet die Grundlage für z.B. das Strukturmodell.
- Simulationsmodell: } Berechnung und Darstellung von Belastungsreaktionen.
- Berechnungsmodell: } Es handelt sich dabei um ein sekundäres Partialmodell. Es bildet die Grundlage für z.B. das CAD-Modell.
- Testmodell: Vorbereitung, Durchführung, Auswertung von Tests zur Bedienung, Funktion, Belastung. Es handelt sich dabei um ein sekundäres Partialmodell. Es bildet die Grundlage für z.B. das CAD-Modell.
- Produktstrukturmodell: Zusammensetzung des Produktes bezüglich der Anzahl der Gleichteile und Exklusivteile. es handelt sich dabei um ein primäres Partialmodell. Aufgrund dieses Modells wird die Kennzahl zur Beschreibung der Anzahl der Gleichteile und Exklusivteile ermittelt.

Die Abbildung 5-6 stellt die primären und sekundären Partialmodelle der Produktplanung zusammenfassend gegenüber. Jedes der sekundären Partialmodelle enthält Informationen, die als Ausgangsbasis für weitere Partialmodelle genutzt werden können.

Für die Erstellung der Funktionsmodelle werden Informationen beziehungsweise die Ergebnisse des Anforderungsmodells benötigt. Es ist sinnvoll, nur die Modelle (primären Partialmodelle) zu bewerten, die das Ergebnis der Produktplanung repräsentieren.

Das Ergebnis der Produktplanung ist die Gestalt des Produktes mit einer definierten Struktur der Teileverwendungen. Wird das Produkt durch verschiedene Varianten bestimmt, sollten diese Informationen im Konfigurationsmodell hinterlegt werden.

Verschiedene Eigenschaften eines Produktes, wie zum Beispiel das Gewicht, die Größe oder die Farbe sind immer produktspezifisch und nicht für alle Produkte allgemeingültig. Daher können solche Informationen nicht zur Bewertung hinzugezogen werden. Das Design eines Produktes kann schwer durch objektive Kriterien beschrieben werden. Die Anmutung und Ästhetik eines Produktes wird durch rein subjektive Faktoren beschrieben.

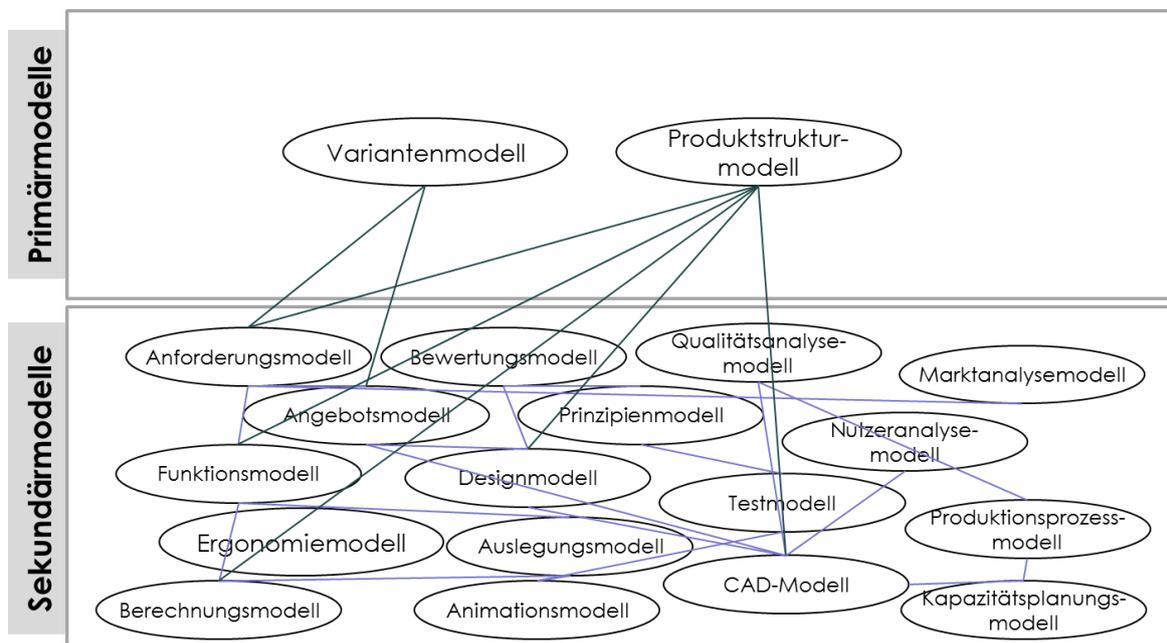


Abbildung 5-6: Partialmodelle in der Produktplanung

Die Gestalt eines Produktes kann nach CANKUVVET mit folgenden Kriterien bewertet werden [CAN11]:

- Gesamtanzahl der Flächen
- Flächenarten
- Ausrichtung der Flächen
- Anzahl der einzelnen Flächenarten
- Symmetrie
- Abmessung

Das Bewertungsverfahren soll eine möglichst schnelle Antwort über die Einfachheit bzw. die Komplexität des Produktes liefern. Wenn ein Produkt bestehend aus mehr als 20 Bauteilen analysiert werden soll, ist die Analyse der Geometrien oder Außenflächen aller Bauteile sehr langwierig. Weiterhin ist aufgrund der heutigen CAx-Werkzeuge der Umgang mit Freiformflächen nicht aufwendiger als der Umgang mit einfach analytischen Flächen (z.B. Zylinder, Kugel). Daher wird die Gestalt eines Bauteils primär nicht in der Bewertung berücksichtigt.

Aufgrund des CAD-Modells wird die virtuelle Struktur (Baugruppenstruktur) des Produktes erstellt. Die Güte des CAD-Modells ist sehr stark von dem Können des Anwenders abhängig. Der Aufwand für die Erstellung eines sehr gut parametrisierten CAD-Modells ist sehr viel höher als die Erstellung eines nicht parametrisierten Modells. Allerdings hat dieses Modell keine Auswirkungen auf das Produkt mit seinen geometrischen Ausprägungen. Ein sehr gut aufgebautes CAD-Modell hat allerdings positive Auswirkungen bei der Wiederverwendung für andere Varianten. Gleiches gilt auch für das Simulations- und Berechnungsmodell. Der Aufwand für die Erstellung solcher Modelle kann sehr hoch sein, hat allerdings wenig Auswirkungen auf das Produkt an sich. Diese Modelle ermöglichen z.B. ein virtuelles Überprüfen der Anforderungen. Weiterhin sind die genannten Modelle sehr stark abhängig von den Fähigkeiten des Anwenders. Ein versierter Anwender wird solche Modelle wahrscheinlich schneller und besser erstellen als ein Anwender mit sehr wenigen Erfahrungen in dem Bereich. Sie beschreiben letztendlich nur ein Werkzeug, um auftretende Komplexitäten zu behandeln.

Produktentstehung:

Die Produktentstehung wird primär durch die Fertigung gekennzeichnet. Die verschiedenen Fertigungsverfahren werden nach der DIN 8580 in sechs Hauptgruppen untergliedert:

1. Urformen
2. Umformen
3. Trennen
4. Fügen
5. Beschichten
6. Stoffeigenschaft ändern

Die Wahl der Fertigungsverfahren hat einen großen Einfluss auf die Einfachheit/ Komplexität eines Produktes.

Bei der Herstellung von Einzelteilen kann es durch die Wahl eines Fertigungsverfahrens zu unterschiedlichen Nachfolgeprozessen (Fertigungsstufen) kommen [DBG01]. Einzelteile sind wie folgt definiert: „*Einzelteile sind geometrisch bestimmte technische Gebilde, die durch Bearbeitung eines Werkstoffs entstanden sind, ohne dass dabei mehrere Bauelemente gefügt wurden.*“ [MOL08].

Durch urformend (Block- oder Stranggießen) hergestellte Halbzeuge müssen durch nachfolgendes Umformen (Walzen, Schmieden) in Gestalt und Eigenschaften so verändert werden, dass sie die Anforderungen an das künftige Einzelteil erfüllen. Bei durch Formgießen gefertigten Rohteilen müssen hingegen keine weiteren Umformungen durchgeführt werden, da sie bereits weitgehend der Gestalt, den Abmessungen und Eigenschaften des künftigen Einzelteils entsprechen (Near-Net-Shape-Casting). Durch die Wahl des Formgießens können der Prozessschritt des Umformens umgangen werden und somit Kosten gespart werden [MOL08]. Bei Bedarf können nun die Funktionsflächen mit ihren Toleranzen und Oberflächen durch spanende Bearbeitung ergänzt werden. Das Ergebnis ist das Fertigteil.

Eine Übersicht aller Fertigungsverfahren und deren Untergruppen gibt Tabelle 5-1.

1. Stelle der ON						Hauptgruppen							
1 Urformen		2 Umformen		3 Trennen		4 Fügen		5 Beschichten		6 Stoffeigenschaft ändern			
Definitionen													
Fertigen eines festen Körpers aus formlosem Stoff		Plastisches Ändern der Form eines festen Körpers		Formändern eines festen Körpers durch örtliches Aufheben des Zusammenhaltes		Zusammenbringen von Werkstücken auch mit formlosem Stoff		Aufbringen einer fest haftenden Schicht aus formlosem Stoff		Ändern der Eigenschaften des Werkstoffes, z. B. durch Diffusion, chem. Reaktion, Gitterversetzungen			
Zusammenhalt der Teilchen bzw. Bestandteile wird													
geschaffen		beibehalten		vermindert oder aufgehoben		vermehrt							
2. Stelle der ON						Gruppen (mit Beispielen)							
1.1 aus dem flüssigen Zustand (Gießen)		2.1 Druckumformen (Walzen, Fließpressen, Schmieden)		3.1 Zerteilen (Scherschneiden)		4.1 Zusammensetzen (Einlegen)		5.1 aus dem flüssigen Zustand (Lackieren)		6.1 Verfestigen durch Umformen (Schmieden)			
1.2 aus dem plastischen Zustand (Spritzgießen)		2.2 Zugdruckumformen (Drahtziehen, Tiefziehen)		Spanen mit geometrisch	3.2 bestimmten (Drehen, Bohren, Fräsen)		Schneiden	4.2 Füllen (Einfüllen)		5.2 aus dem plastischen Zustand (Spachteln)		6.2 Wärmebehandeln (Glühen, Härten)	
1.3 aus dem breiigen Zustand (Gießen von Keramik)		2.3 Zugumformen (Längen, Weiten, Tiefen)			3.3 unbestimmten (Schleifen, Honen, Läppen)			4.3 An- und Einpressen (Schrumpfen)		5.3 aus dem breiigen Zustand (Verputzen)		6.3 Thermomechanisches Behandeln	
1.4 aus dem körnigen oder pulverförmigen Zustand (Pressen, Sintern)		2.4 Biegeumformen (mit drehender Werkzeugbewegung)		3.4 Abtragen (thermisches Trennen, chem. Abtragen)		4.4 Fügen durch Urformen (Ausgießen, Umgießen mit Kunststoff)		5.4 aus dem körnigen oder pulverförmigen Zustand (Wirbelsintern)		6.4 Sintern, Brennen			
1.5 aus dem span- oder faserförmigen Zustand		2.5 Schubumformen (Verdrehen)		3.5 Zerlegen (Lösen von Verbindungen)		4.5 Fügen durch Umformen (Nieten, Bördeln)				6.5 Magnetisieren			
				3.6 Reinigen (Reinigungsstrahlen)		4.6 Fügen durch Schweißen (Schmelzverbindungsschweißen)		5.6 durch Schweißen (Schmelzauftragsschweißen)		6.6 Bestrahlen			
						4.7 Fügen durch Löten (Weichlöten, Hartlöten)		5.7 durch Löten (Auftragweichlöten)		6.7 Photochemische Verfahren (Belichten)			
1.8 aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand						4.8 Kleben		5.8 aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand (Vakuumbedampfen)					
1.9 aus dem ionisierten Zustand (elektrolytisches Abscheiden, Galvanoplastik)						4.9 Textiles Fügen		5.9 aus dem ionisierten Zustand (Galvanisieren)					
Kombinationen zwischen den Gruppen sind möglich													

Tabelle 5-1: Einteilung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580 [FRI10]

Der Einfluss der Fertigungsverfahren auf die Einfachheit/ Komplexität einer Baugruppe wird in der Tabelle 5-2 dargestellt. Durch die Anwendung der Integralbauweise wird die Anzahl der Bauteile von elf auf ein Bauteil minimiert. Durch ein alternatives Fertigungsverfahren ergeben sich nach EHRENSPIEL in diesem Beispiel eine Zeitersparnis von 61 % und eine mögliche Kostensenkung um 33 %.

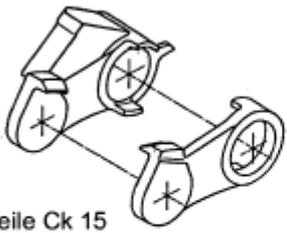
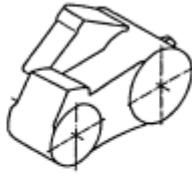
vorher: 2 Teile	nachher: 1 Teil																				
 <p>2 Schmiedeteile Ck 15</p>	 <p>1 Schmiedeteil 16 MnCr 5</p>																				
 <p>Fertigteil</p>	 <p>Fertigteil</p>																				
<p>Fertigungsablauf</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Beide Hälften vorbereiten 2. Schweißen 3. Richten 4. Mechanische Bearbeitung 5. Nachschweißen der Druckfläche 6. Mech. Bearb. nach dem Nachschweißen 7. Wärmebehandlung (Ck 15 schlecht) 8. Richten nach Wärmebehandlung 9. Mechanische Bearbeitung schleifen 	<p>Fertigungsablauf</p> <ol style="list-style-type: none"> - - - 1. Mechanische Bearbeitung - - 2. Wärmebehandlung (16 MnCr 5 gut) - 3. Mechanische Bearbeitung Schleifen 																				
<p>Kosten</p> <table> <tr> <td>Materialkosten</td> <td>15,- €</td> </tr> <tr> <td>Fertigungszeit/Stück: 161 min</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fertigungskosten</td> <td>320,- €</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><hr/></td> </tr> <tr> <td>Herstellkosten</td> <td>335,- € (100 %)</td> </tr> </table>	Materialkosten	15,- €	Fertigungszeit/Stück: 161 min		Fertigungskosten	320,- €	<hr/>		Herstellkosten	335,- € (100 %)	<p>Kosten</p> <table> <tr> <td>Materialkosten</td> <td>15,60 €</td> </tr> <tr> <td>Fertigungszeit/Stück: 106 min</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fertigungskosten</td> <td>210,- €</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><hr/></td> </tr> <tr> <td>Herstellkosten</td> <td>225,60 € (67 %)</td> </tr> </table>	Materialkosten	15,60 €	Fertigungszeit/Stück: 106 min		Fertigungskosten	210,- €	<hr/>		Herstellkosten	225,60 € (67 %)
Materialkosten	15,- €																				
Fertigungszeit/Stück: 161 min																					
Fertigungskosten	320,- €																				
<hr/>																					
Herstellkosten	335,- € (100 %)																				
Materialkosten	15,60 €																				
Fertigungszeit/Stück: 106 min																					
Fertigungskosten	210,- €																				
<hr/>																					
Herstellkosten	225,60 € (67 %)																				

Tabelle 5-2: Integralbauweise durch Gießverfahren [EKL07]

Auch für die Fertigung wurden Modelle definiert, die die Produktentstehung vollständig beschreiben können. Nach Abschluss der Konstruktion werden die Daten an die Arbeitsvorbereitung übergeben, die diese für den Produktionsprozess aufbereitet. Dabei entstehen weitere Modelle wie NC- und CNC-Modelle, die sich mit der Programmierung und Simulation der einzelnen Produktionsschritte beschäftigen, aber auch Fertigungsmodelle, welche die Werkzeugteile auf Grundlage der CAD-Daten generieren. Auch Produktionsprozessmodelle sowie

Kapazitätsplanungsmodelle, die den Fertigungsablauf und die dafür benötigten Kapazitäten an Ressourcen abbilden, sind in dieser Phase von Bedeutung. Abschließend entstehen Montage- modelle zur Darstellung der richtigen Reihenfolge des späteren Zusammenbaus.

