

Lehrstuhl für Produktentwicklung

Analyse und Dokumentation in den frühen Phasen der Produktentwicklung

Ludwig Schwankl

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen
der Technischen Universität München
zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. H. Ulbrich

Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. U. Lindemann
2. Univ.-Prof. Dr. Ir. L. Blessing,
Technische Universität Berlin

Die Dissertation wurde am 23.10.2001 bei der Technischen Universität München eingereicht
und durch die Fakultät für Maschinenwesen
am 22.01.2002 angenommen.

Grace Hopper (1992):

„Der schädlichste Satz in jeder Sprache ist:

So haben wir das immer gemacht!“

Vorwort des Herausgebers

Problemstellung

Um auf die veränderten weltwirtschaftlichen Randbedingungen, die zunehmende Globalisierung sowie die gesteigerten Anforderungen an Produkte und Prozesse geeignet reagieren und damit am Markt bestehen zu können, müssen Unternehmen ihre Erfolgspotenziale frühzeitig erkennen und rechtzeitig konsequent erschließen. Die zunehmende Vernetztheit der Teilprozesse in der Entwicklung sowie die hohe Zahl der komplexen und umfangreichen Aufgaben multidisziplinärer Teams erfordern ein Umdenken in den Unternehmen. Mit den herkömmlichen Prozessen und Strukturen sind die anstehenden Probleme in vielen Fällen nicht mehr zu bewältigen.

Aus diesem Grund muss gerade den frühen Phasen einer Entwicklung, in denen entscheidende Festlegungen getroffen und die Weichen für den gesamten weiteren Projektverlauf gestellt werden, besonderes Augenmerk geschenkt werden. Hier fehlen oftmals flexible Vorgehensmodelle und einfach anwendbare Hilfsmittel, die die Informationsgenerierung umfassend unterstützen und so zur wichtigen Erkenntnisvorverlagerung führen, auf deren Basis dann fundierte Entscheidungen getroffen werden können.

Zielsetzung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist, die Produktentwicklung in den entscheidenden frühen Phasen durch ein geeignetes Vorgehen, zweckmäßige Methoden und einfach anwendbare Hilfsmittel ganzheitlich zu unterstützen. Durch die hier beschriebenen Ansätze sollen relevante Aktivitäten zeitlich vorverlagert, ein strukturiertes methodisches Vorgehen in der Industrie gefördert und der Einsatz von Werkzeugen und Hilfsmitteln forciert werden.

Neben einer Verbesserung der Produktqualität, der Reduzierung der Entwicklungszeiten und Entwicklungskosten durch Vermeidung kostenintensiver Änderungen in den späten Phasen sollen auch die Flexibilität der Entwicklungsprozesse sowie die Innovationsfähigkeit der Unternehmen gesteigert werden.

Durch die Berücksichtigung von Anforderungen unterschiedlicher Unternehmen (Unternehmensgröße, Branche) und die umgehende Anwendung und Verifizierung von Teilergebnissen im industriellen Umfeld soll eine allgemeingültige Anwendbarkeit sichergestellt werden.

Ergebnis

Auf Basis einer intensiven Beschäftigung mit zahlreichen Produktentwicklungen aus unterschiedlichen technischen Disziplinen sowie einer umfassenden Analyse bekannter Vorgehensmodelle konnte ein Erweitertes Vorgehensmodell und eine Reihe von Werkzeugen zur Unterstützung der Entwickler in den entscheidenden frühen Phasen realisiert werden. Gerade die Informationssammlung und –archivierung sowie die aufwandsarme Absicherung im Rahmen der Analysephase werden unterstützt. Dabei werden dem Entwickler eine Reihe von Methoden und Werkzeugen zur Verfügung gestellt, die er situativ und seinen Vorlieben ent-

sprechend einsetzen kann. Somit ist eine breite Anwendbarkeit gewährleistet, die weitestgehend unabhängig von den jeweiligen Randbedingungen ist.

Die Wirksamkeit des Vorgehens, der entwickelten Methoden und Hilfsmitteln konnte in diversen Projekten verifiziert werden.

Folgerung für die industrielle Praxis

Entwicklern in der industriellen Praxis kann dieses Buch als Anregung zur Veränderung eingefahrener Prozesse und zur Optimierung bestehender Abläufe dienen.

Das Vorgehensmodell stellt einen Leitfaden zur Bearbeitung der frühen Phasen dar und bietet darüber hinaus Orientierungshilfe und zahlreiche Anregungen zur Neugestaltung von Entwicklungsprozessen.

Das Werkzeug zur Auswahl von Analysemethoden ist ein umfangreiches Hilfsmittel und kann auch als Nachschlagewerk verwendet werden, da es alle relevanten Informationen zu den einzelnen Methoden übersichtlich darstellt. Somit ist eine umfassende Unterstützung des gesamten Vorgehens gewährleistet.

Die vorgestellten Werkzeuge zur Dokumentation sind einfach auf die jeweiligen betriebspezifischen Randbedingungen anpassbar und unterstützen den Entwickler bei der Anfertigung der prozessbegleitenden Dokumentation. Durch konsequenten Einsatz dieser Werkzeuge kann in kurzer Zeit ein umfangreicher Ideenspeicher aufgebaut werden, der gerade bei anspruchsvollen Aufgaben eine wertvolle Wissensquelle darstellt.

Folgerung für Forschung und Wissenschaft

Das Vorgehensmodell, die formulierten Methoden und entwickelten Hilfsmittel sind als ein Beitrag der Konstruktions- und Entwicklungsmethodik zu werten. Der wissenschaftlichen Diskussion kann dieses Buch wertvolle Anregungen geben, da der Bedarf nach neuen Methoden sowie unterstützenden Werkzeugen in konkreten Entwicklungsprojekten aus dem industriellen Umfeld identifiziert und eingehend analysiert wurde.

Auf Basis dieser Analysen und der bereits vorhandenen Methoden wurden erfolgreich neue Ansätze definiert, die aufgrund ihrer hohen Flexibilität situativ an die jeweiligen Randbedingungen des Unternehmens angepasst und folglich umgehend und aufwandsarm anwendbar sind. Diese Vorgehensweise kann auf sämtliche Problemstellungen aus dem gesamten Produktentstehungsprozess angewendet und dabei zu dessen kontinuierlicher Optimierung beitragen.

Im Januar 2002

Prof. Dr.-Ing. U. Lindemann
Lehrstuhl für Produktentwicklung
Technische Universität München

Danksagung des Autors

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Produktentwicklung der Technischen Universität München in den Jahren 1997 bis 2001.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann für die Unterstützung meiner Tätigkeiten am Lehrstuhl und die dabei gewährten Freiräume, die die Basis für abwechslungsreiche Aufgaben und spannende Einblicke in unterschiedliche Fachbereiche waren. Die hervorragende Zusammenarbeit sowie die zahlreiche Anregungen und Diskussionen haben wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Bei Frau Professor Dr. Ir. Lucienne Blessing bedanke ich mich sehr herzlich für die Mitberichterstattung, die konstruktiven Anregungen und das Interesse an meiner Arbeit

Für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Heinz Ulbrich bedanken.

Mein besonderer Dank gilt allen Kolleginnen und Kollegen am Lehrstuhl für Produktentwicklung. Die dort gelebte Kameradschaft und Kollegialität, die intensive Zusammenarbeit mit fachlichen Diskussionen und tiefeschürfenden Gesprächen am Kaffeetisch, der Dienstsport und nicht zu vergessen ein jährliches Highlight, die Hannover Messe, haben auch enge Freundschaften entstehen lassen, die ich nicht missen möchte.

Stellvertretend möchte ich Markus Viertlböck, meinen langjährigen Bürokollegen für die schöne gemeinsame Zeit, Heiko Gierhardt, Bernd Jokele und Franz Müller für die zahlreichen Diskussionen und die wertvollen Anregungen zur Struktur der Arbeit danken. Sehr fruchtbar war für mich die Zusammenarbeit mit den Werkstattmitarbeitern Peter Spaniol und Michael Riedl, sowie den Rechneradministratoren Helmut Sumbauer und Nick Gissibinger, die mir stets mit Rat und Tat zur Seite standen.

Frau Dr. Sibylle Ziegler und Herrn Dr. Bernd Pichler von der Nuklearmedizinischen Klinik am Klinikum rechts der Isar gilt mein Dank für die interessante und lehrreiche Zusammenarbeit, die mir einen interessanten Einblick in die Probleme der Medizintechnik ermöglicht hat.

Dr. John Clarkson, Dr. Claudia Eckert und Dipl.-Ing. Andres Melo vom Engineering Design Center der Universität Cambridge sei für die gewährte Gastfreundschaft und die gemeinsamen Arbeiten gedankt.

Mein Dank gilt allen Projektpartnern aus den Industrieunternehmen, mit denen ich zusammenarbeiten durfte und allen studentischen Hilfskräften, den Studien- und Diplomarbeitern, die mich bei der Umsetzung meiner Ideen tatkräftig unterstützen haben. Stellvertretend darf ich Ingo Renner, Florian Bernecker, Christian Schweiger, Niels Blomeyer und Andrea Kerschendoerfer erwähnen.

Abschließend bedanke ich mich ganz herzlich bei meinen Eltern, die mir diese Ausbildung erst ermöglicht haben.

München, im Januar 2002

Ludwig Schwankl

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung und Zielsetzung	1
1.1	Ausgangssituation und Problemstellung _____	1
1.2	Zielsetzung der Arbeit _____	5
1.2.1	Erfahrungsgrundlage und wissenschaftliche Vorgehensweise _____	7
1.2.2	Einschränkung des Themengebietes _____	8
1.3	Aufbau der Arbeit _____	9
2	Produktentwicklung – Grundlagen und Problemanalyse	11
2.1	Bedeutung der Innovation _____	13
2.1.1	Impulse für Innovationen _____	16
2.1.2	Technologien und Technologiezyklen _____	16
2.1.3	Innovationsmanagement - Randbedingungen und Hemmnisse _____	21
2.1.4	Handlungsbedarf zur Verbesserung und Sicherung des Innovationsklimas _____	25
2.2	Integrierte Produktentwicklung _____	26
2.2.1	Produktlebenszyklus _____	28
2.2.2	Konstruieren als entwerfendes Problemlösen _____	29
2.3	Vorgehensmodelle zur Unterstützung der Problemlösung _____	32
2.3.1	Heuristik als Kernelement der Problemlösung _____	32
2.3.2	Vorgehen nach VDI 2221 _____	33
2.3.3	Vorgehenszyklus _____	34
2.3.4	TOTE-Schema _____	36
2.4	Methodeneinsatz und Vorgehen in den frühen Phasen der Produktentwicklung _____	37
2.4.1	Unterstützender Einsatz von Methoden und Hilfsmittel _____	37
2.4.2	Bedeutung der frühen Phasen _____	39
2.4.3	Teilschritt 1: Problem Klären _____	41
2.4.4	Teilschritt 2: Lösungen suchen _____	47
2.4.5	Teilschritt 3: Lösungen auswählen _____	53
2.4.6	Iteratives Vorgehen _____	62
2.4.7	Weitere Methoden und Strategien der Integrierten Produktentwicklung _____	63
2.5	Ideenmanagement und Wissensmanagement _____	77
2.5.1	Daten, Informationen und Wissen _____	77
2.5.2	Management von Informationen und Wissen _____	81
2.5.3	Bedeutung der Dokumentation im Informationsmanagement _____	83
2.5.4	Werkzeuge zur Unterstützung des Informationsmanagements _____	85
2.6	Zusammenfassung – Problemanalyse, Handlungsbedarf und Ziele _____	88
2.6.1	Problemanalyse und Handlungsbedarf _____	88
2.6.2	Ziele _____	93
3	Erweitertes Vorgehensmodell für die frühen Phasen	95
3.1	Anforderungen und Ziele _____	95
3.2	Kernelemente des Modells _____	97
3.2.1	Einsatzbereich _____	100
3.2.2	Auswahl einer Potenzialidee aus dem Ideenpool _____	100

3.3	Intensivierte Analyse von Aufgabenstellung und Anforderungen _____	102
3.3.1	Notwendigkeit und Ziele eines intensivierten Vorgehens _____	102
3.3.2	Vorgehen bei der Analyse der Aufgabenstellung _____	102
3.3.3	Ableiten von Bewertungskriterien _____	109
3.3.4	Vorteile des Vorgehens und Hinweise zum Einsatz von Methoden und Hilfsmitteln _____	111
3.4	Orientierende Lösungssuche zur Unterstützung der Aufgabenklärung _____	112
3.4.1	Notwendigkeit einer orientierenden Lösungssuche _____	112
3.4.2	Diskussion der Lösungen mit Vorauswahl und erster Bewertung _____	112
3.4.3	Gruppieren der Ideen im Portfolio _____	113
3.4.4	Strategien zur Auswahl geeigneter Lösungsgruppen _____	115
3.4.5	Archivierung der Lösungen _____	115
3.4.6	Aufstellen eines Morphologischen Kastens _____	115
3.4.7	Vorteile einer orientierenden Lösungssuche _____	115
3.5	Orientierende Analyse _____	116
3.5.1	Bedarf _____	116
3.5.2	Dokumentation offener Fragen und Probleme _____	118
3.5.3	Durchführung von orientierenden Analysen _____	118
3.5.4	Ablauf der Planung und Durchführung einer Analyse _____	119
3.5.5	Zusammenfassung _____	123
3.6	Identifizierung von Parametern und Modellierung des Systems _____	124
3.6.1	Notwendigkeit und Vorgehen _____	124
3.6.2	Produktmerkmale und Parameter _____	124
3.6.3	Identifizierung von Parametern _____	125
3.6.4	Modellierung des Systems _____	127
3.6.5	Identifikation von Handlungsbedarf für Analysen _____	128
3.7	Zielgerichtete Lösungssuche _____	128
3.8	Detailliertere Analyse _____	130
3.8.1	Festlegung von Teilfunktionsträgern _____	130
3.8.2	Erprobungsmatrix zur Unterstützung der Funktions- und Dauererprobung _____	131
3.9	Weitere Schritte des Vorgehensmodells _____	132
3.9.1	Abschließende Bewertung und Auswahl geeigneter Lösungen _____	132
3.9.2	Dokumentation von nicht umgesetzten Lösungen _____	133
3.9.3	Gemeinsame Detaillierung der ausgewählten Lösung _____	133
3.9.4	Überprüfung der bisherigen Ergebnisse _____	133
3.10	Organisatorische Randbedingungen _____	134
3.10.1	Erstellung eines Workshopkonzepts zur Unterstützung des Vorgehens _____	134
3.10.2	Räumliche Gegebenheiten _____	135
3.10.3	Entwicklungslabor _____	136
3.10.4	Rollenverteilung im Team _____	136
3.11	Zusammenfassung _____	137
4	Werkzeuge zur Dokumentation von Ideen _____	139
4.1	Zusammenwirken der Werkzeuge _____	140
4.2	Anforderungen an flexible Dokumentationswerkzeuge _____	141
4.3	Rechnerwerkzeug Neue Produktidee _____	142

4.3.1	Bedarf	142
4.3.2	Aufbau der Datenbank Neue Produktidee	144
4.3.3	Administration der Datenbank	145
4.3.4	Eingabe der Anwenderdaten	146
4.3.5	Eingabe von Ideen	146
4.3.6	Bewertung und Weiterleitung der Ideen	147
4.3.7	Anwendung im industriellen Umfeld	149
4.4	Rechnerwerkzeug Ideenspeicher	150
4.4.1	Aufbau des Werkzeugs	150
4.4.2	Zusammenfassung und Hinweise zur Anwendung	153
4.5	Rechnerwerkzeug Ideensammlung	154
4.5.1	Aufbau und Funktionsweise	154
4.5.2	Zusammenfassung und Hinweise zur Anwendung	162
4.6	Formular zur Unterstützung kreativer Sitzungen	163
4.6.1	Felder des Ideenformulars	163
4.6.2	Bewertungsformular	164
4.6.3	Beispiele optionaler Felder	166
4.6.4	Vorteile des Ideenformulars	167
4.7	Rechnerwerkzeug Konzeptdatenbank	168
4.7.1	Anwendung	168
4.7.2	Aufbau der Konzeptdatenbank	168
4.7.3	Nutzung elektronischer Eingabemedien	176
4.7.4	Dokumentation von Analyseergebnissen	178
4.7.5	Erweiterungen	178
4.7.6	Zusammenfassung und Hinweise zur Nutzung der Konzeptdatenbank	180
4.8	Integration der vorgestellten Werkzeuge	181
4.9	Zusammenfassung	182
5	Werkzeug zur Unterstützung der Auswahl von Analysemethoden	185
5.1	Bedarf	185
5.2	Anforderungen an einen Methodenbaukasten	186
5.3	Kriterien zur Auswahl von Methoden	186
5.4	Zugriffssystem zur bedarfsgerechten Auswahl von Methoden	188
5.5	Analysemethodendatenbank	189
5.5.1	Aufbau der Analysemethodendatenbank	190
5.5.2	Benutzerschnittstellen und Hinweise zur Anwendung	191
5.6	Zusammenfassung und Ausblick	193
6	Anwendung des Erweiterten Vorgehensmodells	195
6.1	Ausgangssituation und Zielsetzung	196
6.2	Bauarten elektromagnetischer Bremsen	197
6.2.1	Elektrisch öffnende Permanentmagnet-Einflächenbremse	197
6.2.2	Elektrisch öffnende Federdruckbremse	198
6.3	Aufgabenklärung und Identifizierung vordringlichen Handlungsbedarfs	199
6.3.1	Intensive Analyse der Anforderungen	199
6.3.2	Ableiten von Bewertungskriterien	207

6.4	Durchführung umfangreiche Recherchen zur Informationsgewinnung	208
6.4.1	Recherche Magnetismus	208
6.4.2	Recherche Reibung	210
6.5	Orientierende und projektbegleitende Analysen zur Informationsgewinnung	210
6.5.1	Standardisiertes Versuchsprogramm	211
6.5.2	Analyse Magnetismus	212
6.5.3	Analyse Reibung	213
6.6	Orientierende Lösungssuche	215
6.7	Einordnung der Ideen in Portfoliodiagramme	215
6.8	Ausgewählte Ergebnisse	217
6.8.1	Integration des Bleche-Spreizer Effekts	217
6.8.2	Bremse mit flexiblen Elementen	222
6.8.3	Servoanker	227
6.8.4	Kombination von verschiedenen Teillösungen zu Gesamtsystemen	229
6.8.5	Bewertung der Lösungen	231
6.9	Zusammenfassung	231
6.9.1	Vorgehen	231
6.9.2	Analysen und orientierende Versuche	232
6.9.3	Methoden	233
6.9.4	Werkzeuge zur Unterstützung der Dokumentation	234
7	Zusammenfassung und Ausblick	235
7.1	Überblick und Ergebnisse	235
7.2	Ausblick	237
8	Literaturverzeichnis	239
9	Anhang	255
9.1	Ausgewählte Ergebnisse der Umfrage	255
9.2	Ausgewählte Entwicklungsprojekte	258
9.2.1	Komponentenoptimierung im Bereich PKW-Sitze	258
9.2.2	Innovativer Schiffsantrieb – Konzepte für den Voith Schneider Propeller	262
9.2.3	Optimierung eines Positronen-Emissions-Tomographen	265
9.2.4	Entwicklung einer Innenwirbelmaschine	269
9.3	Berechnungsprogramm zur Bestimmung des magnetischen Flusses	270
9.4	Fragebogen zur Beurteilung von Analysemethoden	271
9.5	Parametercheckliste	272
9.6	Methoden und Hilfsmittel hinterlegt in der Methodendatenbank	273
9.7	Vorauswahlliste	274
9.8	TOP 8D Report	275
9.9	Zugriffssystem zur Unterstützung der Methodenauswahl	276
10	Dissertationsverzeichnis	277

1 Einleitung und Zielsetzung

1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Zur nachhaltigen Sicherung ihrer Wettbewerbsfähigkeit müssen Unternehmen Erfolgspotenziale frühzeitig erkennen und rechtzeitig konsequent erschließen (GAUSEMEIER, FINK & RIEPE 1998, S. 139). Dazu müssen sie sich systematisch mit den Produkten und Märkten der Zukunft befassen und entsprechende Produkt- und Geschäftsstrategien entwickeln, um im Zeitalter der Globalisierung dem zunehmend wachsenden Konkurrenzdruck begegnen zu können. Dieser Konkurrenzdruck hat erfahrungsgemäß großen Einfluss auf den gesamten Entwicklungsprozess, wie aus Abbildung 1-1 hervorgeht.

KLOCKE ET AL. (1999, S. 186) sehen den wesentlicher Erfolgsfaktor zur nachhaltigen Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit in innovativen Produkten¹, mit denen sich Unternehmen neue Märkte erschließen und sich in existierenden behaupten können. Die Sicherung des unternehmerischen Erfolgs verlangt daher, für die Problemstellungen der Kunden (WESTKÄMPER ET AL. 1997, S. 579) immer wieder neuartige Lösungen² zu finden, um auf die sich rasch ändernden Trends aus Sicht der Märkte richtig reagieren zu können.

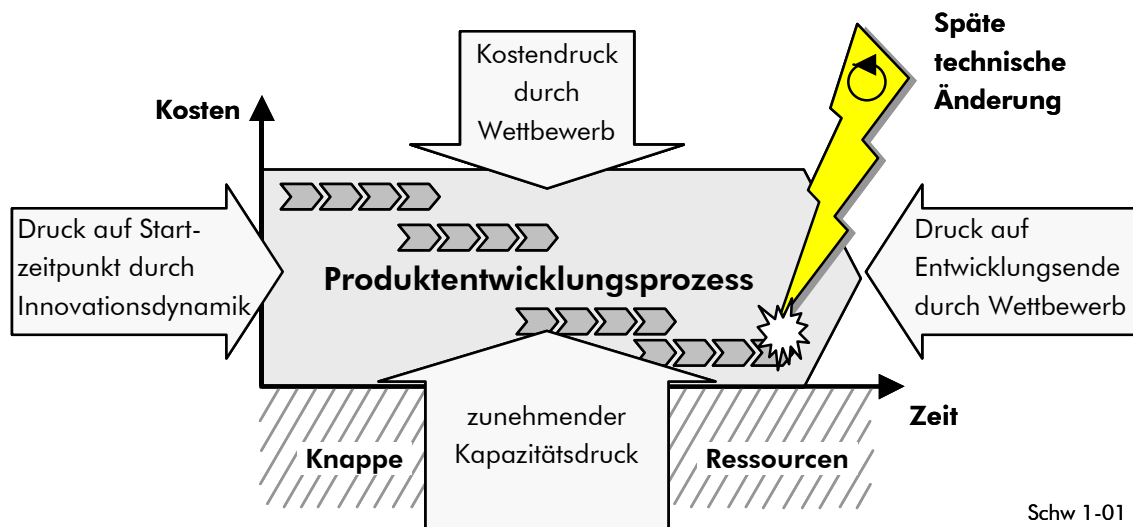


Abbildung 1-1: Anspannungssituation in der heutigen Produktentwicklung (CONRAT 1998, S. 18)

Die Entwicklung innovativer Produkte erfordert in vielen Fällen gerade in den frühen Phasen des Entwicklungsprozesses aufgrund der hohen Komplexität (KERMODE & SILVALOGANATHAN 2000, S. 387ff), der hohen Qualitätsansprüche und der zur Verfügung stehenden Zeit eine interdisziplinäre Zusammenarbeit (MILNE 2000, S. 289), um den hochge-

¹ Nach BERTH (1993) werden rund 30% des Umsatzes mit Produkten erzielt, die neu am Markt eingeführt wurden.

² Lösungen, um ein Produkt oder einen Prozess zu optimieren.

steckten Anforderungen gerecht zu werden, die Produkte schnell, ausgereift und kostengünstig auf den Markt (KÖNIG ET AL. 1993, S. 92) zu bringen.

Um das wachsende Entwicklungsrisiko, das mit der Verkürzung der Entwicklungszyklen zwangsläufig einhergeht, verringern zu können und um folgenschwere Produktfehler frühzeitig erkennen oder ganz vermeiden zu können, sind neuartige Methoden und Hilfsmittel zur Unterstützung der Entwickler erforderlich (SPATH ET AL. 1998, S. 200ff). REINHART & MILBERG (1998) sehen gerade in der Leistungsfähigkeit der Entwicklungsabteilungen den maßgeblichen Faktor für den Unternehmenserfolg. Aus diesem Grund rücken Ansätze, die auf eine Verkürzung der Entwicklungszeiten (WESTKÄMPER ET AL. 1997) und eine Erhöhung der Innovationsrate abzielen, immer mehr in den Mittelpunkt unternehmerischer Anstrengungen.

Problematisch ist, dass gerade in den frühen Phasen der Produktentwicklung richtungsweisende Entscheidungen mit hohen Auswirkungen auf das abschließende Entwicklungsergebnis (WOOD 1999, S. 131) und mit erheblichem Einfluss auf den Markterfolg getroffen werden (EVERSHEIM ET AL. 1997). Dies geschieht oftmals auf Basis von überwiegend unsichereren Daten¹ (Annahmen, Schätzungen etc.) und einem geringen Kenntnisstand der Produkteigenschaften (Abbildung 1-2). Aufgrund der Auswirkungen derartiger Entscheidungen auf nachfolgende Prozessschritte und der damit verbundenen Kosten werden sie darüber hinaus von den Verantwortlichen nur unwillig und verzögert gefällt; dazu kommt, dass nach ALBERS & SCHWEINBERGER (1999) die zur Unterstützung der Entwickler eingesetzten Werkzeuge² nicht in angemessener Art und Weise genutzt werden, was zusätzliche Probleme herbeiführt.

Verschiedenen Studien (EHRENSPIEL 1995, KRAECHTER 1997, PAHL & BEITZ 1993, PFEIFFER & BONSE 1989) ist zu entnehmen, dass ein Großteil der Fehler³ in den frühen Phasen der Produktentwicklung auftreten, diese jedoch erst sehr spät im Entwicklungsprozess erkannt und dann mit großem personellen und finanziellen Aufwand beseitigt werden müssen (vergleiche Abbildung 1-2). Dabei sind gerade in den frühen Phasen fehlerbedingte Änderungen einfach und kostengünstig durchzuführen; je später die Notwendigkeit derartiger Änderungen im Produktentwicklungszyklus erkannt wird und je näher der geplante Produktionsbeginn liegt, desto mehr Aufwand (PFEIFFER ET AL., 1996, S. 565) muss betrieben werden und um so höher fallen die Änderungskosten aus. Änderungen am Produkt implizieren in dieser späten Phase in der Regel auch kostenintensive Änderungen in Fertigungs- und Montageeinrichtungen.

PFEIFFER, FORKERT & SIEGLER (1996) fordern daher den Einsatz von personellen und finanziellen Ressourcen sowie Sachmittel, die bisher zur Fehlerbehebung nach Produktionsbeginn eingesetzt wurden, in die frühen Phasen umzuschichten. Dabei sollen mittels geeigneter Methoden und Hilfsmittel frühzeitig wertvolle Informationen zu Produkt und Prozess generiert werden, was nach BOCHTLER (1996, S. 76) zu einer förderlichen Erkenntnisvorverlagerung

¹ ULLMAN (1995) spricht in diesem Zusammenhang von den kritischen Entwicklungsschritten, wo die vorhandenen Informationen nur qualitativ, unvollständig und nicht konsistent sind.

² Rechnerwerkzeuge oder Hilfsmittel wie Formulare oder Checklisten.

³ Fehler sind nach DANNER (1996, S. 15) die Nichterfüllung von Forderungen bzw. von Ansprüchen des internen oder externen Kunden bzw. der Gesellschaft und können negative Auswirkungen auf den Erfolg am Markt haben.

führt. Dieser Mehraufwand in den frühen Phasen ermöglicht in Einklang mit der einhergehenden Erkenntnisvorverlagerung die Entwicklung von qualitativ hochwertigen Produkten bei in der Summe kürzeren Produktentwicklungszeiten und insgesamt geringeren Kosten, da durch das zielgerichtete und effizientere Vorgehen (EVERSHEIM 1993) kostenintensive Änderungen in späten Phasen vermieden werden und der Markteintritt¹ früher erfolgen kann.

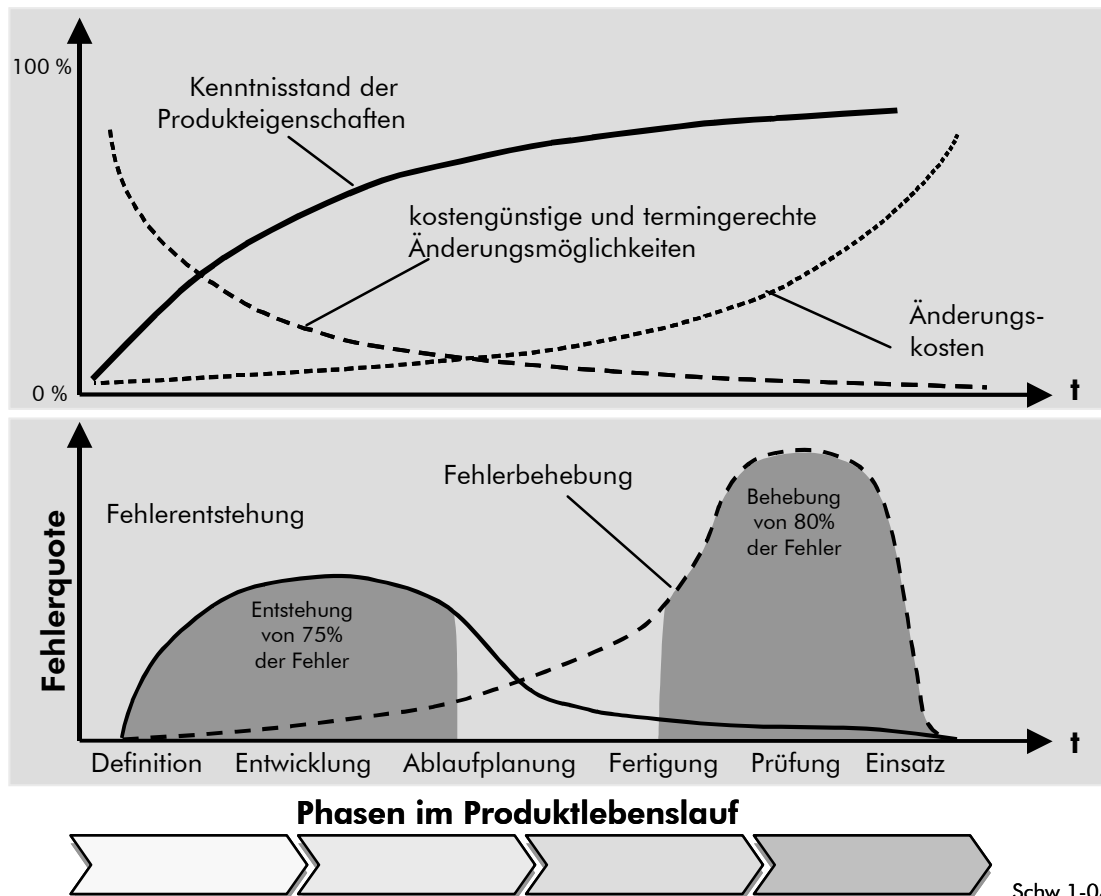


Abbildung 1-2: Fehlerentstehung und -behebung im Produktlebenslauf (nach PFEIFFER & BONSE, 1989)

Mit zunehmender Komplexität der Aufgabenstellungen (CONRAT 1998, S. 206) in den Entwicklungsprojekten, bedingt durch den Einsatz von neuen Technologien, neuen Funktionsprinzipien oder neuen Werkstoffen, nimmt auch die Zahl möglicher Problemquellen zu, die Anzahl möglicher Fehler steigt und Ursache-/Wirkungsketten werden schwerer vorhersehbar.

Bei der Entwicklung innovativer Produkte, bei Neuentwicklungen ohne direkte Vorgängerprodukte, trifft man auf vielfältige Problemstellungen, die die Planung der Entwicklungsprozesse² erschweren. EHRENSPIEL (1999, S. 239) sieht daher die Notwendigkeit einer adaptiven

¹ WARSCHAT & WASSERLOS (1990) rechnen bei einer verzögerten Marktpräsenz bedingt durch eine Überschreitung der Entwicklungszeiten um 25% mit Gewinneinbußen von bis zu 60%. Um problematische technische Änderungen in den späten Phasen zielsicher vermeiden zu können, ist in den frühen Phasen ein erhöhter Aufwand durchaus gerechtfertigt.

² EHRENSPIEL (1999, S. 236 ff) geht davon aus, je innovativer ein Produkt ist, um so schlechter ist dieses und der zugehörige Prozess planbar.

Strategie- und Methodenwahl. Abbildung 1-3 zeigt anhand der Auswertung der Ergebnisse verschiedener Entwicklungsprojekte, welches große Risiko die Einführung neuer Technologien und die Erschließung neuer Märkte mit sich bringt und welcher Aufwand damit verbunden ist. BERTH (1993) geht je nach Branche von einer Misserfolgsquote von 30% bis 90% bei neuen Produkten am Markt aus; für derartige Fehlschläge fallen hohe zeitliche Entwicklungsaufwände verbunden mit hohen Kosten an.

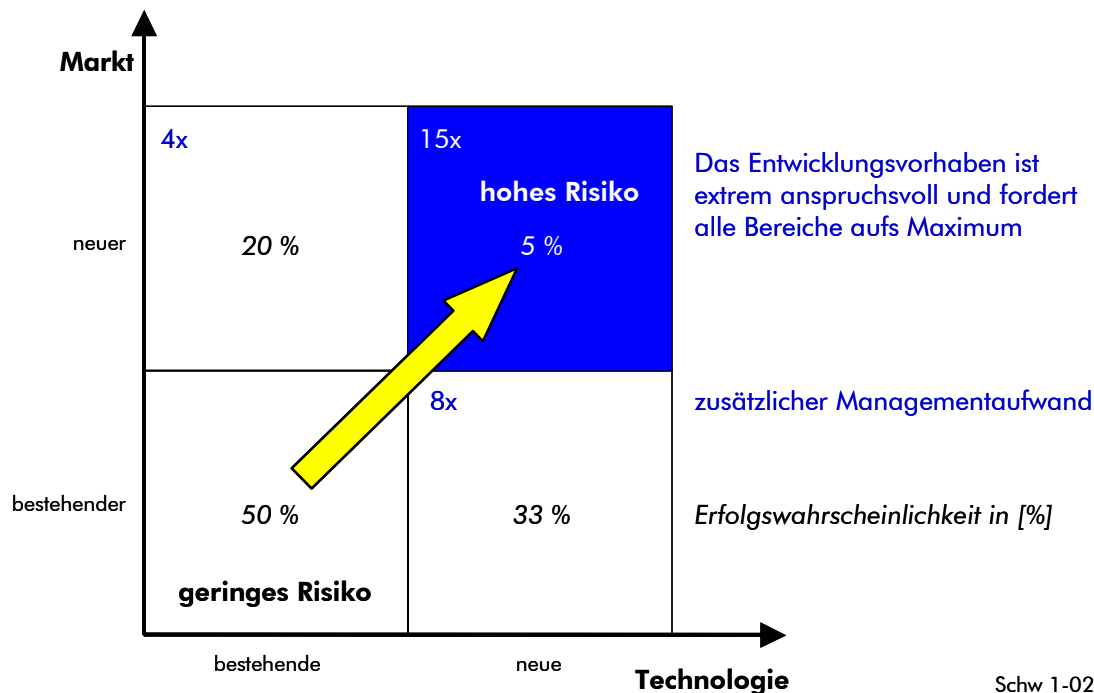


Abbildung 1-3: Risiko und Erfolg¹ bei Produktentwicklungen (MEIER 1999)

Solche Misserfolge bei der Produktentwicklung² lassen sich nach BRENK, EVERSHEIM & FORNITZ (1996) insbesondere dann vermeiden, wenn frühzeitig die Bedürfnisse der Kunden beachtet werden und die relevanten Produktparameter durch geeignete Analysen bereits in den entscheidenden frühen Phasen ausreichend abgesichert werden. Unterwirft sich ein Unternehmen dem hohen Druck innovative Produkte zu entwickeln, muss es mit geeigneten Maßnahmen reagieren, den zusätzlichen Aufwand akzeptieren und die erforderlichen Kapazitäten bereitstellen. Diese Innovationsprozesse können in ihrer zeitlichen Ausprägung sowohl sprunghaft und plötzlich als auch langfristig und schrittweise gestaltet sein und werden in Unternehmen durch Schlüsselfaktoren wie die Unternehmenskultur, das Innovationsklima, die Kundeneinbindung, die Kommunikation, durch ein aktives Innovations- und Ideenmanagement oder einen hohen Informationsstand begünstigt (WESTKÄMPER ET AL. 1997, S. 579).

¹ Abhängig von der Studie wird davon ausgegangen, dass von 100 Ideen für neue Produkte zwischen 0,1 und 14 am Markt erfolgreich sind (COOPER 1999; SPECHT & BAUMANN 1996; HUSTAD 1996; PERNICKY 1990).

² BALACHANDRA & RAELEN (1990, S. 99ff) schlagen zwölf Fragen vor, die im Zusammenhang mit der Entwicklung von High-Tech Produkten geklärt werden müssen. Diese kritische Bewertung dient zur Entscheidungsfindung, ob ein Projekt frühzeitig abgebrochen werden soll.

Verschiedene Quellen (PAHL & BEITZ 1993, EHRENSPIEL 1995, VDI-RICHTLINIE 2221 1993) sehen den Entwicklungsprozess als einen Informationsverarbeitungsprozess¹, bei dem eine Vielzahl von Informationen² gewonnen, verarbeitet und ausgegeben werden. Aufgrund der Eingangs geschilderten Notwendigkeit zur Verkürzung der Produktentwicklungszeiten und der Produktlebenszyklen bei gleichzeitig steigender Produktkomplexität nimmt daher die Bedeutung eines effizienten Informations- und Wissensmanagements zu³. Gerade im Bereich des Produktentwicklungswissens, das für nachfolgende Projekte einen wertvollen Input darstellt, und heute nicht oder nur unzureichend dokumentiert wird, besteht akuter Handlungsbedarf.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Entwicklung innovativer Produkte für die Unternehmen äußerst wichtig ist aber gleichzeitig ein hohes Risiko beinhaltet (GAUSEMEIER 2001, S. 168ff). Daher sind Anstrengungen, dieses Risiko zu reduzieren, durchaus gerechtfertigt. Dazu sind geeignete Vorgehen, zweckmäßige Methoden und einfache Hilfsmittel erforderlich, die neben der Mitarbeiterkompetenz und der Organisationsform des Unternehmens zu den wesentlichen Faktoren (BIRKHOFFER 1991, S. 224ff) einer erfolgreichen Produktentwicklung zählen.

1.2 Zielsetzung der Arbeit

Übergeordnete Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ist es, die Produktentwicklung in den wichtigen frühen Phasen durch ein geeignetes Vorgehen, zweckmäßige Methoden und Hilfsmittel umfassend zu unterstützen. So soll ein strukturiertes und methodisches Vorgehen in der Industrie gefördert und der Einsatz von Werkzeugen und Hilfsmitteln vorangetrieben werden. Daraus leiten sich zahlreiche Anforderungen ab, die sowohl bei der Definition des Vorgehens als auch bei der Definition der Werkzeuge und Hilfsmittel berücksichtigt werden müssen.

Das Erweiterte Vorgehensmodell unterstützt die Entwickler bei der Bearbeitung ihrer Aufgabe. Diese müssen ausgehend von sehr abstrakten Eingangsinformationen unter Berücksichtigung der organisatorischen und technischen Anforderungen konkrete technische Lösungen entwickeln (Abbildung 1-4). Diese technischen Lösungen sollen den Anforderungen von Seiten der Kunden und des Marktes entsprechen, qualitativ hochwertig und vor allem innovativ⁴ sein und in kurzer Zeit erarbeitet werden. SCHLÜTER (2001, S. 67) weist in diesem Zusammenhang auf die gleichzeitige Verbesserung der drei Aspekte Qualität, Zeit und Kosten hin und fordert neben der Erfüllung der Anforderung auch das Wecken von zusätzlichen Bedürfnissen beim Kunden, was durch einen entsprechenden Methodeneinsatz und möglichst effiziente Entwicklungsprozesse begünstigt wird.

¹ PAHL & BEITZ (1993) sprechen von Informationsumsatz.

² JENSEN (1998) bezeichnet die Produktentwicklung als wissensintensiven, formalisierten Prozess, bei dem Anforderungen (Eingangs-Informationen) in eine Produktbeschreibung (Ausgangs-Informationen, z.B. in Form eines CAD-Modells) umgewandelt werden, d.h. es findet ein Informationsumsatz statt.

³ <http://www.sfb361.rwth-aachen.de/kurzdar.htm>, entnommen 23.04.01.

⁴ AMFT ET AL. (1999) sehen neben den Faktoren drei Hauptkriterien Qualität, Zeit und Kosten, im innovativen Potenzial eines Unternehmens einen weiteren Schlüsselfaktor.

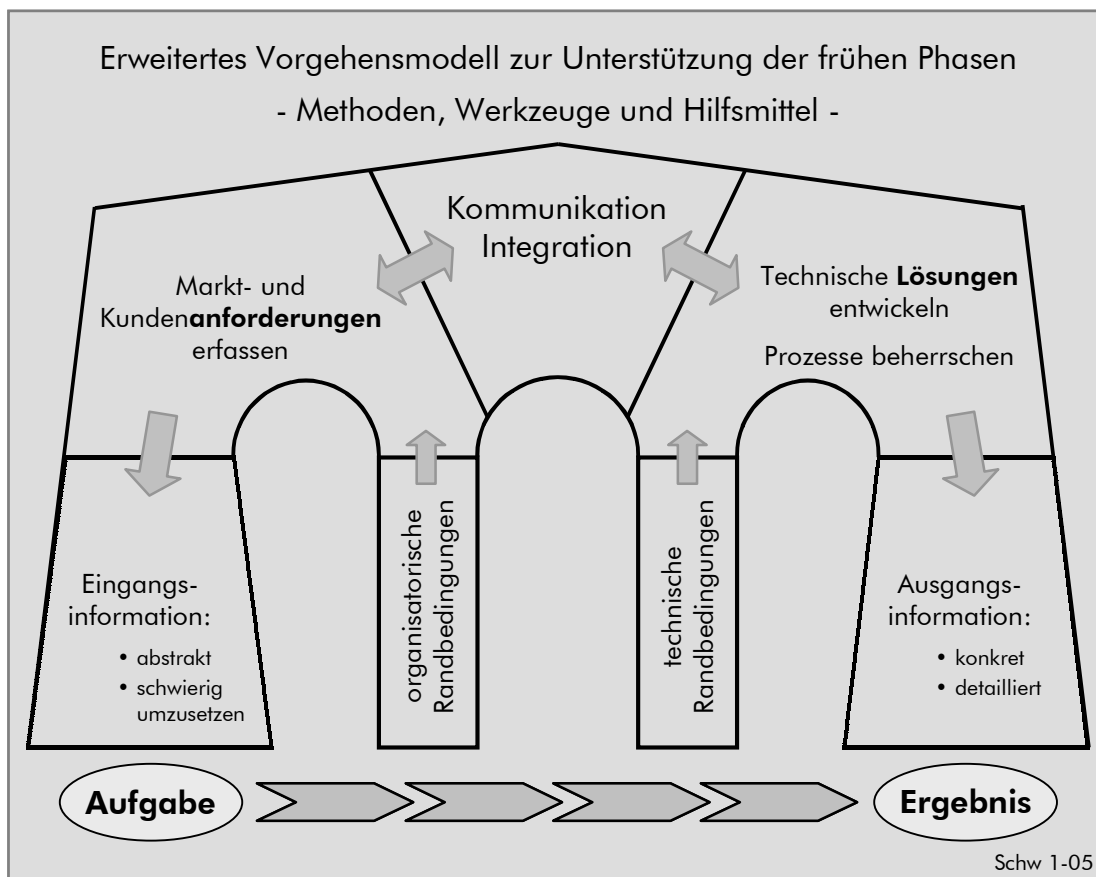


Abbildung 1-4: Das Erweiterte Vorgehensmodell - Brückenschlag zwischen Anforderungen und Technologie (in Anlehnung an EVERSHEIM ET AL. 1996, S. 28)

Im Rahmen der Arbeit werden die frühen Phasen der Integrierten Produktentwicklung eingehend analysiert, vorhandene Schwachstellen identifiziert und ein optimiertes Vorgehen entwickelt, wobei die Schritte

- Aufgabenklärung
 - Lösungssuche und begleitende Dokumentation
 - Erkennen und effizientes Absichern relevanter Produktparameter¹ durch
 - Planung von Analysen
 - Modellbildung
 - Durchführung und Auswertung von Analysen
 - Bewerten und Auswählen
- detailliert betrachtet werden.

Gerade bei anspruchsvollen Technologieentwicklungen, bei denen großer Informationsbedarf vorhanden ist und zu dessen Klärung die Durchführung einer Vielzahl von unterschiedlichen Analysen erforderlich ist, soll dieses Erweiterte Vorgehensmodell, die Methoden und Hilfs-

¹ Ein Parameter ist eine kennzeichnende Größe in einem technischen System, hier in einem Produkt.

mittel eine Unterstützung für die Entwickler darstellen. Neben der Entwicklung qualitativ hochwertiger Produkte zielt das Vorgehen auch auf die Reduzierung der Entwicklungskosten ab, indem es kostenintensive Änderungen in späteren Phasen zielgerichtet vermeiden soll.

Da einem durchgängigen Informationsfluss und einem geeigneten Ideenmanagement im Entwicklungsprozess eine hohe Bedeutung zukommt, stellt die Entwicklung von einfachen und flexiblen Rechnerwerkzeugen zur Unterstützung der prozessintegrierten Dokumentation ein weiteres Ziel der Arbeit dar. Die entwickelten Werkzeuge und Hilfsmittel zur Unterstützung der Dokumentation sollen dabei aufzeigen, wie mit Hilfe von Softwareprodukten, die in den meisten Unternehmen als Standard gelten, einfache und dennoch äußerst flexible Werkzeuge zur Unterstützung des Ideenmanagements aufgebaut und bedarfsgerecht angepasst werden können.

1.2.1 Erfahrungsgrundlage und wissenschaftliche Vorgehensweise

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit basieren auf den Erfahrungen aus zahlreichen Projekten, die der Autor als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Produktentwicklung der Technischen Universität München bearbeitet hat.

Ziel dieser Projekte war neben der Analyse und Optimierung von Entwicklungsprozessen die Entwicklung neuer innovativer Produkte, die den wachsenden Anforderungen des Marktes und der Kunden gerecht werden und sich von vorhandenen Produkten deutlich differenzieren. Die Vielfalt an unterschiedlichen Aufgabenstellungen aus verschiedensten Produktparten und mehreren Unternehmen ermöglichte einen umfassenden Einblick in verschiedene Entwicklungsabläufe, und hat sowohl den Bedarf nach methodischer Unterstützung beim Vorgehen als auch nach Werkzeugen zur Unterstützung einzelner Teilelemente aufgezeigt, wie z.B. der Dokumentation. Daneben wurden bereits vorhandene Vorgehensmodelle, Methoden und Hilfsmittel eingehend analysiert, nach verschiedenen Kriterien klassifiziert und an die Anforderungen bei der Entwicklung innovativer Produkte entsprechend angepasst.

Diese Erfahrungen erlaubten die Definition eines produkt- und unternehmensunabhängigen Erweiterten Vorgehensmodells und die Schaffung von flexibel einsetzbaren Hilfsmitteln zur Unterstützung der Entwickler in den wichtigen frühen Phasen der Produktentwicklung. Dazu wurden verschiedene Teilschritte des Entwicklungsprozesses analysiert und gezielt verbessert¹. Ziel war dabei eine optimierte Abarbeitungsreihenfolge zu definieren, einzelne Teilschritte zu parallelisieren, zusammenzufassen bzw. ganz zu eliminieren. Des Weiteren wurden die Schnittstellen optimiert und unterstützende Methoden und Hilfsmittel zugeordnet. Abschließend konnten die einzelnen Teilschritte zum Erweiterten Vorgehensmodell kombiniert werden.

Die generierten Lösungsansätze wurden anschließend im Rahmen verschiedener Projekte schrittweise erprobt und in mehreren Iterationsschleifen kontinuierlich optimiert:

¹ Unter Beachtung verschiedener Verfahren zur Prozessoptimierung, z.B. dem Business Process Reengineering (HUGENBERG & WULF 1998, S. 306)

- Entwicklung elektromagnetischer Bremsen: Durch die rasante Entwicklung auf dem Antriebssektor werden zunehmend höhere Anforderungen an elektromagnetische Bremsen gestellt. Die bisher eingesetzten Konzepte konnten diese Anforderungen aber nicht mehr erfüllen. Daher sollten neue Prinzipien entwickelt und deren Eignung für zukünftige Bremssysteme analysiert werden.
- Entwicklung diverser Komponenten für PKW-Sitzsysteme: Ziel war, ausgewählte Komponenten zu optimieren, den Einsatz neuer Werkstoffe abzuschätzen sowie Gesamtkonzepte für künftige Sitzsysteme zu entwickeln.
- Entwicklung einer Innenwirbelmaschine zum kostengünstigen Fertigen hochgenauer Gewindemuttern. Das von der Fertigung von Gewindespindeln bekannte Technik des Zirkularfräsen wurde analysiert und für die Herstellung von Präzisions-Innengewinden angepasst.
- Entwicklung eines Unterbausystems für Rettungseinsätze: Das Unterbausystem für Rettungseinsätze (z.B. zur Unfallhilfe) soll modular aufgebaut und flexibel einsetzbar sein sowie das Anwendungsspektrum bisheriger Systeme deutlich erweitern.
- Entwicklung medizintechnischer Geräte: Zur Durchführung von Untersuchungen an kleinen Nagetieren wurde ein flexibles Transfersystem konzipiert. Neben den sicherheitstechnischen Anforderungen musste auch die Integration dieses Systems in bestehende medizintechnische Anlagen berücksichtigt werden.

Die Einführung in Unternehmen und die spezifische Anpassung des Vorgehensmodells, der Methoden und Hilfsmittel wurde im Rahmen weiterer Projekte und Konzeptstudien durchgeführt.

1.2.2 Einschränkung des Themengebietes

In dieser Arbeit werden die frühen Phasen der Integrierten Produktentwicklung eingehend betrachtet, von der ersten Idee bis zur Umsetzung in Form von validierten Prototypen, wobei der Fokus auf der Funktionsbetrachtung und der Absicherung relevanter Produkteigenschaften liegt. Zur Absicherung – als Grundlage für die Bewertung einzelner Ideen und Konzepte – werden verschiedene einfache Analysemethoden vorgeschlagen, deren Anwendung sich in den durchgeführten und untersuchten Produktentwicklungen als zielführend erwiesen hat. Die Analyse mit Hilfe von rechnerbasierten Simulationen oder Methoden der Virtual Reality wird daher nur am Rande behandelt, da diese Verfahren CAD Modelle der abzusichernden Konzepte voraussetzen, die in der Regel erst zu einem späteren Zeitpunkt im Entwicklungsprozess vorliegen.

Problemstellungen aus vorhergehenden (strategische Produktplanung, Marketing) oder nachgeschalteten Phasen (z.B. Fertigung und Montage) des Produkterstellungsprozesses werden nur insofern untersucht, wenn relevante Entscheidungen für diese Prozessschritte schon in den frühen Phasen der Produktentwicklung getroffen werden können.

Das in Kapitel 3 beschriebene Erweiterte Vorgehensmodell ist in erster Linie auf die flexible Anwendung bei Produktneuentwicklungen hin ausgerichtet, ein Einsatz bei Anpassungs- oder Variantenentwicklungen ist ebenfalls möglich. Die zur Unterstützung einzelner Prozessschrit-

te definierten Rechnerwerkzeuge wurden in Form von Prototypen realisiert, die auf Standardsoftwareprodukten basieren. Ein Einsatz dieser Werkzeuge in der vorliegenden Form ist in kleineren Unternehmen oder einzelnen Abteilungen durchaus möglich, für den unternehmensweiten Einsatz mit einer größeren Anzahl an Nutzern sind noch zusätzliche Anpassungen (z.B. Internetanbindung) erforderlich bzw. eine Portierung auf andere Softwaresysteme durchzuführen.

1.3 Aufbau der Arbeit

Der Aufbau der Arbeit orientiert sich an den erläuterten Zielen und ist in Abbildung 1-5 dargestellt.

Im folgenden Kapitel wird der heutige Stand der Integrierten Produktentwicklung erläutert, Schwachstellen im Vorgehen und beim Einsatz von Methoden und Hilfsmitteln abgeleitet sowie Grundelemente aufgezeigt, die für diese Arbeit von Interesse sind. Neben verschiedenen Ablaufschemen und Handlungsempfehlungen, gängigen Methoden und bekannten Hilfsmitteln wird die Bedeutung innovativer Produkte für ein Unternehmen, der Einfluss der frühen Phasen der Produktentwicklung auf das Gesamtergebnis sowie die Themen Innovation, Wissen und Dokumentation behandelt.

In Kapitel 3 wird das Erweiterte Vorgehensmodell zur Unterstützung der frühen Phasen der Integrierten Produktentwicklung beschrieben, das im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelt worden ist. Es baut auf den bisherigen Ansätzen auf und ergänzt die bekannten Vorgehensmodelle um zusätzliche Elemente, die eine breite Unterstützung bieten. Damit soll eine fehlerarme Entwicklung innovativer Produkte in kurzer Zeit ermöglicht werden.

Im Kapitel 4 werden verschiedene Ansätze zur Dokumentation von Ideen aufgezeigt und mehrere Werkzeuge, die in Form von Prototypen realisiert worden sind, vorgestellt. Diese Werkzeuge werden im Erweiterten Vorgehensmodell eingesetzt und unterstützen die projektbegleitende Dokumentation beginnend in den frühen Phasen der Produktentwicklung. Sie führen damit zum Aufbau von umfangreichen Lösungssammlungen, die projektübergreifend eingesetzt werden können.

Kapitel 5 beschreibt ein datenbankbasiertes Rechnerwerkzeug, das Informationen und erforderliche Hilfsmittel zu einzelnen Analysemethoden bedarfsgerecht bereitstellt und insbesondere die Auswahl geeigneter Methoden unterstützt.

Die Wirksamkeit des Erweiterten Vorgehensmodells, der entwickelten Methoden, Hilfsmittel und Werkzeuge wird anhand einer Produktentwicklung, die gemeinsam mit einem Industrieunternehmen durchgeführt worden ist, in Kapitel 6 nachgewiesen. Die Erkenntnisse aus der Anwendung sämtlicher Elemente fassen dieses Kapitel zusammen.

Kapitel 7 fasst die erarbeiteten Ergebnisse und die gewonnenen Erkenntnisse nochmals zusammen. Ein kurzer Ausblick auf Möglichkeiten zur Weiterentwicklung des Vorgehensmodells und der vorgestellten Rechnerwerkzeuge schließen die Arbeit ab.

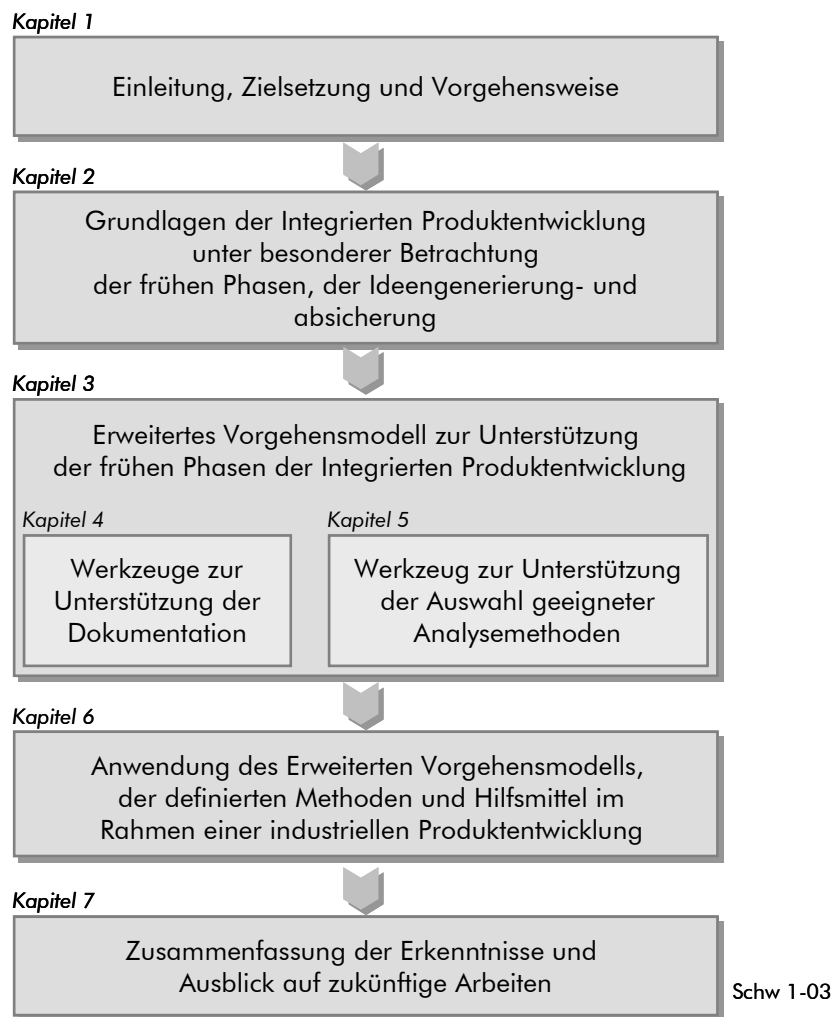


Abbildung 1-5: Aufbau der Arbeit

2 Produktentwicklung – Grundlagen und Problemanalyse

Die weltwirtschaftlichen Bedingungen haben in den vergangenen Jahren die Marktsituation grundlegend verändert. Nach SPATH ET AL. (2001, S. 378) waren noch nie zuvor so schnelle und umfassende Änderungen der Rahmenbedingungen zu beobachten. Dieser permanente Wandel betrifft Märkte¹ (BERNDES & STANKE 1995, S. 7), Produkte und Technologien und alle damit korrelierenden Elemente, Organisationsformen und Tätigkeiten. Um auf diese veränderten Rahmenbedingungen angemessen reagieren und damit im globalen Wettbewerb bestehen zu können, unternehmen viele Firmen große Anstrengungen und unterliegen dem Zwang, hierfür erhebliche finanzielle Mittel aufzuwenden (BASSEWITZ & RITTER 2001, S. 383).

Neben neuen Herausforderungen an die wirtschaftliche Gestaltung von Unternehmensprozessen, hervorgerufen durch einen Wandel von einer Produktions- zur Informationsgesellschaft (SPATH & MATT 1998, S.338) sind sich ständig verändernde und kaum vorhersehbare Kundenanforderungen (KÜHNLE & GOLLOS, 1999, S. 594), ein steigendes Konsumentenbewusstsein (BLESSING 1995, S. 125) sowie strengere Produkthaftungsrichtlinien und Änderungen in Normen und Gesetzen zu beachten. So werden z.B. Produkteigenschaften, die vom Kunden im laufenden Produkt noch als innovativ eingestuft werden, bereits in der nächsten Produktgeneration (DGQ e. V. 1995, S. 26) als selbstverständlich erachtet. Neben steigenden Anforderungen an die Qualität, die Kosten und die Entwicklungszeiten werden die Produkte an sich zunehmend komplexer und erfordern nach BLESSING (1995, S. 125f) die Integration unterschiedlicher Disziplinen wie der Elektrotechnik/Elektronik und der Informationstechnik. Zudem erfolgt diese interdisziplinäre Zusammenarbeit (LINDEMANN ET AL. 2000) oftmals im globalen Entwicklungsumfeld (GIERHARDT 2001, S. 1). Aufgrund der großen Bedeutung einer kundenorientierten Produktentwicklung (WÜPPINGER 1998, S. 42) für den Markterfolg und damit für das Fortbestehen des Unternehmens sind die bisherigen Prozesse, die Methoden und Hilfsmittel kritisch zu überprüfen und bei Bedarf anzupassen.

Eine Unternehmensneuorientierung schlägt sich nicht nur in strategischen Entscheidungen nieder, sondern muss auch in den internen Abläufen in Entwicklungsabteilungen erfolgen. Bedingt durch den Trend zu immer kürzeren Produktentwicklungszeiten, hohen Neuheitsgraden durch fortschreitenden Technologiewandel sowie zu verstärkter Zusammenarbeit mit den Kooperationspartnern² weist BEITZ (1995, S. 75) auf gestiegene Anforderungen an die Entwickler hinsichtlich Schnelligkeit, Flexibilität, Fortbildungswillen und auch Auslandstätigkeiten hin. Diese personenbezogenen Anforderungen wirken sich freilich auch auf den Entwicklungsprozess an sich aus und bedingen ebenfalls neue Anforderungen an die Methoden und Hilfsmittel, die zur Unterstützung in verschiedenen Phasen des Entwicklungsprozesses eingesetzt werden.

¹ Wechsel von einem Verkäufer- zu einem Käufermarkt.

² BEITZ (1995) nennt Zulieferer, Softwareunternehmen (Interdisziplinarität) oder ausländische Partner (Globalisierung) als mögliche Kooperationspartner.

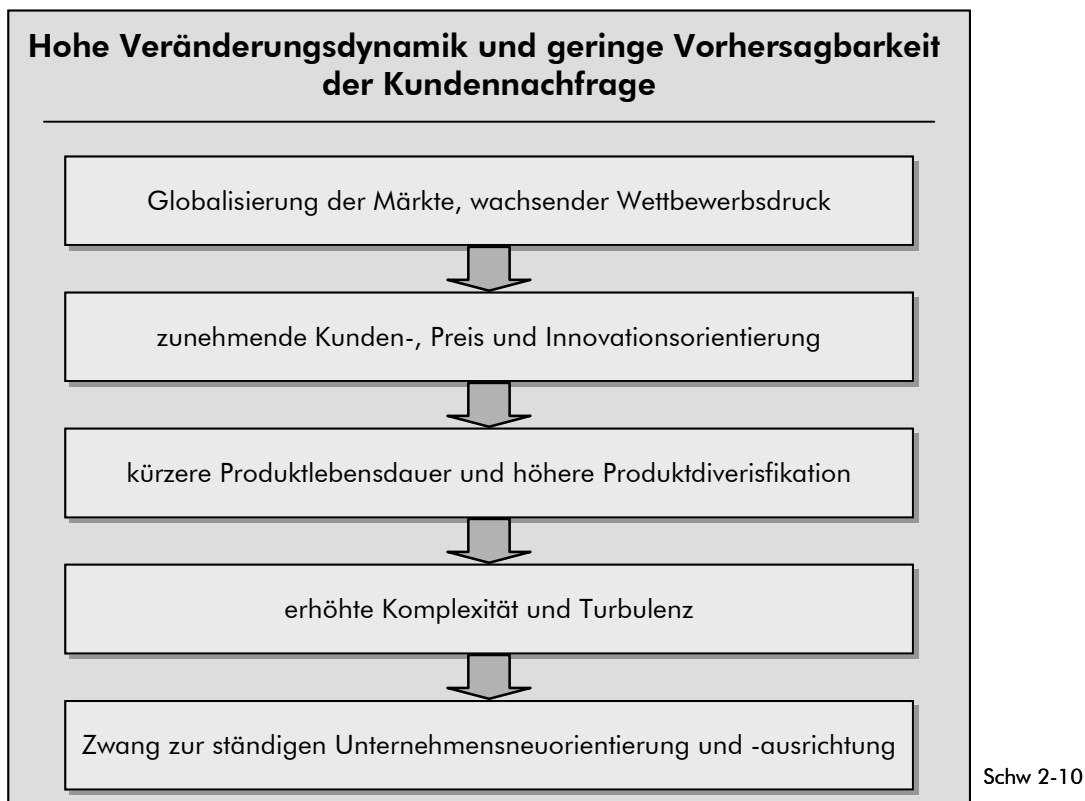


Abbildung 2-1: Wandel relevanter Randbedingungen (KÜHNLE & GOLLOS 1999, S. 594)

Diese hohe Veränderungsdynamik (Abbildung 2-1) auf sämtlichen Betrachtungsebenen, hervorgerufen durch externe und interne Faktoren, zieht eine Steigerung der Komplexität des Entwicklungsprozesses nach sich und hat weitreichende und vielfältige Auswirkungen auf den Prozess¹, auf das Vorgehen allgemein sowie auf die eingesetzten Methoden und Hilfsmittel.

Die Begriffe Methoden, Methodiken, Strategien und Hilfsmittel² werden in der Literatur sehr häufig und oftmals auch unterschiedlich verwendet. In Abbildung 2-2 sind daher die gängigen Definitionen dieser Begriffe (in Anlehnung an EHRENSPIEL 1995, PAHL/BEITZ 1993) zusammengefasst, die der vorliegenden Arbeit zugrunde liegen.

¹ Hier: Prozess als Summe einzelner Teilprozesse.

² Mit diesem Begriff werden sämtliche Hilfsmittel zur Unterstützung einzelner Schritte der Produktentwicklung bezeichnet; der Begriff Hilfsmittel wird in der vorliegenden Arbeit synonym mit dem Begriff Werkzeuge verwendet.

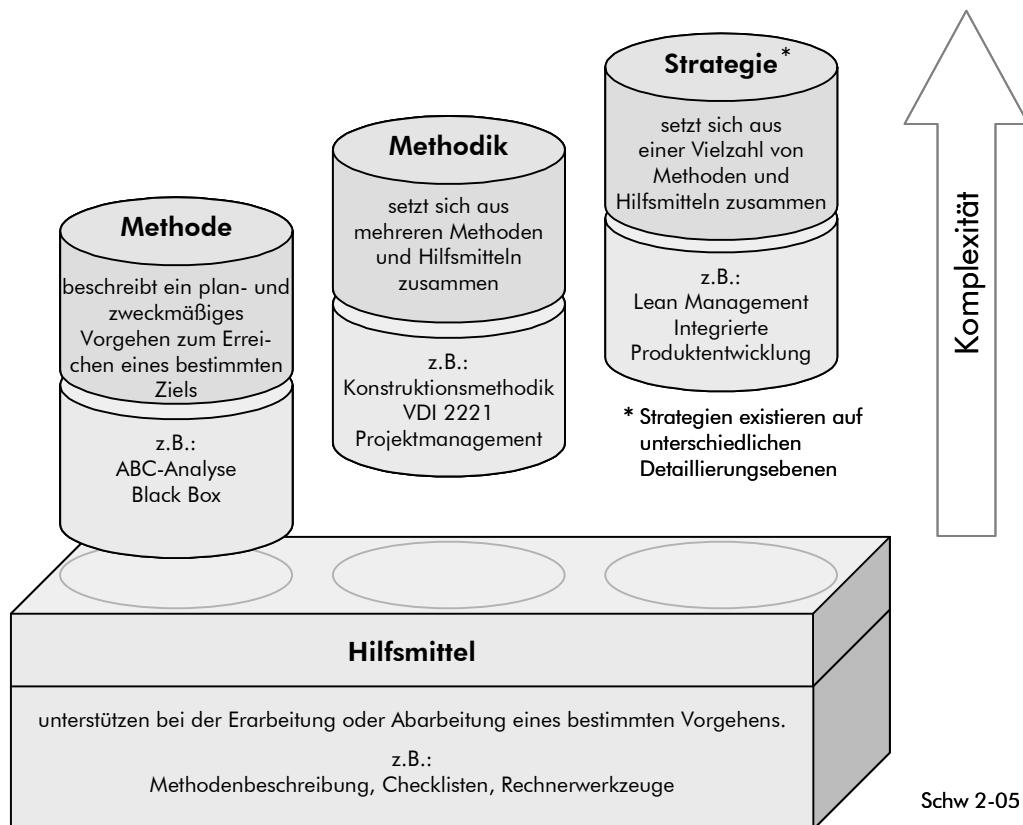


Abbildung 2-2: Einordnung von Methoden, Methodiken, Strategien und Hilfsmitteln (nach VIERTLBÖCK 2000)

Im Folgenden wird die Bedeutung der Innovation für ein Unternehmen dargestellt und die Mechanismen der Technologiezyklen näher erläutert. Im Anschluss daran werden die Möglichkeiten der Integrierten Produktentwicklung diskutiert, den eingangs geschilderten Anforderungen gerecht zu werden. Anhand des Vorgehenszyklus zur allgemeinen Problemlösung werden die wichtigsten Teilschritte aufgezeigt und verschiedene Methoden und Hilfsmittel vorgestellt, die dieses Vorgehen unterstützen. Anschließend werden die Themen Wissen und Wissensmanagement diskutiert sowie die Bedeutung der prozessbegleitenden Dokumentation erläutert.

Den Abschluss dieses Kapitels bildet eine Darstellung von Defiziten im Vorgehen, den Methoden und Hilfsmitteln. Basierend auf diesen Defiziten wird der identifizierte Handlungsbedarf aufgezeigt sowie eine Zielformulierung für das in Kapitel 3 vorgestellte Erweiterte Vorgehensmodell abgeleitet.

2.1 Bedeutung der Innovation

Innovationen¹, sowohl im Bereich von Produkten und Anwendungen als auch im Bereich von neuen oder weiterentwickelten Technologien, spielen einerseits für das Bestehen und andererseits für die zukünftige Entwicklung eines Unternehmens die entscheidende Rolle (SPECHT ET

¹ Innovation (lat): Schaffung von Neuem.

AL. 1999, S. 720). Die Studie von BERTH (1997) zeigt, dass der durchschnittliche Umsatzanteil von visionären Produkten, bei denen neue Technologien bzw. neue Funktionsprinzipien zum Einsatz kommen, zwar sehr gering, die erzielbare Rendite dagegen außerordentlich hoch ist (Abbildung 2-3). Unternehmen können sich Vorteile gegenüber Mitbewerbern und Vorteile für den Nutzer erschließen, indem sie Produktänderungen bzw. innovative Neuentwicklungen rechtzeitig veranlassen und die dafür erforderlichen Ressourcen zur Verfügung stellen. Die rasche Aktions- und Reaktionsfähigkeit der Unternehmen wird damit zu einem zentralen Faktor ihrer wirtschaftlichen Leistungskraft (BDI 1983, S. 6). LINDEMANN ET AL. (2000) betonen ebenfalls die hohe Bedeutung der Innovation, da heutzutage Unternehmen außer über die Faktoren Qualität, Kosten und Entwicklungszeit auch über die Innovation ihrer Produkte konkurrieren.

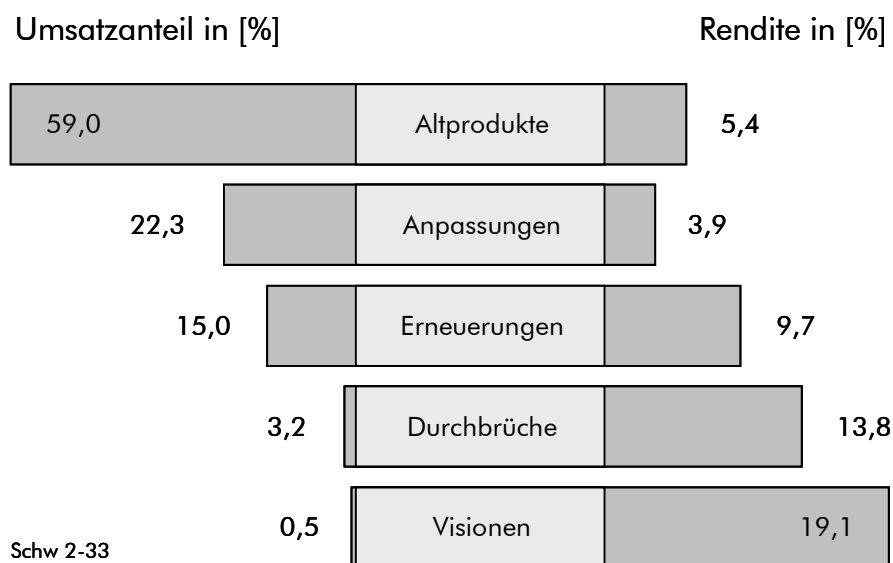


Abbildung 2-3: Bedeutung von Innovationen (BERTH 1997)

Der Begriff der Innovation wird in der Literatur häufig verwendet und verschiedenartig definiert (GAUSEMEIER ET AL. 2001). Im Folgenden werden einige ausgewählte Definitionen vorgestellt.

SABISCH & TINTELNOT (1997) verstehen unter Innovation die Durchsetzung neuer technischer, wirtschaftlicher, organisatorischer oder sozialer Problemlösungen im Unternehmen. Innovationen entstehen demzufolge durch komplexe Prozesse, die von der Ideengewinnung über die Forschung und Entwicklung bis zur Produktions- und Markteinführung reichen. Sie schließen auch die erfolgreiche praktische Anwendung neuer Problemlösungen ein und sind am erreichten Neuheitsgrad zu messen.

ENGELBRECHT (1977) fasst wissenschaftliche Entdeckungen und Erfindungen technischer Art unter dem Begriff der Innovation zusammen. Eine Innovation gewinnt erst durch die Realisierung Gestalt und Bedeutung und kann als Produkt oder Dienstleistung, als Verfahrensweise, als Systematik, als Denkmodell etc. in Erscheinung treten.

HENFLING (1981) fasst eine Innovation als die Herstellung eines Produktes mit neuen oder verbesserten technischen Eigenschaften und/oder die Einführung eines Produktionsprozesses

mit verbesserten technischen Merkmalen auf und betont damit in erster Linie den technischen Aspekt.

EHRENSPIEL¹ (1995, S. 296) definiert Innovation zum einen als Einführung einer neuartigen, fortschrittlichen Lösung für ein bestimmtes Problem². Neben einem Produkt kann es sich dabei auch um einen Prozess (ein Verfahren) materieller oder immaterieller Art handeln; um eine neue Lösung hinsichtlich der Funktion (neues Konzept) oder ein Produkt, das eine bekannte prinzipielle Lösung mit einer neuen Gestalt realisiert. Zum anderen sieht EHRENSPIEL auch in der Entdeckung oder Formulierung eines neuen Problems, eines neuen Problembereichs oder einer neuen Aufgabe eine Innovation.

Die Auswertung einer Umfrage³ zum „*Methodischen Vorgehen in der frühen Phase der Produktentwicklung*“ hat folgendes Verständnis des Begriffs Innovation aus Sicht der Industrie ergeben:

Innovation ist

- eine neue Lösung für ein Problem.
- das Anbieten neuer Funktionen oder deren Verbesserungen.
- eine Produktidee, die zum richtigen Zeitpunkt auf dem Markt ist und diese vom Markt auch akzeptiert wird.
- ein neues Produkt, das mit den im Unternehmen vorhandenen Fertigungsmethoden zu einem optimalen Preis-/Leistungsverhältnis mit größtmöglichem Kundennutzen hergestellt werden kann.

ILOI⁴ (1997) grenzt von den Produkt- (neue Produkte und Dienstleistungen) und Prozessinnovationen (neue Herstellungs- und Verfahrenstechniken) die Kultur- bzw. organisatorischen Innovationen ab, die neue Methoden des Managements und der Zusammenarbeit umfassen. SPUR (1996b, S. 308) unterteilt die Produktinnovationen anhand ihres Innovationsgrades in:

- Originäre Innovationen, die auf einer neuen Erfindung beruhen.
- Ergänzende Innovationen, die bestehende technische Erkenntnisse graduell verbessern.
- *Me-too*-Innovationen, d.h. nachgemachte oder nachempfundene Produkte, die sich vom Original meist in äußerlichen Variationen unterscheiden.

¹ Die Definition von EHRENSPIEL deckt sich auch mit der Definition aus dem THE NEW SHORTER OXFORD ENGLISH DICTIONARY, 1993: “The introduction of novelties, the alteration of what is established by the introduction of new elements of form. A change made in the nature or fashion of anything, something newly introduced, a novel practice or method, etc.”

² Ein Problem ist nach EHRENSPIEL (1995, S. 641) eine Aufgabe oder Fragestellung, deren Lösung nicht erkennbar ist und auch nicht direkt mit bekannten Mitteln angegeben werden kann.

³ Die Umfrage, an der sich 59 Personen aus verschiedenen Unternehmen beteiligt haben, wurde vom Autor im Zeitraum September bis Dezember 2000 durchgeführt. Weitere Ergebnisse dieser Umfrage werden an verschiedenen Stellen der Arbeit zitiert; Hinweise zu den organisatorischen Randbedingungen, zum Teilnehmerkreis und zur Durchführung der Umfrage sind in Kapitel 9.1 enthalten.

⁴ Quelle: <http://www.novomedia.de/Iloi/K13.htm>, entnommen am 01.04.01.

In Anlehnung an diese Definitionen und Einordnungen wird der Begriff Innovation im Folgenden für das Finden und erfolgreiche Umsetzen¹ neuartiger Lösungen für produkt- oder prozessspezifische Probleme (WATSON 1994, S.74) verwendet.

2.1.1 Impulse für Innovationen

Die auslösenden Impulse für die Entwicklung innovativer Produkte können sowohl von außen durch den Markt entstehen als auch von innen, vom Unternehmen selbst ausgehen (PAHL & BEITZ 1993). Sehr wichtig sind die Impulse, die von außen angeregt werden. Dies kann aufgrund geänderter Markterfordernisse, z.B. zusätzlicher Kundenwünsche (KÖNIG ET AL. 1993, S. 92) nach neuen oder verbesserten Funktionalitäten, oder aufgrund von neuen innovativen Produkten der Konkurrenz geschehen, die auf neuen Technologien basieren und das eigene Produkt vom Markt verdrängen können. Weitere Aspekte, die eine Innovation erforderlich machen können, stellen geänderte Gesetze oder verschärfte Umweltauflagen dar.

Im Unternehmen erfolgt der Anstoß zur Innovation oftmals im Rahmen von Funktionserweiterungen bei vorhandenen Produkten oder bei einer Produktüberarbeitung, die aufgrund von erforderlichen Rationalisierungsmaßnahmen erzwungen wird. Neue kreative Ideen², Ergebnisse von Forschungsarbeiten oder die Einführung von neuen Technologien sind oftmals ebenfalls ausschlaggebend.

2.1.2 Technologien und Technologiezyklen

Eine wichtige Rolle im Zusammenhang mit Innovationen spielen neue Funktionsprinzipien und diskontinuierliche Prozessinnovationen³ (siehe Abbildung 2-5 und Abbildung 2-6), bei denen bereits bestehende Technologien von neuen abgelöst werden. Dabei wird unter Technologie im allgemeinen das naturwissenschaftlich-technische Wissen⁴ über Lösungswege zur technischen Problemlösung verstanden. Der Übergang von einer Technologie auf eine Folgetechnologie ist in sämtlichen Produktklassen zu beobachten und wird im Folgenden erklärt.

Die Weiterentwicklung eines technischen Systems durchläuft nach ALTSCHULLER (1984) drei verschiedene Phasen und folgt dabei sogenannten Evolutionskurven, aufgrund ihrer Form auch als S-Kurven bezeichnet (Abbildung 2-4 und Abbildung 2-6). Diese Kurven stellen den Verlauf einer relevanten Kennziffer des betrachteten Systems (z.B. dessen Leistung) über der Zeit dar.

¹ Bei Produkten bis zur erfolgreichen Einführung am Markt.

² Neue Ideen können nach LINDEMANN ET AL. (2000) zufällig entstehen („man bräuhete doch ...“) oder durch geeignete Methoden und Werkzeuge zielgerichtet erarbeitet werden.

³ Neben der diskontinuierlichen Innovation unterscheiden TUSHMAN & O'REILLY (1998, S. 199) die kontinuierliche (kleine Erweiterung vorhandener Technologien) und die architektonische Innovation (Neukombination vorhandener Technologien).

⁴ Dieses Wissen stellt nach SPECHT ET AL. (1999, S. 720) die Ausgangsbasis für sämtliche zu entwickelnde Produkte und Verfahren dar.

Bei der Einordnung eines technischen Systems in eine der drei Phasen seiner Evolutionskurve werden folgende drei Parameter betrachtet:

- Die Erfindungshöhe.
- Die Anzahl der Erfindungen pro Jahr.
- Die Profitabilität des Systems.

Die erste Phase wird durch eine Basiserfindung eingeläutet, die eine große Erfindungshöhe aufweist, z.B. die Entdeckung eines neuen physikalischen Effekts. Basierend auf dieser Erfindung werden im Verlauf der ersten Phase die Grundlagen für ein funktionierendes Gesamtsystem entwickelt. Die zweite Phase ist von stürmischen technologischen Weiterentwicklungen gekennzeichnet, die ein Ansteigen der relevanten Kennziffern des Systems zur Folge haben. In der dritten und letzten Phase hat sich das System auf hohem Niveau etabliert und technische Verbesserungen werden nur noch in kleinem Umfang durchgeführt, was dem Abflachen der S-Kurve zu entnehmen ist. Wesentliche Verbesserungen können nur noch durch die Einführung einer neuen Technologie erreicht werden. Dieser Übergang in ein neues System bedarf einer neuen Basiserfindung, deren Entwicklung wieder dem selben Evolutionsmuster gehorchen wird. Die Entwicklung des Systems innerhalb und der Übergang in die nächste Phase folgen dabei gewissen Gesetzmäßigkeiten, die in verschiedene Klassen eingeteilt werden können.

Die erste Klasse stellen die *Gesetze der Funktion* dar (Abbildung 2-4). Sie definieren notwendige Voraussetzungen für die Funktion, die ein technisches System erfüllen muss, damit seine Evolutionskurve von Phase I in Phase II übergehen kann.

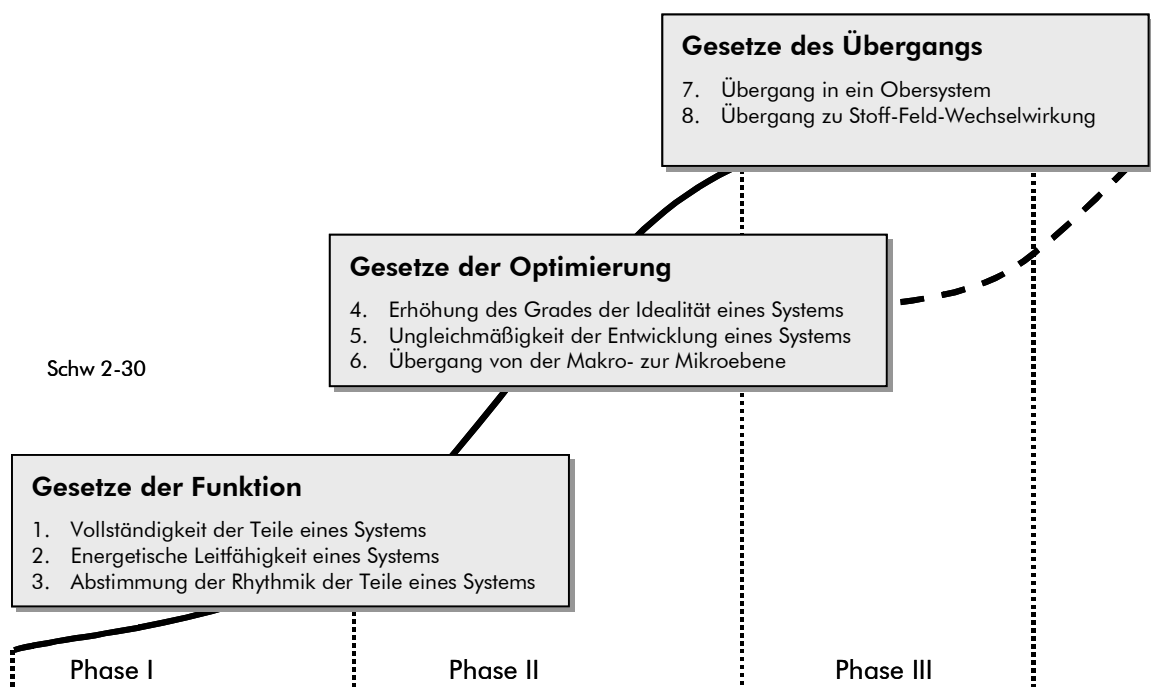
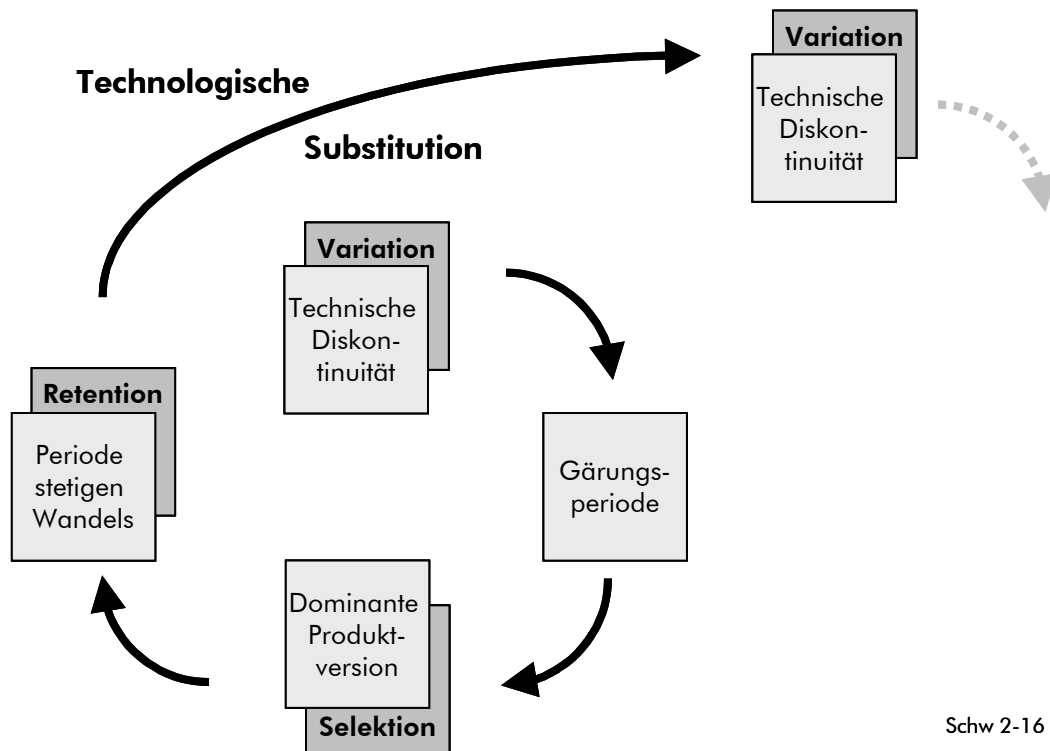


Abbildung 2-4: Gesetzmäßigkeiten der Evolution technischer Systeme (ALTSCHULLER 1984)

Die *Gesetze der Optimierung* bilden die zweite Klasse und beschreiben verschiedene Möglichkeiten zur Weiterentwicklung eines technischen Systems. Sie bestimmen damit die Ent-

wicklung eines Systems in den Phasen II und III. Die dritte Klasse enthält die *Gesetze des Übergangs*. Sie beschreiben Möglichkeiten, wie durch einen Technologiesprung ein Übergang zu einer neuen Entwicklungskurve vollzogen werden kann.

In der Betrachtung von TUSHMANN & REILLY (1998) wird ein Technologiezyklus durch eine technologische Diskontinuität ausgelöst (Abbildung 2-5). Eine technologische Diskontinuität wird dabei als ein relativ seltenes, nicht vorhersehbares Ereignis¹ infolge wissenschaftlichen oder technischen Fortschritts definiert.



Schw 2-16

Abbildung 2-5: Technologiezyklen (TUSHMAN & O'REILLY 1998, S. 192ff)

Eine technologische Diskontinuität durchbricht das vorhandene kontinuierliche Innovationsmuster und löst in vielfacher Hinsicht eine Periode technologischen Gärens, die zweite Phase im Zyklus, aus. Während dieser Gärphase kämpfen konkurrierende technologische Varianten² um eine Marktakzeptanz. Die Entwicklung einer dominanten Produktversion (und damit eines Branchenstandards) kennzeichnet das Ende der Gärungsperiode und den Beginn der dritten Phase³ im Technologiezyklus, der Selektion.

In der vierten Phase eines Technologiezyklus, der sogenannten Retention, verlagert sich die Innovation von einer größeren Produktvariation zu einer größeren Prozessinnovation und dann wiederum zu kontinuierlicher Innovation – zu stetigen und häufig signifikanten Verbes-

¹ Beispiel: Übergang von der Feder im Uhrwerk auf die Batterie als Antriebsquelle/Energiequelle.

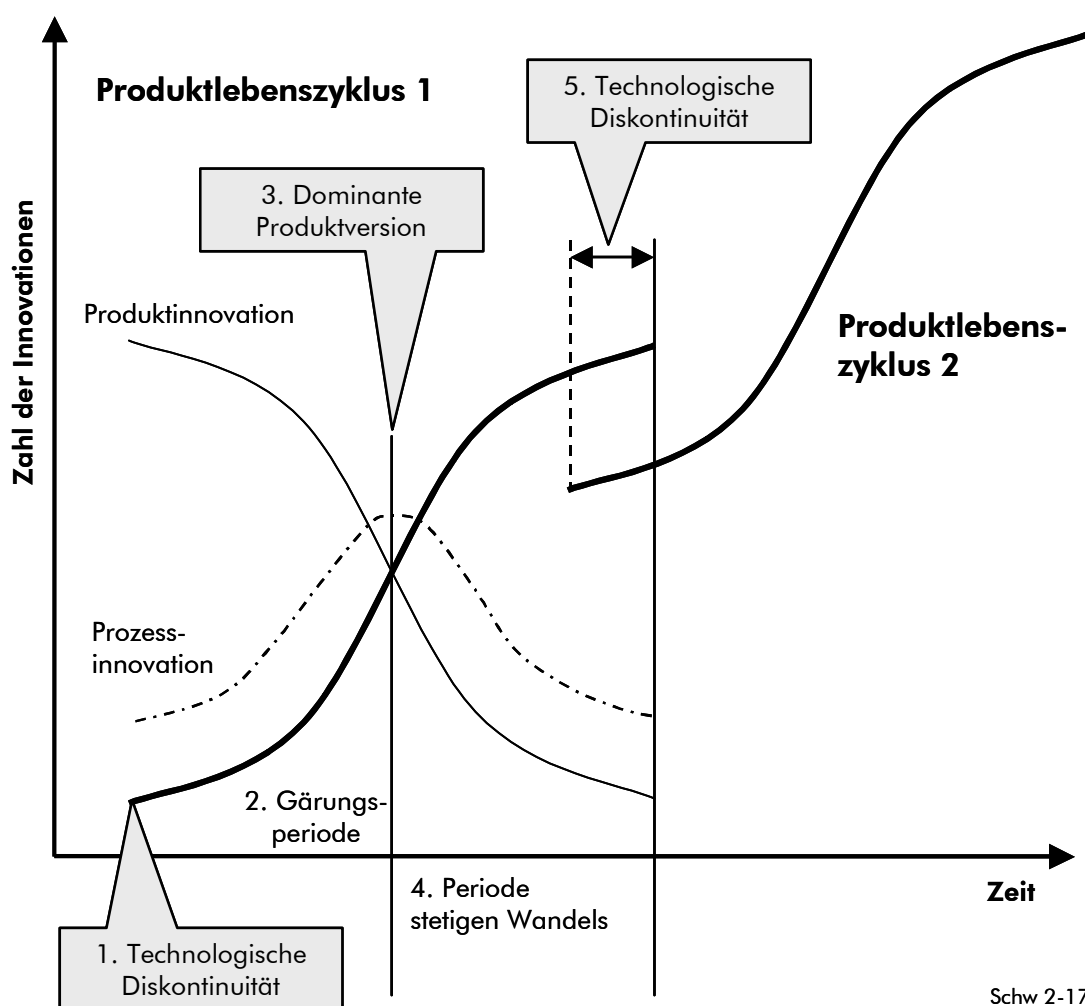
² Der Wettbewerb unterschiedlicher Technologien findet sowohl zwischen der vorhandenen und der neuen Technologie als auch unter den Varianten der neuen Technologie statt, die auf unterschiedlichen Prinzipien beruhen können.

³ Sobald ein Produkt als dominant anerkannt wird, stellen sich die konkurrierenden Unternehmen auf den neuen Standard ein oder laufen Gefahr, vom Markt verdrängt zu werden.

serungen des derzeitigen Standardprodukts. Schließlich löst eine anschließende technologische Diskontinuität – z.B. eine Produktsubstitution – einen neuen Zyklus technologischer Variation, Selektion und stetigen Wandel aus. ALTSCHULLER (1984) bezeichnet den Übergang in einen neuen Zyklus als Technologiesprung.

Der einzige Unterschied der Technologiezyklen in High-Tech-Branchen¹ und Low-Tech-Branchen (TUSHMANN & REILLY 1998) besteht in der Zeitspanne, die zwischen dem Auftauchen einer dominanten Produktversion und der nachfolgenden Produktsubstitution vergeht und in der dieser Zyklus abgeschlossen ist.

Die einzelnen Schritte eines solchen Zyklus, der prognostizierte Verlauf der Produkt- und Prozessinnovationen über der Zeit, sind in Abbildung 2-6 an den Lebenszyklen eines Produkts und seines Nachfolgeprodukts dargestellt.



Schw 2-17

Abbildung 2-6: Innovationsmuster und Produktlebenszyklen (TUSHMAN & O'REILLY 1998, S. 197)

BERGMANN (2001, S. 19) betont in diesem Zusammenhang die Notwendigkeit, den Lebenszyklus eines Produkts nicht bis in dessen Auslaufphase zu begleiten, sondern rechtzeitig

¹ Die Technologiezyklen in High-Tech-Branchen sind kürzer. Als Beispiel seien die Entwicklungen im Bereich der Computerindustrie genannt.

Nachfolgeprodukte mit neuen und besseren Marktchancen (und entsprechend höherer Rendite, siehe Kapitel 2.1) bereitzustellen. Aufgrund der Tatsachen, dass derartige technologische Durchbrüche nicht bis ins Detail vorausplanbar sind und deren Entwicklung auch hohe Risiken und Gefahren beinhaltet, darüber hinaus sowohl die Innovationsgeschwindigkeit als auch die Vernetzung von unterschiedlichen Technologien (GAUSEMEIER ET AL. 1998, S. 139) ständig zunimmt, fordert SPUR (1997b, S. 147) die Schaffung einer technologieorientierten Unternehmenskultur.

Neben einer solchen Kultur, die Kreativität und Innovation nicht nur belohnt, sondern als selbstverständliche Elemente des Unternehmensalltages hervorhebt, besteht die Notwendigkeit für ein ausgeprägtes Technologiemanagement, das der Nutzbarmachung technischen Wissens (SPUR 1998, S. 539) dient und sich mit folgenden Fragen (SPECHT ET AL. 1999, S. 720) auseinandersetzen muss:

- Welche Anwendungen und Produkte bieten in Zukunft entscheidende Wettbewerbsvorteile?
- Mit welchen Technologien lassen sich diese Anwendungen und Produkte realisieren?
- Wie werden sich diese Technologien entwickeln?
- Welche Technologieentwicklungen werden Auswirkungen auf die Angebots- und Technologiestruktur der Unternehmung haben?
- Welche technologische Wettbewerbsposition wird angestrebt?

Abgesehen von diesen strategischen Fragen muss man sich auch mit geeigneten Technologien sowie deren Umsetzung beschäftigen. Innerhalb der Entwicklungsabteilungen muss die Optimierung vorhandener Produkte oder die Definition von neuen innovativen Produkten¹ vorangetrieben werden. Gerade zwischen Produkt- und Technologieinnovation bestehen nach SPECHT ET AL. (1999, S. 720) in der Regel vielfältige Vernetzungen hinsichtlich der Nutzung und Wirkung aufeinander, was zu einer hohen Komplexität sowohl im Produkt als auch im Entwicklungsprozess führt.

BRAESS & SEIFFERT (2000) schlagen dazu den Aufbau und die intensive Nutzung eines Technologiepools² (Abbildung 2-7) vor. Vorhandene Ideen, neue Erkenntnisse und Technologien werden im Rahmen des sogenannten Technologiemonitorings³ losgelöst von den Entwicklungsprojekten und ohne klar formulierte Lastenhefte eingehend analysiert und ihre Einsatzmöglichkeiten und Marktchancen abgeschätzt. Die Entwicklungsabteilungen greifen auf diesen Pool zu und können dort erarbeitete Erkenntnisse in ihren Projekten einsetzen und so den Entwicklungsaufwand und die Entwicklungszeit reduzieren.

¹ Zur Erfüllung zukünftiger Anforderungen und zur Bedienung neuer Märkte.

² SCHLICKSUPP (2000) verwendet zum Auffinden von Nischen in denen neue Produkte basierend auf neuen Technologien platziert werden können sogenannte Suchfeld-Matrizen.

³ Quelle: http://www.tuwien.ac.at/ai/tt_mon.htm, entnommen am 25.08.01.

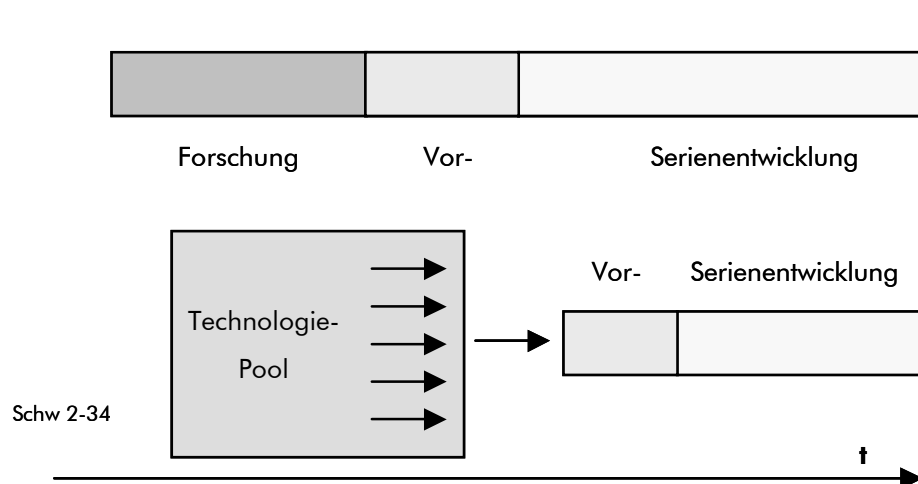


Abbildung 2-7: Verkürzung der Entwicklungszeiten durch Nutzung eines Technologiepools

In größeren Unternehmen werden derartige Technologiepools in der Regel im Rahmen von grundlagenorientierten Projekten mit neuen verifizierten Ideen gefüllt, die von separaten Forschungs-, Voraufwicklungs- bzw. Technologieentwicklungsabteilungen erarbeitet werden. Dabei entsteht auch eine große Menge an Daten, die in geeigneter Weise dokumentiert und weitergeleitet werden¹ muss.

2.1.3 Innovationsmanagement - Randbedingungen und Hemmnisse

Innovationen sind sehr wichtig für das Bestehen eines Unternehmens² am Markt. Aus diesem Grund kommt einem geeigneten Informationsmanagement eine hohe Bedeutung zu. Innovationen müssen angestoßen und das Innovationsgeschehen so gesteuert werden, dass das Unternehmen Wettbewerbsvorteile daraus erzielen kann. Dies beginnt bereits in der Phase der Produktplanung, die wiederum von einer erfolgreichen Produktfindung abhängig ist. Die Phase der Produktplanung erfordert nach SPUR (1996b, S. 309) das höchste Maß an Intuition und Kreativität im gesamten Ablauf der Produkterstellung.

Die Innovation, d.h. das Hervorbringen innovativer Produkte, gehorcht dabei jedenfalls keinem starren Routineprozess der schrittweise abgearbeitet wird und dann zwangsläufig zu innovativen Produkten führt. Der Prozess der Innovation kann aber durch geeignete Randbedingungen begünstigt werden, z.B. ausreichende Zeit und Kapazitäten sowie durch ein motiviertes Team, das geeignete Methoden auswählt, diese geeignet kombiniert und bei Bedarf anpasst (LINDEMANN 2001c). In vielen Fällen werden die Entwickler mit neuen Fragestellungen³ konfrontiert und müssen mit Unsicherheiten und Risiken umgehen. Daher ist eine hohe Flexibilität im Prozessmanagement erforderlich, um derartige Unsicherheiten und Risiken beherrschen zu können und Lösungsansätze für die verschiedenen Fragestellungen zu finden.

¹ Der Informationstransfer von der Technologieabteilung zur Fachabteilung, die die jeweilige Technologie einsetzen will, muss sichergestellt sein.

² Z.B. besserer Ruf durch innovative Produkte, bessere Erfüllung der Kundenwünsche.

³ Sowohl das Produkt als auch den Prozess betreffend.

Aus diesem Grund müssen nach KÖNIG ET AL. (1997, S. 568) Innovationsprozesse auf der einen Seite so geplant und ausgestaltet werden, dass sie den beteiligten Mitarbeitern den für Inventionen nötigen kreativen Freiraum lassen, auf der anderen Seite¹ müssen sie straff genug organisiert sein, um hervorgebrachte Ideen bis zur Marktreife entwickeln zu können.

Ziel des Innovationsmanagement ist demzufolge, das Innovationspotenzial des Unternehmens zu erhöhen, den einzelnen Innovationen durch die nötige Unterstützung zum Erfolg zu verhelfen und insgesamt die Innovationsfähigkeit gegenüber der Konkurrenz zu steigern (KURZ 1998, S. 13). Daher ist Innovationsmanagement in erster Linie eine Aufgabe der Unternehmensleitung und der Führungsverantwortlichen in den einzelnen Geschäftsbereichen, die das erforderliche innovative Umfeld bereitstellen müssen. Dabei sind auch eine Vielzahl unterschiedlicher Randbedingungen zu beachten sowie zahlreiche Innovationshemmnisse zu berücksichtigen.

2.1.3.1 Randbedingungen für ein innovatives Umfeld im Unternehmen

SPUR (1998, S. 538) zeigt die hohe Bedeutung des Individuums² als Ideengeber für die zukünftige Industriegesellschaft auf und fordert die Anpassung der Innovationskultur an kommende Anforderungen. Dies bedingt die Schaffung einer Arbeitskultur, die durch größere Gestaltungsfreiheit und Eigenverantwortlichkeit gekennzeichnet ist, trotzdem auch mehr Selbstbestimmung und Anerkennung bietet. Demzufolge ist neben dem Individuum, das sich durch seine Ausbildung, sein Wissen (vgl. Kapitel 2.5) und seine Erfahrung auszeichnet, auch die Organisationsform im Unternehmen von entscheidender Bedeutung. Da aufgrund gesteigerter Komplexität am Innovationsprozess zunehmend immer mehr Mitarbeiter und Funktionsbereiche beteiligt sind und die interdisziplinäre Zusammenarbeit weiter in den Mittelpunkt rückt, spielt das betriebliche Kommunikations- und Informationsverhalten für den Innovationserfolg (MÜLLER 1999, S. 249f) eine bedeutende Rolle.

Abgesehen von den organisatorischen Randbedingungen³ ist auch eine geeignete und vielfältige Unterstützung der Entwickler durch Methoden⁴ und Hilfsmittel gerade in den für die Innovation so entscheidenden frühen Phasen der Produktentwicklung erforderlich, deren Einsatz die systematische und strukturierte Vorgehensweise (LINDEMANN 1998, S. 3) begünstigen.

In nachfolgender Abbildung sind eine Reihe von weiteren strategischen und organisatorischen Randbedingungen skizziert, die für erfolgreiche Innovationsprojekte von Bedeutung sind.

¹ Entsprechend der „Loose-Tight“ Hypothese von SHEPARD (1967, S. 470f) sollen organisatorische Gestaltungen zu Beginn eines Innovationsprozesses locker („*loose*“) sein und im Verlauf zunehmend straffer („*tight*“) werden.

² LINDEMANN & REICHWALD (1998, S. 4) verstehen unter Innovationsfähigkeit der Mitarbeiter die Fähigkeit, selbständig und selbsttätig Neuerungen zu entdecken, vorzuschlagen oder zu praktizieren.

³ Nach HERB ET AL. (1999, S. 35) entsteht Innovation nur, wenn das gesamte Umfeld den Anforderungen entspricht. Neben der gesellschaftlichen, politischen, wirtschaftlichen und kulturellen Situation über den Stand von Technik und Wissenschaft bis hin zur Förderung und Orientierung gebenden Visionen durch ein Management.

⁴ Z.B. empfiehlt LINDEMANN (1998, S. 3) bei größeren Innovationen den Einsatz von Teilmethoden der Produktentwicklungsmethodik, von widerspruchorientierten Methoden wie TRIZ oder klassischen Kreativitätsmethoden.

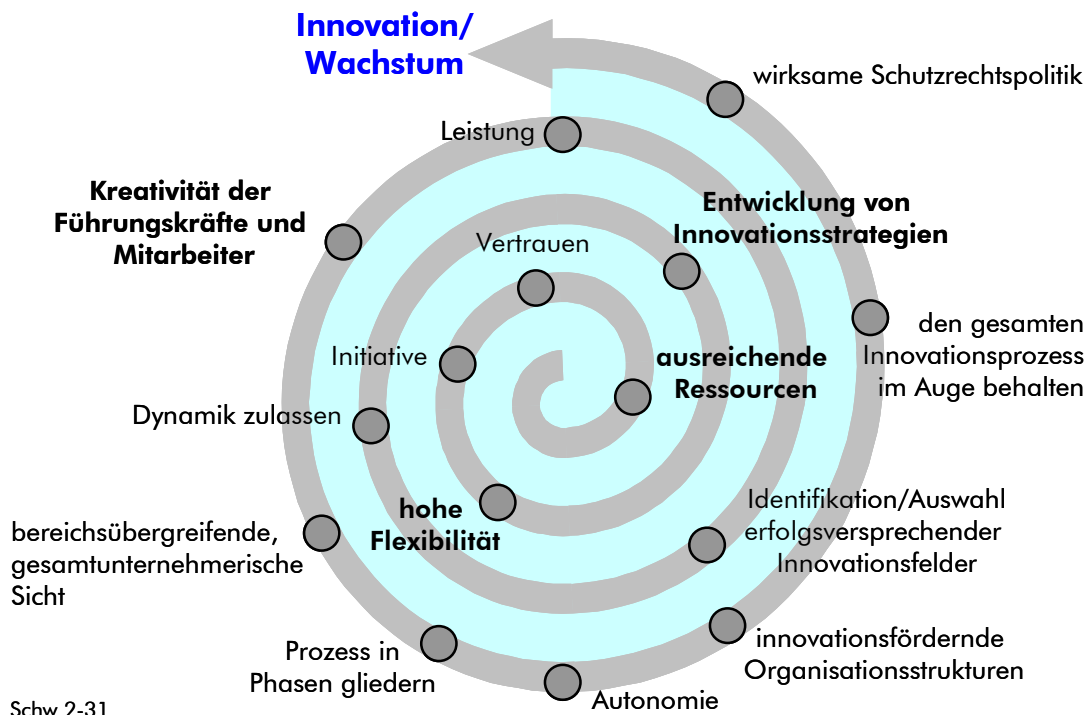


Abbildung 2-8: Entwicklungsspirale mit Erfolgsfaktoren (in Anlehnung an ILOI 1997, S. 15)

Trotz der Kenntnis dieser Randbedingungen und der Innovationsmechanismen scheitern zahlreiche Innovationsprojekte. Aus diesem Grund werden im Folgenden mögliche Innovationshemmnisse erläutert.

2.1.3.2 Innovationshemmnisse

In einer Studie (ILOI 1997) wurden kleine und mittlere Unternehmen (KMU) nach dem Scheitern von Innovationsprojekten befragt (Abbildung 2-9). Interessant ist dabei, dass der größte Teil der Projekte erst zum Zeitpunkt des Markteintritts gestoppt wird. Der Grund dafür ist, dass Fehler im Produkt häufig erst sehr spät entdeckt werden und der Aufwand für deren Behebung dann außerordentlich groß ist, sowohl aus finanzieller als auch aus zeitlicher Sicht. Zu diesem Zeitpunkt ist die Entwicklung in der Regel bereits weitestgehend abgeschlossen und hohe Kosten sind verursacht worden.

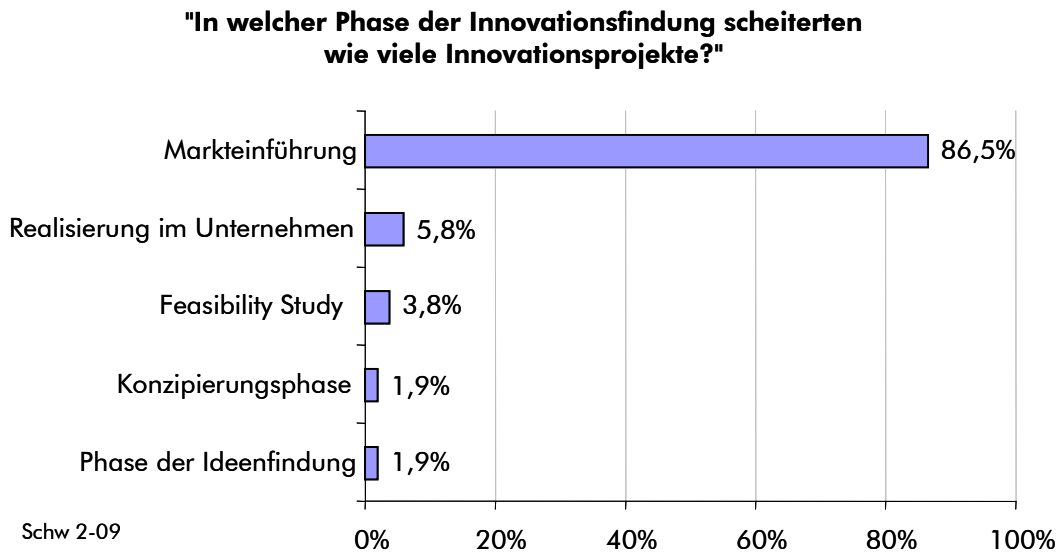


Abbildung 2-9: Scheitern von Innovationsprojekten (ILOI 1997, S. 13)

FRÖHNER & NAWROTH (2000, S. 81) haben zahlreiche Innovationshemmnisse identifiziert (Abbildung 2-10), die für ein Scheitern derartiger Projekte verantwortlich sind und dabei eine altersabhängige Unterscheidung vorgenommen.

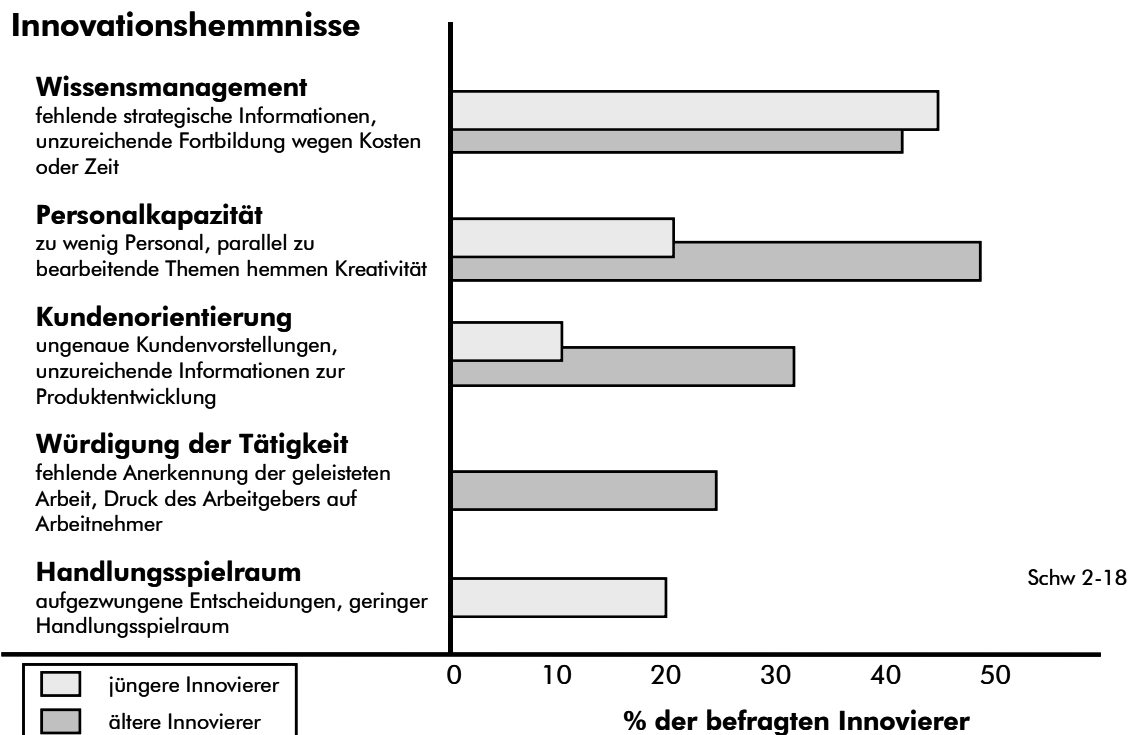


Abbildung 2-10: Innovationshemmnisse (FRÖHNER & NAWROTH 2000, S. 81)

Demzufolge liegen die Hauptgründe für das Scheitern in Defiziten im Wissensmanagement¹ (unklare Zielvereinbarungen, fehlende Marketing- bzw. Vertriebsstrategie) sowie in unzureichenden personellen Kapazitäten und der fehlenden Akzeptanz am Markt².

Das Risiko, Ansehen oder Kunden zu verlieren, das mit dem Einführen von Neuem einhergeht, stellt nach EHRENSPIEL (1995, S. 296) neben der sogenannten „NiH-Mentalität“³ (*not invented here*) ein zusätzliches Innovationshemmnis dar.

EYRICH & LYNEN (2001, S. 36) sehen ein weiteres Problem in der schwierigen Bedienung heutiger 3D - CAD Systeme⁴, deren bisherige Parametrik für Innovationen und neuartige Ideen eher einen Hemmschuh darstellt. Wichtig für Innovationen sind in erster Linie die frühen Phasen der Entwicklung, in denen basierend auf den Anforderungen Lösungen gesucht und festgelegt, Wirkprinzipien ausgewählt und Funktionsmodelle entwickelt werden. Die heutigen CAD-Systeme unterstützen in der Regel erst die Phase der Modellierung von Bauteilen und des Zusammensetzens dieser Teile zu Baugruppen.

2.1.4 Handlungsbedarf zur Verbesserung und Sicherung des Innovationsklimas

Neben der Entwicklung einer hohen Innovationsfähigkeit des Unternehmens sind auch das dazu notwendige Innovationsklima (ILOI 1997), sowie die organisatorischen und personellen Randbedingungen optimal zu gestalten, um effektiv und effizient Produkte und Prozesse (LINDEMANN, SCHLÜTER & SCHWANKL 2000) entwickeln und somit langfristig Wettbewerbsvorteile erzielen zu können. Dabei sind folgende Aspekte zu berücksichtigen:

Strategische Aspekte:

- Entwicklung von Innovationsstrategien (in Übereinstimmung mit der Unternehmensstrategie).
- Identifikation und Auswahl erfolgversprechender Innovationsfelder für das Unternehmen.
- Gestaltung eines leistungsfähigen Innovationssystems für das Unternehmen.
- Entwicklung einer wirksamen Schutzrechtspolitik.

¹ Die Ergebnisse von FRÖHNER & NAWROTH stimmen in weiten Bereichen mit denen der Studie von ILOI überein.

² Dies korrespondiert mit dem Zeitpunkt des Scheiterns in der Phase der Markteinführung (Abbildung 2-9).

³ Ideen, die extern in Entwicklungsabteilungen getragen werden, werden nur selten akzeptiert.

⁴ EYRICH & LYNEN gehen davon aus, dass sogar heute (Stand 2001) noch mehr als 50% der Konstrukteure mit 2D-CAD Systemen arbeiten, da sich die 3D-Techniken bisher nur in Teilbereichen des Maschinenbaus durchsetzen konnten.

Organisatorische Aspekte:

- Durchsetzung innovationsfördernder Organisationsstrukturen.
- Gestaltung einzelner Innovationsprojekte.
- Bereitstellung ausreichender Ressourcen für die Durchführung von Innovationsprozessen.
- Sicherung einer hohen Kreativität der Führungskräfte und Mitarbeiter.
- Erarbeitung von Methoden und Techniken zur effektiven wissensbasierten Unterstützung von Produktentstehungsprozessen.

In der Literatur existiert eine Vielzahl von Vorgehensmodellen, Methoden und Hilfsmitteln, die zur Unterstützung der innovativen Produkt- und Prozessentwicklung eingesetzt werden können. Im Folgenden wird der Ansatz der Integrierte Produktentwicklung näher betrachtet und einige ausgewählte Vorgehensmodelle, Methoden und Hilfsmittel vorgestellt.

2.2 Integrierte Produktentwicklung

Die Integrierte¹ Produkterstellungsmethodik (EHRENSPIEL 1995, S. 259) stellt eine Metamethodik dar, die die gesamte Produkterstellung – von der ersten Idee bis zur Markteinführung – unterstützt. Neben diversen Strategien und Methoden zur Unterstützung der einzelnen Schritte des Produkterstellungsprozesses stellt sie auch diverse Werkzeuge und Hilfsmittel zur Verfügung. Diese einzelnen Elemente können je nach Komplexität von Objekt oder Prozess kombiniert werden. LINDEMANN (2001, S. 1-4) spricht in diesem Zusammenhang von einem komplexen Unternehmensprozess, der alle Bereiche des Unternehmens selbst und die seiner Umwelt betrifft (Abbildung 2-11) und von diesen beeinflusst wird. Nur wenn all diese Einflüsse gebührend beachtet werden, die involvierten Abteilungen und beteiligten Individuen in geeigneter Weise kooperieren, können sinnvoll, effizient und erfolgreich Produkte entwickelt werden.

Neben dem Ansatz der Integrierten Produktentwicklung gibt es noch eine Reihe von weiteren integrierten Vorgehensweisen, die auf verschiedenen Einzelmethoden und Hilfsmitteln basieren. Dazu gehört das Simultaneous Engineering (PUGH 1989) und Concurrent Engineering (NEVINS & WHITNEY, 1989), das Quality Function Deployment (2.4.7.4), die Failure Mode and Effect Analysis (FMEA, 2.4.7.2.1), das Team Oriented Problem Solving (TOPS - 8D, 2.4.7.3) oder die Wertanalyse (2.4.7.3), wobei sich die letztgenannten auf spezielle Teilaspekte der Produktentwicklung beziehen.

¹ Integration ist laut Duden die „Vervollständigung bzw. Eingliederung“ oder das „Wiederherstellen der Einheit bzw. Ganzheit“. Der Begriff Integration leitet sich aus dem lateinischen Wort integer (ganz, vollständig) bzw. integrare ab, was soviel wie „wiederherstellen“ oder „erneuern“ bedeutet.

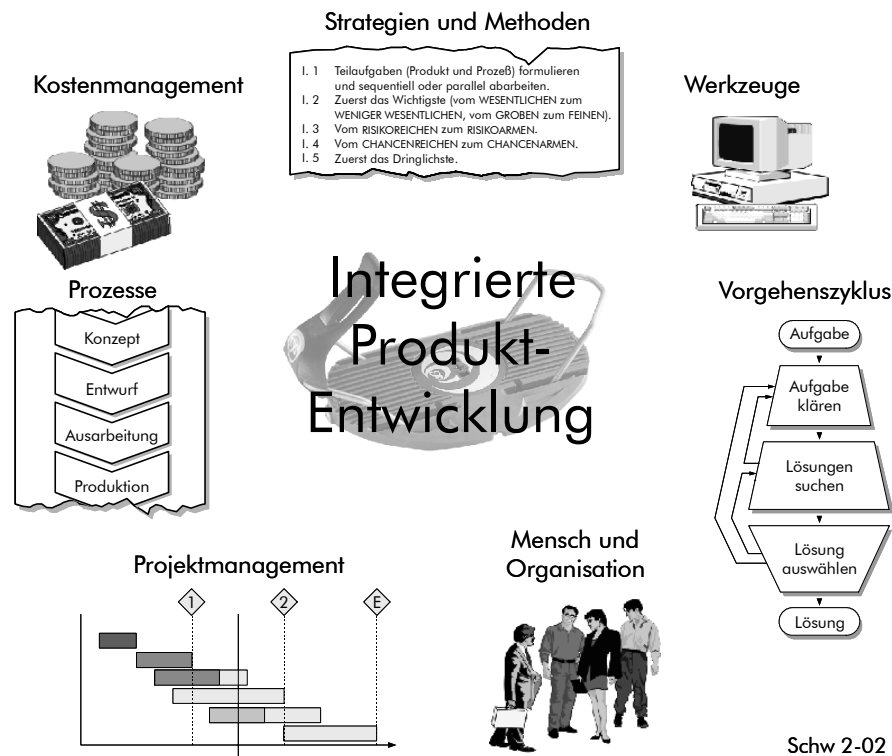


Abbildung 2-11: Integrierte Produktentwicklung (LINDEMANN & KLEEDÖRFER 1997, S. 115)

Das Simultaneous Engineering zielt durch eine interdisziplinäre Zusammenarbeit und die Parallelisierung möglichst vieler Arbeitsschritte in der Produktentstehung¹, durch ein funktionierendes Projektmanagement und den Einsatz von Methoden und Hilfsmitteln ebenfalls auf eine Verkürzung der Entwicklungsprozesse sowie auf eine Senkung der Entwicklungskosten (PFEIFFER 2001) und eine Erhöhung der Qualität ab. Dies hat zur Folge, dass Unternehmen, die diese Techniken anwenden und beherrschen, ihre Produkte früher und normalerweise auch zu günstigeren Kosten auf den Markt bringen².

Neben der Optimierung der für das Unternehmen wesentlichen Erfolgsfaktoren (DANNER 1996, S.2) Qualität, Kosten und Zeit – auch als magisches Dreieck³ bekannt (BERNDES & STANKE 1995, S. 11) – weisen derartige zeitparallele und integrierende Vorgehensweisen noch weitere Vorteile auf (REINHART & FELDMANN 1995, S. 361):

- Kurze und eindeutig definierte Abstimmungsprozesse z.B. für die Bereiche Produkt und Produktion.
- Schaffung eines umfangreichen Lösungsraums durch gemeinsame Lösungsfindung.
- Früherkennung von Fehlern.
- Reduzierung von Iterationsschleifen.
- Verringerung der Anzahl von kostenintensiven Änderungen.

¹ Sowohl Produkt- als auch Produktionsentwicklung (EHRENSPIEL 1995, S. 177).

² <http://www.gabler-online.de/lexikon-controlling/daten/094.htm>, entnommen am 20.06.01.

³ http://www.stqm.de/magisches_dreieck.htm, entnommen am 20.06.01.

2.2.1 Produktlebenszyklus

Im Fokus der Integrierten Produktentwicklungsmethode steht natürlicher Weise das Produkt als Ergebnis sämtlicher Aktivitäten im Produktentwicklungsprozess. Ein Produkt ist ein technisches Erzeugnis, welches in der Natur nicht vorkommt, für einen Markt hergestellt und von diesem genutzt wird; also die Umsetzung von Marktbedürfnissen in Marktleistungen (LINDEMANN 2001, S. 1-14). Neben rein physischen Objekten (z.B. Gütern) kann es sich dabei auch um Dienstleistungen aller Art handeln (MEIER 2000, S. 3). Der Lebenszyklus eines Produkts (Abbildung 2-12) reicht von der strategischen Produktplanung über die Erstellung bis zur Beseitigung bzw. dem Recycling.

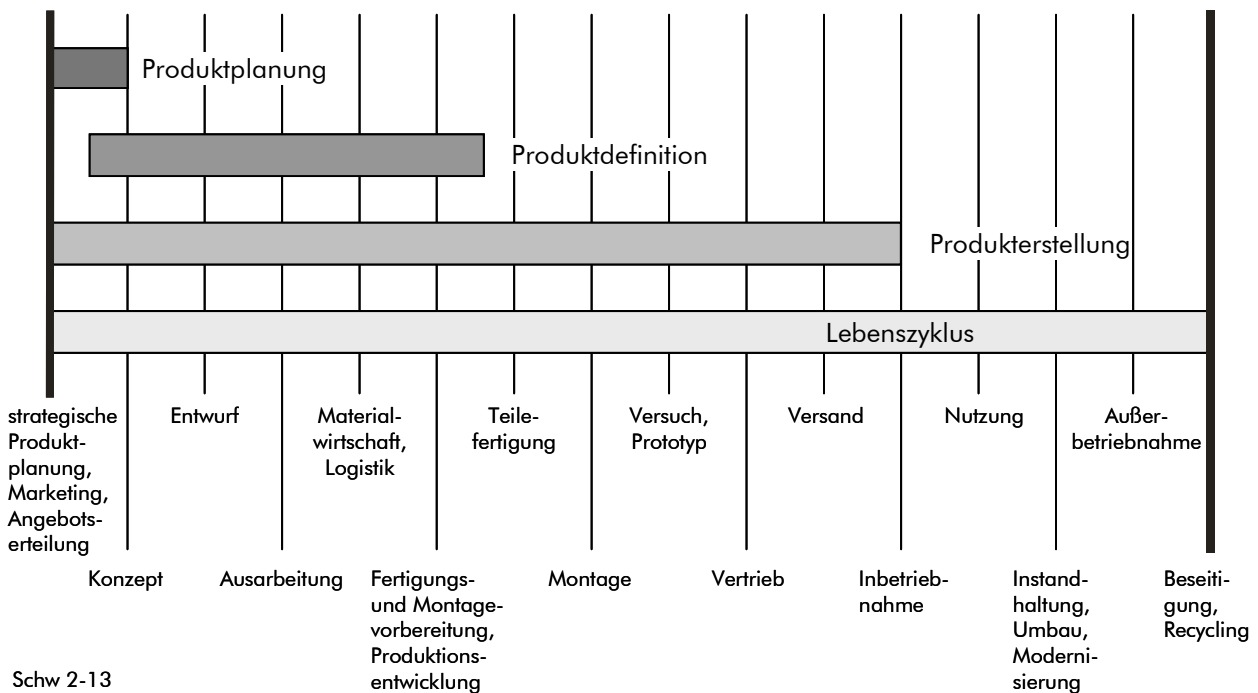


Abbildung 2-12: Lebenszyklus eines Produkts (LINDEMANN 2000, S. 1-9)

Zentrales Element der Produkterstellung ist die Produktentwicklung, die als Unternehmensfunktion (LINDEMANN 2000, S. 1-3) die Bereiche Forschung und Vorentwicklung, die eigentliche Entwicklung und Konstruktion sowie Versuch und Berechnung umfasst. Nach MEERKAMM ET AL. (1995, S. 102) basiert die Produktentwicklung zunächst auf abstrakten Modellen, die im fortschreitenden Entwicklungsprozess schrittweise detailliert, quantifiziert und validiert werden und in die Realisierung eines Produktes einmünden. EHRENSPIEL (1995, S. 197) sieht im Prozess des Entwickelns¹ und Konstruierens² das Kernelement der gesamten Produkterstellung.

2.2.2 Konstruieren als entwerfendes Problemlösen

SACHSE & HACKER (1997, S.12) definieren das Konstruieren als ein entwerfendes Problemlösen (*design problem solving*) mit hoher Ergebnisunsicherheit. Es umfasst komplexe Denk- und Handlungsvorgänge mit unterschiedlichen Bearbeitungs-, Beurteilungs- und Entscheidungsabschnitten und wird von WIENDAHL (1986, S. 72) als ein lehr- und erlernbares Vorgehen zu einer systematischen und zielgerichteten Produktgestaltung bezeichnet. Dieses Vorgehen führt, bedingt durch Unterschiede in den Aufgabenstellungen³, zu unterschiedlichen Konstruktionsarten, die nach FRÖHNER & LORANI (1996, S. 33) die Schwerpunkte der heutigen Produktentwicklung ausmachen:

- Die Neukonstruktion: Die Konstruktion enthält neue Arbeitsprinzipien oder neuartige Kombinationen bekannter Elemente.
- Die Variantenkonstruktion: Die Konstruktion entsteht durch Variieren von Größe und/oder Anordnung innerhalb von Grenzen vorausgedachter Systeme. Es treten keine neuen Probleme durch z.B. Werkstoff, Beanspruchung und Technologie auf.
- Die Anpassungskonstruktion: Das Ergebnis wird durch Anpassung und Variation einer ausgearbeiteten und bewährten Grundkonstruktion in einzelnen Funktionen und Neukombination ihrer Baugruppen zu einer kundenspezifischen Gesamtlösung zusammengestellt. Dabei kann die Neukonstruktion einzelner Baugruppen oder Einzelteile erforderlich sein.

¹ Entwickeln ist nach ROTH (1982) das Ermitteln der Soll-Funktionen und der Funktionsstrukturen eines technischen Produkts aufgrund des Funktionssatzes und der Anforderungen. Dazu gehört noch die Zuordnung von Effekten zu den Soll-Funktionen, jedoch nicht mehr die Zuordnung von Gestaltelementen zu den Effekten. Entwickeln beschreibt Tätigkeiten innerhalb der funktionalen Phase.

² Im englischen Sprachraum wird unter *product design* das Konzipieren und Festlegen der Geometrie, des Materials und der Fertigungstechniken eines neuen Produkts verstanden. Product development bezeichnet sämtliche Aktivitäten, die mit der Entwicklung eines neuen Produkts verbunden sind (ROOZENBURG & EEKELS 1991).

³ Die VDI-Richtlinie 2221 (1993, S. 6) ordnet die Aufgaben, mit denen die Entwickler konfrontiert werden, nach der Herkunft der Aufgabenstellung (externe Kundenaufträge und interne Aufgabenstellungen oder Entwicklungsaufträge), nach der Fertigungsart (Massenfertigung bzw. Produkte in Einzelfertigung) oder nach dem Neuheitsgrad, der eine Neukonstruktion, eine Variantenkonstruktion oder eine Anpassungskonstruktion bedingen kann.

Das Vorgehen beim Bearbeiten dieser Aufgabenstellungen kann noch weiter unterschieden werden (Tabelle 2-1). In problemorientiertes oder lösungsorientiertes Vorgehen (DWARAKANATH & WALLACE 1995), in stufenweise-ablauforientiertes oder bereichsorientiertes Vorgehen (FRICKE 1993) oder in generierendes oder korrigierendes Vorgehen (DYLLA 1991).

Tabelle 2-1: Vorgehen beim Konstruieren

Vorgehen	Kennzeichen	Quelle
Problemorientiert	Erst werden die Probleme identifiziert, dann mögliche Lösungen gesucht und diese dann zu einer Gesamtlösung integriert.	DWARAKANATH & WALLACE 1995
Lösungsorientiert	Der Konstrukteur beginnt mit einer Lösung anhand derer er nacheinander Teilprobleme identifiziert und Lösungen für diese Teilprobleme sucht.	
Stufenweise-ablauforientiert	Die stufenweise-ablauforientierte Vorgehensweise orientiert sich an den einzelnen Konstruktionsschritten. Dabei wird jeder Schritt komplett abgearbeitet, bevor der nächste Schritt in Angriff genommen wird.	FRICKE 1993
Bereichsorientiert	Beim bereichsorientierten Vorgehen, wird ein Bereich (Funktionsbereich, Baugruppe) abgeschlossen, bevor mit der Konstruktionsarbeit im nächsten Bereich begonnen wird.	
Generierend	Für ein Problem werden völlig neue Lösungen angestrebt. Mehrere, voneinander unabhängige Lösungen werden erzeugt, evtl. kombiniert und dann ausgewählt.	DYLLA 1991, EHRENSPIEL 1995
Korrigierend	Beruhet auf der Veränderung von bestehenden Konstruktionslösungen aufgrund erkannter Schwachstellen mit möglichst geringem Aufwand.	

Aufgrund der Vielfalt unterschiedlicher Aufgabenstellungen gibt es keine einheitliche, erfolgsgarantierende Vorgehensweise zur Lösung von Konstruktionsproblemen. Das Vorgehen und somit das Problemlöseverhalten muss dem jeweiligen Problem (RÜCKERT 1997, S. 140) und dem Problemlöser angemessen sein, um erfolgreich zu einer Lösung hoher Güte zu gelangen. Darüber hinaus sind die unterschiedlichen Vorgehensweisen beim Konstruieren in der Praxis selten in ihrer Reinform zu finden. Im Regelfall liegen gemischte Vorgehensweisen¹ vor. Da der Entwickler zu Beginn der Arbeit an einem Konstruktionsproblem weder die Lösung noch den Lösungsweg exakt kennt, geht er schrittweise vor. Dabei führt dieses iterative Vorgehen² zu einem allmählichen Anheben des Informationsniveaus (VDI 2221 1993, S. 4). Zunächst werden in der Regel relativ abstrakte bzw. unvollständige Lösungen entworfen, die dann konkretisiert werden.

Dabei werden entweder mehrere Lösungsvarianten entwickelt (*generierendes Vorgehen*) oder bestehende Lösungen verändert (*korrigierendes Vorgehen*). Nach LINDEMANN ET AL. (2000) führt das korrigierende Vorgehen zu eher kleinen, evolutionären Innovationsschritten, das generierende in der Regel zu großen, revolutionären. Für die innovative Produktentwicklung ist daher vielmehr ein generierendes Vorgehen zu empfehlen, da aufgrund der Berücksichtigung eines breiten Lösungsspektrums meist eine größere Verbesserung als bei der korrigierenden Vorgehensweise zu erwarten ist. Dadurch wird das Finden von völlig neuen Lösungen

¹ Für einzelne Teilprobleme einer Aufgabenstellung können andere Vorgehensweise angemessen sein.

² In VDI 2221 (1993, S. 4) wird auch auf die Vorteile resultierend aus Lernprozessen verwiesen, die durch dieses schrittweise Vorgehen auftreten, und beim erneuten Durchlaufen eines Schritts zum Tragen kommen.

begünstigt. GIAPOULIS ET AL. (1995, S. 481) weisen zum einen auf den Mehraufwand beim generierenden Vorgehen hin, der mit der Suche nach alternativen Lösungen sowie zu deren Analyse erforderlichen Versuche und Simulationen verbunden ist. Zum anderen auf das höhere Risiko, das mit einer prinzipiell neuen Lösung einhergeht, bei der noch keine Erfahrungen mit Vorgängerprodukten vorhanden sind.

Die Entscheidungssituation, generierend oder korrigierend vorzugehen, tritt nach GIAPOULIS ET AL. (1995, S. 480f) primär am Anfang eines Konstruktionsprozesses auf und hat einen großen Einfluss auf den gesamten Entwicklungsprozess, auf die Definition der Teilziele und auf die einzusetzenden Methoden und Hilfsmittel. Der Entwickler kann indessen während des Entwicklungsprozesses wiederholt mit dieser Entscheidung konfrontiert werden (Abbildung 2-13). Ein Vorgehensmodell zur Unterstützung des Entwicklungsprozesses muss diese unterschiedlichen Vorgehensweisen integrieren, dem Entwickler die Möglichkeit einer situativen Festlegung des weiteren Vorgehens erlauben und ein Höchstmaß an Flexibilität garantieren, um so den Bedürfnissen der Praxis gerecht werden zu können.

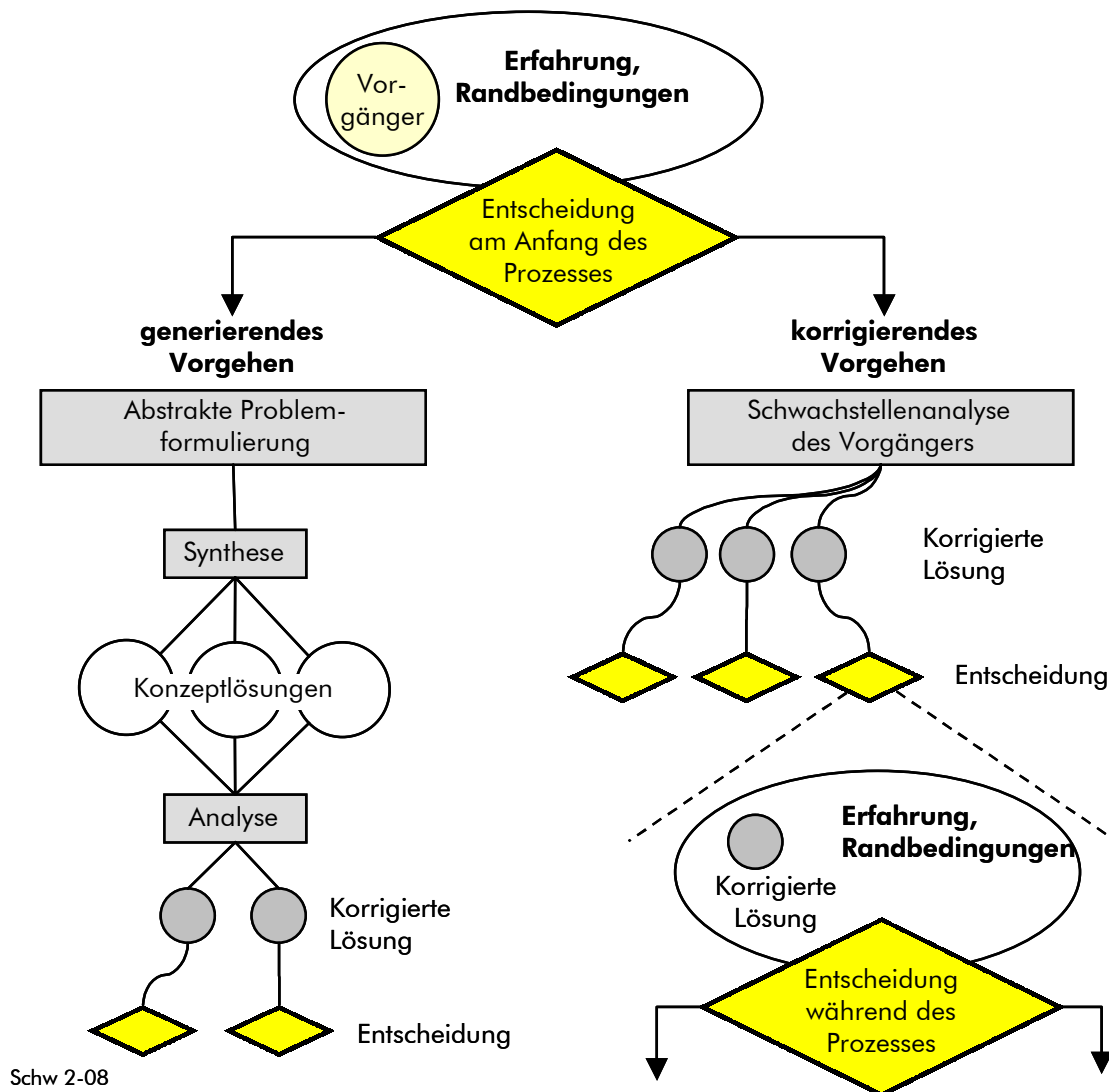


Abbildung 2-13: Generierendes und korrigierendes Vorgehen (GIAPOULIS ET AL. 1995, S. 480)

Daher war und ist ein zentraler Beweggrund (VAJNA & WEBER 2000, S. 47) der Konstruktionswissenschaft, eine reproduzierbare und besser planbare Vorgehensweise für die Produktentwicklung zu schaffen, die die große Vielfalt zu lösender Aufgaben, die unternehmensspezifischen Bedingungen sowie marktseitige und arbeitstechnische Entwicklungstrends (VDI 2221 1993, S. 2) berücksichtigt und die wettbewerbsfähige Herstellung technischer Produkte ermöglicht.

Mittlerweile stehen eine Reihe von verschiedenen Vorgehensmodellen mit unterschiedlichen Detaillierungsgraden zur Verfügung, die auf ein systematisches, strukturiertes und zielgerichtetes Vorgehen abzielen und dadurch eine Unterstützung der Entwickler beim Problemlösen¹ anbieten. Die bedeutendsten und verbreitetsten werden im Folgenden vorgestellt.

2.3 Vorgehensmodelle zur Unterstützung der Problemlösung

Gemeinsames Merkmal aller Vorgehensmodelle ist, dass sie durch ihre Struktur einzelne Arbeitsschritte und Zwischenziele (GIAPOULIS ET AL. 1995, S. 477) festlegen, die dem Anwender als Anhaltspunkte dienen, vergleichbar den aus dem Projektmanagement bekannten Meilensteinen. Zwischen diesen verschiedenen Sequenzen (VAJNA & WEBER 2000, S. 46) lassen sie Rücksprünge zu, die Korrekturen erlauben, ohne dabei die grundsätzliche Reihenfolge der Bearbeitung zu verlassen.

2.3.1 Heuristik als Kernelement der Problemlösung

Heuristik² ist nach PÓLYA (1949) die "Untersuchung der Mittel und Methoden des Aufgabens lösens" und wird zur allgemeinen Problemlösung eingesetzt (SCHREIBER 2001). Das Aufstellen von Vermutungen und Arbeitshypothesen³, die Beachtung von Analogien und das Erstellen von provisorischen Modellen ist im Gegensatz zu Algorithmen nicht zwingend zielführend (MÜLLER 1990), führt jedoch dazu, dass der Bearbeitungsprozess zielstrebig, sicher und damit effektiver verläuft.

¹ Die Tätigkeiten der Entwickler werden in Anlehnung an die in Kapitel 2.3 dokumentierten Vorgehensmodelle abstrakt als Problemlösen bezeichnet.

² Heuristik wird vor allem in der Mathematik zum Finden von Beweisen eingesetzt.

³ LINDSAY & NORMAN (1981) vergleichen Heuristiken mit Faustregeln zur Unterstützung der Gedankenarbeit; verhältnismäßig einfach zu handhabende Anleitungen zur Problemlösung. PÓLYA (1949) zählt Induktion, Variation, Interpretation und Reduktion zu den Heuristiken.

Basierend auf den Methoden und Regeln der Heuristik generiert POLYA (1949) ein vierstufiges Vorgehensmodell zur Problemlösung:

1. Verstehen der Aufgabe: Ziel dieser Vorbereitungsphase (*Präparation*) ist, das zu lösende Problem möglichst genau zu verstehen.
2. Entwicklung einer Lösungsidee: Nach einer intensiven Phase der Beschäftigung mit dem Problem kann durch den Einsatz unterschiedlicher heuristischer Strategien ein zielführender „Gedankenblitz“ provoziert werden.
3. Ausarbeiten der Lösung: Detaillierung und Umsetzung¹.
4. Rückschau und Einordnung: Die Lösung soll zu anderen, eventuell auch weiterführenden Sachverhalten oder Problemen in Beziehung gesetzt werden.

Dieses allgemeingültig formulierte Ablaufschema wurde von verschiedenen Autoren aufgegriffen und erweitert. Daher sind dessen Kernelemente in zahlreichen anderen Vorgehensmodellen zur Problemlösung wieder zu finden.

2.3.2 Vorgehen nach VDI 2221

Die allgemeingültige und Branchen unabhängig formulierte Richtlinie VDI 2221 schlägt ein zweckmäßiges Vorgehen mit definierten Arbeitsschritten und Arbeitsergebnissen zur Entwicklung von Produkten vor (Abbildung 2-14), dessen Vorgehensschritte einzeln und in ihrer Gesamtheit Tätigkeiten (VDI 2221, S. 4) zum Gewinnen, Verarbeiten und Ausgeben von Informationen² enthalten. Dabei umfasst das Vorgehen das Formulieren von Anforderungen zur Präzisierung der zu lösenden Aufgaben, das Suchen und Entwickeln von Lösungen, das Auswählen, Gestalten und Optimieren von Lösungsvarianten bis zur Erstellung der Produktdokumentation.

¹ „Eine glänzende Idee nützt wenig oder nichts, wenn sie nur skizziert und hingeworfen wird“.

² Hier sei nochmals auf die Definition des Entwicklungsprozesses als Informationsverarbeitungsprozess verwiesen (Kapitel 1).

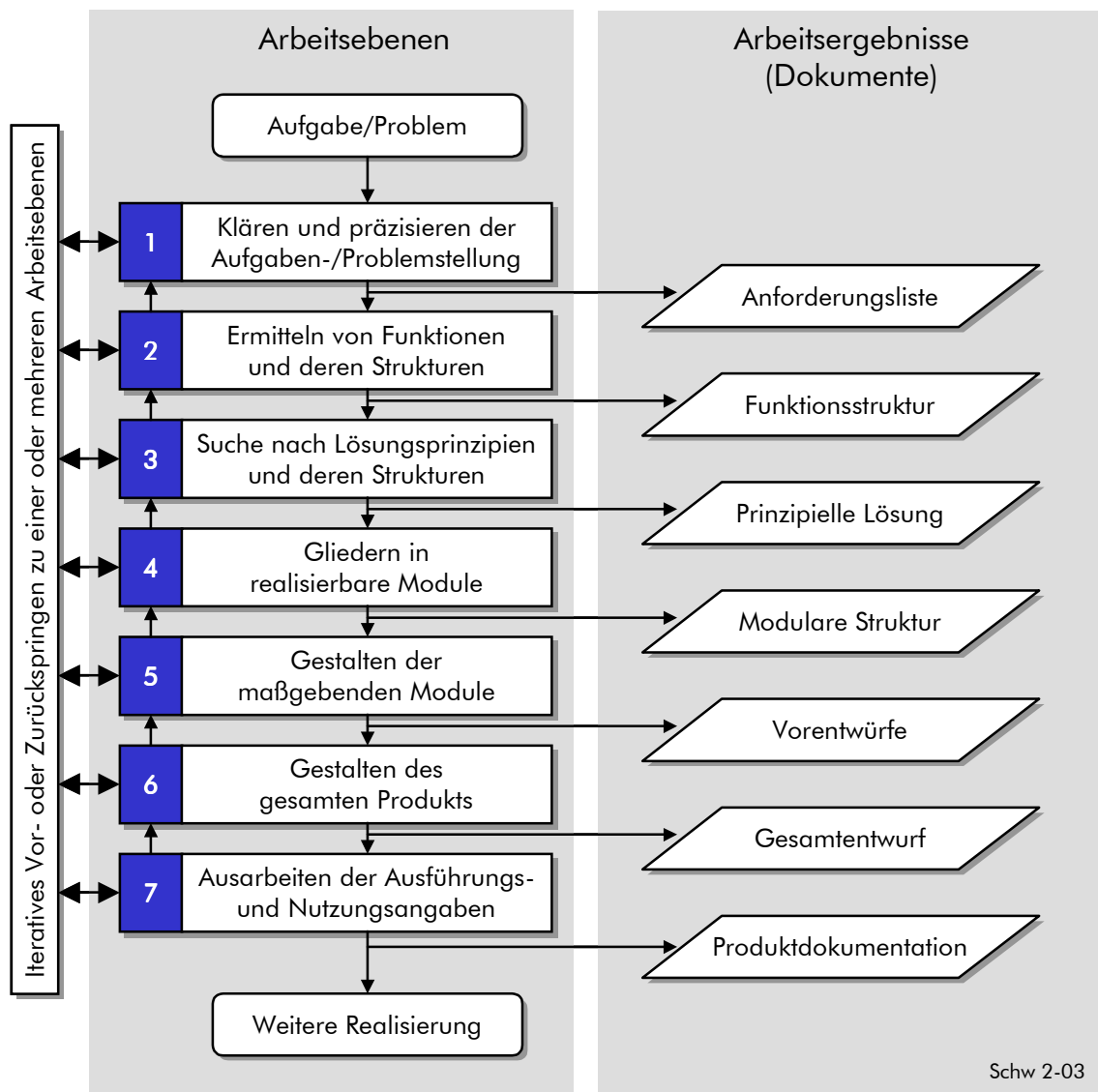


Abbildung 2-14: Vorgehen nach VDI 2221 (1993, S. 9)

2.3.3 Vorgehenszyklus

Der Vorgehenszyklus (EHRENSPIEL 1995, S. 78ff) stellt eine Erweiterung des aus der Systemtechnik bekannten Problemlösungszyklus (DAENZER & HUBER 1999, S. 48) dar. Er beschreibt in einer Folge von konkreten Arbeitsschritten (Abbildung 2-15) das Vorgehen bei der Bearbeitung eines Problems.

In der graphischen Darstellung wird die anfängliche Zunahme der zur Verfügung stehenden Informationen und der generierten Lösungen durch eine Verbreiterung dargestellt, in der Phase der Lösungsauswahl erfolgt eine Einschränkung des Lösungsraums auf die geeignetste aller Lösungen, die in den anschließenden Prozessschritten weiter detailliert wird.

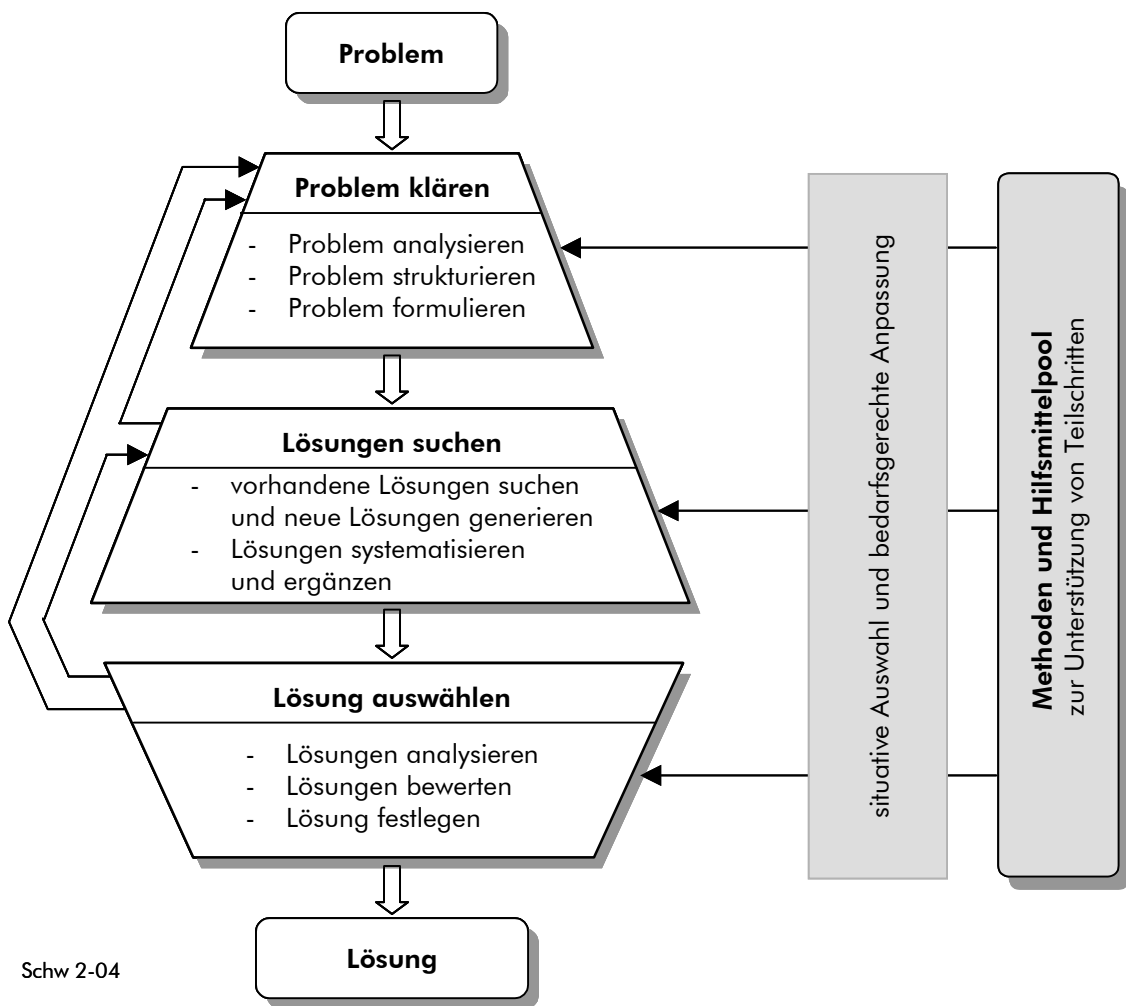


Abbildung 2-15: Vorgehenszyklus

Zur Unterstützung der drei Hauptschritte *Problem klären*, *Lösungen suchen* und *Lösungen auswählen* stehen eine Reihe von Methoden und Hilfsmitteln zur Verfügung, die vom Anwender situativ eingesetzt werden können. Wesentliches Element des Vorgehenszyklus ist die Iteration, das wiederholte, zyklische Durchlaufen von Arbeitsschritten (EHRENSPIEL 1995, S. 82), bei der auch Rücksprünge¹ in bereits abgearbeitete Teilschritte erforderlich werden können.

Da das in Kapitel 3 vorgestellte Erweiterte Vorgehensmodell auf diesem Vorgehenszyklus aufbaut, erfolgt in Kapitel 2.4 eine detailliertere Beschreibung der einzelnen Schritte und die Vorstellung geeigneter Hilfsmittel zur Unterstützung dieser elementaren Schritte. Aufgrund der allgemeingültigen Formulierung ist eine breite Anwendbarkeit gewährleistet; bei komple-

¹ Kann im Teilschritt *Lösung auswählen* keine geeignete Lösung festgelegt werden, kann die Suche nach alternativen Lösungen (Rücksprung in *Lösungen suchen*) oder die nochmalige Analyse der Aufgabenstellung (*Problem klären*) ausgeführt werden.

xeren Problemstellungen kann auch eine rekursive Anwendung¹ erfolgen (BERNARD & STETTER 1997).

Die einzelnen Schritte des Vorgehenszyklus können anhand des sogenannten TOTE-Schemas bearbeitet werden, das im folgenden Kapitel beschrieben wird.

2.3.4 TOTE-Schema

PAHL & BEITZ (1993, S. 61) bezeichnen das aus einem Prüfprozess (*Test*) und einem Veränderungsprozess (*Operate*) bestehende TOTE-Schema als elementaren Heurismus zum Problemlösen. Das TOTE-Schema entspricht einem „Versuch und Irrtum“-Vorgehen (LINDEMANN 2000, 1-15) und wird generell angewendet, wenn keinerlei Informationen über die Lösung eines Problems vorhanden sind.

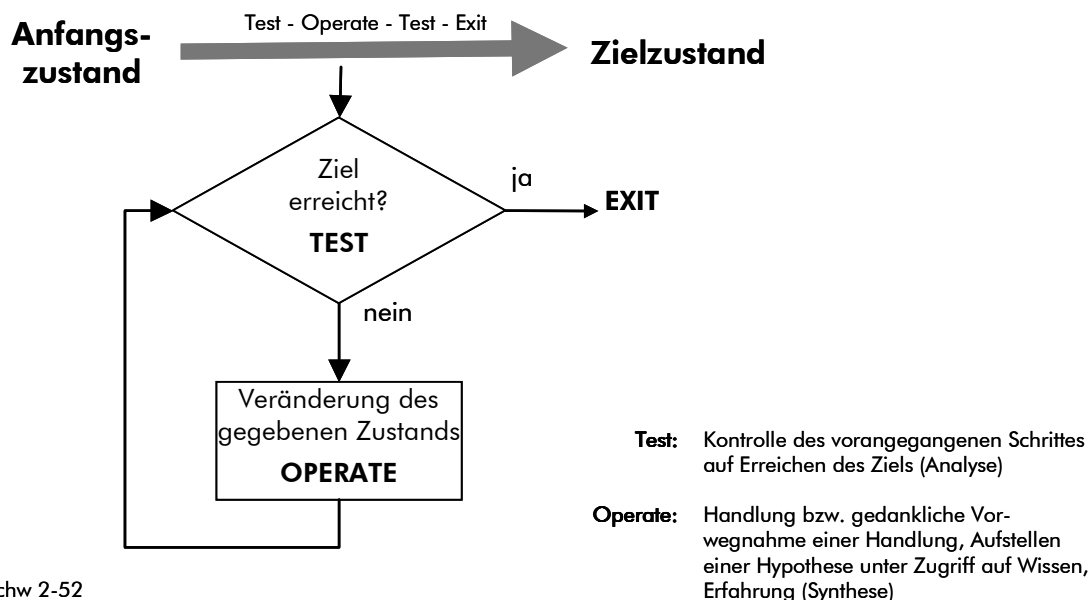


Abbildung 2-16: Das TOTE-Schema als elementarer Heurismus zum Problemlösen (PAHL & BEITZ 1993, S. 61)

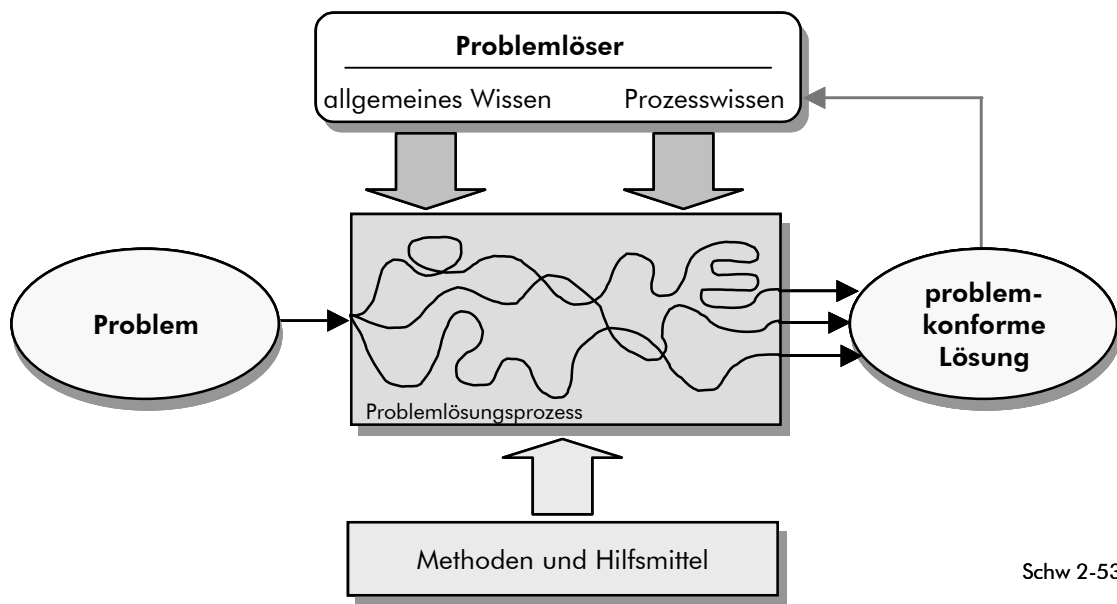
Basierend auf einem vorhandenen Ausgangszustand bis zum Erreichen des angestrebten Zielzustand geschieht das Problemlösen durch eine zyklische Abfolge von Prüfschritten und Veränderungsschritten bis das Problem gelöst ist (*Exit*) oder der Vorgang aus Zeitmangel oder Prioritätsverschiebung abgebrochen werden muss. Zu den Veränderungsschritten zählen auch die Informationsbeschaffung (WRIGHT 1998, S. 12) und Generierungsschritte (EHRENSPIEL 1995, S. 73), die zum Erreichen des angestrebten Zielzustands erforderlich sind.

In komplexen Denkabläufen¹ wird das TOTE-Schema wiederholt durchlaufen bzw. vielfach hintereinander geschaltet.

¹ Teilprobleme können im Rahmen einer Produktentwicklung ebenfalls anhand des Vorgehenszyklus bearbeitet werden, z.B. die Planung, Durchführung und Auswertung eines Versuchs zur Analyse von Produkteigenschaften (BERNARD & STETTER 1997).

Neben den hier vorgestellten existieren in der Literatur noch eine Reihe weiterer Vorgehensmodelle mit nahezu identischer Zielsetzung. Neben DAENZER & HUBER (1997, S. 47ff) und ZÜST (1997) sei auf ULLMANN (1997, S. 13) verwiesen.

Abbildung 2-17 zeigt abschließend eine abstrakte Darstellung eines Problemlöseprozesses in Anlehnung an ULLMANN (1997), der auf unterschiedliche mögliche Lösungswege hinweist, die alle zielführend sein können. Darüber hinaus postuliert ULLMANN eine abschließende Überprüfung des Problemlöseprozesses. Aus den gewonnen Erkenntnissen² können Lerneffekte resultieren, die für das Vorgehen und den Einsatz von Methoden und Hilfsmitteln bei künftigen Problemlösungen von Bedeutung sein können.



Schw 2-53

Abbildung 2-17: Abstrakte Darstellung des Produktentwicklungsprozess (in Anlehnung an ULLMANN 1997)

Im Folgenden werden Methoden und Hilfsmittel näher betrachtet, die tragende Elemente der Problemlösung (Abbildung 2-17) darstellen.

2.4 Methodeneinsatz und Vorgehen in den frühen Phasen der Produktentwicklung

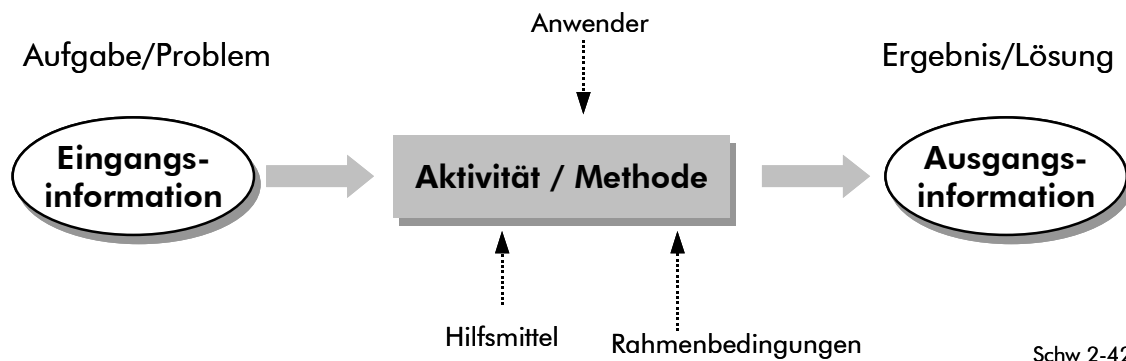
2.4.1 Unterstützender Einsatz von Methoden und Hilfsmittel

Wie schon wiederholt angesprochen unterstützen eine Reihe von unterschiedlichen Methoden und Hilfsmittel die vielfältigen Tätigkeiten und Einzelschritte der in den Vorgehensplänen dargelegten Arbeitsabschnitte (VDI 2221 1993, S. 32) beim Lösen von Problemen, d.h. bei

¹ Nach DÖRNER (1979, S. 40) lassen sich mit diesem Schema Abläufe von Denkprozesse in Form von Regelkreisen beschreiben.

² Die Themen Wissen und Information und deren Bedeutung werden in Kapitel 2.5 detailliert betrachtet.

der Generierung von geforderten Ausgangsinformationen basierend auf vorhandenen Eingangsinformationen (Abbildung 2-18).



Schw 2-42

Abbildung 2-18: Informationsumsatz (LINDEMANN 2000)

Aufgrund der Vielzahl in der Literatur beschriebener Methoden und Hilfsmittel, deren jeweiliger Eignung für unterschiedliche Anwendungen, sowie der Vielfalt an Problemstellungen, mit denen die Anwender im Rahmen der Produktentwicklung tagtäglich konfrontiert werden, weist RÜCKERT (1997, S. 140) auf eine bedarfsgerechte und problembezogene Anwendung¹ hin, die sich an der flexiblen Strukturierung der Vorgehensmodelle orientiert.

Da keine der von den verschiedenen Schulen (VDI 2221 1993, S. 32) entwickelten Methoden alle sich aus den unterschiedlichen Einflussgrößen ergebenden Anforderungen erfüllen kann, ist es erforderlich, aus einem umfangreichen System von Methoden und Hilfsmitteln diejenigen auszuwählen, die für das personelle, materielle, finanzielle und organisatorische Umfeld des jeweils zu bearbeitenden Projekts voraussichtlich geeignet oder sogar nachweisbar optimiert sind. Diese Auswahl setzt zum einen eine genaue Kenntnis der aus den einzelnen Tätigkeiten resultierenden Anforderungen an die einzusetzenden Methoden und Hilfsmittel voraus. Zum andern, die Kenntnis deren spezifischer Eigenheiten, die erforderlichen Randbedingungen und Restriktionen, die bei ihrer Anwendung zu berücksichtigen sind; nur so kann die optimale Auswahl getroffen werden.

Die Methoden und Hilfsmittel an sich müssen praxisgerecht, praktikabel und einfach in der Handhabung sein (STEINWACHS 1976, S. 100) und der Arbeitsweise des Entwicklers entsprechen. Darüber hinaus benötigen sie eine gewisse Flexibilität² und sollen jederzeit zur Verfügung stehen, da eine lange Suche oder Wartezeit ihre Nutzung erschwert oder gar verhindert. GIAPOULIS ET AL. (2001) weisen ebenfalls auf eine verständliche Beschreibung sowie eine einfache Handhabbarkeit von Methoden und Hilfsmitteln hin. Eine Akzeptanz, die für die Anwendung und damit den Erfolg ausschlaggebend ist, lässt sich nur erreichen, wenn die Vorteile transparent werden und sich aus der Anwendung heraus kurzzeitig Erfolge ergeben. Nach MEERKAMM ET AL. (1995, S. 107) ist es entscheidend, dass Methoden vom Entwickler beherrscht werden und schnell einsetzbar sind. Mit der entsprechenden Erfahrung gepaart, stellen sie dann ein wertvolles Handwerkszeug dar.

¹ RÜCKERT vergleicht eine Sammlung von Methoden und Hilfsmitteln als Werkzeugkasten, aus denen der Anwender die benötigten Elemente entnimmt.

² Bedarfsgerechte Anpassbarkeit und Erweiterbarkeit.

LINDEMANN (2000, S. 3) identifiziert einen konsequenten Methodeneinsatz als ein entscheidendes Merkmal, das erfolgreiche Unternehmen auszeichnet. Zahlreiche Analysen von Produktentwicklungsprozessen in der industriellen Praxis haben nämlich wiederholt gezeigt, dass der optimale und durchgängige Einsatz (PIGHINI ET AL. 2001, S. 11ff) von Methoden und Hilfsmitteln im gesamten Produkterstellungsprozess zu besseren Ergebnissen führt und die wesentlichen Erfolgsfaktoren Zeit, Kosten und Qualität positiv beeinflusst.

2.4.2 Bedeutung der frühen Phasen

In den frühen Phasen eines Produktentwicklungsprozesses liegen sehr wenig Informationen vor; weder über den Verlauf des Entwicklungsprozess noch über die spätere Lösung, über Produkteigenschaften oder das fertige Produkt selbst.

Dies ist besonders ausgeprägt bei Aufgabenstellungen mit einem hohen Innovationsgrad (COOPERN 1999) bzw. bei komplexen Aufgabenstellungen¹ (ROSENAU 1996), bei denen auch Neuland (MARXT 2001, S.323f) betreten werden muss (z.B. beim Einsatz neuer Technologien). Außerdem bei Aufgaben, bei denen bei den Entwicklern wenig Wissen und Erfahrung auf diesem Gebiet vorhanden ist. Das Wissen² und die Erfahrung auf diesem Gebiet nehmen erfahrungsgemäß erst im Laufe des Projekts zu und erreichen ihr höchstes Niveau gegen Ende der Entwicklung und der Umsetzung des Produktes. Zu diesem Zeitpunkt ist nach ULLMANN (1997, S. 15) jedenfalls nur noch eine reduzierte Entwicklungsfreiheit³ (*Design freedom*) vorhanden, da die Änderungsmöglichkeiten aus zeitlichen Gründen reduziert, bzw. mit sehr hohen Kosten verbunden sind.

Die frühen Phasen der Produktentwicklung stellen aufgrund der Chance der frühen Weichenstellung für das gesamte Entwicklungsprojekt auch eine große Herausforderung dar. Ihre Bedeutung kann laut MEERKAMM ET AL. (1995, S. 103ff) nicht hoch genug eingestuft werden. Zum einen sind sie sehr wichtig, da hier ein Großteil der Kosten⁴ (Abbildung 2-19) und Produkteigenschaften⁵ festgelegt werden, obwohl die vorhandenen Informationen über das zu entwickelnde Produkt noch gering sind. Laut PACHE ET AL. (2001, S. 98ff) beeinflussen die zu Beginn eines Produktentwicklungsprozesses getroffenen konzeptionellen Entscheidungen Qualität, Kosten und Entwicklungszeit eines zukünftigen Produktes in höchstem Maße. Zum anderen können Fehlentscheidungen in dieser Phase zu katastrophalen Spätfolgen führen, die

¹ MEERKAMM ET AL. (1999, S. 107) sehen in der Entwicklung mechatronischer Produkte eine große Herausforderung, da aufgrund der Interdisziplinarität auch die Komplexität der Aufgabe zunimmt.

² Wissenszuwachs findet während der gesamten Produktlebensdauer statt. Erfahrungen aus der Anwendung beim Kunden fließen oftmals in die Entwicklungsabteilungen zurück und können bei einer Überarbeitung berücksichtigt werden.

³ Die Gegenläufigkeit der Kurven (Abbildung 1-2) Kenntnisstand der Produkteigenschaften (entspricht der Zunahme des Wissens) und kostengünstige Änderungsmöglichkeiten (entspricht der Entwicklungsfreiheit) bezeichnet ULLMANN (1997, S. 15) als Entwicklungsprozessparadoxon.

⁴ Die Angaben der Höhe der festgelegten Kosten variieren in der Literatur. EHRENSPIEL (1995, S. 555) z.B. geht von 60% bis 80% Kostenfestlegung in der Konstruktion aus.

⁵ Nach MEERKAMM ET AL. (1995, S. 103) werden zwei Drittel der späteren Produkteigenschaften in den frühen Phasen festgelegt.

erst bei der Herstellung, Kontrolle oder Nutzung entdeckt werden und dadurch auch hohe Kosten verursachen können.

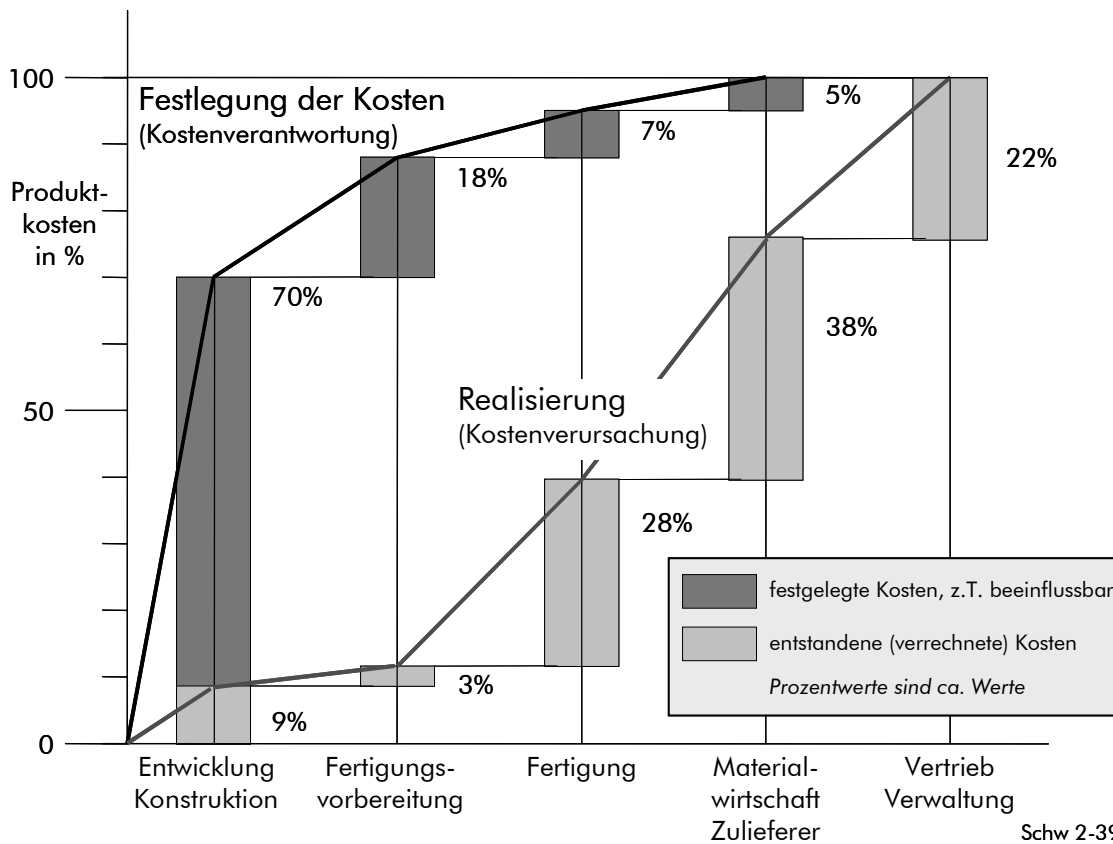


Abbildung 2-19: Kostenfestlegung und Kostenentstehung in unterschiedlichen Unternehmensbereichen (Ehrlenspiel et al. 2000, S. 12)

Aus diesem Grunde sollen speziell die frühen Phasen der Produktentwicklung intensiv bearbeitet und auf ein geeignetes methodisches Vorgehen besonderer Wert gelegt werden, bei dem durch die situative Methodenanwendung und –anpassung (LINDEMANN 2001b, S. 347ff) eine geeignete Unterstützung einzelner Prozessschritte erfolgt (DANNER 1996, S. 15). Beispielsweise empfiehlt BOCHTLER (1996, S. 68), kritische Informationen hinsichtlich Produkt- und Prozessparameter durch den Einsatz von integrierend wirkenden Methoden schon frühzeitig zu erzeugen und an sämtliche Prozessbeteiligte weiterzuleiten.

Um den wachsenden Ansprüchen an die Menge der Informationen (FRANKENBERGER 2001, S. 115f) in den frühen Phasen gerecht werden zu können, empfehlen BERNARD & STETTER (1997, S.675) die Durchführung von orientierenden Analysen zur Eigenschaftsfrüherkennung, die nach Möglichkeit schnell und aufwandsarm (LINDEMANN & STETTER 1998) erfolgen soll.

Trotz der damit einhergehenden Intensivierung der Anstrengungen und des zeitlichen und finanziellen Aufwands kann nach REINHART & WEIßENBERGER (1997, S. 571ff) durch eine geringere Anzahl von großen Iterationsschleifen und durch eine Reduzierung von Kosten in den späteren Phasen insgesamt von erheblichem Rationalisierungspotenzial für das Unternehmen ausgegangen werden.

Entscheidend sind hier neben Kooperation und Kommunikation (IAO 2001) auch die Verfügbarkeit von physischen und virtuellen (Rechenmodelle und deren Visualisierung) Prototypen¹ und der flexible Einsatz (ELSAS & DIJK 1994, S. 137f) geeigneter Methoden und einfach handhabbarer Hilfsmittel (ADOLF ET AL. 1999, S. 19). Nur so kann mit den unvollständig und unscharf definierten Lösungsideen auf hohem Abstraktionsniveau (PACHE ET AL. 2001, S. 98ff) gearbeitet werden, können Fehler durch vorbeugende Maßnahmen vermieden oder frühzeitig entdeckt werden, was gerade in High-Tech Industrien sehr wichtig ist. Hier erfolgt der Wandel in den Technologien sehr viel schneller und der Anteil an neuen Produkten ist deutlich höher (BLACHANDRA & RAELIN 1990, S. 100).

Im Folgenden wird das methodische Vorgehen in der Produktentwicklung anhand der drei elementaren Teilschritte des Vorgehenszyklus (siehe Kapitel 2.3.3) *Problem klären*, *Lösungen suchen* und *Lösungen auswählen* detailliert betrachtet sowie ausgewählte Methoden und Hilfsmittel vorgestellt, die diesen Teilschritten zuzuordnen sind.

2.4.3 Teilschritt 1: Problem Klären

Ziel des ersten Teilschritts des Vorgehenszyklus ist die Problemklärung, die in die Phasen Analyse, Strukturierung und Formulierung des Problems weiter unterteilt werden kann. Sie dient dazu, sich mit der Ausgangssituation und der Aufgabenstellung vertraut zu machen (DAENZER & HUBER 1999, S. 49), diese besser zu verstehen und darauf aufbauend die Basis zur Formulierung konkreter Ziele zu schaffen. Nach SPATH ET AL. (1998, S. 201) gehen aus der Aufgabenstellung die Größe des möglichen Lösungsraums und damit die Grenzen hervor, in welchen Ideen generiert werden dürfen.

2.4.3.1 Anforderungen klären, formulieren und strukturieren

In der Regel werden die Entwickler zu Projektstart mit einer umfangreichen Anforderungsliste² konfrontiert, in der sämtliche Anforderungen an das zu entwickelnde Produkt strukturiert dokumentiert sind. In vielen Fällen sind jedoch die Anforderungen zu Beginn eines Entwicklungsprojekts noch nicht vollständig vorhanden oder nur ungenau spezifiziert, was deren Handhabung erschwert. HACKER (1986) spricht in diesem Zusammenhang von Informationsmängeln, die folgendermaßen gegliedert werden:

- Objektives Fehlen erforderlicher Informationen.
- Nutzungsmängel objektiv vorhandener Informationen:
 - o Fehlende Nutzung (durch Übersehen, Vergessen, Übergehen, Reduktion oder kapazitätsbedingte Verarbeitungsdefizite).
 - o Falsche Nutzung (z.B. durch Fehlidentifikation, Erinnerungstäuschung, Fehlbeurteilung, Verwechseln).

¹ Prototypen sind Voraussetzung für eine effektive Kommunikation (IAO 2001).

² Die Begriffe Anforderungsliste, Lasten- und Pflichtenheft werden hier synonym verwendet.

Dazu kommt, dass lösungsbezogene Anforderungen sowie lösungsabhängige Schwachstellen oftmals erst im Laufe des Entwicklungsprozesses auftreten¹ (GIAPOULIS ET AL. 1995, S. 478) und ein Abweichen vom ursprünglich geplanten Vorgehen verursachen können. Diese unvorhersehbaren Anforderungen und Schwachstellen führen in der betrieblichen Praxis oft zu Fehlern in der Produktentwicklung (MICHAELI ET AL. 2000, S. 65). Sie bilden häufig die Schwerpunkte des weiteren Vorgehens, da sie entscheidende und aufwendige Änderungen im Lösungskonzept nach sich ziehen können.

Um eine möglichst vollständige Anforderungsdefinition bereits in den frühen Phasen der Entwicklung sicherstellen zu können, ist eine ganzheitliche Betrachtung über alle Phasen des Produktlebenszyklus erforderlich. Dabei empfiehlt sich der Einsatz von Checklisten (Fragelisten, z.B. nach PAHL & BEITZ 1993 oder LINDEMANN 2000) sowie eine geeignete EDV-Unterstützung.

Gerade bei komplexen interdisziplinären Neuentwicklungen ist die Vielzahl und Vielfalt unterschiedlicher Anforderungen nur sehr schwer zu überblicken und zu handhaben. Zum einen sind zahlreiche Anforderungen festgehalten, die in der frühen Phase der Ideenfindung und Konzepterstellung nur wenig oder noch nicht relevant sind, zum anderen wird eine Zuordnung der Anforderungen zu Verantwortlichen bzw. Kompetenzträgern nicht durchgeführt, die gerade in interdisziplinären Teams von Vorteil wäre.

Anforderungen, die lösungsneutral, klar und eindeutig formuliert sein sollen, lassen sich auf verschiedene Weise klassifizieren, z.B. nach deren Gewichtung oder nach „technisch-wirtschaftlichen“ und „organisatorischen“ Aspekten; im Weiteren nach deren Herkunft oder den einzelnen Lebensphasen eines Produktes. Neben Anforderungen vom Kunden (z.B. Handhabbarkeit, Ausstattung Ästhetik, Preis/Leistung, usw.), Anforderungen der allgemeinen Öffentlichkeit (z.B. Sicherheit von Leben und Gesundheit, Schutz von Umwelt und Eigentum, Schonung von Ressourcen) und der Gesetzgebung (Vorschriften, Regelwerk) sind die unternehmensinternen Anforderungen (wie z.B. Produzierbarkeit, Montierbarkeit, Flexibilität, Variantenvielfalt, Artikelanzahl, Chance auf Gewinn) von Interesse (DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR QUALITÄT E.V. FRANKFURT 1995, S. 23).

BREIING & KNOSOLAR (1997, S. 23) schlagen eine Einteilung der Anforderungen in Funktionsanforderungen, Betriebsanforderungen, umweltbedingte Anforderungen sowie Anforderungen an die Gestalt vor, die neben Mensch-Produkt- und Produkt-Mensch-Beziehungen auch die Bereiche Entwicklung und Herstellung umfassen. Funktionsanforderungen wie z.B. Leistungsdaten und Wirkungsgrade beschreiben die geforderte Funktion eines technischen Systems. Betriebsanforderungen beinhalten sämtliche Anforderungen, die die geforderte Funktion eines technischen Systems von der Inbetriebnahme bis zu endgültigen Stillsetzung aufrechterhalten, also nur zur Betriebserfüllung erforderlich sind. Dazu gehören unter anderem Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit.

Darüber hinaus werden Anforderungen in Forderungen und Wünsche unterteilen, wobei die Forderungen noch weiter unterschieden (LINDEMANN 2000, S. 2-5ff) werden in:

¹ EHRENSPIEL (1999, S. 225ff) empfiehlt beim Eintreten von unerwarteten Ereignissen oder nicht vermuteten Ergebnissen ein adaptives Verhalten, d.h. die an die veränderte Situation angepasste Auswahl von Strategien und Methoden für das weitere Vorgehen.

- Festforderungen (ohne Toleranzbereich).
- Bereichsforderungen (Intervallforderungen, Mindestanforderungen, Maximalanforderungen).

Eine Möglichkeiten der Strukturierung der Kundenanforderungen bietet das Kano-Modell (Abbildung 2-20), bei denen Standardmerkmale, Leistungsmerkmale und Begeisterungsmerkmale unterschieden werden.

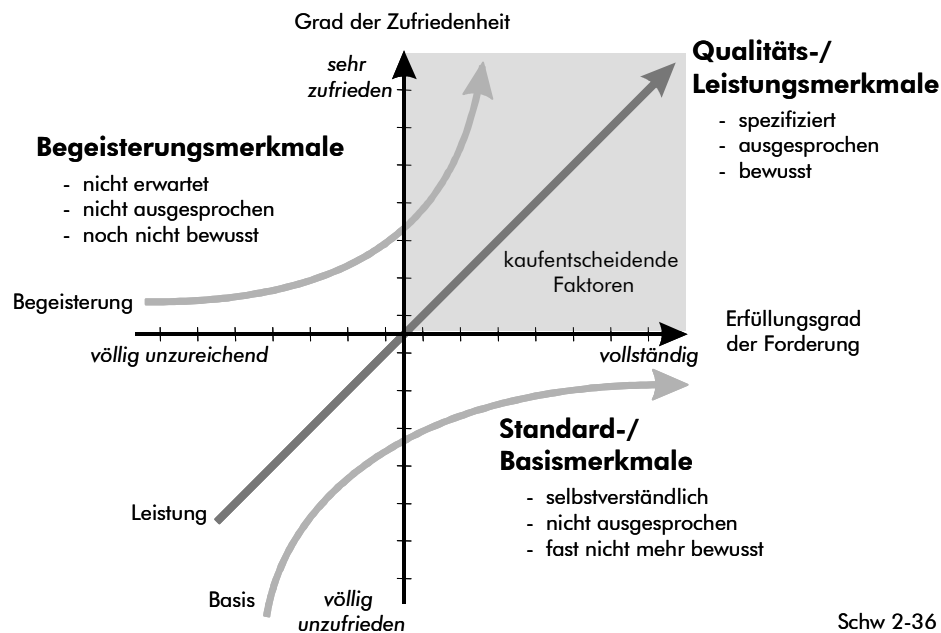


Abbildung 2-20: Kano-Modell (nach DANNER 1996, S. 14)

Bei den Standardmerkmalen erwartet der Kunde, dass diese umgesetzt werden. Sie können als implizite Forderungen gewertet werden. Eine vollständige Erfüllung dieser Standardmerkmale reicht aber noch nicht aus, um ein Produkt aus Kundensicht attraktiv zu machen.

Die Leistungs- oder Qualitätsmerkmale dagegen sind vom Kunden explizit formulierte Anforderungen, die nicht mehr als selbstverständlich oder als Stand der Technik angenommen werden. Aus dem linearen Verlauf der Kurve (Abbildung 2-20) für die Qualitäts-/Leistungsmerkmale zeigt sich, dass auch hier zunächst die Erwartungshaltung des Kunden erfüllt werden muss. Ist dies gewährleistet, lässt sich mit zusätzlichen Qualitäts-/Leistungsmerkmalen die Kundenzufriedenheit merklich steigern.

Mit den Begeisterungsmerkmalen, die den größten Einfluss auf die Kundenzufriedenheit und damit den Kaufentscheidungsprozess besitzen, kann die Erwartungshaltung des Kunden übertroffen werden. Das überproportional starke Anwachsen der Kundenzufriedenheit zeigt, dass relativ wenig Begeisterungsmerkmale (LINDEMANN 2000, S. 2-13) ausreichen, um sich einen Wettbewerbsvorteil zu verschaffen. Für den Kunden kaufentscheidend ist vorwiegend die Ausprägung der Qualitäts-/Leistungsmerkmale sowie der Begeisterungsmerkmale. Verschiedene Produkte werden anhand dieser Merkmale miteinander verglichen.

Zu beachten ist in diesem Zusammenhang, dass sich die Bedeutung von Anforderungen sowie deren Zuordnung zu Kategorien im Laufe einer Produkterstellung sehr schnell ändern kann.