In der Fertigung selbst finden Qualitätsanalysemodelle ihre Verwendung, um im Produktionsprozess funktionswichtige Produktkriterien wie beispielsweise die Einhaltung der Toleranzgrenzen sicherzustellen. Vor beziehungsweise nach der Endmontage begleiten Test- und Versuchsmodelle die Produktprüfung unter festgelegten Bedingungen. Diese dienen der Sicherstellung des einwandfreien Zustands des Produkts.

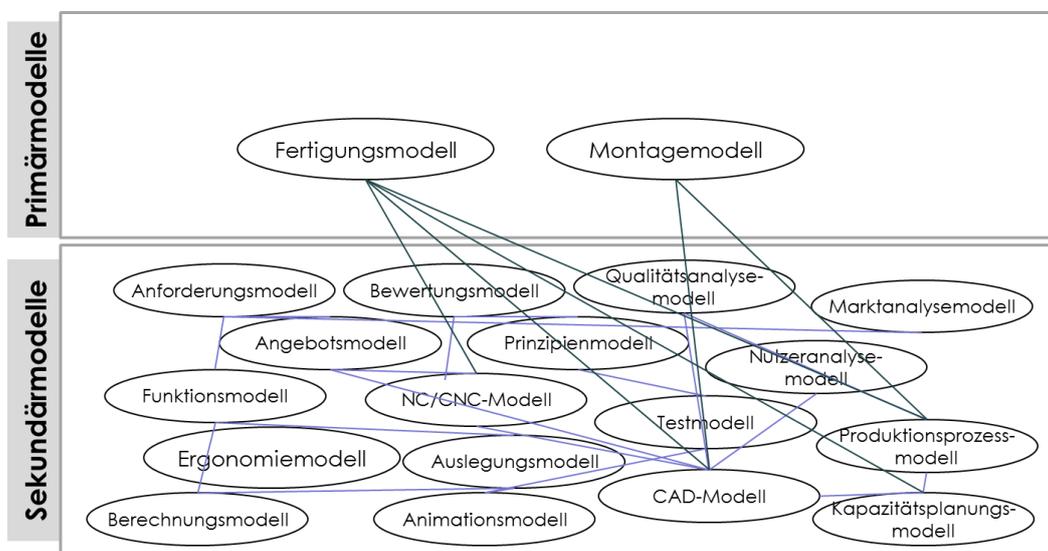


Abbildung 5-7: Partialmodelle in der Produktentstehung

Abbildung 5-7 stellt primäre und sekundäre Partialmodelle der Produktentstehung dar. Für die Erstellung von sekundären Partialmodellen der Produktentstehung sind allerdings weiterhin Informationen sekundärer Partialmodelle der Produktplanung notwendig. So kann beispielsweise das Produktionsplanungsmodell nicht ohne Informationen des CAD-Modells entstehen. In Abbildung 5-7 werden aufgrund der Übersichtlichkeit nicht alle Vernetzungen zwischen den verschiedenen Produktmodellen dargestellt.

Folgende primären und zusätzlich zur Produktplanung sekundären Partialmodelle werden für diese Phase ermittelt:

- **Montagemodell:** Fügende Fertigungsabläufe. Dabei handelt es sich dabei um ein primäres Partialmodell. Aufgrund dieses Modells wird die Kennzahl aufgrund der Anzahl aller fügenden Fertigungsprozesse ermittelt.
- **Kapazitätsplanungsmodell:** Bestand, Auslastung benötigter Kapazitäten. Es handelt es sich dabei um ein sekundäres Partialmodell. Es bildet die Grundlage für z.B. das Fertigungsmodell.

- Produktionsprozessmodell: Art, Anzahl und Reihenfolge der Fertigungsprozesse. Es handelt sich dabei um ein sekundäres Partialmodell. Es bildet die Grundlage für z.B. das Fertigungsmodell.
- Fertigungsmodell: Untermenge des Produktionsprozessmodells zu Fertigungsschritten (Art, Anzahl, Reihenfolge). Es handelt sich dabei um ein primäres Partialmodell. Aufgrund dieses Modells wird die Kennzahl aufgrund der Anzahl aller umformenden, umformenden beschichtenden, und eigenschaftsändernden Fertigungsprozesse ermittelt.
- NC/CNC-Simulation: Bearbeitungswerkzeuge, -schritte, -zeiten. Es handelt sich dabei um ein sekundäres Partialmodell. Es bildet die Grundlage für z.B. das Fertigungsmodell.
- NC/CNC-Programmierung: Programmiersprache, Steuerungsdaten, Bearbeitungsmaschine(n). Es handelt sich dabei um ein sekundäres Partialmodell. Es bildet die Grundlage für z.B. das Fertigungsmodell.
- Qualitätsanalysemodell: Möglichkeiten zur Qualitätssicherung. Es handelt sich dabei um ein sekundäres Partialmodell. Es bildet die Grundlage für z.B. das Fertigungsmodell.

Ähnlich wie in der Produktplanung sind in der Produktentstehung Modelle vorhanden, die aufeinander aufbauen. Das Fertigungsmodell und das Montagemodell benötigen als Input zur Bearbeitung die Ergebnisse der Produkts- und Kapazitätsplanung.

Bewertbare allgemeingültige Informationen aus der Produktentstehung sind aus dem Montagemodell und Fertigungsmodell zu entnehmen:

- Fertigungsmodell
- Montagemodell

Auslieferung und Nutzung:

Auslieferung und Nutzung beschreibt den Vertrieb eines Produktes, dessen Installation und Service sowie eventuelle notwendige Reparaturen beschrieben. Das Vertriebsmodell enthält Informationen, wo und an wen das Produkt vertrieben werden soll.

Das Übergabemodell beschreibt die Übergabemodalitäten vom Unternehmen zu Kunden.

In den Phasen der Inbetriebnahme, Nutzung und Instandhaltung werden weniger neue Modelle erzeugt, sondern vorher erzeugte Modelle angewendet.

- Nutzeranalysemodell: Art und Weise der Nutzeranalyse(n), betrachtete Nutzergruppen. Es handelt sich dabei um ein sekundäres Partialmodell. Es bildet die Grundlage für z.B. das Übergabemodell.
- Marktanalysemodell: Art und Weise der Marktanalyse(n), betrachtete Märkte. Es handelt sich dabei um ein sekundäres Partialmodell. Es bildet die Grundlage für z.B. das Übergabemodell.
- Übergabemodell: Übergabemodalitäten, Begleitpapiere/-daten. Es handelt sich dabei um ein primäres Partialmodell. Aufgrund dieses Modells wird die Kennzahl aufgrund der Anzahl der notwendigen Installationsvorgänge beim Kunden sowie die verwendeten Werkzeuge erarbeitet.
- Servicemodell: Reparaturmodell, Abwicklung von Reklamationen, Wartungen, Ersatzteilversorgung. Es handelt sich dabei um ein primäres Partialmodell. Aufgrund dieses Modells werden die Kennzahl aufgrund der Anzahl der Trenn- und Fügevorgänge sowie die verwendeten Werkzeuge für regelmäßige Servicearbeiten erarbeitet.
- Instandhaltungsmodell: Erfordernis/Möglichkeiten/Voraussetzungen zur Demontage/Austausch von Komponenten. Es handelt sich dabei um ein primäres Partialmodell. Aufgrund dieses Modells werden die Kennzahl aufgrund der Anzahl der Trenn- und Fügevorgänge sowie die verwendeten Werkzeuge für regelmäßige Reparaturvorgängen erarbeitet.

Recycling:

Der Abschnitt der Beseitigung befasst sich mit dem Prozess der Aufbereitung der Rohstoffe. Vor der Beseitigung muss einer Demontage des Produktes erfolgen.

- **Recyclinganalysemodell:** Recyclingfähigkeit, -aufwand, -prozesse. Es handelt sich dabei um ein primäres Partialmodell. Aufgrund dieses Modells werden die Kennzahl aufgrund der Anzahl der Trenn- und Fügevorgänge sowie die verwendeten Werkzeuge für regelmäßige Reparaturvorgängen erarbeitet.

Abbildung 5-8 stellt die Gesamtheit aller Modelle über den gesamten Produktlebenszyklus dar. Die Abbildung verdeutlicht, dass alle Partialmodelle sich gegenseitig beeinflussen.

Es sind nur ein Teil der Abhängigkeiten dargestellt. Wie bereits erläutert, wurden im Zuge dieser Arbeit Primärmodelle und Sekundärmodelle definiert.

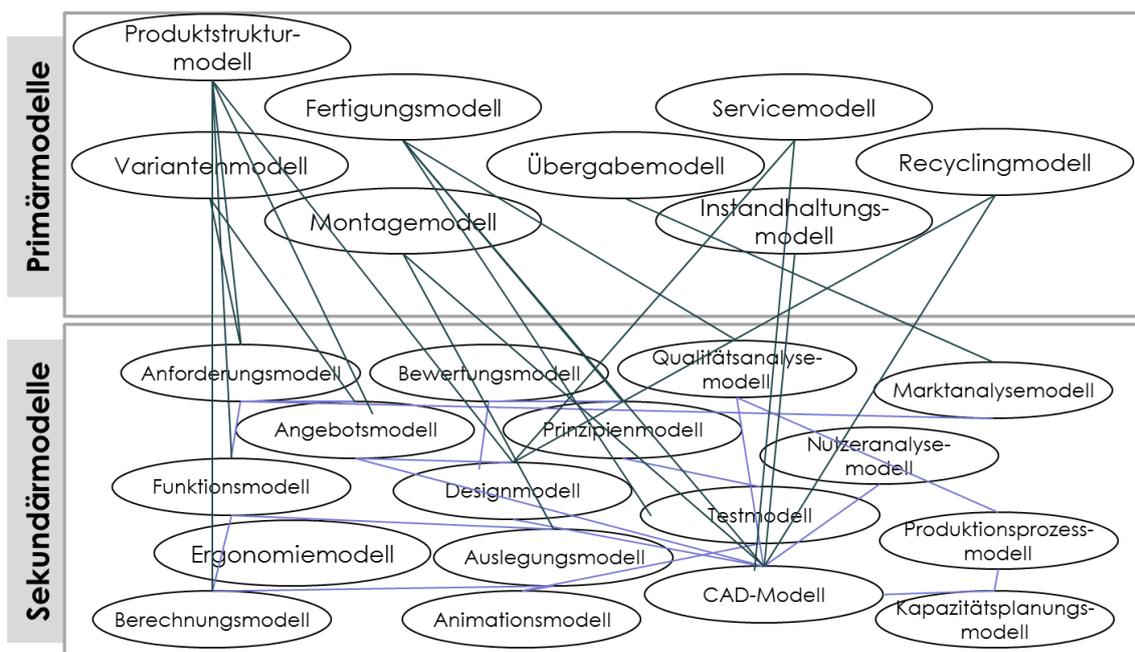


Abbildung 5-8: Partialmodelle im Produktlebenszyklus

5.2.1 Erarbeitung der Kennzahlen der Produktplanung

Im Folgenden werden anhand der primären Partialmodelle Kennzahlen definiert, die die Einfachheit bzw. Komplexität eines Produktes repräsentieren. Für einen Vergleich von verschiedenen Produkten bietet es sich an, die Faktoren durch eine minimale und maximale Ausprägung zu bestimmen.



Abbildung 5-9: Mögliche Ausprägung von Kennzahlen

Kennzahlen mit dem Wert 0 beschreiben ein einfaches Produkt, Kennzahlen mit dem Wert 1 beschreiben ein komplexes Produkt.

In der Phase der Konstruktion wird die Baugruppe definiert. Die Bewertung soll sehr einfach und vor allem allgemeingültig sein. Daher muss von der Bewertung verschiedener Produkteigenschaften abgesehen werden. Eigenschaften wie Größen, Farben, Materialien oder Oberflächen sind produktspezifisch. Für solche Eigenschaften kann keine allgemeingültige Kennzahl zwischen 0 und 1 definiert werden.

Eine weitere Möglichkeit zur Bewertung eines Produktes ist die Definition der Gestalt. In verschiedenen Arbeiten werden Verfahren zur Messung der Gestaltkomplexität vorgestellt [CAN11]. Dabei werden die Anzahl und die Arten der Flächen in Relation gestellt.

Allerdings ermöglichen moderne CAx-Werkzeuge einen einfachen Umgang mit mathematisch nur näherungsweise beschreibbaren Freiformflächen. Weiterhin sollte man sich die Frage stellen, ob die Beschreibung eines Bauteils bei einer Baugruppe von mehr als 1000 Bauteilen gewinnbringend ist oder den Entwicklungsprozess nur zusätzlich „aufbläht“ und erschwert.

Eine weitere allgemeingültige mögliche Bewertung kann aufgrund der Produktstruktur eines Produktes vorgenommen werden. Die Analyse der Produktstruktur ermöglicht eine Identifizierung der Normteile, Exklusivteile oder Gleichteile.

- Normteile und Zukaufteile sind Bauteile, die von dritten Anbietern erworben werden. Der Entwicklungsprozess der Bauteile findet nicht im eigenen Unternehmen statt.
- Exklusivteile sind Bauteile, welche in einer gesamten Baugruppe nur einmal angewendet werden. Die Entwicklung der dieser Teile erfolgt im Unternehmen.
- Gleichteile werden in einer Baugruppe mehrmals angewendet. Die Entwicklung der dieser Teile erfolgt im Unternehmen.

Eine Produktstruktur ist einfach, wenn die Anzahl aller Bauteile in Eigenverantwortung sehr gering ist. Damit wird mittels der Produktstruktur der Entwicklungsaufwand aller Bauteile bewertet. Für einfache Produkte soll das Ziel verfolgt werden, möglichst viele Normteile und möglichst wenig Exklusivteile zu verwenden.

Werden Bauteile in Eigenverantwortung verwendet, soll das Ziel verfolgt werden, sie möglichst häufig zu verwenden. Werden nur Normteile oder Zukaufteile verwendet, ist der Entwicklungsaufwand im Unternehmen gering und somit das Produkt einfacher. Hinzu kommt noch ein Faktor für die Anzahl aller Bauteile des Produktes. Die Komplexität eines Produktes steigt mit der Anzahl aller Bauteile. Eine einfache Möglichkeit ist ein prozentualer Faktor aufgrund einer definierten maximalen Bauteilanzahl eines Produktes. So kann z.B. als Annahme gelten, dass ein Produkt ab einer Bauteilanzahl = 100 als komplex gilt. Produkte mit weniger Elementen werden demzufolge prozentual abgewertet. Wird ein Produkt mit der Anzahl von 100 Komponenten und ein Produkt mit einer Anzahl von 20 Komponenten miteinander verglichen, so beträgt der prozentuale Anteil für das Produkt mit 100 Komponenten 1 und für das Produkt mit 20 Komponenten 0,2.

Der Faktor der Produktstruktur ergibt sich aufgrund der Gegenüberstellung der Anzahl der Gleichteile und Normteile mit der Summe aller verwendeten Bauteile eines Produktes inklusive der Multiplikation des prozentualen Faktors für die Anzahl aller Bauteile.

$$\frac{\text{Exklusivteil} + \text{Gleichteil}}{\text{Exklusivteil} + \text{Normteil} + \text{Gleichteil}} * \text{prozentualer Bauteilanzahl}$$

Eine weitere Kennzahl der Produktplanung ist eine Kennzahl für die Bestimmung der Variantenvielfalt. Sie beschreibt, welche Bauteile eines Produktes austauschbar sind bzw. austauschbar gestaltet werden müssen. Es werden also keine Komponenten hinzugefügt, sondern nur eins zu eins ausgetauscht.

Ein Fahrradrahmen wird zum Beispiel für die Abdeckung eines größeren Kundenkreises in mehreren Größen (z.B. S, L, XL) angeboten. Demzufolge muss der Rahmen in verschiedenen Größen dimensioniert und gefertigt werden. Der Aufwand für das herzustellende Unternehmen ist daher größer.

Ein weiteres Beispiel sind verschiedene Varianten von Autoradios. Für ein Fahrzeug werden zum Beispiel verschiedene Radiosysteme oder kombinierte Radio- Navigationssysteme angeboten. Diese verschiedenen Systeme ziehen einen eigenen Entwicklungszyklus nach sich und verursachen somit einen höheren Aufwand für das produzierende Unternehmen.

Weiterhin bedarf ein Produkt ohne unterschiedliche Varianten keine zusätzlichen Lagerkosten und keinen zusätzlichen Verwaltungsaufwand. Daher wirken sich zusätzliche Varianten eines Produktes negativ auf dessen Komplexität aus. Ähnlich der Produktstruktur wird bei der Bestimmung einer Kennzahl der Variantenvielfalt zwischen Exklusivteilen, Gleichteilen und Normteilen unterschieden. Die Kennzahl ergibt sich aus dem Verhältnis aller Varianten der Exklusivteile, aller Varianten der Gleichteile und der Summe aller Bauteile eines Produktes.

$$\frac{\text{Exklusivteil_Varianten} + \text{Gleichteil_Varianten}}{\text{Exklusivteil_Varianten} + \text{Normteil} + \text{Gleichteil_Varianten}}$$

5.2.2 Erarbeitung der Kennzahlen der Produktentstehung

Für die Produktentstehung wurden zwei primäre Partialmodelle ermittelt, welche die Einfachheit bzw. Komplexität eines Produktes beschreiben.

Beide Modelle beschreiben verschiedene Hauptgruppen der Fertigung. Das Montagemodell beschreibt die fügenden Hauptgruppen. Alle anderen Hauptgruppen werden durch das Fertigungsmodell beschrieben.

Auch für diese Modelle werden Kennzahlen aus dem Verhältnis der auszuführenden Schritte und der Anzahl aller Bauteile des Produktes gebildet.

Bei der Beschreibung der Montagekomplexität wird ein Verhältnis zwischen der Summe aller Bauteile und der Anzahl der Montagevorgänge gebildet. Ein Produkt ist in diesem Bereich am einfachsten, wenn es nicht montiert werden muss. Durch eine Erhöhung der Anzahl der Montagevorgänge sowie der Anzahl der eingesetzten Werkzeuge wird der Komplexitätsgrad eines Produktes erhöht. Es sind zusätzliche Betriebsmittel notwendig, zusätzliche Planungen und natürlich zusätzliche Mitarbeiter.

$$\frac{\text{Anzahl der Montagevorgänge} + \text{Anzahl der eingesetzten Werkzeuge}}{\text{Anzahl der Montagevorgänge} + \text{Anzahl der eingesetzten Werkzeuge} + \text{Anzahl der Bauteile}}$$

Für die Ermittlung einer Kennzahl für die Fertigungsverfahren wird ähnlich vorgegangen. Diese Kennzahl zeichnet durch ein Verhältnis zwischen Fertigungsverfahren, Bearbeitungsvorgängen und den Anzahl aller Bauteile des Produktes ermittelt. Zu den Fertigungsverfahren gehören alle Vorgänge der urformenden, umformenden und trennenden Hauptgruppe. Die Bearbeitung beschreibt Vorgänge der Hauptgruppen „Beschichten“ und „Stoffeigenschaft ändern“.

$$\frac{\text{Anzahl der Fertigungsverfahren} + \text{Anzahl der Bearbeitungsvorgänge}}{\text{Anzahl der Fertigungsverfahren} + \text{Anzahl der Bearbeitungsvorgänge} + \text{Anzahl der Bauteile}}$$

5.2.3 Erarbeitung der Kennzahlen der Auslieferung und Nutzung

Für die Auslieferung und Nutzung werden drei verschiedene Partialmodelle ermittelt, welche die Einfachheit bzw. Komplexität eines Produktes beschreiben. Dazu gehören das Übergabemodell, das Servicemodell und das Reparaturmodell. Die Übergabe beschreibt den Prozess der Installation des Produktes bis zum vollständigen Einsatz bzw. deren Nutzung. Das Reparaturmodell beschreibt notwendige Reparaturen eines Produktes während dessen Nutzung. Dazu zählen geplante Reparaturen und Austausch von Komponenten eines Produktes während der Nutzung. Ein Beispiel ist der geplante Wechsel des Zahnriemens eines Fahrzeuges alle 60.000 km Fahrtstrecke.

Das Servicemodell beschreibt notwendige geplante Servicearbeiten eines Produktes zum Erhalt der vollen Einsatzfähigkeit des Produktes. Ein Beispiel für das Servicemodell ist das Tauschen von Betriebsmitteln eines KFZs.

Die Übergabe misst den Aufwand für die Installation des Produktes beim Kunden. Ist eine Installation notwendig, steigt die Produktkomplexität. Ein Produkt sollte möglichst so gestaltet sein, dass eine Schulung oder der Installation sehr gering ausfallen sollte. Zur Ermittlung einer Kennzahl werden die Anzahl der Installationsvorgänge mit der Anzahl aller Bauteile in ein Verhältnis gesetzt:

$$\frac{\text{Anzahl der Installationsvorgänge} + \text{Anzahl der eingesetzten Werkzeuge}}{\text{Anzahl der Installationsvorgänge} + \text{Anzahl der eingesetzten Werkzeuge} + \text{Anzahl der Bauteile}}$$

Die Kennzahlen des Reparaturmodells und des Servicemodells werden ähnlich der Kennzahl der Fertigung und Montage ermittelt. Das liegt an ähnlich gearteten Prozessen in umgekehrter Reihenfolge ab. Es werden die Anzahl der Montage- und Demontageschritte mit der Anzahl aller Bauteile in ein Verhältnis gesetzt. Die Kennzahl des Reparaturmodells ermittelt sich aus dem folgenden Verhältnis:

$$\frac{\text{Anzahl der Montage-/Demontagevorgänge} + \text{Anzahl der eingesetzten Werkzeuge}}{\text{Anzahl der Demontagevorgänge} + \text{Anzahl der eingesetzten Werkzeuge} + \text{Anzahl der Bauteile}}$$

Die Kennzahl des Servicemodells ermittelt sich aus dem folgenden Verhältnis:

$$\frac{\text{Anzahl der Montage-/Demontagevorgänge} + \text{Anzahl der eingesetzten Werkzeuge}}{\text{Anzahl der Demontagevorgänge} + \text{Anzahl der eingesetzten Werkzeuge} + \text{Anzahl der Bauteile}}$$

5.2.4 Erarbeitung der Kennzahlen des Recyclings

Das Recycling ist die abschließende Phase des Produktlebenszyklus, die sich mit der Entsorgung, Demontage des Produktes sowie der der Rückgewinnung von Rohstoffen und ihre Weiterverarbeitung zu neuen Produkten beschäftigt. Eine mögliche Kennzahl für die Einfachheit/Komplexität der Beseitigung wird ermittelt aus dem Verhältnis der Anzahl der notwendigen Demontagevorgänge und der Anzahl aller Bauteile:

$$\frac{\text{Anzahl der Demontagevorgänge} + \text{Anzahl der eingesetzten Werkzeuge}}{\text{Anzahl der Demontagevorgänge} + \text{Anzahl der eingesetzten Werkzeuge} + \text{Anzahl der Bauteile}}$$

5.3 Bewertung des Produktrisikos

Nach der Erarbeitung der Faktoren der Produktkomplexität beschreibt dieser Abschnitt die Grundlagen des Risikos sowie das daraus resultierende Produktrisiko.



Abbildung 5-10: Ermittlung des Produktrisikos

Dieser Abschnitt dient zur Darlegung der theoretischen Grundlagen zur Ermittlung des Gesamtrisikos. Weiterhin wird auf mögliche Teilrisiken eines Produktabschnitts sowie die auf die Ermittlung des Gesamtrisikos eingegangen.

5.3.1 Ermittlung des Produktrisikos

In dieser Arbeit wird eine Bewertung angestrebt, die es ermöglicht, verschiedene Produkte miteinander zu vergleichen. Daher muss ähnlich der Bewertung der Einfachheit oder Kom-

plexität eines Produktes auch eine Bestimmung des Risikos innerhalb definierter Grenzen erfolgen. Es sollte demzufolge ein möglicher Maximalwert des Risikos nicht überschritten werden. Weiterhin sollte die Ermittlung eines Risikos möglichst objektiv erfolgen können. Die bisherige Ermittlung einer Risikokennzahl in vier verschiedenen Abstufungen (Kapitel 4.8.2) erlaubt ein subjektives Bewerten aufgrund des Abschätzens der Schadenshöhe und der Eintrittswahrscheinlichkeit.

Daher werden für die Ermittlung andere Kennzahlen herangezogen. Die Schwere eines möglichen Schadens kann prozentual am Gesamtbudget gemessen werden. Die Bestimmung der Schwere des Schadens kann auf Erfahrungen vorangegangener Projekte basieren. Die Eintrittswahrscheinlichkeit eines möglichen Schadens kann ebenfalls prozentual aufgrund eines möglichen Gesamtvolumens des Projektes ermittelt werden. Auch hier können die Erfahrungen und Ergebnisse von Vorgängerprojekten verwendet werden. Als Beispiel soll hier die Fertigung von Verzahnungen dienen. Die Herstellung von verzahnten Zapfen (z. B. das Walzen und das anschließende Einsatzhärten oder Induktionshärten) ist sehr von den Materialchargen abhängig. Für das Erreichen von Toleranzen bei Verzahnungen müssen aufgrund des Härtens der Schwund von Materialien und mögliche Verformungen vorgehalten werden. Diese Werte können aufgrund verschiedener Materialchargen schwanken, da auch der Kohlenstoffgehalt eines Stahls nie identisch ist. Aufgrund der schwer zu bestimmenden Randbedingungen muss bei jedem Chargenwechsel das Ergebnis neu überprüft und gegeben falls die Walzmaschine neu justiert werden. Somit ist bei diesem Herstellungsprozess mit einem gewissen Ausschuss zu rechnen. Aufgrund des Ausschusses kann die Eintrittswahrscheinlichkeit anhand der Gesamtmenge berechnet werden. Der somit entstehende Schaden kann ebenfalls prozentual am Gesamtbudget ermittelt werden.

Da sowohl die Eintrittswahrscheinlichkeit als auch die Schadenshöhe prozentual am Gesamtergebnis gemessen wird, kann die Risikokennzahl nie einen Wert größer als eins annehmen.

Als Ergebnis ergibt sich gleich der Produktkomplexität mit dem Wert von kleiner gleich eins auch ein Wert für die Risikokomplexität von kleiner gleich eins.

Das oben aufgeführte Beispiel ist aufgrund der Produktart sehr speziell und nicht für alle Produkte gültig.

Daher kann vorab keine Liste von möglichen Risiken definiert werden, welche für alle Produkte allgemeingültig sind. Die Risiken müssen für jedes Produkt oder zumindest für jede Produktart neu definiert werden, können allerdings über mehrere Produktzyklen verwendet werden. Die Anzahl der ermittelten Einzelrisiken ist nicht fix und kann aufgrund des Produktes variieren. Es sollte allerdings das Ziel verfolgt werden, für jede Phase des Produktlebenszyklus das Gesamtrisiko zu ermitteln.

5.3.2 Ermittlung des Gesamtrisikos

Das Produktrisiko ist eine Gesamtheit mehrerer Einzelrisiken. Für das Gesamtverständnis werden in diesem Abschnitt Grundlagen für die Ermittlung des Gesamtrisikos beschrieben.

Das Gesamtrisiko sollte bei voneinander abhängigen Einzelrisiken nicht durch eine einfache Addition oder durch die Bildung eines Mittelwertes ermittelt werden. Dies ist begründet aufgrund der aus dem Risiko zu ermittelnden Daten [GLE04]:

- Gesamtrisikoumfang (z. B. risikobedingte „Streuungsbreite“ des Gewinns)
- Eigenkapitalbedarf (auch getrennt nach Geschäftseinheiten)
- (risikoabhängiger) Kapitalkostensatz
- Beurteilung der Planungssicherheit

Bei einer einfachen Summierung der Risiken wird aufgrund der fehlenden Betrachtung der Eintrittswahrscheinlichkeiten das Gesamtrisiko zu hoch eingeschätzt. Damit wird immer der schlimmste eintretende Fall (Worst-Case) ermittelt. Der damit verbundene ermittelte Eigenkapitalbedarf ist ebenfalls zu hoch und lässt damit weniger Möglichkeiten für notwendige Investitionen des Unternehmens.

Aufgrund dessen werden für die Ermittlung des Gesamtrisikos alle voneinander abhängige Risiken miteinander aggregiert. Ein dafür häufig eingesetztes Verfahren ist die Monte-Carlo-Simulation. Dieses ist ein Verfahren, welches eine approximierete Lösung aufgrund von vielen Simulationen mit verwendeten Zufallszahlen liefert.

Mit Hilfe dieses Verfahrens werden aufgrund von Zufallszahlen verschieden Szenarien der Risiken mehrere tausend Mal mit unterschiedlichen Ausprägungen durchgespielt. Die Ausprägungen werden dabei zufällig innerhalb ihrer Grenzen erzeugt.

Der prinzipielle Ablauf der Simulation ist wie folgt beschrieben:

- Erzeugen der für die Simulation notwendigen Zufallszahlen
- Umwandeln der Zufallszahlen in eine benötigte Verteilung (Normalverteilung, Binomialverteilung, inklusive der Eintrittswahrscheinlichkeit und der Schadenshöhe)
- Ausführen der Simulation
- Auswerten der Simulation

Ein Anwendungsbeispiel ist in Abbildung 5-11 dargestellt.

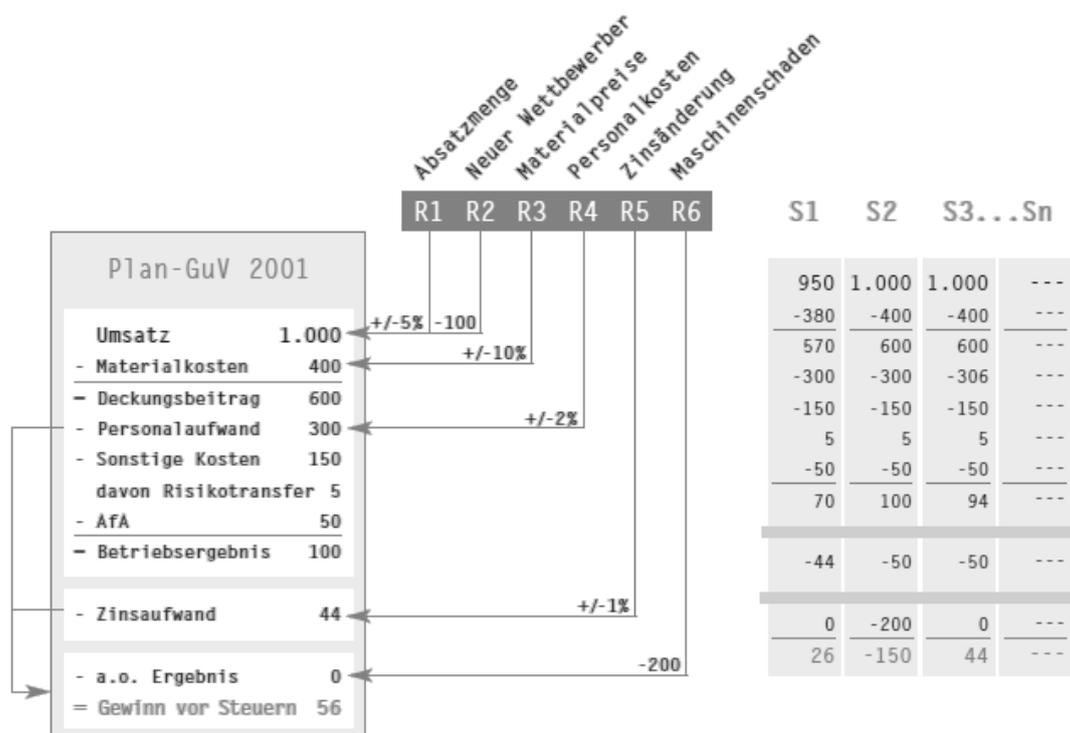


Abbildung 5-11: Beispiel einer Risikoaggregation [GLB07]

Dieses Beispiel stellt die Gewinn- und Verlustrechnung (GuV) für ein fiktives Unternehmen dar. Das Unternehmen rechnet mit einem Umsatz sowie den geplanten Kosten. Der sich daraus ergebende Gewinn soll als Zielwert nach der Aggregation weiter verwendet werden. Die anlaufenden Kosten unterliegen einer Eintrittswahrscheinlichkeit, welche pro Geschäftseinheit zufällig erzeugt werden. Die Ergebnisse der ersten drei Simulationen (S1, S2, S3) errechnen den Gewinn pro Geschäftseinheit. Jeder Simulationsdurchlauf wird durch eine andere Kombination geprägt. Das Ergebnis bei einer ausreichenden Anzahl an Simulationen ist eine Verteilungsfunktion des Gewinns (Abbildung 5-12).