Zum einen können veränderte Rahmenbedingungen (z.B. aufgrund von Gesetzesänderungen) oder die fortschreitende technische Entwicklung Ursachen für geänderte¹ und zusätzliche Anforderungen sein. Zum anderen kann sich die Zuordnung zu Begeisterungsmerkmalen aufgrund veränderter Kundenanforderungen auch rasch ändern und diese Merkmale² plötzlich vom Kunden als selbstverständlich erachtet werden.

SCHLÜTER (1999, S. 231) sieht aufgrund der häufig zu beobachtenden Ähnlichkeit von Konkurrenzprodukten (eine Unterscheidung ist oftmals nur noch in Detailfunktionen möglich) eine Verlagerung der beherrschenden Entwicklungsziele. Früher war das oberste Ziel, die Kundenanforderungen zu erfüllen. Es wurden in erster Linie vorhandene Funktionen verbessert und neue, bei entsprechender Anpassung des Preises, hinzugefügt. Heutzutage müssen neue Kundenbedürfnisse geschaffen werden. Dafür ist die Entwicklung geeigneter innovativer Produkte zu geringeren Kosten in kürzerer Zeit³ erforderlich, wobei aus wirtschaftlichen Gründen auch auf das Optimum der technischen Ausstattung (Abbildung 2-21) geachtet werden muss.

SPATH ET AL. (1998, S. 200ff) weisen auf die sich ändernden Kundenbedürfnisse hin und fordert daher eine frühzeitige und methodische Erfassung der Anforderungen und deren systematische Umsetzung in innovative und attraktive Produkte, die in immer kürzeren Zyklen im Markt etabliert werden.

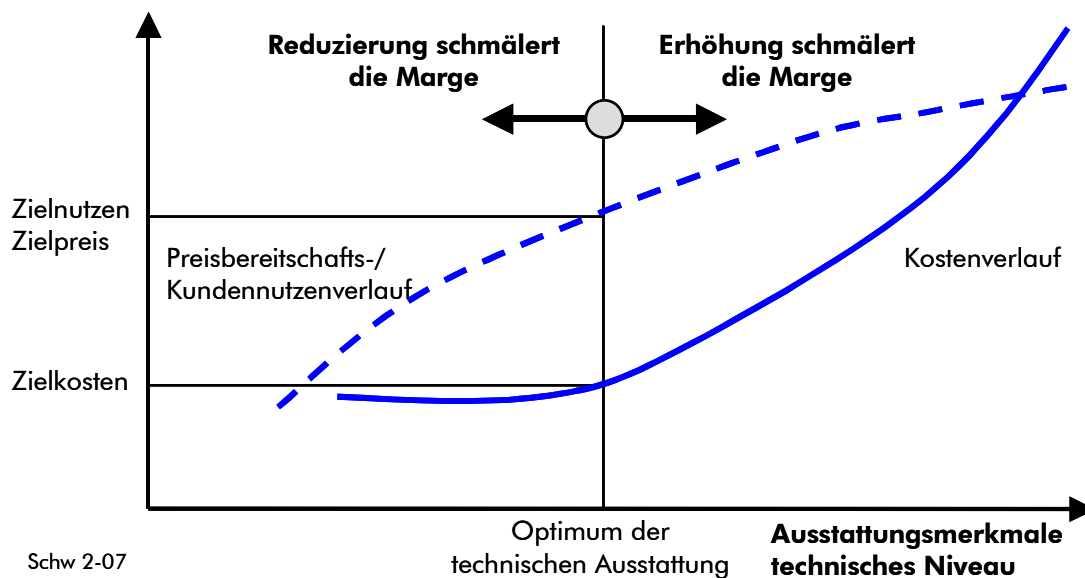


Abbildung 2-21: Gewinn in Relation zur technischen Ausstattung (WÜPPINGER, 1998, S. 39)

Aufgrund der hohen Bedeutung, die die Anforderungen für die gesamte Produktentwicklung und letzten Endes auf das Ergebnis haben, ist stets eine intensive Auseinandersetzung mit

¹ Es kann eine Änderung der Einstufung erforderlich sein, z.B. eine Anhebung einer Bereichs- in eine Festforderung.

² Diese Entwicklung ist in vielen Beispielen aus dem Bereich der Fahrzeugindustrie nachvollziehbar, z.B. die Verbreitung von Airbagsystemen, die früher nur der Luxusklasse vorbehalten waren, heute dagegen selbst im Kleinwagensektor zum Serienumfang gehören.

³ Schneller als der Wettbewerber.

ihnen erforderlich. Zentrales Element ist dabei die Anforderungsliste (u.a. nach MICHAELI ET AL. 2000, S. 66), welche sorgfältig gepflegt und ständig auf dem aktuellen Stand gehalten werden muss.

2.4.3.2 Problemstrukturierung und -modellierung

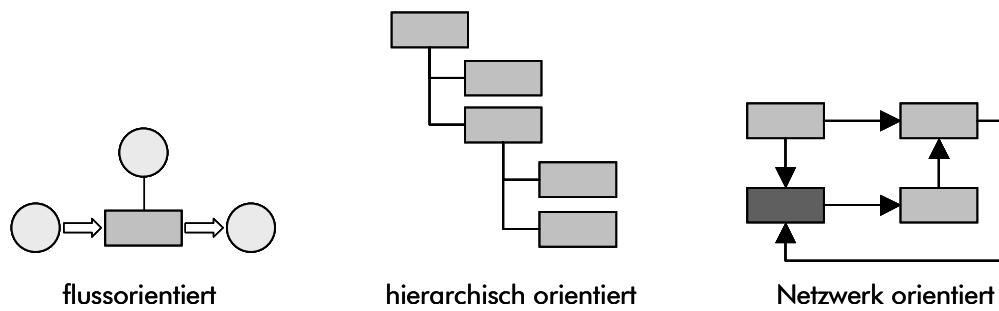
Basierend auf den Anforderungen kann eine Untergliederung des zu lösenden Problems in mehrere Teilprobleme vorgenommen werden, mit dem Ziel, die Komplexität zu reduzieren und Transparenz zu schaffen. Z.B. lässt sich ein System (ein Produkt, eine Gesamtfunktion) schrittweise in seine einzelnen Funktionen aufspalten (GERHARD, S. 72). Diese Teilprobleme werden dann getrennt voneinander bearbeitet, z.B. Lösungen zur Realisierung der einzelnen Funktionen gesucht und diese im Weiteren detailliert, wobei bei deren Bearbeitung stets der Gesamtzusammenhang beachtet werden muss, um am Ende eine stimmige Gesamtlösung zu erhalten. Gerade bei sehr umfangreichen und komplexen Systemen ist es wichtig, bei der Abbildung den richtigen Detaillierungsgrad zu finden, damit das Modell auf der einen Seite nicht zu umfangreich (BRYANT ET AL. 2001, S. 501ff), auf der anderen Seite trotzdem noch ausreichend aussagekräftig und genau wird. Dies erweist sich nach PULM & LINDEMANN (2001) oft als problematisch.

Zur lösungsneutralen Modellierung von Systemen¹, ihrer Strukturierung auf Basis einzelner Funktionen, und zur Beschreibung und Darstellung ihres Funktionsverhaltens² stehen verschiedene Modellierungstechniken zur Verfügung, die in flussorientierte, hierarchisch orientierte oder in netzwerkorientierte Strukturen eingeteilt werden können (PULM & LINDEMANN 2001, S. 477). Diese Techniken sollten situativ und entsprechend der Aufgabenstellung angewendet werden, sie können aber auch miteinander kombiniert werden. D.h. bei der Modellierung unterschiedlicher Teilprobleme können durchaus verschiedene Techniken angewendet werden.

Die flussorientierten Funktionsstrukturen (z.B. RODENACKER 1976, EHRENSPIEL 1995, KOLLER 1998, LINDEMANN 2001) stellen ein System anhand der Verknüpfung von Stoff-, Energie- und Signalflüssen dar. Hierarchisch orientierte Funktionsstrukturen (KIRSCHMAN ET AL. 1996, AKIYAMA 1994) bilden sämtliche Teilfunktionen und die daraus abgeleiteten übergeordneten Funktionen ab (BRYANT ET AL. 2001, S. 501ff).

¹ Im Rahmen dieser Arbeit werden Techniken zur Modellierung von Produkten auf Basis von Funktionen betrachtet. Zur Modellierung von Systemen, nach DAENZER & HUBER (1999, S. 4) ein wichtiger Bestandteil des Systems Engineering zum Verstehen und Gestalten komplexer Sachverhalte, sind eine Reihe von weiteren Modellierungsmöglichkeiten bekannt. Neben SADT (Structured Analysis and Design Technique, MARCA 1986) und UML (Unified Modeling Language, FOWLER & SCOTT 1999) eignet sich auch die von BICHLMAIER (2000) vorgestellte Darstellung mittels Prozessbausteinen.

² Neben der der Beschreibung von Funktionen mittels Substantiv und Verb kommen auch Beschreibungen mit mathematischen/logischen Modellen oder mit Symbolen zur Anwendung.



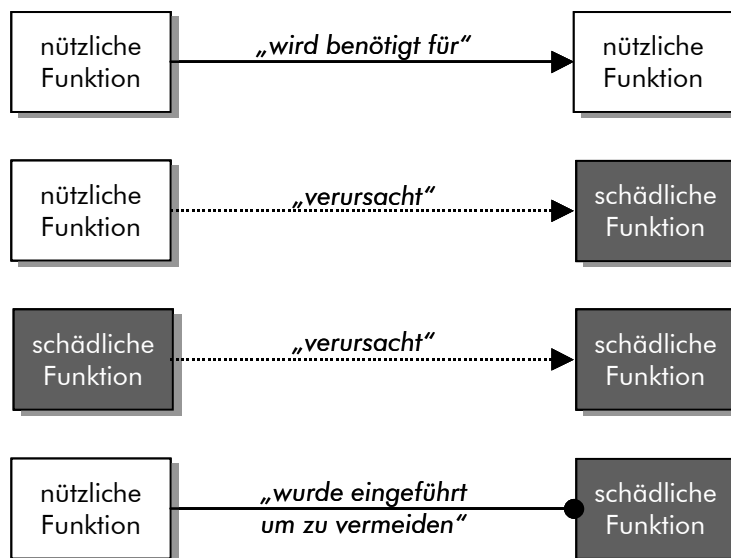
Schw 2-56

Abbildung 2-22: Unterschiedliche Arten von Funktionsstrukturen

Mit netzwerkorientierten Funktionsstrukturen lassen sich Abhängigkeiten und gegenseitige Beeinflussungen, positive wie negative, abbilden. Dieser Kategorie gehört die Funktionsmodellierung nach TRIZ (*theory of inventive problem solving*, ALTSCHULLER 1984) an, bei der Funktionen stets mit einem Substantiv und einem Verb beschrieben werden und lediglich zwei Arten von technischen Funktionen unterschieden werden:

- Funktionen, die für das System nützlich sind.
- Funktionen, die für das System schädlich sind.

Die Relationen zwischen diesen Funktionen werden unter Zuhilfenahme nachstehender Nomenklatur abgebildet (Abbildung 2-23):



Schw 2-57

Abbildung 2-23: Relationen zwischen Funktionen bei der Funktionsmodellierung nach TRIZ

Diese Art der Funktionsmodellierung unterstützt das Verständnis relevanter Zusammenhänge, zeigt Widersprüche auf und führt zum geistigen Durchdringen der Problemstellung (TERNINKO ET AL. 1996). Darüber hinaus liefert sie wertvolle Anregungen für neue Lösungen. Aus dem Funktionsmodell lassen sich technische Problemstellungen ableiten und Teilaufgaben formulieren, die im Teilschritt *Lösungen suchen* bearbeitet werden.

Allgemein hat die Funktionsmodellierung, die sowohl zur Problemklärung (*Analysephase*) als auch zur Unterstützung der Lösungssuche (*Synthesephase*) eingesetzt¹ werden kann (PULM & LINDEMANN 2001, S.477), aufgrund der Abbildung von Systemen auf einer sehr abstrakten Ebene eine hohe Bedeutung für die Produktentwicklung (STETTER ET AL. 2001). Dadurch wird ein großer Lösungsraum zum Suchen neuer Lösungen eröffnet, eine Vorfixierung und eine frühe Festlegung von Teillösungen verhindert. Gerade bei Entwicklungsaufgaben mit hohem Innovationsanspruch wird das Finden und Integrieren neuer Funktionen unterstützt, die einen wichtigen Vorsprung vor der Konkurrenz erwirken können.

Nach dieser äußerst abstrakten Phase (Teilschritt 1) des Entwicklungsprozess (WELCH & DIXON 1992, S.11) werden im Teilschritt 2 Lösungen gesucht und Konzepte (= *vorläufige Systemkonfigurationen*) generiert, die die geforderten Funktionen erfüllen.

2.4.4 Teilschritt 2: Lösungen suchen

Der Teilschritt *Lösungen suchen*², nach ENGELBRECHT (1977, S.17) der wichtigste Abschnitt im Entwicklungsprozess, bei dem möglichst viele unterschiedliche Ideen erzeugt werden sollen (KOLLI ET AL. 1994, S. 151f), wird gegliedert in die Suche nach vorhandenen und das Generieren von neuen Lösungen.

Dabei kann nach GRABOWSKI & KURZ (1996) durch eine zielgerichtete und kreative Ideenfindung eine Steigerung des Innovationspotenzials innerhalb der Produktentwicklung ermöglicht werden, wenn die erforderlichen Grundlagen für eine ganzheitliche, interdisziplinäre, multi-kulturelle Ideenfindung geschaffen werden.

Das Suchen und Entwickeln von Lösungen geschieht in Anlehnung an die VDI 2221 (1993, S. 12) in unterschiedlichen Konkretisierungs- und Komplexitätsgraden. Im Produktentwicklungsprozess, der aus einer Summe einzelner Teilprozesse besteht, ist ein deutliches Springen zwischen den verschiedenen Produktrepräsentationen in allen Teilprozessen der Produktentwicklung festzustellen (COLLIN 2001), wie nachfolgende Abbildung zeigt. Auf dem Weg vom Problem zur Lösung werden bedarfsgerecht verschiedene Methoden und Hilfsmittel eingesetzt.

¹ Ein weiterer Aspekt ist die Unterstützung der Dokumentation.

² KURZ (1998, S. 21) bezeichnet die Ideenfindung als das Ermitteln neuer Produktideen innerhalb vorgegebener Suchfelder unter Berücksichtigung des Unternehmenspotenzials.

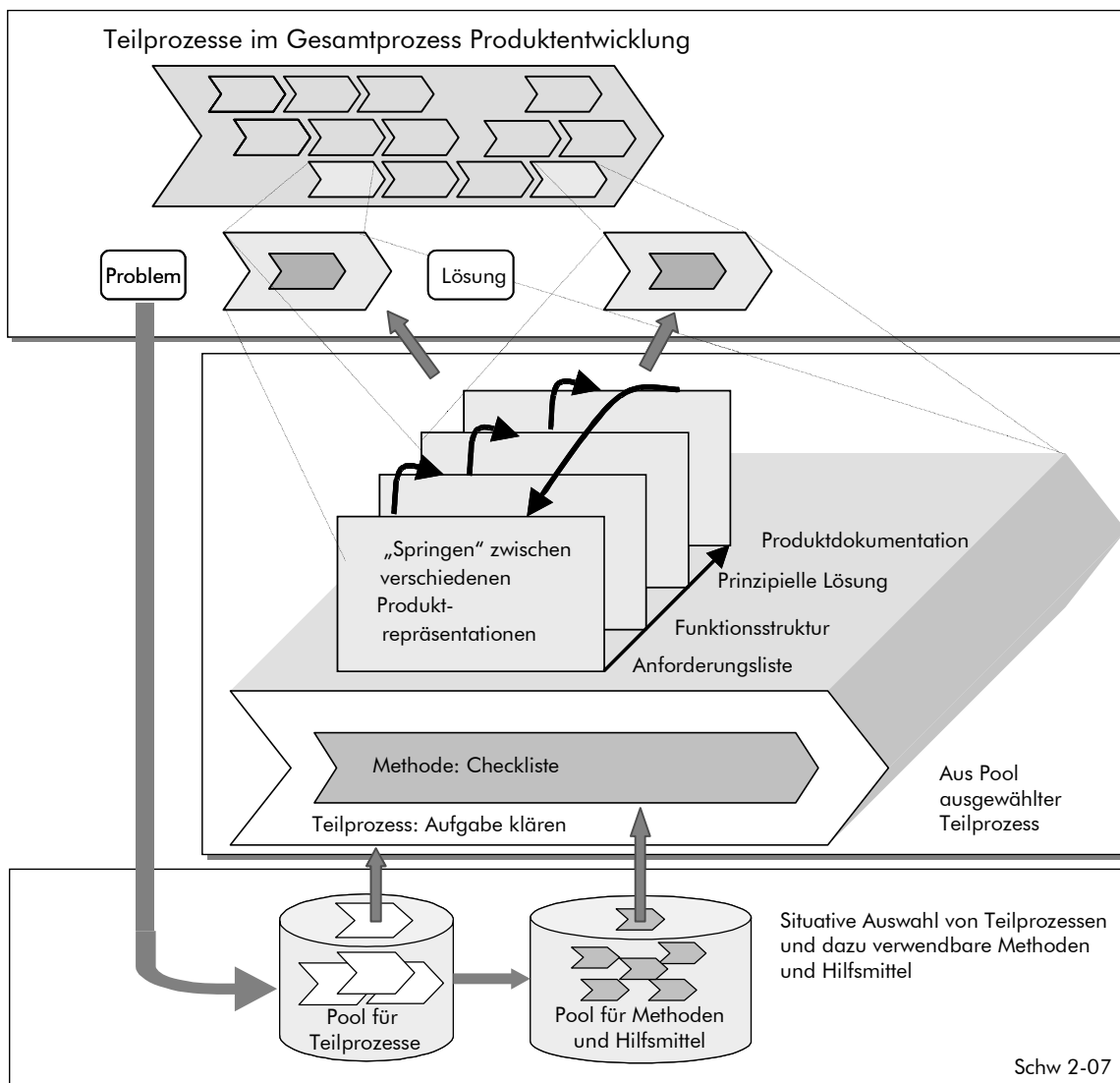


Abbildung 2-24: Springen zwischen verschiedenen Konkretisierungstiefen eines Produktmodells während eines Teilprozesses in der Produktentwicklung (COLLIN 2001, BIRKHOFFER ET AL. 2001)

Zuerst werden prinzipielle Lösungen für die Gesamtfunktion und/oder für einzelne Teilfunktionen generiert, welche im Anschluss zu Gestaltungselementen und –modulen verknüpft und in Form von grobgestalteten und unvollständigen Vorentwürfen ausgearbeitet werden. Abschließend werden die einzelnen Gestaltelemente zu einem vollständigen Gesamtentwurf verknüpft, der detailliert ausgearbeitet wird (Feingestaltung).

2.4.4.1 Suche nach vorhandenen Lösungen

Neben der Analyse bekannter Systeme und der Betrachtung von Analogien (GROBE 1998, S. 137ff) werden zur Suche nach vorhandenen Lösungen (Tabelle 2-2) in der Regel umfangreiche Recherchen¹ durchgeführt, die sich auf vorhandene Lösungen, auf Produkte (des Unter-

¹ Quellen sind z.B. Fachbücher, Normblätter, Datenblätter in Firmenkatalogen sowie am CAD aufrufbare Datenbanken relationaler Datenbanken (BREEING & FLEMMING 1993, S. 86).

nehmens oder allgemein) oder auf Patente erstrecken können. Werden Lösungen für einzelne Teilelemente/Teilprobleme gesucht, eignen sich auch Lösungssammlungen wie Kataloge¹ mit technologischen Prinzipien (z.B. ROTH 1994).

Nach MEYER (2001) sind Konstruktionskataloge manuell handhabbare Informationsspeicher, die auf die Vorgehensweise der Konstruktionsmethodik abgestimmt sind. Diese weisen eine systematische Gliederung auf und enthalten verschiedene Zugriffsmerkmale. Sie dienen zur Rationalisierung des Konstruktionsprozesses, da das Nachschlagen bereits gelöster Konstruktionsaufgaben die aufwandsärmste und somit wirtschaftlichste Methode (ROTH 1994, S.1) zum Lösen einer technischen Aufgabe ist. Problematisch bei papierbasierten Konstruktionskatalogen ist die Unübersichtlichkeit, die mit einer zunehmenden Gliederungstiefe der Kataloge einhergeht. SCHEITHAUER (2001) sieht in der Nutzung von rechnerbasierten Informationssystemen, die deutlich übersichtlicher sind, für bekannte Konstruktionslösungen eine Erweiterung des Erfahrungshintergrunds der Entwickler, eine Verringerung der Entwicklungszeit sowie eine Erhöhung der Qualität von Produkt und Prozess.

2.4.4.2 Generieren von neuen Lösungen

Zum Generieren von innovativen Lösungen werden Methoden eingesetzt, die mentale Blockaden überwinden helfen (CROSS 1994, S. 37) und die Kreativität² stimulieren. Entsprechend dem *Erklärungsmodell kreativen Schaffens*³ gehorcht das Finden von Ideen den folgenden vier Phasen, die nacheinander, aber unbewusst ablaufen (MITTELSTRAß 2001, S. 53):

- Präparation: Problemwahrnehmung, Sammeln von Fakten, Informationsaufbereitung.
- Inkubation: Unbewusste „Verdauung“ der Problemlage, Interpretation.
- Illumination: Problemlösung in Form eines plötzlichen Einfalls.
- Verifikation: Prüfung und Umsetzung des kreativen Prozesses.

Gegenwärtig existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Methoden⁴, welche die vier Phasen dieses unbewussten Prozesses unterstützen und die Kreativität anregen sollen. Damit besteht zwar keine Gewähr, jedoch eine erheblich vergrößerte Chance, eine gute Problemlösung zu finden.

¹ Eine umfangreiche Darstellung verfügbarer Kataloge findet sich unter <http://www.fbe.fh-frankfurt.de/personal/mayer/kk/konkatalogübersicht.html>. Entnommen am: 01.07.01.

² Die Aufgaben der Kreativität sind (MEYER'S LEXIKON, 1992) das Aufspüren von Problemen und das Definieren von Problemstellungen, das Formulieren von Hypothesen, das Suchen nach Lösungen und deren Verifizierung sowie das Mitteilen und Durchsetzen der Erkenntnisse.

³ Zur Erklärung des Prozesses mathematischen Findens und Erfindens wurde dieses Vier-Phasen-Modell von POINCARÉS (1908, S. 43ff) formuliert.

⁴ Die Suche nach neuen Ideen erfolgt bei 75% der an der Umfrage (Kapitel 9.1) teilgenommenen Personen im Team. 58% der Teilnehmer gaben an dabei Kreativitätstechniken einzusetzen. Interessant ist, dass fast ausschließlich die Methode des Brainstorming zum Einsatz kommt, welche von 24% regelmäßig, von weiteren 20 % häufig eingesetzt wird. Alle anderen Methoden spielen bei den befragten Personen eine untergeordnete Rolle (Einsatzhäufigkeit kleiner 3%).

GROBE (1998, S. 140ff) teilt die Kreativitätstechniken in intuitiv-betonte und diskursiv-betonte Methoden ein, die in der nach folgenden Übersicht dargestellt sind und von denen ausgewählte im Anschluss daran vorgestellt werden.

Tabelle 2-2: Methoden zur Unterstützung der Ideenfindung¹

konventionelle Methoden	intuitiv betonte Methoden	diskursiv betonte Methoden
<ul style="list-style-type: none"> - Literaturrecherche (zum Stand der Technik) - Analyse natürlicher Systeme - Analyse bekannter technischer Systeme - Analogiebetrachtungen - Messungen, Modellversuche 	<ul style="list-style-type: none"> - Brainstorming - Methode 6-3-5 - Galeriemethode - Delphimethode - Synektik 	<ul style="list-style-type: none"> - Systematische Untersuchung des physikalischen Zusammenhangs - Systematische Suche mit Hilfe von Ordnungsschemata (Morphologischer Kasten) - Verwendung von Katalogen

2.4.4.2.1 Brainstorming/Brainwriting

Beim Brainstorming/Brainwriting werden gemeinsam und vorurteilsfrei zahlreiche Möglichkeiten zur Lösung eines Problems erarbeitet, wobei durch eine strikte Trennung von Lösungssuche und Diskussion eine hohe Kreativität der Beteiligten erreicht wird. Dies führt zu einer großen Vielfalt an Lösungen (DGQ 1995, S. 67f). Die Ideen, in Form von Stichworten oder Prinzipskizzen, werden einzeln dokumentiert und visualisiert, wobei bereits eine Klassifizierung und Strukturierung erfolgt. Eine interessante Variante (MALORNY ET AL. 1997) des Brainwritings ist die Methode 6-3-5, die auch räumlich verteilt durchgeführt werden kann.

2.4.4.2.2 Methode 6-3-5

Bei dieser Methode werden von den *sechs* Teilnehmern jeweils *drei* Lösungsmöglichkeiten innerhalb von *fünf* Minuten auf einem Blatt niedergeschrieben. Die beschriebenen Blätter werden nach jeweils fünf Minuten reihum weitergegeben. Ausgehend von den bereits aufgeführten Lösungen schreibt jeder Teilnehmer drei weitere, möglichst neue Lösungsvorschläge auf das vom Vorgänger erhaltene Blatt. Der Vorteil dieser Methode ist das Aufgreifen der Lösungen anderer Teilnehmer. Diese können erweitert oder als Anregung für eigene Ideen verwendet werden.

2.4.4.2.3 Morphologischer Kasten

Der Morphologische Kasten unterstützt das systematische Ermitteln von Prinziplösungen und ist ein universell einsetzbares Werkzeug (SCHARRER 2001), das den analytisch-synthetischen Methoden zugerechnet wird (ENGLBRECHT 1977). Er wird auch als eindimensionales Ordnungsschema bezeichnet, bei dem ein Problem in einzelne Teilprobleme bzw. Komponenten zerlegt wird.

¹ Weitere Informationen zu Kreativitätstechniken und alternative Einteilungen finden sich u. a. bei GRABOWSKI & KURZ (1996) oder <http://www.novamedia.de>.

Zu jedem einzelnen Teilproblem werden Lösungen gesucht und in den Morphologischen Kästen eingetragen. Aus der sich ergebenden Matrix lassen sich aus den Teillösungen verschiedenartige Gesamtlösungen (HUGHES ET AL. 2001, S. 277ff) kombinieren.

Ein besonderer Vorteil des Morphologischen Kastens liegt darin, dass er sich zur Bearbeitung sehr komplexer Probleme eignet und jederzeit erweitert werden kann, wenn sich neue Erkenntnisse ergeben. Durch die Darstellung zahlreicher Informationen in verdichteter Form ermöglicht er eine klare und vollständige Veranschaulichung des Problembereichs und erleichtert die Nachvollziehbarkeit der Lösungssuche auch zu einem späteren Zeitpunkt.

Zur Wahrung der Übersichtlichkeit schlägt BIRKHOFER (1999) vor, die Anzahl der Teilfunktionen möglichst klein zu halten und Nebenfunktionen bzw. Funktionen mit nur geringem Einfluss auf das Gesamtsystem zurückzustellen. Ebenso soll die Zahl der Teillösungen nicht zu groß werden, um möglichst schmale¹ morphologische Kästen zu erhalten. Aus diesem Grund sollen utopische Teillösungen sowie Lösungen mit geringen Realisierungschancen oder hohem Realisierungsrisiko frühzeitig aussortiert werden.

2.4.4.3 Randbedingungen beim Suchen von Lösungen

Die Basis für innovative Produkte und Prozesse sowie neue Technologien sind eine Vielzahl von Ideen, aus denen die verantwortlichen Entwickler geeignete auswählen und weiter detaillieren können. Nach DAVENPORT (1998, S. 60) kann gerade durch die Kooperation von Menschen mit unterschiedlichem Wissen² bzw. unterschiedlichen Fähigkeiten, mit verschiedenartigem Erfahrungshintergrund sowie mit unterschiedlichen Wertvorstellungen Innovation stimuliert und so in den Produktentwicklungsprozess integriert werden.

MILNE (2000, S. 289) hebt ebenfalls die Bedeutung der gemeinsamen Ideenfindung im Spezialistenteam hervor, wenn neue Technologien zum Einsatz kommen sollen. LINDEMANN & WULF (2001) sehen den Problemlösungs- und Ideenfindungsprozess als Dialog, der sowohl vom Entwickler gedanklich als auch real von mehreren Teammitgliedern geführt werden kann. Dabei betonen sie die Wichtigkeit der sofortigen Analyse einzelner Ideen, die eine wertvolle Anregung für weitere Ideen darstellt.

Die einzelnen Methoden zur Förderung der Kreativität und die unterschiedlichen Vorgehensweisen beim Suchen von Lösungen schließen sich nicht aus, sondern werden in der Praxis häufig erfolgreich miteinander kombiniert (GROBE 1998, S. 144). Da jede Kreativitätsmethode verschiedene geistige Fähigkeiten anspricht, bietet sich die flexible und abwechselnde Anwendung unterschiedlicher Methoden geradezu an³.

2.4.4.4 Strategien zum Suchen von Lösungen

In der Literatur werden unterschiedliche Strategien zum Suchen von Lösungen diskutiert (Abbildung 2-25), die mit unterschiedlichem Aufwand verbunden sind. Eine Möglichkeit be-

¹ BIRKHOFER (1999) empfiehlt ein Verhältnis von Teillösungen zu Teilfunktionen im Bereich 2-3.

² Die Thematik Wissen wird in Kapitel 2.5.1 ausführlich behandelt.

³ Quelle: http://innovationsworks.hypermart.net/m_overview.htm, entnommen am 1.7.01.

steht darin, eine Vielzahl von Lösungen zu erzeugen und daran anschließend eine Auswahl zu treffen. Eine andere darin, die Lösungen schrittweise zu erarbeiten und wiederholt eine Zwischenauswahl durchzuführen. Dabei ist die Zahl der zu handhabenden Lösungen in der Regel deutlich kleiner, was einen geringeren Bearbeitungsaufwand (DAENZER 1994) nach sich zieht.

KRAUSE & KAHLERT (1998, S. 317) empfehlen für die intensive Betrachtung eine Menge von lediglich drei bis acht unterschiedlichen Lösungen auszuwählen.

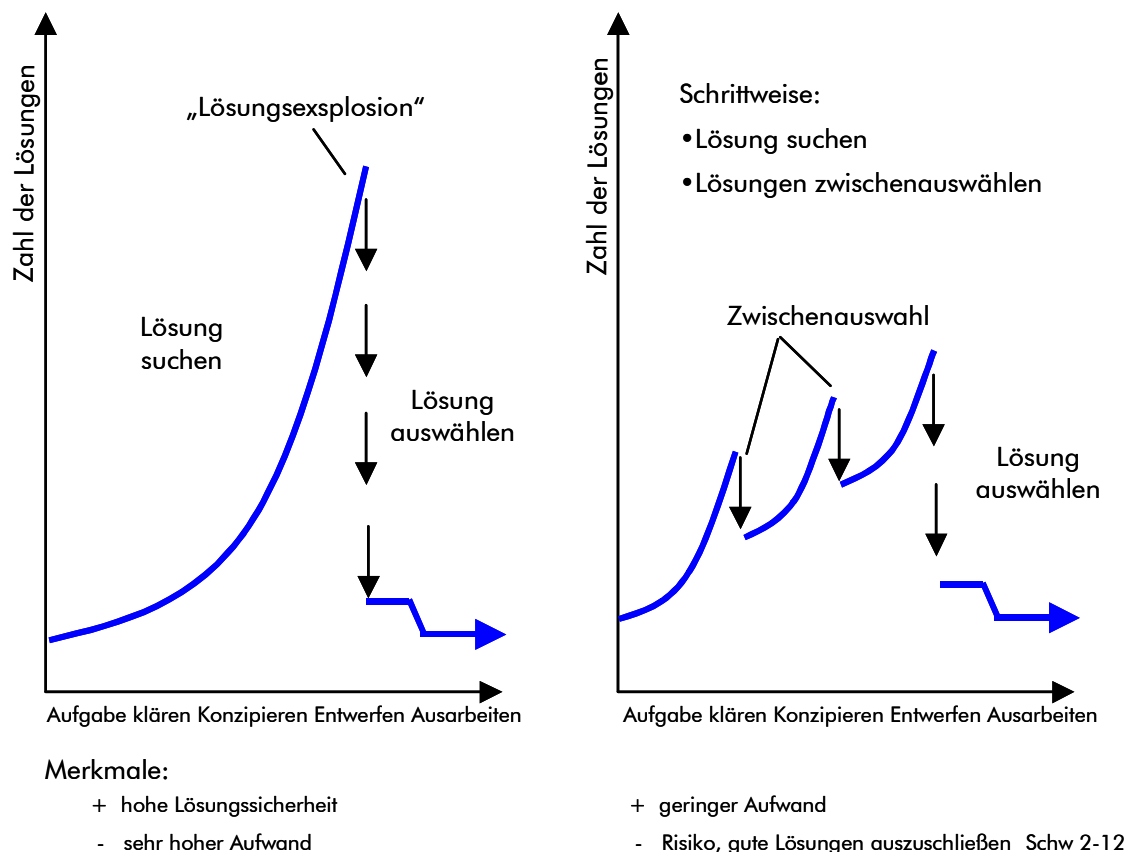
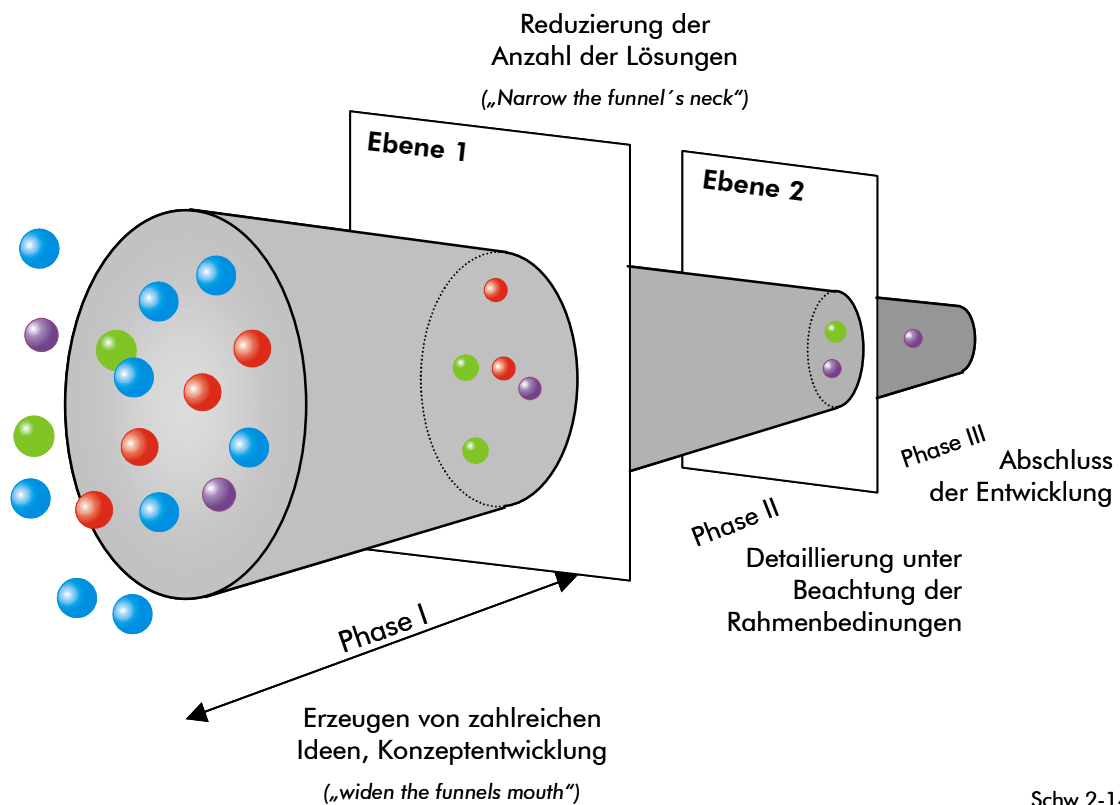


Abbildung 2-25: Unterschiedliche Strategien zum Suchen von Lösungen

Andere Autoren (CLAUSING 1994, TROPSCHUH 1989, S.5) gehen von einem anfangs großen Lösungsraum aus, der dann schrittweise reduziert und eingeschränkt wird, bis das dominierende Konzept¹ als einziges übrig bleibt.

CLARK & WHELLWRIGHT (1993) modellieren den Ideenfindungsprozess in Form des sogenannten Innovationstrichters. Am Anfang des Prozesses werden viele Ideen erzeugt, einige wenige davon, die vielversprechend sind, werden ausgewählt und anschließend detaillierter betrachtet. Die Menge an Lösungen, die am Anfang erarbeitet werden, lässt sich durch zusätzliche Aktivitäten (Informationsgewinnung) erhöhen, zum anderen wird empfohlen, die Anzahl der Lösungen frühzeitig einzuschränken, damit alle Aktivitäten auf eine einzige Idee fokussiert werden können.

¹ CLAUSING spricht von einer iterativen Konvergenz zum dominierenden Konzept.



Schw 2-14

Abbildung 2-26: Entwicklungstrichter

Bevor dagegen eine Bewertung und Auswahl der Lösungen erfolgen kann, müssen die prinzipiellen Gesamtlösungen beurteilungsfähig gemacht und dazu weitgehend auf gleichen Informationsstand (GROBE 1998, S. 144) gebracht werden. Dies ist gerade in den frühen Phasen der Produktentwicklung mit großem Aufwand verbunden bzw. führt es zu großen Unsicherheiten bei der Bewertung (BEITZ 1972, S. 493ff).

2.4.5 Teilschritt 3: Lösungen auswählen

Eines der schwierigsten Probleme im Entwicklungsprozess ist nach PUGH (1990, S.73) die Auswahl des besten Konzepts, das im Weiteren detailliert und letztendlich realisiert werden soll. Aus der Menge der vorliegenden Ideen, die im Rahmen der Lösungssuche generiert worden sind, muss die geeignetste durch das *Analysieren*, *Bewerten* und *Festlegen* einer Lösung herausgefiltert werden (ENGELBRECHT 1977, S. 54).

Dazu werden im Rahmen der Analyse verschiedener Lösungsalternativen (Abbildung 2-27) sämtliche Informationen zusammengetragen bzw. generiert, die für eine fundierte Bewertung erforderlich sind. Anhand der Bewertungskriterien, die aus den Anforderungen abgeleitet werden, wird unter Einsatz verschiedener Methoden die Bewertung durchgeführt und eine Rangfolge der Lösungsalternativen gebildet. Anhand dieser Rangfolge kann die bestmögliche ausgewählt (*Lösung festlegen*) und im Weiteren bearbeitet werden.

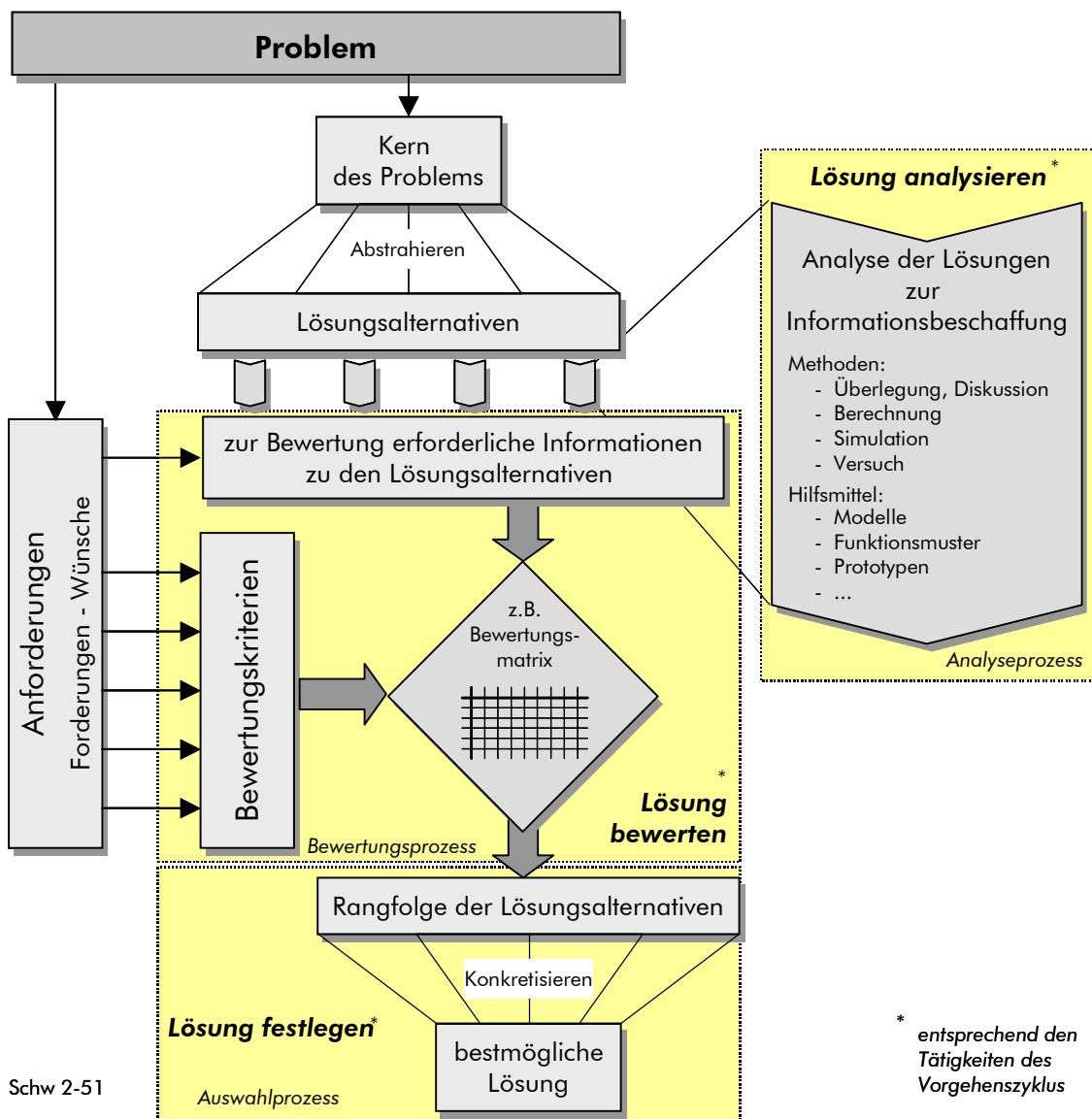


Abbildung 2-27: Prozess der Bewertung (in Anlehnung an GERHARD 1998, S. 97)

Der Auswahlprozess steht dabei in direkter Relation zu den entstehenden Kosten. Je mehr Ideen ausgewählt werden und je später im Prozess die Auswahl erfolgt, desto höher sind diese. Daher ist für das Ergebnis der gesamten Entwicklung die Fähigkeit entscheidend, alternative Konzepte korrekt und möglichst aufwandsarm zu bewerten und basierend darauf die richtige Lösung auszuwählen (WRIGHT 1998, S.136).

CROSS (1994, S.121) schlägt verschiedene Arten von Auswahlmöglichkeiten (basierend auf Intuition, Erfahrung, Vermutung usw.) vor, betont aber die Wichtigkeit eines methodischen Vorgehens beim Bewerten und Auswählen, da hier Entscheidungen getroffen werden, deren Auswirkungen in allen späteren Phasen relevant sind.

Sämtliche bekannten Verfahren zur Auswahl und Bewertung basieren nach den Angaben von ROTH (1994, S. 234) auf folgenden Grundlagen:

- Der richtigen Festlegung der Merkmale sämtlicher Lösungen.
- Der Auswahl der Lösung aufgrund des Grades der Erfüllung von sinnvoll gewichteten Merkmaleigenschaften, wobei diese auf vergleichbaren Werten basieren müssen.
- Der optimalen Auswahl aufgrund verschiedener Auswertverfahren.

Die Bewertungs- und Entscheidungsprozesse verursachen nach HACKER (1986) eine hohe psychische Beanspruchung, da bei den Entwicklern häufig eine Unsicherheit bezüglich der Zielvorstellungen besteht. Zudem wirkt das Bewusstsein der großen Tragweite dieser Entscheidung belastend, insbesondere bei einem Mangel an Erfahrung und Wissen. Dazu kommt, dass teilweise auch Informationslücken¹ vorhanden sind bzw. oft nur unsichere Annahmen über relevante Eigenschaften der Lösungen vorliegen. Diese Problematik verschärft sich bei der Entwicklung neuer und innovativer Produkte ohne entsprechende Vorgänger (ENGELBRECHT 1977, S. 63), weil hier eine Orientierung an den Daten der Vergangenheit², wenn überhaupt nur sehr eingeschränkt möglich ist.

Grundsätzliches Ziel der Auswahl ist, die vorhandenen Lösungen zu untersuchen, um feststellen zu können, welche von ihnen gegen entscheidende Anforderungen (Festforderungen) verstoßen und welche nicht; bei der Bewertung werden dann nur diejenigen Lösungen berücksichtigt, die sämtliche Festforderungen erfüllen. Zur Vorbereitung und Durchführung dieser bedeutenden Auswahl sind sämtliche erforderlichen Informationen zusammenzutragen, was im Rahmen der Analyse der Lösungen geschieht.

2.4.5.1 Lösungen analysieren

Die Analyse dient nach PAHL & BEITZ (1993, S. 68f) der Informationsgewinnung, die durch Zerlegen und Aufgliedern sowie durch Untersuchen der Eigenschaften einzelner Elemente und der Zusammenhänge vonstatten geht und dadurch zu einem besseren Verständnis des Systemverhaltens³ führt (CHANG 1999, S. 315ff). Daneben spielt das Früherkennen von Fehlern (BERNARD 1999) eine entscheidende Rolle, damit rasch Maßnahmen zu deren Beseitigung eingeleitet werden können. Daher soll anhand verschiedener systematischer und schnell durchgeführter Analysen eine Überprüfung wesentlicher Produkt- und Prozesseigenschaften erfolgen und so ein Maximum an Information über die späteren Eigenschaften ermittelt werden. In einem ersten Schritt sollen diese Eigenschaften frühzeitig und mit möglichst wenig Aufwand grob abgeschätzt werden (EHRENSPIEL 1995, S. 435), in den folgenden Schritten werden relevante Funktionen durch weitere Analysen feiner untersucht.

¹ Nach BEITZ (1972, S. 493ff) liegen die für die fundierte Bewertung von Ideen wichtigen Informationen (Input) über relevante Eigenschaften und Parameter in dieser Phase der Entwicklung nicht in geeigneter Weise vor; häufig nur qualitativ oder unvollständig.

² In diesem Zusammenhang sei auf die Bedeutung eines Informationsrückflusses von früheren ähnlichen Produkten verwiesen, wie sie z.B. EHRENSPIEL (1995, S. 154) hervorhebt.

³ CHANG weist auf Aussagen zur Funktionserfüllung und die Abschätzung der Leistungsfähigkeit von Systemen hin.

2.4.5.1.1 Methoden zur Unterstützung der Analyse

Im Rahmen der Analyse werden Modelle¹ zur Produktrepräsentation eingesetzt und es kommen verschiedene Methoden zur Anwendung, die in vier Kategorien (in Anlehnung an BRANDT 1993, S.28 und EHRENSPIEL 1995, S. 435) eingeteilt werden:

- Überlegung und Diskussion
- Berechnung, Optimierung, Kennzahlenvergleich
 - o Festigkeitsrechnungen
 - o Methode der Finiten Elemente (FEM)
 - o Kostenrechnung
- Simulation am Rechner
 - o Kinematische Simulation
 - o Mehrkörpersimulation
- Versuche, Messungen:
 - o Orientierende Versuche
 - o Modellversuche, Prototypenversuche
 - o Funktionserprobung, Dauererprobung

Bei der Auswahl derartiger Methoden muss stets auch das angestrebte Ziel beachtet werden, welches mit der Analyse verfolgt wird. Dazu sind folgende Fragestellungen zu beachten:

- Welche Informationen liegen bereits vor, welche müssen noch erarbeitet werden?
- Sollen nur die grundsätzlichen Eigenschaften einer Lösungsalternative bestimmt werden oder sind sehr genaue und umfassende Informationen erforderlich?
- Welche organisatorischen Randbedingungen sind zu beachten? Sind geeignete Hilfsmittel zur Unterstützung vorhanden und welche Methode ist geeignet? Sind Erfahrungen aus der Anwendung dieser Methode vorhanden?
- Welche Zeit steht zur Durchführung der Analyse zur Verfügung, bzw. wie schnell muss ein Ergebnis vorliegen?

2.4.5.1.2 Hilfsmittel zur Unterstützung der Analyse

Modelle sind nach KÖNIG ET AL. (1993, S.93) wichtige Hilfsmittel zur Unterstützung der Produktgestaltung und der Prozessplanung, und werden zur Überprüfung und Absicherung sowie

¹ Nach VDI 2221 ist ein Modell die abstrahierte Darstellung eines Produkts, die z.B. durch dessen Daten, Eigenschaften oder Gestalt erfolgt. Es ist demnach ein Objekt, das in wichtiger Hinsicht einem eventuell erst noch zu schaffenden Original gleicht, die aktuell wichtigsten Daten abbildet und für notwendige Operationen (z.B. Variieren, Kombinieren, Ändern) geeignet ist. Nach DIN 19226 ist ein Modell die Abbildung eines Systems in ein anderes begriffliches oder gegenständliches System, das aufgrund der Anwendung bekannter Gesetzmäßigkeiten, einer Identifikation oder auch getroffener Annahmen gewonnen wird und das System bezüglich ausgewählter Fragestellungen hinreichend genau abbildet.

als Informationsträger als auch zur Unterstützung der Kommunikation eingesetzt (ASHLEY 1996, S. 64). Aufgrund der unterschiedlichen Ausprägungen und der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von Modellen existieren verschiedene Arten der Einteilung. Beispielsweise teilen STETTER & PACHE (1998) die Modelle in der Produktentwicklung in mentale, graphische, körperliche und Rechnermodelle ein (Abbildung 2-28).

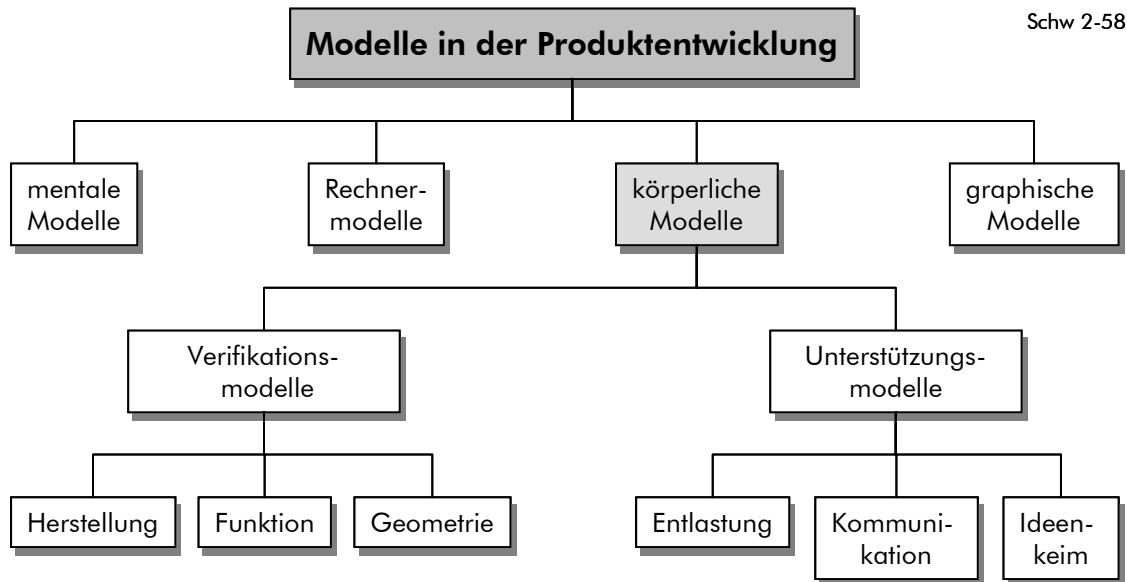


Abbildung 2-28: Einteilung der in der Produktentwicklung gebräuchlichen Modelle (STETTER & PACHE 1998)

SACHSE & HACKER (1995, S. 27) unterscheiden anhand des Einsatzzwecks Modelle zur Unterstützung der Analyse und Evaluation und Modelle zum Speichern von Informationen (Tabelle 2-3).

Tabelle 2-3: Funktionen von Modellen im Entwicklungsprozess (SACHSE & HACKER 1995, S. 27)

Analysehilfe	Evaluationshilfe	Speicherhilfe
Zur frühzeitigen Problemerkennung	Zur Beurteilung physikalischer Sachverhalte (Funktionsprüfung: z.B. Kinematik, Kollision, Festigkeit, Verformung, thermische Festigkeit, Dimensionierung)	Selektiertes, Aktiviertes, Hergeleitetes bzw. Erzeugtes für den weiteren Prozess bewahren / zusammenführen
Zur Vermeidung von Denkfehlern	Zur Bewertung von Montage- und Sicherheitseigenschaften, der Bedienungsleichtigkeit, der Flexibilität	Zur Gedächtnisentlastung (z.B. Skizzen, Modelle als Erinnerungshilfen, externe Speicher)
Zur Reduzierung von Fehlhandlungen, Fehlentscheidungen, Fehlentwicklungen	Zur Fehler-/Zuverlässigkeitsprüfung	Zur Informationsbereitstellung
Zur Schwachstellenuntersuchung- und -reduzierung	Zur Beurteilung der Kosten	Zur vorläufigen Lösungsfestlegung
Zur Veranschaulichung / zur Vorstellungsunterstützung bei fehlender Erfahrung (z.B. Geometrie, Design, Bewegung)	Zur Prüfung von Fertigungs-Know-how	
Zur Konkretisierung der visuellen Vorstellung	Zur Prüfung von Teilbereichen/-ergebnissen (z.B. Partialmodelle)	
Zum Begreifen (Haptik)	Zur Informationsbewertung	
	Zur Lösungsbewertung/-absicherung	

Nach FOWLER (1999, S.2) muss die Wahl eines Modells sehr sorgfältig erfolgen, da sie das weitere Vorgehen entscheidend bestimmt und großen Einfluss auf das Ergebnis¹ hat. Nach HARTMANN (1998, S. 3-1f) besitzen gerade körperliche Modelle eine hohe Aussagekraft und sind zur Unterstützung der Analyse in den frühen Phasen gut geeignet. Aufgrund der begrifflichen Vielfalt in der Literatur wurden elementare Bezeichnungen für körperliche Modelle in folgender Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 2-4: Gängige Bezeichnungen für körperliche Modelle

Bezeichnung	Beschreibung	Literatur
Effekträger	Ist ein materieller Träger, der unbedingt erforderlich ist, um den Effekt zu realisieren.	ROTH (1994, S. 408)
Funktionsmuster	Funktionsmuster müssen noch nicht im Serienwerkstoff vorliegen, entsprechen aber sonst schon weitgehend den Serienteilen. Sie dienen der Optimierung des Funktionsprinzips, möglicherweise auch schon als Vorlage für die Fertigungsplanung und sollen einbaufähig sein.	OBERMANN (1999, S. 20)
	Ein Muster, das vollständig oder zum Teil die Wirkungsweise von Lösungen zeigen soll, wobei die äußere Gestalt und andere Anforderungen unberücksichtigt bleiben.	VDI 2221 (1993, S. 39)
Funktionsträger	Kann ein Einzelteil, eine Produktkomponente oder ein Produkt sein.	KLOCKE & FALLBÖHMER (1998)
	Sind Einzelteile sowie deren Wirkflächen oder Teileverbände, die das physikalische Geschehen realisieren und die dazu erforderlichen Gestaltmerkmale schon enthalten.	ROTH (1994, S. 413)
	Gebilde oder deren Teile (ggf. Flächen, Form oder Anordnung), die einen Effekt ermöglichen.	VDI 2221 (1993, S. 39)
Konzeptmodell	Konzeptmodelle werden in erster Linie während der Ideen und Vorentwicklungsphase gebraucht. Hier geht es um die Geometrie als solche, um die äußere Anmutung etc.	OBERMANN (1999, S. 20)
Muster	Gegenständliche Produkte oder deren Teile zum Ermitteln und Zeigen von Eigenschaften (Gestalt, Funktion).	VDI 2221 (1993, S. 41)
Prototyp	Prototypen liegen im Serienwerkstoff vor und werden z.B. zur Prüfung der Dauerfestigkeit benötigt.	OBERMANN (1999, S. 20)
	Ein Prototyp stellt die erste materielle Visualisierung eines in der Entwicklung befindlichen Produktes dar. Er lässt schon frühzeitig Aussagen über Funktionalität, Qualität und Kosten zu.	KLOCKE & NÖKEN (1996, S. 50); VDI 2221 (1993, S. 39)
Geometrischer Prototyp	An geometrischen Prototypen werden geringe Anforderungen an mechanische Eigenschaften sowie an Maß- und Formgenauigkeit gestellt. Das Material und der Verarbeitungsprozess können beliebig gewählt werden. Dieser Prototyp wird in der Konzeptphase eingesetzt und wird auch als Designprototyp bezeichnet.	DUSEL (1997)
Funktioneller Prototyp	Funktionelle Prototypen sind als Eigenschaftsprofil zur Funktionsüberprüfung am Bauteil erforderlich. Das Material ist serienähnlich und der Herstellungsprozess ist beliebig wählbar. Sinnvoll ist ein funktioneller Prototyp in der Testphase.	DUSEL (1997)
Technischer Prototyp	Technische Prototypen entsprechen in ihren Eigenschaften weitgehend dem Serienprodukt. Es wird dasselbe Material wie in der Serie verwendet und der Verarbeitungsprozess soll der Serienfertigung möglichst nahe kommen.	DUSEL (1997)

¹ Interessant ist die Aussage von FOWLER, dass „Modelle nie richtig oder falsch sondern lediglich mehr oder weniger geeignet sind.“

Im Folgenden werden die Begriffe Funktionsmuster/Funktionsträger für körperliche Modelle verwendet, anhand derer die Wirkungsweise von Teil- bzw. Gesamtlösungen analysiert werden kann. Der Begriff Prototyp wird verwendet, wenn die Eigenschaften des Modells weitgehend dem Serienprodukt entsprechen.

Verschiedene Untersuchungen zeigen (z.B. DYLLA 1991; MATTHEWS 1998; BERNARD 1999), dass die Lösungsgüte durch sorgfältiges Analysieren von Aufgabe und Eigenschaften der erarbeiteten Lösungen deutlich gesteigert werden kann. Die Entscheidung, welche der Eigenschaften durch Analysen abgesichert werden muss, ist indessen vom Entwickler zu verantworten. Im industriellen Umfeld steht dagegen die Genauigkeit einer Analyse immer in Konkurrenz zu den engen Kosten- und Zeitvorgaben, die bei deren Durchführung beachtet werden müssen (DYLLA & FRICKE 1995, S. 117f).

Gerade bei der Entwicklung innovativer Produkte und komplexer Systeme kommt der Analyse eine hohe Bedeutung zu, da sie einen wesentlichen Teil des Entwicklungsprozesses (BULLINGER ET AL. 1996, S. 41) darstellt. Da Analysen für eine umfangreiche Informationsbeschaffung sehr bedeutsam sind, wurden verschiedene Methoden und deren Anwendung im Rahmen dieser Arbeit eingehend untersucht.

2.4.5.2 Lösungen bewerten

Ziel der Bewertung ist es, aus den vorhandenen Lösungsalternativen diejenige herauszufinden und zum Produktvorschlag (SELL 1998, S. 39) weiterzuentwickeln, die sämtliche Anforderungen am besten erfüllt. Durch ein methodisches Vorgehen soll die Entscheidung objektiviert werden und der gesamte Bewertungsprozess nachvollziehbar gestaltet sein.

PAHL & BEITZ (1993, S.121ff) definieren Bewerten als Ermitteln des Werts, des Nutzens oder der Stärke einer Lösung in Bezug auf vorher festgelegte Zielvorstellungen (SOLL-Eigenschaften), wobei ein Vergleich der IST-Eigenschaften einzelner Lösungsalternativen mit entsprechenden SOLL-Eigenschaften durchgeführt wird.

2.4.5.2.1 Vorauswahl

Bevor der eigentliche Bewertungsprozess gestartet wird, ist es bei einer großen Anzahl von Lösungsvarianten aus Aufwandsgründen zweckmäßig, eine Vorauswahl durchzuführen. Dabei werden absolut ungeeignete Varianten frühzeitig aussortiert (SELIGER ET AL. 1996, S. 418). Dadurch lässt sich die Zahl der detailliert zu untersuchenden Lösungen deutlich einschränken, da nur solche weiterverfolgt werden, die sämtliche Kriterien zur Vorauswahl¹ erfüllen. Dabei darf aber nicht nur die Funktionserfüllung alleine bewertet werden, sondern es müssen auch Merkmale wie z.B. der wirtschaftliche Nutzen für das eigene Unternehmen mit in Erwägung gezogen werden.

Zur Durchführung der Vorauswahl eignen sich methodische Hilfsmittel wie die Auswahlliste (PAHL & BEITZ 1993, S. 119; EHRENSPIEL 1995, S. 456) oder das von GERHARD (1998, S.

¹ Ist keine klare Entscheidung über das Erfüllen der Kriterien möglich, müssen erst die erforderlichen Informationen beschafft werden, bevor die endgültige Entscheidung getroffen werden kann.

201f) vorgeschlagene Formblatt zur Grobbewertung einzelner Produktideen, wobei verschiedene Kriterien¹ in Form von Fragestellungen überprüft werden²:

- Verträglichkeit gegeben?
- Forderungen der Anforderungsliste erfüllt?
- Grundsätzliche Realisierbarkeit?
- Arbeitsaufwand zulässig?
- Unmittelbare Sicherheit gegeben?
- Terminlich umsetzbar?
- Know-how vorhanden bzw. im eigenen Bereich bevorzugt?

Um den Aufwand für diese Vorauswahl gering halten zu können, ist zum einen die Überprüfung einer nur geringen Anzahl an Kriterien zu empfehlen. Zum anderen sollen die verwendbaren Ausprägungen³ für die Beurteilung dieser Kriterien auch eingeschränkt werden. Durch die Einbeziehung von mehreren Mitarbeitern⁴ in diese Vorauswahl wächst einerseits deren Motivation und andererseits hilft das Wissen mehrerer Experten, Fehlentscheidungen zu vermeiden (SELIGER ET AL. 1996, S. 418f).

2.4.5.2.2 Bewertung von Lösungen

Zur Beurteilung der relevanten Eigenschaften der nach der Vorauswahl verbleibenden Lösungen, die in beliebigen Reifegraden (BREIING & KNOSOLAR 1997, S.5) jedoch mit gleichem Informationsgehalt⁵ vorliegen, sind Bewertungskriterien erforderlich. Diese lassen sich aus den zu Projektstart getroffenen Zielformulierungen (Abbildung 2-27) ableiten, die in der Anforderungsliste dokumentiert sind (PELZER 1999; PAHL & BEITZ 1993, S. 122).

Bei der Formulierung der Bewertungskriterien sind in Anlehnung an GERHARD (1998) und BREIING & KNOSOLAR (1997) folgende Voraussetzungen zu berücksichtigen:

- Die Kriterien müssen verständlich formuliert sein, verbal beschriebene Anforderungen müssen in präzisierte Kriterien umgewandelt werden.
- Qualitative Kriterien sollen im Laufe der Entwicklung möglichst in quantitativ erfassbare Kriterien umgewandelt werden. Zähl-, mess-, wäg-, berechnen- oder vergleichbare

¹ Weitere Kriterien, insbesondere zur strategischen Vorauswahl, finden sich bei COOPER 1999, MUSSARD & WYSS 1993, MARXT 2001 sowie KIM & MAUBORGNE 2000. Hier werden insbesondere Kennzeichen wie *time to market*, *Potenzial am Markt*, *Alleinstellungsmerkmale* sowie *detailliertere Kundenbedürfnisse* abgefragt und die Verträglichkeit mit geltenden Normen und gesellschaftlichen Werten überprüft (SELL 1998).

² Eine Vorauswahlliste, die im Rahmen eines Entwicklungsprojekts angewendet worden ist, ist in Kapitel 9.7 enthalten.

³ In Abhängigkeit des Kriteriums empfehlen sich klare *ja – nein* Entscheidungen, bzw. die Verwendung einer Stufung *klein – mittel – groß*.

⁴ MARXT (2001) weist in diesem Zusammenhang auf die positive Effekte von Teamentscheidungen hin.

⁵ Die Informationen wurden im Schritt *Lösungen analysieren* generiert.

Kriterien sind entscheidungsrelevant und müssen prüfbar und beurteilbar, d.h. nachweisbar sein.

- Tolerierte Kriterien müssen einen oberen und einen unteren Grenzwert besitzen.
- Bewertungskriterien müssen weitgehend unabhängig voneinander sein, da sonst gleiche Eigenschaften von Alternativen unter verschiedenen Begriffsformulierungen beurteilt werden, was das Ergebnis verfälscht.
- Bewertungskriterien sollen stets positiv formuliert sein.

Der Bewertungsaufwand, der sinnvoller Weise betrieben werden muss, ist von mehreren Kriterien abhängig und leitet sich nach BREIING & KNOSOLAR (1997, S.5) aus der Komplexität des zu bewertenden technischen Systems und der einer Entscheidung zugrunde liegenden Art der Problemstellung ab. Anhand der in Tabelle 2-5 festgehaltenen Kriterien kann diese Entscheidung herbeigeführt werden und ein passendes Bewertungsverfahren¹ situativ ausgewählt werden.

Tabelle 2-5: Entscheidungskriterien und deren Zuordnung zum erforderlichen Bewertungsaufwand (nach BREIING & KNOSOLAR 1997, S.5)

Entscheidungskriterium	geringer Bewertungsaufwand erforderlich	hoher Bewertungsaufwand erforderlich
	Methoden zur einfachen Bewertung	Methoden zur intensiven Bewertung
Wichtigkeit des Projektes für das Unternehmen	gering	hoch
Wichtigkeit der Entscheidung für das Projekt	gering	hoch
Korrekturmöglichkeit nach der Entscheidung (<i>Point of no return</i>)	einfach	schwierig
Neuheitsgrad der Aufgabenstellung	gering	hoch
Komplexität der Aufgabenstellung	gering	hoch
Neuheitsgrad der Lösungen	gering	hoch
Komplexität der Lösungen	gering	hoch
Erkennbarkeit der Produkteigenschaften	schlecht	gut
Messbarkeit der Produkteigenschaften	schlecht	gut
Technisches Risiko der Lösung	gering	hoch
Kosten der Lösung		
Entwicklungskosten	gering	hoch
Beschaffungskosten	gering	hoch
Betriebskosten	gering	hoch
Entsorgungskosten	gering	hoch
Wirtschaftliches Risiko der Lösung	gering	hoch
Geforderte Entwicklungszeit (<i>time to market</i>)	kurz	lang

¹ Detaillierte Beschreibungen verschiedener Bewertungsmethoden finden sich unter anderem bei BREIING & KNOSOLAR 1997, EHRENSPIEL 1995, GERHARD 1998, LINDEMANN 2001, PAHL & BEITZ 1993 oder WRIGHT 1998.

Zu den Methoden der einfachen Bewertung zählen der Vor-/Nachteils-Vergleich, der paarweise Vergleich sowie die einfache Punktbewertung. Bei der Anwendung derartiger Methoden ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Aussagekraft des Ergebnisses der Bewertung auch nur gering ist. Im Gegensatz dazu liefern die Methoden zur intensiven Bewertung von Lösungsalternativen deutlich exaktere Ergebnisse. Sie verursachen aber einen deutlich höheren Aufwand, da mehrere Teilschritte abgearbeitet werden müssen und sie am besten in einem Team anzuwenden sind. Zu diesen Methoden gehören z.B. die gewichtete Punktbewertung, die technisch-wirtschaftliche Bewertung oder die Nutzwertanalyse. In der Regel erfolgt nach Abschluss der eigentlichen Bewertung durch die Abschätzung von Unsicherheiten eine Überprüfung des Ergebnisses (z.B. Plausibilitätsprüfung, Sensitivitätsanalyse) sowie des Bewertungsprozesses an sich bzw. es wird gezielt nach Schwachstellen der Lösungsvarianten gesucht.

In vielen Fällen wird die Anwendung einer einzigen Methode zur Bewertung nicht zielführend sein, vielmehr bietet sich ein schrittweises Vorgehen an, bei der die jeweils am besten geeignete Methode eingesetzt wird. Aufgrund der Komplexität des Bewertungsprozesses und trotz der großen Tragweite der Entscheidungen, die auf diesen Ergebnissen der Bewertung von Lösungsalternativen beruhen, wird nach der Erfahrung von RHODES & SMITH (1993, S. 227) in den meisten Fällen nicht strukturiert vorgegangen, was zu Verzögerungen und Fehlern im Entwicklungsprozess führt. Daher fordert SELL (1998, S. 36) eine Unterstützung in Form von Entscheidungsmodellen für die unterschiedlichen Bewertungs- und Entscheidungssituationen.

2.4.5.3 Lösungen festlegen

Liegt das Ergebnis der Bewertung vor, muss der Entwickler bzw. das Entwicklungsteam entscheiden, welche Lösungsalternative ausgewählt und weiter bearbeitet wird. Die weiteren Schritte erfolgen sinnvoller Weise in Anlehnung an die in Kapitel 2.3 beschriebenen Vorgehensmodelle.

2.4.6 Iteratives Vorgehen

Im Vorgehenszyklus (Abbildung 2-15) wurde auf die Möglichkeit der Iterationen, also das Zurückspringen und das wiederholte Abarbeiten einzelner Teilschritte, bereits hingewiesen.

Solche in der Regel zeit- und kostenintensiven Iterationen sind in vielen Entwicklungsprojekten (STEELE ET AL. 2001; FAGERSTRÖM & JOHANNESSON 2001; DORST 2001) anzutreffen. Problematisch sind sie vor allem, wenn große Sprünge erforderlich sind (je weiter die Wiedereintrittsstelle in den Produktentstehungsprozess¹ entfernt ist, z.B. GEIGER 2001), die umfangreiche Änderungen am Konzept und die erneute Durchführung aufwendiger Analysen (MELO & CLARKSON 2001, S. 345ff) erforderlich machen. Aus diesem Grunde empfiehlt sich

¹ Wird eine Schwachstelle der favorisierten Lösungsvariante erst bei der Erprobung im Versuch oder bei der Nutzung durch den Kunden entdeckt, kann dies schlimmstenfalls einen Rücksprung bis an den Beginn des Produkterstellungsprozesses erfordern.

das sorgfältige und intensive Bearbeiten der einzelnen Teilschritte, bei denen kleine Iterationen durchaus zu empfehlen sind, wenn sich dadurch große vermeiden lassen (EVERSHEIM 1993).

2.4.7 Weitere Methoden und Strategien der Integrierten Produktentwicklung

Im folgenden Kapitel werden weitere Methoden und Strategien zur Unterstützung der Analyse vorgestellt, die losgelöst von den eingangs diskutierten elementaren Teilschritten zu betrachten sind. Sie können unabhängig von diesen auch in späteren Phasen des Produktentwicklungsprozesses eingesetzt werden. Gemeinsames Ziel dieser Methoden ist es, durch Erkennen und Absichern wichtiger Parameter und Eigenschaften von Lösungsalternativen, zusätzliche Informationen zu generieren, die für Entscheidungen im Entwicklungsprozess von Bedeutung sind (z.B. bei der Auswahl und Bewertung).

Neben Methoden zur Versuchsplanung und Risikoabschätzung wird mit der Team Oriented Problem Solving Methode (TOPS - 8D) ein systematisches Vorgehen zum Aufspüren und Eliminieren von Produktfehlern vorgestellt. Anschließend werden Methoden zur Sicherstellung wichtiger Produkteigenschaften wie Qualität, Kosten und Zuverlässigkeit erörtert sowie mit dem Ansatz der Neuronalen Netzwerke eine Möglichkeit aufgezeigt, Informationen aus Vorgängerprodukten effektiv zu nutzen. Diese Methoden basieren jeweils auf einem klar formulierten Vorgehensmodell, an dem sich der Anwender bei der Bearbeitung der jeweiligen Teilschritte orientieren kann.

2.4.7.1 Statistische Versuchsplanung

Die Methoden der statistischen Versuchsplanung (DoE = Design of Experiments) werden zur Analyse eingesetzt und gehören zu den präventiven Qualitätssicherungsmaßnahmen. Sie werden neben der Parameteroptimierung auch zum Festlegen von Toleranzen verwendet und führen zu einem tiefgreifenden Verständnis der produktbestimmenden Eigenschaften (MAED 1988). Abgesehen davon eignen sie sich auch zur Optimierung (ST-AMANT & CHARRON 1995, S. 1111) von Prozessen (z.B. Fertigungsprozesse, Montageprozesse).

Mit Hilfe dieser Methoden können die produkt- bzw. prozessbestimmenden Parameter (Einstellgrößen und Störgrößen) mit einer geringen Anzahl von Experimenten identifiziert werden, die eine signifikante Auswirkung auf das Produkt und dessen relevante Eigenschaften (Anforderungs- und Funktionserfüllung) haben. Auch lassen sich Informationen über Abhängigkeiten und gegenseitige Beeinflussungen gewinnen. Darüber hinaus kann das Verhalten der Parameter bei einer Variation der Randbedingungen ermittelt werden (Abbildung 2-29). Derartige Informationen haben gerade in den frühen Phasen einen großen Wert (RIZZO 1994, S. 78).

Die prinzipiellen Fragen bei der Versuchsplanung lauten demnach:

- Welche Ziel- bzw. Ausgangsgrößen werden benötigt?
- Welche Eingangsgrößen sind sinnvoll?
- Welche Störgrößen können auftreten?
- Wie viele und welche Parameter werden variiert?

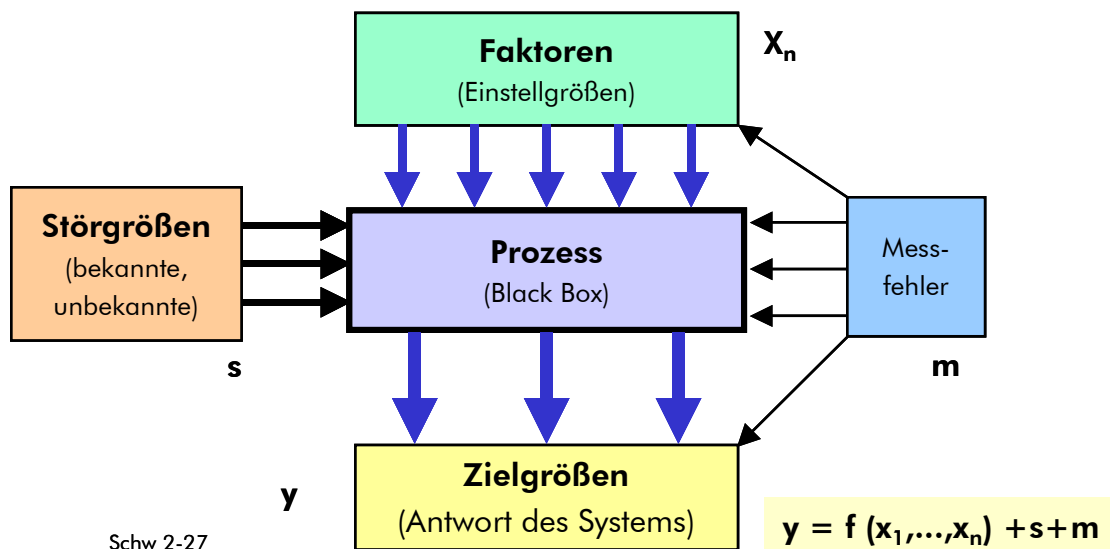


Abbildung 2-29: Allgemeines Prozessmodell der Versuchsplanung¹

Die Beantwortung dieser Fragen erfolgt nach KROTTMAIER (1991) anhand eines vorgegebenen Schemas, bestehend aus den drei Phasen *Primär-*, *Sekundär-*, und *Tertiärdesign*, die in Abbildung 2-30 dargestellt sind. Zur Unterstützung der Planung und Auswertung der Versuche werden zunehmend Softwarepakete² eingesetzt, mit deren Hilfe komplexe Versuchspläne in kurzer Zeit erstellt werden können.

Nach dem Festlegen der Optimierungskriterien müssen alle für das Problem maßgeblichen Parameter³ gefunden werden. Bei der Problemanalyse ist ein systematisches Vorgehen, am besten in Teamarbeit, dringend zu empfehlen.

In vielen Fällen, gerade bei komplexeren Problemstellungen, hat man es mit einer Vielzahl von Parametern zu tun (TAGUCHI 1989), die den Aufwand für die Versuche stark ansteigen lassen. Aus diesem Grund empfiehlt sich, eine Parameterreduzierung („*Homing-In*“) durchzuführen, bei der nur noch die wichtigsten betrachtet werden. Liegen außer theoretischen Modellen keine Prototypen vor, kann zur Reduzierung der Zahl der Parameter lediglich eine ge-

¹ In Anlehnung an: <http://www.versuchsplanung.de>, entnommen 20.10.00.

² Software STAVEX: Statistical Design of Experiments with an Expert System (Statistische Versuchsplanung mit Expertensystemen) (<http://www.versuchsplanung.de>); Software ECHIP: Programm zur statistischen Versuchsplanung (http://www.softguide.de/prog_e/pe_0018.htm).

³ Der Erfolg der Anwendung der statistischen Versuchsplanung hängt zunächst ab von einer angemessenen Systemanalyse was die Faktoren, deren Einstellbereiche und die Auswahl und Messbarkeit der Zielgrößen angeht.

wichtige Auswahl durchgeführt werden, bei der die Bewertungskriterien¹ gemeinsam erarbeitet und die Vorselektion im Team durchgeführt wird. Ein großer Nachteil dieses Vorgehens ist die subjektive Beurteilung der Parameter.

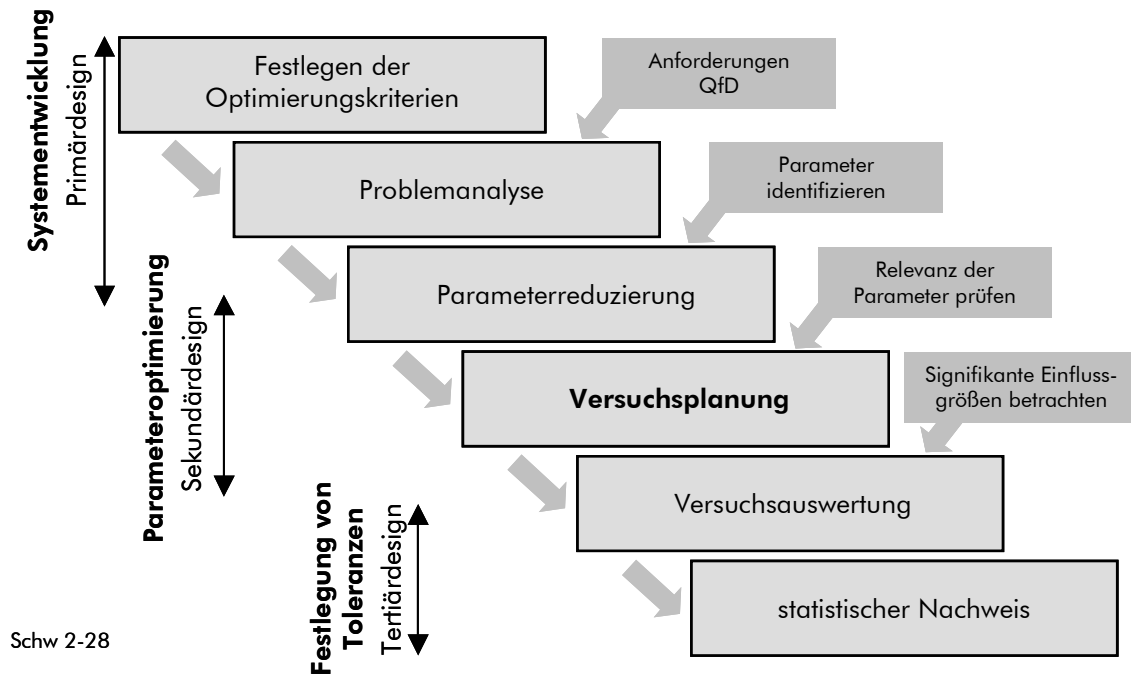


Abbildung 2-30: Elemente der Versuchsplanung (in Anlehnung an KROTTMAIER 1991)

Ist dagegen bereits versuchstechnische Hardware vorhanden, z.B. Funktionsmuster oder modifizierte Vorgängerprodukte, können die von SHAININ (KROTTMAIER, 1991) vorgeschlagenen Versuchsmethoden angewendet werden:

- Vollfaktorielle Versuche (Full-Factorial-Experimente) werden durchgeführt, wenn man über die zu optimierenden Produkte bzw. Prozesse keinerlei Vorkenntnisse besitzt, d.h. es sind weder gute noch schlechte Ausgangsstufen der Parameter bekannt, und man ist sich über die gegenseitige Abhängigkeit der Parameter absolut im Unklaren. Diese Versuche geben alle möglichen Zusammenhänge wieder, sind aber auf maximal vier bis fünf zu untersuchende Parameter mit nur zwei Ausgangsstufen beschränkt, da der Versuchsumfang exponentiell mit der Anzahl der Variablen ansteigt (4 Variablen => 2^4 Versuche)
- Teilfaktorielle Versuche finden vor allem bei fünf bis fünfzehn Einflussgrößen Verwendung, da bei einer großen Anzahl von Einflussgrößen die Zahl der Mehrfachwechselwirkungen zunimmt. Diese sind meistens vernachlässigbar und können deshalb mit anderen Einflussgrößen vermengt werden. Bei mehr als 15 Faktoren wird die fehlerfreie Versuchsdurchführung dagegen sehr zweifelhaft.

Diese Durchführung von vollfaktoriellen Versuchen liefert Ergebnisse, die im Rahmen der Versuchsbedingungen das reale Zusammenspiel aller untersuchten Größen reflektieren und

¹ Als Bewertungskriterien können verwendet werden: Der theoretische Einfluss auf die Problemstellung, die Änderungsmöglichkeit der betrachteten Parameter oder die Serientauglichkeit des Einstellwertes.

somit eine hohe Aussagekraft besitzen. Bei allen anderen Techniken werden viele dieser Zusammenhänge zugunsten eines geringeren Versuchsaufwands vernachlässigt, was bei unsachgemäßer Handhabung zu einer massiven Ergebnisverfälschung führen kann.

Die anschließende Auswertung der Versuchsergebnisse erfolgt entweder graphisch (einfach und übersichtlich aber ungenau) und/oder rechnerisch (aufwendig und genau).

Die statistische Versuchsplanung bewirkt also eine grobe Modellierung von Produkten, Prozessen und Prozessparametern und erlaubt objektive und präzise Aussagen sowohl qualitativer als auch quantitativer Art. Sie unterstützt außerdem das Erkennen schwieriger und komplexer Zusammenhänge und ermöglicht durch die eingehende Beschäftigung mit dem Problem im Vorfeld ein umfassendes Verständnis. Dadurch können die benötigten Informationen über produktbeschreibende Parameter¹ mit minimalem Aufwand beschafft, statistisch abgesichert und die Parameter auf optimale Werte eingestellt sowie signifikante Einflussgrößen von nicht signifikanten getrennt werden (KROTTMAIER 1995).

Darüber hinaus nutzt sie den erforderlichen Informationsgehalt effektiv aus und sie komprimiert die zur Ergreifung von Maßnahmen erforderlichen Informationen. Vor allem aber wird durch die Optimierung der Versuchsdurchführung der Versuchsaufwand insgesamt gesenkt, da Experimente meist schnell und mit geringem Aufwand durchgeführt werden können. Das führt zu weniger Tests und damit zu geringeren Kosten und verkürzten Entwicklungszeiten. Da mehrere Zielgrößen gleichzeitig optimiert werden können, ist in den meisten Fällen mit einer deutlichen Reduzierung des Versuchsaufwands zu rechnen. Die Durchführung der „richtigen“ Versuche führt durch umfangreiche Informationsbeschaffung und Absicherung relevanter Parameter zu einer Steigerung der Produktqualität.

Die statistische Versuchsplanung bietet auf der einen Seite viele Ansätze, um den Versuchsaufwand reduzieren zu können, sie erfordert auf der anderen Seite viel Know-how und kann erst angewendet werden, wenn bereits erste Produktprototypen fertiggestellt bzw. die Fertigungseinrichtungen schon vorhanden sind (MÜLLER 1994). Daher ist ein Einsatz in den frühen Phasen der Produktentwicklung wegen der Vielzahl an Faktoren sowie mangels geeigneter (seriennaher) Prototypenteile eher problematisch.

2.4.7.2 Risikoanalysen

Risikoanalysen wie die FMEA („Failure Mode and Effect Analysis“, „Fehler Möglichkeits- und Einfluss-Analyse“) und FTA („Fault Tree Analysis, Fehlerbaumanalyse“) dienen zum präventiven und rechtzeitigen Erkennen und Beseitigen von Fehlern im Sinne von Fehlzuständen, Versagen und Ausfällen von Systemen, Anlagen und Prozessen. Dabei wird als Risiko die Kombination aus der Wahrscheinlichkeit eines Fehlers und der Bedeutung seiner Konsequenzen verstanden (WRIGHT 1998, S. 160) und der Fehler als Ausgangspunkt jeglichen Risikos gesehen. Diese Verfahren erfordern schon genaue Kenntnisse über das zu analysierende System.

¹ Als Parameter werden diejenigen Variablen bezeichnet, die Einfluss auf interessierende Qualitätsmerkmale haben. Sie können quantitativer oder qualitativer Art sein.

2.4.7.2.1 FMEA

Die FMEA wird zum frühzeitigen Erkennen von potentiellen Fehlern sowie deren Auswirkungen auf die Produktfunktion im Rahmen des Produkterstellungsprozesses eingesetzt. Dabei kann sie sowohl bei Neuentwicklungen als auch bei Anpassungskonstruktionen angewendet werden, z.B. beim Einsatz neuer Werkstoffe oder alternativer Verfahren der Fertigung und Montage (HANSEN 1993).

Sie ermöglicht bereits in der Planungs- bzw. Entwicklungsphase die Identifikation kritischer Punkte. Zudem kann die Wahrscheinlichkeit eines Fehlers in einem Produkt, in einem Prozess oder einem System abgeschätzt werden. In der Regel werden die Fehlermöglichkeiten und deren mögliche Ursachen und Wirkungen im interdisziplinären Team systematisch analysiert, bewertet und Vorkehrungen zur Beseitigung bzw. Minderung der Gefahren definiert und eingeleitet (SMITH & CLARKSON 2001, S. 83ff). Die FMEA wurde auf der Basis eines Formblatts entwickelt, welches zur Unterstützung bei der Anwendung der Methode (KRAUSE & STEPHAN 1996, S. 330) und zur Speicherung und Archivierung der FMEA-spezifischen Informationen dient.

Die Methode hat mittlerweile eine weite Verbreitung¹ gefunden und wird von zahlreichen Unternehmen mit unterschiedlicher Zielsetzung verwendet (LINDEMANN 2001), z.B. zur:

- Kostenvermeidung,
- Erfüllung von Qualitätssicherungsnormen,
- Erfüllung von Versicherungsanforderungen,
- Einleitung von präventiven Qualitätsanforderungen.

Neben der Konstruktions-FMEA, bei der die anforderungsgerechte, konstruktive Gestaltung und Auslegung einzelner Komponenten (bzw. Teile oder Baugruppen) im Kern der Betrachtung steht, existiert die System-FMEA, bei der das funktionsgerechte Zusammenwirken und die Schnittstellen eines Systems analysiert werden. Bei der dritten Variante, der sogenannten Prozess-FMEA, wird die Prozessplanung und –ausführung auf mögliche Fehler zur Vermeidung von Fertigungs- und Montagefehlern hin untersucht (Abbildung 2-31).

¹ Viele Kunden, gerade aus dem Bereich der Automobil-, der Luft- und Raumfahrtindustrie fordern von ihren Zulieferern den Einsatz der FMEA-Methode (z.B. <http://www.gfm-berlin.de/FMEA.htm>, entnommen am 20.06.01).

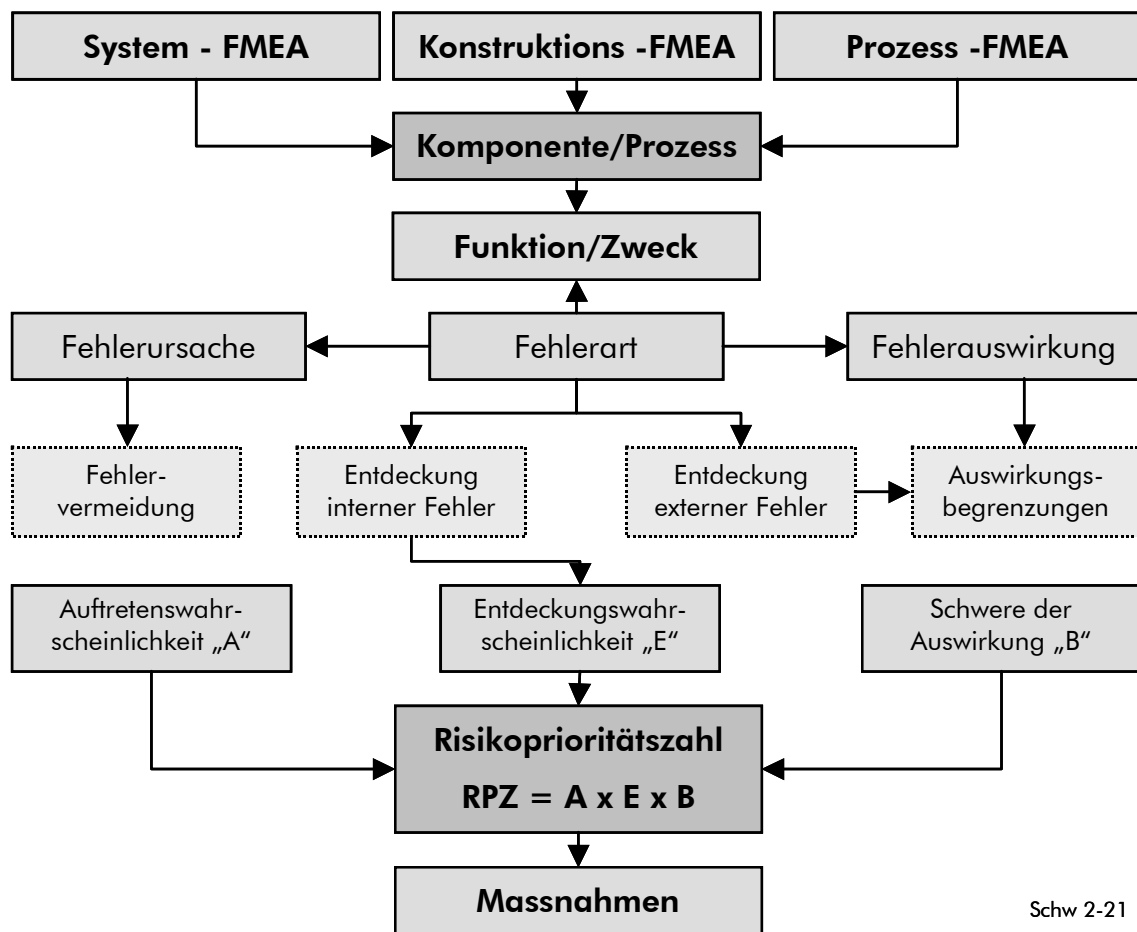


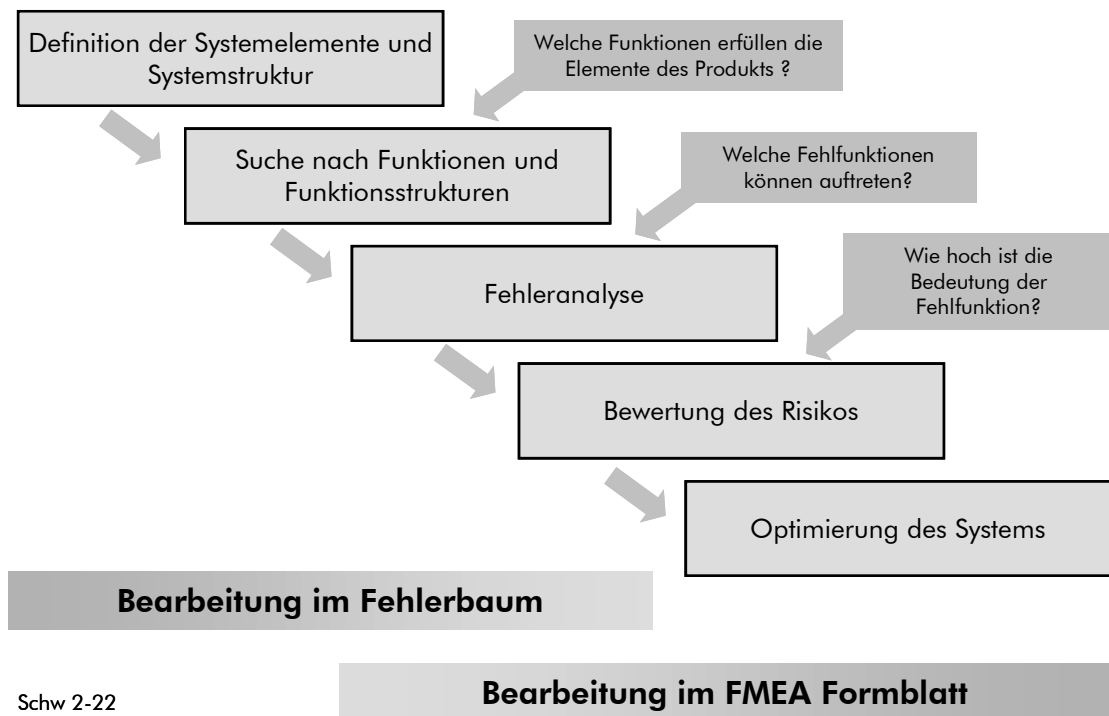
Abbildung 2-31: FMEA Methodik (nach KERSTEN ET AL. 1995)

Zu Beginn einer FMEA wird die Aufgabenstellung eingehend analysiert sowie alle für das weitere Vorgehen und für wichtige Entscheidungen relevanten Informationen gesammelt. Dabei steht das kritische Hinterfragen von Funktionen¹ und Leistungen eines Produkts im Vordergrund, wobei Wesentliches von Unwesentlichem zu trennen ist.