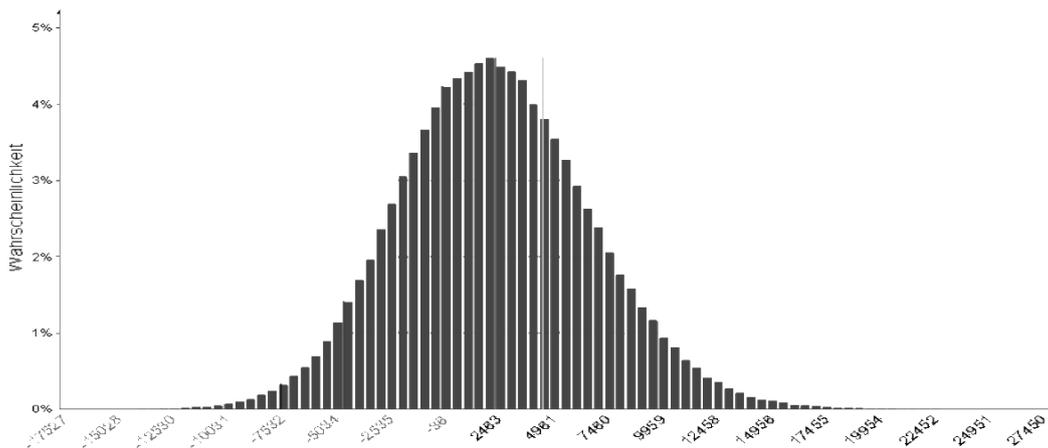


Abbildung 5-12: Gewinnverteilung [GLB07]

Das gleiche Prinzip soll ebenfalls zur Ermittlung der Einfachheit bzw. der Komplexität von Produkten angewendet werden. Die Einzelrisiken werden durch eine Eintrittswahrscheinlichkeit und einer Schadenshöhe beschrieben. Sie werden für jedes Partialmodell ermittelt und abgeschätzt. Die Aggregation erfolgt für die einzelnen Produktabschnitte. Das Gesamtrisiko wird aufgrund der Unabhängigkeit der Phasen untereinander durch einen Mittelwert der aggregierten Gesamtrisiken ermittelt.



Abbildung 5-13: Risikoaggregation

5.3.3 Beispiel einer Risikoaggregation

Die Risikoaggregation wird an einem einfachen Beispiel verdeutlicht. Für die Phase der Produktentstehung werden drei verschiedene Einzelrisiken identifiziert:

- Ausfall von Mitarbeitern
- Ausfall von Fertigungsanlagen
- Ausfall von Zulieferern

Da alle Einzelrisiken in einer Phase des Produktlebenszyklus auftreten können, sollten sie miteinander aggregiert werden. Eintrittswahrscheinlichkeiten und Schadensausmaße (Beispiele) sind in Tabelle 5-3 zusammengefasst.

Tabelle 5-3: Eintrittswahrscheinlichkeiten und Schadensausmaße der Einzelrisiken

Ausfall eines Mitarbeiters	Eintrittswahrscheinlichkeit	0,05
	Schadensausmaß	0,05
Ausfall der Fertigungsanlage	Eintrittswahrscheinlichkeit	0,03
	Schadensausmaß	0,1
Ausfall von Zulieferern	Eintrittswahrscheinlichkeit	0,02
	Schadensausmaß	0,2

Bei den angegebenen Werten der Eintrittswahrscheinlichkeiten und Schadensausmaße handelt es sich um prozentuale Faktoren. Der Ausfall eines Mitarbeiters tritt mit einer Wahrscheinlichkeit von 5 % ein (Eintrittswahrscheinlichkeit = 0,05). Das Schadensausmaß für den Eintritt des Risikos beträgt in diesem Beispiel ebenfalls 5 % vom Gesamtbudget des Projektes. Demzufolge ergibt sich eine Risikokennzahl für das Einzelrisiko von 0,0025 (Abschnitt 4.8.2):

$$R = W * A$$

R = Risikokennzahl,

W = Eintrittswahrscheinlichkeit/erwartete Häufigkeit,

A = Ausmaß (Schadenspotential).

Für die Ermittlung der Gesamtkomplexität werden alle Risiken miteinander aggregiert. Dieses Verfahren ermittelt eine approximierete Lösung aufgrund einer definierten Anzahl von Simulationen. Für jedes Einzelrisiko wird eine Zufallszahl im Bereich von 0 bis 1 ermittelt. Anhand

dieser Zufallszahl wird eine Entscheidung getroffen, ob das Einzelrisiko eintritt oder nicht. Bei einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 0,05 (5 %) muss der Wert der Zufallszahl kleiner als 0,05 sein.

Tritt das Risiko ein, ist demzufolge auch ein Schaden (Höhe des Schadensausmaßes) zu erwarten. In Tabelle 5-4 ist ein Auszug aller 50.000 Simulationen dargestellt. Die Anzahl der Simulationen sind frei wählbar. Es ist mit einer besseren Ergebnisgüte zu rechnen, wenn die Anzahl der Simulationen erhöht wird.

Tabelle 5-4: Auszug einer Risikoaggregation

Anzahl der Simulation	Schadensausmaß	eingetretenes Risiko
11048	0,05	1,
11049	0,00	
11050	0,00	
11051	0,00	
11052	0,00	
11053	0,00	
11054	0,00	
11055	0,00	
11056	0,00	
11057	0,00	
11058	0,15	1,2
Anzahl der Schadensfälle:		5294
Durchschnitt der Schadenshöhe:		0,106

Bei dem Simulationslauf 11.048 ist das Einzelrisiko 1 (Ausfall eines Mitarbeiters) eingetreten und führt zu einem Schaden von 5 % des Gesamtbudgets. Bei den Simulationsläufen 11.049 bis 11.057 ist keines der aufgeführten Risiken eingetreten. Bei dem Simulationslauf 11.058 sind zwei Risiken (Ausfall eines Mitarbeiters und Ausfall des Zulieferers) eingetreten. Beide Risiken führen zu einem Schadensausmaß von 15 % des Gesamtbudgets.

Nach dem Ablauf aller 50.000 Simulationen wird ermittelt, bei wieviel Simulationen eines oder mehrere Einzelrisiken eingetreten sind. In diesem Fall sind bei 5.294 Simulationen (ca. 11 %) Risiken eingetreten. Anhand der Anzahl der Schadensfälle kann eine durchschnittliche

Schadenshöhe, in diesem Beispiel 10,6 % des Gesamtbudgets, ermittelt werden. Die durchschnittliche Schadenshöhe berechnet sich aus der Division der Summe aller Schadenshöhen über 50.000 Simulationsläufe und der Anzahl aller Simulationen, bei den ein oder mehrere Risiken eingetreten sind.

Letztendlich berechnet sich die Risikokennzahl für die Aggregation aus dem Produkt der durchschnittlichen Schadenshöhe und der Eintrittswahrscheinlichkeit.

In diesem Beispiel ist die Risikokennzahl $0,106 * 0,15 = 0,0159$. Bei einer reinen Addition der Einzelrisiken ergibt sich eine Risikokennzahl von 0,0245 (Summe aller Eintrittswahrscheinlichkeiten * Summe aller Schadensausmaße). Diese Risikokennzahl bildet den „Worst-Case“ ab, ist aber aufgrund der niedrigen Eintrittswahrscheinlichkeit von 0,003 % zu vernachlässigen.

5.4 Ergebnisdarstellung der Komplexität

Im Folgenden müssen die Ergebnisse der Produktkomplexität und des Risikos (Risikokomplexität) zusammengetragen und dem Anwender zum Beispiel grafisch zur Verfügung gestellt werden. Beide ermittelten Komplexitäten sollen dabei aufgrund verschieden möglicher Maßnahmen separat dargestellt werden. Dafür bietet sich ein Portfolio mit der Abbildung der Produktkomplexität auf der Ordinatenachse (y-Achse) und der Risikokomplexität auf der Abszissenachse (x-Achse) an.

Beide Bereiche erreichen einen Maximalwert von eins und einen Minimalwert von null. Abbildung 5-14 stellt dieses Diagramm dar.

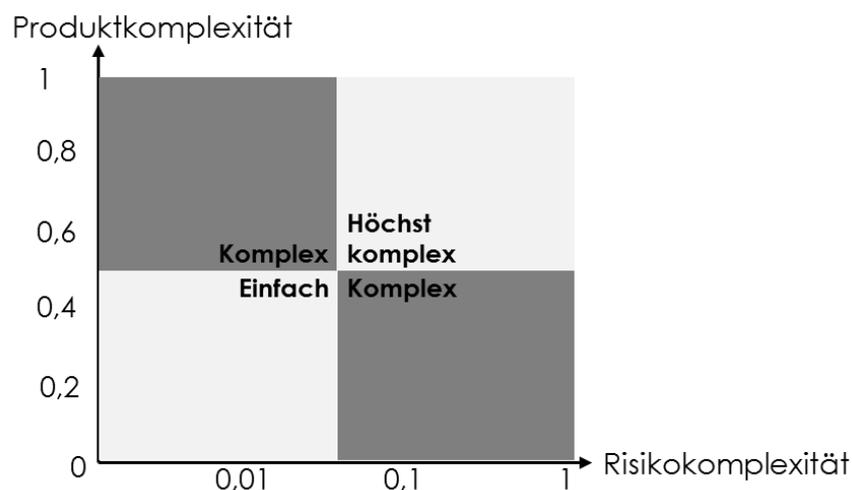


Abbildung 5-14: Darstellung der Komplexität eines Produktes

Dem Diagramm sind zwei Besonderheiten zu entnehmen. Zum einem werden Bereiche für die Gesamtbeschreibung der Einfachheit bzw. Komplexität eines Produktes vorgesehen und zum anderen wird das Risiko auf eine logarithmischen Achse dargestellt.

Ziel eines jeden Produktentwicklers oder Projektmanagers ist es, das Risiko zu minimieren. Aber auch gewisse Restrisiken müssen im Diagramm darstellbar und ablesbar sein. Aufgrund der sehr kleinen zu erwartenden Risikokennzahl wird für die Ordinatenachse eine logarithmische Einteilung gewählt. Die Einteilung der Einfachheit bzw. Komplexität eines Produktes wurde in der Abbildung 5-14 gleichverteilt.

Als Ergebnis sind dem Diagramm nach der Bewertung folgende Informationen zu entnehmen:

- Einfache Produkte sind in diesem Fall Produkte mit einer Risikokomplexität von kleiner als 0,1 und einer Produktkomplexität von kleiner als 0,5.
- Komplexe Produkte sind in diesem Fall Produkte mit einer Risikokomplexität zwischen 0,1 und 1 und einer Produktkomplexität zwischen 0 und 0,5.
- Komplexe Produkte lassen sich weiterhin mit einer Risikokomplexität zwischen 0 und 0,1 und einer Produktkomplexität zwischen 0,5 und 1 beschreiben.
- Höchst komplexe Produkte lassen mit einer Risikokomplexität zwischen 0,1 und 1 und einer Produktkomplexität zwischen 0,5 und 1 beschreiben.

Die Einteilung kann vom Anwender auch beliebig angepasst werden. Die Beschreibung und die Kennzeichnung von Produktkomplexitäten können aufgrund der Produktart und der vorhandenen Werkzeuge und Methoden für den Anwender subjektiv unterschiedlich sein. Auf eine Einordnung der Kompliziertheit, ähnlich der Systemdefinition, wird in dieser Arbeit verzichtet.

5.5 Technische Umsetzung der Bewertung

Dieses Kapitel dient zur Darstellung der technischen Umsetzung aller bisher aufgeführten Vorüberlegungen. Für die Umsetzung der Bewertungsvorlage wurde die Software Microsoft Excel ausgewählt.

Dieses Werkzeug ermöglicht umfangreiche Berechnungen mit Formeln und Funktionen sowie das Arbeiten mit Makros. Diese ermöglichen dem Anwender eine schnelle Ausgabe der Ergebnisse aufgrund seiner Eingaben. Aufgrund der weiten Verbreitung der Software in vielen Unternehmen fallen bei der Benutzung keine zusätzlichen Lizenzkosten oder ähnliches an.

Die Gesamtkomplexität ergibt sich aus dem Produktrisiko und der Produktkomplexität. Die letztere ergibt sich aufgrund der Berechnung der bereits beschriebenen Faktoren der vier Produktlebenszyklusphasen. Derzeit sind alle Kennzahlen gleichstark gewichtet. Eine Gewichtung der Kennzahlen untereinander sollte auf jeden Fall gewährleistet werden. Eine allgemeingültige Gewichtung kann aufgrund der großen Produktvielfalt nicht empfohlen werden. Daher sollte eine Gewichtung der Faktoren durch den Anwender nachträglich möglich werden. Das arithmetische Mittel (ohne Gewichtung) ergibt sich auf der Verknüpfungen der Zellen mit Formeln und Regeln (Bordwerkzeuge von MS Excel).

Die Risikoaggregation ist nicht mit einfach Regeln oder Formeln zu realisieren. Im Rahmen dieser Arbeit wird die Simulation durch Makros ausgeführt. Als Alternative ist der Erwerb von Add-Ins für Vorhersagemodellierung, Prognoseerstellung, Simulation und Optimierung möglich. Solch eine Lösung wird zum Beispiel von Oracle Crystal Ball vertrieben. Ein Add-In ist ein „Zusatzprogramm“, welche das eigentliche Werkzeuge (MS Excel) um weitere Zusatzfunktionen erweitern. Aufgrund hoher Lizenzkosten wurde auf den Erwerb verzichtet.

Das erstellte Marko führt folgende Funktionen aus:

- Definition der Variablen und deren Werte (Auslesen von für das das Makro notwendigen Informationen, wie zum Beispiel die Anzahl der Simulationen oder die Anzahl der zu aggregierenden Teilrisiken)
- Löschen der letzten Simulation
- Startwert der Zufallsvariablen initialisieren (Erzeugen eines Zufallswertes zwischen 0 und 1)
- Abgleichen des Zufallswertes mit den vorgegebenen Wahrscheinlichkeiten
- Wiederholung des Vorgangs für alle Teilrisiken

- Dokumentation der Ergebnisse für diese Simulation
- Wiederholung der Simulationen aufgrund der Definition der Variablen
- Berechnung des Gesamtrisikos nach Abschluss aller durchlaufenden Simulationen

Als Ergebnis liegen die Produktkomplexität und die aggregierten Gesamtrisiken der Produktlebensphasen vor. Diese Teileergebnisse können in das vorgestellte Diagramm (Kapitel Darstellung der Ergebnisse) eingetragen und anschließend interpretiert werden.

6. Beispielhafte Umsetzung der Bewertung

In diesem Abschnitt wird die Bestimmung der Kennzahlen zur Definition eines einfachen oder komplexen Produktes beispielhaft umgesetzt. Dabei werden die Beispiele aus Abschnitt 0 verwendet. Für die Bewertung des Flaschenöffners, des Getriebes und des Fahrrads werden die bereits analysierten Informationen verwendet und diese erweitert.

6.1 Produktkomplexität

Für die Definition der Kennzahlen zur Ermittlung der Produktkomplexität müssen die bereits ermittelten Informationen weiter spezifiziert werden. Nach Abschnitt 5.2 werden alle Bauteile nach Gleichteil, Normteil und Exklusivteil unterschieden. Weiterhin muss ermittelt werden, welcher der verwendeten Komponenten als Variantenteil auftreten kann. für die Produktentstehung und der Produktnutzung müssen die Informationen aller Fertigungsvorgänge und Montagevorgänge ermittelt werden.

In der Tabelle 6-1 und der Tabelle 6-2 sind die Informationen für den Flaschenöffner zusammengefasst.

Tabelle 6-1: Informationen des Flaschenöffners I

				Variantenmodell		
	Gleichteil	Normteil	Exklusivteil	Anzahl der Bauteile ohne Varianten	Anzahl der Normteile in Varianten	Anzahl der Exklusivteile in Varianten
Grundkörper	-	-	1	1	-	-

Tabelle 6-2: Informationen des Flaschenöffners II

	Fertigungsmodell				Montagemodell	
	Fertigungsvorgänge				Montage	
	Fertigung	Fertigung	Bearbeitung	Bearbeitung	Montage	Werkzeuge
Grundkörper	Umformen	Schleifen	Polieren		0	0

Der Flaschenöffner besteht aus einer Komponente, die nach dem Umformen noch geschliffen und poliert werden muss. Eine Montage dieses Produktes ist nicht notwendig. Die Komponente wird vom Unternehmen „Flaschenöffner“ selbst gefertigt. Somit ist die Komponente ein Exklusivteil.

Das zweite Produkt ist ein zweistufiges Getriebe. Das Getriebe ist von zwei unterschiedlichen Gehäusehälften umschlossen. Beide Gehäusehälften werden von einem Lieferanten vollständig gefertigt angeliefert. Somit handelt es sich bei diesen Bauteilen um Normteile. Dadurch ist eine Betrachtung der Gusswerkzeuge für die Komplexität dieses Produktes nicht relevant. Antriebswelle, Ritzelwelle und Abtriebswelle werden im Unternehmen „Getriebe“ als Rohling bestellt und intern endbearbeitet.

Alle anderen Bauteile wie Zahnräder, Kugellager, Distanzhülsen, Sicherungsringe und Schrauben sind Zukaufteile. Deren Fertigungsvorgänge spielen für diese Bewertung ebenfalls keine Rolle. Die Montage der gesamten Baugruppe erfolgt im Unternehmen „Getriebe“.

Tabelle 6-3: Informationen des Getriebes I

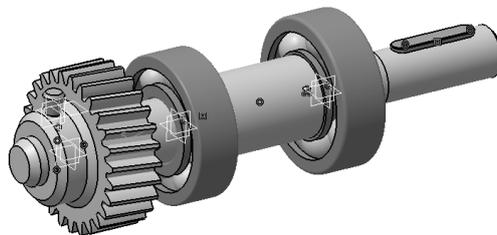
	Produktstrukturmodell				Variantenmodell		
	Anzahl	Gleichteil	Normteil	Exklusivteil	Anzahl der Bauteile ohne Varianten	Anzahl der Normteile in Varianten	Anzahl der Exklusivteile in Varianten
Gehäuse Abtriebsseite	1	-	1	-	1	-	-
Gehäuse Antriebsseite	1	-	1	-	1	-	-
Antriebswelle	1	-	-	1	1	-	-
Abtriebswelle	1	-	-	1	1	-	-
Ritzelwelle	1	-	-	1	1	-	-
Zahnrad	3	-	3	-	3	-	-
Kugellager	6	-	6	-	6	-	-
Sicherungsstift	1	-	1	-	1	-	-
Passfeder	2	-	2	-	2	-	-
Dichtung	1	-	1	-	1	-	-
Sicherungsring	4	-	4	-	4	-	-
Radialwellendichtring	2	-	2	-	2	-	-
Schrauben	8	-	8	-	8	-	-
Unterlegscheiben	8	-	8	-	8	-	-
Zentrierstifte	2	-	2	-	2	-	-
Distanzhülsen	2	-	2	-	2	-	-
Summe	44	0	41	3	44	0	0

Das Unternehmen „Getriebe“ fertigt eine Variante des Getriebes. Somit sind für dieses Produkt keine Komponenten in Varianten notwendig. Als Normteile werden alle Komponenten gezählt, die nicht vom Unternehmen „Getriebe“ gefertigt werden.

Tabelle 6-4: Informationen des Getriebes II

	Anzahl	Fertigungsmodell				Montagemodell	
		Fertigungsvorgänge				Montage	
		Fertigung	Fertigung	Fertigung	Fertigung	Montage	Werkzeuge
Gehäuse Abtriebsseite	1	-	-	-	-	27	8
Gehäuse Antriebsseite	1	-	-	-	-	5	7
Antriebswelle	1	-	Vordrehen	Nachdrehen	Fräsen	7	2
Abtriebswelle	1	-	Vordrehen	Nachdrehen	Fräsen	5	2
Ritzelwelle	1	Umformen	Vordrehen	Nachdrehen	Fräsen	5	0
Zahnrad	3	-	-	-	-	0	0
Kugellager	6	-	-	-	-	0	0
Sicherungsstift	1	-	-	-	-	0	0
Passfeder	2	-	-	-	-	0	0
Dichtung	1	-	-	-	-	0	0
Sicherungsring	4	-	-	-	-	0	0
Radialwellendichtring	2	-	-	-	-	0	0
Schrauben	8	-	-	-	-	0	0
Unterlegscheiben	8	-	-	-	-	0	0
Zentrierstifte	2	-	-	-	-	0	0
Distanzhülsen	2	-	-	-	-	0	0
Summe	44	-	0	0	0	49	19

Anhand der Subbaugruppe „Antriebswelle“ soll die Ermittlung der Anzahl der Montageschritte und der benötigten Werkzeuge dargestellt werden.

**Abbildung 6-1:** Baugruppe Antriebswelle [HAR09]

Die Subbaugruppe (Abbildung 6-1) besteht insgesamt aus acht Komponenten:

- Antriebswelle
- Kugellager (2 Stück)
- Distanzring
- Passfeder
- Zahnrad
- Sicherungsstift
- Sicherungsklemme für den Sicherungsstift

Für diese Baugruppe sind insgesamt sieben Montageschritte notwendig.

- Fügen der beiden Kugellager und der Antriebswelle mit einer Presse (2 Montageschritte; 1 Werkzeug)
- Fügen des Distanzrings
- Fügen der Passfeder
- Fügen des Zahnrads
- Fügen des Sicherungsrings
- Fügen der Sicherungsklemme und Fixierung der Klemme mit einer Zange

Für diese Montageschritte sind zwei Werkzeuge notwendig. Insgesamt besteht das Getriebe aus folgenden Subbaugruppen:

- Antriebswelle (1)
- Gehäuse_Abtrieb (2)
- Abtriebswelle (3)
- Gehäuse_Antrieb (4)
- Ritzelwelle (5)

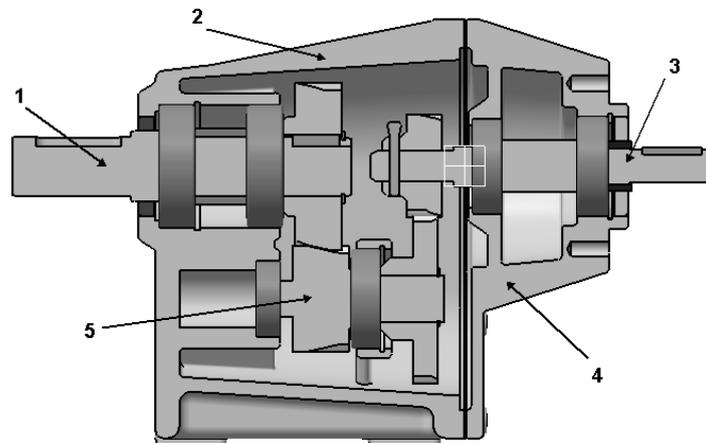


Abbildung 6-2: Gesamtbaugruppe Getriebe [HAR09]

Der gesamte Zusammenbau des Getriebes ist in Abbildung 6-2 dargestellt. Die Ermittlung aller Montageschritte und notwendigen Werkzeuge erfolgt für jede Subbaugruppe und dem Fügen zu einer Gesamtbaugruppe.

Bei dem dritten Produkt handelt es sich um ein Fahrrad. Für den Vergleich der Produkte wird ein Crossbike ohne zusätzliche Anbauten wie Lichtelemente, Schutzbleche oder Gepäckträger verwendet. Das Fahrrad besteht aus vielen Zukaufteilen (Normteilen). Der Rahmen des Fahrrades wird im Unternehmen „Fahrrad“ angefertigt. Der Rahmen wird in drei verschiedenen Größen angeboten. Demzufolge ergeben sich aufgrund der Größen mehrere Varianten der Rahmenbauteile. Es handelt sich dabei weiterhin um Exklusivteile, da jede der Komponente nur einmal pro Produkt verwendet wird.

Tabelle 6-5: Informationen des Fahrrads I

	Produktstrukturmodell				Variantenmodell		
	Anzahl	Gleichteil	Normteil	Exklusivteil	Anzahl der Bauteile ohne Varianten	Anzahl der Normteile in Varianten	Anzahl der Exklusivteile in Varianten
Oberrohr	1	-	-	1	-	-	3
Unterrohr	1	-	-	1	-	-	3
Sitzrohr	1	-	-	1	-	-	3
Sitzstrebe	2	2	-	-	-	-	6
Kettenstrebe	2	2	-	-	-	-	6
Steuerrrohr	1	-	-	1	-	-	3
Sattel	1	-	1	-	-	3	-
Sattelstütze	1	-	1	-	1	-	-
Lenker	1	-	1	-	1	-	-
Vorbau	1	-	1	-	1	-	-
Steuersatz	1	-	1	-	1	-	-
Gabel	1	-	1	-	-	3	-
Rad montiert	2	-	2	-	2	-	-
Schlauch	2	-	2	-	2	-	-
Reifen	2	-	2	-	2	-	-
Pedal	2	-	2	-	2	6	-
Pedalkurbel	2	-	2	-	2	-	-
Innenlager	1	-	1	-	1	-	-
Umwerfer	1	-	1	-	1	-	-
Kette	1	-	1	-	1	-	-
Kassete	1	-	1	-	1	-	-
Schaltwerk	1	-	1	-	1	-	-
Schaltseil	2	-	2	-	2	-	-
Bremshebel	2	-	2	-	2	-	-
Bremsbacke	4	-	4	-	4	-	-
Bremshalterung	2	-	2	-	2	-	-
Bremsseil	2	-	2	-	2	-	-
Mutter	19	-	19	-	19	-	-
Schraube	19	-	19	-	19	-	-
Summe	79	4	71	4	69	12	24

Die Ermittlung aller weiteren Kennzahlen für die Produktentstehung, der Produktnutzung und des Recyclings erfolgt analog zu dem Getriebe.

Tabelle 6-6: Informationen des Fahrrads II

	Anzahl	Fertigungsmodell				Montagemodell	
		Fertigungsvorgänge	Fertigung	Bearbeitung	Bearbeitung	Montage	Werkzeuge
Oberrohr	1	Schneiden	schweißen	schleifen	lackieren	25	4
Unterrohr	1	Schneiden	schweißen	schleifen	lackieren	0	0
Sitzrohr	1	Schneiden	schweißen	schleifen	lackieren	0	0
Sitzstrebe	2	Schneiden	schweißen	schleifen	lackieren	1	1
Kettenstrebe	2	Schneiden	schweißen	schleifen	lackieren	5	7
Steuerrohr	1	Schneiden	schweißen	schleifen	lackieren	3	3
Sattel	1	-	-	-	-	1	1
Sattelstütze	1	-	-	-	-	2	1
Lenker	1	-	-	-	-	6	3
Vorbau	1	-	-	-	-	1	2
Steuersatz	1	-	-	-	-	5	2
Gabel	1	-	-	-	-	2	1
Rad montiert	2	-	-	-	-	2	2
Schlauch	2	-	-	-	-	0	0
Reifen	2	-	-	-	-	4	3
Pedal	2	-	-	-	-	0	0
Pedalkurbel	2	-	-	-	-	4	1
Innenlager	1	-	-	-	-	1	1
Umwerfer	1	-	-	-	-	0	0
Kette	1	-	-	-	-	0	0
Kassete	1	-	-	-	-	1	1
Schaltwerk	1	-	-	-	-	0	0
Schaltseil	2	-	-	-	-	0	0
Bremshebel	2	-	-	-	-	0	0
Bremsbacke	4	-	-	-	-	0	0
Bremshalterung	2	-	-	-	-	0	0
Bremsseil	2	-	-	-	-	0	0
Mutter	19	-	-	-	-	0	1
Schraube	19	-	-	-	-	0	1
Summe	79	0	0	0	0	63	33

Die Gesamtheit aller Daten zur Ermittlung der Kennzahlen für das Fahrrad sind in der Tabelle 6-5 und der Tabelle 6-6 zusammengefasst. Anhand dieser Kennzahlen wird im folgenden Schritt die Produktkomplexität ermittelt.

Die Teilergebnisse der Produktkomplexität ergeben sich aus den im Abschnitt 5.2 definierten Formeln. Die Gegenüberstellung aller drei verschiedenen Produkte ist in Tabelle 6-7 dargestellt.

Tabelle 6-7: Ermittlung der Produktkomplexität

			Flaschen- öffner	Getriebe	Fahrrad	
Planung	Produkt	Produktstruktur	Anzahl der Gleichteile	0	0	4
			Anzahl der Normteile	0	41	71
			Anzahl der Exklusivteile	1	3	4
			Summe	0,01	0,04	0,10
	Variantenvielfalt		Anzahl der Bauteile ohne Varianten	1	44	24
			Anzahl der Normteile in Varianten	0	0	12
			Anzahl der Exklusivteile in Varianten	0	0	69
			Summe	0,00	0,00	0,77
			Gesamtkomplexität	0,01	0,02	0,44
Entstehung	Produkt	Fertigung	Anzahl der Fertigungsvorgänge	1	10	12
			Anzahl der Bearbeitungsvorgänge	2	0	12
			Anzahl der Bauteile	1	44	79
			Summe	0,75	0,19	0,23
	Montage		Anzahl der Montagevorgänge	0	49	63
			Anzahl der Werkzeuge	0	19	33
			Anzahl der Bauteile	1	44	79
			Summe	0,00	0,61	0,55
			Gesamtkomplexität	0,38	0,40	0,39
Auslieferung und Nutzung	Produkt	Übergabe	Anzahl der Montagevorgänge	0	0	3
			Anzahl der Werkzeuge	0	0	2
			Anzahl der Bauteile	1	44	23
			Summe	0,00	0,00	0,18
	Servicemodell		Anzahl der De-/Montagevorgänge	0	16	18
			Anzahl der Werkzeuge	0	8	21
			Anzahl der Bauteile	1	44	23
			Summe	0,00	0,35	0,63
	Reperaturmodell		Anzahl der Demontage- und Montagevorgänge	0	18	18
			Anzahl der Werkzeuge	0	8	21
			Anzahl der Bauteile	1	44	23
			Summe	0,00	0,37	0,63
			Gesamtkomplexität	0,00	0,18	0,40
Recycling	Produkt	Entsorgung	Anzahl der Demontagevorgänge	0	49	63
			Anzahl der Werkzeuge	0	9	33
			Anzahl der Bauteile	1	44	75
			Summe	0,00	0,57	0,56
			Gesamtkomplexität	0,00	0,57	0,56

Eine Übergabe für das Getriebe und dem Flaschenöffner ist nicht notwendig. Demzufolge ergibt sich für beide Produkte eine Kennzahl von 0. Bei dem Fahrrad sind bei der Übergabe der Lenker zu richten und die Pedale zu fixieren. Für den Vergleich der Produkte über den gesamten Produktlebenszyklus errechnet sich die Produktkomplexität aus dem Durchschnitt aller Teilkomplexitäten. Aufgrund der zusammengeführten Ergebnisse ergeben sich folgende Produktkomplexitätskennzahlen:

- Flaschenöffner = 0,1
- Getriebe = 0,29
- Fahrrad = 0,45

6.2 Produktrisiko

Im nächsten Schritt werden Kennzahlen für die Bestimmung des Produktrisikos jedes Abschnittes des Produktlebenszyklusses ermittelt. Alle Teilrisiken eines jeden Abschnittes werden miteinander aggregiert. Somit entsteht für jeden Abschnitt des Produktlebenszyklusses ein aggregiertes Gesamtrisiko.