Anschließend (ROSCHI WAL, 1996, S. 49) werden potenzielle Fehler, ihre Folgen und ihre möglichen Ursachen betrachtet. Diese Analyseergebnisse und die erarbeiteten Ideen werden einer kritischen Bewertung unterzogen und die sogenannte Risiko-Prioritätszahl (RPZ), ermittelt, die das Produkt aus Ausfallwahrscheinlichkeit „A“, Bedeutung „B“ und Entdeckungswahrscheinlichkeit „E“ ist. Je nach Betrag dieser Risiko-Prioritätszahl ist Handlungsbedarf² vorhanden und entsprechende Maßnahmen erforderlich.

¹ Der Konstrukteur muss bei der Festlegung einer Toleranz bedenken, dass ein zu großer Wert zu einem Ausfall führen kann. Umgekehrt muss die FMEA einen Ausfall annehmen und finden, dass die Toleranz anders als angenommen festzulegen ist (VÖTTER & MASHOUR 1996, S. 53).

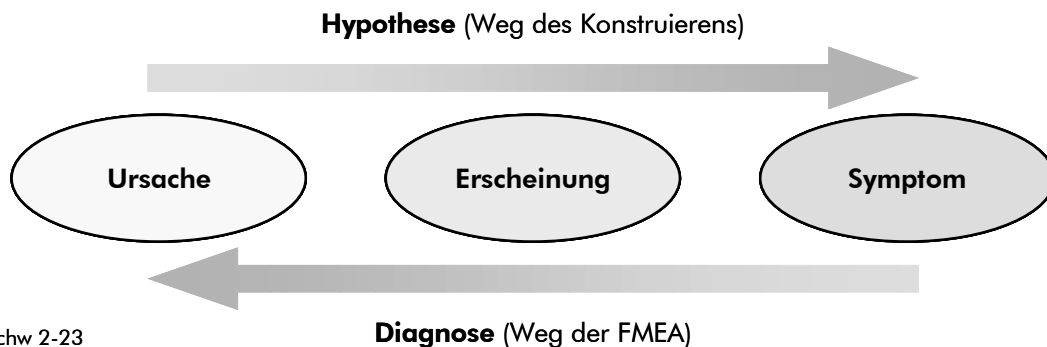
² Den drei Faktoren A, B und E werden Werte von 0 bis 10 zugeordnet. Ist die RPZ kleiner als 120, wird das Risiko gering eingeschätzt; es werden vorerst keine Maßnahmen eingeleitet.



Schw 2-22

Abbildung 2-32: Schritte zur Erstellung einer System-Produkt FMEA

Durch die systematische Vorgehensweise, die auf viele produkt- oder prozessspezifische Objekte anwendbar ist, können Fehlermöglichkeiten auf rein analytischem Wege umfassend festgelegt und frühzeitig Präventivmaßnahmen eingeleitet werden. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Diagnose (Abbildung 2-33).



Schw 2-23

Abbildung 2-33: Entgegengesetzter Verlauf von Hypothese und Diagnose (VÖTTER & MASHOUR 1996, S. 54)

Gerade das strukturierte Vorgehen und die systematische Erfassung des vorliegenden Erfahrungswissens im FMEA Formblatt über mögliche Fehlerzusammenhänge und deren Qualitätseinflüsse ermöglichen dem Unternehmen, Wissen transparent zu machen¹ und bei späteren Projekten wieder zu verwenden.

¹ Dies setzt eine geeignete Dokumentation und Verteilung der Dokumente voraus. Dabei sind folgende Anforderungen an die Dokumentation zu beachten: einheitlich, einfach, verständlich, ergänzbar (<http://www.quality-engineers.de>, entnommen am 20.06.01).

Nach den Beobachtungen von MATTHIASSEN (1995) wird aber die FMEA (und damit auch wichtige Analysen zur Absicherung von relevanten Eigenschaften) bei zahlreichen Unternehmen häufig erst zu spät im Entwicklungsprozess durchgeführt, dann aber mit hohem Aufwand. Sie wird nur selten bereits in der Konzeptphase eingesetzt, wo die Grundlagen für das Produkt definiert werden, sondern hauptsächlich für die abschließenden Analysen (MATTHIASSEN 1995, S. 1161) und das „Feintuning“ in der Detaillierungsphase. Die FMEA ist zudem ein sehr aufwendiges Verfahren, sowohl für die Einführung der Methode in einem Unternehmen als auch für die Durchführung einer FMEA ist ein hoher zeitlicher und personeller Aufwand erforderlich.

Aus diesem Grund wird sie in der Regel nur bei kritischen Problemstellungen bzw. bei Produkten und Prozessen angewendet, die einen hohen Wert für das Unternehmen darstellen. Zur Absicherung von mehreren unterschiedlichen Konzepten in den frühen Phasen der Produktentwicklung ist sie daher weniger geeignet.

2.4.7.2.2 FTA

Bei der FTA geht man von einem zentralen Schadensereignis aus und versucht es gewissermaßen rückwärts bis herunter auf die Ebene einzelner Bauteile in immer tiefer gehende Ursachen zu zerlegen. Dabei wird ein Modell der funktionalen Systemstruktur entwickelt (DAENZER & HUBER 1999, S. 470), in dem alle wesentlichen Zusammenhänge berücksichtigt werden. Ziel der FTA ist, alle möglichen Ursachen und Ausfallkombinationen zu finden, die zu einem Auftreten eines Fehlers führen können und das Risiko für dessen Auftreten abzuschätzen. Die FTA trägt nach WRIGHT (1998, S. 195ff) durch das systematische Vorgehen und das Herausarbeiten von kausalen Ursachen-Wirkungs-Beziehungen im Bezug auf Risiko und Fehler zu einem grundlegenden Systemverständnis bei. FMEA und FTA¹ ergänzen sich ideal und sind zueinander in vielerlei Hinsicht komplementär.

2.4.7.3 Team Oriented Problem Solving TOPS - 8D

Von der Ford Motor Company wurde die Methode *Team-Oriented Problem Solving*, TOPS - 8D² zur teamorientierten Problemlösung³ in acht Schritten entwickelt (BRONWEN 1992). Die meisten Probleme entstehen durch eine oder mehrere Veränderungen in bestehenden und bislang funktionierenden Systemen (WATSON 1994, S.74f), beispielsweise bei der Einführung von Verbesserungen am Produkt oder beim Wechseln eines Zulieferers. Diese Veränderungen können entweder schrittweise Auswirkungen haben, oder es kommt zu unvermittelt spürbaren Auswirkungen. Mit der TOPS - 8D Methodik sollen derartige relevante Veränderungen erkannt (BFK-INGENIEURE 1997) und in geeignete Maßnahmen eingeleitet werden. Diese Methodik ist auf eine Analyse bereits existierender Systeme ausgerichtet und wird in der Regel bei unerwartet auftretenden und komplexen Problemen mit großen Auswirkungen eingesetzt. Ein präventiver Einsatz bei der Produktentwicklung ist nicht vorgesehen.

¹ Quelle: <http://www.triz-online.de/innovation/default.htm>, entnommen am 26.03.01.

² 8D bezeichnet die acht Disziplinen, siehe auch Abbildung 2-34.

³ Weitere Methoden zur Problemlösung beschreiben LINDEMANN (2000) und KEPNER-TREGOE (<http://www.kepner-tregoe.com>, entnommen am 20.08.2001).

Der Problemlösungsprozess mit der TOPS – 8 D Methodik findet in acht Schritten (Disziplinen) statt, die in folgender Abbildung dargestellt sind.

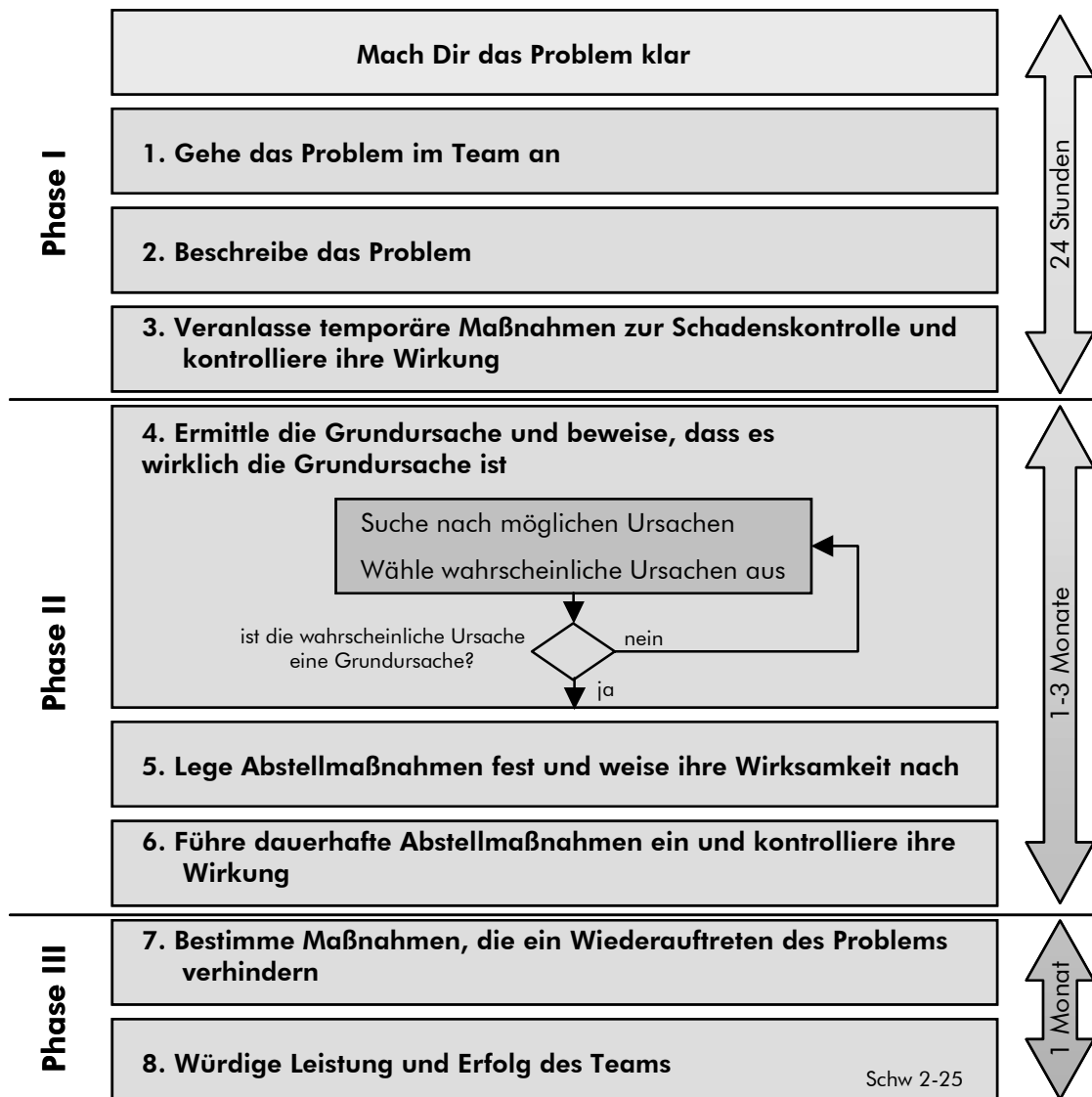


Abbildung 2-34: TOPS - 8D Ablaufschema (BRONWEN 1992)

Hohe Bedeutung wird hier ebenfalls einer schnellen Reaktion in der Anfangsphase der Problemlösung beigemessen, da die ersten drei Schritte von der Problemanalyse bis zur Einleitung temporärer Maßnahmen zur ersten Schadensbegrenzung innerhalb von 24 Stunden erfolgen sollen. Für die Durchführung der weiteren erforderlichen Maßnahmen werden Bearbeitungszeiten in Abhängigkeit der Dringlichkeit, Bedeutung und möglicher Auswirkungen des Problems veranschlagt.

Neben der starken Teamorientierung, die neben der fachlichen Kompetenz für die Lösung komplexer Probleme die unverzichtbare Grundlage darstellt (KRAUSE, EDLER & WOLL 1996, S. 533), sind eine detaillierte Problembearbeitung und ein strukturiertes Vorgehen unter Einsatz verschiedenster Elemente der Konstruktionsmethodik weitere Kernelemente von TOPS - 8D.

Die Dokumentation des Vorgehens sowie aller wichtigen Entscheidungen (inklusive der zugrundeliegenden Fakten) erfolgt im 8D-Report (siehe Kapitel 9.8), der auch zur Lösung zukünftig auftretender Problemstellungen herangezogen werden kann und so unterschiedlichen Teams Zugriff auf bereits erarbeitete Informationen erlaubt.

2.4.7.4 Quality Function Deployment – QFD

QFD ist eine Qualitätsmethode zur Ermittlung der Kundenanforderungen und deren direkte Umsetzung in die notwendigen technischen Lösungen und wird als ein vorbeugendes Werkzeug zur Produktdefinition eingesetzt. Mittels der Methode QFD werden die Kundenanforderungen an ein Produkt identifiziert und anschließend in quantitative Vorgaben für alle Unternehmensbereiche umgesetzt (BUGGERT & WIELPÜTZ 1995, S. 116), die am Entstehungsprozess des Produktes beteiligt sind.

Durch dieses systematische Vorgehen in mehreren Schritten¹ ist sichergestellt, dass die Festlegung der Produktmerkmale² durch die Entwicklung und die anschließende Auswahl der Produktionsmittel und Kontrollmechanismen ausschließlich auf die Anforderungen der zukünftigen Kunden hin ausgerichtet sind (STRECKFUß 2001). Dies hat zur Folge, dass nicht an den Bedürfnissen des Marktes vorbei entwickelt wird. Als Resultat werden marktgerechte und profitable Produkte angestrebt, die in einem reibungslosen Serienanlauf produziert werden können. Dazu werden die Kundenforderungen³ („Voice of the Customer“), die durch Befragungen ermittelt werden, in definierte, aussagefähige und weitgehend messbare Anforderungen umgewandelt und als Input für die QFD Methode verwendet.

Das wesentliche Hilfsmittel der QFD-Methode ist das House of Quality (Abbildung 2-35). Es handelt sich dabei um eine Matrix, die durch die Art ihres Aufbaus eine systematische Vorgehensweise unterstützt und gleichzeitig eine nachvollziehbare Dokumentation⁴ ermöglicht.

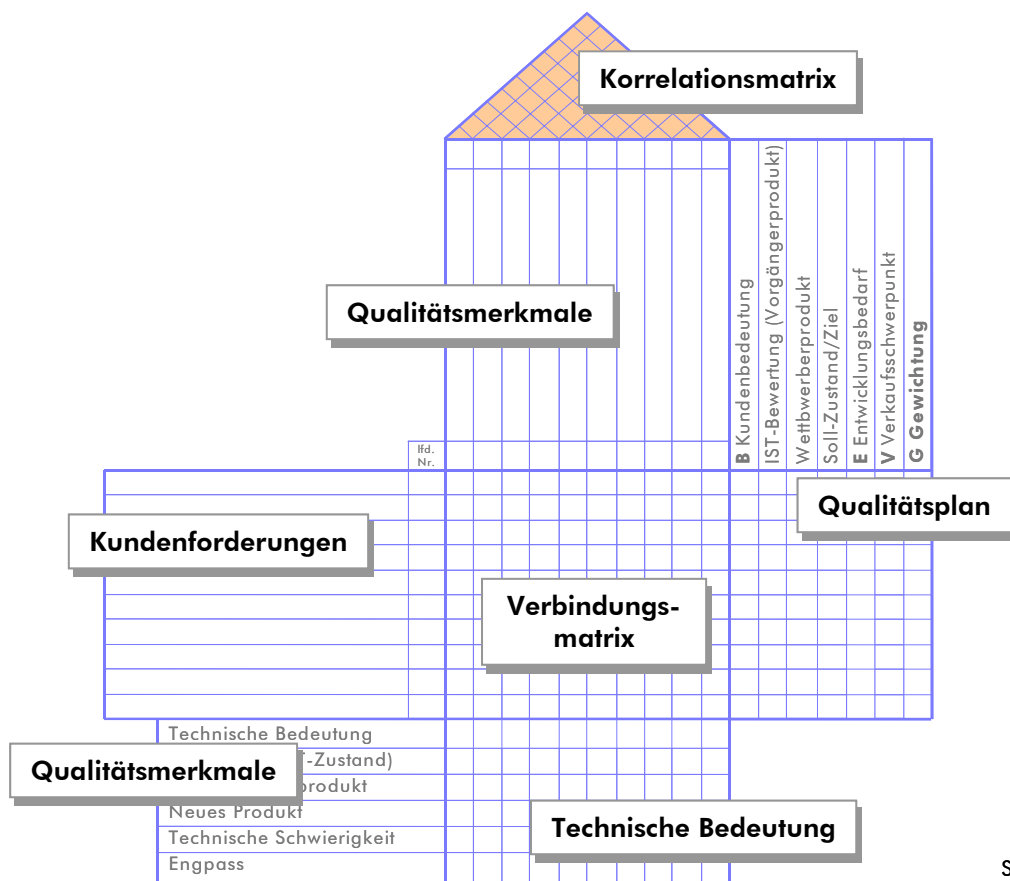
Die Anwendung von QFD erfordert eine stark teamorientierte Arbeitsweise im Unternehmen, die Unterstützung des Managements ist eine notwendige Voraussetzung. Neben Mitarbeitern aus der Entwicklungsabteilung sollen auch Mitarbeiter aus den Bereichen Marketing und Vertrieb im QFD-Team vertreten sein, um durch diese interdisziplinäre Zusammenarbeit die Fähigkeiten und Kenntnisse der einzelnen Unternehmensfunktionen zielgerichtet koordinieren zu können. DANNER (1996, S. 50) sieht einen großen Vorteil in der Strukturierung vernetzter Informationen aus verschiedenen Begriffswelten und Unternehmensfunktionen und deren Verbindung über Matrizen, die als Kommunikationsmittel und Schnittstelle für eine integrierte und simultane Arbeit dienen.

¹ Eine genaue Beschreibung der einzelnen Schritte ist z.B. DANNER (1996) oder <http://www.quality-engineers.de/> zu entnehmen.

² Entscheidend ist das Festlegen der für die Qualität des Produktes aus Kundensicht wichtigen und daher für den Verkaufserfolg entscheidenden Produktmerkmale.

³ Hier wird unterschieden in externer Kunde (=Käufer) und interner Kunde (=alle am Entstehungsprozess Beteiligte).

⁴ Quelle: <http://www.quality-engineers.de/>, entnommen am 26.03.01.



Schw 2-26

Abbildung 2-35: House of Quality

Nach LINDEMANN (2001) eignet sich QFD besonders gut bei Anpassungskonstruktionen und Produktüberarbeitungen, wo der Neuheitsgrad der Entwicklung eher gering ist und ein bestehender Markt bedient wird; bei innovativen Neuentwicklungen muss der Einsatz dieser Methode dagegen kritisch hinterfragt werden.

2.4.7.5 Wertanalyse

Eine weitere Methode zum Lösen komplexer Probleme ist die von L. D. Miles entwickelte Wertanalyse, die auf die Steigerung des Kosten-Wert-Verhältnisses (ROSHIWA 1996, S. 48) eines Objekts abzielt. Dabei sollen die Kosten des betrachteten Objekts (Produkte, Prozesse) gesenkt und gleichzeitig dessen Wert (Nutzen, Funktion, Leistung) gesteigert werden (EHRLENSPIEL ET AL. 1998, S. 101ff). Sie wird in den meisten Fällen zur Wertverbesserung eingesetzt, d.h. die Kosten von bereits vorhandenen Produkte werden reduziert, wobei der Erfolg der Wertanalyse anhand des Kostenvergleichs vorher – nachher gemessen wird. Zum Vermeiden von Änderungskosten und -zeiten, die bei einer nachträglichen Überarbeitung zur Kostensenkung anfallen, wird die Wertanalyse in Form einer Wertgestaltung bereits in frühen Phasen der Produktentwicklung anhand des nachfolgenden Arbeitsplans durchgeführt.

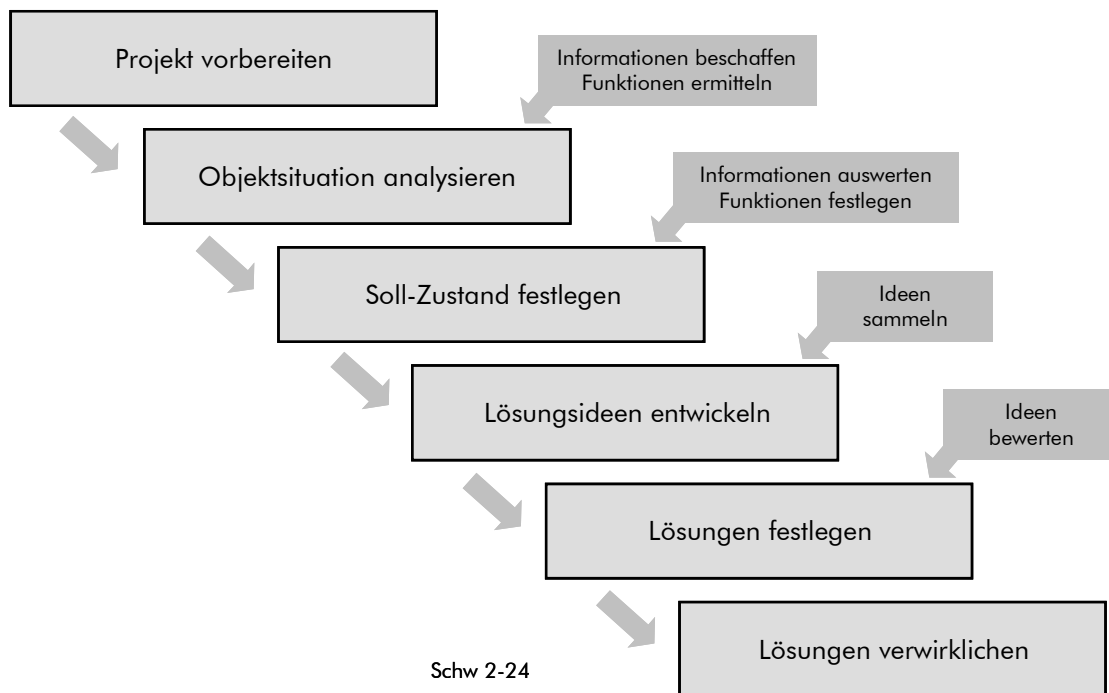


Abbildung 2-36: Wertanalyse Arbeitsplan (nach EHRENSPIEL ET AL. 2000, S. 102)

2.4.7.6 Vorgehen zur Zuverlässigkeitsprüfung

Damit ein Produkt bei allen zu erwartenden Einsätzen auch zuverlässig und sicher funktioniert, müssen relevante Eigenschaften bereits in sehr frühen Phasen der Entwicklung berücksichtigt und durch geeignete Maßnahmen abgesichert werden. Fehler im Produkt verringern die Zuverlässigkeit, beeinträchtigen die Sicherheit¹ und vermindern die Verfügbarkeit. Die DIN 40041 enthält ein Ablaufschema zur Zuverlässigkeitsprüfung, das in Abbildung 2-37 dargestellt ist.

¹ Nach PIGHINI ET AL. (2001) ist das sicherheitsgerechten Konstruieren (Design for safety) die wichtigste Aufgabe in der Produktentwicklung.

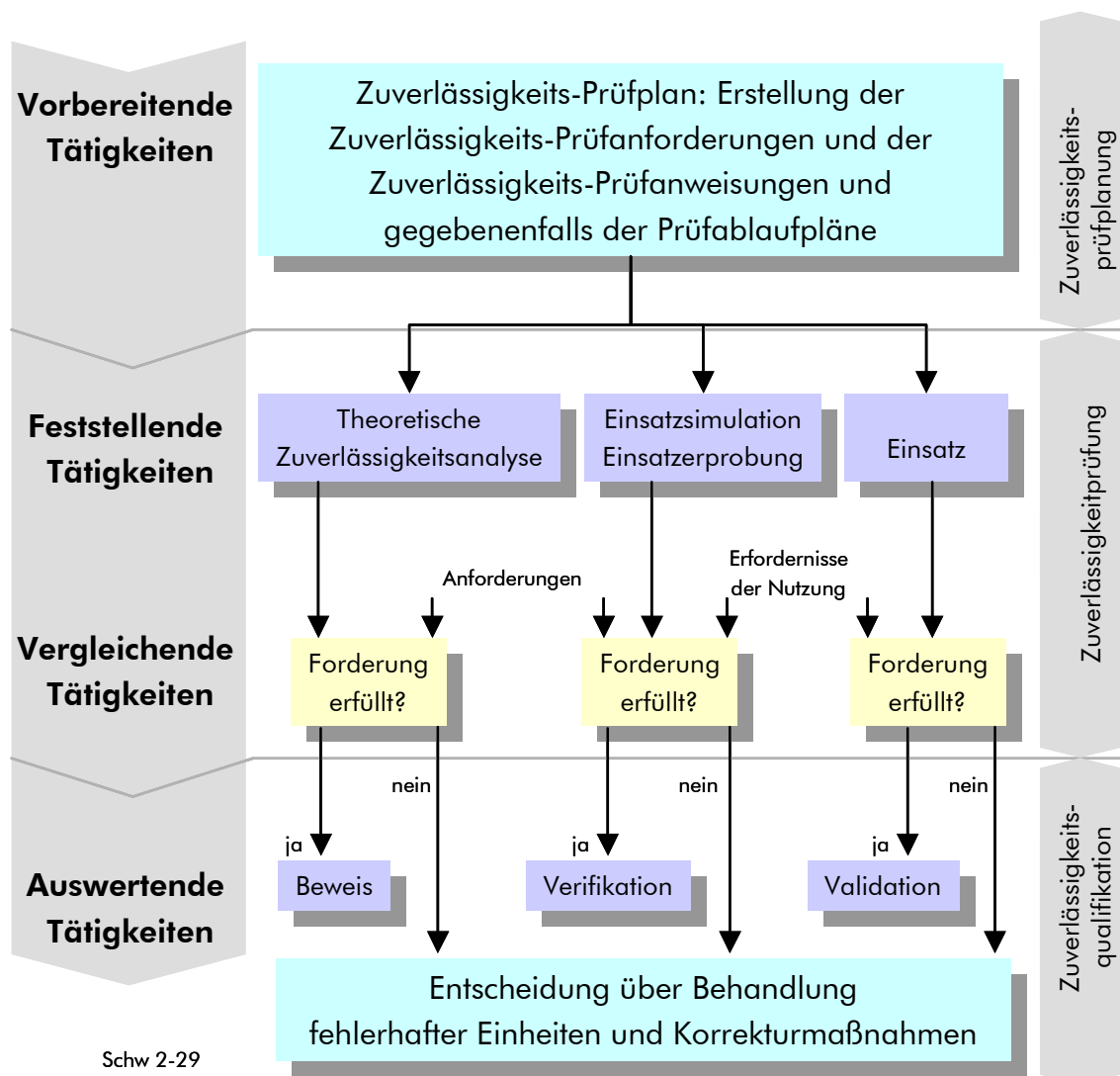


Abbildung 2-37: Schritte zur Zuverlässigkeitsprüfung (nach DIN 40041)

Besonders interessant an diesem Ansatz ist die Einteilung in die drei Phasen Zuverlässigkeitsprüfplanung zur Vorbereitung, die eigentliche Zuverlässigkeitsprüfung mit feststellenden Tätigkeiten und die abschließende Auswertung im Rahmen der Zuverlässigkeitsqualifikation.

Neben Analysen, Simulationen und Erprobungen werden auch Informationen aus dem Einsatz des betrachteten Produkts für die Beurteilung der Zuverlässigkeit herangezogen, wobei ein kontinuierlicher Abgleich mit den spezifizierten Forderungen durchgeführt wird. Bei der Betrachtung der Zuverlässigkeit von Gesamtsystemen sind stets sämtliche Untersysteme mit all ihren Parametern zu beachten, die auf die Gesamtzuverlässigkeit Einfluss haben.

2.4.7.7 Neuronale Netzwerke

Neuronale Netze¹ sind Modelle zur Erzeugung intelligenten Verhaltens, die statt auf mathematischer Modellierung auf exemplarischem Lernen beruhen (ZWF REDAKTION, 1996, S. 117). Grundidee der Neuronalen Netze ist, die Neuronenstruktur des menschlichen Gehirns nachzuahmen, sie reagieren auf Anregungszustände mit Ausgangssignalen. Wie jedes Modell ist auch das Neuronale Netzwerk nur zur Darstellung einiger Teilbereiche der Intelligenz geeignet.

Es bietet folgende Vorteile:

- Gute Lernfähigkeit.
- Darstellung und Verarbeitung von Unschärfe.
- Parallele Aktionen.
- Hohe Fehlertoleranz.
- Liefert verallgemeinerte Ergebnisse und kann zur Lösung von Problemen eingesetzt werden die dem ursprünglichen ähnlich sind.

Neben der eigentlichen Abbildung ist auch ein Trainieren des Neuronalen Netzes erforderlich, bei dem eine Eingabe von unterschiedlichen Anregungsmustern und ein Abgleich auf entsprechende Ausgangssignale durchgeführt wird. Nachteilig ist vor allem das „Black Box“-Verhalten Neuronaler Netze, d.h. die Entscheidungsgrundlage, die zum Ergebnis geführt hat, ist nicht nachvollziehbar.

Neuronale Netze bieten die Möglichkeit, aus Informationen, die aus der Analyse vorhandener Produkte (MATTHEWS ET AL., 1999) gewonnen werden konnten, interessante Zusammenhänge zu erkennen, die für die Entwicklung von zukünftigen aber ähnlichen Produkten von Interesse sind. Zur Unterstützung dieser Entwicklung lassen sich Richtlinien ableiten:

- Konstruktionsregeln (hohe Gültigkeit),
- Gestaltungsprinzipien (Beispiele),
- Heuristiken, die zumindest für die betrachteten Zusammenhänge Gültigkeit besitzen.

Diese Richtlinien sind in erster Linie für Anpassungs- und Variantenkonstruktionen² von großem Interesse. Bei der im Rahmen dieser Arbeit im Vordergrund stehenden Technologieentwicklung lassen sich derartige Richtlinien aufgrund fehlender Eingangsinformationen, die für das Trainieren der Neuronalen Netze erforderlich sind, nicht ableiten.

¹ Ihren Ursprung haben die Neuronale Netze bzw. Netzwerke bei HEBB (1949), der das Lernen mit der Stärkung der Verbindung zweier Neuronen durch gleichzeitige Reizung beschrieb. 1956 wurde das erste künstliche Neuronale Netzwerk, das „Perceptron“ geschaffen, welches lernen konnte, Muster zu identifizieren.

² Neuronale Netze konnten bei den in Kapitel 6 betrachteten Entwicklungsbeispielen nicht eingesetzt werden, da hier Neuentwicklungen ohne Vorgängerprodukte betrachtet werden und daher die für das Trainieren der Neuronalen Netze erforderlichen Eingangsdaten nicht vorhanden waren. Ein Einsatz zu einem späteren Zeitpunkt, wenn Ergebnisse aus der Erprobung in ausreichender Menge vorliegen, ist durchaus vielversprechend, weil unterschiedliche Abhängigkeiten aufgezeigt werden können. Außerdem ließe sich die Frage „Warum ist eine gute Bremse gut?“ beantworten.

Im Gegensatz zu Neuronalen Netzen dient die Fuzzy-Logik, ein Mittel zur Beschreibung unscharfer Informationen, der Prognose zukünftiger Entwicklungen, die durch mathematische Zusammenhänge abbildbar sind (ZWF REDAKTION 1996, S. 117). Derartige Simulationssysteme sind häufig sehr komplex, die auf den Regeln der Fuzzy-Logik basierende Entscheidung sind aber nachvollziehbar.

Anhand der Beschreibung dieser ausgewählten Methoden wird zum einen die Bedeutung eines methodischen Vorgehens unter Beachtung der vorgeschlagenen Teilschritte ersichtlich. Zum anderen die hohe Bedeutung von Informationen, deren Generierung, Speicherung und Weiterleitung, die im folgenden Kapitel näher betrachtet werden.

2.5 Ideenmanagement und Wissensmanagement

2.5.1 Daten, Informationen und Wissen

IRLINGER (1999, S. 21) stellt die gegenseitigen Abhängigkeiten der drei Elemente Daten¹, Informationen und Wissen dar und weist auf einen fließenden Übergang zwischen ihnen hin, der in Abbildung 2-38 dargestellt ist. Daten stehen dabei am Anfang der Kette. Sie bestehen aus einer Folge von Zeichen oder Nachrichten, die einen bestimmten Teil eines Zustands oder eines Ereignisses objektiv beschreiben und sind damit Rohstoff für und Träger von Informationen. Durch Aufnahme und Verknüpfung von Informationen, die nach DIN 44300 als Kenntnis über Sachverhalte und Vorgänge definiert werden, entsteht das Wissen, das die „Gesamtheit aller Kenntnisse und Fähigkeiten, die Individuen zur Lösung von Problemen einsetzen“ (IRLINGER 1999, S. 16) umfasst und das zum Bewältigen von komplexen Aufgaben erforderlich ist, wie beispielsweise die Entwicklung und Vermarktung von Gütern (SPUR 1996, S. 62).

Wichtigste Erkenntnis ist, dass Wissen personengebunden und daher direkt nicht übertragbar ist. Der Transfer von Wissen muss den Umweg über Daten und Informationen nehmen und kann aufgrund der individuellen Interpretationsvorgänge auch fehlerbehaftet sein.

¹ Nach AHMED, BLESSING & WALLACE (1999) werden Daten nur zu Informationen, wenn die relevanten Zusammenhänge bekannt sind; Informationen werden zu Wissen, wenn diese vom Empfänger der Informationen auch interpretiert werden können.

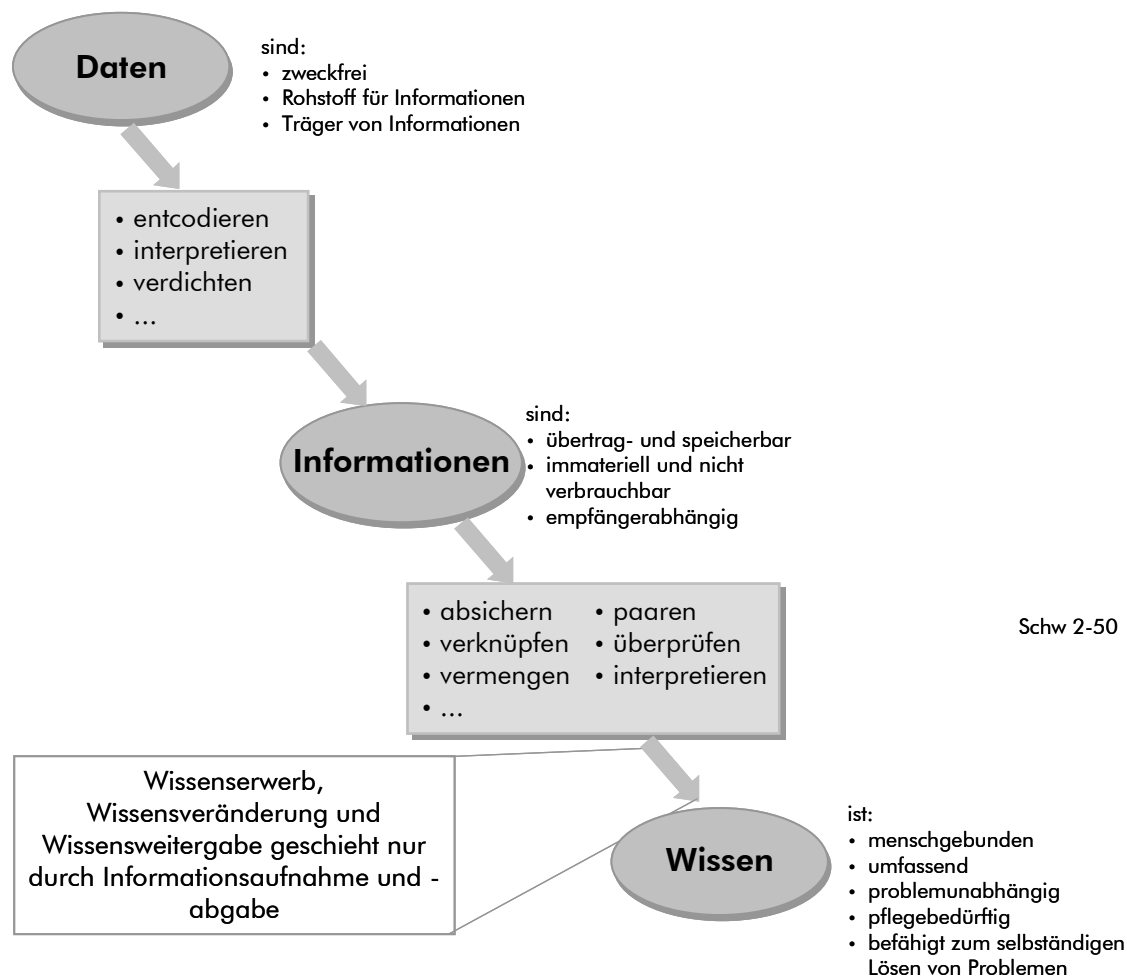


Abbildung 2-38: Daten, Informationen und Wissen (nach IRLINGER 1999, S. 20ff)

ULLMANN (1997, S. 32) dagegen geht von einer unterschiedlichen Wertigkeit der Information¹ aus. Der Wert der Information wird in vier Klassen unterteilt (siehe Abbildung 2-39) und nimmt vom Übergang von einer auf die nächste Klasse zu.

Die Ausgangsdaten, Parameter und Werte von Variablen, werden im Modell von ULLMANN (1997, S. 32) zueinander in Beziehung gesetzt und im Rahmen eines Entwicklungsprozesses zu Modellen verknüpft, die für das weitere Vorgehen sehr wichtig sind. Anhand des Verhaltens dieser Modelle, der Interpretation von möglichen Funktionsweisen, kann Wissen erarbeitet werden, auf dessen Basis fundierte Entscheidungen getroffen werden. Aus dieser Darstellung wird bereits die hohe Bedeutung ersichtlich, welche die Sammlung sowie die richtige Auswahl der relevanten Parameter in den frühen Phasen der Produktentwicklung auf spätere Entscheidungen² hat. Bei der Zunahme des Werts³ der Information spielen Informations- und

¹ ULLMANN behandelt in erster Linie technischen Informationen.

² ULLMANN (1997, S. 32) spricht in diesem Zusammenhang vom Informationszeitalter.

³ REINERTSEN (1998, S. 65) sieht als einzigen Zweck des Produktentwicklungsprozesses die Erzeugung wirtschaftlich nützlicher Informationen und fördert eine kostengünstige Erzeugung dieser wertvollen Informationen. Dazu definiert er den wirtschaftlichen Nutzen als das Verhältnis aus Wert und Kosten je Informationseinheit.

Kommunikationsprozesse eine zentrale Rolle. Sämtliche Informationen, die im Rahmen einer Entwicklung relevant sind müssen beschafft, verarbeitet (transformiert) und weitergeleitet werden (SCHMIDT 1996). Dieser Prozess kann sich als sehr aufwendig¹ erweisen. Aus diesem Grund muss auf ein geeignetes Informationsmanagement geachtet werden.

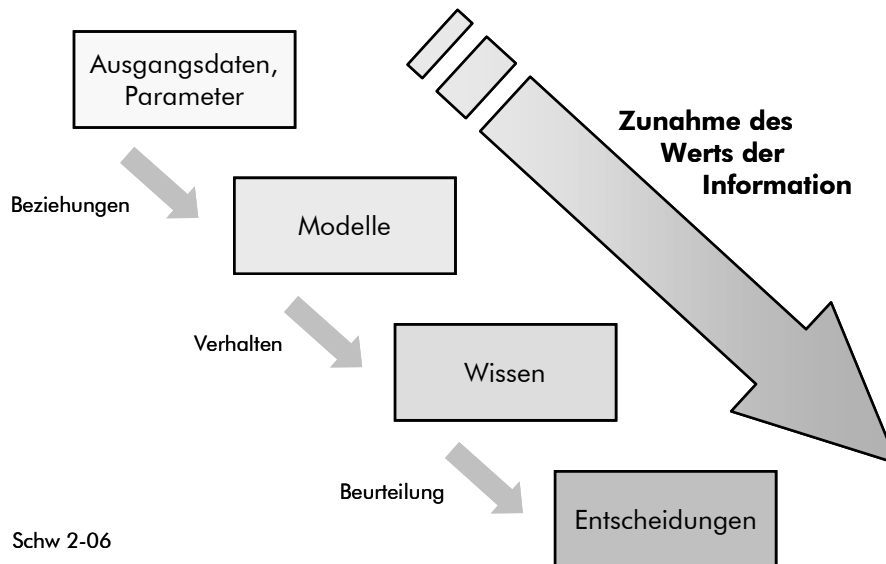


Abbildung 2-39: Zunahme des Werts der Information

Zur Kennzeichnung von Informationen geben PAHL & BEITZ (1993, S. 65) folgende Kriterien an:

- Zuverlässigkeit der Information, d.h. die Wahrscheinlichkeit ihres Eintreffens und ihrer Aussagesicherheit.
- Feinheitsgrad der Information, d.h. der Detaillierungsgrad einer Information.
- Schärfe der Information, d.h. die Exaktheit und Eindeutigkeit des Informationsinhaltes.
- Wichtigkeit der Information für den Empfänger.
- Aktualität der Information, d.h. eine Angabe über den Zeitpunkt der Informationsverwendung.

Dies sind sehr wichtige Kriterien, die im Umgang mit Informationen berücksichtigt werden müssen. Nur wenn die erforderlichen Informationen ausreichend genau, detailliert und aktuell sind, ist der Aufbau von Wissen möglich, der nach KIENECKER (1999, S. 622) nach folgendem Schema abläuft (Abbildung 2-40).

¹ Nach MARSH (1996) verwenden Konstrukteure nämlich mehr als zwei Stunden ihres Arbeitstages, um Informationen zu generieren oder Anfragen zu beantworten.

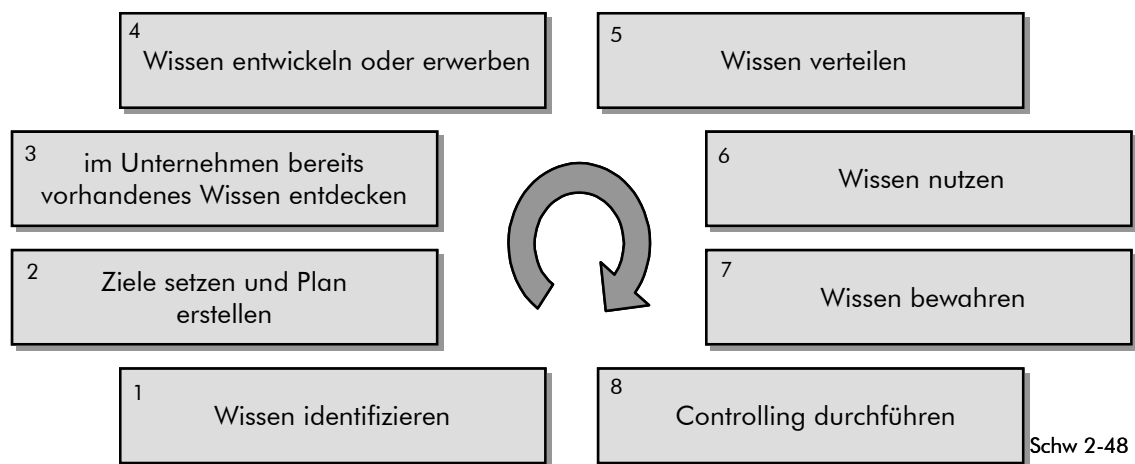


Abbildung 2-40: Aufbau von Fachwissen (nach KIENECKER 1999, S. 622)

Essentielle Elemente sind insbesondere der Schritt *Wissen verteilen* (Nr. 5), da eine zielgerichtete Bereitstellung¹ von Informationen (EIGNER 1996, S. 395f) Geschäftserfolge wesentlich mitbestimmt, sowie der Schritt *Wissen bewahren* (Nr. 7), wofür HANDENHOVEN & TRASSAERT (1999, S. 155) eine soweit wie möglich explizite Archivierung in Datenbanken vorschlagen. Neben der Verteilung und Dokumentation weist GIERHARDT (2001) auch auf die Bedeutung der Notwendigkeit der Strukturierung von Wissen hin, um vorhandenes Wissen auch adäquat nutzen zu können.

Wissen setzt sich in der hier betrachteten Ausprägung des Produktentwicklungswissens (HAUB & WAGNER 2001, S. 80) aus den Elementen Produktwissen, Projektwissen, Prozesswissen und Rollenwissen² zusammen. Demzufolge beeinflusst es den Erfolg des gesamten Entwicklungsprozesses (AHMED, BLESSING & WALLACE 1999) und stellt nach GIERHARDT (2001) einen wesentlichen Eckpfeiler zur Zielerreichung für Unternehmungen dar.

Zur weiteren Unterteilung von Wissen wird eine Differenzierung in explizites und implizites Wissen vorgenommen (NONAKA & TAKEUCHI 1995). Das explizite Wissen lässt sich in Worten und Zahlen ausdrücken und ist damit frei konvertierbar, d.h. über ein Medium kommunizierbar und damit auch dokumentierbar³. Aus diesem Grund kann explizites Wissen leicht vermittelt und nutzbar gemacht werden (IAI 1999).

Im Gegensatz dazu ist das implizite⁴ Wissen personengebunden, schwierig zu formulieren und damit schwer zugänglich. Implizites Wissen umfasst das aktionsgebundene und auf individuellem Engagement bzw. Erfahrung basierende Wissen, das aus der eigenen Handlung oder aus Erfahrungsaustausch resultiert. Implizites Wissen kann dabei bedingt in explizites Wissen transformiert werden. Sind die Grenzen der Explizierbarkeit erreicht, ist die Verfüg-

¹ Die richtige Information muss zur richtigen Zeit am richtigen Ort sein.

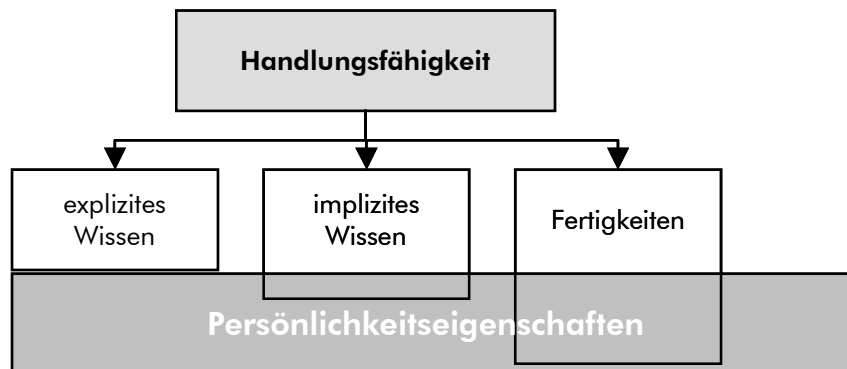
² Das Rollenwissen umfasst das Wissen, das zur Ausübung gewisser Rollen im Entwicklungsprozess erforderlich ist, z.B. die Rolle des Projektleiters.

³ Explizites Wissen ist das Feld, auf das sich traditionelle Weiterbildung und Wissensmanagement konzentrieren.

⁴ NONAKA und TAKEUCHI (1995) sprechen von *tazitem* Wissen, das implizit in den Erfahrungen der Mitarbeiter eines Unternehmens zum Ausdruck kommt.

barkeit von implizitem Wissen nur durch die Verfügbarkeit der Person gewährleistet, an die das implizite Wissen gebunden ist (BÜSSING ET AL. 2001).

Nach IAI (1999) zählen zur Handlungsfähigkeit¹ von Individuen neben explizitem und implizitem Wissen noch die Fertigkeiten, die als konkretes und inhaltlich bestimmtes Können definiert werden und durch Übung so weit automatisiert werden, dass bestimmte Verhaltensweisen routiniert vollzogen werden können. Gewisse Fertigkeiten sind zum Beispiel bei der Anwendung von Methoden oder dem Einsatz von Hilfsmitteln erforderlich.



Schw 2-47

Abbildung 2-41: Elemente der Handlungsfähigkeit (IAI 1999)

Weil Wissen und damit auch Informationen und Daten zunehmend zu strategischen Wettbewerbsfaktoren² werden (RÜGER & OHLHAUSEN 2000, S. 35) und für die Handlungsfähigkeit des einzelnen sehr bedeutend sind, werden im Folgenden verschiedene Ansätze zum Management von Informationen und Wissen behandelt.

2.5.2 Management von Informationen und Wissen

Nach SABISCH & TINTELNOT (1997) setzen sich Innovationen nicht von selbst durch, sondern erfordern ein professionelles Management³, also eine Koordination der Tätigkeiten einzelner Beteiligter (IRLINGER 1999, S. 9) und sämtlicher Abläufe, um zielgerichtet zu einer gemeinsamen Lösung zu kommen. Daher ist die Schaffung einer Arbeitsumgebung erforderlich, welche die Akquisition von Wissen, das Generieren von Ideen, deren Verifizierung sowie das Umsetzen der Ideen in erfolgreiche Produktentwicklungsprojekte optimiert (KURZ 1998, S. 15). Der wenig effiziente Zugriff auf das bereits vorhandene Wissen (LÜTHY & SCHWEIZER 2001) oder relevante Informationen stellt heutzutage oftmals einen Engpass auf dem Weg zur Innovation dar.

¹ Fähigkeiten stellen die kognitive Basis für Handlungen dar.

² RÜGER & OHLHAUSEN (2000, S. 35) vergleichen Wissen mit Produktionsfaktoren wie Rohstoffen, Kapital und Arbeit, die zielführend bewirtschaftet werden müssen, um Wachstumspotenziale auszuschöpfen.

³ VROOM (1994, S. 190) bezeichnet das Management von Produkt- und Prozessdaten als eines der Schlüsselemente für die Verbesserung in Entwicklungsprozessen.

Dabei wird gerade dem Prozess zur Gewinnung¹ und zum Austausch von Informationen eine hohe Bedeutung beigemessen, insbesondere bei der Entwicklung innovativer Produkte, da hier in allen Phasen des Entwicklungsprozesses² sehr viel Spezialwissen (z.B. über Produktlebenszyklen, Fertigung, Montage, Wartung und Verwertung) benötigt wird (SCHULZ ET AL. 1999, S. 171). Dieses Wissen ist jedoch in vielen Fällen nur bei wenigen Kompetenzträgern vorhanden (CLARKSON & HAMILTON 1999, S.107), nicht dokumentiert und daher für andere Entwickler nicht nutzbar. LINDEMANN ET AL. (1998) sehen in dem damit einhergehenden Informationsmangel häufig den Grund für Iterationsschleifen im Entwicklungsprozess, die zu einer Verlängerung der Gesamtentwicklungszeit führen. KOLLI ET AL. (1994) betonen, dass es z.B. für einen Entwickler schier unmöglich ist, sich wissentlich an alle Variationen einer Idee zu erinnern. Allein die Zahl an Zeichnungen, die während eines Projekts erstellt wird, füllt mehrere Skizzierblöcke.

Demzufolge ist das Aufbereiten und klar strukturierte Dokumentieren sämtlicher Informationen sehr wichtig, die im Zuge eines Projekts zusammengetragen werden. Denn nur so können diese objektiv vorhandenen Informationen (siehe 2.4.3.1) für zukünftige Vorhaben (HERB ET AL. 2000, S. 30) auch genutzt werden und einen Beitrag zu einer rationellen Arbeitsweise leisten (BERNHARDT 1987, S. 21f). REINKING (1987, S. 59) definiert die Produktivität der Entwicklung als die Menge der erarbeiteten Informationen. Aus diesem Grund tragen sämtliche Tätigkeiten, die den Umfang der vorhandenen Informationen zielgerichtet vergrößern, zu einer Produktivitätssteigerung bei.

Analog verhält es sich mit Ideen, die im Rahmen der Lösungssuche erarbeitet werden. Häufig werden durch die Anwendung verschiedener Kreativitätstechniken in einer kurzen Zeit zwar zahlreiche Ideen erzeugt, oftmals aber nur wenige davon ausgewählt und weiter verfolgt (siehe Ergebnisse der Umfrage, Kapitel 9.1). Die nicht ausgewählten Ideen³ werden, ungeachtet ihrer Lösungsgüte, nicht archiviert und sind somit auch nicht mehr verfügbar.

Das Managen von Wissen, analog auch von Informationen, Dokumenten und Ideen, ist demnach ein wichtiges Instrument zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit (ROSS 2001) und definiert sich in Anlehnung an RÜGER & OHLHAUSEN (2000, S. 36), HEISIG (2001) und REIMANN ET AL. (2000, S. 275) durch:

- Das Erzeugen (Identifikation, Akquisition und systematischen Aufbau),
- das Speichern (Strukturierung, Art und Ort der Ablage),
- die Verteilung⁴ und
- die Anwendung.

¹ Nach HERB ET AL. (2000, S. 30) kommt es bei jedem Ideenfindungsprozess zu einer Konzentration von Know-how zu einem bestimmten Thema.

² SCHULZ ET AL. (1999, S. 171) bezeichnen die heutige Entwicklung als "Wissens-intensives Engineering".

³ Die gefundenen Ideen werden beurteilt und nur die bestgeeignetsten werden weiterverfolgt. Im Normalfall wird nicht mehr überprüft, ob sich unter den restlichen Ideen welche befinden, die für andere Problemstellungen (evtl. aus anderen Entwicklungsabteilungen) geeignet sind.

⁴ GIERHARDT (2001) verwendet den Begriff der Informationslogistik, die durch eine zielgerichtete Bereitstellung und bedarfsgerechte Zustellung die Informationsversorgung optimiert.

COLLIN (2001) weist darauf hin, dass es sicherlich nie gelingen wird, das Wissen aller Mitarbeiter eines Unternehmens vollständig im Rechner abzubilden und spricht die Forderung aus, Werkzeuge zur Verfügung zu stellen, die es ermöglichen zumindest einen größeren Teil der expliziten Wissensbestandteile aufzunehmen und zu verwalten. Wichtigste Voraussetzung dazu ist aber die Bereitschaft¹ der beteiligten Personen ihr Wissen auch preiszugeben.

Im Folgenden wird die Rolle der Dokumentation zum Aufnehmen von expliziten Wissensbestandteilen sowie ausgewählte Werkzeuge zur Unterstützung vorgestellt. Denn trotz zahlreicher verschiedener Ansätze leiden Entwicklungsingenieure ganz besonders unter der Informationsflut (LÜTHY & SCHWEIZER 2001). Sie sind darauf angewiesen, auf dem aktuellen Stand der Technik aufzubauen und es gilt zu vermeiden, bereits existierende oder sogar patentierte Lösungen nochmals zu entwickeln.

2.5.3 Bedeutung der Dokumentation im Informationsmanagement

Die Dokumentation der Entwicklungsvorgänge und -daten spielt bei der Erstellung eines Produktes eine zentrale und wichtige Rolle und ist für eine gute Qualität des Produktes unabdingbar. Darüber hinaus besteht auch aufgrund gesetzlicher Bestimmungen eine Nachweispflicht (z.B. im Produkthaftungsgesetz). Eine gute Dokumentation beschränkt sich keinesfalls auf das Zeichnungswesen. Alle Schriftstücke, Datenblätter, Entwürfe, Skizzen und Berechnungen, die eine Aussage über den Gang der Entwicklung eines Produktes geben, sollen der Dokumentationspflicht unterworfen werden (STEINWENDER 1997). ABROMOVICI & GERHARD (1999, S. 1426) sehen in der technischen Produktdokumentation in erster Linie einen begleitenden Prozess (z.B. zum Erstellen von Benutzerhandbüchern, Garantie- und Serviceunterlagen), in den zahlreiche unterschiedliche Bereiche (Abbildung 2-42) integriert sind.

Der Zeitaufwand für die Erstellung der Dokumentation ist aufgrund dieser Vernetztheit und der Fülle an Informationen sehr groß, was auch in der Umfrage „Methodisches Vorgehen in den frühen Phasen der Produktentwicklung“ (Kapitel 9.1) bestätigt werden konnte.

Ein großes Problem stellt insbesondere die Nachvollziehbarkeit der Lösungsvarianten dar, die im Rahmen der Lösungssuche erarbeitet worden sind. Vielfach werden einzelne Ideen noch im Anschluss an die Kreativsitzung eingehend diskutiert, auf eine Dokumentation dieser Ergebnisse wird aber meistens verzichtet. In den wenigsten Fällen werden die skizzierten Lösungsvorschläge aufbewahrt. Die Interpretation von solchen Skizzen erweist sich schon nach einiger Zeit als sehr schwierig, oftmals sogar als unmöglich, wenn keine zusätzlichen Informationen (Beschreibungen der Funktion, relevante Kennzeichen usw.) dokumentiert werden (STACEY ET AL. 1999, S. 923ff).

¹ Nach DANNEHL (2000, S.18) scheitern die besten Technologien zur Wissensbewahrung, wenn der Rückhalt im Management eines Unternehmens fehlt und Anreize für die Weitergabe von Wissen nicht vorhanden sind.

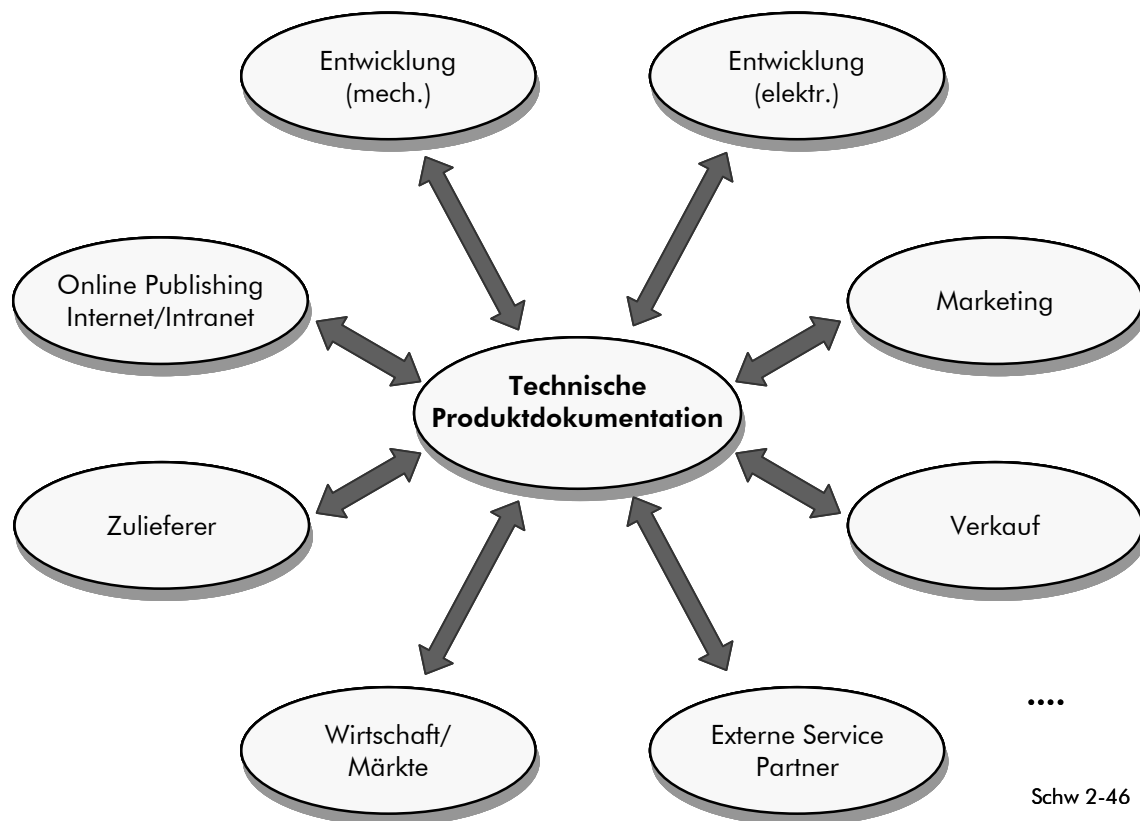


Abbildung 2-42: Technische Produktdokumentation (ABROMOVICI & GERHARD 1999, S.1425ff)

Der Grund für diese Problematik liegt darin, dass die meisten der vorhandenen Systeme die Dokumentation in diesem wichtigen Bereich der Informationsentstehung nicht ausreichend abdecken (BLESSING & BALL 1997, S. 271), da sie in erster Linie die mehr geometriebasierte Detaillierungsphase unterstützen, wie aus Abbildung 2-43 hervorgeht.

Das personengebundene Wissen (z.B. das Konstruktionswissen, Planungswissen) wird über den Zwischenschritt Konstruktion (als Element der CAD/CAM Prozesskette) in Form digitaler Produktdaten gespeichert. Wissen, das im Zusammenhang mit der Erstellung von Konzepten oder der Suche nach Ideen generiert wird, wird nicht umfassend dokumentiert.

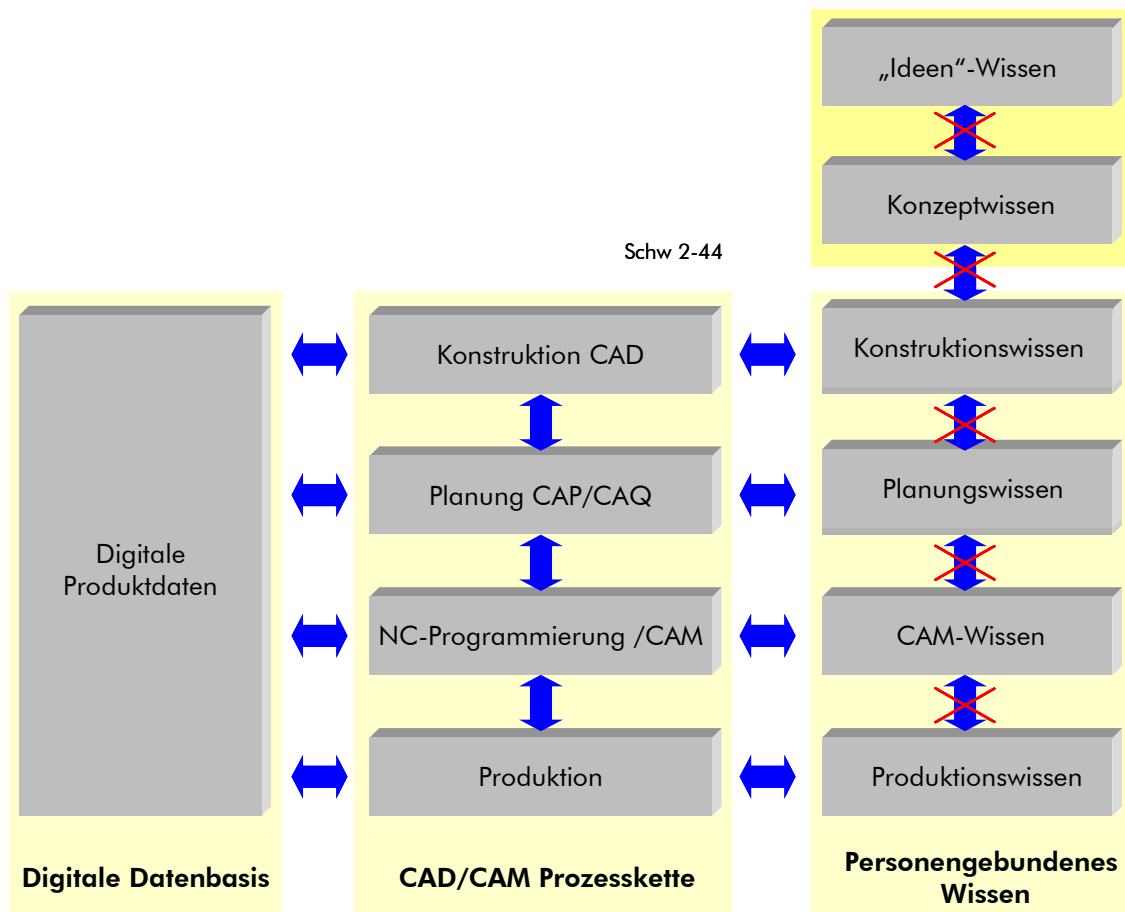


Abbildung 2-43: Fehlende Kommunikation von Wissen (in Anlehnung an GERKEN & WEYRICH, 2000, S. 544)

2.5.4 Werkzeuge zur Unterstützung des Informationsmanagements

Primäres Ziel von jeglichen Informationssystemen ist nach SCHEITHAUER (2001) die vollständige, übersichtliche, aussagekräftige und leicht interpretierbare Bereitstellung von produkt- wie auch entwicklungsprozessgerechter Information, wofür zahlreiche unterschiedliche Werkzeuge zur Verfügung stehen (STOLZ 1994, S. 4ff).

2.5.4.1 Werkzeuge zum Speichern von Konstruktionslösungen

Die Werkzeuge zum Speichern von Konstruktionslösungen lassen sich in Lösungs- und Ideenspeicher einteilen.

2.5.4.1.1 Lösungsspeicher

Als Lösungsspeicher, die eine wertvolle Unterstützung darstellen können, bezeichnet GÖKER (1996, S. 90ff) eine Zusammenstellung technischer Objekte und Methoden verschiedener Konkretisierungsgrade zum Einsatz beim Entwickeln. Lösungsspeicher sind u.a.:

- Nachschlagewerke, Fachbücher, Patente.
- Unternehmensinterne Lösungsarchive.

- Norm- und Wiederholteilbibliotheken (MÜLLER 1991).
- Zulieferkataloge (auch Werkstoffe und Halbzeuge).
- Lösungssammlungen und Konstruktionskataloge (mit Lösungs- und Wirkprinzipien).
- Innerbetriebliche Fertigungs- und Kostendaten.

Besonders interessant sind dabei unternehmensinterne Lösungsarchive, die auf den Ergebnissen der im Unternehmen durchgeführten Entwicklungen beruhen. Obwohl diese Archive oft sehr umfangreich sind, sind sie selten nutzungsorientiert strukturiert und werden meist nur von den Mitarbeitern eingesetzt, die bereits längere Zeit im Unternehmen sind und die Lösungen im Archiv aus eigener Erfahrung kennen (GÖKER 1996, S. 92). Die Erstellung eines umfangreichen Lösungsspeichers muss sich über einen längeren Zeitraum erstrecken und ist mit großem Aufwand verbunden. Die mangelnde Flexibilität im Einsatz und das Erweitern und Warten von Lösungsspeichern stellen allerdings wesentliche Schwachpunkte bisheriger Ansätze dar, die durch Rechnerunterstützung nur zum Teil behoben wurden.

Ein optimaler Lösungsspeicher soll nach GÖKER (1996, S. 93) die Flexibilität und Erweiterbarkeit des menschlichen Gedächtnisses haben und den Entwickler unterstützen, ohne irgendeinen zusätzlichen Aufwand zu bedingen. BEITZ (1995, S. 74f) sieht in der Nutzung von Lösungsspeichern einerseits eine Erleichterung der Informationsbeschaffung, andererseits bedingt durch das größere Informationsangebot einen erhöhten Aufwand in der Auswahl und Bewertung.

2.5.4.1.2 Ideenspeicher

In der Konstruktionslandkarte von SCHRODA & SACHSE (2000, S. 48ff) werden einzelne Arbeitsschritte, wichtige Entscheidungen und Meilensteine dokumentiert, um mehr Transparenz im Entwicklungsprozess zu schaffen. Vermerkt werden darin auch verworfene Lösungen und Umwege, um Wiederholungsfehler bei ähnlichen Konstruktionsaufträgen zu vermeiden. Dadurch soll eine Erhöhung der Qualität sowie eine Beschleunigung der Produktentwicklung erreicht werden.

Der Grundbaustein des Systems PROSUS (BLESSING & BALL 1997, S. 271ff) ist eine Matrix, die das Handwerkszeug der Entwickler darstellt und mit der sich der Entwicklungsprozess abbilden lässt. Dieses System unterstützt die methodische Vorgehensweise und die strukturierte Dokumentation. Darüber hinaus soll es die Kommunikation und Zusammenarbeit entscheidend verbessern indem es kontext-abhängige Ratschläge bezüglich Projektdaten und der Vorgehensweise bereit und wichtige Aktivitäten und Entscheidungen fest hält.

Die Software PROSECCO (Programm zur strukturierten Erfassung von Konstruktionsdaten) unterstützt den Entwickler in der Konzeptphase bei der Erstellung der Anforderungsliste sowie bei der Erzeugung und Bewertung von Varianten (BERG ET AL. 1999). Die Varianten werden dabei in einer Datenbank abgelegt und können auf sogenannten Datenblättern ausgedruckt werden. Eine Bewertung wird erst nach Eingabe aller Varianten durchgeführt und das Ergebnis auf separaten Ausdrucken dokumentiert.

KURZ (1998, S. 91) hat eine Datenbank verworfener Ideen (DAVID) entwickelt, in der Ideen aufgenommen werden, die in einer kreativen Sitzung erarbeitet worden sind und nicht für die

Realisierung ausgewählt wurden. Es werden in dieser Datenbank Ideen gespeichert, deren Umsetzung an den aktuellen Rahmenbedingungen (Preisen, Gesetzen, Marktbedürfnissen, Stand der Technik, ...) scheitert, die prinzipiell aber funktionieren. Ziel der Speicherung ist das Wiederaufgreifen dieser Ideen, wenn veränderte Rahmenbedingungen eine Umsetzung ermöglichen.

Die Informationen werden in der Regel zeitversetzt in die Datenbanken übertragen, wobei es zu Informationsverlusten kommen kann¹.

2.5.4.2 Wissensbasierte Systeme

Der Begriff Expertensysteme bezeichnet nach SCHNEIDER (1989, S. 325) ein intelligentes Computerprogramm, das Wissen und ein Problemlösungsverfahren benutzt, um Probleme zu lösen, die immerhin so schwierig sind, dass ihre Lösung ein beträchtliches menschliches Fachwissen erfordert. Derartige wissensbasierte Systeme verfolgen laut SPUR (1996, S. 62) das Ziel, menschliche Problemlösefähigkeiten im Rechner nachzubilden. Sie verfügen über die Komponenten Wissensakquisition, Wissensrepräsentation, Wissenspräsentation und Datenanalyse, um Wissen zu sammeln, darzustellen, zu speichern und zu verarbeiten.

Die Wissensakquisition (RUDOLPH 1995) umfasst das gesamte vorhandene bzw. zugängliche Fachwissen innerhalb eines bestimmten Wissensgebietes. Die dadurch ermittelten Fakten und Regeln müssen dann zur Aufnahme in eine Wissensbasis noch aufbereitet und so strukturiert werden, dass sie vom Expertensystem verarbeitet werden können. Problematisch dabei ist, dass nur solche Wissensgebiete abgebildet werden können, in denen eine Aufbereitung der Daten in geeigneter Weise möglich ist. Eine weitere Begrenzung ergibt sich, da nur auf bereits vorhandenes Wissen zurückgegriffen wird. Wissenstransfer aus anderen Disziplinen, der für innovative Produkte ebenso erforderlich sein kann, wird dagegen nicht unterstützt. ELSNER & SOCK (1998) bezeichnen wissensbasierte Systeme daher als lebendig und dynamisch, deren Anwendung nur interessant ist, wenn die abgelegten Informationen aktuell und vollständig sind.

2.5.4.3 EDM-Systeme

EDM-Systeme² (Engineering Data Management) werden zur produktbegleitenden Dokumentation und der Unterstützung der Entwicklungs- und Konstruktionsarbeit eingesetzt. Sie optimieren den Datenfluss im gesamten Unternehmen und erhöhen die Verfügbarkeit von Informationen für alle am Produktentwicklungsprozess beteiligten Instanzen. Dabei unterstützen sie in erster Linie die ganzheitliche Verwaltung aller Daten sowie technischer Dokumente, die bei der Entwicklung neuer Produkte oder der Aktualisierung bisheriger Produkte anfallen, bearbeitet und weitergeleitet werden müssen.

¹ Z.B. durch eine Fehlinterpretation von Skizzen, die bei der Lösungssuche erstellt aber nicht ausreichend beschriftet worden sind oder durch nur teilweises Übertragen von Informationen.

² Die Bezeichnung EDM wird als Synonym zum Begriff Produktdaten-Management (PDM) verwendet (KRAUSE ET AL. (1996, S. 109).

Sie gewährleisten eine schnelle Verfügbarkeit aktueller Daten, und eignen sich insbesondere bei großen Datenmengen, unterschiedlichen Datentypen sowie einer großen Anzahl von Benutzern, die aus unterschiedlichen Bereichen (Vertrieb, Konstruktion, Fertigung) stammen, räumlich verteilt sein können oder unterschiedliche Sprachen verwenden (MEERKAMM ET AL. 2000). Dies führt in der Summe zu einer verbesserten Datenqualität, zu einer verbesserten Datenkonsistenz und zu einer größeren Transparenz, da jedes Mitglied des Entwicklungsteams auf sämtliche im Prozess erzeugten Daten Zugriff besitzt. EDM-Systeme erlauben eine gezielte Suche oder auch ein „Stöbern“ in den Informationen (BÖHMANN & KRČMAR 2001).

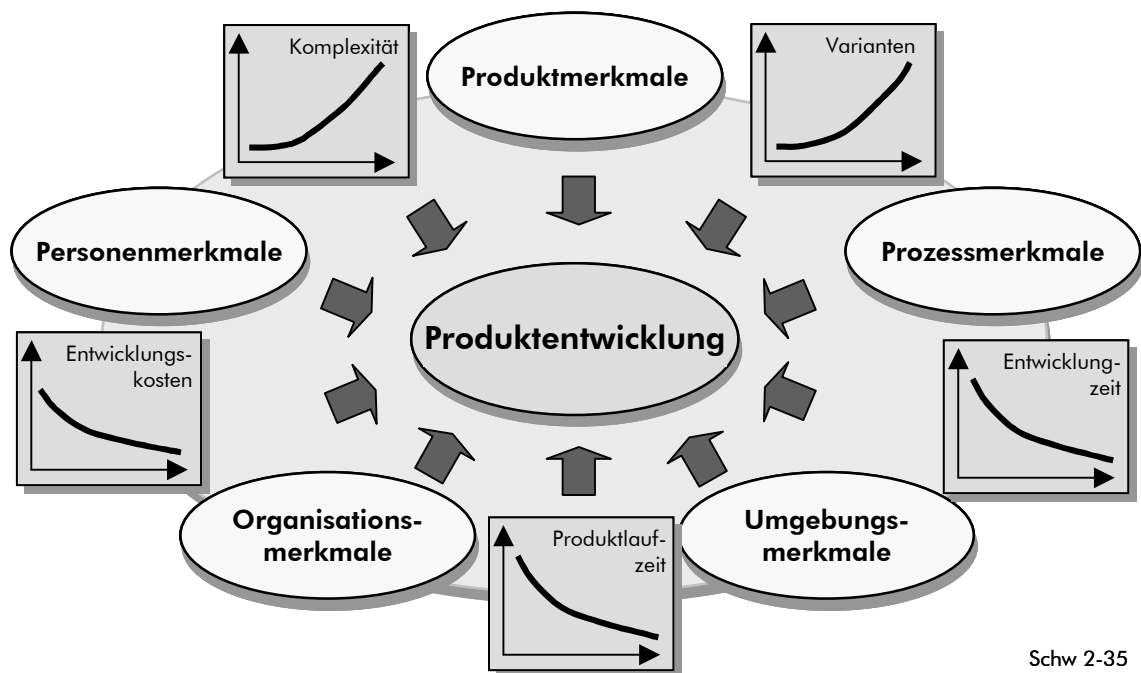
Aus der Vielzahl der am Markt verfügbaren und in Unternehmen eingesetzten Werkzeuge und Hilfsmittel zur Speicherung von Informationen und Wissen wird ersichtlich, welcher hoher Stellenwert damit verbunden ist. Trotz der zahlreichen Ansätze besteht an verschiedenen Stellen noch großer und vielfältiger Optimierungsbedarf.

Im folgenden Kapitel wird der Stand der Technik zusammengefasst und basierend auf verschiedenen identifizierten Schwachstellen im Vorgehen, den angewendeten Methoden und eingesetzten Hilfsmitteln Handlungsbedarf abgeleitet.

2.6 Zusammenfassung – Problemanalyse, Handlungsbedarf und Ziele

2.6.1 Problemanalyse und Handlungsbedarf

Der Entwicklungsprozess stellt hohe Anforderungen an alle Beteiligten. Er ist geprägt von zahlreichen Einflüssen, die aufgrund von Änderungen im Umfeld – Veränderungen am globalen Markt, Veränderungen im Kaufverhalten der Kunden oder der Entwicklung neuer Technologien – selbst einem ständigen Wandel unterworfen sind und erhebliche Auswirkungen auf prozessrelevante Merkmale nach sich ziehen (Abbildung 2-44). Um am Markt bestehen zu können, muss man sich diesen Herausforderungen stellen und die Entwicklung von konkurrenzfähigen Produkten in Angriff nehmen. Prozesse, Methoden und Hilfsmittel der Produktentwicklung sind kontinuierlich zu verbessern, um die Effektivität der Entwicklung erhöhen zu können.



Schw 2-35

Abbildung 2-44: Verschiedene Einflüsse auf die Produktentwicklung (in Anlehnung an MEINDL 1999, S.1-2 und BLESSING 1995, S. 125ff)

Die Komplexität heutiger Produkte nimmt stark zu. Zum einen bedingt durch eine wachsende Anzahl von Anforderungen, die nur sehr schwer zu handhaben ist, durch die steigende Notwendigkeit nach Integration von Funktionen und der zunehmenden Vernetzung einzelner Komponenten (EVERSHEIM ET AL.(1996, S. 44), die in vielen Fällen die Entwicklung im interdisziplinären Team erforderlich macht. Zum anderen, durch die vermehrten Forderungen nach kundenindividuellen Produkten, die zu einer Vielzahl von Produkt- und Prozessvarianten führen. Dazu kommt die Verkürzung der Produktlebenszyklen und eine gesteigerte Innovationsgeschwindigkeit, die dazu führen, dass anspruchsvolle, innovative Produkte in immer kürzerer Zeit entwickelt und produziert werden müssen. Dadurch sind insbesondere die Konstruktions- und Entwicklungsabteilungen gezwungen, mehrere Lösungsvorschläge auszuarbeiten und nachvollziehbare Entscheidungen schnell zu treffen (SCHNEIDER 1989, S. 323), obwohl zahlreiche Einflussgrößen und Randbedingungen berücksichtigt werden müssen. Deshalb sind die vorhandenen Vorgehensmodelle, die eingesetzten Methoden und Werkzeuge kritisch zu hinterfragen und auf die veränderten Randbedingungen anzupassen oder neu zu definieren.

2.6.1.1 Probleme im Vorgehen

Die meisten Entwicklungsprojekte laufen in den wichtigen frühen Phasen üblicherweise wenig strukturiert und im allgemeinen wenig organisiert ab. Ferner sind sie von „adhoc“- Aktionen (STEELE ET AL. 2001, S. 123) geprägt. Dies beginnt bereits in der Phase der Aufgabenklärung, die oftmals nur unzureichend und wenig intensiv durchgeführt wird. Dabei wurde in Kapitel 2 verdeutlicht, dass gerade Entscheidungen in den frühen Phasen eine hohe Bedeutung für den gesamten Entwicklungsprozess besitzen.

Ein derartig unstrukturiertes Vorgehen kann für einen einzelnen Entwickler durchaus noch zielführend¹ sein. Bei umfangreicheren Aufgabenstellungen, die im interdisziplinären Team bearbeitet werden müssen, ist ein solches Vorgehen jedenfalls sehr problematisch, da nur durch die Koordination einzelner Handlungen eine effektive Arbeitsweise (GOLDSCHMIDT 1996) gewährleistet werden kann. Wenn die Entwicklungsaktivitäten unkoordiniert ablaufen, können Abweichungen von einzelnen Teammitgliedern als irrelevant und unangebracht erachtet werden, was die Stimmung schädigen, die Zusammenarbeit stören und letztendlich auch das Ergebnis verschlechtern kann (CROSS & CLAYBURN-CROSS 1996).

Die bekannten Vorgehensmodelle geben einen groben Rahmen vor, wie die Aufgabe in einzelnen Schritten abgearbeitet werden kann. Nach GIAPOULIS ET AL. (1995, S. 477ff) wird ein derartig strukturiertes Vorgehen in der Industrie eher selten angewendet, da in erster Linie folgende Ziele verfolgt werden, die Innovationen nicht gerade fördern:

- Verminderung von Fehlern durch Vermeidung von risikoreichen konstruktiven Schritten.
- Zeitersparnis durch Begrenzung des Lösungsraums.
- Zeitersparnis durch möglichst kleine Gestaltänderungen und kleine Optimierungsschritte.

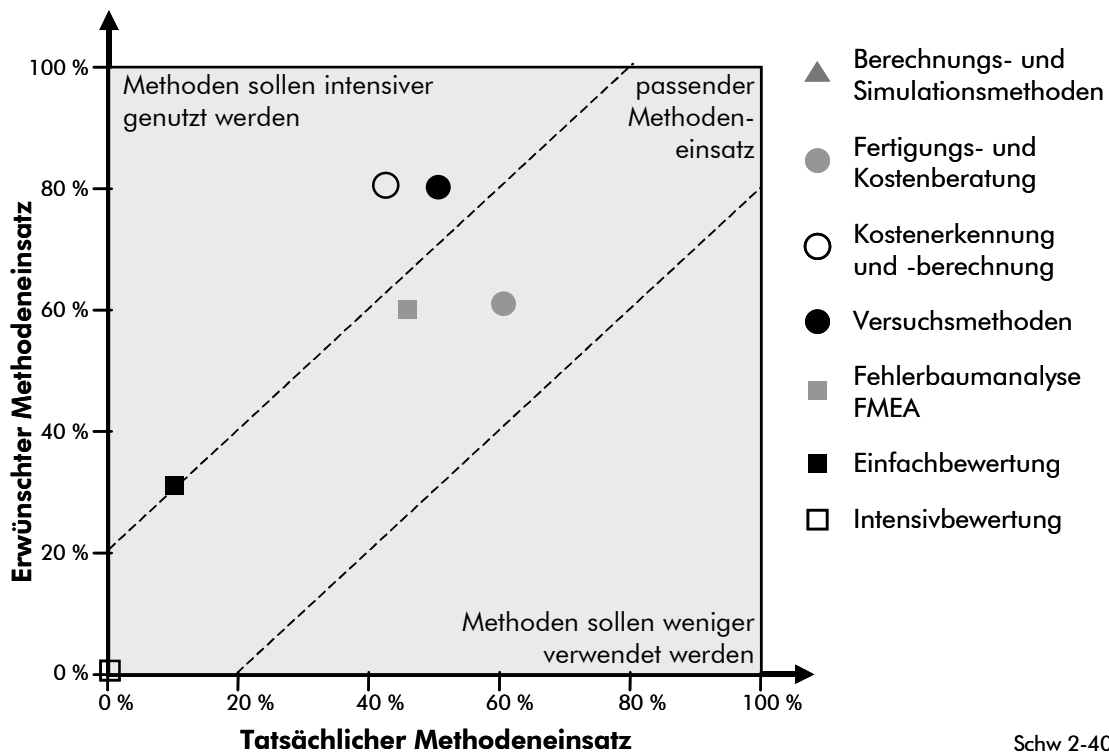
In anderen Fällen orientieren sich die Entwickler an Leitfäden (Richtlinien, Konstruktionshandbüchern, Verfahrensanweisungen mit festen Meilensteinen und Zwischenzielen), die ein sehr starres Befolgen der einzelnen Schritte verordnen. Sie sind sehr unflexibel, schreiben die Anwendung festgelegter Methoden vor und lassen damit eine situative Anpassung nicht zu, mit der auf unerwartet auftretende Störungen geeignet reagiert werden könnte. Dabei ist gerade eine flexible und bedarfsgerechte Anwendung verschiedener Methoden für die Entwicklung innovativer Produkte empfehlenswert (LINDEMANN 2001b, S. 345).

2.6.1.2 Probleme bei der Anwendung von Methoden und mit Hilfsmitteln

HANDENHOVEN & TRASSAERT (1999, S. 153) weisen auf den Kontrast zwischen der exponentiellen Zunahme von neuen Methoden in der akademischen Forschungslandschaft und der nur spärlichen Anwendung in der Industrie hin. Dieser ist in erster Linie mit einem fehlenden Informationsaustausch zu begründen. Trotz der Vielzahl an zur Verfügung stehenden Methoden und Hilfsmitteln werden häufig selbst bekannte Entwicklungsmethoden kaum eingesetzt (GAUSEMEIER & FINK 1997, S. 6), was besonders in den frühen Phasen sehr kritisch ist.

Diese Beobachtung deckt sich auch mit den Aussagen von SCHLÜTER (2001, S. 70), der den Methodeneinsatz in mittelständischen Unternehmen analysiert hat (Abbildung 2-45), sowie den Ergebnissen aus der Umfrage (Kapitel 9.1), die im Vorfeld dieser Arbeit durchgeführt worden ist.

¹ Z.B. er findet auf Anhieb eine gute Idee und setzt diese erfolgreich um, ohne weitere Alternativen zu generieren, zu analysieren oder eine Bewertung durchzuführen.



Schw 2-40

Abbildung 2-45: Methodeneinsatz in mittelständischen Unternehmen (SCHLÜTER 2001, S. 70)

In mehr als der Hälfte der befragten Unternehmen wird im Bereich Konstruktion und Entwicklung nach Aussage der Teilnehmer nicht durchgängig methodisch gearbeitet, obwohl bei einem Großteil der Befragten Konstruktionsmethodik Bestandteil ihrer Ausbildung gewesen ist. Ein breiter Einsatz von Methoden in der industriellen Praxis wird meist dadurch verhindert, dass die Entwickler keine Zeit finden, sich in die Methode einzuarbeiten bzw. sich mit der Wirkungsweise von neuen Methoden vertraut zu machen. Zum anderen wird häufig beklagt, dass der Nutzen einzelner Methoden nicht klar ersichtlich ist und nur schlecht Zugriff auf Informationen über aktuelle Methoden möglich ist.

In der VDI 2221 (1993, S. 32) wird der unbefriedigende Einsatz von Methoden auf die in der Praxis vorhandene Unsicherheit in Bezug auf deren Anwendbarkeit und Aussagekraft zurückgeführt. Die Entscheidung, ob eine Methode angewendet wird, hängt demnach ab von:

- der Qualifikation, Vorbildung und Erfahrung der Mitarbeiter,
- vom Produktprogramm bzw. den zu lösenden Entwicklungs- und Konstruktionsaufgaben,
- von der Größe und Struktur des Unternehmens sowie
- von den Möglichkeiten der Methoden selbst.

Um die Akzeptanz für Methoden und Hilfsmittel steigern zu können, müssen diese an die Bedürfnisse der Entwickler angepasst sein. Bei der Entwicklung von Methoden und Hilfsmitteln muss insbesondere der Zeitaspekt berücksichtigt werden, wie eine Studie von HANDENHOVEN & TRASSAERT (1999, S. 157) zeigt. Der Untersuchung nach ist die Akzeptanz einer Methode, die den Zeitaspekt berücksichtigt, deutlich höher als bei einer Methode, die auf eine Verbesserung der Ergebnisse abzielt.

In diesem Bereich bietet im Entwicklungsprozess gerade die Phase der Analyse großes Potenzial. Die Zeit, die zur Durchführung von umfangreichen Analysen für die Informationsbeschaffung an und für sich erforderlich wäre, ist aber in vielen Fällen nicht vorhanden. Zeit muss aber vorhanden sein, wenn in späteren Phasen Änderungen¹ durchgeführt werden müssen. REINHART & WEIßENBERGER (1997, S. 571f) sehen ein weiteres Problem in der hohen Zeitdifferenz zwischen der Eigenschaftsfestlegung in der Konstruktion und der Evaluierung am Prototyp, die häufig die Ursache für einen langen Entwicklungsregelkreis darstellt. In diesem Kontext fordert DYLLA (1991, S. 151) Analysehilfsmittel, die mit wenig Aufwand Aussagen über qualitativ oder ungefähr quantitativ festgelegte Lösungen ermöglichen, da die Entwickler tendenziell aufwendige Analysen meiden.

Derartige Aussagen, als Ergebnis verschiedener Analysen², sind wiederum wichtige Eingangsgrößen für die Bewertung der Lösungsalternativen (SELL 1998, S. 36), die anhand mehrerer multidisziplinärer Kriterien durchgeführt wird. Je größer die Schärfe der Information (siehe Kapitel 2.5.1) ist, desto unkritischer ist der Bewertungsprozess und desto verlässlicher ist letzten Endes das Ergebnis.

Wie verschiedene Untersuchungen (STETTER 2000, VIERTLBÖCK 2000) gezeigt haben, ist die geeignete Gestaltung von Methoden und Hilfsmitteln entscheidend für die Akzeptanz im industriellen Umfeld. Zur allgemeinen Erhöhung der Akzeptanz fordern VAJNA & WEBER (2000, S. 35ff) eine kontextsensitive Bereitstellung von Methoden und Verfahren und empfehlen dazu die Entwicklung von rechnerunterstützten Methodenbanken.

Der unzureichende Einsatz von Methoden ist umso bemerkenswerter, da Analysen von Produktentwicklungsprozessen im industriellen Umfeld wiederholt gezeigt haben, dass konsequenter Methodeneinsatz zu besseren Ergebnissen führt und somit ein Merkmal der erfolgreicheren Unternehmen ist (LINDEMANN 2001c).

2.6.1.3 Probleme im Bereich der Dokumentation

REINHARDT ET AL. (1997, S. 4) sehen die Ursachen, die einer schnellen Umsetzung von der Produktidee bis zum fertigen Produkt im Wege stehen, in einer mangelnden fachlichen Zusammenarbeit sowie im mangelnden Informationsfluss zwischen den Prozessbeteiligten. Die Handhabung sämtlicher Informationen, die im Laufe eines Entwicklungsprozesses erzeugt werden, wird aufgrund ihrer Menge zunehmend aufwendiger und schwieriger. So weist BERNHART (1987, S. 123) in einer Studie nach, dass ca. 50 Prozent der Arbeitszeit in der Konstruktion für die Beschaffung, Aufbereitung und Weitergabe von Informationen benötigt wird.

Dies wird erschwert, da wichtige Informationen, wenn überhaupt, nur unzureichend dokumentiert werden bzw. die Entwickler keinen oder nur unter sehr großem Aufwand Zugriff

¹ In einer Studie hat PERNICKY (1990, S. 258) festgestellt, dass die betrachteten Konstruktionen beim Übergang in die Produktion noch relativ viele Fehler enthielten, was zu einem hohen Änderungsaufwand vor und nach dem Serienanlauf führt. 50% dieser zeit- und kostenintensiven Änderungen konnten auf Konstruktionsmängel zurückgeführt werden.

² DYLLA (1991, S. 151) betont die hohe Bedeutung der Analyse im Bezug auf die Güte der Konstruktion.

darauf haben. Derartiger Informationsmangel ist in sämtlichen Phasen der Entwicklung auszumachen, und führt nach FRANKENBERGER (2001, S. 115ff) zur „*reinvention of the wheel*“.

Dies beginnt bei fehlenden Informationen über die Aufgabenstellung, einer mangelnden Beschreibung von Lösungsalternativen und der Begründung der erarbeiteten Bewertungsergebnisse und geht bis zu einer unzureichenden Dokumentation des gesamten Entwicklungsprozesses, anhand derer wichtige Entscheidungen nachvollzogen¹ werden können.

VAJNA & WEBER (2000, S. 37) empfehlen zur Verbesserung des Informationsmanagements die Entwicklung von allgemeinen Werkzeugen und Vorgehensweisen, mit denen vorhandene Kataloge² mit Lösungselementen vom jeweiligen Anwender aufgebaut, angepasst und um eigene Elemente erweitert werden können. Außerdem fordern sie einfache Verfahren zur prozessbegleitenden Akquisition, Pflege und Verteilung von Wissen.

2.6.2 Ziele

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, ein flexibel anwendbares und einfach aufgebautes Vorgehensmodell zur Unterstützung sämtlicher Tätigkeiten in der frühen Phasen der Produktentwicklung zu definieren, das die folgenden Bereiche umfasst:

- Anforderungskklärung,
- Parameteridentifizierung und -strukturierung,
- Lösungssuche,
- Frühzeitige Absicherung, Bewertung und Festlegung von Lösungen.

Daneben sollen Hilfsmittel zur Unterstützung des Ideenmanagements, der prozessbegleitenden Dokumentation sowie zur Auswahl von Analysemethoden erarbeitet werden. Damit sollen sämtliche Schritte des Erweiterten Vorgehensmodells unterstützt, der Informationsfluss verbessert sowie der Methodeneinsatz forciert werden.

Durch dieses Erweiterte Vorgehensmodell, das rasch und aufwandsarm an sich ändernde Randbedingungen angepasst werden kann, sollen die Aktivitäten zur Informationsbeschaffung in den bedeutenden frühen Phasen verstärkt werden. Der Entwickler bzw. das Entwicklungsteam kann sich an den vorgeschlagenen Schritten orientieren und die entwickelten Methoden und Hilfsmittel situativ einsetzen. Die intensive Auseinandersetzung mit den Anforderungen und den produktbestimmenden Parametern, eine umfassende Lösungssuche und die ausführliche und sofortige Analyse hilft, eine Vielzahl an wichtigen Informationen bereits sehr früh im Entwicklungsprozess zu generieren. Dieses Mehr an Informationen erleichtert die Auswahl und Festlegung von innovativen Lösungen, trägt zum frühzeitigen Erkennen von Fehlern bei und hilft somit, große Iterationsschleifen sowie zeit- und kostenintensive Änderungen in späten Phasen der Entwicklungen zu vermeiden.

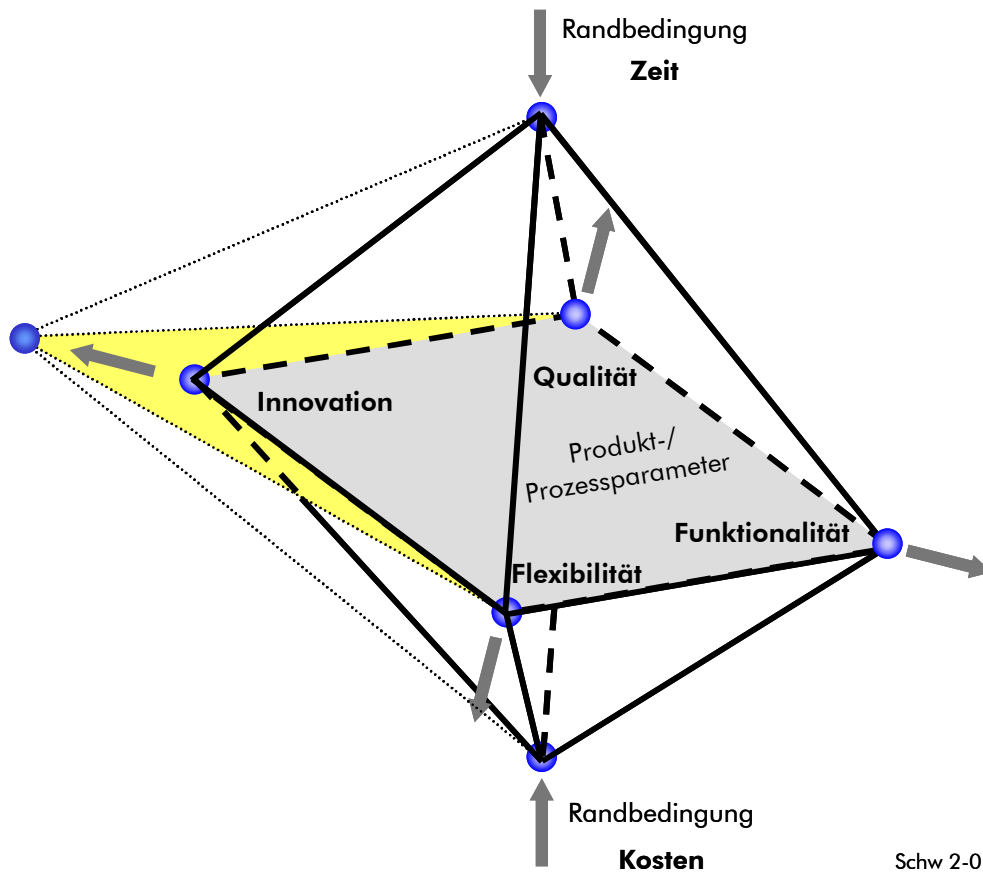
¹ Die Nachvollziehbarkeit von Entscheidungen ist auch im Sinne eines Wissensrückflusses (JENSEN 1998) von abgeschlossenen in neue Projekte von Interesse.

² Bisher werden derartige Kataloge nur für ausgewählte Produktfamilien und für die Ausarbeitungs- und Detailierungsphase angeboten.

Durch die verbesserte Entscheidungssicherheit, die mit den abgesicherten Informationen einhergeht, durch die Unterstützung bei der Auswahl geeigneter Methoden sowie der Möglichkeit, auf Informationen (Ideen) aus anderen Projekten zurückzugreifen, wird eine deutliche Entlastung der Entwickler angestrebt.

Das Erweiterte Vorgehensmodell zielt darauf ab, nicht nur die drei wesentlichen Erfolgsfaktoren (DANNER 1996, S. 2) Zeit, Kosten und Qualität zu beeinflussen (Abbildung 2-46). Darüber hinaus soll außerdem:

- die Flexibilität der Entwicklung selbst deutlich verbessert werden, nach GIERHARDT (2001) ein bedeutender Erfolgsfaktor im globalen Wettbewerb.
- die Innovationskraft gesteigert werden, die die Entwicklung neuer, am Markt erfolgreicher Produkte ermöglicht.
- die Funktionalität der Produkte gesteigert werden, die zu einer großen Kundenzufriedenheit führt.



Schw 2-01

Abbildung 2-46: Beeinflussung der bedeutenden Erfolgsfaktoren

3 Erweitertes Vorgehensmodell für die frühen Phasen

Im Folgenden wird ein Erweitertes Vorgehensmodell zur Unterstützung der frühen Phasen der Integrierten Produktentwicklung vorgestellt, das die Bereiche Aufgabenklärung, Lösungssuche und –absicherung umfasst.

3.1 Anforderungen und Ziele

Das Erweiterte Vorgehensmodell (Abbildung 3-2) zur Unterstützung der frühen Phasen der Integrierten Produktentwicklung kombiniert verschiedene Teilschritte und Teilelemente aus den im Kapitel 2 beschriebenen Vorgehensmodellen und Methoden. Es ergänzt diese um neue Elemente, deren Bedarf in einer Reihe von Produktentwicklungsprojekten (siehe Kapitel 6 und Kapitel 9.2) sowie anhand der Auswertung verschiedener Literaturstellen identifiziert worden ist.

Das Erweiterte Vorgehensmodell soll sämtliche Tätigkeiten von der Aufgabenklärung bis zur Absicherung der erarbeiteten Lösungen unterstützen. Dabei liegt die Betonung auf einem iterativen Vorgehen mit forcierter, aber bedarfsgerechter Anwendung von einfachen Methoden und Hilfsmitteln zur frühzeitigen und umfangreichen Informationsbeschaffung und -absicherung. Diese frühzeitig im Entwicklungsprozess generierten und abgesicherten Informationen führen zu einer Erkenntnisvorverlagerung und damit einhergehend zu mehr Sicherheit bei den Entwicklern, z.B. beim Fällen kritischer Entscheidungen. Dadurch lässt sich die Wahrscheinlichkeit für fehlerbedingte Probleme in den nachgelagerten Prozessschritten¹ drastisch reduzieren und das Entwicklungsrisiko insgesamt verringern. Dieses Mehr an Informationen ermöglicht eine bessere Problemdefinition und ein besseres Problemverständnis und unterstützt dadurch ein sehr zielgerichtetes und produktives Vorgehen² in allen folgenden Teilschritten des Produkterstellungsprozesses.

Frühzeitig generierte und abgesicherte Informationen sind auch für eine breit angelegte Lösungssuche und die fundierte Beurteilung der erarbeiteten Lösungsvarianten von entscheidender Bedeutung. Sie erleichtern auf Basis verifizierter Sachverhalte die Auswahl und Umsetzung der aussichtsreichsten Lösungen in erfolgreiche Produkte. Aus Kapitel 1 und 2 lassen sich eine Reihe von Thesen und Aussagen ableiten, die die Erfahrungen aus den durchgeführten Projekten (Kapitel 6 und 9.2) untermauern und bei der Definition des Erweiterten Vorgehensmodells berücksichtigt worden sind. Diese können eingeteilt werden in strategische und allgemeine, sowie Thesen zu erforderlichen Randbedingungen und zum Thema Wissen. Wichtige Thesen und Aussagen, die eine Intensivierung der Tätigkeiten in den frühen Phasen,

¹ Frühzeitig generierte Informationen stellen auch einen wertvollen Input für die Aufgaben und Tätigkeiten der weiteren Phasen des Produkterstellungsprozesses dar, die im Rahmen dieser Arbeit nicht mehr betrachtet werden, z.B. für die detaillierten Ausarbeitung (z.B. in Form der Erstellung von Fertigungsunterlagen) oder die Vorbereitungen für die Serienfertigung.

² Nach REINKING (1987, S. 58) liefern alle Tätigkeiten, die den Umfang der vorhandenen Informationen zielgerichtet vergrößern, einen Beitrag zur Produktivitätssteigerung. Er definiert als Produktivität der Entwicklung die Menge der erarbeiteten Informationen.

die Notwendigkeit zahlreicher Lösungsvorschläge und die Bedeutung der Dokumentation begründen, sind folgende:

- Personelle und finanzielle Ressourcen sowie Sachmittel, die bisher zur Fehlerbehebung nach Produktionsbeginn eingesetzt wurden, sollen in die frühen Phasen umgeschichtet werden (PFEIFFER ET AL. 1996). Dadurch wird die Entwicklung von qualitativ hochwertigen Produkten bei in der Summe kürzeren Produktentwicklungszeiten und insgesamt geringeren Kosten ermöglicht (BOCHTLER 1996, S. 76).
- Die Lösungsgüte kann durch sorgfältiges Analysieren der Aufgabe und Eigenschaften der erarbeiteten Lösungen deutlich gesteigert werden (DYLLA 1991, MATTHEWS 1998).
- Die Basis für innovative Produkte und Prozesse sowie neue Technologien sind eine Vielzahl von Ideen, aus denen die verantwortlichen Entwickler geeignete auswählen und weiter detaillieren können.
- Informationsmangel ist in sämtlichen Phasen der Entwicklung auszumachen. Wichtige Informationen werden häufig nur unzureichend dokumentiert bzw. die Entwickler haben keinen oder nur unter sehr großem Aufwand Zugriff darauf (FRANKENBERGER 2001).

Aus den Thesen lassen sich wiederum Anforderungen ableiten, die bei der Entwicklung des Erweiterten Vorgehensmodells berücksichtigt worden sind:

Tabelle 3-1: Elementare Anforderungen an das Erweiterte Vorgehensmodell

Allgemeine Anforderungen an das Erweiterte Vorgehensmodell
Unterstützung der Entwickler in den frühen Phasen der Produktentwicklung durch ein Vorgehensmodell
Flexible Anpassung des Vorgehens an die zu bearbeitende Aufgabe und die Randbedingungen
Positive Beeinflussung der Erfolgsfaktoren Zeit, Kosten und Qualität
Förderung der Innovationskraft
Reduzierung des Entwicklungsrisikos
Verringerung der Zahl von Änderungen in späteren Phasen der Produktentwicklung
Wiederverwendung und Transfer von Wissen für Anwendungen in neuen oder verwandten Problemlösungsdomänen
Verbesserung der Nachvollziehbarkeit von Produktentstehungsprozessen
Anforderungen an Methoden und Hilfsmittel
Praxisgerecht, an der Arbeitsweise des Entwicklers orientiert
Praktikabel: einfach und flexibel in der Handhabung
Schnelle, bedarfsgerechte und problembezogene Anwendung
Verständliche Beschreibung
Bereitstellung von Methoden und Hilfsmitteln, die alternativ eingesetzt werden können.
Randbedingungen, Voraussetzungen
Schaffung einer offenen Kultur, bei der Ideen untereinander ausgetauscht werden und ein Informations- und Wissenstransfer stattfindet und aktiv gelebt wird
Bereitstellung ausreichender Ressourcen für die Durchführung von Innovationsprozessen
Sicherung einer hohen Kreativität der Führungskräfte und Mitarbeiter
Sorgfältige Pflege und Aktualisierung der prozessbegleitenden Dokumentation

Aufgrund der Vielfalt an unterschiedlichen Aufgabenstellungen, mit denen die Entwickler heutzutage konfrontiert werden (z.B. Einzelfertigung – Massenfertigung), den verschiedenen Randbedingungen in den Unternehmen (Kleinunternehmen – Großbetrieb, Hersteller – Zulieferer), muss das Modell sehr allgemein formuliert werden, um verschiedenen Anforderungen gerecht werden zu können und für unterschiedlichste Problemstellungen anwendbar zu sein. Nur so ist ein breiter Einsatz gewährleistet. Daher soll dieses Erweiterte Vorgehensmodell einen Weg aufzeigen, wie in den frühen Phasen der Produktentwicklung vorgegangen werden kann, welche Methoden und Werkzeuge geeignet sind, die Entwicklung von qualitativ hochwertigen, innovativen Produkten zu unterstützenden.

3.2 Kernelemente des Modells

Das Erweiterte Vorgehensmodell basiert auf den folgenden drei Säulen (Abbildung 3-1):

- Dem zielführenden und hochflexiblen Vorgehen in den frühen Phasen,
- geeigneten Methoden und
- einfach handhabbaren Werkzeugen und Hilfsmitteln,

die den Entwickler bzw. das Entwicklungsteam bei der erfolgreichen Bearbeitung der Aufgabenstellung unterstützen.

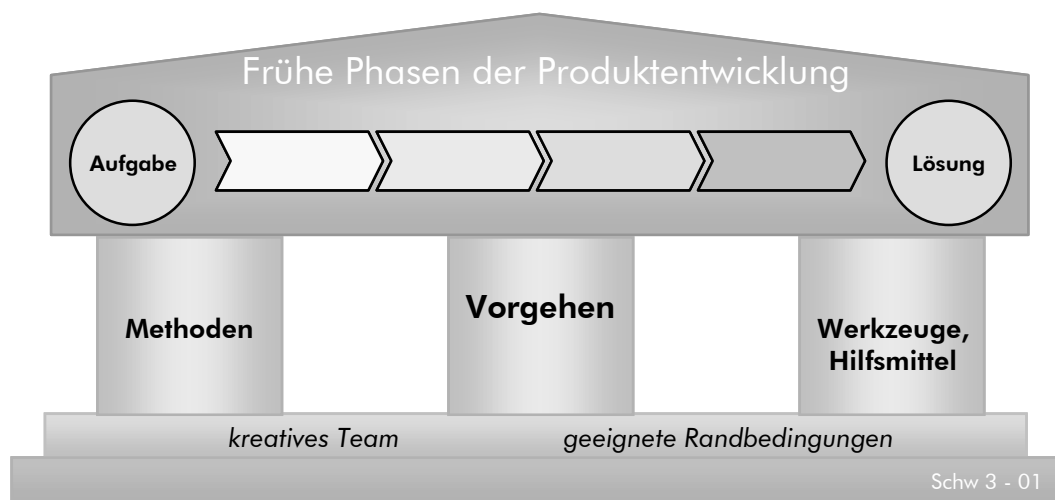


Abbildung 3-1: Grundelemente des Modells zur Unterstützung der frühen Phasen

Das Vorgehensmodell beschreibt verschiedene Tätigkeiten, die auf dem Weg von der Aufgabenstellung bis zur Lösung abzuarbeiten sind.

Dazu wird in Anlehnung an die bekannten Vorgehensmodelle von den elementaren Teilschritten nur ein grober Weg als orientierende Richtschnur vorgegeben, auf eine genaue Festlegung¹ von einzuhaltenden Arbeitsschritten und Iterationen wird verzichtet. Ein situatives Vor-

¹ Nach GIAPOULIS ET AL. (1995, S. 478) ist eine genaue Festlegung am Anfang des Prozesses weder möglich noch effektiv.

und Zurückspringen innerhalb der Teilschritte, bzw. von einem in den nächsten und die wiederholte Bearbeitung mit unterschiedlicher Intensität, soll eine bedarfsgerechte Reaktion auf die jeweiligen Belange der Aufgabenstellungen und die gerade vorliegenden Randbedingungen erlauben. Je nach Art der Aufgabenstellung erfordern einzelne Tätigkeiten einen unterschiedlichen Einsatz von Methoden und Hilfsmitteln und führen zu unterschiedlichen Anstrengungen, d.h. die Intensität der Bearbeitung kann problemspezifisch angepasst werden. Die Intensität der Bearbeitung kann dabei auch gegen Null gehen, d.h. eine Tätigkeit wird übersprungen und bei Bedarf erst in einer späteren Iterationsschleife ausgeführt.

Das skizzierte Vorgehensmodell betont also ein iteratives Vorgehen in kleinen Schritten und ist gekennzeichnet durch eine größtmögliche Flexibilität im Ablauf der jeweiligen Tätigkeiten. So wird beispielsweise im Anschluss an die Lösungssuche umgehend eine erste Analyse in Form einer Diskussion und unter Einsatz einfachster Modelle durchgeführt, die frühzeitige Aussagen über das Funktionsverhalten erlauben. Diese Informationen fließen in einer ersten Iteration sofort wieder in die Lösungssuche¹ mit ein und heben das Informationsniveau an.

Den einzelnen Tätigkeiten, die das Erweiterte Vorgehensmodell beschreibt, werden jeweils mehrere Methoden und Werkzeuge zugeordnet, deren Anwendung am besten unternehmensspezifisch (bzw. abteilungsspezifisch) erfolgt. Aus dem Pool von Methoden, der im wissenschaftlichen Umfeld und zum Teil auch in der Industrie vorhanden ist, sollen je nach persönlicher Erfahrung und Vorlieben für jede der anfallenden Tätigkeiten Methoden ausgewählt und sämtliche erforderlichen Unterlagen und Hilfsmittel aufbereitet zur Verfügung gestellt werden, damit diese bei Bedarf schnell angewendet werden können. In diesem Zusammenhang ist es von Vorteil, für jede Tätigkeit mehrere alternativ anzuwendende Methoden² vorzugeben, aus denen dann die am geeignetsten erscheinende gewählt wird. Hier sind bewusst auch einfache Methoden zu bevorzugen, die leicht zu erlernen, einfach anwendbar und flexibel anpassbar sind. Wie im Stand der Technik ausgeführt worden ist, sind dies wichtige Voraussetzungen für die Akzeptanz³ von Methoden.

Folgende Abbildung zeigt das Erweiterte Vorgehensmodell mit einzelnen Prozessschritten und relevanten Tätigkeiten sowie den jeweiligen Ergebnissen und Festlegungen, die daraus resultieren. Zur Unterstützung sämtlicher Tätigkeiten steht ein Pool von Methoden und Hilfsmitteln zur Verfügung.

¹ Die Tätigkeit Lösungssuche wird in diesem Sinne nicht unterbrochen. WIENDAHL & FRANKEN (1997, S. 576) weisen darauf hin, dass Arbeitsvorgänge sich erfahrungsgemäß um so mehr verlängern, je öfter sie unterbrochen werden.

² Hier sei auf die ausführliche Beschreibung ausgewählter Methoden in Kapitel 2 verwiesen.

³ HANDENHOVEN & TRASSAERT (1999, S. 157).

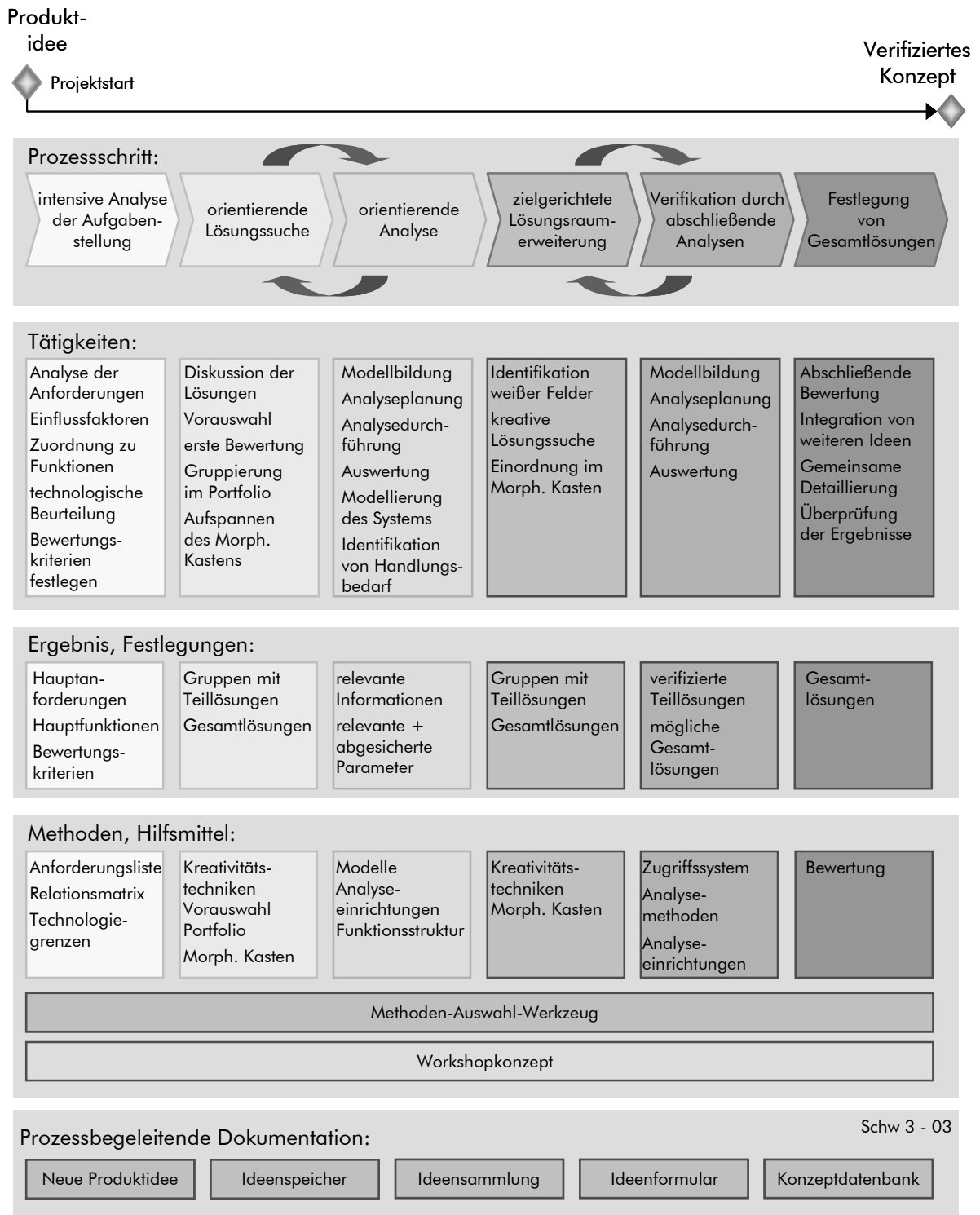


Abbildung 3-2: Erweitertes Vorgehensmodell zur Unterstützung der frühen Phasen

3.2.1 Einsatzbereich

Der Einsatz des Erweiterten Vorgehensmodells bietet sich vor allem bei umfangreichen und anspruchsvollen Aufgabenstellungen an, bei denen die Entwicklung innovativer Produkte im Vordergrund steht und die dafür erforderlichen Kapazitäten vom Unternehmen auch bereitgestellt werden. Beispiele dafür sind:

- Produktneuentwicklungen ohne Vorgängerprodukte
- Produkte, die sich auf hohem Niveau etabliert haben und sich bereits in der dritten Phase ihrer Evolutionskurve befinden. Bei diesen können entscheidende Verbesserungen nur noch durch eine Substitution, durch einen Übergang in ein neues System erreicht werden.
- Produkte, die technisch noch nicht ausgereizt sind, bei denen aber deutliche Verbesserungen in relevanten Kennziffern gefordert sind und verschiedene, einflussreiche Parameter optimiert werden müssen.
- Die Einarbeitung in bisher unbekannte Themengebiete, die zur erfolgreichen Erschließung neuer Marktsegmente erforderlich ist. Wissen und Erfahrung über die Produkte sind nicht verfügbar, können aber durchaus schon anderweitig vorhanden sein, z.B. bei konkurrierenden Unternehmen. Dieser Fall tritt auch auf, wenn sich neue Mitarbeiter in das vorhandene Produktspektrum einarbeiten müssen. Der Prozess der Informationsgewinnung ist in diesem Fall natürlich weniger aufwendig, da Kollegen konsultiert und firmeninterne Unterlagen eingesehen werden können.

3.2.2 Auswahl einer Potenzialidee aus dem Ideenpool

Entscheidungsträger in Unternehmen sind ständig gezwungen, sich über neue Produkte, den Einsatz neuer Technologien und die Entwicklung der Märkte in der Zukunft Gedanken zu machen. Die Entscheidung, welche der vorhandenen Potenzialideen weiter verfolgt, welche Produkte neu entwickelt und welche Produktsegmente neu geschaffen oder ausgebaut werden, ist Aufgabe des Managements und erfordert strategischen Weitblick, bei dem zahlreiche Faktoren berücksichtigt werden müssen.

Im günstigsten Fall können die Entscheidungsträger auf einen unternehmensweiten Pool¹ vorhandener Ideen für neue und innovative Produkte zurückgreifen, aus denen geeignete ausgewählt werden. Zum Füllen eines solchen Ideenpools sind neben den Mitarbeitern aus dem Marketing oder der Vorentwicklung auch alle weiteren Mitarbeiter eines Unternehmens gefordert. Ideen werden, versehen mit einer aussagekräftigen Beschreibung und relevanten Informationen, in diesen Speicher eingetragen. Dabei wird auch eine erste Beurteilung der Idee

¹ Durch Intensivierung der Lösungssuche steigt die Zahl der generierten Lösungen, die in derartige Ideenpools eingepflegt werden können. Hier sind auch Ideen interessant, die von außen an das Unternehmen herangetragen werden bzw. dem Bereich des Marketings entstammen. Eine genauere Beschreibung dieses Vorgangs und die rechnerische Umsetzung sind in Kapitel 4.3 dokumentiert.

vorgenommen, indem Kriterien wie Innovationsgrad, Umsetzungsaufwand oder das Marktpotenzial mit abgefragt werden (Abbildung 3-3).

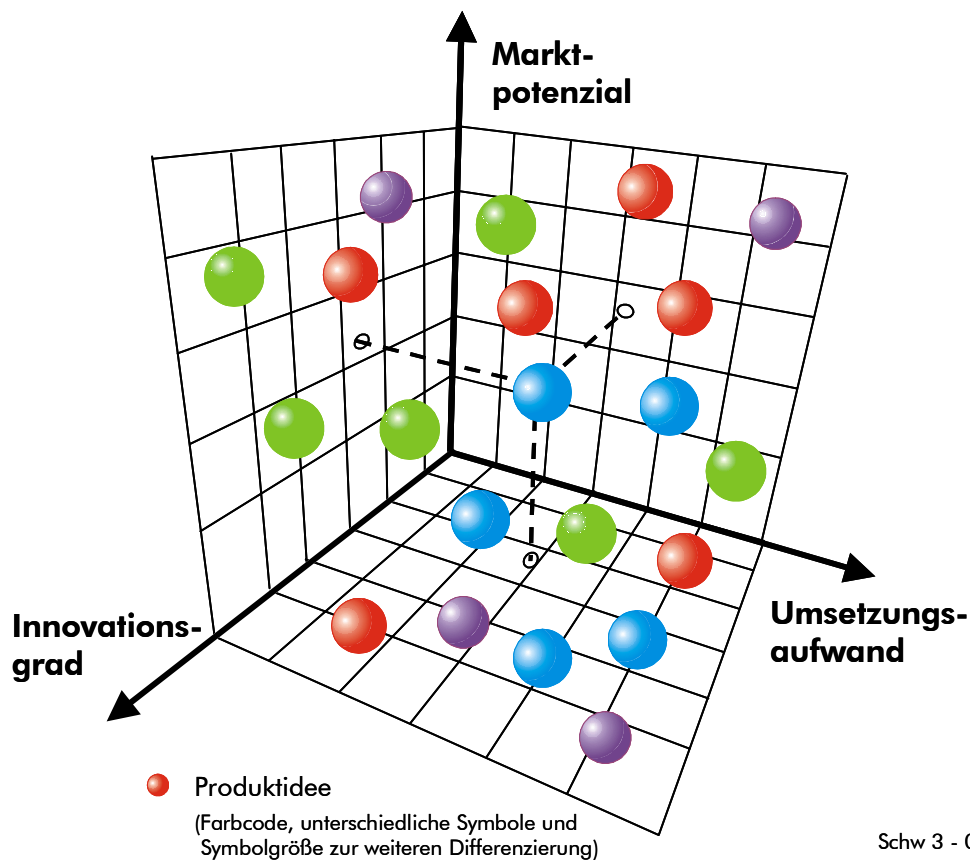


Abbildung 3-3: Im Unternehmen vorhandener Ideenpool

Darüber hinaus kann eine differenziertere Klassifizierung nach Kriterien¹ wie der Erfahrung mit der zugrundeliegenden Technologie, dem Grad der Kundenrelevanz oder einer Differenzierung zum vorhandenen Produktspektrum durchgeführt werden.

Die Beurteilung ist aber von vielen unterschiedlichen Faktoren abhängig und muss deshalb immer unter Berücksichtigung der im Unternehmen vorhandenen Randbedingungen erfolgen.

Wird die Entscheidung gefällt, eine neue Idee umzusetzen und ein neues Produkt zu entwickeln, führt dies in der Regel zum Start eines klar umrissenen Projekts mit definierten Aufgaben und Verantwortungen sowie einer terminlichen Planung.

In den folgenden Kapiteln werden elementare Tätigkeiten eingehend erläutert, die das Vorgehen in den wichtigen frühen Phasen unterstützen. Im Kapitel 4 werden verschiedene Werkzeuge zur Unterstützung der Dokumentation in den unterschiedlichen Prozessschritten vorge-

¹ KURZ (1998, S. 36) unterscheidet den Neuheitsgrad für das Unternehmen und für den Markt; beim Ansatz zur Bewertung der Zukunftsträchtigkeit einer Idee von PELZER (1999, S. 56) wird das Potenzial einer Lösung anhand Kriterien wie Kostenführerschaft und Image sowie der Möglichkeit zur Differenzierung und späteren Weiterentwicklung beurteilt. KLOCKE ET AL. (1999, S. 18) schlagen ein Modell zur Technologiebewertung vor, bei dem die Attraktivität einer Technologie (z.B. technische Eignung, Umweltverträglichkeit) in Beziehung zum Nutzen für das Unternehmen (Kundenwirkung, Anwendungsbreite) betrachtet wird.

stellt. In Kapitel 5 wird ein Rechnerwerkzeug beschrieben, das den Entwickler bei der Auswahl von Methoden unterstützt.

3.3 Intensivierte Analyse von Aufgabenstellung und Anforderungen

3.3.1 Notwendigkeit und Ziele eines intensivierten Vorgehens

Die intensive Analyse einer komplexen Aufgabenstellung¹ und der gestellten Anforderungen zu Beginn der Entwicklung ist sehr wichtig, damit die Bedürfnisse des Kunden mit den restlichen Anforderungen in Einklang gebracht werden können (LINDEMANN ET AL. 2000).

Aufbauend auf dieser Situationsanalyse kann eine Zielformulierung für das gesamte weitere Vorgehen abgeleitet, Handlungsbedarf identifiziert und eine Vorgehensstrategie festgelegt werden, die eine Integration der gestellten Forderungen und Wünsche in ein schlüssiges Gesamtkonzept ermöglicht. Dies umfasst das Zusammentragen und Auswerten aller verfügbaren Informationen (VDI 2221 1993, S. 10) sowie das frühzeitige Generieren von zusätzlichen Informationen, die für das weitere Vorgehen von entscheidender Bedeutung sind (BERNARD 1999, S. 50). Diese intensiviert Auseinandersetzung mit der Aufgabenstellung führt zu einem vorteilhaften, weil einheitlichem Problemverständnis² aller an der Entwicklung beteiligten Personen und zu mehr Sicherheit in den Entscheidungen, deren Qualität in hohem Maße über Erfolg oder Misserfolg bestimmt (GERHARD, S. 98). Darüber hinaus wird durch eine klare Strukturierung der Aufgabe in überschaubare Teilprobleme die Komplexität beherrschbar (RAMPERSAD 1994) und eine erste Definition geeigneter Suchfelder möglich.

Darauf aufbauend kann auch die Ideenfindung unter Anwendung geeigneter Methoden zielgerichteter durchgeführt werden und die Chance steigt, eine gute Lösung zu finden.

3.3.2 Vorgehen bei der Analyse der Aufgabenstellung

In der Regel sind Anforderungslisten, mit denen der Entwickler konfrontiert wird bzw. die er unter Einsatz von Checklisten erarbeitet, aufgrund der Komplexität der zu entwickelnden Produkte so umfangreich, dass es für den Einzelnen schwierig wird, sämtliche Anforderungen im Blickfeld zu haben. Daher ist auch eine adäquate Handhabung problematisch und es kann dazu führen, dass einzelne Anforderungen übersehen und nicht beachtet³ werden.

¹ Für deren Bearbeitung ist dieses Erweiterte Vorgehensmodell konzipiert worden.

² Nach den Beobachtungen von LINDEMANN (1998, S. 3) ist die „Durchdringung der Forderungen häufig bereits der halbe Lösungsweg“.

³ Dies stellt eine häufige Fehlerquelle dar, aus der heraus späte Änderungen bedingt werden können. RIEDEL (1998, S. 209) sieht in fehlerbedingten Änderungen (*im Gegensatz zu neuigkeitsbedingten Änderungen*) ein erhöhtes Risiko für deutliche Ergebniseinbußen.

Darüber hinaus entstehen weitere Probleme, wenn

- wichtige Anforderungen vergessen werden.
- Anforderungen erst zu einem späteren Zeitpunkt formuliert werden.
- Anforderungen sich im Laufe der Entwicklung ändern.

Aus diesen Gründen empfiehlt sich neben der Strukturierung der Aufgabe auch eine genaue Analyse und geeignete Strukturierung der Anforderungen.

3.3.2.1 Analyse der Anforderungen

3.3.2.1.1 Prüfung auf Vollständigkeit

Erster Schritt zur Analyse der Anforderungen ist das Überprüfen auf Vollständigkeit. Sowohl PAHL & BEITZ (1993) als auch EHRENSPIEL (1995) empfehlen dazu den Einsatz von Check- und Fragelisten zur systematischen Informationsgewinnung, die am besten im Team angewendet werden. Weitere Methoden, die zu diesem Zweck eingesetzt werden können, sind in der nachfolgenden Tabelle enthalten.

Tabelle 3-2: Methoden und Vorgehensweisen zum Finden von Anforderungen

Abstraktion (Black box)	Kano Modell	Szenario
Analyse vorhandener Lösungen	Marktbetrachtung, Marktanalyse	Target Costing
Benchmarking	Patentrecherche	Trendanalyse
Conjoint Analyse	QFD	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
Gespräche mit Kunden	Systembetrachtung	Zielkonflikte

Neben der Überprüfung auf Vollständigkeit fordern BREIING & KNOSOLAR (1997, S.4) unter anderem eine Prüfung der Anforderungen auf ihre

- naturwissenschaftliche Erfüllbarkeit.
- gesetzliche Vertretbarkeit, die soziale, ethische, ergonomische und ökologische Aspekte umfasst.

Abschließend kann kontrolliert werden, wie groß die zulässigen Toleranzbereiche einzelner Anforderungen (z.B. Länge = 100mm \pm 5) sind oder ob diese exakt eingehalten werden müssen (z.B. Versorgungsspannung = 24V) und nicht mehr diskussionsfähig sind.

Sind die Anforderungen überprüft, wird eine funktionale Systembetrachtung durchgeführt. Dabei wird das zu entwickelnde Produkt anhand der Anforderungen in Hauptfunktionen (nach VDI 2221 (1993) Funktionen, die einen Hauptzweck eines Produkts beschreiben) und Nebenfunktionen eingeteilt. Diese Aufgliederung in Teilprobleme führt zu einer niedrigeren Komplexität, da die einzelnen Funktionen getrennt voneinander analysiert werden können.

3.3.2.1.2 Zuordnung der Anforderungen zu Funktionen

Um einen besseren Überblick über die Vielzahl der Anforderungen zu ermöglichen und ihre Handhabung zu vereinfachen, wird eine Zuordnung¹ der Anforderungen zu einzelnen Funktionen des zu entwickelnden Produkts durchgeführt.

Dazu werden sämtliche Anforderungen in der Anforderungsliste markiert, die bei der Erfüllung der jeweiligen Funktionen betrachtet werden müssen. Da die einzelnen Anforderungen aber unterschiedlichen Einfluss auf die Funktionen aufweisen können, wird hier gleichzeitig eine Beurteilung vorgenommen, wobei die technische Realisierbarkeit der geforderten Produktfunktionen im Vordergrund steht und folgende Priorisierung angewendet wird.

- *Hauptanforderungen (Priorität hoch)* sind sämtliche Anforderungen, die die zu realisierenden Funktionen wesentlich beeinflussen. Die Erfüllung von Hauptanforderungen nimmt in der Regel einen großen Anteil der gesamten Entwicklungszeit ein.
- *Standardanforderungen (Priorität mittel)* stellen wichtige technische Anforderungen an die Funktionen dar, verursachen aber deutlich weniger Aufwand als Anforderungen mit hoher Priorität und werden als wenig problematisch eingestuft.
- *Sonstige Anforderungen (Priorität gering)* sind untergeordnete technische Funktionsanforderungen, deren Realisierung in der Regel als problemlos eingestuft werden kann. Zu den sonstigen Anforderungen gehören auch sämtliche Forderungen der Anforderungsliste, die keinen Beitrag zur Realisierung von technischen Funktionen leisten. Dies sind z.B. organisatorische Anforderungen², wie Zeit-, Personal- und Hilfsmittelanforderungen.

Im Sinne einer einfachen Anwendbarkeit und eines geringen zeitlichen Aufwands sind zur qualitativen Beurteilung der Bedeutung der Anforderungen nur drei unterschiedliche Stufen vorgesehen (*Priorität gering – mittel – hoch*). Diese wird in Form einer straff gehaltenen Diskussion im Team durchgeführt. Es werden kritische Anforderungen betrachtet und aus Sicht verschiedener Experten (Fachbereiche) beurteilt, was dem einheitlichen Problemverständnis förderlich ist, in der Regel zu neuen Erkenntnissen führt oder weitere Fragen aufdeckt. Diese Beurteilung, die im weiteren Verlauf der Entwicklung problemlos verändert werden kann, soll lediglich eine erste Einschätzung der Situation ermöglichen und die wesentlichen Kernelemente der Aufgabenstellung identifizieren helfen. Falls Uneinigkeit bei der Beurteilung einer Anforderung besteht, sollte die höhere Priorität vermerkt werden.

Diese Zuordnung mit einhergehender erster Beurteilung wird anhand des folgenden Formulars (Abbildung 3-4) vorgenommen. Mit Hilfe der Relationsmatrix können gegenseitige Abhängigkeiten einzelner Anforderungen³ gekennzeichnet werden; ob diese voneinander unab-

¹ Dabei entstehen funktionsbezogene Anforderungsgruppen. Einzelne Anforderungen können durchaus mehreren Gruppen zugehören.

² Organisatorische Anforderungen haben zweifelsohne eine hohe Bedeutung in der Produktentwicklung, werden jedoch im Rahmen der hier durchgeführten funktionsorientierten Betrachtung als unproblematisch eingestuft. Es wird beispielsweise vorausgesetzt, dass wichtige Kapazitäten (Zeit, Personal, Geld) ausreichend bemessen sind und keine kritischen Faktoren darstellen.

³ Diese Überprüfung muss in erster Linie bei Anforderungen hoher und mittlerer Priorität durchgeführt werden.

hängig sind oder gegenseitig unterstützend wirken, bzw. gegenläufig oder gar widersprüchlich formuliert sind. Dabei sind nur die letzten beiden Gruppen problematisch.

Zur Lösung derartiger Zielkonflikte empfehlen BREIING & KNOSALA (1997, S. 33), die Anforderungen gegeneinander zu gewichten und deren Einstufung anzupassen, z.B. durch Umwandlung einer Festforderung in eine Bereichsforderung.

Ändern sich Anforderungen (z.B. aufgrund veränderter Kundenwünsche, aufgrund ihrer Komplexität, usw.) erkennt man anhand dieser Zuordnung sofort sämtliche Auswirkungen einer derartigen Änderung. Der Informationsfluss wird verbessert und die Gefahr sinkt, nachträgliche Änderungen zu übersehen.

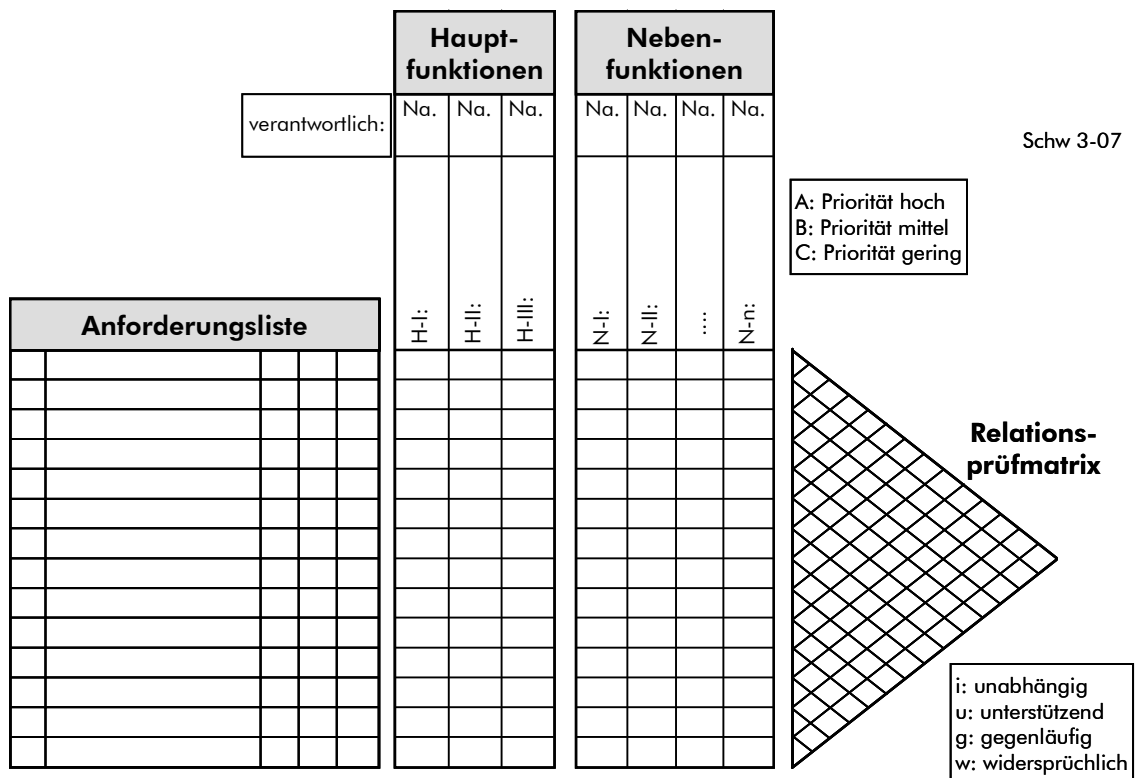


Abbildung 3-4: Formular zur Zuordnung der Anforderungen zu Funktionen und deren Beurteilung

Bei komplexen Aufgabenstellungen, bei denen ein interdisziplinäres Zusammenarbeiten mehrerer Fachdisziplinen erforderlich ist - z.B. bei der Entwicklung mechatronischer Produkte (SCHWANKL ET AL. 2001) - empfiehlt sich eine Festlegung von Verantwortlichen für einzelne Funktionen¹. Diese überwachen die Realisierung der jeweiligen Funktion und sind Ansprechpartner bei Problemen.

3.3.2.1.3 Risikoabschätzung

Aufgrund der hohen Bedeutung der Hauptanforderungen empfiehlt sich für das weitere Vorgehen eine differenziertere Betrachtung, bei der in erster Linie die naturwissenschaftliche

¹ Eine vergleichbare Zuordnung wird im Bereich des Business Process Reengineering erfolgreich angewendet (HUNGENBERG & WULF 1998, S. 306). Im Zuge der Neugestaltung von Prozessen und Organisationseinheiten werden hier Verantwortliche für einzelne Prozesse festgelegt, sogenannte *process owner*.

Erfüllbarkeit und der Aufwand, der mit einer Erfüllung der jeweiligen Anforderung einhergeht, ins Auge gefasst wird. Dazu werden sämtliche Anforderungen, die einer Hauptfunktion zugeordnet worden sind, auf ihre technische Realisierbarkeit hin überprüft und das mit ihnen einhergehende Risiko abgeschätzt.

Hierbei können Checklisten (Tabelle 3-3) eingesetzt werden, die durch gezielte Fragestellungen (z.B. W-Fragen aus dem in Kapitel 2.4.7.3 beschriebenen TOPS-8D Vorgehen) die Informationsgenerierung systematisch unterstützen. Dadurch lässt sich die Erfüllbarkeit einer Anforderung im Bezug auf bereits ausgeführte technische Lösungen und den Stand der Technik¹ betrachten.

Tabelle 3-3: Checkliste zum Überprüfen der Anforderungen

Fragen zur Überprüfung der Anforderungen auf technische Realisierbarkeit
Ist die Anforderung realisierbar? <ul style="list-style-type: none"> - Was ist kritisch? - Welche Anforderungen sind technologisch sehr anspruchsvoll? - Wo sind technologische Grenzen? - Welcher Aufwand ist zu erwarten?
Gibt es bereits Erfahrungen mit dieser Anforderung? <ul style="list-style-type: none"> - Was war kritisch beim Vorgänger, bei vergleichbaren Produkten? - Welche Schwierigkeiten hatten andere Unternehmen?
Welche Wirkprinzipien (physikalische Effekte) gibt es zur Erfüllung dieser Anforderungen? <ul style="list-style-type: none"> - Was ist kritisch bei diesem physikalischen Wirkprinzip? - Welche Einflussparameter bestimmen dieses Wirkprinzip?
Sind Schwierigkeiten für nachfolgende Prozessschritte zu erwarten? <ul style="list-style-type: none"> - Was ist kritisch in der Fertigung, Montage? - Welche Schwierigkeiten birgt das Herstellungsverfahren in sich?
Gibt es kritische Einsatzfälle, Einsatzbedingungen? <ul style="list-style-type: none"> - Hohe Belastungen? - Kritische Randbedingungen?

Die Informationen können unter Anwendung von konventionellen Methoden (Literaturrecherche, Analyse bekannter Systeme) gesammelt² werden, wie sie bereits in Kapitel 2.4.4 vorgeschlagen wurden.

Zum Identifizieren kritischer³ Anforderungen, von deren Erfüllung der Erfolg des Projekts in großem Maße abhängig ist und zum Ableiten von vordringlichem Handlungsbedarf, der das weitere Vorgehen maßgeblich beeinflusst, bietet sich eine Visualisierung der Ergebnisse die-

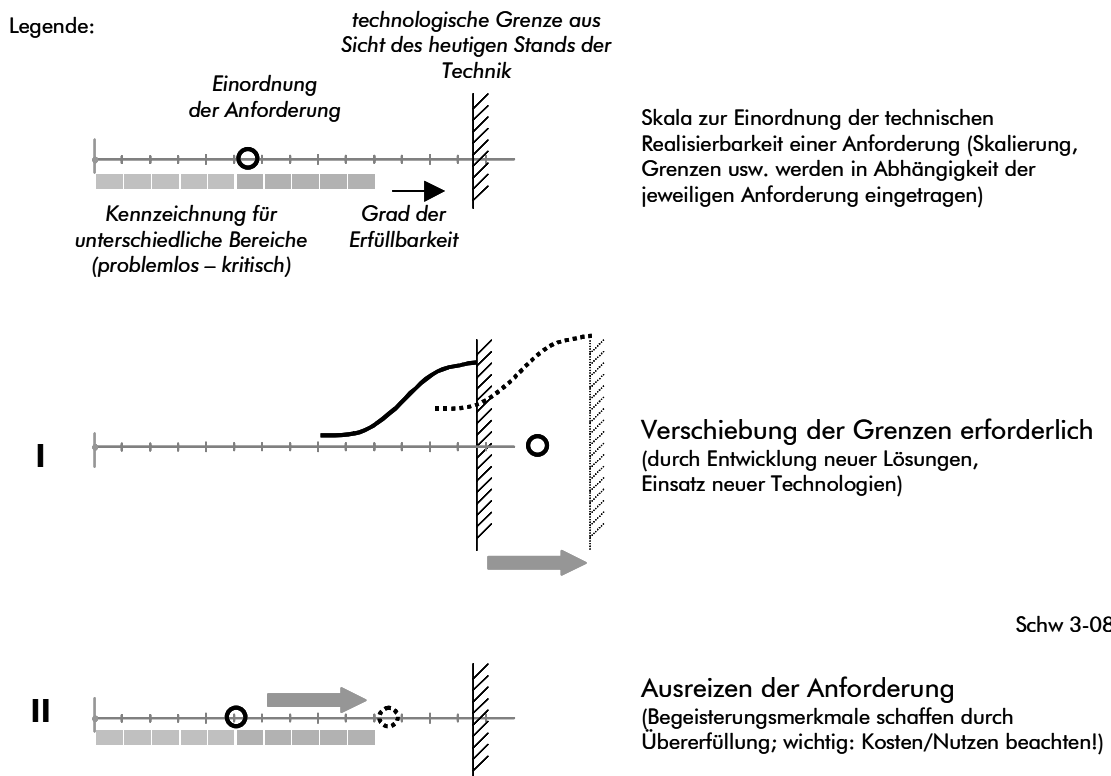
¹ Beispiel aus der Fertigungstechnik: Je höher die Anforderungen an die Bearbeitungsgenauigkeit einer Werkzeugmaschine sind, desto höher ist der Entwicklungsaufwand, diese Anforderungen auch zu erreichen.

² Der Aufwand, der mit dieser Informationssammlung einhergeht, ist in erster Linie von der problemspezifischen Erfahrung und dem Wissen des Einzelnen abhängig.

³ Hier sei auf den Unterschied in der Bezeichnung von Anforderungen hingewiesen. Kritische Anforderungen bezeichnen Anforderungen, deren Realisierung fraglich erscheint bzw. einen großen Aufwand verursacht. Hauptfunktionsanforderungen (Priorität I) beeinflussen zwar wesentlich die Funktion des zu entwickelnden Produkts, müssen aber nicht zwangsläufig kritische Anforderungen sein.

ser Risikoabschätzung an. Dazu eignen sich einfache Skalen¹, in denen die Anforderungen, entsprechend ihrer Beurteilung in Relation zu technologisch vorgegebenen Grenzen gesetzt werden (Abbildung 3-5).

Aus dieser Visualisierung lassen sich verschiedene Handlungsstrategien ableiten. Eine Anforderung kann als einfach realisierbar eingestuft werden, wenn technologische Grenzen nicht erreicht werden (Fall II in Abbildung 3-5).



Schw 3-08

Abbildung 3-5: Anforderungen mit unterschiedlichen technologischen Grenzen

Im Hinblick auf die in Kapitel 2.4.3.1 angesprochene Bedeutung der Erfüllung von Kundenforderungen, dem Wecken von neuen Bedürfnissen und dem Schaffen von Differenzierungsmerkmalen (Begeisterungsmerkmalen) kann hier geprüft werden, inwieweit diese Anforderung technisch ausgereizt, d.h. übererfüllt werden kann. Dabei ist die Abweichung vom technischen Optimum nach oben stets in Relation zu den Kosten zu sehen, die mit dieser Übererfüllung einhergehen (Kapitel 2.4.3).

Im anderen Fall wird eine vorhandene technologische Grenze überschritten (Fall I in Abbildung 3-5), d.h. die Anforderung scheint mit bisher bekannten Lösungselementen und Technologien nicht realisierbar zu sein. Demzufolge handelt es sich um eine kritische Anforderung, die großen Handlungsbedarf verursachen kann. Entweder ist eine Änderung des Wertebereichs² der Anforderung vorzunehmen oder es sind neue Lösungen¹ zur Realisierung die-

¹ Grafiken besitzen aufgrund der Anschaulichkeit Vorteile gegenüber der tabellarischen Form. Diese visuelle Darstellung erleichtert die Informationserfassung.

² Am Beispiel der Festigkeit: Die geforderte Festigkeit (Anforderung A) einer Konstruktion ist mit den geplanten und in der Anforderungsliste festgeschriebenen Materialien (Anforderung B) nicht erreichbar. Hier kann ent-

ser Anforderung erforderlich, die sich von den bisher bekannten deutlich unterscheiden. Derartige Lösungen können auch den Einsatz neuer Technologien bedingen.

Zur Visualisierung der Beurteilung sämtlicher Anforderungen, die eine Funktion beschreiben, bieten sich Netzdiagramme² an. Damit können sämtliche enthaltenen Informationen sehr schnell erfasst und die Menge an kritischen Bereichen (kritischen Anforderungen) identifiziert werden, bei denen akuter Handlungsbedarf vorhanden ist. Dadurch erhält man einen ersten Eindruck über die Realisierbarkeit einzelner Funktionen bzw. des Gesamtsystems und kann eine fundierte Abschätzung für die zur Umsetzung erforderlichen zeitlichen, finanziellen und personellen Kapazitäten vornehmen.

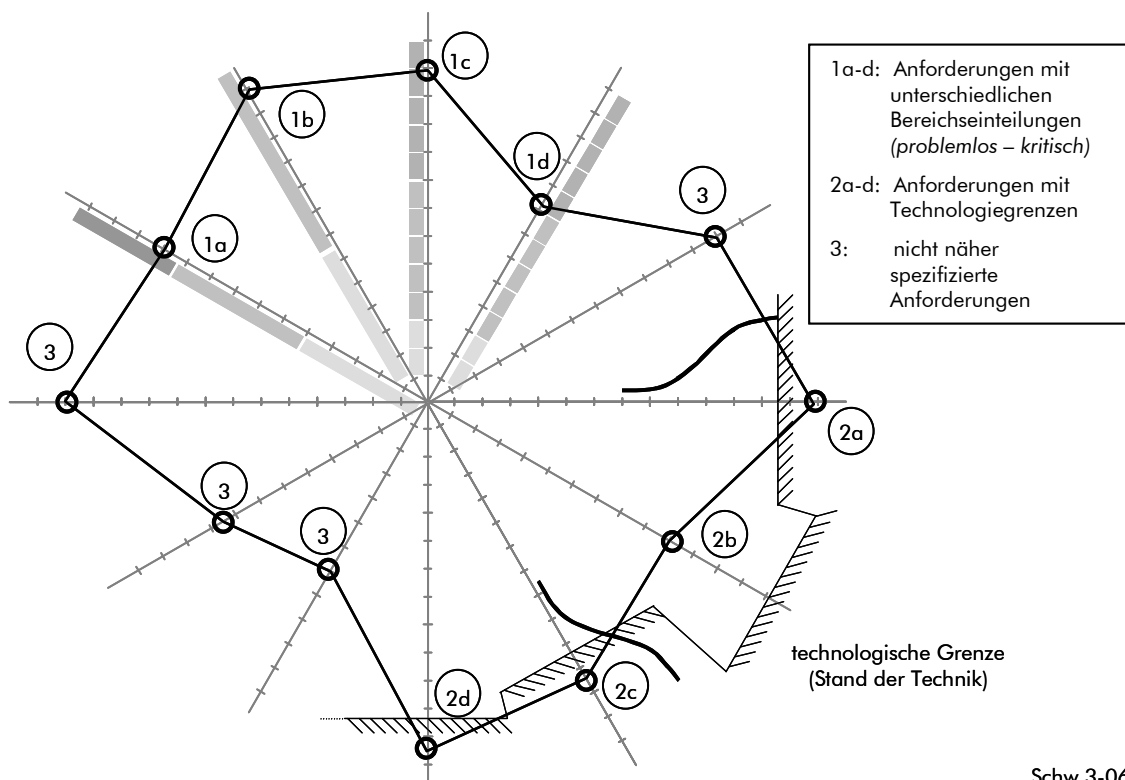


Abbildung 3-6: Anforderungen und ihre technologischen Restriktionen einer Hauptfunktion im Netzdiagramm

3.3.2.2 Kritische Überprüfung

Basierend auf diesen Darstellungen muss abschließend eine kritische Überprüfung der Anforderungen erfolgen, bevor im nächsten Schritt erste Lösungen gesucht werden. Bestehen Zweifel bezüglich der Realisierbarkeit, sind die Anforderungen zu hinterfragen und es ist zu prü-

weder die Anforderung A hinsichtlich einer geringeren Festigkeit abgeändert oder die Anforderung B durch Zulassen von höherwertigen Materialien angepasst werden.

¹ Z.B. unter Beachtung der Regeln des festigkeitsgerechten Konstruierens.

² Eine Alternative zu den Netzdiagrammen stellt die Darstellung in Form eines semantischen Differenzials dar (z.B. GERHARD 1998, S. 208), bei dem anstelle der Gegenüberstellung von *gut* – *schlecht* der Grad der Anforderungserfüllung *problemlos* – *kritisch* eingetragen wird. Dabei werden mehrere Anforderungen übereinander aufgetragen, die Verbindungslinie zwischen den einzelnen Bewertungen ergibt das semantische Differenzial.

fen, inwieweit eine Veränderung der Anforderung (z.B. durch Vergrößerung des Toleranzbereichs) zulässig ist. Diese wichtige Entscheidung muss auf alle Fälle in Absprache mit dem Auftraggeber durchgeführt werden. Ist aufgrund des Neuheitsgrades der Aufgabe eine derartige Abschätzung nicht möglich, empfiehlt sich eine Lösungssuche zur weiteren Informationsgewinnung durchzuführen. Diese zusätzlichen Informationen ermöglichen unter Umständen eine Entscheidung.

3.3.3 Ableiten von Bewertungskriterien

Auf Basis der intensiven Analyse der Anforderungen bietet sich eine frühzeitige Ableitung von wichtigen Bewertungskriterien an, anhand derer die Eigenschaften verschiedener Lösungsvarianten miteinander verglichen werden können. Im Laufe einer Entwicklung müssen zu verschiedenen Zeitpunkten Entscheidungen¹ getroffen werden, die auf den Ergebnissen von Bewertungen beruhen. Dazu sind einfache Entscheidungsmodelle erforderlich, da dieser Bewertungsprozess sehr komplex ist (SELL 1998, S. 36) und anhand mehrerer multidisziplinärer Kriterien durchgeführt werden muss, die erst Laufe des Entwicklungsprozesses detaillierter formuliert und quantifiziert werden können. Da die Menge an zur Verfügung stehenden Informationen zu einzelnen Lösungen fortschreitend zunimmt, ist ein gestufter Bewertungsprozess erforderlich. Für die einzelnen Stufen dieses Prozesses benötigt man aber unterschiedlich detaillierte Bewertungskriterien. Nach der ersten Lösungssuche, wo Ideen nur grob skizziert sind und noch großer Informationsbedarf vorhanden ist, müssen andere Maßstäbe bei der Bewertung angelegt werden, als bei der endgültigen Auswahl der Lösung. Denn hier besitzen die verbleibenden Lösungen schon einen hohen Detaillierungsgrad, der Voraussetzung einer fundierten Bewertung ist.

Wenn diese Kriterien bereits frühzeitig bekannt sind, stellen sie wertvolle Eingangsinformationen für die folgenden Schritte im Entwicklungsprozess dar, da dadurch Teilschritte zielgerichteter durchgeführt werden können.

3.3.3.1 Kriterien zur ersten Einordnung der Lösungsvarianten

Bei der Durchführung der Vorauswahl (Kapitel 2.4.5.2.1), bei der absolut ungeeignete Lösungen aussortiert werden und sich so die Menge der weiterzuverfolgenden Lösungen reduziert, liegen oftmals nur vage Annahmen über das Funktionsverhalten vor. Dazu kommt, dass die einzelnen Lösungsvarianten unterschiedlich detailliert sind und sowohl Teilfunktionen als auch das Gesamtsystem betreffen können.

Hier bietet sich an, die einzelnen Lösungen genauer zu betrachten und durch eine geeignete Gruppierung der Anforderungen Kriterien zur Bewertung festzulegen, die einen ersten qualitativen² Vergleich der Lösungen untereinander zulassen. Aus Aufwandsgründen ist zu emp-

¹ GERHARD (1998, S. 98) weist aufgrund des erheblichen Einflusses dieser Entscheidungen auf den weiteren Gang der Entwicklung auf ein objektives, nachvollziehbares und begründbares Vorgehen hin.

² Nach PFEIFFER ET AL. (1996, S. 566) baut ein qualitatives Bewertungssystem auf analogen und unscharfen Bewertungskriterien „unfertig“, „fast fertig“ oder „ganz fertig“ auf und ist dementsprechend einfach in der Erfassung der Werte.

fehlen, dabei nur wenige¹, allgemein formulierte Kriterien zu verwenden, in denen jeweils verschiedene Aspekte zusammengefasst und gemeinsam überprüft werden können:

- Aufwand zur Umsetzung: *Entwicklungsaufwand, Absicherungsbedarf, Komplexität.*
- Relevanz für den Kunden: *Anforderungserfüllung, Kosten, Funktionalität, Qualität.*
- Entwicklungsrisiko: *Machbarkeit, Erfolgswahrscheinlichkeit, Neuheitsgrad.*

Zur Vereinfachung dieser ersten Bewertung werden für alle drei Kriterien identische Ausprägungen mit lediglich drei Stufen verwendet (gering – mittel – hoch).

Mit diesen hier vorgeschlagenen Kriterien lässt sich die Fülle an Lösungen, die erfahrungsgemäß am Ende einer kreativen Lösungssuche vorhanden ist, sehr schnell und einfach bewerten und in verschiedene Gruppen einordnen, die projektspezifisch definiert werden müssen. Außerdem empfiehlt es sich, Lösungen für Teilfunktionen und Lösungen für Gesamtsysteme zu unterscheiden.

3.3.3.2 Kriterien für eine detaillierte Bewertung

Bei der Ableitung der Kriterien für eine detailliertere Bewertung orientiert man sich am besten an den Anforderungen, die eine hohe Priorität besitzen, sowie den Hauptfunktionen, die im Vorfeld festgelegt worden sind.

Da im Laufe des Entwicklungsprozesses mehrere Bewertungen durchgeführt werden, empfiehlt sich ein schrittweises Vorgehen, bei dem die Zahl² der Bewertungskriterien und deren Konkretisierungsgrad jeweils erhöht werden und von den Methoden der einfachen Bewertung auf die der intensiven Bewertung übergegangen wird. Die Erhöhung des Konkretisierungsgrades der Kriterien ist möglich, da die einzelnen Lösungsvarianten auch fortschreitend detailliert werden und die zur Bewertung erforderlichen Informationen im Laufe der Zeit zielgerichtet erarbeitet werden. Aufgrund der größeren Menge an Informationen (z.B. Analyseergebnisse) können die Eigenschaften unterschiedlicher Konzepte bewertet und miteinander verglichen werden. Durch den hohen Informationslevel kann eine fundierte Entscheidung getroffen werden. Durch die kombinierte bzw. aufeinander aufbauende Anwendung mehrerer Verfahren zur Bewertung werden deren spezifische Vorteile miteinander verbunden. Dank des schrittweisen Vorgehens kann die Zahl der zu bewertenden Lösungen reduziert und der Bewertungsaufwand gesenkt werden, der mit der Anwendung der Methoden der intensiven Bewertung einhergeht. Diese sind spätestens zur Entscheidungsfindung für die endgültige Auswahl einer Lösung anzuwenden.

¹ Im Rahmen verschiedener Anwendungen hat sich eine Kriterienzahl von drei bis vier als geeignet erwiesen. Dies erlaubt zum einen eine differenzierte Betrachtung der Lösungen, zum anderen eine übersichtliche graphische Darstellung in Form von Portfoliodiagrammen.

² BREIING & KNOSALA (1997) betonen, dass für eine relativ genaue Bewertung bereits wenige Kriterien ausreichen und eine deutliche Erhöhung der Kriterienanzahl und der damit verbundene Mehraufwand zu keiner wesentlichen Erhöhung der Treffsicherheit führt.

3.3.4 Vorteile des Vorgehens und Hinweise zum Einsatz von Methoden und Hilfsmitteln

Das hier beschriebene Vorgehen ist zwar in dieser Phase mit großem Zeitaufwand verbunden, führt aber dazu, dass die Aufgabenstellung gut durchdrungen und die Problemstellung umfassend verstanden wird. Durch diese sorgfältige Auseinandersetzung mit den Anforderungen und Funktionen werden wertvolle Informationen gesammelt, relevante Zusammenhänge und Probleme identifiziert sowie offene Fragen¹ frühzeitig aufgedeckt. Dabei wird auch eine Strukturierung der Anforderungen erreicht, die deren Handhabung deutlich erleichtert, da die Hauptanforderungen auf den ersten Blick transparent werden und Anforderungen mit niedriger Priorität auch weniger Aufmerksamkeit geschenkt wird. Die intensive Auseinandersetzung mit den Problemen und Fragen provoziert häufig bereits erste Lösungsvorschläge², ohne dass die eigentliche Lösungssuche (unter Anwendung von Kreativitätstechniken) gestartet worden ist.

Darüber hinaus kann frühzeitig abgeschätzt werden, in welchen Bereichen Entwicklungsbedarf vorhanden ist und so ein optimales Vorgehen festgelegt werden. So können Bereiche identifiziert werden, in denen auf Standardlösungen (käufliche Lösungen, z.B. Normteile) oder auf bereits vorhandene Konzepte zurückgegriffen werden kann (unter Nutzung der Werkzeuge aus Kapitel 4, *Konzeptdatenbank* oder *erweiterter Ideenspeicher*) oder Bereiche, in denen aufwendige Neuentwicklungen erforderlich sind. Diese Identifikation von „weißen Feldern“³, d.h. Bereiche in denen noch keine Lösungen vorhanden, aber gefordert sind, erlaubt auch das Festlegen von Suchbereichen und unterstützt somit eine zielgerichtete Lösungssuche. Es empfiehlt sich, mit der Bearbeitung der kritisch eingestuften Hauptfunktionen zu beginnen, um hier frühzeitig Aussagen über deren technische Realisierbarkeit treffen und anhand der Bewertungskriterien eine erste Bewertung vornehmen zu können. Dies muss aber unter Beachtung des Gesamtkontexts geschehen und ist für die frühe Weichenstellung und das weitere Vorgehen von äußerster Wichtigkeit.

Sehr bedeutsam ist auch, dass sämtliche Ergebnisse dieser intensiven Aufgabenklärung nachvollziehbar dokumentiert werden. Daneben ist zu empfehlen, die offenen Fragen und die ersten Lösungsansätze in einem Ideenspeicher (Kapitel 4.4) festzuhalten, da diese wertvolle Anregungen für die methodische Lösungssuche bieten. Alle Dokumente – die Anforderungsliste mit der Zuordnung zu Hauptfunktionen, die Graphen zur Visualisierung der Bedeutung von Anforderungen und Funktionen sowie der Ideenspeicher – sind dabei als „lebende“ Objekte zu betrachten. D.h. Änderungen und neue Erkenntnisse müssen darin vermerkt werden, denn nur wenn sie auf dem aktuellen Stand gehalten werden, sind sie für die weiteren Schritte oder für folgende Projekte wertvoll.

¹ Fragen aufgrund unklarer Anforderungen sind in Rücksprache mit dem Auftraggeber zu klären.

² Nach den Erfahrungen von PAHL & BEITZ (1993, S. 85) werden durch das Analysieren von Schwachstellen in bestehenden Produkten nicht nur Detailverbesserungen erreicht, sondern häufig auch die Anregungen zu neuen Lösungsprinzipien ausgelöst.

³ EHRENSPIEL (1995, S. 359) verwendet den Begriff weiße Felder zur Bezeichnung von Feldern in Ordnungsschemata, die keine Lösungen enthalten, also leer sind.

3.4 Orientierende Lösungssuche zur Unterstützung der Aufgabenklärung

3.4.1 Notwendigkeit einer orientierenden Lösungssuche

Nachdem die Hauptanforderungen analysiert, Problembereiche und Lösungsräume identifiziert worden sind, bietet sich zur weiteren Informationsbeschaffung eine kreative Suche nach möglichen Lösungen an, bei der verschiedene¹ intuitiv und diskursiv betonte Methoden (siehe Kapitel 2) eingesetzt werden, die sich besonders zum Generieren von neuen und innovativen Lösungen eignen.

Diese orientierende Lösungssuche dient in erster Linie der Informationsbeschaffung im Rahmen der Analyse der Aufgabenstellung und ist besonders zu empfehlen bei innovativen Neuentwicklungen ohne direkte Vorgängerprodukte, deren Realisierbarkeit bei der Anforderungsanalyse als problematisch eingestuft wurde. Dabei wird sowohl nach Gesamtlösungen als auch nach Lösungen für einzelne Teilfunktionen gesucht. Der Abstraktionsgrad der Aufgabenstellung zur Lösungssuche sollte hier sehr hoch angesetzt werden, um eine möglichst weitreichende Suche anzustoßen, die viele unterschiedliche Bereiche abdeckt.

Zur Unterstützung der Dokumentation² der Ergebnisse der Lösungssuche können *Ideenformulare* (siehe Abbildung 4-17) eingesetzt werden, in denen die Ideen skizziert und alle relevanten Informationen dazu (z.B. kurze Beschreibung, Vor-/Nachteile usw.) mit festgehalten werden.

Zum Erzeugen einer großen Anzahl von Lösungen muss im Laufe des Entwicklungsprozesses noch wiederholt und mit unterschiedlichem Fokus (z.B. Suche nach Gesamtlösungen, Suche nach Lösungen für Teilfunktionen) nach Lösungen gesucht werden. Dabei können die hier erzeugten Lösungen eine wertvolle Anregung darstellen. Nach STEINWACHS (1976, S. 108) bietet eine vielfältige Lösungsübersicht³ eine wertvolle Entscheidungsmöglichkeit für die günstigste Lösung. Man kann auf viele unterschiedliche Varianten zurückgreifen, wodurch sich die Entscheidungsgeschwindigkeit und vor allem die Entscheidungssicherheit erhöht.

3.4.2 Diskussion der Lösungen mit Vorauswahl und erster Bewertung

Die erarbeiteten Lösungen werden gleich im Anschluss an die kreative Lösungssuche in einer gemeinsamen Diskussion betrachtet, wobei deren jeweilige Vor- und Nachteile herausgear-

¹ Da die einzelnen Kreativitätstechniken unterschiedliche Bereiche stimulieren bietet sich ein Einsatz von verschiedenen Techniken an, wobei auch bewusst Methoden gewählt werden sollen, mit denen die Teammitglieder noch keine Erfahrungen besitzen.

² Nach EHRENSPIEL & GÜNTHER (1995, S. 49) spielen grafische Darstellung der Lösungen im Entwicklungsprozess eine große Rolle. Die Bedeutung der Archivierung von Informationen wurde in Kapitel 2.5 ausführlich dargestellt.

³ STEINWACHS (1976) sieht in einer großen Lösungsübersicht einen weiteren Vorteil im Hinblick auf eine umfassende patentrechtliche Abgrenzung, die gerade bei Neuentwicklungen erforderlich ist, da diese üblicherweise patentrechtlich geschützt werden.

beitet werden. Darauf aufbauend wird ihre Eignung anhand der in Kapitel 3.3.3 definierten Kriterien (*Aufwand zur Umsetzung, Relevanz für den Kunden, Entwicklungsrisiko*) grob abgeschätzt und eine Vorauswahl durchgeführt.

Diese erste Bewertung mit nur drei unterschiedlichen Kriterien kann in relativ kurzer Zeit aufwandsarm durchgeführt werden und wird dem aktuellen Stand der Informationen gerecht, da die Lösungen in diesem Zeitpunkt noch sehr wenig detailliert vorliegen.

Um diese Bewertung durchführen und eine realistische Beurteilung vornehmen zu können, ist das frühzeitige Erkennen von relevanten Lösungseigenschaften sowie von Fehlern und möglichen Schwachstellen erforderlich. Dies erfolgt im ersten Ansatz anhand eigener Erkenntnisse und Erfahrungen sowie in der Diskussion mit den Teammitgliedern. Hier wird die Bedeutung eines interdisziplinär zusammengesetzten Teams deutlich, in dem Fachleute aus verschiedenen Fachbereichen¹ zugegen sein sollen. Neben den verschiedenen Sichten, aus denen eine Idee begutachtet wird (z.B. aus Sicht der Fertigung, aus Sicht der Montage) ist besonders deren Fachwissen relevant, das eine realistische Beurteilung erlaubt. Dadurch kann ein einheitliches Problemverständnis bei allen Teammitgliedern erreicht werden. Ein weiterer Vorteil liegt in einer drastischen Verkürzung der Informationsbeschaffung, da in vielen Fällen eine erste Beurteilung durch die Fachleute bereits in dieser Diskussion erfolgt und diese wichtigen Informationen nicht in langwierigen Befragungen bzw. Recherchen gesammelt werden müssen. Die in dieser Diskussion generierten Informationen und der identifizierte Absicherungsbedarf wird ebenfalls in den Formularen festgehalten. Daraus kann auf das weitere Vorgehen geschlossen werden und es ist sichergestellt, dass sich Entscheidungen zu einem späteren Zeitpunkt nachvollziehen lassen.

Zu diesem Zeitpunkt ist auch eine erneute Überprüfung der Anforderungen erforderlich, beispielsweise wenn Lösungen gefunden wurden, die nicht alle Anforderungen komplett erfüllen, einzelne jedoch deutlich übererfüllen. Hier kann in Absprache mit dem Auftraggeber eine Neugewichtung der Anforderungen durchgeführt werden.

Lässt sich eine Abschätzung zu diesem Zeitpunkt aufgrund fehlender oder unsicherer Informationen noch nicht durchführen, müssen die erforderlichen Informationen im Rahmen von Analysen beschafft bzw. abgesichert werden.

3.4.3 Gruppieren der Ideen im Portfolio

Sämtliche nach der Vorauswahl verbleibenden Lösungen werden zur besseren Visualisierung ihrer individuellen Beurteilung in ein Portfoliodiagramm² eingetragen. Bei einer größeren Anzahl von Lösungen werden verschiedene Portfolios für Gesamtlösungen bzw. Lösungen für die einzelnen Funktionen verwendet.

¹ Eine organisatorische Integration verschiedener Bereiche und das gemeinsame Bearbeiten einzelner Aufgabepakete führt nach REINHART ET AL. (1998, S. 633f) zu einer informatorischen Integration.

² Bei der Verwendung von nur einem Portfoliodiagramm kann die Unterscheidung von Gesamtlösungen und Teillösungen entweder durch farbliche Abstufungen oder durch unterschiedliche Größe der Symbole vorgenommen werden.

Der Vorteil dieser Art der Darstellung liegt darin, dass sich unterschiedliche Gruppen von Lösungen herauskristallisieren (siehe Abbildung 3-7), die im Folgenden gemeinsam bearbeitet werden können.

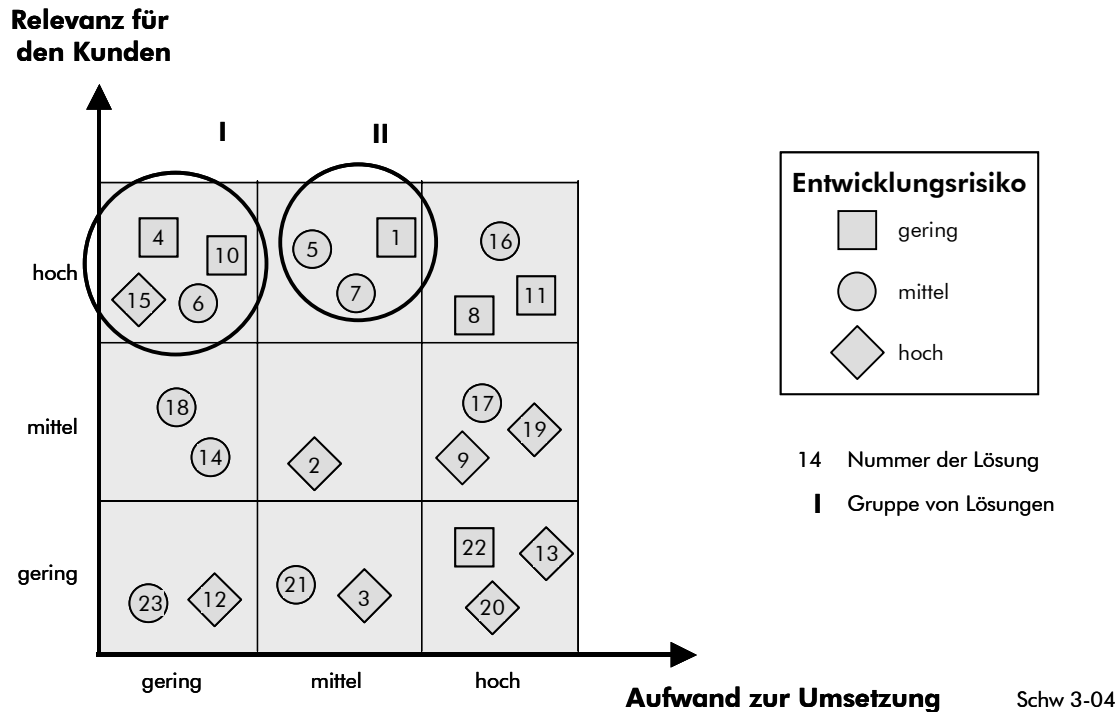


Abbildung 3-7: Einteilung und Gruppierung der Lösungen im Portfolio

Da in dieser frühen Phase im Entwicklungsprozess noch zu wenig Informationen vorliegen, um sämtliche relevanten Eigenschaften sicher beurteilen zu können, ist es sinnvoll mehrere Konzepte auszuwählen und diese weiter zu detaillieren. Dies ist gerade bei technologie-lastigen Entwicklungsaufgaben bedeutend, bei denen nicht das Finden einer einzigen Lösung im Vordergrund steht, sondern das Aufspannen eines möglichst großen Lösungsraums angestrebt wird.

Die endgültige Auswahl und Festlegung eines Konzepts soll erst später im Verlauf der Entwicklung getroffen werden. Dieses Vorgehen ist sicherlich mit mehr Aufwand verbunden, führt aber dazu, dass zu verschiedenen Lösungen Informationen erarbeitet werden, die für die gesamte Entwicklung und für Folgeentwicklungen von Interesse sein können. Eine Reaktion auf Änderungen in späteren Phasen wird ebenfalls erleichtert. Liegen nämlich mehrere Konzepte¹ mit identischer Bewertung vor und ergeben sich im Laufe der weiteren Entwicklung bei einem der Konzepte Schwierigkeiten, die einer erfolgreichen Umsetzung im Wege stehen, kann alternativ auf andere zurückgegriffen werden.

¹ Es bietet sich auch an, die Eignung unterschiedlicher Technologien zu erproben, und auf deren Basis mehrere Produkte parallel weiter zu entwickeln, mit denen dann z.B. unterschiedliche Zielgruppen bedient werden können.

3.4.4 Strategien zur Auswahl geeigneter Lösungsgruppen

In Abhängigkeit von der behandelten Aufgabenstellung und der konkreten Zielformulierung im Entwicklungsprojekt können verschiedene Strategien eingeschlagen werden, welche Lösungsgruppen ausgewählt und in welcher Reihenfolge diese bearbeitet werden.

Oberste Priorität sollte die Erfüllung der Anforderungen und Wünsche der Kunden besitzen. Für das Unternehmen sind Lösungen vorteilhaft, deren Umsetzung nur geringen Aufwand verursacht und zugleich mit geringem Risiko verbunden ist.

Ist im Rahmen des Projekts ausreichend Zeit vorhanden und ist keine rasche Reaktion erforderlich (z.B. aufgrund von Kundenreklamationen, die schnell bearbeitet werden müssen), können auch Lösungen ausgewählt werden, deren Umsetzung mit größerem Aufwand verbunden ist. Lösungen, die nur eine mittlere oder eine geringe Relevanz für den Kunden haben, können zumindest bei der Erfüllung von Teilfunktionen von Interesse sein, besonders, wenn sie sich mit geringem Aufwand umsetzen lassen und nur ein geringes Risiko in sich bergen.

3.4.5 Archivierung der Lösungen

Im Sinne einer Weiter- und Wiederverwendbarkeit von Informationen, deren hohe Bedeutung in Kapitel 2.5 herausgestellt worden ist, bietet es sich an, sämtliche Lösungen zu archivieren. In diesem frühen Stadium des Entwicklungsprojekts kann bei einer breit angelegten Suche nach innovativen Lösung noch keine Entscheidung getroffen werden, welche Ideen weiterzuverfolgen sind, da in der Regel zu wenig Informationen vorliegen. Unterstützung bei der Dokumentation und Archivierung bieten die in Kapitel 4 vorgestellten Werkzeuge Ideenspeicher und Konzeptdatenbank, bei denen die Lösungen und alle dazugehörigen Informationen, inklusive der Ergebnisse der Bewertung, archiviert werden können.

3.4.6 Aufstellen eines Morphologischen Kastens

Da die Haupt- und Nebenfunktionen des zu entwickelnden Produkts schon bekannt sind und bereits erste Lösungen vorliegen, kann ein Morphologischer Kasten aufgespannt werden, der fortschreitend gefüllt und bei Bedarf erweitert wird. Darin lässt sich sofort Handlungsbedarf im Sinne einer zielgerichteten Lösungssuche erkennen, wenn zu einer Teilfunktion noch keine Lösungen vorhanden sind.

3.4.7 Vorteile einer orientierenden Lösungssuche

Bei dieser Lösungssuche mit anschließender Diskussion werden wichtige Informationen generiert, die zu einem tiefgreifenden Verständnis der Problematik führen. Dieses Vorgehen stellt eine Iteration da, weil Erkenntnisse aus dieser Diskussion sofort wieder in die Lösung mit einfließen, die zu einer Optimierung oder bereits zu neuen Varianten führen können. Durch die Einteilung in Gesamt- und Teillösungen und durch die Gruppierung der erarbeiteten Lösungen entsteht eine geeignete Übersicht, aus der sich auch Vorteile für das weitere

Vorgehen ergeben. Zum einen können die Gruppen von Lösungen mit ähnlichen Bewertungen gemeinsam bearbeitet und weiter detailliert werden. Zum anderen lassen sich aus dem Morphologischen Kasten weiße Felder erkennen, bei denen eine zielgerichtete Lösungssuche durchzuführen ist. In später folgenden Kreativsitzungen, bei denen Lösungsgruppen intensiver betrachtet werden, kann auf diesen dokumentierten Informationen aufgebaut und der Lösungsraum zielgerichtet erweitert werden. Anhand der erarbeiteten Lösungen lässt sich die Beurteilung der Anforderungen verifizieren. Darüber hinaus kann auf Basis dieser Lösungen eine Modellierung des zu entwickelnden Produkts unter Einsatz der in Kapitel 2.4.3.2 beschriebenen Modellierungstechniken durchgeführt werden.

3.5 Orientierende Analyse

3.5.1 Bedarf

Kann eine abschließende Beurteilung einzelner Lösungen aufgrund fehlender Informationen nicht durchgeführt und diese Informationen im Rahmen der Diskussion nicht erarbeitet werden, sind weiterführende Maßnahmen einzuleiten. Ziel ist, die erforderlichen Informationen zu generieren und diejenigen Faktoren und Parameter, welche die Produkteigenschaften maßgeblich beeinflussen, bereits in den frühen Phasen der Entwicklung aufzudecken, zu bewerten und abzusichern.

Je nach vorhandenem Informationsbedarf sind Modelle erforderlich und Analysen durchzuführen, die

- zum besseren Verständnis beitragen bzw.
- ein grobes Abschätzen der wesentlichen Produkteigenschaften erlauben.

Im Sinne einer raschen und aufwandsarmen Informationsbeschaffung (Abbildung 3-8) ist eine frühzeitige und wenig aufwendige Analyse der wesentlichen Produkteigenschaften bzw. des Funktionsverhaltens durchzuführen (JAGER & RUWE 1995). Diese Analysen sind anschließend schrittweise¹ zu verfeinern, bis die gewünschten Informationen vorliegen. Dadurch soll das Risiko einer Fehlentscheidung infolge unzureichender Informationen gesenkt werden.

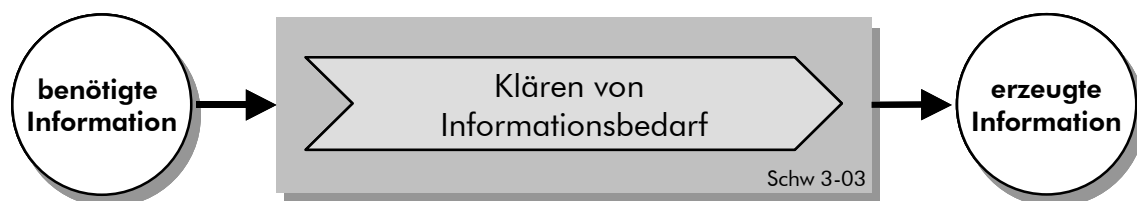


Abbildung 3-8: Klären von Informationsbedarf in der Black box Darstellung

¹ Nach VDI 2221 (1993, S. 4) führt dieses iterative Vorgehen zum Anheben des Informationsniveaus und zu Lerneffekten.

In den frühen Phasen herrscht eine spontane Nachfrage nach eher allgemeinen Informationen vor. Die im Zuge der Entwicklung fortschreitende Detaillierung erfordert dagegen speziellere Informationen, deren Bedarf ebenfalls identifiziert und zielgerichtet gedeckt werden muss.

Die hohe Bedeutung eines frühzeitigen Einsatzes von Modellen und Prototypen (PAHL & BEITZ 1993, S. 85) sowie von rechtzeitig durchgeführten Analysen wird in der Literatur häufig herausgestellt (z.B. DYLLA 1991, S. 151), gerade wenn grundsätzliche Fragen zu klären sind.

BULLINGER ET AL. (1996, S. 41) verweisen auf einen frühen und häufigen Einsatz von physischen oder virtuellen Prototypen. Deren Analyse, die in mehreren Iterationen erfolgen kann (Abbildung 3-9), liefert greifbare Ergebnisse, die zur Beherrschung neuer Technologien und komplexer Systeme erforderlich sind und führt zu einem beschleunigten und objektiv prüfbareren Wissenszuwachs durch ein Maximum an zur Verfügung stehenden Informationen. Letztendlich kann auch die Entwicklungsdauer sowie die Qualität der entwickelten Produkte auf die Verfügbarkeit von Prototypen zurückgeführt werden.

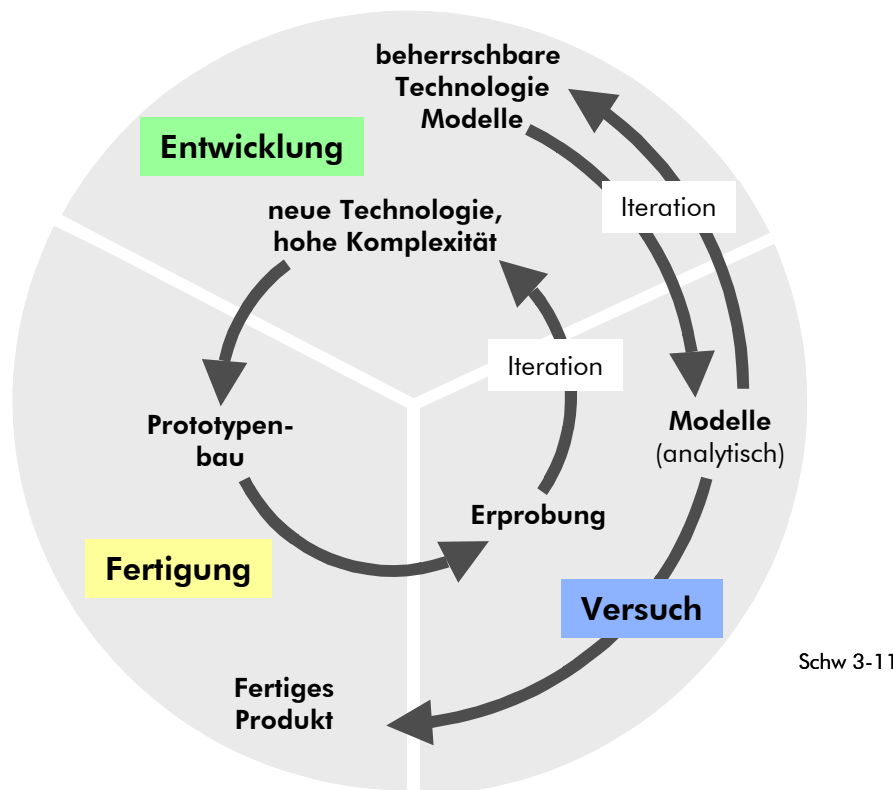


Abbildung 3-9: Zyklen in der Entwicklung (ULLMANN 1997, S. 155)

Der Entwickler befindet sich häufig in einem Zwiespalt, wie genau analysiert werden muss. Realistische Versuche bringen zwar ein Optimum an Aussagen über eine Lösung, sind in der Regel aber sehr zeit- und kostenintensiv (DYLLA & FRICKE 1995, S. 117f). Gerade bei dem hier verfolgten Ansatz, eine große Anzahl von Lösungen zu erzeugen und lange parallel zu verfolgen, bis eine Auswahl getroffen wird, lässt den Aufwand für umfangreiche Analysen ins Unermessliche steigen.

Auf der anderen Seite können Modell- oder Prinzipversuche schneller zum Ziel führen. Hier besteht jedoch die Gefahr, dass aufgrund der getroffenen Vereinfachungen wesentliche Zusammenhänge nicht erkannt oder relevante Einflussgrößen nicht berücksichtigt werden.

Durch eine geeignete Planung und sorgfältige Durchführung von orientierenden Analysen lässt sich diese Gefahr verringern.

3.5.2 Dokumentation offener Fragen und Probleme

Zur Unterstützung einer zielgerichteten Analyseplanung und Durchführung kann das folgende Formular verwendet werden. Darin werden alle identifizierten Probleme (bzw. die zu beantwortenden Fragen) sowie die vermuteten Ursachen festgehalten, die sich unter Umständen aus der Analyse der Aufgabenstellung oder der Diskussion bereits ergeben und noch verifiziert werden müssen. Auch können erste Ideen zur Lösung der Problematik sowie Vorschläge zur Klärung ergänzt werden, die bei der Auswahl geeigneter Analysemethoden berücksichtigt werden können.

Tabelle 3-4: Formular zur Unterstützung der prozessbegleitenden Dokumentation¹

Nr.	Problem	Vermutete Ursache	These, Entwicklungsziel	Absicherungsbedarf	Abhilfe bzw. Fragestellung für Lösungssuche

3.5.3 Durchführung von orientierenden Analysen

Die Durchführung von orientierenden Analysen, die in der Regel nur qualitative Aussagen zulassen, ist besonders in den frühen Phasen zu empfehlen, da die Lösungsvarianten noch wenig detailliert vorliegen. Mit diesen Analysen können mit wenig Aufwand wesentliche Produkteigenschaften grob abgeschätzt und dennoch wertvolle Informationen gewonnen werden, die umgehend wieder in die Lösungssuche einfließen können. Der Aufwand für diese Analyse ist so gering wie möglich zu halten. Wenn lediglich die grundsätzliche Funktion verschiedener Lösungsvarianten abgesichert werden soll, sind exakte Daten nicht erforderlich.