Aufgrund der zeitlichen Unabhängigkeit wird aus allen Gesamtrisiken ein Durchschnittswert für die Bildung der Risikokomplexität ermittelt.

Die Möglichkeiten der auftretenden Risiken sind sehr vielfältig. Eine Auswahl der verschiedenen Risiken wurde in Abschnitt 4.8.1 dargelegt.

In diesem Beispiel wurden folgende Risiken für die verschiedenen Abschnitte des Produktlebenszyklusses zusammengetragen:

Produktplanung:

- Ausfall von Mitarbeitern
- Anwendung neuer Technologien
- Ausfall von Zulieferern (Dienstleister)

Produktentstehung:

- Ausfall von Mitarbeitern
- Ausfall von Fertigungsanlagen
- Ausfall von Zulieferern (Ausfall von Zulieferkomponenten)

Auslieferung und Nutzung:

- Ausfall von Mitarbeitern
- Fehler der Installation

Recycling:

- Ausfall von Mitarbeitern
- Änderung der Gesetzgebung

Ausfälle können aufgrund vorhandener Statistiken gemessen werden. Wenn ein Mitarbeiter von 220 Arbeitstagen im Schnitt 11 Tage krank ist, beträgt die Eintrittswahrscheinlichkeit $11/220 = 0,05$.

Das Schadensausmaß kann aufgrund des wirtschaftlichen Schadens ermittelt werden. Für einen prozentualen vergleichbaren Wert kann der Schaden ins Verhältnis zum Gesamtbudget gesetzt werden. Das Schadensausmaß für einen Schaden von 25.000 Euro bei beispielsweise einem Gesamtvolumen von 500.000 Euro ist $0,05$ ($25t / 500t = 0,05$).

Für die Ermittlung der Risikokomplexitäten der verschiedenen Produkte werden alle Werte (Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadenshöhe) zufällig erzeugt. Durch dieses Beispiel soll lediglich die Vorgehensweise einer Bewertung von Produkten erläutern.

Tabelle 6-8: Ermittlung der aggregierten Teilrisiken

			Flaschen- öffner	Getriebe	Fahrrad			
Planung	Risiko	Ausfall von Mitarbeiter	Eintrittswahrscheinlichkeit	0,05	0,1	0,1		
			Schadensausmaß	0,05	0,2	0,5		
			Summe	0,0025	0,0200	0,0500		
		Anwendung neuer Techn.	Eintrittswahrscheinlichkeit	0,05	0,1	0,1		
			Schadensausmaß	0,05	0,2	0,1		
			Summe	0,0025	0,0200	0,0100		
		Risiko	Ausfall von Zulieferern	Eintrittswahrscheinlichkeit	0,05	0,1	0	
			Schadensausmaß	0,05	0,2	0		
			Summe	0,0025	0,0200	0,0000		
			Eintrittswahrscheinlichkeit	0,15	0,3	0,2		
			Schadensausmaß	0,0072	0,059	0,372		
			Gesamtrisiko	0,0011	0,0177	0,0744		
Entstehung	Risiko	Ausfall von Mitarbeiter	Eintrittswahrscheinlichkeit	0,05	0,1	0,1		
			Schadensausmaß	0,05	0,2	0,1		
			Summe	0,0025	0,0200	0,0100		
		Ausfall der Fertigungsanlagen	Eintrittswahrscheinlichkeit	0,05	0,1	0,1		
			Schadensausmaß	0,05	0,2	0,1		
			Summe	0,0025	0,0200	0,0100		
		Risiko	Ausfall von Zulieferern	Eintrittswahrscheinlichkeit	0,05	0,1	0,05	
			Schadensausmaß	0,05	0,2	1		
			Summe	0,0025	0,0200	0,0500		
			Eintrittswahrscheinlichkeit	0,15	0,3	0,3		
			Schadensausmaß	0,0072	0,059	0,03		
			Gesamtrisiko	0,0011	0,0177	0,0090		
Auslieferung und Nutzung	Risiko	Ausfall von Mitarbeiter	Eintrittswahrscheinlichkeit	0,05	0,1	0,1		
			Schadensausmaß	0,05	0,2	0,1		
			Summe	0,0025	0,0200	0,0100		
		Fehler der Installation	Eintrittswahrscheinlichkeit	0,05	0,1	0,1		
			Schadensausmaß	0,05	0,2	0,1		
			Summe	0,0025	0,0200	0,0100		
		Risiko		Eintrittswahrscheinlichkeit	0,15	0,3	0,3	
			Schadensausmaß	0,0072	0,059	0,03		
			Gesamtrisiko	0,0011	0,0177	0,0090		
	Recycling		Risiko	Ausfall von Mitarbeiter	Eintrittswahrscheinlichkeit	0,05	0,1	0,1
					Schadensausmaß	0,05	0,2	0,1
					Summe	0,0025	0,0200	0,0100
Änderung der Gesetzgebung		Eintrittswahrscheinlichkeit		0,05	0,1	0,1		
		Schadensausmaß		0,05	0,2	0,1		
		Summe		0,0025	0,0200	0,0100		
		Risiko		Eintrittswahrscheinlichkeit	0,15	0,3	0,3	
			Schadensausmaß	0,0072	0,059	0,03		
			Gesamtrisiko	0,0011	0,0177	0,0090		

In

Tabelle 6-8 sind die Eintrittswahrscheinlichkeiten, die Schadensausmaße und alle aggregierten Teilrisiken zusammengefasst. Aufgrund dieser Werte ergeben sich für die drei verschiedenen Produkte folgende Risikokomplexitäten:

Flaschenöffner → 0,001

Getriebe → 0,018

Fahrrad → 0,025

6.3 Ergebnisdarstellung

Im Abschnitt 6.1 und Abschnitt 6.2 wurde die Herleitung der Produktkomplexität und der Risikokomplexität erläutert. Anschließend muss dem Anwender die Möglichkeit gegeben werden die verschiedenen Ergebnisse zu analysieren. Wie bereits im Abschnitt 5.4 erläutert, erfolgt diese Darstellung in einem Portfolio. Die Komplexitätskennzahlen der drei verschiedenen Produkte sind in der Abbildung 6-3 dargestellt.

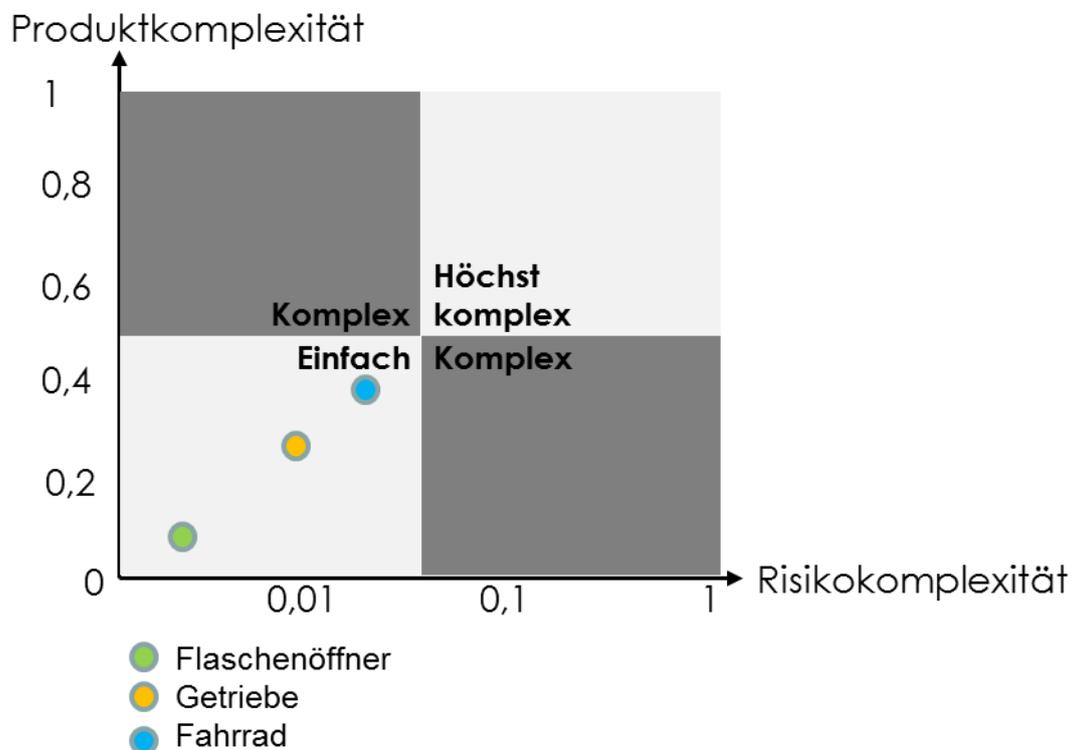


Abbildung 6-3: Visualisierung der Komplexität von Produkten

Diese Darstellung erlaubt ein schnelles Ablesen und damit auch ein schnelles Vergleichen der Ergebnisse. Nach dieser Auswertung handelt es sich bei allen verschiedenen Produkten um

einfache Produkte, wobei der Flaschenöffner das einfachste Produkt und das Fahrrad das komplexeste Produkt ist.

Die Gegenüberstellung von drei verschiedenen Produkten wurde gewählt, um die Allgemeingültigkeit der Bewertung zu verdeutlichen.

Der ursprüngliche Ansatz dieser Arbeit ist das Bewerten von verschiedenen Produktkonzepten eines Produktes während des Produktentwicklungsprozesses. Im Folgenden wird anhand des Getriebes erläutert, wie sich die Einfachheit des Produktes bei der Änderung interner Prozesse des Unternehmens „Getriebe“ ändert.

Für die Betrachtung gelten folgende Annahmen:

Aufgrund einer Make-or-Buy-Entscheidung wurde festgelegt, dass in Zukunft das Gehäuse auch durch das Unternehmen „Getriebe“ endbearbeitet werden sollen. Weiterhin werden die Verzahnungen der Ritzelwelle und der Zahnräder sowie die Endbearbeitungen der Bauteile im Unternehmen „Getriebe“ hergestellt. Daher werden aus allen Bauteilen Exklusivteile. Die Veränderung der notwendigen Daten zur Ermittlung der Kennzahlen sind in Tabelle 6-9 und Tabelle 6-10 dargestellt.

Tabelle 6-9: Informationen des Getriebe 2 (I)

	Produktstrukturmodell				Variantenmodell		
	Anzahl	Gleichteil	Normteil	Exklusivteil	Anzahl der Bauteile ohne Varianten	Anzahl der Normteile in Varianten	Anzahl der Exklusivteile in Varianten
Gehäuse Abtriebsseite	1	-	-	1	1	-	-
Gehäuse Antriebsseite	1	-	-	1	1	-	-
Antriebswelle	1	-	-	1	1	-	-
Abtriebswelle	1	-	-	1	1	-	-
Ritzelwelle	1	-	-	1	1	-	-
Zahnrad	3	-	-	3	3	-	-
Kugellager	6	-	6	-	6	-	-
Sicherringsstift	1	-	1	-	1	-	-
Passfeder	2	-	2	-	2	-	-
Dichtung	1	-	1	-	1	-	-
Sicherungsring	4	-	4	-	4	-	-
Radialwellendichtring	2	-	2	-	2	-	-
Schrauben	8	-	8	-	8	-	-
Unterlegscheiben	8	-	8	-	8	-	-
Zentrierstifte	2	-	2	-	2	-	-
Distanzhülsen	2	-	2	-	2	-	-
Summe	44	0	36	8	44	0	0

Tabelle 6-10: Informationen des Getriebe 2 (II)

	Anzahl	Fertigungsmodell				Montagemodell	
		Fertigungsvorgänge				Montage	Werkzeuge
		Fertigung	Fertigung	Fertigung	Fertigung	Montage	Werkzeuge
Gehäuse Abtriebsseite	1	-	Vordrehen	Nachdrehen	Fräsen	27	8
Gehäuse Antriebsseite	1	-	Vordrehen	Nachdrehen	Fräsen	5	7
Antriebswelle	1	-	Vordrehen	Nachdrehen	Fräsen	7	2
Abtriebswelle	1	-	Vordrehen	Nachdrehen	Fräsen	5	2
Ritzelwelle	1	Umformen	Vordrehen	Nachdrehen	Fräsen	5	0
Zahnrad	3	Umformen	Vordrehen	Nachdrehen	-	0	0
Kugellager	6	-	-	-	-	0	0
Sicherungsstift	1	-	-	-	-	0	0
Passfeder	2	-	-	-	-	0	0
Dichtung	1	-	-	-	-	0	0
Sicherungsring	4	-	-	-	-	0	0
Radialwellendichtring	2	-	-	-	-	0	0
Schrauben	8	-	-	-	-	0	0
Unterlegscheiben	8	-	-	-	-	0	0
Zentrierstifte	2	-	-	-	-	0	0
Distanzhülsen	2	-	-	-	-	0	0
Summe	44	-	0	0	0	49	19

Aufgrund dieser Make-or-Buy-Entscheidung ändert sich die Anzahl der Exklusivteile, der Normteile, und den Fertigungsvorgängen. Damit ändern sich die Kennzahlen der Planung und der Produktentstehung. Weiterhin wurden aufgrund der höheren Anzahl der Entwicklungs- und Fertigungsschritte die Teilrisiken angepasst. Die Höhe der Eintrittswahrscheinlichkeiten der und Schadenshöhe sind fiktive Werte. Zusammenfassend sind die veränderten Produktkomplexitäten, Schadensausmaße und Eintrittswahrscheinlichkeit in Tabelle 6-12 dargestellt.

Insgesamt ergeben sich für beide Getriebevarianten die in der Tabelle 6-11 dargestellten Produkt- und Risikokomplexitäten.