Eine weitere Reduktion des Analyseaufwands kann durch ein iteratives Vorgehen erzielt werden. Dazu werden anhand einfacher Analysen lediglich Teilfunktionen einzelner Lösungsvarianten überprüft. Somit können sehr schnell Aussagen über die prinzipielle Funktion getroffen werden. Wird die Lösungsvariante anhand der Analyseergebnisse als geeignet eingestuft, werden in weiteren Analysen die restlichen Funktionen überprüft, bis fundierte Aussagen möglich sind. Dieses schrittweise Vorgehen mit aufeinander aufbauenden Analysen unterstützt ein zielgerichtetes und effizientes Vorgehen, weil Fehler und Problembereiche frühzeitig identifiziert werden können und eine schnelle Reaktion möglich ist. Empfehlenswert ist, mit der Überprüfung kritischer Funktionen zu beginnen. Dieses Vorgehen entspricht dem

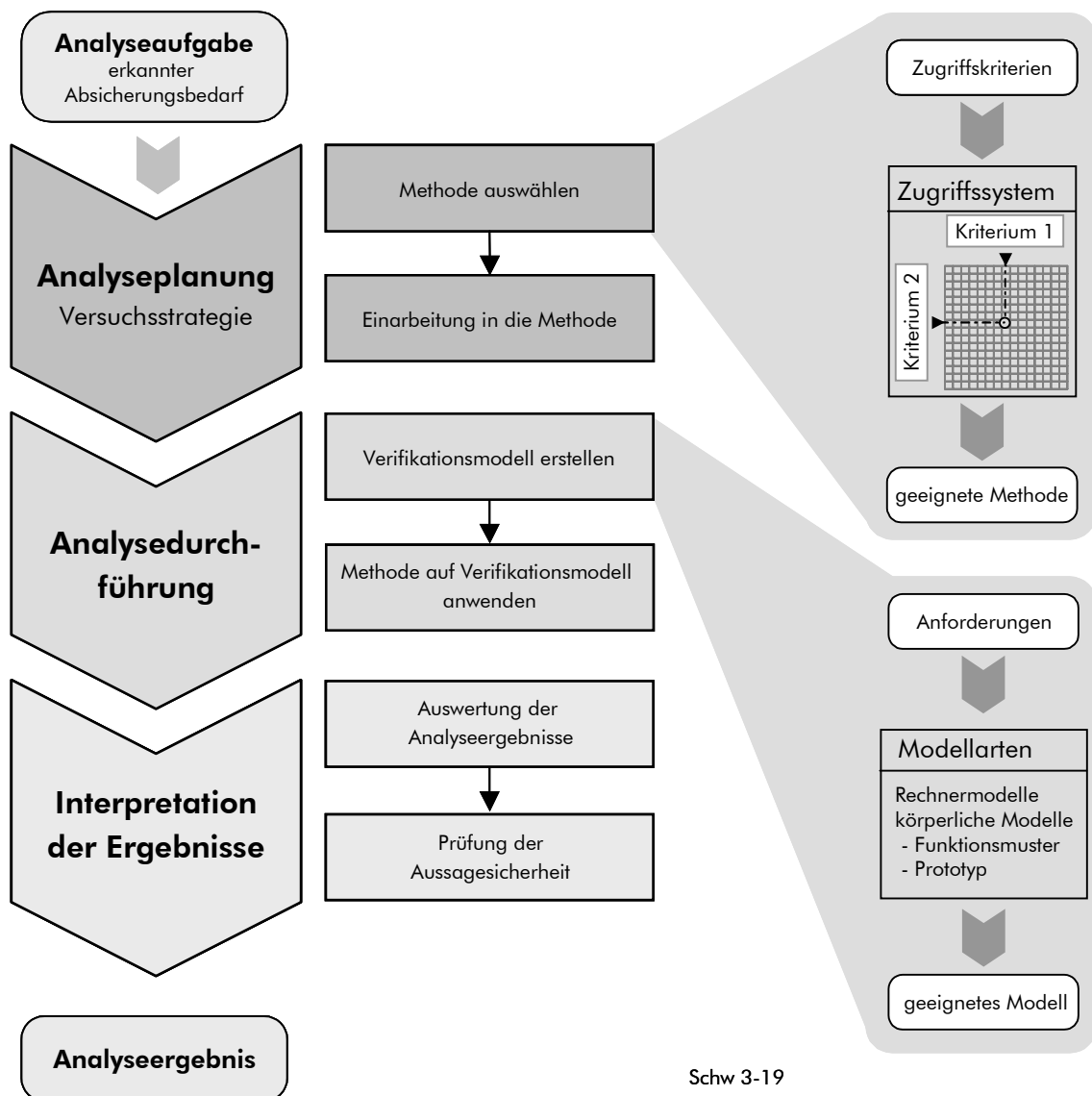
¹ Elemente dieses Formulars wurden in die Rechnerwerkzeuge zur Unterstützung der Dokumentation (Kapitel 4) integriert.

Vorgehen bei der mehrstufigen Bewertung, wo in einem ersten Schritt viele Lösungen mit einfachen Verfahren bewertet und dabei mehrere geeignete herausgefiltert werden. In einem zweiten Schritt wird mit größerem Aufwand eine intensive Bewertung der verbleibenden Lösungen durchgeführt, die auch exaktere Aussagen ermöglicht.

Anhand einfacher Analysen lassen sich in den frühen Phasen in kurzer Zeit eine Vielzahl unterschiedlicher Lösungen überprüfen. Eine frühzeitige Einschränkung des Lösungsraums aus Aufwandsgründen kann so umgangen werden.

3.5.4 Ablauf der Planung und Durchführung einer Analyse

Der in Abbildung 3-10 dargestellte Analyseprozess zeigt die Vorgehensweise für eine systematische Planung und Durchführung von Analysen, die zur Klärung von Informationsbedarf eingesetzt werden. Diese Vorgehensweise wird im Anschluss näher beschrieben.



Schw 3-19

Abbildung 3-10: Planung und Durchführung einer Analyse

3.5.4.1 Analyseplanung

Basierend auf den vorliegenden Eingangsinformationen und der zu analysierenden Fragestellung müssen eine geeignete Methode und die dafür benötigten Hilfsmittel und Werkzeuge ausgewählt werden. Dazu leitet der Anwender aus der zu lösenden Fragestellung Kriterien ab, mit denen er nach geeigneten Methoden suchen kann. Zur Identifizierung dieser Kriterien können Checklisten eingesetzt werden:

Tabelle 3-5: Checkliste zur Identifizierung von Kriterien zur Auswahl von Methoden

Welche Eigenschaften sind abzusichern?	Welche Informationen liegen bereits vor, welche müssen noch erarbeitet werden?
Welche Ergebnisse werden benötigt? (quantitativ, qualitativ),	Wie verlässlich sind die vorliegenden Informationen?
Sind Erfahrungen mit den abzusichernden Effekten vorhanden?	Art des Problems?
Welche Funktionen des Produkts sind betroffen?	Ziel der Analyse?
Welche Komponenten werden zur Erfüllung der Funktion benötigt?	Welche Ressourcen sind vorhanden?
Welche Zeit steht zur Durchführung der Analyse zur Verfügung?	

Bei der eigentlichen Methodenauswahl wird der Anwender von einem Zugriffssystem unterstützt, mit dessen Hilfe in Abhängigkeit von den spezifizierten Kriterien geeignete Methoden aus einem Methodenbaukasten vorgeschlagen werden.

Ein im Rahmen dieser Arbeit entstandenes Zugriffssystem zeigt Abbildung 9-16. Es stellt die Basis für die in Kapitel 5.5 vorgestellte Analysemethodendatenbank dar. Es erlaubt die Suche anhand der Art des Problems (z.B. Klärung von Material- oder Festigkeitsfragen) oder dem Ziel der Analyse (grobe oder genaue Eigenschaftsermittlung).

Folgende Darstellung (Abbildung 3-11) zeigt die prinzipielle Eignung verschiedener Analyseverfahren in Abhängigkeit der Entwicklungsphase sowie der Komplexität des zu entwickelnden Produktes. Es ist zu beachten, dass Baugruppen, Maschinen und Anlagen auf Bauteilebene abstrahiert werden können.

In der Regel werden mehrere geeignete Methoden vorgeschlagen, aus denen der Anwender auswählen kann, wobei durchaus auch persönliche Vorlieben berücksichtigt werden können. Falls der Anwender mit der vorgeschlagenen und ausgewählten Methode bisher keine Erfahrung besitzt, kann er sich mit Hilfe der in der Analysemethodendatenbank (Kapitel 5) hinterlegten Informationen mit der Methode vertraut machen.

Daneben muss er die zur Anwendung der Methode erforderlichen Hilfsmittel (Rechner und Simulationssoftware; Baukästen für Funktionsmodelle etc.) und Fertigungsmöglichkeiten (für die Anfertigung von Modellteilen oder Prototypen) und deren Verfügbarkeit überprüfen und die zur Durchführung der Analyse erforderliche Zeit abschätzen.

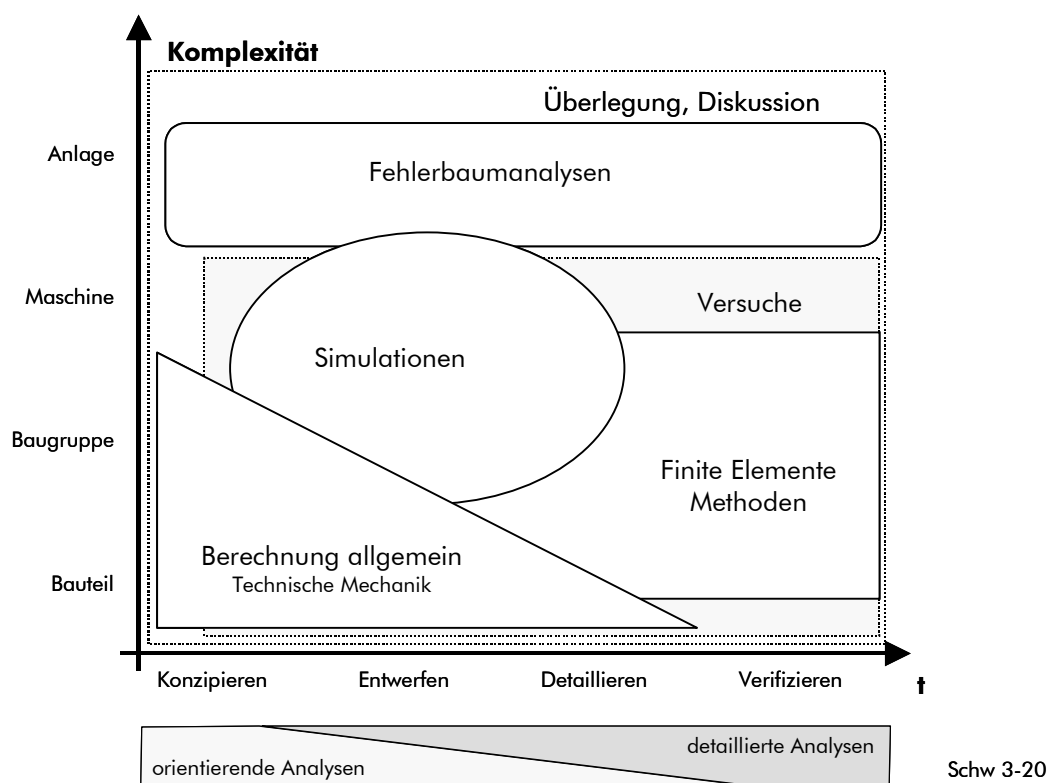


Abbildung 3-11: Methodeneinsatz in Abhängigkeit des zu analysierenden Elements

3.5.4.2 Analysedurchführung und Modellbildung

Bei der Durchführung der Analyse empfiehlt sich die Beachtung des allgemeinen Prozessmodells der Versuchsplanung (Abbildung 2-29), welches das Zusammenwirken unterschiedlicher Parameter (Ein- und Ausgangsparameter sowie Störgrößen) verdeutlicht. Die Gründlichkeit, mit der eine Analyse durchgeführt werden muss, hängt von der zu beantwortenden Fragestellung, von der Komplexität und der Schwierigkeit der Problemstellung ab. Sehr wichtig ist in jedem Fall, ein geeignetes Repräsentationsmodell zu generieren, anhand dessen die Analyse durchgeführt wird.

Da zahlreiche unterschiedliche Modellarten (Abbildung 2-28) sowie verschiedene Möglichkeiten der Modellbildung existieren, ist eine genaue Abschätzung der Anforderungen an das Modell durchzuführen (Tabelle 3-6). Die Entscheidung für ein Modell beeinflusst wesentlich die entstehenden Kosten und den Zeitbedarf für dessen Erstellung (MALLE 1998).

Neben dem Einsatz im Rahmen der Analyse haben Modelle positive Auswirkungen auf die Gruppenarbeit (EHRENSPIEL ET AL. 1995, S. 49) und verbessern die Kommunikation qualitativ und quantitativ. Auf der einen Seite, weil die Diskussion gestartet und unterstützt wird, auf der anderen Seite, weil bereits durch die Planung und Erstellung von Modellen neue Lösungen angeregt werden.

Tabelle 3-6: Anforderungen an und Richtlinien zur Auswahl von Modellen

Nr.	Anforderung
1	Modelle müssen schnell verfügbar sein (KÖNIG ET AL. 1993 S. 92f).
2	Modelle sind eine Vereinfachung der Eigenschaften eines realen Produkts. Sie müssen dieses aber doch hinreichend genau beschreiben.
3	Je einfacher das Modell ist, das zur Analyse verwendet wird, desto kürzer ist die erforderliche Herstellungszeitdauer. Daraus resultieren enorme Zeitvorteile.
4	Auch einfache Modelle unterstützen die Informationsgewinnung.
5	Ein Modell muss gewisse praktische Vorteile gegenüber dem modellierten Original aufweisen (PITTIONI 1983, S. 174). Es kann beispielsweise zugänglicher, leichter manipulierbar, billiger, bekannter, vertrauter, förderlicher als das Original sein.
6	Modelle sollen so aufgebaut werden, dass sie leicht und ohne große Änderungen auch für andere Analysen weiterverwendet werden können.

Die Verwendung einfacher Modelle, die die Realität nur eingeschränkt abbilden, wird auch häufig bei rechnerischen Analysen eingesetzt. So verwendet das FEM-Paket *BEAT* von TANG & LU (1996) vereinfachte Modelle für Festigkeitsberechnungen, die entweder aus Trägerelementen oder dünnwandigen Elementen zusammengesetzt sind. Damit sind Entwickler in der Lage, abgesicherte Aussagen bereits in sehr frühen Phasen der Produktentwicklung zu treffen, selbst wenn die Bauteile noch nicht vollständig im CAD-System modelliert sind. Neben einem gewaltigen Zeitvorteil bietet dieses Vorgehen die Möglichkeit, die Berechnungsergebnisse umgehend in die Entwicklung einfließen zu lassen und bei Bedarf Änderungen rasch und aufwandsarm durchzuführen.

Tabelle 3-7: Checkliste zur Auswahl eines geeigneten Modells

Frage	mögliche Ausprägungen
Welchen Zweck soll das Modell erfüllen?	Verifikationsmodell – Unterstützungsmodell Analyse-, Evaluations-, Speicherhilfe
Art des Modells?	Mental – Körperlich – Graphisch – Rechenmodell Design-, Geometrie-, Funktionsmodell
Welche Modellierungsverfahren zur Erstellung von Modellen stehen zur Verfügung?	Mechanische Werkstatt, Rapid-Prototyping, CAD-Software, Virtual-Reality Umgebung, ...
Welche qualitativen Eigenschaften sollen abgebildet werden?	Oberflächenbeschaffenheit, Festigkeit, Maßhaltigkeit, ...
Welche Funktion soll überprüft werden?	Systemverhalten, Belastung, Lebensdauer, Verschleiß, Montage, ...
Welche Abmessungen hat das zu modellierende Objekt?	Maßstab 1:1 bzw. Skalierung
Welche Stückzahlen sind erforderlich?	1, 2, ..., n

Ist die Auswahl erfolgt und das Modell fertiggestellt, kann mit der Durchführung der Analyse begonnen werden. Dabei sollten die Hinweise¹ zur Anwendung der jeweiligen Methode berücksichtigt werden, um ein effizientes Vorgehen zu erzielen.

¹ Die Hinweise zur Anwendung einer Methode stellt die Analysemethodendatenbank in übersichtlicher Form zur Verfügung.

Hierbei ist insbesondere auf eine nachvollziehbare Dokumentation sowohl der Ergebnisse als auch des Vorgehens zu achten.

3.5.4.3 Interpretation der Analyseergebnisse

Den letzten Schritt bei der Absicherung von Produkteigenschaften stellt die Auswertung und Interpretation der Analyseergebnisse dar, wodurch deren Verwendung im Entwicklungsprozess ermöglicht wird (PACHE ET AL. 1999).

Basis sind die Überlegungen bezüglich der Eingangs- und Ausgangsparameter, die in der Analysephase stattfanden, und die Kenntnisse über die verwendeten Modelle und angewandten Methoden. Auf dieser Grundlage können – am besten im Team mit Mitarbeitern des Versuchs und der Entwicklung – die Ergebnisse zusammengefasst und Schlussfolgerungen bezüglich des weiteren Vorgehens getroffen werden. Des Weiteren ist eine kritische Überprüfung der gesamten Analyse, der Gültigkeit der getroffenen Annahmen und Vereinfachungen durchzuführen. Nur so kann eine hohe Aussagesicherheit gewährleistet werden.

STETTER (2001) schlägt die sogenannte Parametercheckliste als Anlage für Analyseaufträge im Rahmen der Eigenschaftsfrüherkennung vor (Abbildung 9-14). Diese kann zur prozessbegleitenden Dokumentation eingesetzt werden. In dieser Checkliste werden die zu analysierenden Fragestellungen niedergeschrieben sowie die zur Unterstützung eingesetzten Modelle und Funktionsmuster beschrieben. Dazu werden Informationen zu einzelnen Bauteilen, zu deren Geometrie und Werkstoffeigenschaften sowie zum angewandten Herstellungsverfahren abgefragt und in die Checkliste eingetragen. Der nächste Fragenblock befasst sich mit dem Versuchsaufbau und der Versuchsdurchführung, wo sämtliche untersuchten bzw. variierten Parameter sowie Störgrößen und getroffene Vereinfachungen dokumentiert werden. Der abschließende Fragenblock dient der Dokumentation der Versuchsergebnisse und deren Interpretation.

3.5.5 Zusammenfassung

Die hier beschriebene Vorgehensweise zur Durchführung orientierender Analysen unterstützt in erster Linie eine zielgerichtete und effiziente Informationsbeschaffung, die für die weiteren Schritte im Entwicklungsprozess erforderlich ist; darüber hinaus dienen sie zur prinzipiellen Überprüfung einzelner funktionsrelevanter Parameter sowie zur frühzeitigen Absicherung wichtiger Produkteigenschaften.

Bei diesen Analysen werden große Mengen an Informationen generiert, die in geeigneter Art und Weise dokumentiert werden müssen, damit sie auch zu einem späteren Zeitpunkt noch verfügbar sind. Ansätze zur Unterstützung dieser Dokumentation werden in Kapitel 4 vorgestellt. Auf diese Weise kann eine Wiederverwendung und zugleich der Transfer von Wissen für die Anwendung in neuen oder verwandten Problemlösungsdomänen erfolgen¹.

¹ Wird das Vorgehen bei den orientierenden Analysen geeignet dokumentiert (Fragestellung, verwendete Methode und eingesetzte Modelle, Aufwand und Resultate), kann dies eine wertvolle Information für Folgeentwicklungen darstellen und dort die Entwicklungszeit reduzieren. Mit detaillierteren Analysen, wie sie in Kapitel

3.6 Identifizierung von Parametern und Modellierung des Systems

3.6.1 Notwendigkeit und Vorgehen

Lösungen, die im Rahmen der orientierenden Lösungssuche generiert und anschließend in orientierenden Versuchen analysiert worden sind, können gemeinsam mit den Informationen aus der eingangs durchgeführten Analyse der Anforderungen und der Identifikation von Haupt- und Teilfunktionen zur systemtechnischen Modellierung des zu entwickelnden Produktes verwendet werden.

Die graphische Darstellung der Funktionsstruktur erlaubt das Erkennen wichtiger Zusammenhänge und gegenseitiger Abhängigkeiten. Dadurch lassen sich Analysen effizienter durchführen, da verschiedene Einflussparameter (Stell- und Folgegrößen) bereits im Rahmen dieser Betrachtung identifiziert werden können.

Gerade bei einem komplexen Produkt, das eine Vielzahl unterschiedlicher Funktionen integriert, muss eine große Menge an Einflussparametern beachtet werden, die das Gesamtverhalten des Produkts maßgeblich bestimmen. Zur Reduzierung dieser hohen Komplexität bietet es sich an, die einzelnen Funktionen getrennt voneinander zu betrachten und erst im Anschluss daran auf das Gesamtsystem überzugehen.

3.6.2 Produktmerkmale und Parameter

Ein Produkt lässt sich anhand seiner Merkmale (Abbildung 3-12) beschreiben, die unterteilt werden können in:

- Beschaffenheitsmerkmale,
- Funktionsmerkmale und
- Relationsmerkmale (Beziehungsmerkmale).

Beschaffenheitsmerkmale können vom Entwickler unmittelbar festgelegt werden (Stellgrößen) und kennzeichnen z.B. die Gestalt oder den Werkstoff eines Produkts.

In Folge der Festlegung von Beschaffenheitsmerkmalen werden Funktionsmerkmale und Relationsmerkmale¹ mittelbar festgelegt.

3.8 behandelt werden, lassen sich deutlich fundiertere Aussagen treffen, z.B. über das genaue Betriebsverhalten eines Produkts.

¹ Funktionsmerkmale beschreiben die vom Objekt durchführbaren Handlungen. Relationsmerkmale kennzeichnen Eigenschaften des Objekts, die erst in Relation mit anderen Objekten zum Tragen kommen (GÖKER 1996).

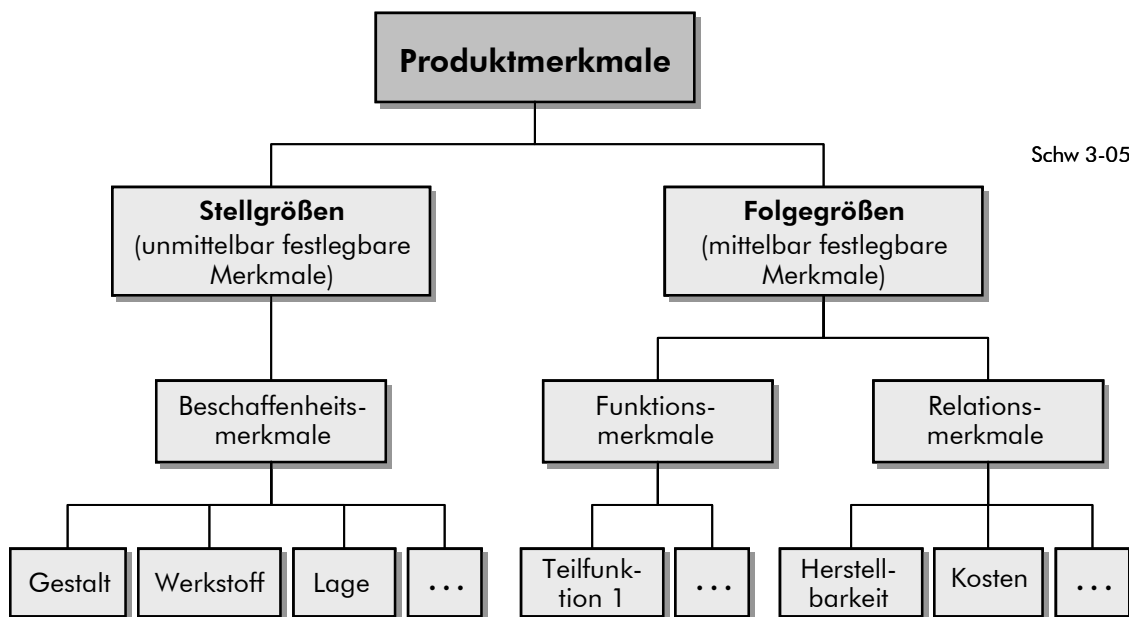


Abbildung 3-12: Einteilung der Produktmerkmale (GÖKER 1996, S. 82)

Diese Merkmale werden maßgeblich von Parametern als kennzeichnende Größen bestimmt, wobei diese unterschieden werden, in Parameter die

- beeinflusst und variiert bzw.
- nicht beeinflusst werden können.

Eine weitere Unterscheidung wird bei funktionalen Betrachtungen vorgenommen, wo zwischen Eingangs- und Ausgangsparametern unterschieden wird.

Ziel der Analyse ist, die Parameter zu identifizieren, die beeinflusst und als Stellglieder für die Optimierung eines Produkts verwendet werden können. Mindestens genau so bedeutend ist aber zu erkennen, welche weiteren Parameter im System noch zu beachten sind und wie diese auf Veränderungen jeglicher Art reagieren.

3.6.3 Identifizierung von Parametern

Zum Identifizierung von produktbestimmenden Parametern empfiehlt QUENTIN (1994, S.20) die Verwendung von Ishikawa-Diagrammen¹, da es das Erkennen verschiedensten Größen systematisiert und anschaulich darstellt. Auch in diesen Diagrammen können vorhandene Wechselwirkungen, also gegenseitige Beeinflussungen verschiedener Einflussgrößen, frühzeitig erfasst und visualisiert werden.

Eine weitere Möglichkeit besteht in der Anwendung von Checklisten, anhand derer die eingangs diskutierten Anforderungen, Haupt- und Nebenfunktionen kritisch durchleuchtet werden.

¹ Auch bekannt als Fischgräte-Diagramm.

Tabelle 3-8: Checkliste zum Identifizieren von Parametern

1. Welche Parameter können aus der Anforderungsliste direkt abgeleitet werden?
2. Welche Funktionen sind gefordert? <ul style="list-style-type: none"> - Wie können diese Funktionen realisiert werden? (siehe existierende Lösungssammlungen, physikalische Effekte, bereits erzeugte Lösungen usw.) - Welche Parameter sind in diesem Zusammenhang zu betrachten (Eingangs-, Ausgangsparameter)? - In welchen Ausprägungen können diese Parameter vorliegen?
3. Welche Parameter sind relevant? Welches sind Haupteinflussparameter? <ul style="list-style-type: none"> - Wie groß ist ihr individueller Einfluss? (Bewertung, Gewichtung) - Welche können vernachlässigt werden? - Welche Abhängigkeiten sind vorhanden?
4. Welche Stellgrößen sind vorhanden? <ul style="list-style-type: none"> - Was darf/kann verändert werden? - Was darf/kann nicht verändert werden? - In welchem Umfang sind Änderungen zulässig/möglich?
5. Welche Folgegrößen sind zu beachten? <ul style="list-style-type: none"> - Wie ändern sich diese Folgegrößen bei Änderungen der Stellgrößen?

SHAININ (KROTTMAIER 1991) geht bei der Anwendung der Methoden der statistischen Versuchsplanung davon aus, dass es für jeden Effekt eine maßgebliche Hauptursache gibt, also einen beherrschenden Parameter. Allen weiteren Ursachen besitzen nur eine untergeordnete Bedeutung, weil sie das Verhalten der betrachteten Funktion im Gegensatz zur Hauptursache nur unwesentlich beeinflussen. Zum Identifizieren dieser Hauptursache bietet sich eine „Progressive Suche“ (KROTTMAIER 1991) an, bei der überflüssige Einflussgrößen identifiziert und aus der weiteren Betrachtung ausgeschlossen werden.

Das in folgender Abbildung dargestellte Schema erlaubt eine Zuordnung einzelner Parameter zu den verschiedenen Funktionen eines Produkts. Daneben kann die Bedeutung und Beeinflussbarkeit des Parameters vermerkt werden. In der Relationsprüfmatrix werden Abhängigkeiten und mögliche gegenseitige Beeinflussungen (sowohl im positiven als auch im negativen Sinn) dokumentiert.

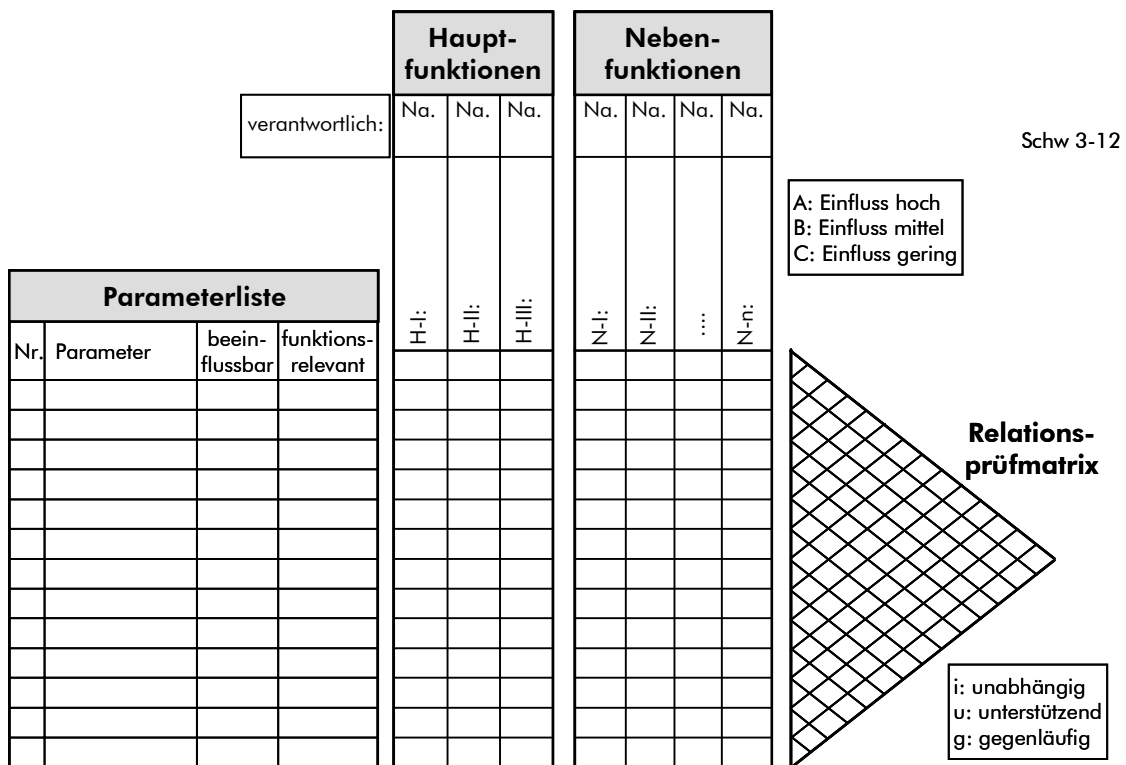


Abbildung 3-13: Dokumentation der funktionsrelevanten Parameter

3.6.4 Modellierung des Systems

Auf Basis von bereits vorliegenden Ergebnissen sowie der Identifikation der einzelnen Funktionen des zu entwickelnden Produkts können Funktionsstrukturen mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad und auf unterschiedlichem Abstraktionsniveau erstellt werden. Zur Modellierung einzelner Teilfunktionen bzw. des Gesamtsystems stehen verschiedene Modellierungstechniken zur Verfügung (siehe Kapitel 2.4.3.2), die bedarfsgerecht anzuwenden sind. In folgender Abbildung 3-14 wurden die aus den Modellierungstechniken (z.B. nach TRIZ) bekannten Beschreibungen um einzelne Parameter und wichtige physikalische Zusammenhänge ergänzt.

Durch die formelmäßige Erfassung relevanter Teilfunktionen und die Verknüpfung einzelner Funktionen gemäß der zugrundeliegenden Physik können auch Abhängigkeiten über mehrere Funktionen hinweg identifiziert werden. Ebenso kristallisieren sich wichtige Parameter heraus, die für eine Optimierung des Systems aufeinander abzustimmen sind.

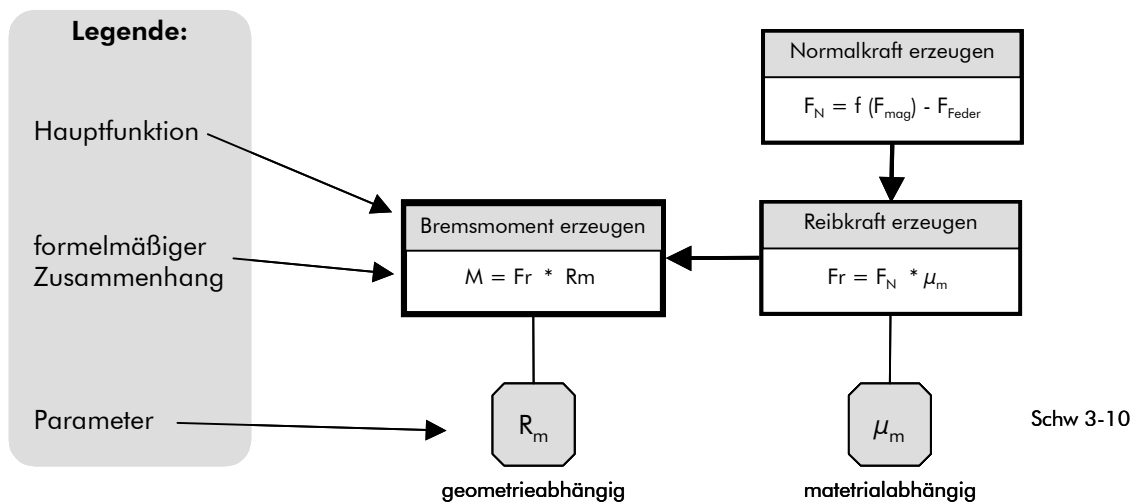


Abbildung 3-14: Funktionsmodellierung mit Darstellung der wichtigsten Parameter (am Beispiel der Hauptfunktion Bremsmoment erzeugen einer elektromagnetischen Bremse)

Diese Art der Darstellung lässt sich noch beliebig erweitern. Z.B. können die in der Anforderungsliste definierten bzw. technologisch bedingten Grenzwerte einzelner Parameter ergänzt (im Beispiel: $50\text{mm} < R_m < 80\text{mm}; \mu = 0,5 \pm 0,1$) oder der Grad der Beeinflussbarkeit und Beeinflussung (*niedrig – mittel – hoch*) vermerkt werden.

3.6.5 Identifikation von Handlungsbedarf für Analysen

Diese Modellierung einzelner Funktionen auf unterschiedlichem Abstraktionsniveau unterstützt ebenfalls den Verständnisprozess, da wichtige Zusammenhänge erkannt und Handlungsbedarf abgeleitet werden kann. Ist zum Beispiel eine Abschätzung des Verhaltens der Parameter nicht möglich (aufgrund unzureichender Informationen bzw. unklarer Zusammenhänge), sind orientierende Analysen zur Informationsbeschaffung erforderlich. Auf Basis der bereits identifizierten Abhängigkeiten und Einflussparameter kann die Planung und Durchführung dieser notwendigen Analysen zielgerichteter durchgeführt und das Verhalten verschiedener Einflussgrößen beurteilt werden.

3.7 Zielgerichtete Lösungssuche

Zur zielgerichteten Erweiterung des Lösungsraums und Schaffung einer großen Lösungsvielfalt bieten sich verschiedene Strategien an, die in Abhängigkeit der jeweiligen Ergebnisse anzuwenden sind, die im Vorfeld erarbeitet worden sind.

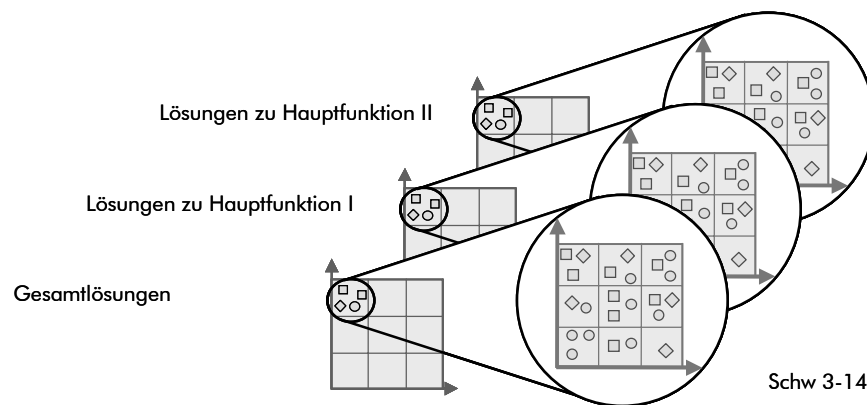


Abbildung 3-15: Zielgerichtete Erweiterung des Lösungsraums

Zu den in der orientierenden Lösungssuche generierten Ideen liegen durch die Analysen bereits weitere Informationen vor, die eine fundierte Beurteilung erlauben. Fällt diese positiv aus, können diese ersten Ideen als Keimzellen für neue verwendet werden. Dazu eignen sich neben den bereits diskutierten Kreativmethoden auch Methoden zur Variation der Wirkgestalt (EHRENSPIEL 1995, S. 378ff). Dabei werden die bereits vorhandenen Lösungen (Bezugslösungen) mit Variationsmerkmalen gezielt verändert und so mehrere neue Varianten erzeugt. Ziel ist, vorhandene Schwächen in den Bezugslösungen, die im Rahmen der Analyse identifiziert werden konnten, durch zweckentsprechende Änderungen zu eliminieren und entsprechend die Stärken einer Lösung zu betonen. Diese Variation ist sowohl für das Generieren von Teillösungen als auch von Gesamtlösungen empfehlenswert.

Ein weitere Quelle der Inspiration liefert die Strukturierung des zu entwickelnden Produkts in Haupt- und Nebenfunktionen und deren Modellierung (Kapitel 3.6.4), für die ebenfalls zielgerichtet neue Lösungen gesucht werden. Aus der Anzahl der Lösungen, die im Morphologischen Kasten zu einzelnen Teilfunktionen eingetragen sind, lässt sich ebenfalls Bedarf nach weiteren Lösungen ableiten.

Der Einsatz von Lösungs- und Ideenspeichern bietet sich zum Suchen nach Teillösungen an. Je umfangreicher die zur Verfügung stehenden Speicher sind, je strukturierter die Informationen abgelegt sind und je näher sie thematisch in Bezug zur Aufgabenstellung stehen, desto wertvoller sind sie.

Eignet sich keine der bei der orientierenden Lösungssuche erzeugten Ideen für die weitere Umsetzung, ist der Einsatz von anderen als den bisher verwendeten Kreativtechniken¹ und eine erneute Suche auf abstrakterem Niveau zu empfehlen. Auch kann eine andere Zusammensetzung oder Vergrößerung des Teams von Vorteil sein.

Gerade bei umfangreichen Aufgabenstellungen werden diese intensiven kreativen Lösungssuchen einige Zeit in Anspruch nehmen. Am besten werden mehrere Sitzungen mit gewissem zeitlichen Abstand abgehalten. Die Zeit zwischen den Sitzungen kann zur weiteren Informationsbeschaffung und zur Durchführung von Analysen verwendet werden. Nach erfolgter Be-

¹ Dabei können auch Methoden zum Einsatz kommen, mit denen die Teammitglieder bisher noch keine Erfahrungen gemacht haben.

wertung und Auswahl geeigneter Lösungen werden diese in den Morphologischen Kasten eingeordnet.

Auch bei der zielgerichteten Ideensuche werden Ideenformulare eingesetzt, in denen sämtliche Informationen dokumentiert werden.

3.8 Detailliertere Analyse

Ist der Detaillierungsgrad der Lösungen schon größer, sind umfangreiche Analysen erforderlich, die konkretere Aussagen über relevante Eigenschaften und das Funktionsverhalten erlauben. Basierend auf den Resultaten der orientierenden Analysen werden Informationen zu den noch zu klärenden Fragestellungen zielgerichtet erarbeitet und verifiziert. Die Auswahl geeigneter Methoden, mit denen optimal auf den vorliegenden Ergebnissen aufgesetzt werden kann, unterstützt wiederum das Zugriffssystem bzw. die Analysemethodendatenbank.

Die Analysen in dieser Phase dienen in erster Linie der

- Funktionserprobung,
- Dauererprobung und der
- Parameteroptimierung.

Genau wie bei den orientierenden Analysen ist das oberste Ziel, mit geringem Aufwand die maximal mögliche Menge an Informationen zu generieren, die für die weiteren Schritte in der Entwicklung erforderlich sind.

Dazu eignen sich besonders multikriterielle Analysen, bei denen mehrere Kriterien untersucht und eine optimale Ausprägung einzelner Kriterien gefunden werden kann. Bei der Planung dieser Analysen kann auf die Ergebnisse der Anforderungs- und Parameteranalyse zurückgegriffen werden, bei der die Einstellbereiche einzelner Parameter sowie relevante Abhängigkeiten identifiziert worden sind. Durch die Analysen wird die Sensitivität der Parameter aufgedeckt, was zu einem fundierten Verständnis der Zusammenhänge führt. Auf dieser Basis lässt sich eine optimale Einstellung sämtlicher Parameter durchführen.

3.8.1 Festlegung von Teilfunktionsträgern

Zur aufwandsarmen Analyse einer großen Anzahl verschiedener Lösungsvarianten bietet sich die Verwendung von Teilfunktionsträgern an. Bei deren Konzipierung kann auf den Ergebnissen der Modularisierung aufgebaut werden, die bereits bei der Definition von Haupt- und Nebenfunktionen erfolgt ist. Diese Teilfunktionsträger repräsentieren wichtige Funktionen eines Produkts (Abbildung 3-16). Analog zur Strukturierung der Aufgabe in geeignete Module, die zur Reduzierung der Komplexität durchgeführt wird, werden verschiedene Lösungen zu relevanten Funktionen eines Produkts anhand unterschiedlicher Teilfunktionsträger getrennt voneinander abgesichert. Diese Teilfunktionsträger besitzen eine hohe Aussagekraft und lassen sich aufwandsarm herstellen.

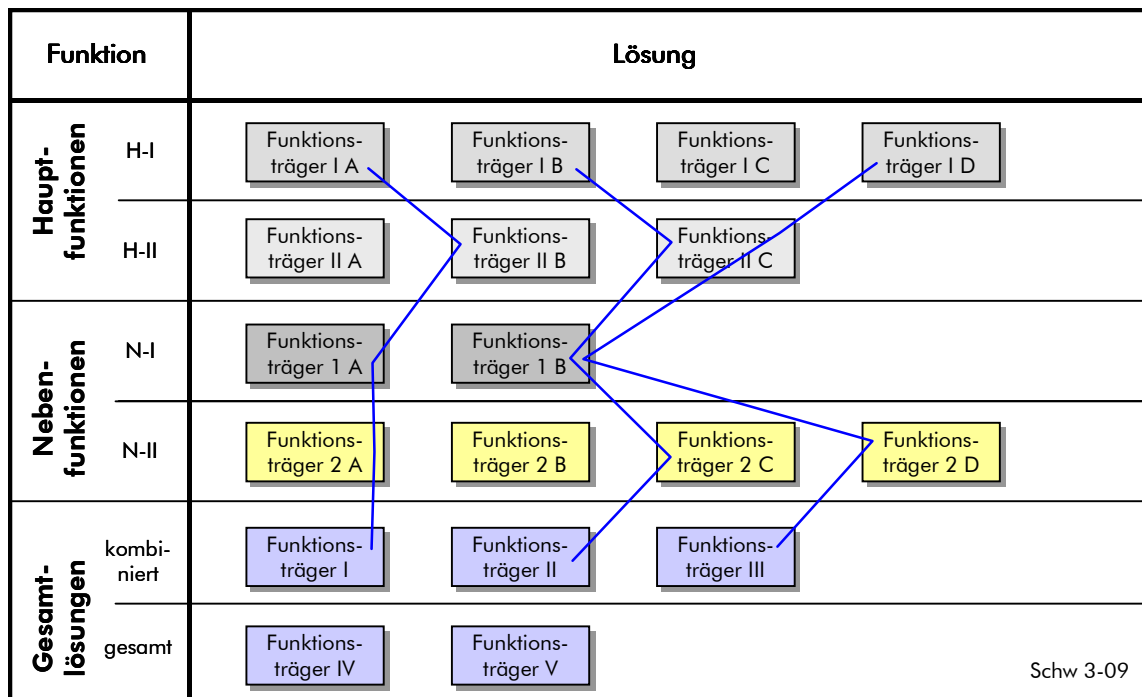


Abbildung 3-16: Teilfunktionsträger im Morphologischen Kasten

Diejenigen Teilfunktionsträger, die bei den Einzelanalysen erfolgversprechende Ergebnisse erzielen konnten, lassen sich anschließend – entsprechende Schnittstellen vorausgesetzt – zu Gesamtsystemen kombinieren, die dann als ganzes analysiert werden. Somit können auch Aussagen über das Verhalten des Gesamtsystems getroffen werden, ohne dass erneut Prototypen gefertigt werden müssen.

Auf diese Weise kann eine große Menge von unterschiedlichen Lösungsalternativen in kurzer Zeit und mit geringem Aufwand für die Modell- bzw. Prototypenerstellung überprüft werden.

3.8.2 Erprobungsmatrix zur Unterstützung der Funktions- und Dauererprobung

Zur Unterstützung der Versuche für die Funktions- und Dauererprobung schlägt BRANDT (1993, S.28) eine sogenannte Erprobungsmatrix¹ vor. Darin werden die Versuchsziele (*Was ist abzuschließen?*) in Bezug zum Vorgehen bei den Versuchen (*Wie/wodurch wird abgesichert?*) gesetzt. Diese Erprobungsmatrix (Abbildung 3-17) ist flexibel aufgebaut und kann an die jeweiligen Randbedingungen in einem Unternehmen angepasst und bedarfsgerecht erweitert werden. Zur Optimierung der Analyseplanung empfiehlt sich eine kombinierte Anwendung gemeinsam mit der bereits diskutierten Parametercheckliste.

¹ In Anlehnung an das „House of Quality“ aus dem QFD auch als „House of Testing“ bezeichnet.

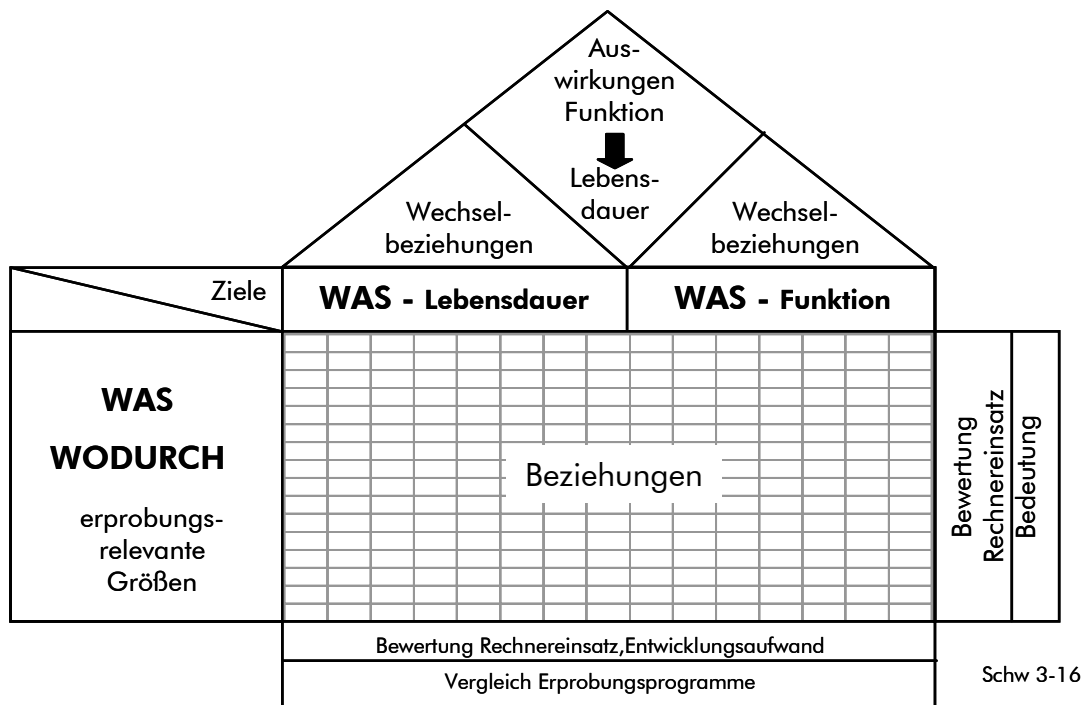


Abbildung 3-17: Erprobungsmatrix in Anlehnung an BRANDT (1993)

Auf Basis der Ergebnisse der detaillierten Analysen kann eine fundierte Bewertung und Auswahl geeigneter Lösungen durchgeführt werden.

3.9 Weitere Schritte des Vorgehensmodells

Bei der Kombination einzelner Teillösungen zu Gesamtlösungen kann anhand der im unternehmensweiten Ideenspeicher vorhandenen Ideen noch geprüft werden, welche weiteren Elemente sich in die Gesamtlösungen integrieren lassen, mit denen die Kundenattraktivität gesteigert werden kann.

In dieser Phase müssen die prinzipiellen Gesamtlösungen zielgerichtet so weit konkretisiert werden, bis die entsprechenden Varianten beurteilungsfähig und miteinander vergleichbar sind (GROBE 1998, S. 137).

3.9.1 Abschließende Bewertung und Auswahl geeigneter Lösungen

Auf Basis der Ergebnisse der Analysen sind die verbleibenden Lösungsvarianten miteinander zu vergleichen und unter Anwendung geeigneter Bewertungsverfahren (siehe Kapitel 2.4.5.2) die bestgeeignetste auszuwählen. Zu diesem Zweck werden Methoden der intensiven Bewertung eingesetzt, um eine fundierte Aussage auf Basis der Überprüfung mehrerer Kriterien treffen zu können. Dazu ist aber eine Überprüfung der Eingangs abgeleiteten Bewertungskriterien erforderlich, d.h. es muss geklärt werden, ob sie aufgrund der mittlerweile vorliegenden Informationen noch Gültigkeit besitzen oder ob sie einer Anpassung (Veränderung oder Ergänzung um weitere Kriterien) bedürfen.

3.9.2 Dokumentation von nicht umgesetzten Lösungen

Gerade bei dem hier geschilderten Vorgehen, das von intensiven Phasen der Lösungssuche begleitet wird, werden im Laufe des Projekts eine Vielzahl von Lösungen erarbeitet. In der Regel werden aber nur sehr wenige davon ausgewählt und zu einer Gesamtlösung kombiniert bzw. in dieser integriert. Häufig sind unter den erarbeiteten Lösungen, die auch schon auf einem hohen Detaillierungsgrad sind, brauchbare Varianten enthalten, die für andere Projekte durchaus interessant sein können; beispielsweise Lösungen, die wiederkehrende Detailprobleme betreffen. Aufgrund ihrer etwas ungünstigeren Bewertung im Vergleich zur ausgewählten Lösung, werden diese aber nicht mehr weiter verfolgt und sind somit wertlos, wenn sie nicht in geeigneter Weise dokumentiert und archiviert werden. Im Erweiterten Vorgehensmodell wurde die hohe Bedeutung der Dokumentation für die Entwicklung mehrfach herausgestellt. An dieser Stelle im Entwicklungsprozess bietet sich an, sämtliche erzeugten Lösungen und die dazugehörigen Informationen (aus Analyse und Bewertung) in einen unternehmensweit verfügbaren Lösungsspeicher zu archivieren und für andere verfügbar zu machen. Dadurch kann ein beachtlicher Beitrag für ein umfassendes Informationsmanagement geleistet werden.

3.9.3 Gemeinsame Detaillierung der ausgewählten Lösung

Zur Vorbereitung der Fertigung der Prototypen wird eine Detaillierung der Unterlagen vorgenommen, die bereits zur Fertigung der Funktionsmuster im Rahmen der Analyse erstellt worden sind. Dazu empfiehlt sich ebenfalls ein gemeinsames Vorgehen im Team, denn dadurch kommen die Vorteile zum Tragen, die in der Integrierten Produktentwicklung begründet sind.

Bei der Erstellung der Fertigungsunterlagen fließen Informationen aus nachgelagerten Bereichen wie der Fertigung und Montage (z.B. Informationen über verfügbare und geeignete Materialien und Fertigungseinrichtungen, erforderliche Toleranzen usw.) frühzeitig mit ein und relevante Entscheidungen werden gemeinsam getroffen.

3.9.4 Überprüfung der bisherigen Ergebnisse

Sind die Fertigungsunterlagen zur Herstellung der Prototypen ausgearbeitet, die für die abschließende Untersuchungen (z.B. Lebensdauererprobung, Qualitätsprüfung zur Vorbereitung des Serieneinsatzes) benötigt werden, empfiehlt sich eine abschließende und kritische Überprüfung des bisherigen Projektverlaufs und der erarbeiteten Ergebnisse (Abbildung 3-18). Neben der Erfüllung der Anforderungen und Einhaltung bestehender Richtlinien (Spezifikationen, Sicherheitsrichtlinien, usw.) wird ferner auf die Vollständigkeit der Protokolle und Berichte geachtet.

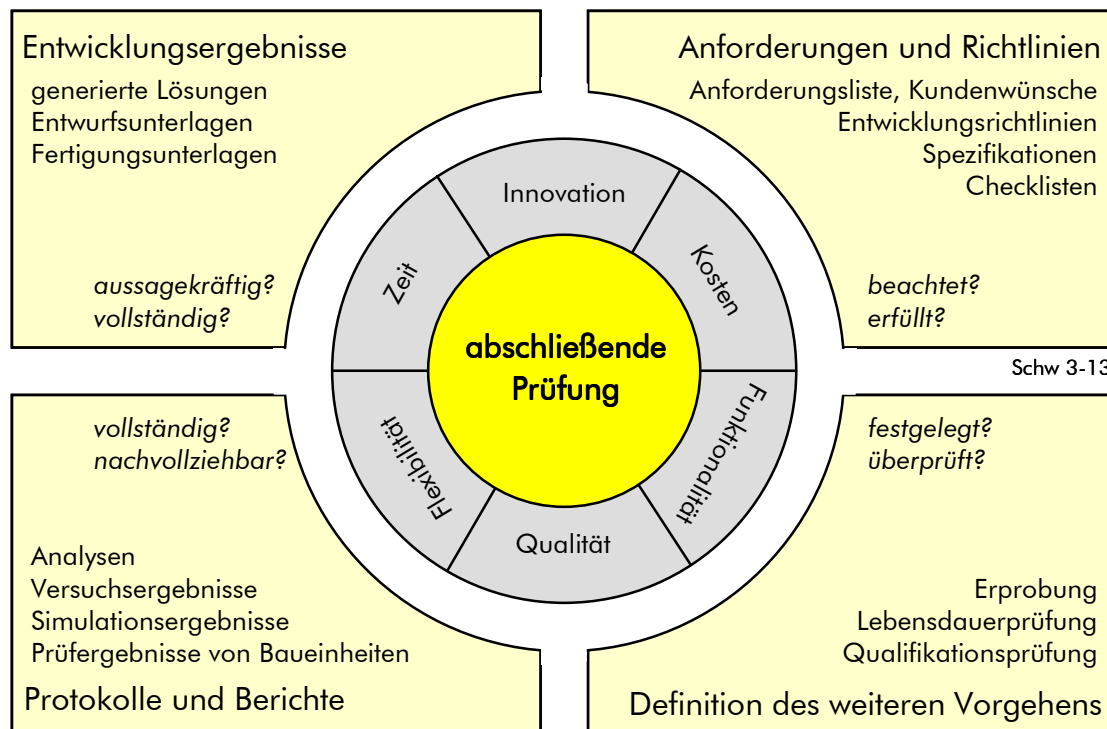


Abbildung 3-18: Abschließende Überprüfung der bisherigen Ergebnisse

Diese Prüfung erhöht die Sicherheit, dass die ausgewählte Lösung allen Anforderungen entspricht, das Konzept und sämtliche Unterlagen (Fertigungsunterlagen und Unterlagen, die erforderliche Schritte für das weitere Vorgehen festlegen) fehlerfrei sind, was für ihre Umsetzung in ein erfolgreiches Produkt erforderlich ist.

Lässt man den gesamten Entwicklungsprozess noch einmal Revue passieren und geht dabei auf positive und negative Elemente ein (im Vorgehen, in Entscheidungen usw.), können daraus wertvolle Schlüsse¹ für folgende Projekte gezogen werden.

3.10 Organisatorische Randbedingungen

Die organisatorischen Randbedingungen haben eine große Bedeutung für den Erfolg eines Projekts (LINDEMANN 2001c). Im Folgenden werden Hinweise zur optimalen Gestaltung dieser Randbedingungen sowie die Bedeutung der Teamarbeit diskutiert, die bei einer erfolgreichen Anwendung des Erweiterten Vorgehensmodells berücksichtigt werden sollen.

3.10.1 Erstellung eines Workshopkonzepts zur Unterstützung des Vorgehens

Die Bearbeitung von Aufgabenstellungen in Anlehnung an das Erweiterte Vorgehensmodell wird in der Regel im Rahmen von Workshops durchgeführt. Daher bietet sich die Erstellung

¹ Im Sinne von „Lessons learned“ bzw. einem „Best-Practice Transfer“ (SCHOEN 2001, S. 170).

von unterstützenden Unterlagen an, die - abstrakt genug formuliert - auch im Rahmen weiterer Projekte wieder verwendet werden können.

Bei der Erstellung eines flexiblen Workshopkonzepts zur Unterstützung des beschriebenen Vorgehens wurden verschiedene einschlägige Richtlinien (z.B. KÖLBACH 2001) beachtet bzw. auf die Erfahrung aus verschiedenen Projekten zurückgegriffen.

Sehr wichtig ist hier, dass die Flexibilität des Erweiterten Vorgehensmodells im Workshopkonzept abgebildet und so ein situatives Vorgehen unterstützt wird.

Eine flexible Grundstruktur gibt dabei einen groben Rahmen mit relevanten Tätigkeiten vor, z.B. beginnend bei der einleitenden Zielformulierung bis zur abschließenden Beurteilung des Workshopverlaufs. Die Zwischenschritte werden bereits bei der Vorbereitung des Workshops abhängig von der zu behandelnden Aufgabenstellung festgelegt. Daneben werden Unterlagen zu verschiedenen Methoden und Hilfsmitteln bereitgestellt, die bedarfsgerecht eingesetzt werden; beispielsweise, wenn ein Teammitglied Informationen zu einer ihm noch unbekanntem Methode benötigt. Zu den Hilfsmitteln zählen einerseits jegliche Arten von Formularen (Ideenformulare, siehe Kapitel 4.6, Formular für die Anforderungsliste, Bewertungstabellen, usw.) sowie Checklisten (zum Finden von Anforderungen) und Lösungsspeicher (z.B. Erweiterter Ideenspeicher, Kapitel 4.5). Andererseits können unterschiedliche Rechnerwerkzeuge zur Unterstützung einzelner Tätigkeiten bereitgestellt werden, z.B. Werkzeuge zur Unterstützung der Dokumentation wie die Konzeptdatenbank (Kapitel 4.7).

Je nach Komplexität der Aufgabenstellung werden mehrere Workshops durchgeführt, in denen jeweils Teilelemente des Erweiterten Vorgehensmodells bearbeitet werden. Die Zeiträume zwischen den einzelnen Workshops werden für die Informationsbeschaffung oder zum Aufbau und zur Analyse von Funktionsmustern verwendet.

Durch die wiederholte Anwendung des Erweiterten Vorgehensmodells in verschiedenen Projekten und die erneute Verwendung der erstellten Unterlagen kann in gewisser Weise eine Rationalisierung erreicht werden. Weitere positive Effekte ergeben sich aus Lerneffekt durch Wiederholung und Wiedererkennung. Bedeutende Vorteile der Bereitstellung umfangreicher Informationen, Werkzeuge und Hilfsmittel bestehen in erster Linie darin, dass Unterbrechungen verhindert werden, die sonst zur Beschaffung von gerade benötigten Unterlagen oder Hilfsmitteln notwendig sind.

3.10.2 Räumliche Gegebenheiten

Zur Unterstützung einer effektiven und effizienten Arbeitsweise sind Arbeitsbedingungen zu schaffen, die die Kreativität (OGNJANOVIC 1999, S. 1925) anregen und Innovationen stimulieren (FRÖHNER & LORANI 1996, S. 30). Dabei ist insbesondere auf eine passende Gestaltung der räumlichen Gegebenheiten zu achten. Da im Erweiterten Vorgehensmodell die Diskussion sowie die frühzeitige Analyse von Lösungsvarianten zentrale Elemente darstellen, müssen die Räumlichkeiten auch dafür ausgerichtet sein. Neben einem ausreichenden Platzangebot sind auch genügend Visualisierungsmöglichkeiten (Pinnwände, Projektionsflächen usw.) erforderlich sowie bedarfsgerecht geeignete Materialien zur Erstellung einfacher Modelle (z.B. Baukastensystem) und zur Durchführung erster orientierender Versuche bereitzustellen. Empfeh-

enswert ist daher die Einrichtung eines Projekt- bzw. Entwicklungsraums, in dem derartige Workshops ungestört abgehalten werden können.

3.10.3 Entwicklungslabor

Zur Fertigung von aufwendigeren Modellen und zur Durchführung orientierender Analysen im Rahmen der Informationsabsicherung schlagen EHRENSPIEL ET AL. (1995, S. 54) und BERNARD (1999) Richtlinien zur Einrichtung eines flexiblen Entwicklungslabors vor. Im optimalen Fall besteht es aus einem flexiblen Grundaufbau und produktspezifischen Erweiterungen und stellt dem Entwickler neben geeigneten Materialien (in Form von Baukästen, einfachen Maschinenelementen, Halbzeugen, Modellbaumaterial) auch verschiedene Bearbeitungsmaschinen zum Herstellen von Modellen zur Verfügung. Daneben umfasst es geeignete Versuchseinrichtungen zur Durchführung und Auswertung von Analysen sowie Rechner mit Standardsoftware zur Dokumentation der Ergebnisse.

SCHLÜTER (1999, S. 232) betont ebenfalls, wie wichtig ein direkter und unkomplizierter Zugriff auf Versuchseinrichtungen im Zusammenhang mit der Entwicklung innovativer Produkte ist. Dadurch können nämlich entscheidungsrelevante Informationen frühzeitig generiert werden.

3.10.4 Rollenverteilung im Team

Neben den bekannten Anforderungen an ein Team (Größe, Kompetenz, Bereitschaft zur Mitarbeit, entsprechende Prozess-/Produktkenntnisse) ist auch eine Verteilung verschiedener Rollen (Abbildung 3-19) empfehlenswert, um die Effektivität zu steigern (SCHWANKL & PACHE 2000).

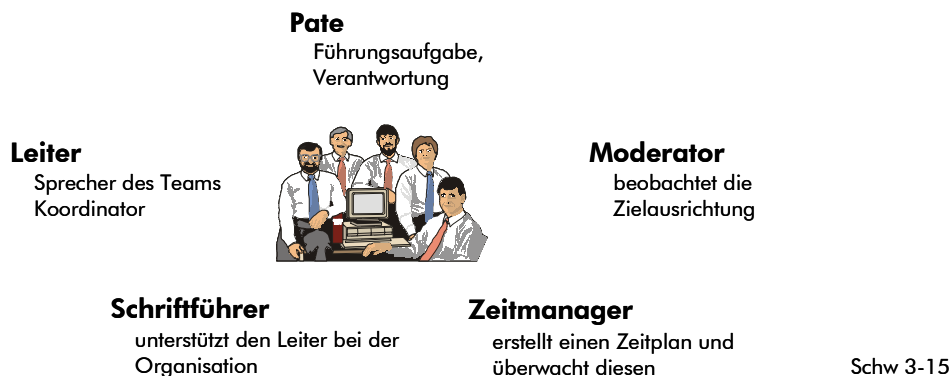


Abbildung 3-19: Rollenverteilung im Team (BFK 1997)

Durch diese klare Zuteilung von Verantwortlichkeiten kann eine bessere Vorbereitung und straffere Organisation der Sitzungen erreicht werden. Der Leiter des Teams ist für das Tagesgeschäft verantwortlich und beruft die Sitzungen ein, die vom Moderator koordiniert werden. Der Zeitmanager stellt in Absprache mit dem Team einen Zeitplan auf und überwacht auch dessen Einhaltung. Neben dem Moderator ist er die zweite Kontrollinstanz, die ausufernde und nicht zielführende Diskussionen unterbindet. Die Aufgaben des Protokollanten ist die nachvollziehbare Dokumentation der Sitzungen sowie das Strukturieren

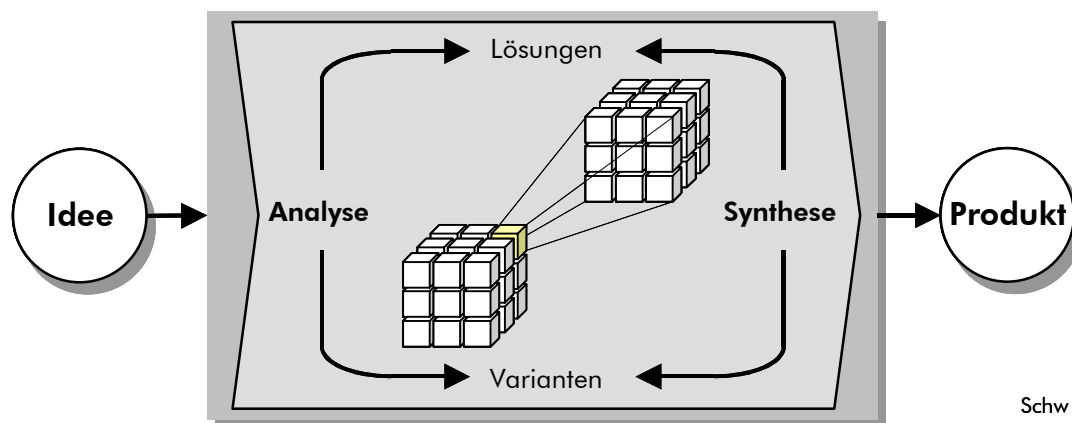
nachvollziehbare Dokumentation der Sitzungen sowie das Strukturieren und Weiterleiten sämtlicher relevanter Informationen, wozu er die in Kapitel 4 vorgestellten Werkzeuge zur Unterstützung der Dokumentation einsetzen kann.

Um die Interessen des Teams auch nach außen vertreten zu können, ist geeignete Unterstützung erforderlich, die in den Verantwortungsbereich des sogenannten Paten des Teams fällt.

3.11 Zusammenfassung

Das Erweiterte Vorgehensmodell bietet im Zusammenhang mit den beschriebenen Methoden und Hilfsmitteln, sowie den Werkzeugen zur Auswahl von Analysemethoden und der projektbegleitenden Dokumentation, die in den folgenden Kapiteln ausführlich beschrieben werden, eine sehr flexibles und industrieerprobtes Vorgehen, das sich insbesondere für die Anwendung bei innovativen Neuentwicklungen auszeichnet. Gerade bei komplexen und umfangreichen Aufgabenstellungen, bei denen Neuland betreten und interdisziplinär gearbeitet werden muss, ist diese Flexibilität im Vorgehen sehr wichtig. Nur so kann schnell auf sich ändernde Randbedingungen und neue Erkenntnisse reagiert, sowie effektiv und effizient agiert werden.

Diese Flexibilität zeigt sich in der Verwobenheit einzelner Schritte, die fließend ineinander übergehen und sich gegenseitig ergänzen. Die jeweils erzeugten Ergebnisse werden umgehend berücksichtigt und als Basis für das weitere Vorgehen verwendet. Auf diese Weise nimmt die zur Verfügung stehende Menge an Informationen kontinuierlich zu.



Schw 3-17

Abbildung 3-20: Zunahme der Informationsmenge im Laufe der Produktentwicklung

Durch eine Intensivierung der Analyse und Informationsbeschaffung in den bedeutenden frühen Phasen können diejenigen Informationen bereits frühzeitig generiert werden, die für das weitere Vorgehen von hoher Bedeutung sind. Gerade die frühen Phasen der Produktentwicklung, die besonders hohe Innovationspotenziale tragen, erfordern in hohem Maße die Akquisition und Nutzung von Wissen. Darauf aufbauend können auftretende Probleme leichter

durchdrungen und Lösungsvarianten fundiert beurteilt werden, was wiederum die Basis für wichtige Entscheidungen zur Auswahl und Umsetzung geeigneter Lösungen darstellt.

Aus der konsequenten Anwendung des hier beschriebenen Vorgehens sowie der Methoden und Hilfsmittel ergibt sich eine Verlagerung von Lernprozessen in die frühen Phasen der Produktentwicklung. In der Regel können mehr innovative Ideen hervorgebracht und erfolgreich umgesetzt werden. Außerdem kann die Belastung der Entwickler gesenkt werden, da Entscheidungen, Bewertungs- und Auswahlprozesse strukturierter ablaufen und das Risiko von notwendigen Korrekturmaßnahmen und aufwendigen Änderungen in späteren Phasen gemindert werden. Insgesamt ist eine deutliche Steigerung der erzielbaren Produktreifegrade möglich.

4 Werkzeuge zur Dokumentation von Ideen

Die hohe Bedeutung einer durchgängigen und prozessbegleitenden Dokumentation beginnend in den frühen Phasen der Produktentwicklung wurde in den vorhergehenden Kapiteln aufgezeigt. Zur Unterstützung der Entwickler bei der Dokumentation ihrer Tätigkeiten und der generierten Ergebnisse werden im folgenden Kapitel mehrere Rechnerwerkzeuge mit unterschiedlichen Anwendungsschwerpunkten vorgestellt, die im Rahmen verschiedener Projekte entwickelt worden sind.

Diese Werkzeuge wurden in Form von Prototypen mit Microsoft® Anwendungen realisiert¹ und bei mehreren Produktentwicklungen (z.B.: Medizintechnische Produkte, SCHWANKL ET AL. 2001; Elektromagnetische Bremsen, SCHWANKL 2001; Entwicklung eines Versuchsmotors, GIERHARDT 2001; Antriebstechnik, SCHWANKL & PACHE 2000) in der hier vorgestellten bzw. in leicht abgewandelten Versionen² erprobt und basierend auf den daraus gewonnenen Erkenntnissen kontinuierlich optimiert. Diese Werkzeuge sollen in erster Linie die Anwender in den frühen Phasen der Produktentwicklung bei der Ideenerzeugung (Sammlung der Ideen) und ersten Absicherung, sowie bei der prozessbegleitenden Dokumentation unterstützen und stellen einen Beitrag zur Förderung des Ideenmanagements im Unternehmen dar.

Im Folgenden werden die entwickelten Werkzeuge detailliert vorgestellt. Das Werkzeug *Neue Produktidee* unterstützt das Ideenmanagement und ist für den unternehmensweiten Einsatz konzipiert. Sämtliche Ideen für neue Produkte, neue Prozesse und auch Optimierungsvorschläge können umgehend dokumentiert, von mehreren verantwortlichen Bearbeitern bewertet und zur weiteren Bearbeitung bzw. Umsetzung an interessierte Abteilungen weitergeleitet werden.

Anschließend werden die Werkzeuge *Ideenspeicher* und *Ideensammlung* beschrieben, die zur projektbegleitenden und damit nachvollziehbaren Dokumentation des Entwicklungsprozesses in den frühen Phasen der Entwicklung eingesetzt werden können. Das *Ideenformular* sowie die darauf aufbauende *Konzeptdatenbank* dienen dem Entwicklungsteam als Hilfsmittel zur Anwendung in kreativen Sitzungen, in denen neue Ideen und Konzepte skizziert werden.

Da diese Werkzeuge auf unterschiedliche Anforderungen ausgerichtet sind und verschiedene Ziele verfolgen, wurden sie im ersten Ansatz als „stand alone“ Lösungen konzipiert, die jedoch aufeinander aufbauen und einen Austausch von Daten untereinander erlauben. Zum Abschluss des Kapitels werden Ansätze zur Integration dieser Werkzeuge in übergeordnete Systeme vorgestellt.

¹ Ziel der Arbeit ist, Möglichkeiten zur Unterstützung der Anwender in den frühen Phasen der Produktentwicklung aufzuzeigen. Dazu wurden verschiedene Werkzeuge auf Basis von Microsoft Office Programmen in Form von Prototypen umgesetzt und aus der Anwendung Erkenntnisse für eine weitere Optimierung gewonnen. Deren Aufbau und die Funktionsweise sollen dabei als Anregung für die Entwicklung von eigenen Werkzeugen gesehen werden, die den jeweils vorliegenden Randbedingungen genügen. Auf eine umfassende Beschreibung der rechnerischen Grundlagen sowie eine Empfehlung für die Verwendung von alternativen Datenbankprogrammen wird hier verzichtet.

² In erster Linie firmenspezifische Anpassungen wie Layoutanpassung, zusätzliche Eingabemöglichkeiten oder abgewandelte Ausgabeformate.

4.1 Zusammenwirken der Werkzeuge

Abbildung 4-1 zeigt das Zusammenwirken der entwickelten Werkzeuge, die das in Kapitel 3 beschriebene Vorgehen unterstützen. Die Ideen aus internen oder externen Quellen werden in der Datenbank *Neue Produktidee* (Kapitel 4.3) abgelegt, bewertet und evtl. von dort aus auch weitergeleitet.

Bei Ideen für neue Produkte wird eine allgemeine Ideensuche veranlasst, bei der anfangs die Werkzeuge *Ideenspeicher* (Kapitel 4.4) und *Ideensammlung* (Kapitel 4.5) zum Einsatz kommen. Liefert die Idee einen Verbesserungsvorschlag für ein bereits bestehendes Produkt bzw. ist die Bearbeitung der Idee für ein neues Produkt schon soweit fortgeschritten, dass eine zielgerichtete Ideensuche durchgeführt werden muss, werden zur Unterstützung der kreativen Sitzungen das *Ideenformular* (Kapitel 4.6) und/oder die *Konzeptdatenbank* (Kapitel 4.7) eingesetzt.

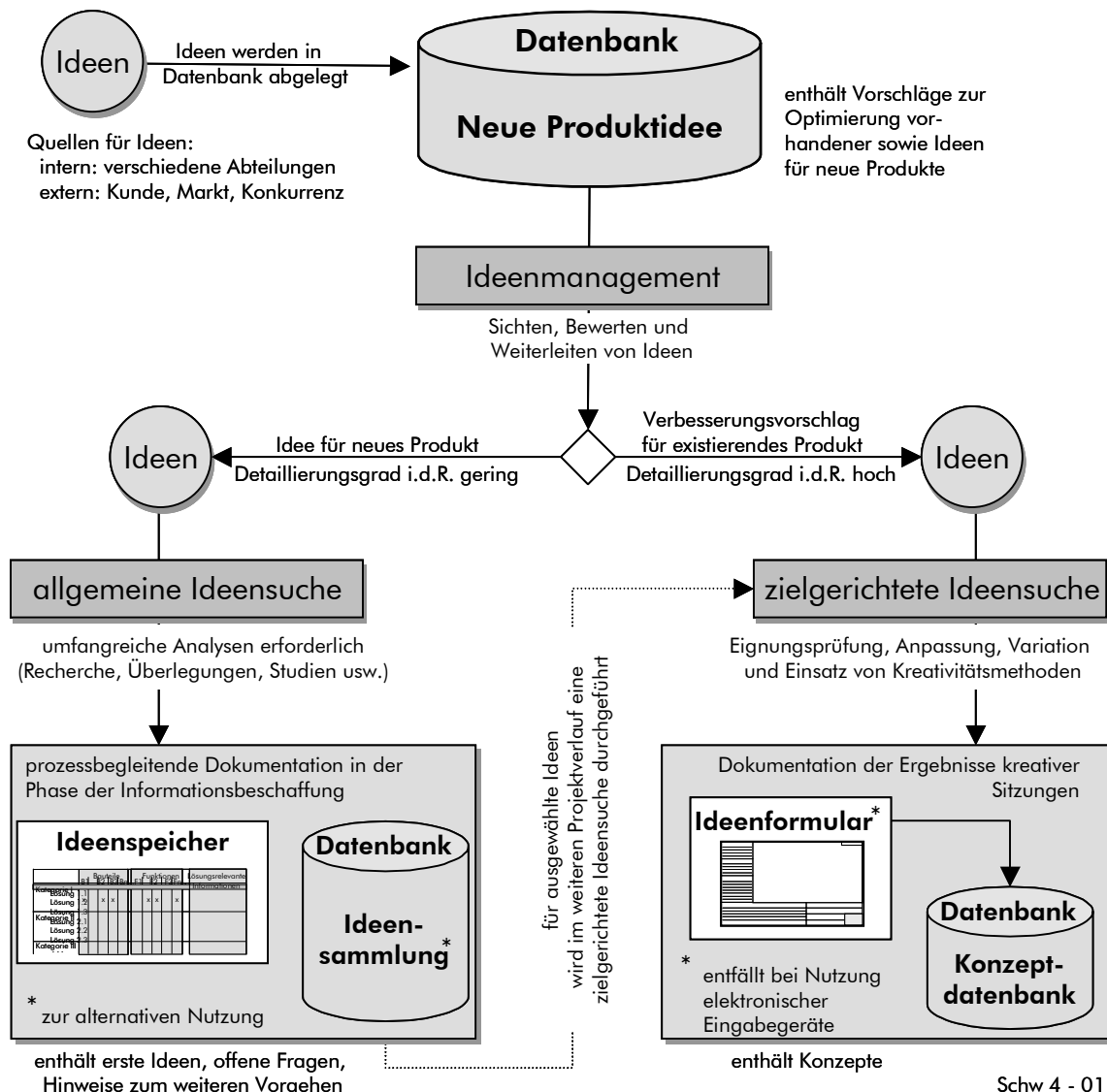


Abbildung 4-1: Zusammenwirken der Werkzeuge

4.2 Anforderungen an flexible Dokumentationswerkzeuge

An Informationssysteme, zu denen die hier vorgestellten Werkzeuge zur Unterstützung der Dokumentation zählen, stellt die VDI-RICHTLINIE 2211, Blatt 1 (1980, S. 5) zwei wesentliche Hauptanforderungen:

- Informationssysteme müssen Informationen erfassen und aufbereiten.
- Aufgrund einer Suchanfrage müssen dem Benutzer relevante Informationen vollständig, übersichtlich, aussagekräftig und leicht interpretierbar (SCHEITHAUER 2001) geliefert werden (Informationsrückgewinnung).

Neben diesen Hauptanforderungen und allgemeinen Anforderungen an Hilfsmittel (z.B. nach STEINWACHS 1976, S. 100) wurden bei der rechnertechnischen Umsetzung¹ der Werkzeuge auf die in der VDI-RICHTLINIE 2211 (Blatt 1, 1980) formulierten Forderungen sowie verschiedene bedienungsspezifische Merkmale (Mensch-Maschine-Schnittstelle) besonderer Wert gelegt.

An erster Stelle steht daher die Benutzerfreundlichkeit, die ein zentrales Kriterium für die Akzeptanz und damit den erfolgreichen Einsatz (STRITZKE 1999, S. 82ff) darstellt.

- Einfache Verwaltung und Pflege der Datenbank.
 - o Modularer Aufbau.
 - o Hohe Flexibilität bei der Anpassung der Datenbank an die jeweiligen Randbedingungen.
- Ergonomische Bedienbarkeit.
 - o Optische Attraktivität der Informationsdarstellung und übersichtliche Ergebnisdarstellung.
 - o Übersichtliche und einfach strukturierte Menüs (RUBINSTEIN & HERSH 1984, S. 120)
 - o Schnelle Eingewöhnung und leichte Handhabbarkeit, z.B. rasche, unkomplizierte Eingabe von neuen Elementen in Form von Datensätzen.
 - o Schnelles Auf- und leichtes Abrufen (schnelle Informationsverfügbarkeit) der Daten; gezielter Wiederzugriff auf die dokumentierten Informationen.
 - o Geringer Schulungsaufwand.
- Funktionsanforderungen
 - o Aufgaben- und benutzerspezifische Informationsaufbereitung.
 - o Optimale Zugriffsmöglichkeiten und Informationsausschöpfung durch strukturierte Ablage, geeignete Verwaltungs- und Wiederzugriffsstrategien.

¹ Diese Merkmale und Anforderungen wurden auch bei der Entwicklung der in Kapitel 5 vorgestellten Analysemethodendatenbank berücksichtigt, die den Entwickler bei der Auswahl und Anwendung geeigneter Analysemethoden unterstützt.

- Unterstützung der Schritte Auswahl und Bewertung von Informationen, hier speziell die Auswahl und Bewertung von Ideen.
- Rechnertechnische Anforderungen.
 - Einheitliche Arbeitsumgebung auf unterschiedlichen Systemplattformen.
 - Integrationspotenzial.

Dies erfordert einen einfachen Aufbau¹ der Werkzeuge mit durchdachten Datenstrukturen. Aus Kostengründen und zur Erhöhung der Akzeptanz bei den Anwendern wurde bei der Umsetzung der Werkzeuge ausschließlich Standard-Software verwendet, mit denen ein Großteil der Anwender bereits vertraut ist. Dadurch lässt sich auch die Anzahl unterschiedlicher Softwarepakete innerhalb eines Unternehmens gering halten (COLLIN 2001). Vorrangiges Ziel ist, die Anwender durch die Nutzung dieser Werkzeuge deutlich zu entlasten; der Nutzen² für den Einzelnen muss größer sein als der Aufwand, der mit der Eingabe der Daten verbunden ist.

4.3 Rechnerwerkzeug Neue Produktidee

4.3.1 Bedarf

Im folgenden Kapitel wird das Rechnerwerkzeug *Neue Produktidee* vorgestellt, das zum einen die Speicherung und Weiterleitung von Ideen für neue Produkte oder neu zu erschließende Produktparten und zum anderen die Erfassung von Verbesserungsvorschlägen³ für bereits vorhandene Produkte erlaubt.

Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, dass Ideen für neue Produkte und Verbesserungsvorschläge für bereits bestehende Produkte nicht unbedingt in kreativen Sitzungen entstehen. Quellen für neue Ideen sind unter anderem auch Kunden, die mit Optimierungsvorschlägen⁴ an das Unternehmen herantreten, sowie Mitarbeiter aus anderen Bereichen wie dem Marketing oder dem Vertrieb. In einer Umfrage von CON MOTO⁵ wurden im Jahre 1998 219 Unternehmen nach den Quellen für neue Produktideen befragt, wobei lediglich unternehmenseigene Abteilungen betrachtet worden sind (PELZER 1999, S. 3). Mit ca. 43 % generieren die Entwicklungsabteilungen der befragten Unternehmen die meisten der Ideen (siehe

¹ Weitere spezielle Anforderungen an Informationssysteme, die bei der rechnertechnischen Umsetzung beachtet werden müssen, finden sich u.a. bei COLLIN (2001, S. 24) und MEWES (1973, S. 40).

² Hier sei auf die Ausführungen zur Akzeptanz von Methoden verwiesen, die in Kapitel 2.4 enthalten sind.

³ Verbesserungsvorschläge im Sinne des „*design to x*“, z.B. die Optimierung hinsichtlich Kosten, Funktionalität, Montierbarkeit usw..

⁴ Derartige Optimierungsvorschläge resultieren in der Regel aus der Erfahrung der Kunden aus der Anwendung des Produkts und werden in Form von Wünschen und Forderungen geäußert. Häufig zielen diese Vorschläge auf die Erhöhung des Kundennutzens ab und betreffen die Integration neuer Funktionalitäten.

⁵ Market & Innovation Unternehmensberatung GmbH mit Sitz in München.

Abbildung 4-2). Die Bereiche Marketing, Vertrieb, Produktion und Kundendienst lagen mit Werten zwischen 10% und 17% in etwa gleich auf.

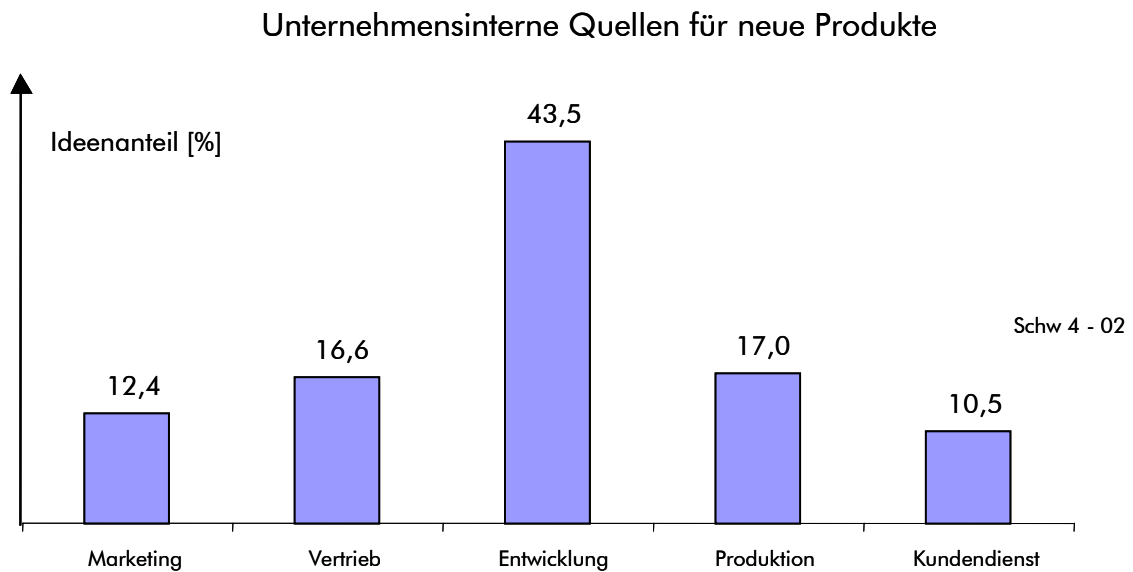


Abbildung 4-2: Unternehmensinterne Quellen für neue Produktideen

Bei der eingangs bereits zitierten Umfrage (siehe Kapitel 9.1), die in etwa eine ähnliche Verteilung ergeben hat, wurden die einzelnen Quellen noch differenzierter betrachtet. Die Ergebnisse zeigt nachfolgende Abbildung.

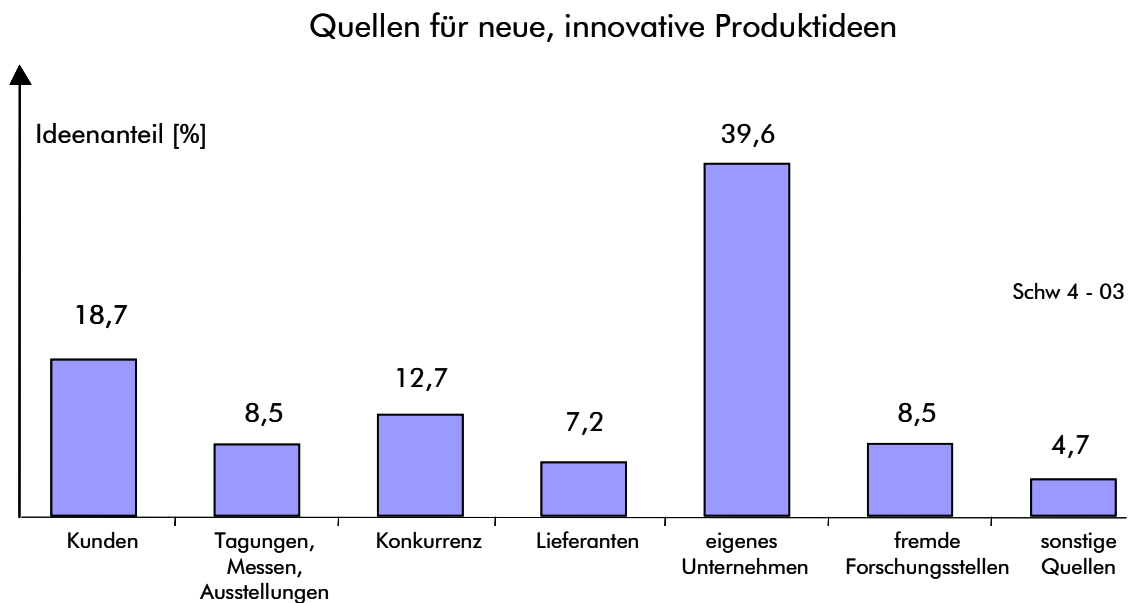


Abbildung 4-3: Allgemeine Quellen für neue, innovative Produkte

Neben den Ideen aus dem eigenen Unternehmen, die einen Anteil von ca. 40% besitzen, weisen Anregungen von Kunden mit 18,7% ebenfalls einen hohen Anteil auf.

Die Erfahrungen aus verschiedenen Entwicklungsprojekten zeigten auch, dass häufig Ideen erzeugt werden, die für die zu behandelnde Aufgabenstellung nicht zielführend, für das Unternehmen dennoch relevant¹ sein können (SCHWANKL 2001b). Werden diese nicht in geeigneter Weise festgehalten und an die betreffenden Abteilungen weitergeleitet, sind sie wirkungslos².

HIRSCH-KREINSEN & SCHMIERL (1998, S. 64ff) sehen in neuen Ideen die Basis für neue Produkte, die für das Bestehen und den Erfolg am Markt erforderlich sind und betonen die Bedeutung daraus abgeleiteter High-Tech-Produkte, durch die sich langfristige Wachstums- und Beschäftigungseffekte erreichen lassen. Um neue Ideen für derartige Produkte auch dokumentieren und somit für das Unternehmen nutzbar machen zu können, wurde die Datenbank *Neue Produktidee* entwickelt, deren Aufbau im Folgenden kurz erläutert wird.

4.3.2 Aufbau der Datenbank Neue Produktidee

Bei der Konzipierung dieser Datenbank wurde eine Aufteilung in eine Anwender- und eine Datenbankebene (Abbildung 4-4) vorgenommen. Die Anwender nutzen als Schnittstellen zur Datenbankebene verschiedene Menüs, Ein-/Ausgabeformulare (vgl. Abbildung 4-5) sowie Berichte, die zum Betrachten und Ausdrucken von Inhalten aus der Datenbank verwendet werden.

Die Gruppe der Anwender umfasst im einzelnen die Ideengeber, die die Ideen über diverse Eingabeformulare einpflegen, den oder die Ideenmanager, die die eingegebenen Ideen beurteilen und das weitere Vorgehen planen sowie die Ideennutzer, die diese bearbeiten und evtl. auch umsetzen.

Die administrativen Aufgaben auf der Datenbankebene, z.B. Anpassungen oder Erweiterung, werden von einem Administrator durchgeführt, der ebenenübergreifend agiert.

¹ Ideen, die für das vorliegende Problem nicht geeignet sind, können für andere Problemstellung aus anderen Projekten oder von anderen Abteilungen durchaus von Interesse sein und dort umgesetzt werden.

² In diesem Zusammenhang sei nochmals das Zitat von POLYA (1949) erwähnt: „Eine glänzende Idee nützt wenig oder nichts, wenn sie nur skizziert und hingeworfen wird.“ (vgl. Kapitel 2.3.1).

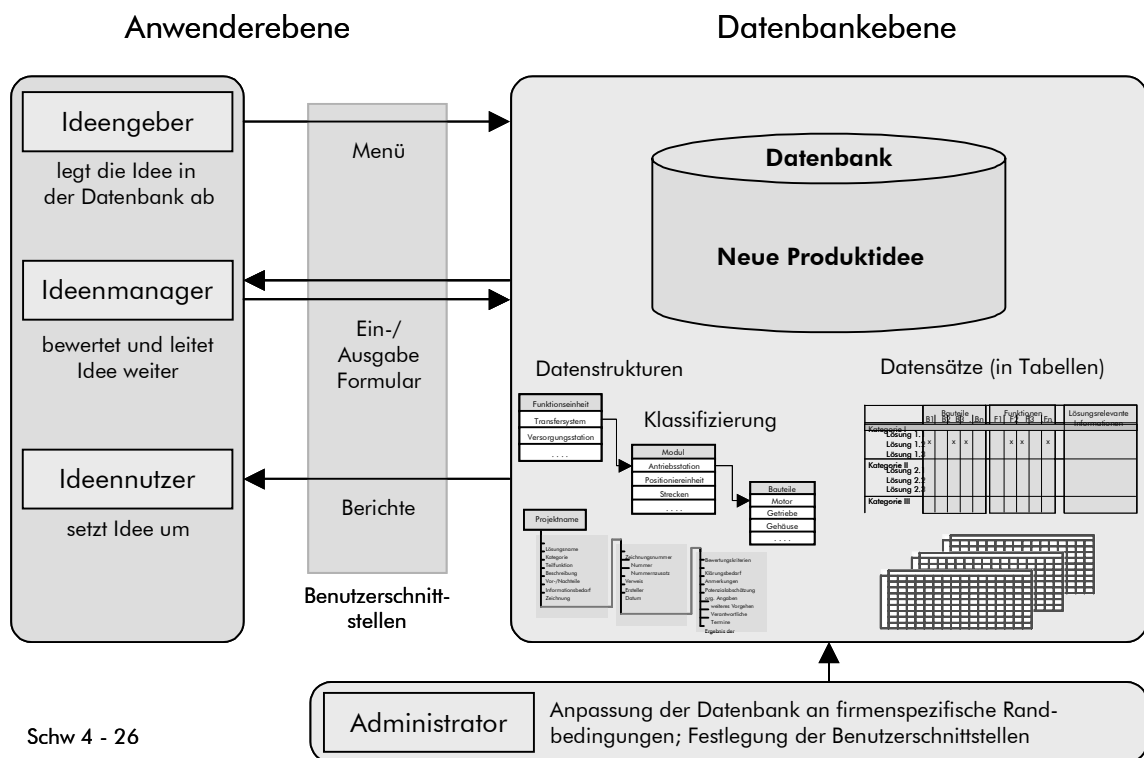


Abbildung 4-4: Aufbau der Datenbank Neue Produktidee

4.3.3 Administration der Datenbank

Die Administration der Datenbank gestaltet sich sehr einfach, da abgesehen von unternehmensspezifischen Layoutanpassungen lediglich verschiedene Produktparten des Unternehmens sowie Bewertungskriterien (allgemeine Kriterien zur Vorauswahl und zur Abschätzung der Kosten) und deren Ausprägungen (Zahl der Bewertungsstufen, z.B. -, 0, +) eingegeben werden müssen.

Die Vorgabe von Produktparten¹ erleichtert die Zuordnung und das Weiterleiten der eingegebenen Produktideen sowie die statistischen Auswertungen des Datenbestandes (siehe auch 4.3.7).

Damit einheitliche Begriffe für die Benennung, Beschreibung und Einordnung der Ideen verwendet werden können, was das Wiederauffinden bzw. Suchen erleichtert, besteht die Möglichkeit für den Administrator dieser Datenbank, Begriffe und Klassifizierungen vorzugeben, die die Anwender dann ihren Ideen zuordnen können. Dabei ist auf eine weitgehend produktunabhängige Klassifizierung der Ideen zu achten, durch die nach BERNHARDT (1987, S. 22ff) größere Wiederverwendungsraten erzielt werden können.

¹ Bei der Entwicklung elektromagnetischer Bremsen (siehe Kapitel 6) wurden die im Unternehmen vorhandenen Produktparten Federdruckbremse (FD-Bremse) und Permanentmagnetbremse (PE-Bremse) verwendet, die von verschiedenen Entwicklungsteams betreut werden.

Neben der Festlegung von Begriffen zur Klassifizierung obliegt dem Administrator auch die Anpassung und Verwaltung der Datenbank.

4.3.4 Eingabe der Anwenderdaten

Beim Aufrufen der Datenbank werden zuerst die Anwenderdaten¹ abgefragt, um eine Zuordnung der Ideen zu einzelnen Bearbeitern durchführen zu können. Neben dem Namen und der Abteilung können weitere Kontaktinformationen wie Telefonnummer, Faxnummer und E-mailadresse eingegeben werden.

Durch die Verknüpfung des Namens des Ideenerzeugers mit der eingegebenen Idee steigt erfahrungsgemäß auch die Bereitschaft², diese in einem firmenintern-öffentlichen System abzulegen. Außerdem kann der Ideennutzer Kontakt mit dem Ideenerzeuger aufnehmen, um mit ihm weitere Details zu diskutieren. Um die Motivation, Ideen einzugeben noch zu erhöhen, können auch neuartige Entlohnungssysteme definiert werden, bei denen aus der Anzahl der eingegebenen Ideen je Mitarbeiter (bzw. der Ideen einer Arbeitsgruppe oder Abteilung) oder aus der Anzahl der erfolgreich umgesetzten Produktideen eine Sonderzuwendung³ errechnet wird.

4.3.5 Eingabe von Ideen

Dem Anwender steht zur Eingabe der Informationen zu neuen Produktideen die in Abbildung 4-5 dargestellte Benutzeroberfläche zur Verfügung. Neben einer aussagekräftigen Bezeichnung und einer Beschreibung seiner Idee besteht auch noch die Möglichkeit, auf weiterführende Unterlagen oder sonstige Quellen zu verweisen. Außerdem ist die Zuordnung zu einer vorgegebenen Produktparte⁴ erforderlich.

Die in Abbildung 4-5 dokumentierte Produktidee einer *elektromagnetischen Scheibenbremse für Pkw* wurde der unternehmensinternen Produktparte *Bremsen PKW* zugeordnet. Neben einer kurzen Beschreibung dieser Idee wurde auch noch ein Verweis auf die Produktparte *FD-Bremsen* eingetragen.

¹ Als Beispiel für firmenspezifische Anpassungen können die Anwenderdaten betrachtet werden. Je nach Anforderungen an die Dokumentation oder der Struktur in einem Unternehmen können hier durch die Implementierung weiterer Abfragen zusätzliche Daten (z.B. Funktionsbereich des Anwenders) abgefragt werden.

² Sollte aus der Idee ein Patent hervorgehen, kann der Ideenerzeuger bei der Anmeldung als Erfinder genannt werden.

³ Hier sind zahlreiche andere Systeme denkbar, beispielsweise kann das Verhältnis von eingegebenen Ideen zu umgesetzten Ideen für die Auswertung herangezogen werden. Ansätze für künftige Entlohnungssysteme finden sich auch bei BÜHNER 1998, BULLINGER & BAUER 1998 und WILDEMANN 2002.

⁴ Die Datenbank erlaubt hier selbstverständlich auch die Angabe weiterer Produktparten. Aus Gründen der Übersichtlichkeit und um das Wiederauffinden von eingegebenen Ideen zu erleichtern, sollten in erster Linie die vom Administrator vorgegebenen Produktparten verwendet werden.

Anschließend führt der Anwender eine qualitative Vorbewertung seiner Idee durch, bei der neben allgemeinen, firmenspezifischen auch verschiedene Kostenkriterien¹ zu betrachten sind. Abschließend kann der Anwender das Potenzial seiner Produktidee abschätzen und Personen bzw. Abteilungen benennen, für die diese Idee von Interesse sein könnte.

Neue Produktidee **Eingabeformular**

Name der Produktidee Elektromagnetische Scheibenbremse für PKW

Produktparte Bremsen PKW

Beschreibung Die elektromagnetisch betätigte Scheibenbremse für PKW nutzt elektrische Energie zum Erzeugen der Bremskraft. Vorteilhaft dabei ist in erster Linie der einfachere Aufbau im Vergleich zu rein hydraulischen Lösungen sowie die zu erwartende Kosteneinsparung

Verweis FD - Bremsen

Qualitative Vorbewertung

Allgemein		Kosten	
Umsetzung realistisch	++	Entwicklungskosten	+
Anforderungen erfüllbar	+	Fertigungskosten	0
Know How vorhanden	+	Kosten Markteinführung	
Terminplanung	0		

Potential der Lösung mittel bis hoch

Für wen/welche Abteilung Entwicklung PKW Bremsysteme

Schw 4 - 05

Abbildung 4-5: Eingabemaske zum Eingeben von Ideen

4.3.6 Bewertung und Weiterleitung der Ideen

Im Prototyp dieser Datenbank wurden Beurteilungsmöglichkeiten für vier weitere Personen bzw. Teams implementiert, die anhand der selben Kriterien wie bei der Eingabe der Idee erfolgen. Zur Durchführung der Bewertung wird das Bewertungsformular (Abbildung 4-6) aufgerufen, das neben sämtlichen Informationen zu den einzelnen Ideen auch die Vorbewertung durch den jeweiligen Ideenerzeuger enthält.

¹ Ebenfalls vom Administrator im Vorfeld zu spezifizieren.

Abbildung 4-6: Bewertungsformular des Rechnerwerkzeugs Neue Produktidee

Dadurch können verschiedene Entscheidungshierarchien in den Unternehmen abgebildet werden. Beispielsweise kann ein Ideenmanager, Abteilungsleiter, Entwicklungs- oder Projektleiter die Ideen begutachten und bewerten. Basierend auf den einzelnen Bewertungen wird abschließend eine Gesamtbewertung durchgeführt, bei der auch das weitere Vorgehen und relevante Meilensteine festgelegt werden. Daneben kann die Idee auch zu diesem Zeitpunkt an verschiedene Personen oder Abteilungen weitergeleitet¹ werden, für die sie von Interesse sein könnte. Durch die Weiterleitungsfunktion kann die Idee der betreffenden Abteilung per Email zugesandt werden. Dies erlaubt kurze Durchlaufzeiten und rasche Reaktionen auf neue Produktideen, deren Bedeutung für das Unternehmen in Kapitel 2 erläutert worden ist.

Der Bearbeitungsvermerk zeigt den jeweils aktuellen Stand der Bearbeitung an. Daraus kann der Anwender erkennen, ob eine Idee schon bewertet und deren Bearbeitung abgeschlossen ist, ob die Idee bereits weitergeleitet wurde oder ob diese verworfen wurde.

Die Nutzung dieser Datenbank erlaubt also die Strukturierung und Kanalisierung sämtlicher Ideen und der dazugehörigen Dokumente in einem Unternehmen sowie eine umfassende Beurteilung bei der auch strategische Belange berücksichtigt werden können.

¹ Im Hinblick auf ein effizientes Informationsmanagement ist eine zielgerichtete Information (need to know), bei der der Sender den Empfänger direkt anspricht und diesen zu einer Reaktion (action) herausfordert, einer gestreuten Information vorzuziehen, um Informationslücken bzw. eine Unterbrechung des Informationsflusses zu vermeiden.

4.3.7 Anwendung im industriellen Umfeld

Die Datenbanksoftware Microsoft® ACCESS bietet vielfältige Such- und Auswertfunktionen an, mit denen der Datenbestand ausgewertet, am Bildschirm visualisiert oder in Form von Berichten ausgedruckt werden kann.

Neben den in der vorliegenden Version bereits implementierten Such- und Auswertfunktionen können weitere aufwandsarm und bedarfsgerecht erstellt werden. Außerdem besteht die Möglichkeit, die Bedienoberflächen an betriebsspezifische Randbedingungen (z.B. Einbinden von Firmenlogos) und persönliche Vorstellungen (Farbgebung, Layout) anzupassen.

Neben der Ausgabe sämtlicher Ideen lassen sich auch statistische Auswertungen durchführen und in Form von Grafiken visualisieren, z.B.:

- Ideen je Mitarbeiter.
- Ideen je Abteilung.
- Ideen zu den einzelnen Produktparten des Unternehmens (auch zum Identifizieren von Handlungsbedarf).
- Bewertung der Ideen, z. B. Zahl der Ideen, die hohes Potenzial aufweisen.
- Überblick über eingeleitete Aktivitäten, z. B. Zahl der Ideen in Bearbeitung.

Als Darstellungsform für die Bewertung der Ideen bietet sich neben Balkendiagrammen auch eine Portfoliodarstellung an, wie sie in Kapitel 3 vorgestellt wurde. Diese komprimierten Darstellungen ermöglichen einen umfassenden Überblick über vorhandene Ideen und deren Umsetzung in den verschiedenen Abteilungen des Unternehmens und können auch als Grundlage für strategische Produktentscheidungen herangezogen werden. Der unternehmensweite Einsatz dieses Werkzeugs bietet die Möglichkeit, sämtliche Ideen in einem Unternehmen zu sammeln und strukturiert abzulegen und erleichtert das Aufgreifen und Weiterverfolgen von Ideen. Somit lässt sich in kurzer Zeit ein umfangreicher Ideenpool aufbauen, der allen Mitarbeitern und Abteilungen zugänglich ist. Eine Steigerung der Innovationsfähigkeit des Unternehmens ist durch die konsequente Nutzung dieses Werkzeugs ebenfalls zu erwarten.

Wird eine Idee für ein neues Produkt aufgegriffen und an ein Projektteam weitergeleitet, beginnt die intensive Beschäftigung mit der Idee in Form eines Entwicklungsprojekts, bei dem einzelne Schritte systematisch abgearbeitet werden. Nach einer Analyse der Ausgangssituation werden durch den Einsatz von Kreativitätstechniken zahlreiche weitere Lösungsvorschläge generiert.

Zur Unterstützung der projektbegleitenden Dokumentation bei derartigen Entwicklungsprojekten, beginnend in den frühen Phasen, wurden die folgenden beiden Werkzeuge, der *Ideen-speicher* und die *Ideensammlung* entwickelt. In dieser bedeutenden Phase wird eine Menge an Informationen generiert, die in geeigneter Art und Weise dokumentiert werden muss.

4.4 Rechnerwerkzeug Ideenspeicher

Der Leitgedanke des Rechnerwerkzeugs *Ideenspeicher* ist die prozessbegleitende Dokumentation, beginnend am Anfang des Projekts. Gerade bei anspruchsvollen Problemstellungen, dem Einsatz neuer Technologien und der Entwicklung innovativer Produkte wird der Entwickler bzw. das Entwicklungsteam bereits in den frühen Phasen einer Produktentwicklung mit einer Reihe von Fragen¹ konfrontiert, die das weitere Vorgehen entscheidend beeinflussen. Um sämtliche Ideen und die zu lösenden Problemstellungen, die in dieser „Gärphase“ entstehen, auch in angemessener Weise dokumentieren zu können, wurde der sogenannte *Ideenspeicher* entwickelt und in mehreren Iterationsstufen optimiert. Der *Ideenspeicher* wurde in Form einer EXCEL-Tabelle realisiert, in der skizzierte Ideen und Detaillösungen strukturiert dokumentiert, bewertet und vorausgewählt werden. Er unterstützt die Phase der Aufgabenklärung, da offene Fragen festgehalten, Informationsbedarf identifiziert sowie Hinweise für das weitere Vorgehen zusammengetragen und in übersichtlicher Form dargestellt werden.

4.4.1 Aufbau des Werkzeugs

Das Werkzeug *Ideenspeicher* wurde als Microsoft® EXCEL Tabellenblatt konzipiert. In diesem Tabellenblatt kann der Anwender bedarfsgerecht Spalten hinzufügen oder entfernen, bzw. durch Ein- und Ausblenden verschiedener Bereiche sowie durch die Anwendung vorhandener Filterfunktionen unterschiedliche Sichten auf die dokumentierten Informationen erzeugen. Durch den flexiblen Aufbau mit standardmäßig vorgegebenen Feldern, die der Anwender eigenständig anordnen kann, und der Möglichkeit der flexiblen Erweiterung weist dieses Werkzeug einen Baukastencharakter auf, der eine rasche Anpassung an die jeweils vorliegenden Einsatzbedingungen² erlaubt. In Anlehnung an den Aufbau von Konstruktionskatalogen (ROTH 1994), die in einen Gliederungsteil (enthält Merkmale), einen Hauptteil (Nummern, Bezeichnungen) und den sogenannten Zugriffsteil (Zugriffsmerkmale, nach denen der Katalog durchsucht werden kann) unterteilt sind, wurde die Grundstruktur des *Ideenspeichers* ebenfalls in verschiedene Kategorien eingeteilt. Abbildung 4-7 zeigt einen Auszug aus einem *Ideenspeicher*, der aus den fünf Kategorien

- Beschreibung
- Einordnung
- Diskussion
- Bewertung
- Weiteres Vorgehen

aufgebaut ist.

¹ Z.B. die Funktion betreffend.

² Die Einsatzbedingungen hängen von der zu lösenden Aufgabenstellung ab. Stehen z.B. Kostenaspekte im Vordergrund, können zusätzliche Felder definiert werden, in denen eine Abschätzung der Kosten dokumentiert wird.

Ideenspeicher: Kleintierträger, Transport- und Transfersystem											Schw 4 - 06							
Beschreibung			Einordnung				Diskussion			Bewertung		weiteres Vorgehen						
Nr	Name	Beschreibung	Zeichnungs-Nr.	Funktions-einheit	Modul	Bauteil-bezeichnung	Idee - Frage	Vorteile	Nachteile	Kritisch/ Informations-bedarf	Probleme/ Fragen-gelöst	Verwerten	Weiterverfolgen	Interessant	Literaturrecherche	Berechnung	Versuche	Vorgehen
1	Druckluft- motor	Verwendung von Druckluftmotoren zum Antrieb der Förderbänder	1	Transfersystem	Antriebsstation	Motor	I	Keine Störung der Magnetfelder		Druckluft oder Kompressor vorhanden?	keine Druckluft vorhanden	*		*				
2	Ultraschall- motor	Verwendung von Ultraschallmotor zum Antrieb der Förderbänder	2	Transfersystem	Antriebsstation	Motor	I	Keine Störung der Magnetfelder		Maximales Drehmoment?	Drehmoment zu klein	*						
3	Bosch Fördersystem	Verwendung des Transfersystem TS 2 plus	3	Transfersystem	Transfersystem	Transfersystem	I	ausgereiftes, modulares Baukastensystem, gute Qualität		MR-tauglich? PET-tauglich?		*						Katalog bestellen
4	Zentraler Antrieb	Zentraler Antrieb des Transfersystems und Umlenkung der Antriebsenergie in den Künen mit Getriebe (z. B. Kegeldradgetriebe)	4	Transfersystem	Antriebsstation	Antriebsstation	I	Antriebsstation kann außerhalb des Magnetfeldes positioniert werden		Wie können die Wagen einzeln verfahren werden?				*	*			
5	Positionierung	Bolzen fährt aus und hält Transportwagen an	5	Transfersystem	Positioniereinheit	Transportwagen												

Abbildung 4-7: Auszug aus einem Ideenspeicher¹

Die Kategorie *Beschreibung* enthält die Eingabefelder *Nummer*, *Name* und *Beschreibung* der Lösung sowie einen *Verweis* zu Zeichnungen oder sonstigen relevanten Dokumenten. Die fortlaufende *Nummerierung* führt zu einer Eindeutigkeit sämtlicher Einträge innerhalb des Datenbestandes und ermöglicht auch die Angabe von Querverweisen.

Mittels der Kategorie *Einordnung*, die in der vorliegenden Konfiguration aus den Feldern Funktionseinheit, Modul, Bauteilbezeichnung sowie der Unterscheidung in Idee oder Frage besteht, kann eine detaillierte Abbildung der Produktstruktur erstellt werden. Die in das Werkzeug integrierte Auswahlfunktion (Abbildung 4-8) vereinfacht die Zuordnung von Ideen zu den jeweiligen Funktionseinheiten bzw. Modulen und der Bauteilbezeichnung².

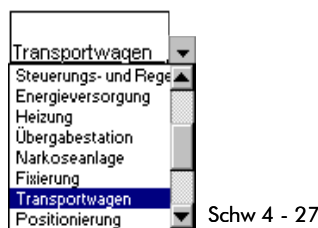


Abbildung 4-8: Auswahlfunktion zur vereinfachten Zuordnung von Ideen zu Funktionseinheiten

Gerade bei umfangreicheren und komplexeren Produktentwicklungen empfiehlt es sich, die Produktstruktur detaillierter³ im *Ideenspeicher* abzubilden. Dies erhöht die Übersichtlichkeit

¹ Der dargestellte Ideenspeicher wurde im Rahmen der Entwicklung medizintechnischer Geräte angewendet (HANSCHKE 2001).

² In Abbildung 4-9 wird die Lösung Druckluftmotor, der zum Antrieb von Förderbändern verwendet werden soll, der Funktionseinheit Transfersystem, dem Modul Antriebsstation und dem Bauteil Motor zugeordnet.

³ Bei umfangreichern Entwicklungen mit einer großen Anzahl unterschiedlicher Bauteile empfiehlt sich die Bildung von geeigneten Modulen, um die Komplexität noch beherrschen zu können.

und erleichtert die exakte Einordnung sämtlicher Ideen und damit auch das Arbeiten mit den Datensätzen.

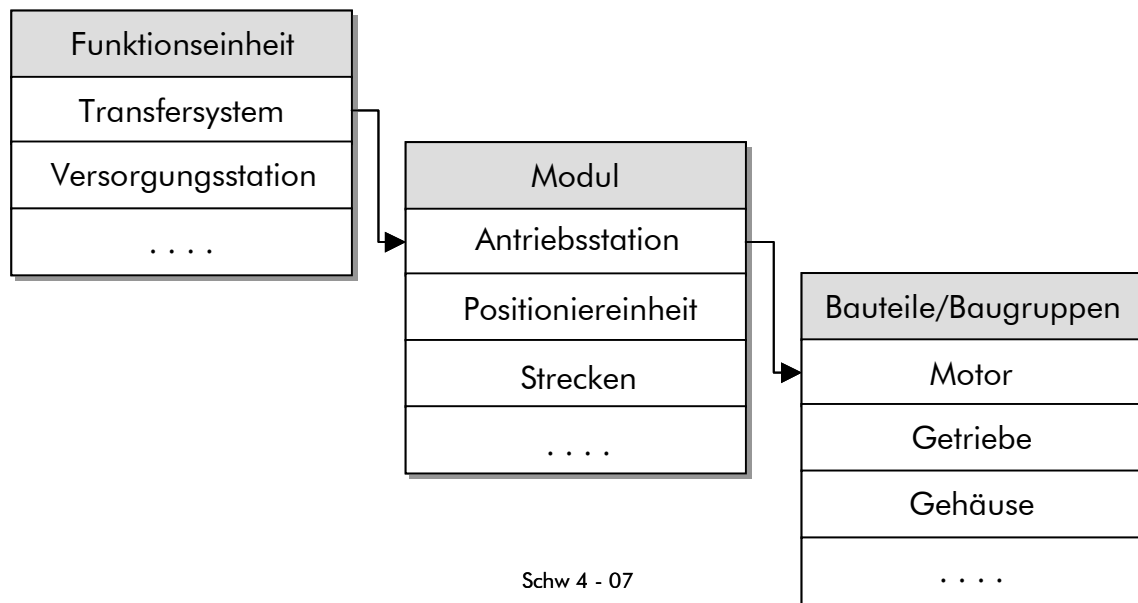


Abbildung 4-9: Im Ideenspeicher abgebildete Bauteilstruktur am Beispiel der Entwicklung eines medizintechnischen Geräts

In der Kategorie *Diskussion* werden Vor- und Nachteile, kritische Fragestellungen und Informationsbedarf sowie Hinweise zur Problemlösung und zum Absicherungsbedarf zusammengefasst. Das schriftliche Formulieren von offenen Fragen und zu klärenden Sachverhalten setzt eine intensive gedankliche Durchdringung der Thematik voraus und führt erfahrungsgemäß zu einem fundierten Problemverständnis und in vielen Fällen zum Erkennen relevanter Zusammenhänge. Somit unterstützt dieses Werkzeug die wichtige Phase der Aufgabenklärung.

Die Kategorie *Bewertung* erlaubt eine Vorauswahl der eingetragenen Ideen. Neben den hier angegebenen Kriterien *verwerfen* und *weiterverfolgen* können auch Kriterien aus der Vorauswahlliste (EHRENSPIEL 1995) oder bei der Portfoliobewertung vorgeschlagenen, zusammengefassten Kriterien wie Kundenrelevanz, Aufwand zur Umsetzung, Erfolgswahrscheinlichkeit verwendet werden. In der fünften Kategorie *Vorgehensweise* können Anweisungen zum weiteren Vorgehen gegeben und erforderliche Arbeitspakete näher spezifiziert werden.

Bei unterschiedlichen Anwendungen des *Ideenspeichers* hat sich die Nutzung von zusätzlichen Feldern als nützlich erwiesen, die im Folgenden kurz beschrieben werden.

Im Feld *Verweis/Quelle* kann ein Verweis auf weiterführende Literatur oder auf Analogien gegeben werden. Der Vorteil liegt darin, dass man bei einer intensiveren Beschäftigung mit dieser Idee auf derartige Quellen zurückgreifen oder die Herkunft¹ der Idee erkennen kann.

Die Abschätzung des *Potenzials* der eingetragenen Ideen erlaubt die Filterung der Datensätze und das Aussortieren von nicht realisierbaren Ideen. Bei der Beurteilung einer Idee muss sehr

¹ Dies ist vor allem von Interesse, wenn Ideen aus anderen Bereichen aufgegriffen werden.

sorgfältig vorgegangen werden. Es empfiehlt sich, sämtliche Informationen, die erforderlich sind einzuholen, oder Spezialisten zu konsultieren, bevor eine interessante Idee als nicht realisierbar¹ eingestuft wird.

Im Feld *Status der Bearbeitung*, welches auch aus dem Rechnerwerkzeug *Neue Produktidee* bekannt ist, kann ein Bearbeitungsvermerk eingetragen werden. Damit lassen sich alle Ideen herausfiltern, bei denen noch Handlungsbedarf vorhanden ist, bevor die endgültige Bewertung durchgeführt werden kann.

4.4.2 Zusammenfassung und Hinweise zur Anwendung

Der hier beschriebene flexible *Ideenspeicher* wurde als einfach handhabbares Dokumentationswerkzeug bereits in mehreren Projekten erfolgreich angewendet. Bei der Verwendung eines *Ideenspeichers* werden vom Anwender die in den frühen Phasen der Entwicklung auftretenden Fragen festgehalten und alle Ideen, von groben Konzepten bis zu Detaillösungen, und die zugehörigen Informationen dokumentiert, auf ihre Eignung für die zu bearbeitende Problemstellung geprüft und diskutiert. Empfehlungen, wie die offenen Fragen aufwandsarm zu beantworten sind², können ebenfalls dokumentiert werden.

Werden durch Recherchen oder Analysen neue Informationen zu einzelnen Ideen generiert, werden diese ebenfalls im *Ideenspeicher* festgehalten. Wird aufgrund dieser Informationen eine Anpassung der Bewertung erforderlich, muss dies auch vermerkt werden. Hier empfiehlt sich, dies mit einem Änderungsvermerk zu kennzeichnen.

Die Anpassung des Werkzeugs an unternehmens- und projektspezifische Anforderungen erlaubt die strukturierte Ablage sämtlicher Informationen, die das Wiederauffinden erleichtert und Mehraufwand durch doppelt ausgeführte Arbeiten vermeidet.

Durch diese strukturierte Art der Dokumentation ist der Anwender in der Lage, offene Arbeitspunkte sofort zu erfassen, sein Vorgehen und alle wichtigen Entscheidungen während der Produktentwicklung zu einem späteren Zeitpunkt nachzuvollziehen und zu belegen³. Darüber hinaus besteht auch die Möglichkeit, die einmal erzeugten Ideen für andere Projekte und Aufgaben zu verwenden. Der Datenaustausch innerhalb verschiedener Microsoft[®] Office Anwendungen gestaltet sich problemlos. Die Möglichkeiten dazu und die Integration dieses Werkzeugs in ein übergeordnetes System wird zum Abschluss dieses Kapitels eingehend erörtert.

¹ Hier muss der Wandel in den Technologien berücksichtigt werden, der dazu führen kann, dass eine Idee erst nach längerer Zeit realisierbar wird und dann durchaus positiv bewertet werden kann.

² Unterstützung bei der Auswahl geeigneter Analysemethoden bietet das in Kapitel 5 vorgestellte Rechnerwerkzeug.

³ Die Nachweispflicht ist besonders für Fragen der Produkthaftung von Interesse.

4.5 Rechnerwerkzeug Ideensammlung

Das im Folgenden beschriebene Rechnerwerkzeug *Ideensammlung*¹ stellt eine Erweiterung des *Ideenspeichers* dar und erlaubt die gleichzeitige Verwaltung von mehreren Entwicklungsprojekten. Es basiert auf dem selben Konzept wie der *Ideenspeicher* und wurde auf Basis von Microsoft® ACCESS² realisiert.

Im *erweiterten Ideenspeicher* können sämtliche Lösungen, Ideen und Konzepte einschließlich ihrer Varianten, die in Zusammenhang mit der Aufgabenstellung generiert worden sind, dokumentiert werden. Neben einer knappen und verständlichen Beschreibung der Funktion, aus der die Vorteile und Risiken der jeweiligen Lösung hervorgehen, kann auch auf eine Skizze oder sonstige Quellen verwiesen werden.

Im Unterschied zur Einordnung der Ideen im *Ideenspeicher* wurde hier eine umfassendere Zuordnung der Ideen zu relevanten Funktionen auf unterschiedlichen Detaillierungsebenen implementiert, sowie eine Unterstützung der Prozessschritte Identifikation von Informationsbedarf und Bewertung ergänzt.

4.5.1 Aufbau und Funktionsweise

Das Rechnerwerkzeug stellt dem Anwender verschiedene Eingabemasken zur Verfügung. Neben der eigentlichen Dokumentation kann eine Einteilung der eingegebenen Ideen in Kategorien und eine umfangreiche Zuordnung der Ideen zu Bauteilen und den zu realisierenden Funktionen sowie zu relevanten Parametern durchgeführt werden. Die Analyse einzelner Ideen wird in Form von Fragen unterstützt, die der Anwender beantworten muss, bevor er die abschließende Bewertung durchführt.

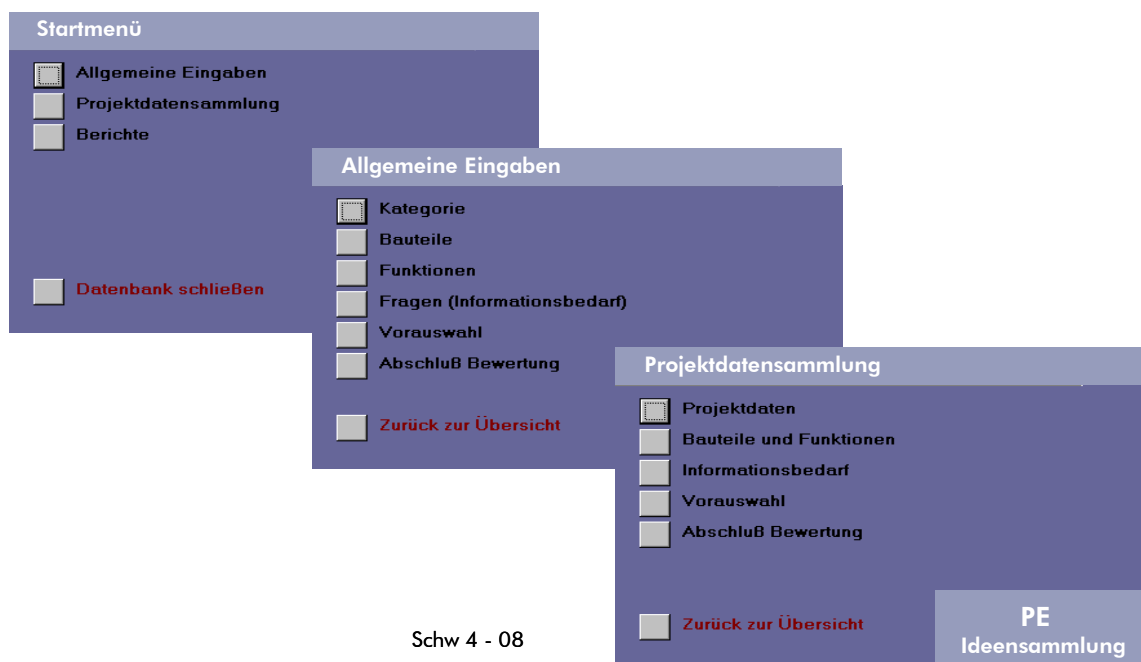
Der Aufbau und die Funktionsweise des *erweiterten Ideenspeichers* werden im Folgenden anhand der Menüstruktur und der Benutzerführung erläutert.

Das in Abbildung 4-10 dargestellte Startmenü erlaubt über das Untermenü *Allgemeine Eingaben* den Zugriff auf die Administrationsebene der Datenbank; mit dem Untermenü *Projektdatensammlung* erreicht man die Benutzerebene, die neben der Eingabe der Ideen unter anderem auch zur Durchführung der Bewertung verwendet wird. Mit dem Menüpunkt *Berichte* können verschiedene Ausgabeformate gewählt und gedruckt werden.

Die Unterteilung in Administrator- und Benutzerebene wurde bewusst gewählt, um eine hohe Flexibilität bei der Anpassung an sich verändernde Randbedingungen zu erzielen und einen breiten Einsatz dieser Anwendung zu ermöglichen.

¹ Das Werkzeug Ideensammlung wird auch als erweiterter Ideenspeicher bezeichnet.

² Eine Implementierung der hier vorgestellten Funktionalitäten wäre auch in Microsoft® EXCEL möglich gewesen. Die Umsetzung des Ideenspeichers wurde aufgrund der umfangreicheren Filterfunktionen und der Trennung in Administrations- und Benutzerebene in Microsoft® ACCESS realisiert.



Schw 4 - 08

Abbildung 4-10: Menüstruktur des Rechnerwerkzeugs Ideensammlung

4.5.1.1 Untermenü Allgemeine Eingaben

Zur projektspezifischen Anpassung der Datenbank müssen eine Reihe von Eingaben durchgeführt werden.

Der Administrator¹ gibt in den drei Tabellen Kategorie, Bauteile und Funktionen aussagekräftige Begriffe vor, anhand derer der Anwender die Zuordnung² der Ideen vornehmen kann. Diese Begriffe werden produkt- und projektabhängig am besten vom Entwicklungsteam gemeinsam definiert.

Aus den Elementen Kategorie, Bauteile und Funktionen wird eine Matrix gebildet, die die Hauptstruktur des Datenmodells³ darstellt. In dieser Matrix werden sämtliche Informationen zu einer Idee inklusive der Zuordnung zu den Bauteilen und Funktionen in einem Datensatz abgelegt.

Anschließend können Fragen zum Identifizieren potenziellen Informationsbedarfs formuliert werden, die von den Anwendern bei der Eingabe der Ideen beantwortet werden müssen. Falls eine Antwort zu diesem Zeitpunkt nicht möglich ist, müssen die erforderlichen Informationen erst beschafft werden, beispielsweise durch Analysen.

¹ Die Administrationsrechte müssen firmenintern vergeben werden, es spricht aber nichts dagegen, den Anwender der Datenbank mit diesen Rechten auszustatten.

² Durch die Angabe der Kategorie können die Lösungen weiter untergliedert werden, was die Handhabung deutlich erleichtert. Im Rahmen verschiedener Anwendungen wurden eine Gliederung der Ideen in Gesamtlösungen, Detaillösungen, Gesamtprobleme, Detailprobleme vorgenommen.

³ Datenmodell bezieht sich hier auf die Struktur des Ideenspeichers.

Die Fragen zielen zum einen darauf ab, dass der Anwender sämtliche zur Idee vorhandenen Informationen mit dokumentiert, damit diese auch für andere Mitarbeiter nutzbar werden. Zum anderen wird er durch die intensive Beschäftigung mit diesen Fragen zum Nachdenken und zum kritischen Reflektieren der Lösung animiert.

	Bauteile					Funktionen					Parameter				
	B1	B2	B3	...	Bn	F1	F2	F3	...	Fn	P1	P2	P3	...	Pn
Kategorie I															
Lösung 1.1															
Lösung 1.2	x		x	x			x	x		x	x	x			
Lösung 1.3															
...															
Kategorie II															
Lösung 2.1															
Lösung 2.2															
Lösung 2.3															
...															
Kategorie III															

x Lösung hat Einfluss auf das Bauteil bzw. auf die Funktion

Schw 4 - 09

Abbildung 4-11: Datenmodell des erweiterten Ideenspeichers

In Abhängigkeit von den Projektzielen werden des weiteren Fragen für die Eingabemaske zur Unterstützung der Vorauswahl formuliert. Neben der Überprüfung der Anforderungen aus der Anforderungsliste bietet sich die Abfrage von Kriterien wie Kundenrelevanz, Aufwand zur Umsetzung usw. an. Bei der Auswahl dieser Kriterien sei auf einschlägige Literatur (EHRENSPIEL 1995; PAHL & BEITZ 1993) verwiesen. Die Kriterien zur Vorauswahl müssen so gewählt werden, dass nicht bereits in der frühen Phase gute Ideen unterdrückt werden; dennoch müssen sie zu einer Einschränkung des Lösungsraums führen.

Abschließend müssen vom Administrator die Bewertungskriterien und deren mögliche Ausprägungen (z.B. *gut* – *schlecht*; *gering* – *mittel* – *hoch*; u.ä.) angegeben werden, die am besten auch im Team erarbeitet werden sollten.

4.5.1.2 Untermenü Projektdatensammlung

Ist die projektspezifische Anpassung der Datenbank abgeschlossen, kann mit der Eingabe der Ideen, der Konzepte und sonstigen Daten begonnen werden.

4.5.1.2.1 Eingabe der Ideen und relevanten Informationen

Zur Eingabe der Ideen steht die in der folgenden Abbildung dargestellte Eingabemaske zur Verfügung. Neben dem Namen der Lösung werden eine Beschreibung, ein Verweis zu einer Zeichnung und vorhandene Analogien angegeben. Außerdem besteht die Möglichkeit, weitere Anmerkungen anzufügen, die im Zusammenhang mit der eingetragenen Idee von Interesse sind. Abschließend erfolgt die Zuordnung der Lösung zu einer Kategorie; in dem hier betrachteten Beispiel (Abbildung 4-12) handelt es sich um eine Detaillösung. Die Reihenfolge, in der

die verbleibenden Eingaben getätigt werden, bleibt dem Benutzer überlassen und sollte situativ festgelegt werden.

Die im rechten Bildbereich dargestellten Symbole dienen zur Navigation in den Datensätzen und zum Wechseln der einzelnen Menüs.

Abbildung 4-12: Eingabemaske zur Dokumentation der Ideen

4.5.1.2.2 Verknüpfung der Ideen mit Bauteilen, Funktionen und Parametern

Die folgende Eingabemaske (Abbildung 4-13) bietet die Möglichkeit, Bauteile, Funktionen und Parameter, die von der Idee tangiert werden, zu kennzeichnen. Die Bauteil- und Funktionsbezeichnungen sowie die Parameter werden in der Eingabemaske dargestellt, die Zuordnung erfolgt durch einfaches Anklicken.

Der große Vorteil dieser Zuordnung liegt in der späteren Nutzung der Ideen. Steht im Rahmen einer Produktoptimierung ein Bauteil zur Überarbeitung an, kann die Datenbank nach allen Ideen durchsucht werden, die dieses Bauteil betreffen. Diese Ideen können am Bildschirm betrachtet oder in verschiedenen Berichtsformen ausgedruckt und so bei der Überarbeitung des Bauteils berücksichtigt werden.

Sollte im Verlauf des Projekts die Definition weiterer Bauteile¹ erforderlich oder es müssen zusätzliche Funktionen realisiert werden, kann die Struktur der Datenbank problemlos angepasst werden. Die Anpassung erfolgt dabei menügestützt und erfordert keinerlei Programmierung.

¹ Aufgrund geänderter Randbedingungen oder hinzugekommener Anforderungen an das zu entwickelnde Produkt.

Bauteile und Funktionen

Nummer **Kategorie**

Name der Lösung

Beschreibung

<p>Bauteile</p> <p>Anker <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Gehäuse <input type="checkbox"/></p> <p>Spule <input type="checkbox"/></p> <p>Magnete <input type="checkbox"/></p> <p>Federn <input checked="" type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p>	<p>Funktionen</p> <p>Bremskraft erzeugen <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Bremsmoment erzeugen <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Wärme ableiten <input type="checkbox"/></p> <p>Anker anziehen <input type="checkbox"/></p> <p>Anker abstoßen <input type="checkbox"/></p> <p>Reibschicht aufbauen <input checked="" type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>Parameter</p> <p>Reibwert <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Magnetkraft <input type="checkbox"/></p> <p>Federkraft <input type="checkbox"/></p> <p>Bremskraft <input type="checkbox"/></p> <p>Verschleiß <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Temperatur <input checked="" type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p>	<p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



Schw 4 -11

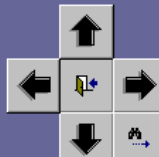
Abbildung 4-13: Zuordnung zu Bauteilen und Funktionen

4.5.1.2.3 Identifikation von Informationsbedarf

Bei der Identifikation von Informationsbedarf wird anhand verschiedener projektspezifischer Fragen überprüft, ob die für die Bewertung erforderlichen Informationen schon vorliegen, oder durch geeignete Informationsbeschaffung (Recherche oder Analyse) erst generiert und zusammengetragen werden müssen. Damit die Dokumentation der Entwicklung vollständig ist und Entscheidungen auch zu einem späteren Zeitpunkt wieder nachvollzogen werden können, werden die Antworten auf die Fragen in der nachstehenden Eingabemaske ebenfalls dokumentiert.

Informationsbedarf

Nummer	<input type="text" value="1"/>	Kategorie	<input type="text" value="Anker"/>
Name der Lösung	<input type="text" value="Geschlitzter Anker"/>		
Beschreibung	<input type="text" value="Durch Schlitze im Anker wird dessen axiale Steifigkeit reduziert, was zu einer besseren Anpassung an die Reibfläche am Bremsgehäuse führt."/>		
Fragen	Antworten		
<input type="text" value="Sichere Funktionserfüllung gewährleistet"/>	<input type="text" value="muss in Versuchen analysiert werden"/>		
<input type="text" value="zu den veranschlagten Kosten herstellbar (entwickelbar)"/>	<input type="text" value="Herstellkosten dieser Teilkomponente ca. 15% höher als bisher, insgesamt ca. 2% Mehrkosten"/>		
<input type="text" value="technisch realisierbar, Know how und Kapazitäten vorhanden."/>	<input type="text" value="i. O."/>		
<input type="text"/>	<input type="text"/>		
<input type="text"/>	<input type="text"/>		



Funktion erfüllt

Schw 4 -12

Abbildung 4-14: Dokumentation des Informationsbedarfs

4.5.1.2.4 Vorauswahl

Der Anwender wird mit einer Reihe von durch den Administrator vorgegebenen Kriterien¹ konfrontiert (Abbildung 4-15), die er bewerten muss. Im Sinne der Regeln zur Anwendung von Vorauswahllisten werden nur diejenigen Ideen und Konzepte weiterverfolgt, die alle Kriterien erfüllen. Können einzelne Kriterien nicht beurteilt werden, darf dies jedenfalls nicht zum Ausschluss der Idee führen. Vielmehr müssen die erforderlichen Informationen beschafft werden, die zur abschließenden Beurteilung benötigt werden.

¹ Der Anwender kann diese Liste um weitere Kriterien ergänzen, die dann bei sämtlichen eingegebenen Ideen mit abgefragt werden.

Vorauswahl

Nummer: 1 Kategorie: Anker

Name der Lösung: Geschlitzter Anker

Beschreibung: Durch Schlitz im Anker wird dessen axiale Steiligkeit reduziert, was zu einer besseren Anpassung an die Reibfläche am Bremsgehäuse führt.

Ergebnisse für die Vorauswahl

Anforderungen der Anforderungsliste erfüllt	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Kundenrelevanz	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Potenzial der Lösung	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
im veranschlagten Zeitraum umsetzbar	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Know how vorhanden	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Entwicklungskapazitäten vorhanden	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Fertigungsmöglichkeiten und -kapazitäten vorhanden	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

Schw 4 -13

Abbildung 4-15: Eingabemaske zur Vorauswahl

4.5.1.2.5 Bewertung der dokumentierten Ideen und Konzepte

Sind alle Eingaben zu den Ideen oder Konzepten erfolgt, kann eine abschließende Bewertung derer vorgenommen werden, die die Kriterien der Vorauswahl erfüllt haben.

Die Kriterien, die zur Bewertung herangezogen werden, wurden im Vorfeld vom Administrator der Datenbank produkt- und projektspezifisch vorgegeben (Abbildung 4-16).

Abschlußbewertung

Nummer: 1 Kategorie: Anker

Name der Lösung: Geschlitzter Anker

Beschreibung: Durch Schlitz im Anker wird dessen axiale Steifigkeit reduziert, was zu einer besseren Anpassung an die Reibfläche am Bremsgehäuse führt.

Abschlußbewertung

Kosten	hoch		
Kundenrelevanz	hoch		
Entwicklungskapazität vorhanden	eingeschränkt		
Im geplanten Zeitraum realisierbar	ja		

Schw 4 -14

Abbildung 4-16: Eingabemaske zur abschließenden Bewertung der dokumentierten Lösungen

4.5.1.3 Untermenü Berichte

Berichte werden in Microsoft® ACCESS zur Ausgabe der gespeicherten Informationen verwendet. In dieser Datenbank wurden zahlreiche Berichte implementiert, die unterschiedlichsten Informationsgehalt aufweisen; z.B. enthält der Bericht Abschlussbewertung die Ergebnisse der Bewertung sämtlicher Ideen, der Bericht Informationsbedarf die zu klärenden Fragen und die dazu formulierten Antworten.

Im Untermenü Berichte, das einen identischen Aufbau wie das Untermenü Projektdatensammlung aufweist, können sämtliche Berichte angewählt und am Drucker ausgegeben werden. Zur Erhöhung der Übersichtlichkeit empfiehlt es sich, die implementierten Filterfunktionen zu benutzen, bevor Berichte ausgegeben werden. Dadurch lassen sich Übersichten zu Lösungen aus den unterschiedlichen Kategorien erstellen oder zu Lösungen, die ausgewählte Bauteile betreffen oder bestimmte Funktionen realisieren.

4.5.1.4 Möglichkeiten der Erweiterung

Im vorliegenden Prototyp wurde eine Einteilung der Ideen in Kategorien und eine Zuordnung zu den betroffenen Bauteilen und den zu realisierenden Funktionen vorgenommen. Durch eine einfache Anpassung der Datenbank können auch davon abweichende Zuordnungen definiert werden; etwa die Zuordnung der Ideen zu einzelnen Forderungen und Wünschen aus der

Anforderungsliste oder die Einteilung der Ideen anhand der Kriterien des Kano-Modells (z.B. Standard-, Leistungs- und Begeisterungsmerkmale).

Neben dieser erweiterten Zuordnung können auch zusätzliche Felder in die einzelnen Eingabemasken integriert werden, die eine noch umfassendere Dokumentation ermöglichen.

Neben dem hier beschriebenen projektbegleitenden Einsatz ist auch ein projektübergreifender Einsatz denkbar. Die dokumentierten Ideen können im Rahmen anderer Projekte mit abweichenden Aufgabenstellungen wieder aufgegriffen und, entsprechende Eignung vorausgesetzt, verwendet werden.

4.5.2 Zusammenfassung und Hinweise zur Anwendung

Das Rechnerwerkzeug *Ideensammlung* erlaubt das strukturierte Ablegen sämtlicher Informationen, die für das Verständnis einer Idee oder eines Konzepts von Interesse sind.

Die umfangreichen Suchabfragen in diesem Rechnerwerkzeug lassen ein einfaches Handhaben des Datenbestandes zu und erleichtern das Wiederauffinden von eingegebenen Informationen und das gezielte Filtern der Daten nach diversen Kriterien.

Das intensive Beschäftigen mit einer Idee, der Zwang der Informationsbeschaffung und nachvollziehbaren Dokumentation der Ergebnisse sowie die Unterstützung der Prozessschritte Vorauswahl und Bewertung führen zu einem fundierten Verständnis der jeweiligen Idee, zum Aufdecken wichtiger Zusammenhänge sowie zum Erkennen der relevanten Parameter. Dieses Verständnis ist gerade in der frühen Phase der Produktentwicklung von gravierender Wichtigkeit, da hier Entscheidungen mit großer Tragweite für den weiteren Projektverlauf getroffen und bereits ein Großteil sämtlicher Kosten festgelegt werden.

Die zusätzlichen Informationen, die in der frühen Phase generiert und dokumentiert werden, senken die Wahrscheinlichkeit von späten und somit kostenintensiven Änderungen. Alleine dieser Aspekt rechtfertigt den Mehraufwand, der durch die projektbegleitende Dokumentation entsteht. Weitere Vorteile resultieren aus der nachvollziehbaren Dokumentation sämtlicher Entscheidungsprozesse, die zur Auswahl der weiterzuverfolgenden Lösungen geführt haben.

Die Werkzeuge *Ideenspeicher* und *Ideensammlung* eignen sich in erster Linie zum Einsatz in den sehr frühen Phasen der Produktentwicklung, wo der Fokus auf der Informationsbeschaffung und noch wenig auf der zielgerichteten Ideenerzeugung liegt. Dennoch werden gerade in diesem Zeitraum schon erste Ideen¹ generiert, die festgehalten werden müssen.

Neben den Vorteilen, die in einer nachvollziehbaren Dokumentation der Entwicklung zu sehen sind (z.B. aus haftungsrechtlichen Gründen), wird eine konstruktive Auseinandersetzung mit sämtlichen Informationen, den offenen Fragen sowie den vorhandenen Ideen gefördert, was zu einem vertieften Problemverständnis beiträgt und wichtige Zusammenhänge erkennen hilft.

¹ Die Ideen werden eher zwangsläufig als methodisch generiert, es erfolgt in der Regel noch kein Einsatz von Kreativitätsmethoden zur gezielten Ideenfindung.

Zur Unterstützung der sich an die Phase der Aufgabenklärung anschließenden methodischen Ideensuche unter Anwendung geeigneter Kreativitätstechniken wurde ein Ideenformular und darauf aufbauend die *Konzeptdatenbank* entwickelt, die in den folgenden Kapiteln beschrieben werden.

4.6 Formular zur Unterstützung kreativer Sitzungen

Zur Unterstützung der nachvollziehbaren Dokumentation in kreativen Sitzungen wurde das in Abbildung 4-17 dargestellte *Ideenformular* definiert. Neben einem Skizzierbereich zum Eintragen der Ideen weist es noch zahlreiche weitere Felder auf. In diese können Vor- und Nachteile, eine kurze Beschreibung, der zu klärende Informationsbedarf sowie alle sonstigen Informationen eingetragen werden, die bei der Erstellung der jeweiligen Lösungsideen vorhanden sind.

Durch den einfachen Aufbau können projektspezifische Anpassungen wie zum Beispiel zusätzliche Felder in kurzer Zeit eingearbeitet werden.

<p>Vorteile:</p> <p><i>geringe Anfangshöhe</i> <i>stufenlos verstellbar</i></p> <hr/> <p>Nachteile:</p> <p><i>groß und schwer</i> <i>kompliziert, aufwendige Konstruktion</i></p> <hr/> <p>Kritisch</p> <p><i>Keilwinkel beachten</i> <i>Kraft zum Kurbeln?</i> <i>max. Belastbarkeit?</i> <i>Synchronisierung</i></p>	<p style="text-align: right;">aus Nr.:</p> <p style="text-align: center;">Schw 4 - 15</p>
<p>Beschreibung: <i>Das Unterbausystem besteht aus mehreren Keilen, die durch eine Verzahnung miteinander verbunden sind. Durch Drehen der Spindel werden die Abschlusskeile nach innen bewegt und die Keilsegmente müssen nach oben ausweichen und erzeugen die Hub-Bewegung.</i></p>	
<p>Name der Lösung: <i>Schraubkeile</i></p>	
<p>Zeichnungsnummer: <i>Pu 5 - 53</i></p>	
<p>Verweis, Ablage, Sonstiges</p>	
<p>Bewertung: <input type="checkbox"/> verwerfen <input checked="" type="checkbox"/> interessant <input type="checkbox"/> verfolgen</p>	
<p>Ersteller: <i>Pu 20.06</i></p>	
<p>Datum:</p>	
<p>PRODUKTENTWICKLUNG product development © PE 2001</p>	

Abbildung 4-17: Ideenformular in der Standardkonfiguration

4.6.1 Felder des Ideenformulars

Im Folgenden werden die einzelnen Felder des *Ideenformulars* in der Standardkonfiguration beschrieben. Das vorliegende Layout wurde in mehreren Optimierungsschritten festgelegt, wobei Wünsche und Anregungen mehrerer Anwender berücksichtigt worden sind.

Skizzierbereich:

Das größte Feld des Formulars dient zum Skizzieren der Ideen. Als vorteilhaft hat es sich erwiesen, wenn relevante Bauteile in der Skizze bezeichnet werden bzw. erforderliche und mögliche Bewegungen durch zusätzlich Bewegungspfeile (PACHE, RÖMER, LINDEMANN & HACKER 2001, S. 461ff) dargestellt werden.

Beschreibung:

Das Feld Beschreibung soll zur Erläuterung der Funktion der skizzierten Idee verwendet werden. Daneben können hier auch erforderliche Randbedingungen oder bereits bekannte Restriktionen angegeben werden, die für die weitere Umsetzung relevant sind.

Vorteile/Nachteile:

Die Felder ermöglichen dem Anwender Vor- und Nachteile zu dokumentieren, die bereits während der Erstellung der Skizze aufgefallen sind. Beispielsweise wurden in den bisherigen Anwendungen häufig Nachteile wie Komplexität, hohe Zahl an Bauteilen oder Schwierigkeiten bei der Montage genannt.

Kritisch/Informationsbedarf:

Wenn noch weitere Informationen zu dieser Idee erarbeitet werden müssen bzw. wenn kritische Eigenschaften auffallen, werden sie in dieses Feld eingetragen. In der anschließenden Diskussion können die offenen Fragen gemeinsam geklärt bzw. zur Analyse erforderliche Maßnahmen definiert und eingeleitet werden.

Schriftfeld:

Das Schriftfeld, bekannt von technischen Zeichnungen, dient zur Dokumentation von organisatorischen Angaben wie z.B. Projektname, Name des Erstellers und des Datums der Erstellung. Dadurch werden die Ideen einzelnen Personen zugeordnet, was insbesondere bei Rückfragen von Interesse ist. Die Angaben im Schriftfeld erleichtern auch das strukturierte Archivieren und Wiederauffinden der dokumentierten Ideen.

4.6.2 Bewertungsformular


Auf der Rückseite des *Ideenformulars* ist ein Bewertungsschema angeordnet (Abbildung 4-6), mit dessen Hilfe eine erste Bewertung und Vorauswahl der Ideen anhand vorgegebener Kriterien¹ durchgeführt werden kann. Neben diesen Bewertungskriterien sind auch Felder für weitere projektspezifische Kriterien vorgesehen. Neben einem Feld zum Eintragen des Informationsbedarfs² können auch persönliche Anmerkungen dokumentiert werden. Im Feld *Weiteres Vorgehen* kann das Potenzial der Idee abgeschätzt, ein Verantwortlicher sowie Termine angegeben werden.

¹ In Anlehnung an die Vorauswahlliste von EHRENSPIEL (1995).

² In dieses Feld kann der abschließend noch vorhandene und zu klärende Informationsbedarf eingetragen werden. Die Inhalte dieses Feldes und des gleichlautenden Feldes auf der Vorderseite des Formulars können durchaus unterschiedlich sein. Im Rahmen der Ideenbewertung können einerseits kritische Fragen bereits geklärt werden, andererseits neue zu klärende Fragen aufgeworfen werden.

Sehr wichtig ist eine schriftliche Begründung der jeweiligen Entscheidungen, damit diese auch zu einem späteren Zeitpunkt noch nachvollzogen werden können¹. Das zusammengefasste Ergebnis der Bewertung wird abschließend auf die Vorderseite übertragen und damit auf den ersten Blick transparent.

Das Bewertungsschema kann ebenfalls sehr einfach auf die vorliegenden Randbedingungen (z.B. durch das Erweitern um zusätzliche Kriterien oder das genauere Spezifizieren der Anforderungen) und persönliche Wünsche (Layoutgestaltung, Größe der einzelnen Sektoren) angepasst werden.

Bewertung					
Bewertung:	ja	nein	gering	mittel	hoch
Anforderungsliste erfüllt?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Grundsätzlich realisierbar?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Kundenrelevanz:			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Umsetzungsaufwand:			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Begründung für die Bewertung:					
verbleibender Klärungs-/Informationsbedarf:					
Anmerkungen:					
Weiteres Vorgehen:			gering	mittel	hoch
Potenzial der Idee:			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Für wen interessant:	_____				
Wer wird informiert:	_____				
Pate der Idee:	_____				
Termine:	_____				
					
				Datum	Bewerter

© PE 2001

Schw 4 - 16

Abbildung 4-18: Bewertungsschema auf der Rückseite des Ideenformulars

Neben der rein textuellen Bewertung oder der Zuordnung von Merkmalen (Anforderungen erfüllt? ja – nein) bietet sich eine graphische Beurteilung in Form von Diagrammen an.

¹ Interessant wird die Dokumentation der Entscheidung gerade bei Ideen, die aufgrund unzureichender Technologien heute noch nicht realisierbar sind, in Zukunft aber durchaus interessant sein können.

4.6.3 Beispiele optionaler Felder

Da Kreativsitzungen zur Ideenfindung häufig mit unterschiedlichem Fokus, d.h. mit unterschiedlichen Eingangsfragestellungen, durchgeführt werden, ist eine Anpassung des im vorhergehenden Kapitel beschriebenen *Ideenformulars* erforderlich, um eine aufwandsarme und nachvollziehbare Dokumentation sämtlicher relevanter Gesichtspunkte zu ermöglichen.

So können alternative *Ideenformulare* definiert werden, die für Produktneuentwicklungen (Neukonstruktion), für Produktoptimierungen (-überarbeitungen im Sinne einer Anpassungs- oder Variantenkonstruktion) oder zur Fehlerbeseitigung (z.B. in Zusammenhang mit dem TOPS-8D Verfahren) angepasst sind und zusätzliche Felder¹ aus unterschiedlichen Kategorien enthalten.

Hinweisfelder:

Als Hinweisfelder werden Felder des Formulars bezeichnet, die zusätzliche Anweisungen für die weitere Bearbeitung bzw. das weitere Vorgehen enthalten. Neben Hinweisen zu konstruktiven Details (Werkstoffauswahl, falls in der Phase schon relevant), zur Fertigung (Empfehlungen von Fertigungsverfahren, zur Verfügung stehende Fertigungseinrichtungen), Montage (Automatisierungsgrad, Nutzung von vorhandenen Fertigungseinrichtungen) können auch Termine und Verantwortungen näher spezifiziert werden (Dringlichkeit, Bearbeitungsvermerke: wer – was – wann).

Zuordnungsfelder:

Diese Art von Feldern erlaubt eine Zuordnung des skizzierten Konzepts (der skizzierten Teilfunktion) zu vorgegebenen Ordnungskriterien oder zu realisierenden Hauptfunktionen.

Diese Ordnungskriterien ermöglichen verschiedene Sichten auf die generierten Ideen und die Filterung nach verschiedenen Gesichtspunkten, wie der Zuordnung zu Bauteilen oder Baugruppen. Damit lassen sich sehr einfach alle Ideen herausfiltern, die ein ausgewähltes Bauteil betreffen.

Die Lösungen können verschiedene Bereiche tangieren und auf die Erfüllung spezieller Anforderungen ausgerichtet sein. Neben einzelnen Funktionen, die in der Anforderungsliste festgeschrieben sind (z.B. Sicherheit, Kostenreduzierung, Qualitätsverbesserung) kann darüber hinaus eine Zuordnung zu Geltungsfunktionen (Alleinstellungsmerkmale, Kundenrelevanz) durchgeführt werden.

Um die Vergleichbarkeit der Konzepte zu vereinfachen, bietet es sich an, hier auch den Erfüllungsgrad der jeweiligen Ziel- bzw. Geltungsfunktion mit abzufragen.

¹ Die hier beschriebenen Felder wurden in verschiedenen Konfigurationen bereits eingesetzt.

4.6.4 Vorteile des Ideenformulars

Neben der vereinfachten Archivierung liegt der Vorteil bei der Anwendung dieses Formulars darin, dass alle zu der Idee bzw. zu dem Konzept vorhandenen Informationen¹ einschließlich der Bewertung auf einem einzigen Formular dokumentiert werden, was zu einer guten Nachvollziehbarkeit führt. Durch die Zuordnung von Informationen zu den einzelnen Feldern erfolgt eine erste Strukturierung der Informationen, was die Übersichtlichkeit deutlich erhöht und das Wiederauffinden erleichtert. Durch diese einheitliche Art der Informationserfassung wird die Informationsverarbeitung an sich, die Vergleichbarkeit und damit letztendlich auch die Bewertung der erarbeiteten Ideen erleichtert.

Die Anwender werden durch den Formularcharakter animiert, einzelne Felder zu benutzen, wodurch die Menge an dokumentierten Informationen stark zunimmt und die Idee detailliert und für andere nachvollziehbar beschrieben wird. Durch den Fragencharakter der Feldbezeichnungen und des Bewertungsschemas werden weitere Kreativitätsprozesse in Gang gesetzt, die zu einem intensiven Hinterfragen der eigenen Lösung und somit auch zu einem vertieften Verständnis führen.

Als sehr vorteilhaft hat sich die Anwendung des *Ideenformulars* auch bei der an die Kreativitätssitzung anschließenden Diskussion der Ideen erwiesen. Dazu können die *Ideenformulare* kategorisiert und in Gruppen an Pinnwänden befestigt werden. Der Ideenersteller präsentiert seinen Vorschlag, der von den Teammitgliedern aufgegriffen² und eingehend diskutiert wird.

Neben einer Anwendung in Brainstormingsitzungen ist die Verwendung des *Ideenformulars* bei der Galeriemethode und – leichte Modifikationen vorausgesetzt – bei der Methode 6-3-5 empfehlenswert.

Wichtige Aspekte, relevante Hintergründe und Gedanken, die bei der Entstehung und gemeinsamen Diskussion der Idee vorhanden waren bzw. aufgetaucht sind, werden so auf dem Formular festgehalten. Das erleichtert das spätere Wiederaufgreifen von Lösungen, auch für Mitarbeiter, die nicht an der Erstellung dieser Idee beteiligt gewesen sind³.

Nicht zuletzt konnte in zahlreichen Anwendungen auch eine Qualitätssteigerung bei den in den Kreativsitzungen erstellten Skizzen festgestellt werden, was auf den Formularcharakter zurückzuführen ist.

Die organisatorischen Informationen wie Name der Lösung, Kategorie usw. erleichtern das Sortieren und die Archivierung der skizzierten Konzepte erheblich. Die Angabe des Ideenerstellers hat sich als sehr hilfreich erwiesen, da dieser bei einer späteren Weiterbearbeitung der Idee für Rückfragen kontaktiert werden kann.

¹ Unterschiedliche Arten von Informationen wie Skizze, Beschreibung, Bewertung werden gemeinsam in knapper Form dokumentiert.

² Bei der Anwendung der Ideenformulare in verschiedenen Entwicklungsprojekten konnten Analogien zur Kreativitätsmethode 6-3-5 erkannt werden. Zahlreiche Ideen wurden in der anschließenden Diskussion von anderen Teammitgliedern aufgegriffen und von diesen erweitert.

³ Bei den bisherigen Anwendungen wurde häufig Informationsbedarf identifiziert und dokumentiert, der vor einer endgültigen Bewertung geklärt werden musste.

Das *Ideenformular* ist als DIN A3 Blatt ausgelegt, der eigentliche Skizzierbereich als DIN A4 Blatt. So wird nach der normgerechten Faltung des Blattes auf den ersten Blick das Schriftfeld mit Name der Lösung und dem Resultat der Bewertung sichtbar.

4.7 Rechnerwerkzeug Konzeptdatenbank

Aufgrund der positiven Erfahrungen mit dem *Ideenformular* wurde basierend auf diesem Konzept eine datenbankbasierte Version - die *Konzeptdatenbank* - mit der Software Microsoft® ACCESS realisiert. Neben der vereinfachten Datenhaltung bietet die Datenbanklösung zahlreiche Vorteile bei der Suche nach Ideen, bei der Visualisierung und Präsentation der Ergebnisse und erlaubt einen Aufbau eines unternehmensweiten Ideenpools. Im Folgenden wird die Struktur und die Bedienoberflächen dieser Datenbank eingehend erläutert, wobei unterschiedliche Szenarien der Nutzung berücksichtigt worden sind:

- Nutzung der *Ideenformulare* in einer kreativen Sitzung zum Dokumentieren der generierten Ideen und anschließendes Übertragen der Informationen in die *Konzeptdatenbank* zum Archivieren der Daten.
- Nutzung von elektronischen Skizziereinrichtungen anstelle des *Ideenformulars* in der kreativen Sitzung. Die dazu erforderlichen Hilfsmittel und technischen Einrichtungen werden in Kapitel 4.7.3 vorgestellt.

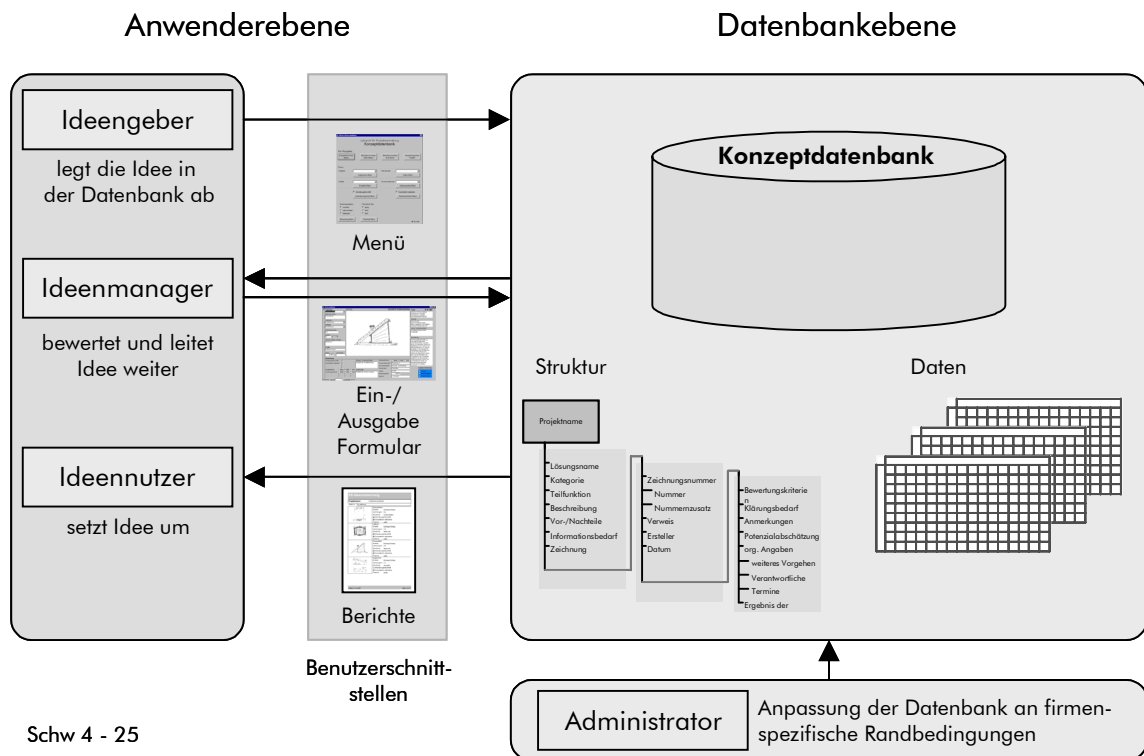
4.7.1 Anwendung

Nach erfolgter Ideensammlung werden die generierten Ideen und Konzepte in die *Konzeptdatenbank* eingegeben und strukturiert abgelegt (Abbildung 4-19), die ebenfalls in Anwender- und Datenbankebene unterteilt werden kann. Zur Übertragung der Ideen vom *Ideenformular* in die Datenbank kann ein Zeitaufwand von ca. vier bis fünf Minuten pro Idee veranschlagt werden, der für das Einscannen der Zeichnung sowie das Eingeben sämtlicher Informationen erforderlich ist. Durch die fortschreitende Entwicklung im Bereich der Schrifterkennungssoftware und die Nutzung von elektronischen Eingabemedien (siehe Kapitel 4.7.3) kann dieser Zeitaufwand noch deutlich reduziert werden.

Für die Eingabe der Ideen und die Bewertung durch einen Ideenmanager steht das in Abbildung 4-22 dargestellte Formular zur Verfügung

4.7.2 Aufbau der Konzeptdatenbank

Der Aufbau der Konzeptdatenbank geht aus Abbildung 4-19 hervor. Sie ist ebenfalls in eine Anwender- und eine Datenbankebene unterteilt und beinhaltet verschiedene Benutzerschnittstellen zur Ein- und Ausgabe der Daten.



Schw 4 - 25

Abbildung 4-19: Anwendung der Datenbank

4.7.2.1 Datenstruktur

Bei der Entwicklung der *Konzeptdatenbank* wurde ein einfaches Datenmodell realisiert, um eine möglichst große Flexibilität sowohl in der Anwendung als auch in der Anpassung zu erhalten. Dazu wurde die Datenstruktur in der sogenannten 1. Normalform¹ angelegt, bei der sämtliche Daten eines Datensatzes² in einer einzigen Tabelle abgelegt werden (siehe Abbildung 4-4).

¹ Beim Normalisierungsprozess werden die Daten auf mehrere Tabellen verteilt; der Aufwand für die Verwaltung der Daten steigt aber mit Anzahl der Tabellen.

² Sämtliche Informationen zu einer Idee bilden einen Datensatz.

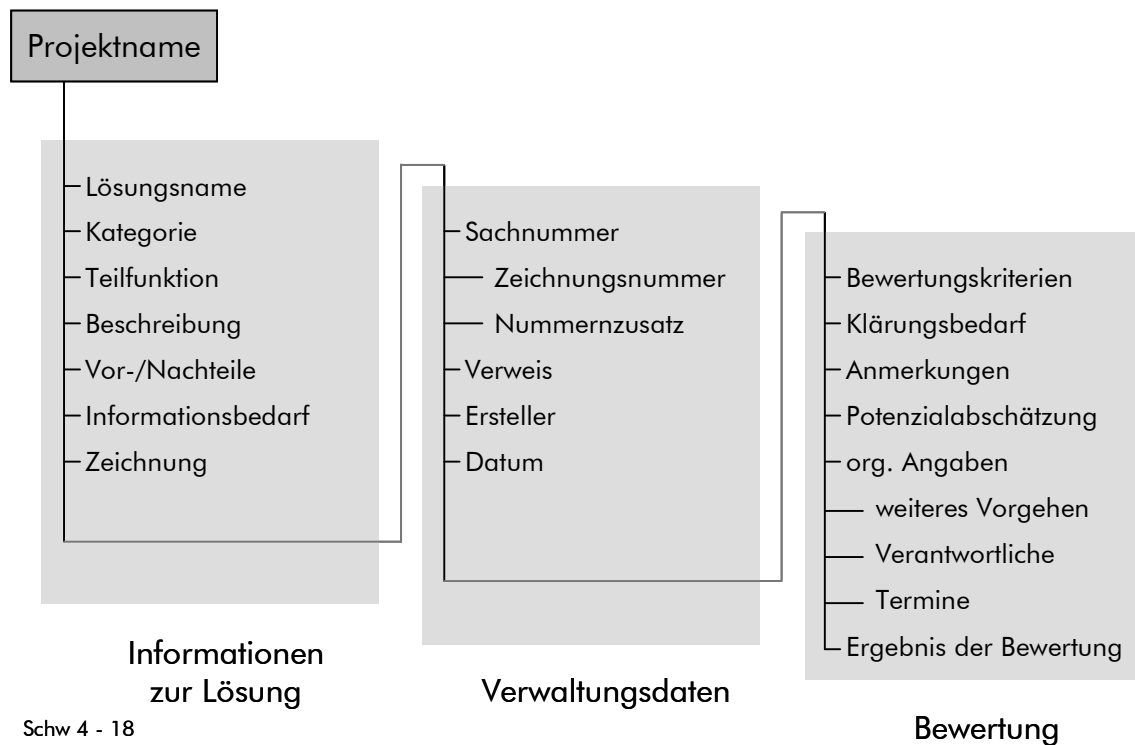


Abbildung 4-20: Datenstruktur der Konzeptdatenbank

Dies erlaubt eine unkomplizierte Anpassung der Datenbank an projekt- oder unternehmensspezifische Randbedingungen auch ohne vertiefte Programmierkenntnisse. So können weitere Eingabefelder hinzugefügt und neue Filter und Berichte zur Ausgabe der Informationen implementiert werden.

In den folgenden Kapiteln wird die Benutzeroberfläche sowie die implementierten Ein- und Ausgabeformate sowie ausgewählte Filter vorgestellt.

Beim Starten der Anwendung erscheint das in Abbildung 4-21 dargestellte Menü, das in den Ein-/Ausgabe-Bereich und einen Filterbereich unterteilt ist.

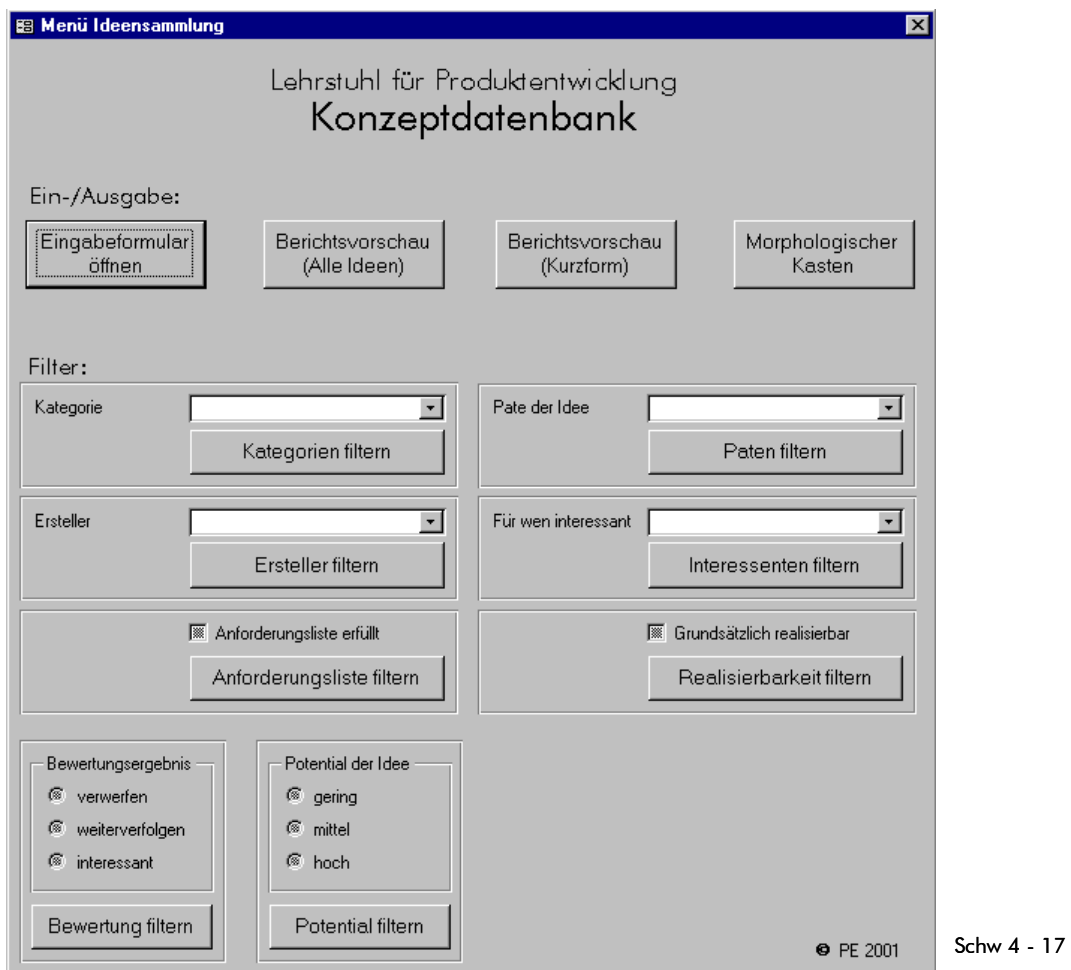


Abbildung 4-21: Benutzeroberfläche der Konzeptdatenbank

4.7.2.2 Eingabemaske zur Dokumentation von Ideen

Zur Eingabe der Daten steht das sogenannte Eingabeformular (Abbildung 4-22) zur Verfügung, das mit dem Schalter *Eingabeformular öffnen* im Menü aufgerufen wird. Es besteht aus einzelnen Eingabefeldern und ist untergliedert in die drei Bereiche (siehe Abbildung 4-20)

- Informationen zur Lösung
- Verwaltungsdaten
- Bewertung.

Im Folgenden werden die Felder der *Konzeptdatenbank* beschrieben, die zusätzlich zu den Feldern des *Ideenformulars* eingefügt worden sind bzw. die besonders relevant sind:

Projektname:

Die Angabe eines Projektnamens ist erforderlich, da der Prototyp der Datenbank für einen projektübergreifenden Einsatz¹ konzipiert worden ist. Somit können die abgelegten Ideen eindeutig einzelnen Projekten zugeordnet werden.

Name der Lösung:

Es empfiehlt sich, in diesem Feld geeignete Namen zu vergeben, die einen Rückschluss auf die skizzierte Lösung zulassen. Die hier getätigten Eingaben müssen eindeutig sein, d.h. identische Eingaben sind zu vermeiden, sie führen zu einer Fehlermeldung.

Verweis:

In diesem Feld können z.B. Hinweise auf Dokumente, Literaturstellen oder Internetlinks dokumentiert werden, die für das Verständnis des skizzierten Konzepts erforderlich oder dessen Umsetzung von Interesse sind. Häufig wird dieses Feld auch zur Angabe von Analogien verwendet, z.B. wenn Effekte oder Verfahren eingesetzt werden, die aus anderen Bereichen bekannt sind (z.B. Anwendung der Bionik).

Kategorie:

Das Feld Kategorie ist optional und kann benutzerdefiniert eingesetzt werden. In den bisherigen Anwendungen wurde es zur Klassifizierung der Ideen hinsichtlich Kriterien wie neue Lösung, Detailverbesserung, Variante usw. verwendet.

Teilfunktion:

Das Feld Teilfunktion erlaubt eine Zuordnung der skizzierten Ideen bzw. des Konzepts, zu einer zu realisierenden Teilfunktion, die im Rahmen der Aufgabenklärung definiert und in der Anforderungsliste dokumentiert worden ist. Diese Zuordnung ermöglicht die übersichtliche Darstellung der Ideen in Form eines Morphologischen Kastens.

Die Felder Kategorie und Teilfunktion wurden ebenfalls als Auswahlfelder² definiert, d.h. sämtliche bereits eingegebenen Bezeichnungen für die Kategorie und die Teilfunktion stehen beim Anlegen eines weiteren Datensatzes zur Verfügung und müssen nicht erneut eingegeben werden. Dies erleichtert das Verwenden einheitlicher Begriffe, reduziert die erforderlichen Eingaben und hilft Tippfehler und Falscheingaben zu vermeiden.

Sachnummer:

Wird die *Konzeptdatenbank* unternehmensweit eingesetzt, erhält man in kurzer Zeit eine Vielzahl von Datensätzen, die verwaltet werden müssen. Um hier die Möglichkeiten zur strukturierten Ablage noch zu erweitern, wurde ein aufwendigeres Nummernsystem als beim *Ideenformular* realisiert. Die Nummer setzt sich zusammen aus einer Zeichnungsnummer und

¹ Die Filterfunktionen erlauben selbstverständlich eine projektübergreifende Nutzung der Datenbank, was für Synergieeffekte aus den einzelnen Projekten durchaus wünschenswert ist.

² Neben den Feldern Kategorie und Teilfunktion wurden auch die Felder Projektname, Ersteller, Datum und aus Nummer als Auswahlfelder angelegt, da hier im Gegensatz zum Feld Name der Lösung redundante Eingaben zulässig sind.

einem Nummernzusatz, mit dem der Anwender bei Bedarf eine weitere Klassifizierung vornehmen kann.

Organisatorische Daten:

Zu den organisatorischen Daten gehören die drei Felder *Ersteller*, *Datum* und *aus Nummer*. Durch die Angabe des Erstellers, des Ideenerzeugers, wird die Idee eindeutig zugeordnet, was bei Rückfragen bzw. bei patentrechtlichen Angelegenheiten bei einer Umsetzung der Idee von Interesse ist. Das Feld *aus Nummer* ermöglicht die Verknüpfung von Ideen, die aufeinander aufbauen (im Sinne der Variation der Wirkstruktur nach EHRENSPIEL (1995)). Dies führt zu einer Unterstützung des Entwicklungsprozesses, da die Entstehung eines Konzepts mit sämtlichen relevanten Zwischenschritten zurückverfolgt werden kann und diese Zwischenstufen bei der Umsetzung des Konzepts mit beachtet werden können.

The screenshot shows the 'Ideensammlung' software interface. The main window is titled 'Lehrstuhl für Produktentwicklung' and 'PE 2001'. The interface is divided into several sections:

- Project Information:** Includes 'Projektname: Unterbausysteme', 'Name der Lösung: Pneumatikteil', 'Teilfunktion: Komplettsystem', 'Kategorie: Gesamtlösung', 'Zeichnungsnummer: G 4', 'Nummer: 33 / 20', 'Ersteller: Korbinian Puchner', and 'Datum: 20.05.01'.
- Drawing:** A central area containing a technical drawing of a mechanical assembly, likely a pneumatic actuator or similar component.
- Bewertung (Evaluation):** Contains several checkboxes and radio buttons for assessing the idea's feasibility, customer relevance, and implementation effort. It also includes a 'Klärungs- / Informationsbedarf' section with a text area for 'Festigkeit der Verstelleinrichtung' and 'Flexibilität des Systems ist gering'.
- Beschreibung (Description):** A text area containing a detailed description of the pneumatic actuator, mentioning its two-part construction and the use of wedge-shaped wedges.
- Ergebnis Bewertung (Evaluation Result):** A section with three buttons: 'verwerfen', 'weiterverfolgen', and 'Infobedarf klären'.

Schw 4 - 19

Abbildung 4-22: Eingabeformular der Konzeptdatenbank

Zeichnung:

Zur Erstellung der Skizzen und Zeichnungen stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung. Zum einen besteht die Möglichkeit, die Skizzen der Konzepte, die auf den *Ideenformularen* angefertigt worden sind, zu digitalisieren und die Datei im Zeichnungsfeld einzufügen. Die Informationen, die auf dem *Ideenformular* dokumentiert sind, werden in die entsprechenden Felder der Eingabemaske übertragen. Zum anderen können verschiedenste Zeichenprogramme zum Nachbilden der in den Kreativsitzungen erstellten Skizzen und Zeichnungen verwendet und die Ergebnisse mit der Copy/Paste-Funktion in die Datenbank übertragen werden. Es besteht auch die Möglichkeit, zum Skizzieren elektronische Eingabegeräte zu verwenden, die einen Einsatz der *Konzeptdatenbank* bereits in der kreativen Sitzung erlauben.

4.7.2.3 Felder der Eingabemaske zur Bewertung und dem weiteren Vorgehen

In Anlehnung an das Bewertungsschema des *Ideenformulars* (siehe Abbildung 4-18) wurden in der Eingabemaske auch Felder zur Unterstützung des Bewertungsprozesses implementiert, die in die Kategorien Fragen, Beurteilung und weiteres Vorgehen eingeteilt werden können.

Zur Durchführung einer Vorauswahl eignen sich die Fragen

- Anforderungsliste erfüllt?
- Grundsätzlich realisierbar?

und die Abschätzung der Kriterien

- Kundenrelevanz,
- Umsetzungsaufwand und
- Potenzial der Idee.

Basierend auf diesen Kriterien kann auch eine visuelle Darstellung des Ergebnisses dieser Vorauswahl mittels Portfoliodiagrammen (Kapitel 3.4.3) durchgeführt werden. Bei der Entwicklung der Datenbank wurde bei der Bewertung auf eine mögliche Anpassung an veränderte Randbedingungen oder abweichende Fragestellungen geachtet. Dazu wurden zusätzliche Felder definiert und im Datenmodell berücksichtigt.

Zur Zusammenfassung der Bewertung der jeweiligen Idee wurde das Feld Ergebnis Bewertung definiert, das die Optionen

- verwerfen,
- weiterverfolgen sowie
- Informationsbedarf klären (erst nach Klärung des Informationsbedarfs kann die abschließende Bewertung durchgeführt werden.)

enthält.

Bei der Durchführung der Bewertung, die je nach Definition der Zuständigkeiten, vom Ideenerzeuger selbst, von einem Ideenmanager des Unternehmens oder von einem Bewertungsteam vollzogen wird, können zusätzliche Anweisungen für das weitere Vorgehen und die weitere Bearbeitung einzelner Ideen dokumentiert werden.

In den Feldern *für wen interessant* und *wer wird informiert* können Abteilungen, Projektteams oder Einzelpersonen spezifiziert werden, für die diese Idee relevant sein könnte. Im Feld „*Parte der Idee*“ wird ein Verantwortlicher festgelegt, der die weitere Bearbeitung der Idee verfolgt bzw. an den der jeweils aktuelle Stand berichtet werden muss. Darüber hinaus können noch Termine und Meilensteine angegeben werden, zu denen gewisse Projektstände erreicht werden müssen. Die Bewertung wird mit Angabe des Bewertungsdatums sowie des Namens bzw. der Namen der Bewertungsdurchführenden abgeschlossen.

Die Einträge im Feld *Informationsbedarf* dienen als Input für die im Weiteren durchzuführenden Analyseprozesse; sie werden bei der Auswahl geeigneter Analysemethoden berücksichtigt. Zur Unterstützung dieser Auswahl wurde ein datenbankbasiertes Methodenauswahltool entwickelt, das in Kapitel 5 vorgestellt wird.

4.7.2.4 Realisierte Ausgabeformate

Um die Inhalte der Datenbank auch in geeigneter Weise präsentieren zu können, wurden verschiedenen Ausgabeformate definiert. Um einen Überblick über alle Datensätze mit sämtlichen Informationen zu den einzelnen Ideen zu erhalten, empfiehlt sich die Verwendung der Druckfunktion von Microsoft® ACCESS. Damit werden die Eingabeformulare der Datenbank ausgedruckt, je nach Filterung der komplette Datenbestand oder nur auszugsweise, z.B. alle Ideen, die die Anforderungen der Anforderungsliste erfüllen.

Exemplarisch wurden zwei Berichtsformen im Prototyp der Datenbank realisiert. Neben einer tabellarischen Kurzdarstellung kann so auch ein umfangreicherer Bericht (Abbildung 4-23) ausgegeben werden, der neben einer Skizze den Namen der Idee, die Kategorie und die realisierte Teilfunktion enthält.

Daneben lassen sich aufwandsarm weitere Ausgabeformate mit abweichendem Informationsgehalt anlegen.

PE-Ideensammlung

Projektname: Unterbausysteme

Kategorie	Bezeichnung
Hydraulheber	Ersteller: Kobianan Puchner Zeichnungsnr.: G 2 Bewertung: weiterverfolgen <input checked="" type="checkbox"/> Anforderungsliste erfüllt <input checked="" type="checkbox"/> Grundsätzlich realisierbar Potential: mittel
Zylinderheber	Ersteller: Kobianan Puchner Zeichnungsnr.: G 3 Bewertung: interessant <input checked="" type="checkbox"/> Anforderungsliste erfüllt <input checked="" type="checkbox"/> Grundsätzlich realisierbar Potential: mittel
Pneumatikheber	Ersteller: Kobianan Puchner Zeichnungsnr.: G 4 Bewertung: interessant <input checked="" type="checkbox"/> Anforderungsliste erfüllt <input checked="" type="checkbox"/> Grundsätzlich realisierbar Potential: mittel
Zylinderheber	Ersteller: Kobianan Puchner Zeichnungsnr.: G 1 Bewertung: weiterverfolgen <input type="checkbox"/> Anforderungsliste erfüllt <input checked="" type="checkbox"/> Grundsätzlich realisierbar Potential: gering

Freitag, 13. Juli 2001 Seite 1 von 11

Freitag, 13. Juli 2001 Seite 2 von 11

Freitag, 13. Juli 2001 Seite 3 von 11

Schw 4 - 24

Abbildung 4-23: Berichte zur Ausgabe der gespeicherten Informationen

Die Darstellung der gespeicherten Ideen und Konzepte ist auch in Form eines Morphologischen Kastens möglich, wie ihn Abbildung 4-24 zeigt. Dazu werden, gesteuert durch ein Makro, die einzelnen Teilfunktionen als Zeilenüberschriften, sowie als Spaltenüberschriften die Anzahl der Teilfunktionen jeweils auf ein separates Blatt ausgedruckt. Die einzelnen Ideen, die in der Berichtsform *Eingabeformular* gedruckt werden, werden in das von den Zeilen- und Spaltenüberschriften aufgespannte Raster eingeordnet.



Abbildung 4-24: Ausgabe der Ideen im Morphologischen Kasten

4.7.2.5 Filterung der Daten

Die implementierten Filter erleichtern das Arbeiten mit den eingegebenen Datensätzen. In der vorliegenden Version der *Konzeptdatenbank* wurden exemplarisch verschiedene Auswahlfilter implementiert, mit denen die Datensätze z.B. nach den vorhandenen Kategorien oder nach den Erstellern der Ideen durchsucht werden können. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit nach dem Ergebnis der Bewertung sowie dem Potenzial der Idee zu sortieren (siehe Abbildung 4-21).

4.7.3 Nutzung elektronischer Eingabemedien

Im Rahmen von kreativen Sitzungen wurde auch die Eignung elektronischer Skizziereinrichtungen analysiert. Neben drucksensitiven LCD-Tabletts¹ wurden auch interaktive Whiteboards² eingesetzt.

Die LCD-Tabletts (Abbildung 4-25) bestehen aus einem LCD-Bildschirm, auf dem mit einem Stift direkt gezeichnet werden kann. Auf dem LCD-Bildschirm wird die Eingabemaske der Datenbank dargestellt. Zum Skizzieren können sämtliche Grafikprogramme verwendet werden, die diese LCD-Tabletts unterstützen. Durch Veränderung der Anpresskraft kann die Liniestärke (PACHE, LINDEMANN, RÖMER & HACKER 2001, S. 98ff) variiert werden; verschiede-

¹ Anbieter: Firma Wacom, nähere Informationen unter <http://www.wacom.de>.

² Anbieter: SMART Technologies Germany GmbH, <http://www.smartboard.de>.

dene Farben können im Menü ausgewählt werden. Das Ausfüllen der Textfelder kann ebenso mit dem Stift und Einsatz einer Schrifterkennungssoftware erfolgen. Wie bei den interaktiven Whiteboards ist auch hier die Texteingabe mit der Tastatur dem Stift vorzuziehen (Geschwindigkeitsvorteile, einfacheres Wechseln zwischen einzelnen Textfeldern).



Abbildung 4-25: LCD-Tablett

Bei den interaktiven Whiteboards (Abbildung 4-26) wird das vom Computer generierte Bild mittels Videoprojektion auf der drucksensitiven Projektionsfläche abgebildet. Die Signale, die beim Skizzieren detektiert werden (Geometrie, Stiftfarbe durch Auswahl eines Zeichenstiftes), werden vom Computer erfasst und verarbeitet und über den Videoprojektor wieder auf der Projektionsfläche abgebildet.

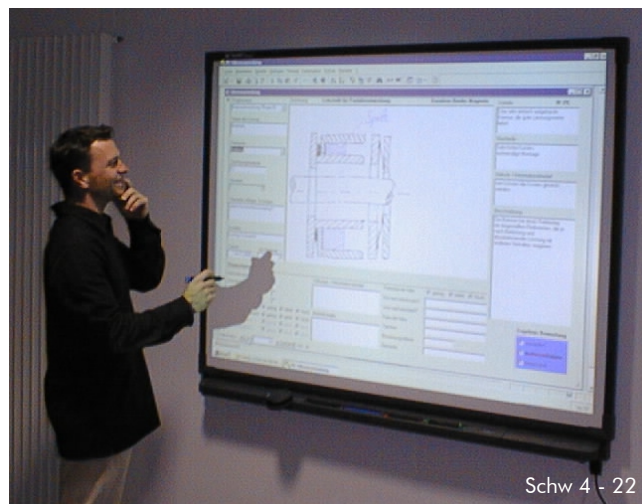


Abbildung 4-26: Konzeptdatenbank und interaktives Whiteboard als Eingabemedium

Der Vorteil der Anwendung derartiger Eingabemedien liegt neben der Zeitersparnis (Übertragen der Daten vom *Ideenformular* in die Datenbank entfällt) in der sofortigen Verfügbarkeit der Daten in elektronischer Form. Schon während der kreativen Sitzung können die von ande-

ren Teammitgliedern generierten Ideen eingesehen, diese aufgreifen¹ und als Anregung für eigene Ideen verwendet werden. Darüber hinaus können Anmerkungen und Kommentare hinzugefügt oder eine erste Bewertung durchgeführt werden. Wie erste Tests ergaben, kann mit diesen Medien bereits nach einer kurzen Eingewöhnungsphase effektiv gearbeitet werden, wobei sich das LCD-Tablett für diese Anwendung als bestgeeignetste Lösung herauskristallisiert hat.

Als sehr praktisch hat sich im bisherigen Einsatz die Visualisierung der Ideen als Unterstützung der Diskussionsphase erwiesen. Die Teammitglieder können die in der Datenbank abgelegten Ideen entweder auf ihren LCD-Tabletts oder an der Projektionsfläche betrachten und neue Erkenntnisse umgehend hinzufügen.