Tabelle 6-11: Vergleich der Komplexitäten

	Getriebe	Getriebe 2
Produktkomplexität	0,29	0,34
Risikokomplexität	0,0177	0,0569

Tabelle 6-12: Vergleich der Getriebevarianten

			Getriebe	Getriebe 2	
Planung	Risiko	Gesamtkomplexität	0,02	0,09	
		Ausfall von Mitarbeiter	Eintrittswahrscheinlichkeit	0,1	0,1
			Schadensausmaß	0,2	0,5
			Summe	0,0200	0,0500
		Anwendung neuer Techn.	Eintrittswahrscheinlichkeit	0,1	0,2
			Schadensausmaß	0,2	0,2
			Summe	0,0200	0,0400
		Ausfall von Zulieferern	Eintrittswahrscheinlichkeit	0,1	0,1
			Schadensausmaß	0,2	0,2
			Summe	0,0200	0,0200
Entstehung	Risiko	Gesamtkomplexität	0,40	0,51	
		Ausfall von Mitarbeiter	Eintrittswahrscheinlichkeit	0,1	0,1
			Schadensausmaß	0,2	0,2
			Summe	0,0200	0,0200
		Ausfall der Fertigungsanlagen	Eintrittswahrscheinlichkeit	0,1	0,2
			Schadensausmaß	0,2	0,2
			Summe	0,0200	0,0400
		Ausfall von Zulieferern	Eintrittswahrscheinlichkeit	0,1	0,1
			Schadensausmaß	0,2	0,2
			Summe	0,0200	0,0200
Auslief. und Nutzung	Risiko	Gesamtkomplexität	0,18	0,18	
		Ausfall von Mitarbeiter	Eintrittswahrscheinlichkeit	0,1	0,1
			Schadensausmaß	0,2	0,2
			Summe	0,0200	0,0200
		Fehler der Installation	Eintrittswahrscheinlichkeit	0,1	0,1
			Schadensausmaß	0,2	0,2
	Summe	0,0200	0,0200		
Recycling	Risiko	Gesamtkomplexität	0,57	0,57	
		Ausfall von Mitarbeiter	Eintrittswahrscheinlichkeit	0,1	0,1
			Schadensausmaß	0,2	0,2
			Summe	0,0200	0,0200
		Änderung der Gesetzgebung	Eintrittswahrscheinlichkeit	0,1	0,1
			Schadensausmaß	0,2	0,2
	Summe	0,0200	0,0200		

Im letzten Schritt werden die Ergebnisse in einem Portfolio grafisch dargestellt (Abbildung 6-4).

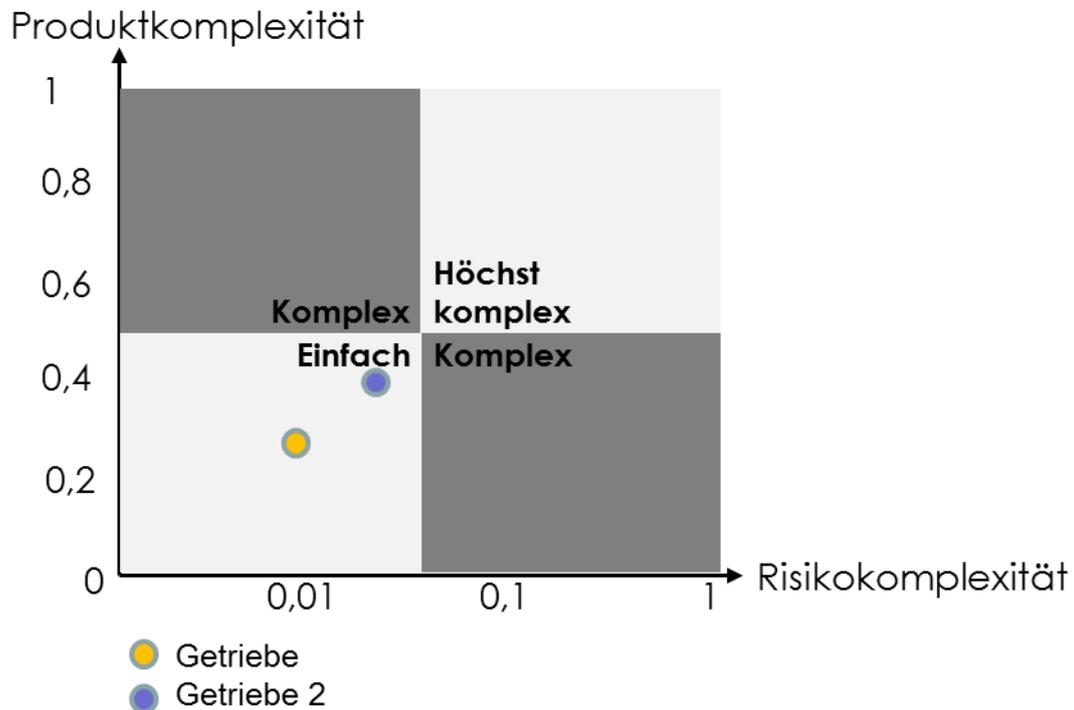


Abbildung 6-4: Visualisierung der Komplexität der Getriebe

Die Gegenüberstellung der Ergebnisse soll die Entscheidungsfindung für die Weiterverfolgung eines Konzeptes unterstützen. Dadurch sollen mögliche Komplexitätstreiber oder möglich auftretende Risiken aufgedeckt werden. Weiterhin können durch das frühzeitige Aufdecken von vornherein Maßnahmen zu Minimierung möglich eintretender Risiken eingeplant werden.

Die letztendliche Auswahl eines Konzeptes ist jedoch von anderen Faktoren abhängig. In diesem einfachen Beispiel sollen durch mehrere interne Fertigungsschritte der Wertschöpfung des Produktes für das Unternehmen „Getriebe“ erhöht werden. Die Ergebnisse der Analyse soll den Entscheidungsprozess für die Verwendung eines Konzeptes unterstützen.

7. Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit wurden viele bereits gewonnene und definierte Erkenntnisse eines einfachen Produktes zusammengefasst. Auf Basis dieser Informationen wurde jedoch festgestellt, dass diese noch nicht für die eindeutige Definition eines einfachen oder komplexen Produktes genügen.

Weiterhin hat sich herausgestellt, dass sich ein Produkt hinsichtlich der Einfachheit oder Komplexität nicht nur durch deren Eigenschaften beschreiben lässt, sondern dass es notwendig ist, die Entstehungsprozesse des Produktes in Betracht zu ziehen. Somit ergeben sich insgesamt zwei Kennzahlen, die eine Aussage über die Einfachheit bzw. Komplexität eines Produktes treffen.

Die erste Kennzahl, die Produktkomplexität, beschreibt das Produkt und deren Eigenschaften. Es wurde darauf verzichtet, subjektive Eigenschaften eines Produktes wie zum Beispiel die Formgestalt/ Design oder die Ergonomie in Betracht zu ziehen. Diese Eigenschaften können nur über das subjektive Wahrnehmungsempfinden eines Nutzers beschrieben werden und liefern somit keine eindeutigen Ergebnisse. Die Produktkomplexität beschreibt sich daher aufgrund objektiver Informationen eines Produktes, wie zum Beispiel die Anzahl der Komponenten eines Produktes oder die Anzahl der Fertigungsverfahren.

Die zweite Kennzahl, die Risikokomplexität, wird durch die Produktlebenszyklusprozesse und deren Risiken beschrieben. Ein Produkt kann demzufolge nur einfach sein, wenn deren Prozesse beherrschbar oder vorhersagbar sind und somit ein geringes Schadensrisiko auftritt. Prozesse und deren Risiken sind ebenfalls Kennzahlen, die unternehmensspezifisch und nicht allgemeingültig sind. Daher ist die Risikokomplexität eine unternehmensspezifische Kennzahl für die Bestimmung der Einfachheit eines Produktes.

Es ist damit zulässig, dass zwei identische Produkte, produziert von unterschiedlichen Unternehmen, unterschiedliche Risikokomplexitäten aufweisen. Die zweite Kennzahl ergibt sich aus der Aggregation der verschiedenen Teilrisiken.

Beide Kennzahlen werden in einem Portfolio dargestellt. Somit können sehr einfach Arbeitspakete (Verbesserung der Produktlebenszyklusprozesse oder Verbesserung des Produktes und damit deren Eigenschaften) für die Optimierung eines Produktes getroffen werden.

In dieser Arbeit wurden zur Veranschaulichung drei verschiedene Produkte miteinander verglichen.

Ein sehr geeigneter Anwendungsfall des Bewertungskonzeptes ist das Gegenüberstellen verschiedenen Konzeptvarianten eines Produktes. Im Vergleich zur Nutzwertanalyse werden durch die Komplexitätsbetrachtungsmethode auch die Produktentstehungsprozesse hinterleuchtet und bewertet. Dadurch steigt die Möglichkeit z.B. eventuelle Schwachstellen des Produktes aufzuzeigen und es schon während der Produktplanung zu optimieren. Somit sind Optimierungen im Bereich der Produktkomplexität oder im Bereich der Risikokomplexität möglich. Eine Verminderung der Produktkomplexität ist zum Beispiel durch eine Auslagerung von Komponenten eines Produktes an Zulieferer möglich. Dadurch wird aus diesem ursprünglichen „Exklusivteil“ ein „Normteil“.

Die Risikokomplexität kann zum Beispiel durch einen Einsatz anderer Fertigungsverfahren erreicht werden. Durch den Einsatz alternativer Fertigungsverfahren (z.B. Einsatzhärten und Induktionshärten) ist es möglich, den Ausschuss von Bauteilen zu minimieren. Somit ermöglicht das Induktionshärten zum Beispiel höhere Genauigkeit und geringere Streuungen der Schwundmaße. Damit kann sich das Risiko des Ausschusses von Bauteilen reduzieren.

Die Komplexitätskennzahlen ergeben sich aufgrund der Kombination bereits bewährter Bewertungsmethoden. Die Nutzwertanalyse und eine Risikobewertung ermöglicht aufgrund einfacher mathematischer Operationen eine schnelle Lösungsfindung und erlaubt damit auch ein schnelles Weiterarbeiten nach einer Lösungssuche. Somit dient die Bewertung der Einfachheit eines Produktes zu einer zügigen Reduktion der Produktvarianten während des Produktentstehungsprozesses.

Aufgrund der weitreichenden Definition eines Produktes beschränkt sich die Arbeit auf die Beschreibung einfacher technischer Produkte. Zukünftig ist eine Erweiterung des Bewertungskonzeptes auf alle Produktkategorien sinnvoll. Es sollen also nicht nur technische Produkte sondern auch

- Dienstleistungen,
- verfahrenstechnische Produkte und
- Software

mit diesem Konzept bewertbar sein. Weiterhin ermöglicht das bisherige Bewertungskonzept eine sehr freie Gestaltung der Komplexitätskennzahlen. Zukünftig wäre eine Erweiterung möglicher Kennzahlen inklusive Differenzierung für jede Produktkategorie sinnvoll. Somit wird dem Anwender die zeitraubende Identifikation von Kennzahlen abgenommen. Da auch die Nutzwertanalyse eine Gewichtung von Bewertungskriterien zulässt, ist es denkbar, dass für jede Kennzahl ebenfalls eine Gewichtung vorgeschlagen werden kann. Gerade bei den unterschiedlichsten Fertigungs-verfahren würde sich eine solche Unterscheidung anbieten.

Dafür müssen allerdings die Auswirkungen einzelner Kennzahlen auf dem gesamten Produktlebenszyklus ermittelt werden.

Können diese weiteren Ansätze umgesetzt werden, ist es für Unternehmen noch besser möglich entsprechend den Randbedingungen ihre Produkte zu bewerten und somit möglichst einfach zu gestalten.

Literaturverzeichnis

- [ANH87] Andreasen, M.; Hein, L.: „Integrated Product Development“; Springer Berlin; 1987
- [AKL88] Andreasen, M.; Kähler, S.; Lund, T.: „Design for Assembly“; Springer Berlin; 1988.
- [ADK05] Arnold, V.; Dettmering, H.; Engel, T.; Karcher, A.: „Product LifeCycle Management beherrschen; Springer Berlin Heidelberg; 1. Auflage; 2005
- [BAR03] Barringer, H.P.: „A Life Cycle Cost Summary“; International Conference of Maintenance Societies (ICOMS-2003); im Internet verfügbar
- [BGKR06] Banse, G.; Grunwald, A.; König W.; Ropohl, G.: „Erkennen und Gestalten: Eine Theorie der Technikwissenschaften“; Edition Sigma; 1. Auflage; 2006
- [BHE86] Brockhaus Enzyklopädie, 24 Bände; F.A. Brockhaus, Mannheim, 1986
- [BLI00] Bliss, C.: „Management von Komplexität“, Dissertation, Wiesbaden, 2000,
- [BLO10] Blockus, M.: „Komplexität in Dienstleistungsunternehmen: Komplexitätsformen, Kosten- und Nutzenwirkungen, empirische Befunde und Managementimplikationen“; Gabler Verlag; 2010
- [BÖG10] Böge, A. (Herausgeber): „Handbuch Maschinenbau: Grundlagen und Anwendungen der Maschinenbau-Technik“; Vieweg+Teubner Verlag; 2010
- [BRK97] Breiing, A.; Knosala, R.: „Bewerten technischer Systeme“; Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 1997
- [BRO99] Brockhoff, K.: „Produktpolitik“; UTB - Auflage: 4; Stuttgart; 1999
- [BUR01] Burchardt, C.: „Integrierte Produktentwicklung: Ein erweitertes Konzept für die Integrierte Produktentwicklung“; Buchreihe Integrierte Produktentwicklung; Band 3; Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg; 2001
- [CAN11] Cankuvvet, G.: „Komplexitätsbetrachtungsmethode zum Einsatz im Konstruktionsprozess“; Buchreihe Integrierte Produktentwicklung; Band 16; Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg; 201
- [DBG01] Dubbel, H.; Beitz, W.; Grote, K.-H.: „Dubbel - Taschenbuch für den Maschinenbau“, Springer-Verlag Berlin and Heidelberg, 20. Auflage; 2001

- [DRH07] Drews, G.; Hillebrand, N.: „Lexikon der Projektmanagement-Methoden“; Haufe Mediengruppe; 2007
- [ECK85] Eckert, D.: „Risikostrukturen industrieller Forschung und Entwicklung : Theoretische und empirische Ansatzpunkte einer Risikoanalyse technologischer Innovationen.“; Erich Schmidt Verlag; Berlin; 1985
- [EHL85] Ehrlenspiel, K.: „Kostengünstig konstruieren“; Konstruktionsbücher BD 35; Springer-Verlag Berlin; 1985
- [EHL06] Ehrlenspiel, K.: „Integrierte Produktentwicklung: Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit“; Carl Hanser Verlag GmbH & CO. KG; 3. Auflage; 2006
- [EKL07] Ehrlenspiel, K.; Kiewert, A.; Lindemann, U.: „Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren“; 6. überarbeitete und korrigierte Auflage; Springer-Verlag Berlin heidelberg; 2007
- [ENG01] Engelbrecht, A.: „Biokybernetische Modellierung adaptiver Unternehmensnetzwerke“; Forschungsberichte VDI, reihe 16, Nummer 37; VDI Verlag Düsseldorf; 2001
- [ENG06] Engeln, W.: „Methoden der Produktentwicklung“; Oldenbourg Industrieverla; Auflage: 1; 2006
- [FRI10] Fritz, A. H., Schulze, G.: „Fertigungstechnik“; Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2010
- [GHO98] Glasersfeld, E; Dörfler, W.; Heintel, P; Mitterer, J.; Ottomeyer, K.: „Konstruktivismus statt Erkenntnistheorie“; Drava; 1998
- [GLLB07] Gleißner, W.; Berger, T.: „Einfach Lernen! Risikomanagement“; E.Book, bookboon.com; 2007; ISBN: 978-87-7681-219-7
- [GAE93] Grabowski, H.; Anderl, R.; Erb, J.; Polly, A.: „Integriertes Produktmodell“;Berlin: Beuth; 1993.
- [GLE04] Gleißner, W.: „Die Aggregation von Risiken im Kontext der Unternehmensplanung“; Wiesbaden; 2004
- [GLB07] Gleißner, W.; Berger, T.: Einfach Lernen! Risikomanagement“; eBook auf bookboon.com; 2007

- [GIR01] Girmscheid, G.: „Ganzheitliches Risikomanagement in Bauunternehmen“; Artikel aus der Zeitschrift: Bauingenieur; 2001
- [GUO08] Guo, H.: „Modelierungsansatz und Kennzahlen für die Optimierung von Wertschöpfungsprozessen“; Buchreihe Integrierte Produktentwicklung; Band 13; Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg; 2008
- [FIS08] Fischer, J.: „Kostenbewusstes Konstruieren“; Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2008
- [FRE01] Freisleben, D.: „Gestaltung und Optimierung von Produktentwicklungsprozessen mit einem wissensbasierten Vorgehensmodell“; Buchreihe Integrierte Produktentwicklung; Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg; 2001
- [HAB96] Haberfellner, R.: „Systems Engineering. Methodik und Praxis“; Verlag Industrielle Organisation; 1996
- [HÄN96] Hänggi, R.: „Risikomanagement und Simultaneous Engineering.“; St. Gallen, Univ.; Dissertation; 1996
- [HAR09] Hartmann S.; Vajna, S.: „CATIA V5 – kurz und bündig“; Vieweg und Teubner; 3. Auflage; 2009
- {HER07} Herrmann, K.: „Systemanalyse im Unternehmen - Prozessorientierte Methoden der Wirtschaftsinformatik“; Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH; 2007
- [HOM07] Holmdahl, L.: „Complexity Aspects of Product Development“; Buchreihe Integrierte Produktentwicklung; Band 11; Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg; 2007
- [KAG98] Kotler, P.; Armstrong, G.: „Grundlagen des Marketing“; Pearson Studium; München; 1998
- [KAM06] Kamiske, G.; Bauer, J.: „Qualitätsmanagement von A bis Z“; Carl Hanser Verlage; 5. Auflage; 2006
- [KEL05] Kelley, T.; Littmann, J.: „The ten faces of innovation“; Crown Business London; 2005
- [KES95] Ehrlenspiel, K.: „Integrierte Produktentwicklung - Methoden für Prozessorganisation, Produkterstellung und Konstruktion“; Hanser Verlag, Auflage 2; 2003

- [KFG07] Krause, F.-L.; Franke, H.-J.; Gausemeier, J.: „Innovationspotentiale in der Produktentwicklung“; Hanser Verlag; 2007
- [KNI64] Knight, F.: „Risk, Uncertainty and Profit“; Reprint New York; 1964
- [KSG08] Keuper, F., Schomann, M., Grimm, R.: „Strategisches IT-Management“; Gabler GWV Fachverlage GmbH; Wiesbaden; 2008
- [LEH49] Lehmann, M.: „Allgemeine Betriebswirtschaftslehre; Allgemeine Theorie der Betriebswirtschaft“; Hain Meisenheim; 1949
- [LEI 04] Leibfried, P.; Pfanzelt, S.: „Praxis der Bilanzierung von Forschungs- und Entwicklungskosten gemäß IAS/IFRS“; Kapitalmarktorientierte Rechnungslegung 4; 2004
- [LRZ06] Lindemann, U.; Reichwald, R.; Zäh, M.F.: „Individualisierte Produkte“; Springer Berlin Heidelberg; 1. Auflage; 2006
- [LIP08] Lindemann, U.; Ponn, J.: „Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte“; Springer Berlin Heidelberg; 2008
- [LUD01] Ludwig, B.: „Management komplexer Systeme“; Edition Sigma; Frankfurt a.M; 2001
- [LUCZ93] Luczak, H.; Volpert, W.: „Handbuch Arbeitswissenschaft“; Schäffer-Poeschel Verlag; 1997
- [MAE07] Maeda, J.: „Simplicity: Die zehn Gesetze der Einfachheit“; Spektrum Akademischer Verlag; Auflage: 1; 2007
- [MCK01] McKinsey, McKinsey & Company: „Quality Gates“ verhindern den Garantiefall. In: VDI-Nachrichten Nr. 44, S.13; 2001
- [MCK04] McKelvey, B.: „Toward a complexity science of entrepreneurship“; Journal of Business Venturing; vol 19; 2004
- [MEL11] Mellerowicz, Konrad: „Allgemeine Betriebswirtschaftslehre“; De Gruyter; 8. Auflage; 2011
- [MEF00] Meffert, H.: “Marketing”; Dr. Th. Gabler Verlag; Wiesbaden; 2000
- [MEN01] Menge, M.: „Einen Beitrag zur Beherrschung der Variantenvielfalt in der auftragsbezogenen Einzel- und Kleinserienfertigung komplexer Produkte.“; Dissertation; TU Braunschweig; 2001

- [MEN90] Mensch, G.: „Risiko und Unternehmensführung: Eine systemorientierte Konzeption zum Risikomanagement.“; Dissertation; TU Berlin; 1990
- [MEE06] Meerkamm, H. (Hrsg.): „Design for X“; 17. Symposium; Neukirchen; 2006
- [MOL08] Molitor, M., Grote, K.-H., Herold, H., Karpuschewski, B.: „Einführung in die Fertigungslehre“; Band 8, Shaker Verlag Aachen; 2008
- [NIE04] Niemann, A.: „Objektorientierte Programmierung in Java“; BHV Verlag; 2004
- [OLS85] Olsson, F.: Integrerad Produktutveckling - Arbetsmodell (in Schwedisch). Series 21 Produktutveckling. Sveriges Mekanförbundet, Stockholm, Schweden 1985
- [OPH04] Oprey, L.: „Entwicklungsmanagement: Methoden in der Produktentwicklung“; Springer Berlin Heidelberg; 2004
- [OTT89] Ottoson, S.: „Erfolg mit Innovation.“ Onix Bultg., Uddevalla; 1989
- [PAT82] Patzak, G.: „Systemtechnik – Planung komplexer innovativer Systeme“; Springer Verlag Berlin, Heidelberg; 1982
- [PBFG06] Pahl G.; Beitz, W.; Feldhusen, J.; Grote, K.-H.: „Pahl/Beitz Konstruktionslehre: Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung. Methoden und Anwendung; Springer Berlin Heidelberg; 7. Auflage; 2006
- [PIN08] Pintscher, L.: „Schwarmintelligenz“; Seminararbeit Organic Computing; Universität Karlsruhe; 2008
- [PUL04] Pulm, U.: „Eine systemtheoretische Betrachtung der Produktentwicklung“; Dissertation; TU München; 2004
- [ROT94] Roth, K.: „Konstruieren mit Konstruktionskatalogen: Band 2: Kataloge“; Springer Berlin Heidelberg; 2. Auflage; 1994
- [SAKR05] Schächli, B.; Andreasen, M. M., Kirchgeorg, M., Radermacher, F.-J.: „Handbuch Produktentwicklung“ Carl Hanser Verlag, München, 2005.
- [SCA01] Schabacker, M.: „Integrierte Produktentwicklung: Bewertung der Nutzen neuer Technologien in der Produktentwicklung“; Buchreihe Integrierte Produktentwicklung; Band 1; Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg; 2001
- [SCA05] Schabacker, M.: „Risikobewertung von Technologieprojekten in der Produktentwicklung“; in: Tagungsband 7. Magdeburger Maschinenbau-Tage; S. 267-276; 2005

- [SCA11] Schabacker, M.: „BWL für Ingenieure“ Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg; Fakultät für Maschinenbau; Institut für Maschinenkonstruktion; Lehrstuhl für Maschinenbauinformatik; Vorlesungsreader; Magdeburg, 2011
- [SCV04] Schabacker, M., Vajna, S.: „Evaluation of the Benefit Yield of Technology Projects” in: Proceedings of 2004 ASME: Design Engineering Technical Conferences; Salt Lake City, Utah, USA; DETC2004-57313
- [SCH05] Schäppi, B.; Andreasen, M.; Kirchgeorg, M.; Rademacher, F.-J.: „Handbuch Produktentwicklung“; Hanser Verlag München; 2005
- [SCH88] Scheer, A.-W.: „CIM Computer Integrated Manufacturing. Der computergesteuerte Industriebetrieb”; Berlin; 1988
- [SCU05] Schuh, G.: „Produktkomplexität managen- Strategien, Methoden, Tools“; Hanser Verlag; 2. Auflage; 2005
- [STO94] Stowasser, J.; Petschenig, M.; Skutsch, F.: „Lateinisch-Deutsches Wörterbuch“; Oldenbourg Schulbuchverlag München; 1994
- [STS08] Steinhilper, S.; Sauer, B.: „Konstruktionselemente des Maschinenbaus 1“; Springer Berlin Heidelberg, 7.Auflage; 2008
- [STV99] Stark, J.; Vajna S. : „EDM/PDM- die wichtigste strategische Technologie zur Verbesserung der Produktentwicklung“; Buchreihe von der analogen zur digitalen Reprografie; OCE GmbH; Mülheim; 1999
- [TDM11] Tietjen, T.; Decker, A.; Müller, D.: „FMEA Praxis: Das Komplettpaket für Training und Anwendung“; Carl Hanser Verlag GmbH; 2011
- [TOE07] Töpfer, A.: „Betriebswirtschaftslehre: Anwendungs- Und Prozessorientierte Grundlagen“; Springer Berlin Heidelberg; 2007
- [UFM95] Ulrich, P.; Fluri, E.: „Management. Eine konzentrierte Einführung“; UTB Stuttgart, 1995
- [ULE95] Ulrich, K. T.; Eppinger, S. D.: “Product Design and Development”; McGraw-Hill; New York; 1999
- [VWBZ08] Vajna, S; Weber, CH.; Bley, H.; Zeman, K.: „CAX für Ingenieure: Eine praxisbezogene Einführung“ Springer-Verlag Berlin; 2.Auflage; 2008
- [VWSS94] Vajna, S.; Weber, C.; Schlingensiepen, J.; Schlottmann, D.: „CAD/CAM für Ingenieure“; Vieweg-Verlag; 1994

- [VAJ05] Vajna, S.: „Informationsmanagement – Management der produkt- und prozessbezogenen Informationen in der integrierten Produktentwicklung“ in: Handbuch Produktentwicklung, 2005, S. 419-448
- [VAJ11] Vajna, S.: „Integrated Design Engineering / Integrierte Produktentwicklung II“ Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg; Fakultät für Maschinenbau; Institut für Maschinenkonstruktion; Lehrstuhl für Maschinenbauinformatik; Vorlesungsreader; Magdeburg, 2011
- [VDI93] VDI-Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung, Düsseldorf, 1993.
- [WAD92] Wade, F.: Morgan, B.D.: “New mental models of improving new product introduction. Concurrent Engineering”; 1992
- [WBW03] Warnecke, H.; Bullinger, H.; Westkämper, E.: „Neue Organisationsformen im Unternehmen : Ein Handbuch für das moderne Management“; Berlin Heidelberg New York: Springer; 2003
- [WIß05] Wißler, F.: „Ein Verfahren zur Bewertung technischer Risiken in der Phase der Entwicklung komplexer Serienprodukte“; Dissertation; Universität Stuttgart; 2001
- [WIT00] Wittmann, E.: „Risk Controlling in der Praxis : Rechtliche Rahmenbedingungen und geschäftspolitische Konzeptionen in Banken“; Versicherungen und Industrie / Schierenbeck, Henner (Hrsg.). Stuttgart: Schäffer-Poeschel; 2000
- [ZAN70] Zangemeister, C.: „Nutzwertanalyse in der Systemtechnik“; Wittemannsche Buchhandlung; München; 1970
- [ZIE07] Ziegenbein, A.: „Supply Chain Risiken: Identifikation, Bewertung und Steuerung“; Vdf Hochschulverlag; 1. Auflage; 2007
- [ZIN03] Zingel, H.: „Produktlebenszyklus und strategisches Marketing“ Erfurt, 2003

Normen /Richtlinien:

- [DIN01] DIN EN ISO 6789: Dokumentationssystematik; 2003
- [DIN02] DIN 199-1: Technische Produktdokumentation; 2002
- [DIN03] DIN8580: Fertigungsverfahren; 2003

- [DIN04] DIN EN 1325, Value Management – Wörterbuch (prEN 1325:2011). Stand: Oktober 2011.
- [QMN05] DIN ISO 9000: Qualitätsmanagementnorm, 2005
- [VDI3780] VDI 3780: „Technikbewertung - Begriffe und Grundlage“; Vereine Deutsche Ingenieure 2000
- [VDI2219] VDI 2219: „Informationsverarbeitung in der Produktentwicklung Einführung und Wirtschaftlichkeit von EDM/ PDM-Systemen“; Vereine Deutsche Ingenieure 2002
- [ISO9004] DIN EN ISO 9004: Leiten und Lenken für den nachhaltigen Erfolg einer Organisation – Ein Qualitätsmanagementansatz; 2009

Internet:

- www01 http://bundesrecht.juris.de/prodhaftg/_2.html, Januar 2012
- www02 http://bundesrecht.juris.de/gpsg/_2.html, Januar 2012
- www03 <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/82817/technik-v5.html>, Juli 2011
- www04 http://www.teracom.de/services/softwaredevelopment/turnkeysolutions/TERACOM_Flyer_PMS_V1.1.pdf, August 2011
- www05 <http://www.concona.de/shop/accessoires/iittala-collective-tools-flaschenoeffner.htm>, Januar 2012
- www06 <http://www.belscout.com/belscout/Was-uns-sonst-noch-gefaellt/Single-Speed-Fahrrad-Pista-Via-Brera-Bianchi>, Januar 2012
- www07 <http://www.ehealthkarriere.de/wp-content/uploads/2008/11/risikograf.png>, April 2012
- www08 <http://brinkop-consulting.com/guide/marktfuehrer.pdf>, Dezember 2012
- www09 <http://www.tu-berlin.de/qualitaet/qualitaetsmanagement/qms/>, Dezember 2012
- www10 <http://www.mmi-interaktiv.de/uploads/media/10-Winkler.pdf>, Dezember 2012

Studien-/Diplomarbeiten:

[EVS04] von Specht, E.: „Fallstudie adaptives Systemmanagement anhand eines studentischen Produktentwicklungsprojektes der Studienrichtung integrierte Produktentwicklung“ Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg; Fakultät für Maschinenbau; Institut für Maschinenkonstruktion; Lehrstuhl für Maschinenbauinformatik; Vorlesungsreader; Magdeburg, 2004

[LKA12] Lötsch, K.: „Nachweis unterschiedlicher Sichtweisen innerhalb des Integrated Design Engineerings.“; Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg; Fakultät für Maschinenbau; Institut für Maschinenkonstruktion; Lehrstuhl für Maschinenbauinformatik; Magdeburg, 2012

Lebenslauf

Stephan Hartmann
39104 Magdeburg

Persönliche Daten

Geboren am 13.12.1980 in Beckendorf-Neindorf
Staatsangehörigkeit: deutsch
Familienstand: ledig (1 Kind)

Praktische Tätigkeiten

seit dem 01.04.2012
Entwicklungsingenieur bei der IFA ROTORION

01.11.2006 – 31.03.2012
Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Maschinenbauinformatik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

01.04.2006 – 31.10.2006
Praxissemester (Diplomarbeit) bei der Freudenberg GmbH & Co KG, Bereich Werkzeugkonstruktion

01.14.2005 – 31.03.2006
Studentische Hilfskraft / Tutor am Lehrstuhl für Maschinenbauinformatik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

01.10.2004 – 31.03.2005
Praxissemester bei der BMW AG, Bereich Interieur Tür/Seitenverkleidung

Ausbildung

01.10.2001 – 31.10.2006
Studium Maschinenbau, Fachrichtung Integrierte Produktentwicklung, an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Erworbene Qualifikation: Diplomingenieur

01.07.1999 – 30.05.2001
Bundeswehr, 1 Fallschirmpanzerabwehrbataillon, Wittekind Kaserne, Wildeshausen

01.09.1997 – 30.06.1999
Europagymnasium Gommern, Magdeburger Str. 26, 39245 Gommern
Erworbene Qualifikation: Abitur

01.09.1987 – 31.08.1997
Werner von Siemens Gymnasium Magdeburg, Stendaler Str. 10, 39106 Magdeburg

Veröffentlichungen

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sándor Vajna / Dipl.-Ing. Guido Klette / Dipl.-Ing. Stephan Hartmann; Parametrik in der Produktentwicklung; CAD-CAM Report, Seite 16- Seite 19, Mai 2007

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sándor Vajna (Hrsg.) / Dipl.-Ing. Stephan Hartmann; CATIA V5- kurz und bündig, Grundlagen für Einsteiger, 3. Auflage; Vieweg + Teubner; November 2008

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sándor Vajna (Hrsg.) / Dipl.-Ing. Stephan Hartmann und weitere; Leitfaden CATIA Version 5, CATIA-Know-how für Einsteiger und Insider; OLZOG Verlag, fortlaufend