4.7.4 Dokumentation von Analyseergebnissen

Im Laufe der Entwicklung werden durch Recherchen oder Analysen zahlreiche Informationen zu einzelnen Lösungen erzeugt, die ebenfalls dokumentiert und archiviert werden müssen. Dies ist besonders wichtig, um zu einem späteren Zeitpunkt die Ergebnisse einer Bewertung nachvollziehen zu können, die beispielsweise zum Ausschluss einer Lösung geführt haben. Zur Dokumentation derartiger Information steht das Feld Anmerkungen zur Verfügung. Hier können auch Verweise zu weiteren Dokumenten vermerkt werden, z.B. zu Versuchsprotokollen oder zur Parametercheckliste (STETTER 1998, Kapitel 9.5), die zur Planung von Analysen eingesetzt wird.

4.7.5 Erweiterungen

Ebenso wie das *Ideenformular* um zusätzliche Felder ergänzt werden kann, können auch in der *Konzeptdatenbank* bedarfsgerecht weitere Felder, Abfragen und Berichte ergänzt sowie Änderungen in der Benutzerführung (Menü, Layout) durchgeführt werden. Im Folgenden werden ausgewählte Ansätze zur Erweiterung sowie zur Integration weiterer Werkzeuge vorgestellt.

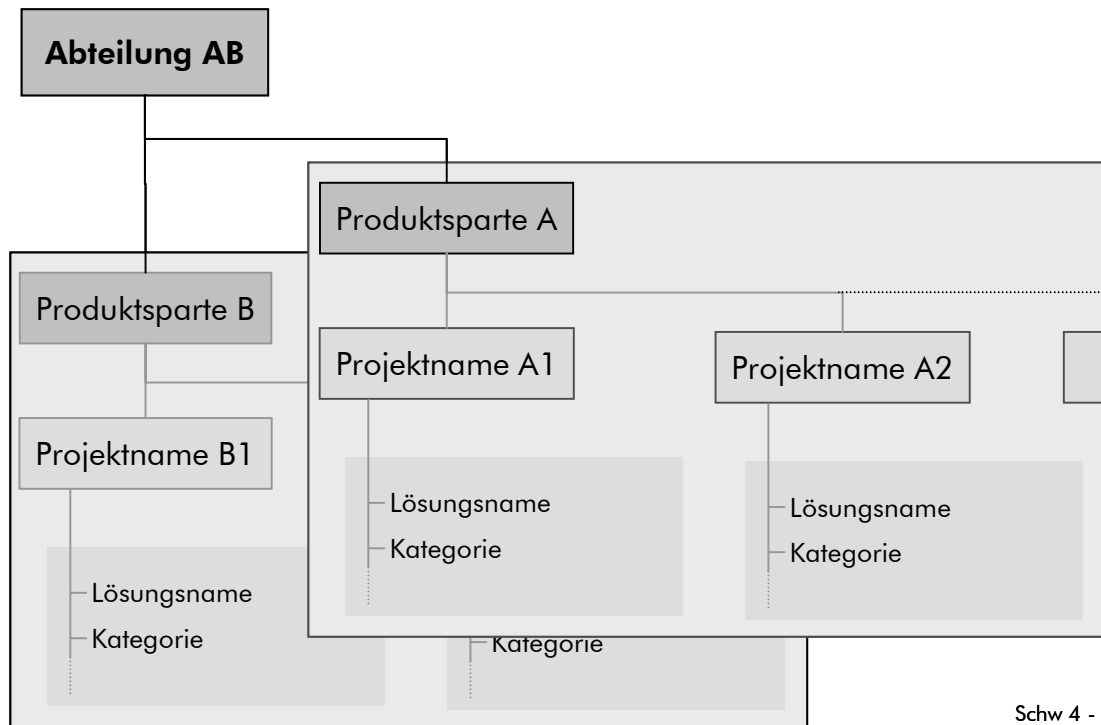
4.7.5.1 Erweiterung des Datenmodells für den unternehmensweiten Einsatz

Die Datenbank wurde in der vorliegenden Form für den Einsatz im Rahmen von klar definierten Entwicklungsprojekten konzipiert. Soll dieses Rechnerwerkzeug dagegen unternehmensweit eingesetzt werden, ist eine Erweiterung² des Datenmodells erforderlich.

¹ Ideen der Teammitglieder können in die eigene Anwendung kopiert (*copy-paste*) und dort weiter detailliert werden. Das Aufgreifen der Ideen anderer ist aus der Methode 6-3-5 bekannt und unterstützt die Kreativität.

² Aufgrund der Struktur der Datensätze und der hohen Flexibilität der implementierten Filterfunktionen, die die Software zur Verfügung stellt, haben derartige Änderungen keinerlei Auswirkungen auf das Arbeiten mit dem Datensätzen.

Die einfachste Möglichkeit, dies zu realisieren, ist eine Erweiterung des Datenmodells um zusätzliche Kriterien auf der obersten Hierarchieebene. In Abbildung 4-27 wurde das Datenmodell exemplarisch um Eingabemöglichkeiten für die Abteilungen des Unternehmens sowie für einzelne Produktparten ergänzt.



Schw 4 - 23

Abbildung 4-27: Beispiel für eine erweiterte Datenstruktur

4.7.5.2 Erweiterung des Datenmodells um eine problemorientierte Suchfunktion

Die Problemstellungen, die bei Entwicklungsprojekten in einem Unternehmen bearbeitet werden, weisen trotz eines unterschiedlichen Kontexts oftmals eine gewisse Ähnlichkeit auf. Häufig trifft man auf diesen Effekt bei Unternehmen, deren Produktspektrum in verschiedene Produktlinien eingeteilt und von unterschiedlichen Entwicklungsabteilungen¹ betreut wird. Daher kommt es vor, dass Lösungen zu identischen Problemen von unterschiedlichen Teams im Unternehmen bearbeitet und vorhandene Synergien (COLLIN 2001) nicht genutzt werden.

Ergänzt man die in der Datenbank abgelegten Ideen um die zu lösende Problemstellung, die zugrundeliegende Funktion² und um den physikalischen Effekt³, auf dem sie beruht, werden die Einsatzmöglichkeiten der Datenbank enorm erweitert, was auch positive Auswirkungen

¹ Am Beispiel der Motorenentwicklung entsprechend unterschiedliche Entwicklungsabteilungen für Benzin- und Dieselmotoren, am Beispiel der elektromagnetischen Bremse in separate Entwicklungsabteilungen für Federdruckbremse und Permanentmagnetbremse.

² Zur Klassifizierung der Ideen anhand der zugrunde liegenden Funktion bietet sich die in Kapitel 2.4.3.2 vorgestellte Verwendung von Substantiv und Verb an.

³ STEINWACHS (1976, S. 35) empfiehlt dem methodisch arbeitenden Entwickler, sich eine für sein Fachgebiet gültige Liste von Effekten anzulegen, die aufgrund interdisziplinärer Aufgabenstellungen und neuer Erkenntnisse der Forschung aktuell gehalten werden muss.

auf deren Akzeptanz nach sich zieht. Die Anwender können anhand ihrer zu lösenden Problemstellung die vorhandenen Datensätze filtern und die im System vorhandenen Ideen prüfen, bevor eigene Ideen generiert werden. Sollten keine direkt umsetzbaren Ideen in der Datenbank gespeichert sein, können die vorhandenen zumindest als Anregung für eigene Ideen herangezogen werden. Durch die Spezifizierung der zugrundeliegenden Physik kann ein umfangreicher Effektspeicher aufgebaut werden, der gerade bei technologisch komplexen Entwicklungen von großem Interesse ist¹.

Diese Erweiterung erfordert lediglich das Hinzufügen von zwei zusätzlichen Eingabefeldern im Datenmodell sowie der zugehörigen Filterfunktionen.

4.7.5.3 Verteilte Entwicklung

Durch den gemeinsamen Zugriff auf die *Konzeptdatenbank* und die Nutzung elektronischer Eingabegeräte kann eine kreative Sitzung mit mehreren Teammitgliedern an räumlich verteilten Standorten durchgeführt werden. Die einzelnen Teilnehmer skizzieren ihre Ideen und speichern diese unter Nutzung von Internetverbindungen in einer gemeinsamen Datenbank.

Die hierfür erforderliche Softwareumgebung stellt z.B. Microsoft® NetMeeting mit dem sogenannten Application Sharing² zur Verfügung, das einen gemeinsamen Zugriff auf diverse Softwareanwendungen erlaubt.

4.7.6 Zusammenfassung und Hinweise zur Nutzung der Konzeptdatenbank

Das *Ideenformular* und die *Konzeptdatenbank* konnten bereits in mehreren Entwicklungsprojekten erfolgreich eingesetzt werden (z.B. GIERHARDT 2001; HANSCHKE 2001, SCHWANKL ET AL. 2001, PUCHNER 2001; LINDEMANN ET AL. 2001). Neben der Archivierung sämtlicher erarbeiteter Ideen und Konzepte sind auch noch verschiedene Visualisierungsmöglichkeiten und der einfache Datenaustausch zwischen diversen Softwareprogrammen von Vorteil.

Durch die Dokumentation sämtlicher Konzepte mit all den zugehörigen Informationen, die während der Projektlaufzeit generiert werden konnten, erhält man einen guten Überblick über den Projektverlauf und kann einzelne Entscheidungen auch zu einem späteren Zeitpunkt wieder nachvollziehen. Die zahlreichen, einfach zu definierenden Ausgabeformate erleichtern auch die Anfertigung der Projektdokumentation und die Erstellung von Lösungsübersichten, wie sie z.B. für Bewertungen oder strategische Entscheidungen erforderlich sind.

Neben diesem projektspezifischen Einsatz erlaubt die konsequente Anwendung der hier beschriebenen *Konzeptdatenbank* auch den raschen Aufbau eines umfangreichen *Ideenspeichers*, der unternehmensweit verfügbar ist. Die Entwickler können bei komplexen Problem-

¹ Hier sei auf bereits vorhandene Sammlungen physikalischer Effekte verwiesen, z.B. die Effektdatenbank im Softwarepaket TechOptimizer der Firma Invention Machine Corporation (www.invention-machine.com).

² Aktuelle Erfahrungen mit diesen Anwendungen sind ausführlich bei GIERHARDT (2001, S. 213ff) beschrieben.

stellungen vor der Durchführung kreativer Sitzungen in der Datenbank nach bereits vorhandenen Ideen suchen, die für die zu lösende Aufgabe relevant sein können.

Daneben bietet sich auch die informative Durchsicht der Datenbestände an, um sich einen Überblick über den Stand der Entwicklung verschiedener Projekte zu verschaffen. Durch die fortschreitende technische Entwicklung können auch Ideen interessant werden, die vorher noch als nicht realisierbar eingestuft worden sind.

Bei einem unternehmensweiten Einsatz der *Konzeptdatenbank* entstehen in kurzer Zeit eine Vielzahl von Ideen, die in Form von Datensätzen gespeichert werden. Um die Akzeptanz und damit die Effizienz dieses Werkzeugs steigern zu können, ist eine Pflege der Datensätze erforderlich, für die klare Verantwortungen definiert werden müssen. Gerade bei der beschriebenen Erweiterung zur Effekt- und Problemdatenbank ist die übergeordnete Festlegung von Begriffen zur Klassifizierung der Effekte und der verschiedenen Probleme erforderlich. Außerdem müssen die eingegebenen Ideen kritisch dahingehend überprüft werden, bei welchen Problemen sie zur Lösung beitragen können.

4.8 Integration der vorgestellten Werkzeuge

Die einzelnen Werkzeuge wurden basierend auf Standardsoftware (Microsoft® ACCESS, Microsoft® EXCEL) prototypenhaft realisiert und unterscheiden sich in ihrer spezifischen Ausrichtung. Bei ihrer Entwicklung wurde auf eine Austauschbarkeit der Daten zwischen den einzelnen Werkzeugen großer Wert gelegt. Nur so lässt sich ein durchgängiger Einsatz gewährleisten. Beispielsweise können Informationen zu einer Idee, die in der Datenbank *Neue Produktidee* eingegeben worden sind in den *Ideenspeicher* oder die *Konzeptdatenbank* übertragen und dort weiterverarbeitet werden. Dadurch lassen sich zeitaufwendige Doppeleingaben vermeiden und die Akzeptanz dieser Werkzeuge steigern. Dazu trägt auch die Integration der jeweiligen Funktionalitäten sämtlicher hier vorgestellter Werkzeuge in ein übergeordnetes System bei. Damit lassen sich alle Ideen in einem Unternehmen, von einer neuen abstrakten Produktidee bis zur ausgearbeiteten Lösungsvariante, mit nur einem einzigen Werkzeug verwalten.

Durch die Nutzung von Intranet und Internet, die im Zusammenhang mit der verteilten Entwicklung bereits angesprochen wurde (4.7.5.3) lässt sich eine größere Benutzergruppe adressieren. Das Internet stellt dabei die Plattform für eine weltweite Zusammenarbeit dar (ABROMOVICI ET AL. 1999, S. 1425f) und ermöglicht das Zugreifen auf einen gemeinsamen Datenbestand, z.B. bei Unternehmen mit mehreren Standorten.

Dabei müssen:

- Große Datenbestände bei hoher Benutzerzahl verwaltet und organisiert werden.
- Gleichzeitige Datenzugriffe mehrerer Benutzer berücksichtigt werden.
- Universelle Zugriffe und hohe Suchfunktionalität für verschiedene Nutzergruppen vorhanden sein, d.h. unter Umständen dürfen Informationen nur bestimmten Benutzerkreisen zugänglich gemacht werden.

- Hohe Daten- und Ausfallsicherheit (KRAUSE & DOBLIES 1996, S. 345) gewährleistet sein, insbesondere bei der Übertragung über Internet und öffentlich zugängliche Netzwerke wie ISDN.
- Heterogene Netzwerke und unterschiedliche Betriebssysteme berücksichtigt werden.

Sind diese Rechnerwerkzeuge uneingeschränkt verfügbar, steigt deren Flexibilität enorm, da Ideen auch außerhalb von kreativen Sitzungen eingetragen und dokumentiert werden können. Dies trägt der Tatsache Rechnung, dass kreative Ideen nach einer Studie (BAUMBERGER 2000, S. 34) nur zu 25% während der Arbeitszeit entwickelt werden. Davon 4% am Arbeitsplatz, 3% in Pausen, 16% in Sitzungen, 2% auf Dienstreisen und lediglich 1% mit Kreativitätstechniken.

Die hier vorgestellten Werkzeuge lassen sich auch in übergeordnete Systeme, z.B. EDM- oder Rahmensysteme (BENDER ET AL. 1997, S. 356f) integrieren, mit denen sämtliche Produktdaten gehandhabt werden. Des Weiteren ist eine Nutzung als Frontend für künftige Werkzeuge denkbar, die nach BRYANT ET AL. (2001, S. 501ff) eine umfassende Speicherung von Produktentwicklungswissen (z.B. Informationen zur allgemeinen Funktion, Bauteilverhalten, Simulations- und Analyseergebnisse) ermöglichen. Darüber hinaus ist eine Nutzung in Verbindung mit künftigen CAD-Systemen anzustreben, die gerade im Bereich der Skizziermöglichkeiten deutlich erweiterte Funktionalitäten bieten werden (PACHE ET AL. 2001, S. 461ff).

Hieraus wird ersichtlich, dass bei einer vollständigen Integration dieser Werkzeuge in heute übliche Systeme zahlreiche Randbedingungen und Anforderungen berücksichtigt werden müssen. Damit ist aber auch ein hoher zeitlicher und finanzieller Aufwand verbunden.

4.9 Zusammenfassung

Die vorgestellten Werkzeuge unterstützen die Entwickler bei der prozessbegleitenden Dokumentation in den frühen Phasen der Produktentwicklung, wobei der Schwerpunkt auf der Erfassung und Archivierung von Ideen mit allen dazugehörigen relevanten Informationen liegt, die in dieser Phase generiert werden. Gerade in kreativen Sitzungen werden neben neuen und innovativen Ideen auch eine Vielzahl von nicht geometrischen Informationen erzeugt, die in der Regel nicht dokumentiert werden. Diese Werkzeuge unterstützen bei der Erzeugung und dem Speichern dieser wertvollen Informationen und stellen somit die Basis für ein umfangreiches Ideenmanagement dar.

Im Unternehmen muss vorab geklärt werden, wie einzelne Ideen aus rechtlicher Sicht gehandhabt werden. Dies ist besonders im Zusammenhang mit Verbesserungsvorschlägen, die vom Unternehmen in der Regel vergütet werden oder bei patentfähigen Ideen zu beachten, da hier die jeweiligen Erfinder benannt werden.

Neben den eigentlichen Ideen, die in der Regel in Form von Skizzen und textuellen Beschreibungen vorliegen, werden dazu mehr und mehr nicht geometrische Informationen dokumentiert, z.B. warum welche Entscheidung gefallen ist und welche Gründe zu der jeweiligen Bewertung geführt haben. Dadurch werden Entscheidungen auch zu einem späteren Zeitpunkt wieder transparent, was gerade im Zusammenhang mit den Produkthaftungsgesetzen und den

Vorschriften, die aus verschiedenen Richtlinien (z.B. DIN ISO 9000ff) resultieren, von großem Interesse ist.

Durch konsequente projektbegleitende Dokumentation mit den hier beschriebenen Hilfsmitteln kann zum einen in einem überschaubaren Zeitraum ein umfangreicher Informations- und Wissensspeicher aufgebaut werden, der dem gesamten Unternehmen von großem Nutzen ist. Z.B. können bestehende Lösungssammlungen (Konstruktionskataloge) um selbsterstellte Lösungselemente ergänzt werden, die im Rahmen von Kreativsitzungen erzeugt worden sind.

Zum anderen lässt sich der Informationsfluss deutlich verbessern und dadurch die Zahl der Iterationsschleifen im Entwicklungsprozess verringern.

Neben dem projektspezifischen Einsatz, bei dem sämtliche Informationen bezüglich des zu bearbeitenden Projekts dokumentiert werden, ist auch ein projektübergreifender Einsatz möglich. Die Mitarbeiter¹ können sich mit Hilfe der Werkzeuge einen Überblick über verschiedene Projekte verschaffen, die gespeicherten Ideen aufgreifen oder diese als Anregung für neue kreative Ideen verwendet. Durch geeignete Suchstrategien kann der Datenbestand nach Ideen durchsucht werden, die für eine bestimmte Art der Problemstellung von Interesse sein könnten. Daher ist es wichtig, dass geeignete Begriffe definiert werden, die die Ideen kennzeichnen und nach denen später gesucht werden kann.

Der einfache Aufbau der Werkzeuge ermöglicht dabei eine unkomplizierte Handhabung, die keine umfangreichen Schulungsmaßnahmen erfordert. Dadurch können diese Werkzeuge von allen Mitarbeitern eines Unternehmens genutzt werden und bleiben nicht auf wenige Spezialisten in EDV- oder Organisationsabteilungen (EICHACKER & PIELEN 1997, S. 375) begrenzt, was neben mangelndem Training zu den Hauptproblemen bei der Einführung von Informationssystemen (JOST 1998) zählt.

Dennoch ist ein gewisser Aufwand für die Pflege und Wartung dieser Systeme durch Datenbankredakteure zu kalkulieren und stets zu berücksichtigen, dass diese Systeme lediglich ein Fundament darstellen. Zum eigentlichen Wissensmanagement ist man nach KUKAT (2001) immer auf Individuen angewiesen – auf Ideengeber zum Erzeugen von Ideen, auf Ideenmanager zum Bewerten und Verteilen der Ideen sowie auf Ideennutzer, die diese Ideen weiter bearbeiten und in innovative Produkte überführen.

¹ Neue Mitarbeiter können sich mit Hilfe der Dokumentation in die Thematik einarbeiten und gewinnen rasch einen Überblick über den bisherigen Projektverlauf und den aktuellen Stand.

5 Werkzeug zur Unterstützung der Auswahl von Analysemethoden

Im folgenden Kapitel wird eine Analysemethodendatenbank vorgestellt, die den Anwender bei der Auswahl problemspezifischer Methoden und Hilfsmittel unterstützt und Hintergrundinformationen zu den vorgeschlagenen Methoden bereitstellt. Speziell bei innovativen Neuentwicklungen ist ein methodisches Vorgehen empfehlenswert und eine Reihe typischer Aufgaben mit den dafür geeigneten Methoden anforderungsgerecht zu lösen. In diesem Zusammenhang sind in der Regel umfangreiche Analysetätigkeiten erforderlich, um frühzeitig wichtige Informationen zu generieren, die für den weiteren Projektverlauf von Bedeutung sind.

Dieses im Folgenden beschriebene Rechnerwerkzeug konnte schon in mehreren Entwicklungsprojekten erfolgreich angewendet werden (Kapitel 6 und 9.2).

5.1 Bedarf

Es existiert eine Vielzahl an Methoden und Hilfsmitteln, die in verschiedenen Phasen der Produkterstellung zur Unterstützung einzelner Tätigkeiten eingesetzt werden. Oftmals kann der Anwender aus mehreren Alternativen auswählen, die jeweils spezifische Kennzeichen aufweisen und mehr oder weniger gut geeignet sind, die Lösung der vorliegenden Problemstellung zu unterstützen. Problematisch ist jedoch, dass viele der Methoden im industriellen Umfeld nicht angewendet werden, weil sie nur wenig bekannt sind. Außerdem wird die Einarbeitung in neue Methoden erschwert, weil wichtige Informationen¹ nicht verfügbar sind.

Um einen Überblick über verschiedene Methoden und Hilfsmittel zu ermöglichen und deren Leistungsfähigkeit abschätzen zu können, empfehlen verschiedene Autoren (EHRENSPIEL 1995, S. 284; SPATH ET AL. 2001, S. 105ff; VAJNA & WEBER 2000, S. 35ff; WACH 1993, S. 145) den Aufbau von Methodenbaukästen², aus denen Methoden bedarfsgerecht – an das Problem angepasst – ausgewählt werden können³.

Ein Methodenbaukasten bezeichnet dabei eine systematisch geordnete Sammlung von Methoden, die für bestimmte Arbeitsabschnitte eines Prozesses alternativ eingesetzt werden können und für deren Auswahl Hilfen angegeben sind (EHRENSPIEL 1995, S. 285).

¹ Z.B. Beschreibungen einzelner Methoden oder Hinweise zu deren Nutzung.

² Alternative Bezeichnungen sind Methodensammlung bzw. Methodenmatrix (VDI 1993, S. 33).

³ Nach REINHART ET AL. (1998, S. 15 ff.) sollte zur Sicherung der Effektivität zum Lösen einer Aufgabe jeweils die Methode mit dem besten Aufwand-Nutzenverhältnis zur Anwendung kommen.

5.2 Anforderungen an einen Methodenbaukasten

Elementarste Anforderung an einen Methodenbaukasten ist die Bereitstellung aller relevanten Informationen, auf deren Basis die für eine zu bearbeitende Problemstellung am besten geeignete Methode rasch ausgewählt und angewendet werden kann.

EHRENSPIEL (1995) stellt folgende Anforderungen an einen Methodenbaukasten:

- Er soll die Verknüpfung zwischen Aufgaben und den für sie zweckmäßigen Bearbeitungsmethoden angeben (Funktion der Methoden).
- Er soll die Methoden identifizierbar beschreiben.
- Er soll Auswahlkriterien und Hinweise für den Methodeneinsatz geben.
- Er soll Hinweise geben, wo man mehr über die Methoden erfahren bzw. wie man sie erlernen kann.
- Er soll erweiterbar und aktualisierbar sein.

Da ein rechnerbasierter Methodenbaukasten angestrebt wird, sind zusätzliche Anforderungen zu berücksichtigen:

- Verwaltung großer Datenmengen.
- Verfügbarkeit der Daten in mehreren Unternehmensbereichen, bereichsübergreifender Informationsfluss.
- Gewährleistung von Datenkonsistenz, Vermeidung von Redundanz.
- Benutzerfreundliche Gestaltung, einfache Bedienbarkeit.
- Aufwandsarmer Zugriff auf die gespeicherten Informationen.
- Flexible Erweiterbarkeit, leichte Anpassbarkeit.
- Geringer Administrationsaufwand.

Neben diesen Anforderungen wurden die in Kapitel 4.2 formulierten Anforderungen an Dokumentationswerkzeuge berücksichtigt und auf ihre Gültigkeit im Zusammenhang mit dem hier zu entwickelnden Rechnerwerkzeug überprüft.

5.3 Kriterien zur Auswahl von Methoden

In der Literatur finden sich eine Reihe von Kriterien, die zur Auswahl von Methoden geeignet sind (Tabelle 5-1). EHRENSPIEL (1995, S. 292) misst neben den methodenspezifischen Kriterien auch äußeren Einflüssen eine hohe Bedeutung für die Methodenauswahl bei. Äußere Einflüsse sind z.B. die Verfügbarkeit der Einrichtungen zur Methodendurchführung oder die Beherrschung der Methode selbst. SPATH (1999) sieht ein zusätzliches Auswahlkriterium in der Möglichkeit zur Softwareunterstützung. Von WACH (1994) wird eine umfassendere Differenzierung anhand der Anwendbarkeit (*Wo im Prozess? Für welche Aufgabe?*) sowie der Form der Hilfsmittel (Abstraktionsgrad, Unterlagen, Formulare, Trägermedium) vorgeschlagen. Außerdem ist die Methodenauswahl nicht nur von der zu bestimmenden Eigenschaft, sondern

auch von dem zu untersuchenden Objekt abhängig. Darüber hinaus sind die vorhandenen Ressourcen sowie die Tatsache zu beachten, dass in einigen Fällen die Anwendung einer Methode vom Kunden vorgeschrieben¹ wird.

Tabelle 5-1: Kriterien zur Methodenauswahl (EHRENSPIEL 1995, S. 287)

Kriterien	Erläuterungen und Beispiele
Leistung der Methode (Zweck, Gültigkeitsbereich)	Bei welchem Arbeitsabschnitt oder für welches Dokument ist die Methode nötig oder zweckmäßig? (Synthese- oder Analysemethode?) Welche Eingangsinformation benötigt sie, welche Ausgangsinformation liefert sie? Wie genau ist sie? Wie sicher führt sie zum Ziel?
Anwendbarkeit	Ist die benötigte Eingangsinformation vorhanden oder in angemessener Zeit mit angemessenem Aufwand beschaffbar?
Verfügbare Zeit	Ist die Zeit für das Anwenden und Erlernen der Methode vorhanden? Gibt es einfachere, schneller anwendbare Methoden? Was kostet ihr Einsatz?
Betriebliche Eignung	Ist die Methode im Unternehmen bekannt? Muss sie erst eingeführt, durchgesetzt werden? Ist sie für Einzel- oder Gruppenarbeit geeignet? Wenn sie teamorientiert ist: Gibt es ein Team, das sie beherrscht und dafür motiviert ist?
Persönliche Voraussetzungen	Für welche Bearbeiter (z.B. Forscher, Entwickler, Konstrukteur, Fertigungsvorbereiter, Einkäufer ...) ist die Methode vorgesehen? Sind Kenntnis und Erfahrung mit der Methode vorhanden? Motivation?
Verfügbare Hilfsmittel	Sind Hilfsmittel wie EDV Hard-/Software oder Versuchs-, Mess- und Produktionseinrichtungen für die Methode nötig und vorhanden?

Durch die Anwendung verschiedener Methoden in einer Reihe von unterschiedlichen Entwicklungsprojekten konnten weitere Kriterien identifiziert werden, die im Zusammenhang mit deren Auswahl von Bedeutung sind.

Zur Beurteilung der Eignung einzelner Methoden anhand verschiedener Aspekte wurde das in Abbildung 9-13 enthaltene Formular verwendet. Auf diese Weise konnte ein umfassender Überblick über eine Vielzahl unterschiedlicher Methoden gewonnen werden. Dazu wurden beispielsweise spezifische Vor- und Nachteile, der Aufwand zur Einarbeitung und zur Anwendung abgefragt. Um die Eignung einer Methode zur Unterstützung einzelner Tätigkeiten beurteilen zu können, wurden die Anwender aufgefordert, auch die bearbeitete Problemstellung kurz zu beschreiben sowie die Qualität der generierten Ergebnisse abzuschätzen.

Die bisherige Anwendung der Ideenformulare und der Rechnerwerkzeuge zur Dokumentation von Ideen hat gezeigt, dass in vielen Fällen offene Fragen (vorhandener Informationsbedarf) formuliert werden, die vordringlich geklärt werden müssen. In den meisten Fällen handelt es sich dabei um Standardfragen, z.B. wie ist die Funktionsfähigkeit einer Lösungsvariante zu klären oder welche Möglichkeiten der Fertigung oder Montage bestehen. Diese Fragestellungen können ebenfalls als Eingangsinformation zur Auswahl geeigneter Methoden verwendet werden.

All diese Informationen sind in die Definition des Zugriffssystems eingeflossen sowie bei der Realisierung der Datenbank mit berücksichtigt worden.

¹ Viele Hersteller fordern beispielsweise die Anwendung der FMEA von den Zulieferern.

5.4 Zugriffssystem zur bedarfsgerechten Auswahl von Methoden

Entscheidend für eine fundierte Auswahl ist eine Verknüpfung der Analyseaufgabe mit geeigneten Analysemethoden. Papierbasierte Methodenkataloge haben aus Gründen der Übersichtlichkeit in der Regel nur ein bzw. zwei Zugriffsmerkmale, anhand deren die Methoden ausgewählt werden können. Häufig wird auch eine Zuordnung von Methoden zu einzelnen Phasen des Entwicklungsprozesses vorgenommen, eine problemspezifische Suche wird dadurch nicht unterstützt. Ein wirkungsvolles Zugriffssystem muss jedoch auf Basis unterschiedlicher Eingangsinformationen in der Lage sein, Methoden als geeignet oder ungeeignet zu identifizieren.

Im Rahmen der Informationsbeschaffung wurden zunächst Eigenschaften, Voraussetzungen und Anwendungsinformationen zu verschiedenen Analysemethoden gesammelt und auf Basis der Erfahrungen aus praktischen Anwendungen¹ verschiedener Methoden ein erstes Zuordnungssystem (Abbildung 9-16) erstellt, das im Rahmen der datenbanktechnischen Umsetzung schrittweise ergänzt und erweitert worden ist. Darüber hinaus wurde untersucht, welche Eingangsinformationen benötigt und welche Ausgangsinformationen erzeugt werden, welche Randbedingungen (Zeitaufwand zur Anwendung der Methode, Aussagekraft u.ä.) zu beachten und welche Hilfsmittel erforderlich sind. In einem nächsten Schritt wurden Gültigkeitsbereiche für die verschiedenen Methoden definiert sowie ihre Eignung für unterschiedliche Aufgabenstellungen/Analyseziele (z.B. qualitative – quantitative Aussagen) beurteilt.

Das entwickelte Zugriffssystem baut auf einer Matrix auf, bei der Analysemethoden verschiedenen Problemarten und Analyseaufgaben gegenübergestellt sind. Darüber hinaus erfolgt eine weitere Differenzierung anhand des Analyseziels, sowie weiterer Kriterien, die in der Suchfunktion der Datenbank hinterlegt worden sind, z.B.:

- Entwicklungsphase/Konkretisierungsgrad der Lösung.
- Gegenstand der Analyse: einzelner physikalischer Effekt, Wirkstruktur, Gesamtsystem.
- Art des Problems: physikalisch, chemisch, technisch.
- Analyseziel: grundsätzliches Verhalten, grobe Eigenschaftsermittlung, genaue Eigenschaftsermittlung.
- Geforderte Sicherheit der Aussagen.
- Vorhandene Hilfsmittel.
- Ableitbare Verifikationsmodelle: gedanklich, rechnerintern, gegenständlich.
- Zulässiger Berechnungs- und Einarbeitungsaufwand.

Auf diese Weise kann die Suche und Auswahl anhand unterschiedlichster Kriterien (Abbildung 5-1) verwirklicht werden, was die Anwendbarkeit eines Methodenbaukastens deutlich verbessert.

¹ Der Einsatz von Analysemethoden in den frühen Phasen wurde in einer Reihe von Entwicklungsprojekten gezielt untersucht, die im Vorfeld dieser Arbeit durchgeführt worden sind.

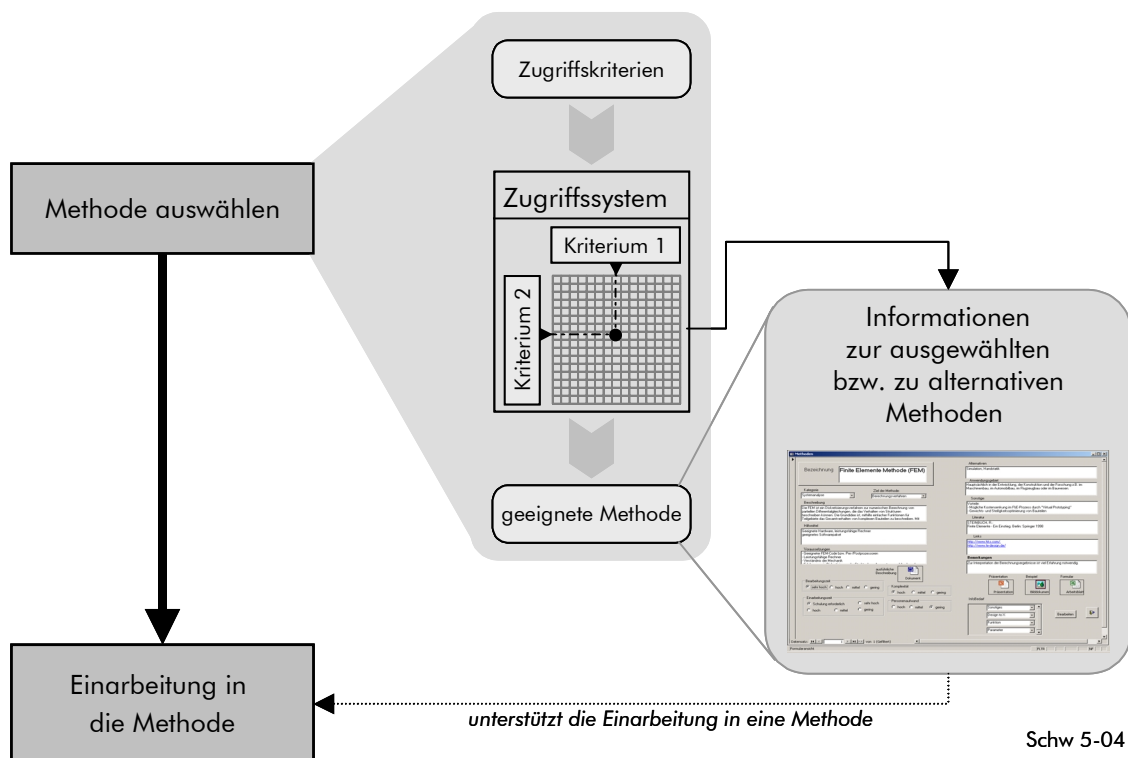


Abbildung 5-1: Auswahl einer Methode anhand vorliegender Zugriffskriterien

Die Analysemethoden sind aufgaben- und personenabhängig. Das bedeutet einerseits, dass bei verschiedenen Fragestellungen unterschiedliche Methoden einzusetzen sind und andererseits, dass bei Anwendern mit unterschiedlichen Vorkenntnissen die Wahl der geeigneten Methode ebenfalls unterschiedlich ausfallen wird. Da jeder Anwender die eigenen Vorkenntnisse bezüglich verschiedener Methoden selbst am besten beurteilen kann, muss die Personenabhängigkeit beim Zugriffsprinzip eines Methodenbaukastens nicht mit berücksichtigt werden.

Die Bewertung der Eignung einer Methode für die jeweilige Art des Problems und das geforderte Analyseziel berücksichtigt auch den für die Durchführung der Methode notwendigen Aufwand. So werden einige Methoden für die Analyse der grundsätzlichen Funktion als ungeeignet eingestuft, wenn der nötige Aufwand in keinem Verhältnis zu der gewünschten, einfachen Aussage steht.

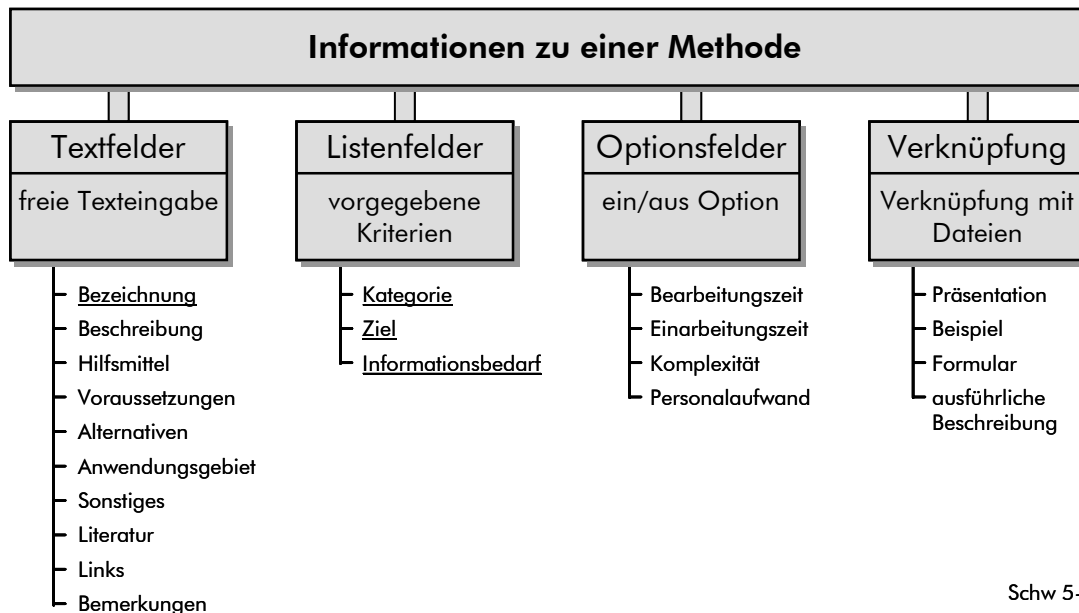
5.5 Analysemetho­den­datenbank

Ziel der Analysemetho­den­datenbank ist, aussagekräftige Informationen zu verschiedenen Methoden und Hilfsmitteln bereitzustellen, auf deren Basis die Einarbeitung in die Thematik erfolgen kann, sowie die bedarfsgerechte Auswahl geeigneter Methoden und Hilfsmittel zu unterstützen.

5.5.1 Aufbau der Analysemethodendatenbank

Die Analysemethodendatenbank wurde auf Basis von Microsoft® ACCESS realisiert, wobei insbesondere auf eine einfache und effiziente Anwendbarkeit, eine flexible Anpassbarkeit und umfangreiche Erweiterungsfähigkeit geachtet worden ist.

Sämtliche relevanten Informationen zu einer Methode¹ sind in einem Datensatz enthalten. Die Informationen werden in Text-, Listen- und Optionsfelder eingetragen und gespeichert (Abbildung 5-2). Weiterführende Informationen, die unter Umständen für eine vertiefte Auseinandersetzung mit einer Methode erforderlich sind, können über sogenannte Verknüpfungen zur Verfügung gestellt werden. Dazu wird auf zusätzliche Dateien verwiesen, die z.B. ausführlichere Beschreibungen oder Anwendungsbeispiele einzelner Methoden enthalten. Mit derartigen Verknüpfungen wurden auch sämtliche Hilfsmittel wie z.B. vorgefertigte Formulare oder Checklisten in die Datenbank integriert.



Schw 5-03

Abbildung 5-2: Struktur der Informationen, die eine Methode spezifizieren

Anhand der Eingaben in den verschiedenen Textfelder wird eine Methode beschrieben sowie die bei deren Anwendung zu berücksichtigenden Randbedingungen und die erforderlichen Hilfsmittel spezifiziert. Anhand der Listenfelder erfolgt eine Zuordnung einer Methode zu verschiedenen Kriterien, die als Eingangsinformationen für die Suchabfragen verwendet werden. Informationen zur Anwendung wie die Einarbeitungs- oder Bearbeitungszeit werden anhand von Optionsfeldern eingegeben, wobei verschiedene Ausprägungen² gewählt werden können. Um eine breite und effektive Anwendung gewährleisten zu können, muss die Datenbank einen umfangreichen Datenbestand aufweisen, d.h. eine Vielzahl von unterschiedlichen, auch alternativ anzuwendenden Methoden enthalten.

¹ Analog für Hilfsmittel.

² Bei der Bearbeitungszeit bestehen beispielsweise folgende Wahlmöglichkeiten: *gering* – *mittel* – *hoch* – *sehr hoch*.

Neben der Anlage von neuen Datensätzen besteht die Möglichkeit, Ergänzungen oder Korrekturen¹ an bereits eingegebenen Methoden vorzunehmen. Dadurch kann eine kontinuierliche Anpassung an veränderte Randbedingungen sowie eine Integration von neuen Erkenntnissen aus Forschung und Wissenschaft erfolgen. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, in einer Art Anwenderforum persönliche Erfahrungen mit einzelnen Methoden zu dokumentieren und so unternehmensweit zur Verfügung zu stellen.

5.5.2 Benutzerschnittstellen und Hinweise zur Anwendung

Abbildung 5-3 zeigt verschiedene Menüs, mit der die Datenbank zu bedienen ist. Im Startmenü können weitere Untermenüs aufgerufen werden, mit denen der Datenbestand nach verschiedenen Kriterien, die im Vorfeld festgelegt worden sind, durchsucht werden kann.

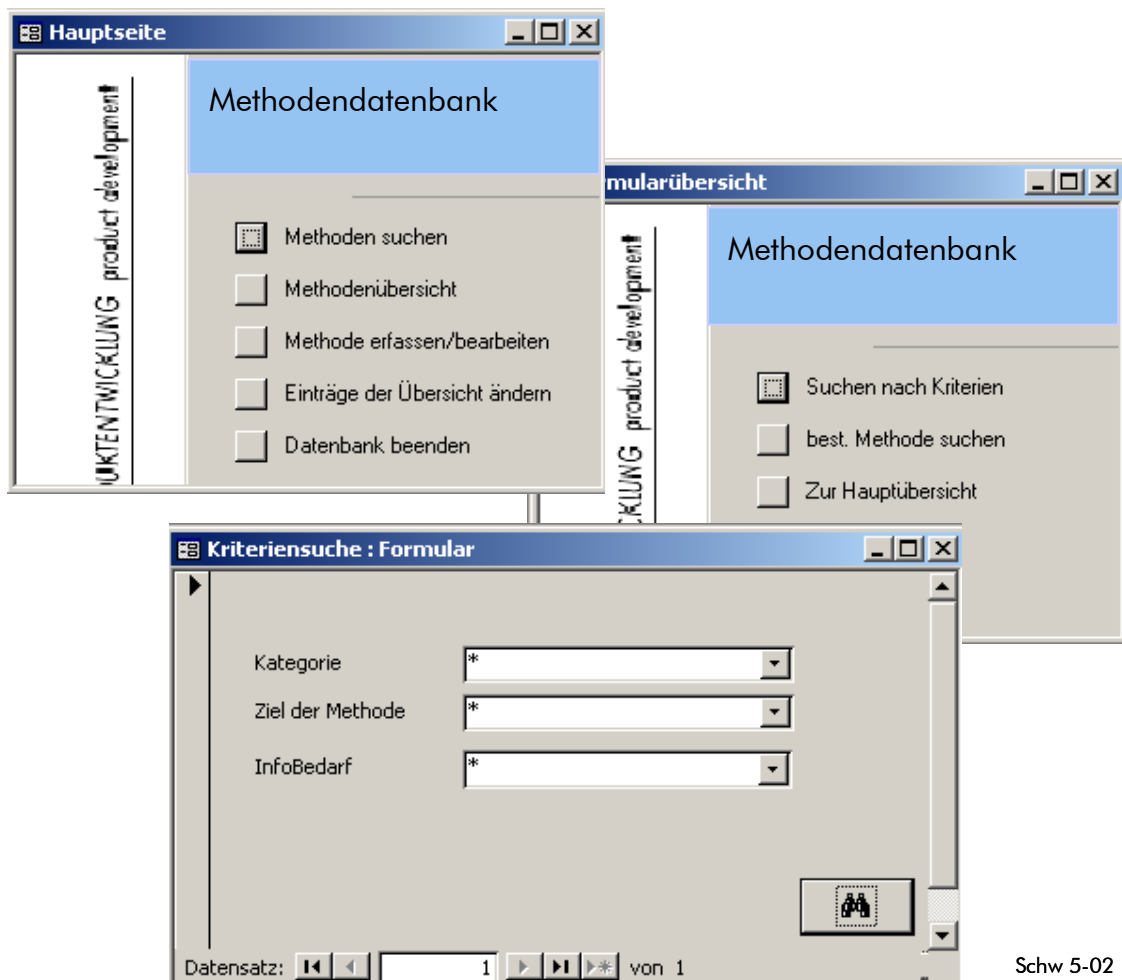


Abbildung 5-3: Benutzerführung

¹ In der hier realisierten Einzelplatzversion der Datenbank hat jeder Nutzer uneingeschränkte Zugriffsrechte. Im Falle eines unternehmensweiten Einsatzes sind Verantwortlichkeiten für die Pflege und Zugriffsrechte im Voraus festzulegen.

Zentrales Element der Suche ist das in Abbildung 5-3 dargestellte Formular, in dem verschiedene Kategorien, die Ziele einer Methode oder der zu klärende Informationsbedarf in Abhängigkeit der zu lösenden Problemstellung angegeben werden können. Diese Kriterien orientieren sich an dem bereits vorgestellten Zugriffssystem und sind auszugsweise in folgender Tabelle dargestellt.

Tabelle 5-2: Kriterien zur Methoden- und Hilfsmittelauswahl

Kategorie	Ziel der Methode	Informationsbedarf, Art des Problems
Entscheidung	grundsätzliche Funktion	Mechanik
Bewertung	grobe Eigenschaftsermittlung	Werkstoffe
Berechnung	genaue Eigenschaftsermittlung	Funktion (Gesamt-, Teil-)
Simulation	Problemanalyse	Betriebsverhalten
Versuch	Systemanalyse	Energiebetrachtung
Problemformulierung	Systemsynthese	Fragen der Fertigung und Montage

Zur Suche nach geeigneten Methoden können verschiedene Kriterien auch miteinander kombiniert werden. Eine weitere Eingabemaske erlaubt die Suche anhand des Namens der Methode oder des Hilfsmittels¹.

Das Suchergebnis wird in einer Ausgabemaske² (Abbildung 5-4) dargestellt, die sämtliche Informationen enthält, die zu einer Methode verfügbar sind. Neben der eigentlichen Beschreibung wird auch eine Übersicht zu erforderlichen Hilfsmitteln, Hinweisen zur Einarbeitung sowie zur Komplexität der jeweiligen Methode geboten. Abbildung 5-4 zeigt als Beispiel die Finite Elemente Methode, bei der verschiedene Verknüpfungen zu weiterführenden Informationen enthalten sind.

Werden mehrere geeignete Methoden zu einer Suchanfrage gefunden, können diese nacheinander am Bildschirm angezeigt werden. Der Anwender kann diese Methoden anhand wichtiger Kriterien (z.B. Bearbeitungszeit, Aussagekraft der Ergebnisse) miteinander vergleichen und die für den speziellen Anwendungsfall am besten geeignete auswählen.

Neben der Visualisierung am Bildschirm kann die Ausgabemaske sowie alle weiteren implementierten Ausgabeformate in Form von Berichten ausgedruckt werden. Besonders interessant sind hier die verschiedenen Methodenübersichten, in denen wichtige Informationen zu einzelnen Methoden in komprimierter Form enthalten sind. Der Anwender kann nach eigenen Wünschen aufwandsarm weitere Berichte definieren, die genau jene Informationen enthalten, die ihm wichtig erscheinen.

Neben der problemgetriebenen Suche nach geeigneten Methoden ist auch die Verwendung der Datenbank als Nachschlagewerk möglich, mit dessen Hilfe sich der Anwender über verschiedene Methoden zu einem Themengebiet informiert.

¹ Die Eingabe des Begriffs *faktoriell* liefert z.B. verschiedene Methoden der statistischen Versuchsplanung (*ein-faktorieller, teilfaktorieller, vollfaktorieller* Versuch).

² Aus Gründen der einfachen Bedienung wird ein identisches Formular zur Eingabe der Daten zu Methoden und Hilfsmitteln verwendet.

The screenshot shows a software window titled 'Methoden' with a detailed view of the 'Finite Elemente Methode (FEM)'. The interface is organized into several sections:

- Bezeichnung:** Finite Elemente Methode (FEM)
- Kategorie:** Systemanalyse
- Ziel der Methode:** Berechnungsverfahren
- Beschreibung:** Die FEM ist ein Diskretisierungsverfahren zur numerischen Berechnung von partiellen Differentialgleichungen, die das Verhalten von Strukturen beschreiben können. Die Grundidee ist, mithilfe einfacher Funktionen für Teilgebiete das Gesamtverhalten von komplexen Bauteilen zu beschreiben. Mit
- Hilfsmittel:** Geeignete Hardware, leistungsfähige Rechner, geeignetes Softwarepaket
- Voraussetzungen:**
 - Geeigneter FEM-Code bzw. Pre-/Postprozessoren
 - Leistungsfähige Rechner
 - Verständnis der Mechanik
- Bearbeitungszeit:** Radio buttons for sehr hoch, hoch, mittel, gering
- Einarbeitungszeit:** Radio buttons for Schulung erforderlich, sehr hoch, hoch, mittel, gering
- Komplexität:** Radio buttons for hoch, mittel, gering
- Personenaufwand:** Radio buttons for hoch, mittel, gering
- Alternativen:** Simulation, Handstatik
- Anwendungsgebiet:** Hauptsächlich in der Entwicklung, der Konstruktion und der Forschung z.B. im Maschinenbau, im Automobilbau, im Flugzeugbau oder im Bauwesen.
- Sonstige:**
 - Vorteile:**
 - Mögliche Kostensenkung im F&E-Prozess durch "Virtual Prototyping"
 - Gewichts- und Steifigkeitsoptimierung von Bauteilen
 - Literatur:** STEINBUCH, R.: Finite Elemente - Ein Einstieg. Berlin: Springer 1998
 - Links:**
 - <http://www.hks.com/>
 - <http://www.fe-design.de/>
 - Bemerkungen:** Zur Interpretation der Berechnungsergebnisse ist viel Erfahrung notwendig.
- InfoBedarf:**
 - Sonstiges
 - Design to X
 - Funktion
 - Parameter

At the bottom, there is a 'Dokument' icon, a 'Bearbeiten' button, and a status bar showing 'Schw 5-01' and 'Formularansicht'.

Abbildung 5-4: Ausgabemaske der Methodendatenbank

5.6 Zusammenfassung und Ausblick

Gerade bei komplexen Aufgaben und Themenfeldern, in denen noch keine Erfahrungen vorliegen, ist ein methodisches Vorgehen beginnend mit Projektstart sehr zu empfehlen. Der Entwickler wird dabei häufig mit Problemstellungen konfrontiert, die einen Einsatz von verschiedenen Methoden und Hilfsmitteln erforderlich machen – auch solche, mit denen er bisher noch nicht gearbeitet hat.

Mit dieser Analysemethodendatenbank konnte ein einfaches aber wirkungsvolles Werkzeug erstellt werden, das alle relevanten Informationen sowie erforderlichen Hilfsmittel (z.B. Checklisten) zu einer Vielzahl von Methoden in kompakter und übersichtlicher Form bereitstellt. Auf diese Weise wird eine rasche Einarbeitung in neue Methoden ermöglicht und es kann die Akzeptanz¹ für ein methodisches Vorgehen gesteigert werden.

Daneben unterstützt sie den Anwender bei der Auswahl geeigneter Methoden, indem sie verschiedene Alternativen in Abhängigkeit von der jeweiligen Problemstellung vorschlägt und Informationen zur richtigen und effizienten Anwendung liefert. Das Kernelement der Datenbank ist das Zugriffssystem, das auf den Ergebnissen einer umfangreichen Recherche sowie auf den Erfahrungen aus der praktischen Anwendung verschiedenster Methoden beruht.

¹ Eine Steigerung der Akzeptanz für ein methodisches Vorgehen, dessen Bedeutung an mehreren Stellen dieser Arbeit aufgezeigt worden ist, wird von verschiedenen Seiten gefordert (z.B. VAJNA & WEBER 2000, S. 35ff).

Sämtliche Dokumentationswerkzeuge, die im Rahmen dieser Arbeit entstanden sind, bieten die Möglichkeit, vorhandene Problemstellungen zu kennzeichnen und den Informationsbedarf zu spezifizieren. Derartige, bereits bei der Erstellung bzw. der Diskussion einzelner Lösungsvarianten formulierten Fragestellungen dienen als Eingangsinformationen für die Suche nach Methoden in der Datenbank.

Durch die Verwendung von Standardsoftware sowie den einfachen und flexiblen Aufbau der Datenbank ist eine Anpassung an unternehmensspezifische Randbedingungen möglich. Eine Anpassung der Bedienoberfläche¹, der Ein- und Ausgabemaske sowie der implementierten Suchfunktionen kann in kurzer Zeit und mit geringem Aufwand durchgeführt werden.

Der einfache und flexible Aufbau erlaubt auch die Erweiterung zu einer allgemeinen Methodendatenbank². So können bereits vorhandene Methoden und Hilfsmittel zur Unterstützung aller Phasen einer Produktentwicklung integriert sowie der Datenbestand um neu entwickelte Methoden ergänzt werden.

Zusätzliche Ausbaumöglichkeiten bestehen in der Anbindung an das Internet sowie der Integration in ein übergeordnetes entwicklungsbegleitend einsetzbares System, das auch sämtliche der in Kapitel 4 vorgestellten Dokumentationswerkzeuge umfasst.

¹ Um den Anwender bei Anpassungen zu unterstützen, wurde im Hauptmenü die Schaltfläche „*Einträge der Übersicht ändern*“ realisiert, mit der die Bedienoberfläche um weitere Schaltelemente (z.B. Schaltflächen, Eingabefelder) an die jeweiligen firmen- und projektspezifischen Randbedingungen bzw. persönlichen Vorlieben angepasst werden kann.

² Eine internetbasierte Darstellung von Methoden zur Unterstützung des gesamten Produktentwicklungsprozesses bietet das sogenannte MAP Tool, das in <http://www.uni-karlsruhe.de/~map/map.html> (entnommen am 20.06.2001) vorgestellt wird.

6 Anwendung des Erweiterten Vorgehensmodells

Das im Rahmen dieser Arbeit definierte Erweiterte Vorgehensmodell (Kapitel 3) zur Unterstützung der Entwicklung in den wichtigen frühen Phasen stellt eine Reihe von Methoden und Hilfsmitteln zur Verfügung, die bedarfsgerecht angewendet werden können. Ein wichtiger Aspekt liegt dabei in der Betonung einer intensiven Aufgabenklärung und in einer umfassenden Informationsbeschaffung, die besonders bei Neuentwicklungen mit hohem Innovationsanspruch grundlegende Bedeutung besitzt. Neben Recherchen sind Analysen jeglicher Art geeignete Mittel, diese Informationen zu generieren und zu verifizieren. Bei der Auswahl zweckdienlicher Methoden, die für die zu behandelnde Fragestellung am besten geeignet sind, unterstützt die Analysemetho-
datenbank, die umfassende Informationen zu verschiedenen Methoden sowie relevante Hilfsmittel wie Checklisten oder Formulare beschreibt bzw. bereitstellt (Kapitel 5).

Zur vereinfachten Handhabung der generierten Informationen werden mehrere Dokumentationswerkzeuge (Kapitel 4) eingesetzt. In den frühen Phasen der Aufgabenklärung bietet sich die Nutzung des Ideenspeichers an, mit dem erste Ideen sowie auftretende Fragen dokumentiert werden, die im Laufe der Entwicklung zu klären sind. Bei Kreativsitzungen zur Lösungssuche kann das Ideenformular oder die Konzeptdatenbank verwendet werden, die eine strukturierte Archivierung aller Ideen ermöglicht. Als übergeordnetes Werkzeug wird die Datenbank Neue Produktidee eingesetzt, die als unternehmensweiter Ideenspeicher fungiert, in dem sämtliche Ideen strukturiert abgelegt werden können.

Das Erweiterte Vorgehensmodell sowie die Werkzeuge zur Unterstützung der Dokumentation und der Analyse wurden in mehreren Produktentwicklungsprojekten (Kapitel 9.2) erfolgreich eingesetzt. Die Erkenntnisse aus diesen Anwendungen trugen maßgeblich zur kontinuierlichen Optimierung sämtlicher Elemente des Erweiterten Vorgehensmodells bei. Zur Verifizierung der Wirksamkeit solcher Änderungen wurden derartige Teilelemente erneut in Projekten angewendet und von verschiedenen Anwendern kritisch beurteilt. Durch dieses iterative Vorgehen konnte das Erweiterte Vorgehensmodell sowie sämtliche Methoden, Werkzeuge und Hilfsmittel in der nun vorliegenden Form definiert werden.

Im Folgenden wird am Beispiel der Entwicklung elektromagnetischer Bremsen¹ die Anwendung wichtiger Elemente des Erweiterten Vorgehensmodells erörtert. Dabei wird Eingangs das allgemeine Vorgehen im Projekt beschrieben, mit intensiver Analyse der Aufgabenstellung unter situativer Anwendung verschiedener Methoden und Hilfsmittel sowie die orientierende Lösungssuche und erste orientierende Analysen. Daran anschließend werden anhand ausgewählter konstruktiver Beispiele relevante Teilschritte, Analysen und Modelle vorgestellt, die maßgeblich zur Verifizierung der jeweiligen Lösung beigetragen haben. Nach einer kurzen Darstellung der erzielten Ergebnisse erfolgt in der Zusammenfassung eine abschließende Diskussion des Vorgehens.

¹ Im Verlauf dieses äußerst umfangreichen Projekts wurden noch weitere Problembereiche behandelt, auf die hier nicht eingegangen wird, wie z.B. die komplexe Thematik der Schwingungen oder Möglichkeiten zur Regelung der Bremse. Auch werden aus Gründen der Geheimhaltung Anforderungen nicht quantifiziert und nur abstrakte Konzepte der entwickelten Bremsen dargestellt.

6.1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Die künftig zu erwartenden Anforderungen an Antriebseinheiten für Handhabungseinrichtungen¹, einem Haupteinsatzgebiet der hier betrachteten Bremsen, werden im Zuge der ansteigenden Fertigungskomplexität und der angestrebten verkürzten Taktzeiten immer höher. Die Industrie fordert infolgedessen verstärkt kompaktere Einheiten mit verbesserten dynamischen Eigenschaften, was zu einer Erhöhung des Drehzahlniveaus und zu einer Reduzierung der Bauteilmassen führt. Entscheidende Anforderungen an die Bremsen betreffen in diesem Zusammenhang Funktionsmerkmale wie Lebensdauer, Verschleiß, Wärmeentwicklung, erreichbare Brems- und Haltemomente sowie eine Erhöhung der Leistungsdichte, die aufgrund einer Reduzierung des zur Verfügung stehenden Bauraums erforderlich wird.

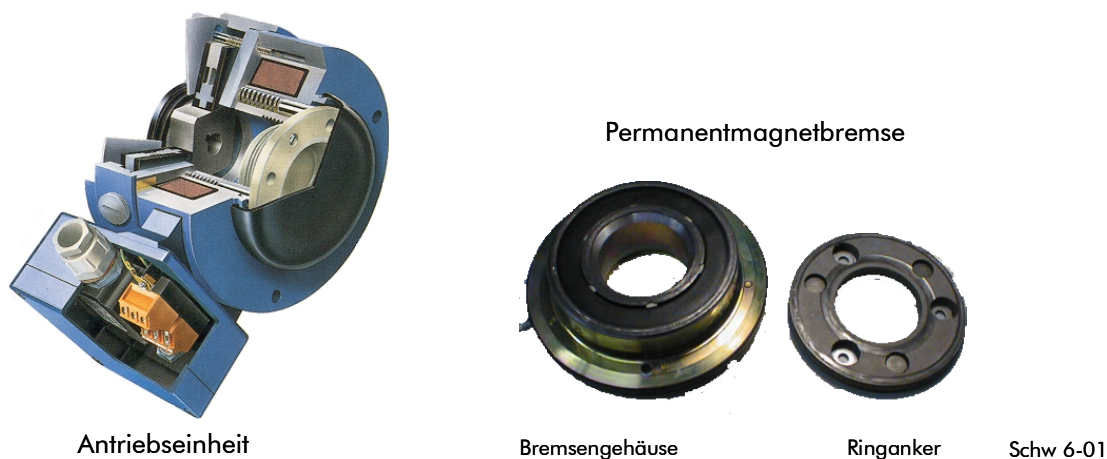


Abbildung 6-1: Antriebseinheit und Permanentmagnetbremse (BINDER 1992)

Eine kritische Überprüfung der vorhandenen Konzepte elektromagnetischer Bremsen hat ergeben, dass sie diesen hochgesteckten Forderungen nach höheren Leistungswerten nicht mehr gerecht werden, weshalb eine Neuentwicklung initiiert worden ist.

Im Rahmen eines Entwicklungsprojekts sollten die vorhandenen Bremsenkonzepte optimiert sowie alternative Lösungsmöglichkeiten gesucht werden, mit denen die Schwachstellen der bisherigen Konzepte eliminiert werden können. Dabei sollten insbesondere innovative Lösungen angestrebt werden. Um für die Anforderungen der Zukunft gerüstet zu sein und sich von den Produkten der Konkurrenz differenzieren zu können, sollten in erster Linie ein großer Lösungsraum durch den Einsatz verschiedener Kreativitätstechniken aufgespannt und die erzeugten Lösungen durch die Analyse diverser physikalischer Effekte und Wirkzusammenhänge verifiziert werden.

¹ Kombination aus Antriebsmotor und Bremse z.B. für einen Roboter.

6.2 Bauarten elektromagnetischer Bremsen

Das betrachtete Produktspektrum des Kooperationspartners umfasst zwei unterschiedliche Bauarten elektromagnetischer Bremsen, die sich prinzipbedingt in ihrer Funktionsweise unterscheiden. Dies sind die sogenannten Permanentmagnet-Einflächenbremsen (PE-Bremsen) und die Federdruckbremsen (FD- Bremsen), die im Folgenden beschrieben werden.

6.2.1 Elektrisch öffnende Permanentmagnet-Einflächenbremse

Die PE-Bremse besteht aus einer Spule und mehreren Permanentmagneten, die in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht sind (Abbildung 6-2).

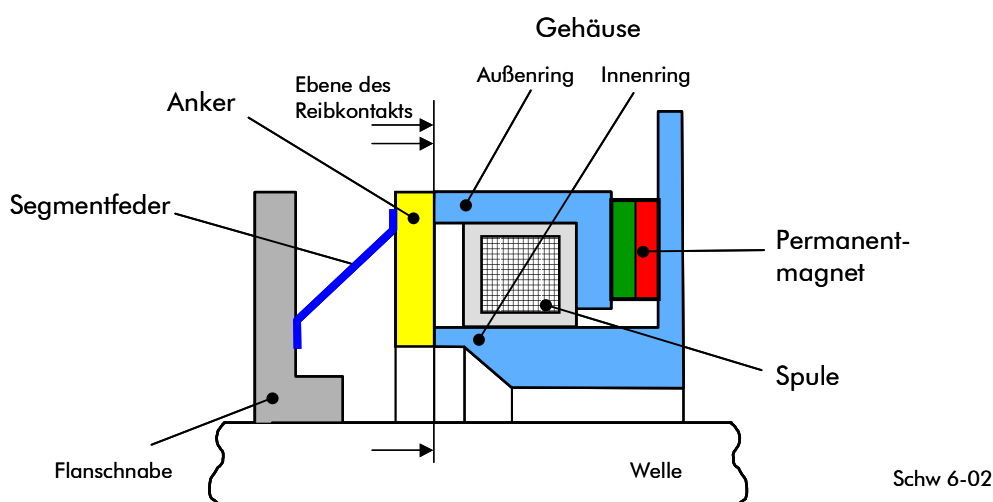


Abbildung 6-2: Prinzipskizze einer elektrisch öffnenden Permanentmagnetbremse

Im geschlossenen Zustand wird ein Permanentmagnetfeld über den Innen- und Außenring des Gehäuses zum metallischen Anker geleitet. Die Magnetkräfte bewirken ein Anziehen des Ankers und wirken so den Segmentfedern entgegen, die an der Flanschnabe befestigt sind. Die Segmentfedern tragen den Anker und zentrieren ihn in radialer Richtung. Das Bremsmoment wird zwischen dem rotierenden Anker und den beiden Reibflächen (Innen- und Außenpol¹) des feststehenden Gehäuses durch Stahl/Stahl Reibung erzeugt. Soll die Bremse geöffnet² werden, wird an der im Gehäuse integrierten Spule eine Spannung (24V) angelegt. Das dadurch entstehende magnetische Feld der Spule kompensiert das Feld der Permanentmagneten und die Anziehungskraft, die auf den Anker einwirkt, nimmt ab. Durch die Federkraft, die von den Segmentfedern aufgebracht wird, wird der Anker von den Polen abgehoben und in seine Ruheposition an der Flanschnabe bewegt. In diesem Zustand ist die Bremse völlig restmomentfrei, d.h. der Anker kann ungehindert rotieren.

¹ Die Reibflächen an Innen- und Außenring werden in Anlehnung an die Magnetpole auch als Pole bezeichnet, weil hier die magnetischen Kräfte anliegen.

² Das Öffnen der Bremse wird auch als Lüften bezeichnet, weil in diesem Fall ein Luftspalt zwischen den Reibflächen entsteht; im Falle der PE-Bremse zwischen den Polen des Gehäuses und dem Anker.

6.2.2 Elektrisch öffnende Federdruckbremse

Bei der FD-Bremse drücken mehrere am Umfang verteilte, vorgespannte Federn den Anker auf einen Reibring (Abbildung 6-3). Dieser wird axial verschoben und auf den feststehenden Flansch gedrückt. Bei diesem Kontakt Stahl/Reibbelag entsteht ein Bremsmoment, das zur Verzögerung der Bewegung bis zum Stillstand führt. Zum Öffnen der Bremse wird an der integrierten Spule eine Spannung angelegt, wodurch sich ein magnetisches Feld aufbaut. Die dadurch entstehenden Magnetkräfte ziehen den Anker entgegen den Federkräften an und der Reibring kann wieder frei durchdrehen, da auf ihn keine Axialkräfte mehr wirken.

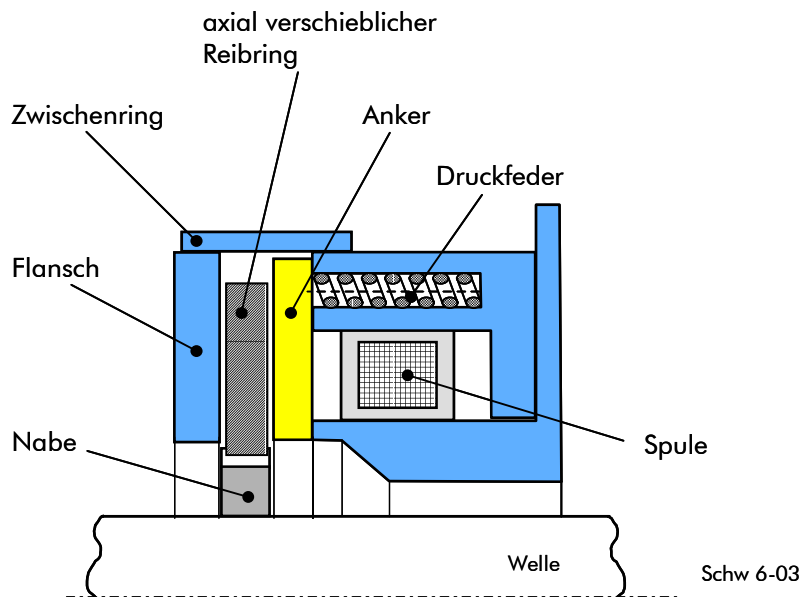


Abbildung 6-3: Prinzipskizze einer elektrisch öffnenden Federdruckbremse

Dieses Funktionsprinzip wird auch bei den sogenannten Lamellenbremsen verwendet. Diese Bauform enthält mehrere Reibringe (Lamellen), die abwechselnd am Gehäuse bzw. an der Nabe drehfest, aber axial verschieblich, befestigt sind. Die Lamellenbremse ermöglicht eine höhere Leistungsdichte und führt zu einer geringeren Belastung der einzelnen Reibringe.

Die hier beschriebenen Bremsen werden unter anderem in Robotern eingesetzt, wo sie als Halte- und Betriebsbremse fungieren. Im Normalbetrieb sorgen die Antriebsmotoren für die Beschleunigung und das Abbremsen des Roboters und halten diesen bei Stillstand in Position. Verharrt er längere Zeit in einer Position, fallen nach einem vorgegebenem Zeitintervall sämtliche Bremsen ein und übernehmen die Haltefunktion anstelle der Antriebsmotoren.

Sie fungieren als Betriebsbremse, beispielsweise bei einem Notstop. Beide Konzepte werden als Sicherheitsbremsen eingesetzt, d.h. bei Stromausfall wird ohne weitere Energiezufuhr der Bremsvorgang eingeleitet¹. Bei Ausfall der elektrischen Energie (z.B. bei einer Kabeltrennung zwischen Motor und Steuerung) kann nicht mehr motorisch gebremst werden. Die Bewegungen des Roboters müssen in diesem Fall von den elektromagnetischen Bremsen alleine

¹ Fail Safe Prinzip.

bis zum Stillstand abgebremst und der Roboter in der dann erreichten Position gehalten werden.

6.3 Aufgabenklärung und Identifizierung vordringlichen Handlungsbedarfs

Der Bedarf für dieses Entwicklungsprojekt wurde aus der Beobachtung des Marktes und der fortschreitenden Entwicklung im Bereich der Antriebsmotoren abgeleitet. Anschließend wurde ein umfangreiches Lastenheft erstellt, das im Grunde auf denen von bisher produzierten Bremssystemen basiert und die geforderten Funktionen der Bremse beschreibt.

Aufgrund des hohen Detaillierungsgrades dieses Lastenhefts wurden die Anforderungen anhand ihrer Bedeutung klassifiziert und daraus diejenigen Anforderungen extrahiert, die für die konzeptionelle Phase von besonderem Interesse sind (Tabelle 6-1).

Mit Hilfe der Anforderungen und den bereits vorliegenden Informationen (Messdaten, Erkenntnisse aus der Anwendung beim Kunden) konnten folgende Hauptfunktionen identifiziert werden, durch die das System im Wesentlichen beschrieben wird:

- Konstantes, hohes Brems- und Haltemoment erzeugen.
- Fail Safe Funktion erfüllen.
- Restmomentfreiheit gewährleisten, d.h. im geöffneten Zustand darf kein Moment wirken.

Alle weiteren Funktionen, z.B. Lebensdauer erreichen oder Wärmeabfuhr regulieren sind zur Erfüllung dieser Hauptfunktionen erforderlich. Aus diesem Grund werden sie nicht separat betrachtet. Im Folgenden werden diese Funktionen und Anforderungen detailliert untersucht, um danach Kriterien für eine mehrstufige Bewertung ableiten zu können.

6.3.1 Intensive Analyse der Anforderungen

Im ersten Schritt erfolgte eine Priorisierung einzelner Anforderungen sowie eine Zuordnung zu den eingangs festgelegten Hauptfunktionen (Tabelle 6-1). Wichtige Parameter, die zu diesem Zeitpunkt schon bekannt waren, wurden ebenfalls dokumentiert und einzelnen Anforderungen zugeordnet.

Tabelle 6-1: Anforderungen und Funktionen (reduziert)

		Hauptfunktionen			verantwortlich
		Konstantes Bremsmoment erzeugen	Fail Safe Funktion erfüllen	Restmomentfreiheit gewährleisten	
			Bremmung wird bei Unterbrechung der Stromzufuhr umgehend eingeleitet	im gelüfteten Zustand erfolgt Trennung der Reibpartner	
Anforderungen	Priorität				Parameter
Max. Bremsmoment					
- Statisches Haltemoment	I	x	x	x	M _s
- Dynamisches Bremsmoment	I	x	x	x	M _D
Lageunabhängigkeit	I	x	x	x	
Spielfreiheit	I	x			
Schwankungsbreite, min.	I	x		x	ΔM
Lebensdauer, Verschleiß	I	x	x	x	
Vermeidung axialer Stoßbelastungen auf Motorwelle	I				
Drehzahl, max.	I	x			n
Temperatur, max.	I	x			T
Zur Verfügung stehender Bauraum	I	x			L, B, H
Kosten	II				HK
Einlaufzeit	I	x			t _{ein}
Taktzeit der Bremse	II				t _B
Ansprechzeit	II				t _A
Gewicht	II				m
Massenträgheitsmomente	II				J

Um ein hohes Maß an Vollständigkeit zu garantieren, wurde die Anforderungsliste mit Hilfe von Checklisten abgeglichen und ergänzt. Dazu wurde auch eine von NIEMANN (1993, S. 247) vorgeschlagene Checkliste eingesetzt, die allgemeine Gesichtspunkte zur Auslegung von Kupplungen und Bremsen enthält.

Als Anforderungen mit mittlerer Priorität (II) wurden z.B. die Kosten, das Gewicht oder die Massenträgheitsmomente eingestuft. Dies sind zwar in der Tat sehr wichtige Anforderungen für die Realisierung des Systems Bremse, eine Beurteilung der Ausprägungen dieser Anforderungen bei unterschiedlichen Lösungsvarianten ist aber in den frühen Phasen nur eingeschränkt möglich. Anforderungen, die beispielsweise den Korrosionsschutz der Bauteile, die

Wuchtgüte rotierender Teile oder die elektrische Versorgung (Schutzart, Isolierstoffklasse) betreffen, wurde lediglich eine geringe Priorität für Entscheidungen in den frühen Phasen der Entwicklung beigemessen. Aus diesem Grund sind sie in der reduzierten Anforderungsliste nicht aufgeführt.

Da die Zahl der Hauptfunktionen überschaubar und der Grad der Interdisziplinarität sehr gering war, wurde auf eine Zuordnung von Verantwortlichen für einzelne Hauptfunktionen verzichtet. Es wurden lediglich Verantwortliche für verschiedene Themenbereiche wie Reibung und Magnetismus festgelegt, die neben der Recherche auch Bereiche der Analyse (z.B. unterstützende Versuche zur Bestimmung des Reibverhaltens, FEM Berechnungen zur Analyse des Magnetfeldverlaufs) bearbeitet haben.

6.3.1.1 Analyse der Anforderungen und Beurteilung ihrer technischen Erfüllbarkeit

Bei der Analyse der Anforderungen wurden sämtliche Anforderungen anhand ihrer technischen Erfüllbarkeit beurteilt (Abbildung 6-4), wobei bei Anforderungen mit hoher Priorität ein deutlich größerer Aufwand für die Beurteilung erforderlich war. Als besonders anspruchsvoll wurde die Erhöhung des Bremsmoments, die Reduzierung der Schwankungsbreite und der Einlaufzeit eingestuft. In diesem Zusammenhang wurde auch untersucht, inwieweit sich einzelne Anforderungen gegenseitig beeinflussen oder voneinander abhängig sind, bzw. ob etwaige Zielkonflikte vorliegen.

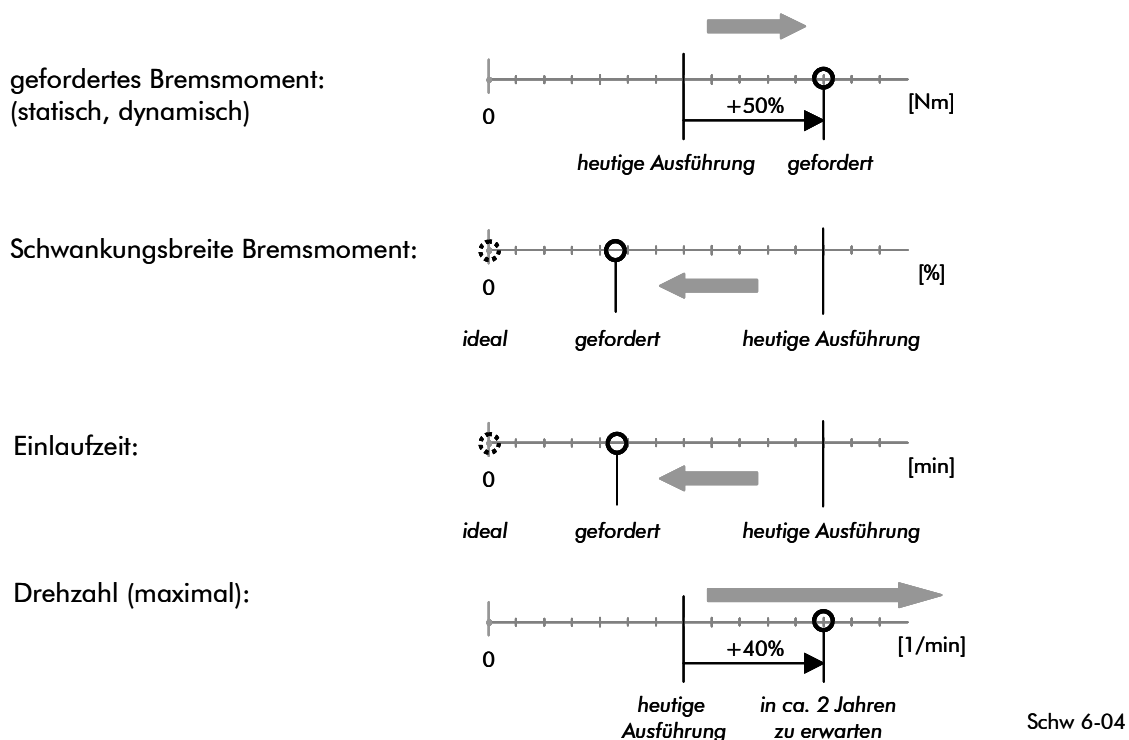


Abbildung 6-4: Beurteilung der Anforderungen aus technologischer Sicht

Aus der Forderung nach höherem Bremsmoment bei gleichem oder geringerem Bauraum wird ersichtlich, dass pro Bauvolumen mehr Reiarbeit verrichtet werden muss. In diesem

Zusammenhang müssen geeignete Möglichkeiten zur Ableitung der entstehenden Wärme gefunden werden (siehe Abbildung 6-7).

Im Hinblick auf die Anforderungen nach höheren Drehzahlen ist besonderes Augenmerk auf alle rotierenden Teile zu legen. Entwicklungsziel muss sein, die rotierenden Massen so gering wie möglich zu halten. Darüber hinaus leiten sich aus den höheren Drehzahlen gesteigerte Anforderungen an die Wuchtgüte ab und es ergeben sich deutlich höhere Gleitgeschwindigkeiten im Reibkontakt, die im Zusammenhang mit der Auslegung der Reibparameter zu berücksichtigen sind.

Im Rahmen dieser Betrachtung wurden die Anforderungen nach Restmoment- und Spielfreiheit als KO-Kriterien definiert. Ist eine Nichterfüllung dieser Kriterien abzusehen, wird die Lösungsvariante nicht mehr weiter verfolgt.

6.3.1.2 Analyse der bisherigen Bremsen

Wichtige Informationen können in der Regel aus der Analyse von Vorgängerprodukten gewonnen werden. Neben einer Bauteil- und Funktionsbetrachtung wurde daher auch eine Schwachstellenanalyse durchgeführt und relevante Parameter identifiziert. Ziel war, zahlreiche Ansatzpunkte für mögliche Optimierungsmaßnahmen zu finden.

6.3.1.2.1 Bauteilbetrachtung der PE-Bremse¹

Die bisher eingesetzten PE-Bremsen, die in mehreren Baugrößen gefertigt werden, besitzen einen relativ einfachen Aufbau aus nur wenigen Bauteilen (Abbildung 6-1 und Abbildung 6-2). Die einzelnen Bauteile wurden in nachfolgender Struktur eingeordnet.

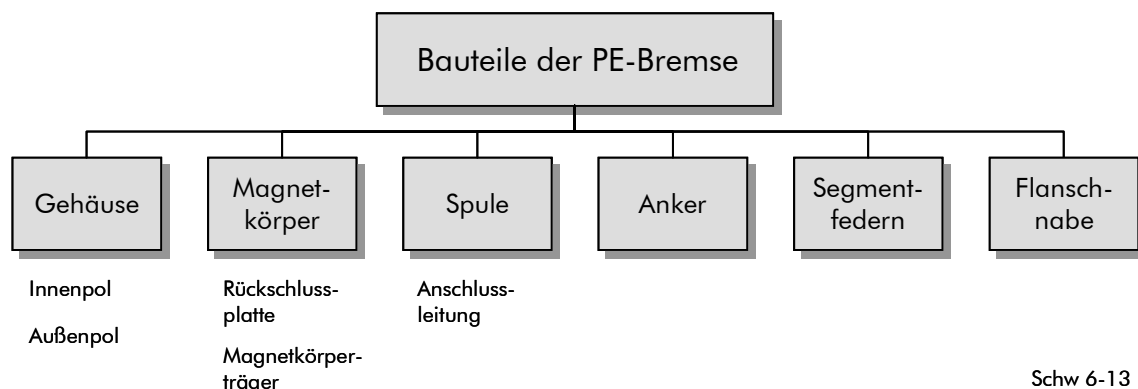


Abbildung 6-5: Bauteile einer PE-Bremse²

¹ Die Bauteilbetrachtung wird am Beispiel der PE-Bremse durchgeführt. Die FD-Bremse weist eine ähnliche Bauteilstruktur auf.

² Die Rückschlussplatte besteht aus magnetisch leitfähigem Material und wird auf einer Seite des Magneten aufgebracht. Dadurch lässt sich die wirksame Magnetkraft erhöhen (siehe Kapitel 6.4.1). Der Magnetkörperträger ist aus Kunststoff. In ihm werden die Rückschlussplatten und die Magnetkörper eingelegt und gemeinsam montiert.

6.3.1.2.2 Funktionsmodellierung zur Unterstützung der Analyse

Im Rahmen der Analyse der Aufgabenstellung wurde auch eine Modellierung der betrachteten Bremsbauarten durchgeführt, wobei die in Kapitel 3.6.4 vorgestellte Art der Modellierung zum Einsatz kam.

Eingangs wurde ein sehr detailliertes Modell der Funktionsstruktur erstellt, mit dem wichtige Zusammenhänge aufgezeigt werden konnten. Neben dem Erkennen der Einflüsse einzelner Parameter wurden auch Möglichkeiten zur Optimierung des bestehenden Systems sowie Ansätze für neue Bremskonzepte daraus abgeleitet.

Abbildung 6-6 zeigt einen Ausschnitt des Funktionsmodells, aus dem u.a. der Einfluss der Magnetanordnung (siehe Abbildung 6-9) und der Temperaturerhöhung erklärt werden konnte.

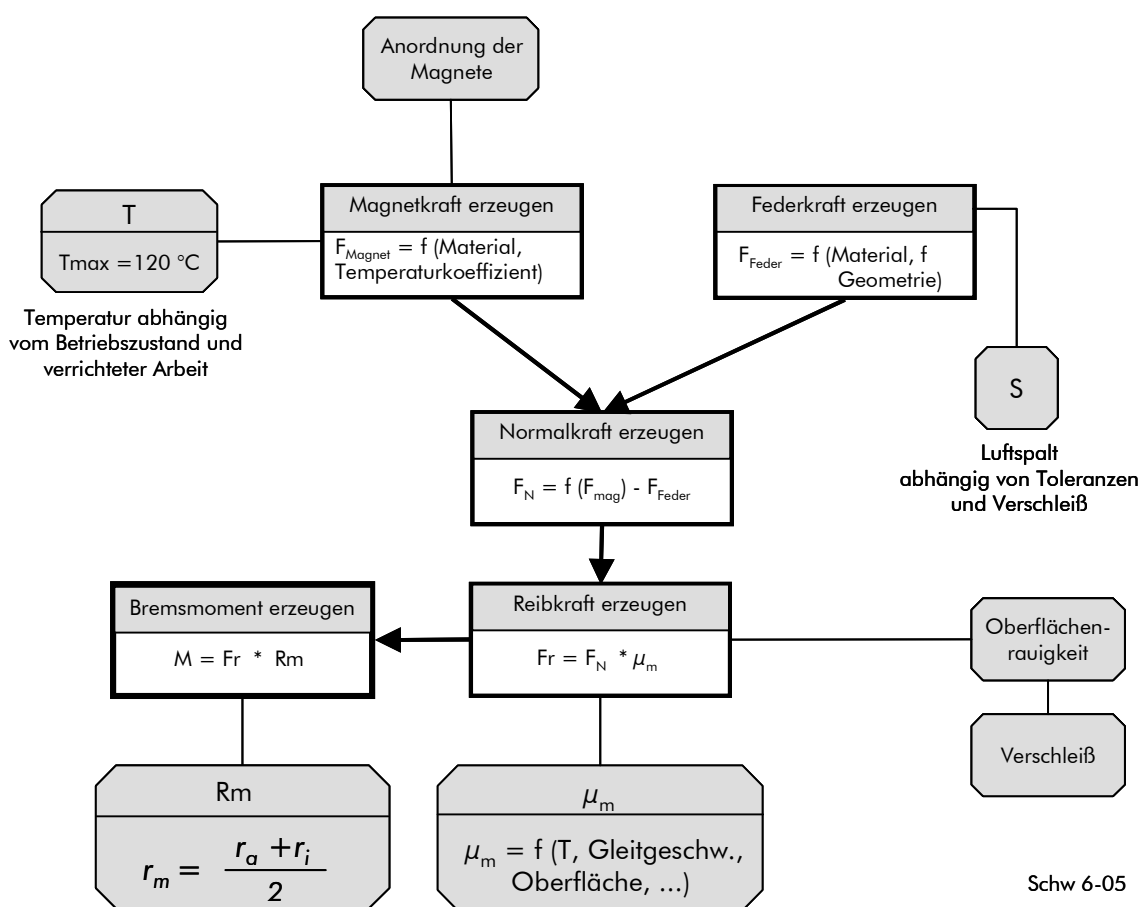


Abbildung 6-6: Ausschnitt aus einem Funktionsmodell der Bremse

Diese Art der Modellierung wurde im Laufe des Projekts zur Analyse von neu erarbeiteten Lösungsvarianten wiederholt angewendet. Der Grad der Detaillierung wurde bedarfsgerecht angepasst, so dass sowohl Modelle von Gesamt- als auch von Teilsystemen erstellt worden sind. Diese Modellierung hat umfangreiche Diskussionen angestoßen, die zum einen ein gemeinsames Problemverständnis herbeigeführt, zum anderen aber auch neue Probleme aufgezeigt und neue Ideen ermöglicht haben. So wurde beispielsweise die Problematik des Wärmehaushalts anhand eines Funktionsmodells dargestellt (Abbildung 6-7). Hier wurden insbesondere relevante Wirkzusammenhänge skizziert, die bei einer Erhöhung des Bremsmoments zu

beachten sind. Darauf aufbauend wurden verschiedene Lösungen erarbeitet, mit denen eine bessere Wärmeabfuhr erreicht wird.

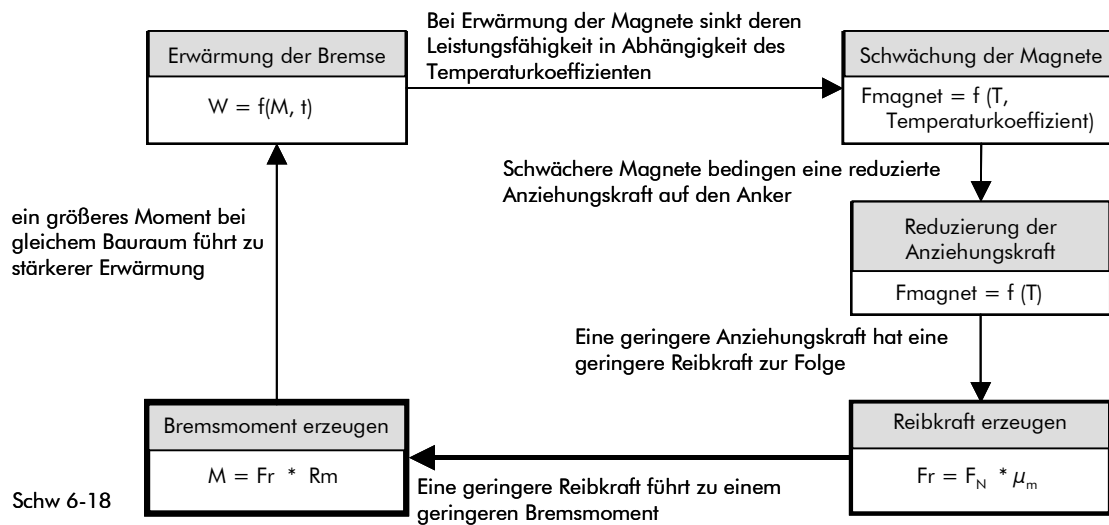


Abbildung 6-7: Funktionsmodell zur Analyse der Wärmeproblematik

6.3.1.2.3 Schwachstellenanalyse

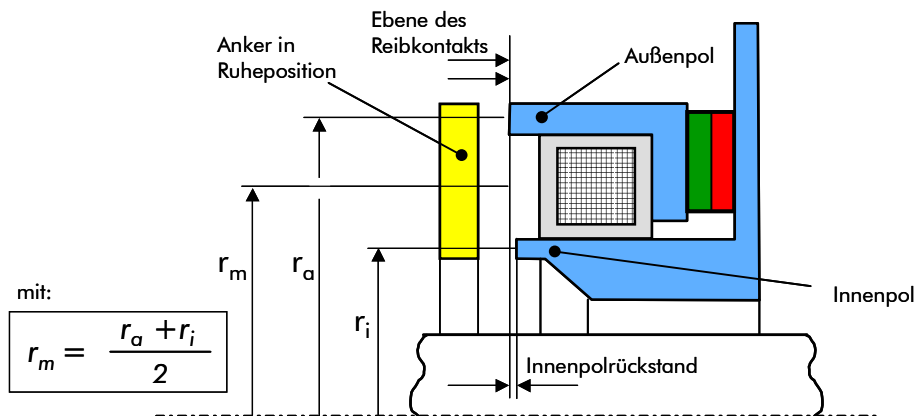
Bei der theoretischen Betrachtung von Schwachstellen und Problembereichen wurden wichtige Zusammenhänge aufgedeckt, weitere Anforderungen und zu beachtende Randbedingungen identifiziert. Außerdem wurden auch Hypothesen zur Erklärung bestimmter Erscheinungen bzw. Effekte dokumentiert, die aus dem Betriebsverhalten der Bremse und der Analyse von Messwerten abgeleitet werden konnten. In vielen Fällen konnten aus den erkannten Schwachstellen bereits erste Ansätze für eine Verbesserung formuliert werden.

Im Folgenden werden einige der identifizierten Schwachstellen der betrachteten Bremsen näher betrachtet, aus denen Betätigungsfelder für den weiteren Projektverlauf abgeleitet worden sind.

- Der Mechanismus der Reibung ist sehr komplex und wenig erforscht. Z.B. ist der genaue Ablauf der Reibschichtbildung sowie die dabei relevanten Effekte unklar.
- Bei der PE-Bremse muss zwischen dem Anker und den Polen der Bremse ein magnetischer Übergang stattfinden, um die Funktion des magnetischen Anziehens des Ankers zu gewährleisten. Aus diesem Grund können nur magnetisch leitfähige Materialien zum Einsatz kommen. Organische Reibbeläge, die im Vergleich zur kostengünstigen Stahl/Stahl-Reibung ein deutlich besseres Reibverhalten aufweisen, können nicht eingesetzt werden. Daher ist eine Optimierung der Funktion Stahl/Stahl-Reibung erforderlich.
- Bei übermäßigem Verschleiß ist die Fail-Safe-Funktion der PE-Bremse nicht mehr gewährleistet. Wird der Luftspalt aufgrund von Verschleißerscheinungen sehr groß, reicht die Kraft der Magnete nicht mehr aus, den Anker anzuziehen und die Bremse zu schließen.

- FD-Bremsen sind nicht restmomentfrei, da der Reibbelag keine definierte Position zwischen Anker und Flansch einnimmt.
- Im Betrieb kommt es zum ungleichmäßigen Tragen des Ankers. Durch unterschiedliche Ausdehnung der Materialien ist nicht immer gewährleistet, dass der Anker stets an allen Kontaktflächen anliegt. Lokale Verschweißungen führen zu großen Unebenheiten der Reibflächen, daher kann der Anker zu Schwingungen angeregt werden (Tellern des Ankers).
- Durch die ungleichen Radien von Innen- und Außenpol werden unterschiedliche Arbeiten verrichtet, die wiederum zu unterschiedlichem Verschleiß führen. Dadurch werden die Pole bzw. die Kontaktflächen am Anker ungleichmäßig stark abgetragen. Nach einer großen Zahl von Bremsungen kann dieser unterschiedlich starke Verschleiß dazu führen, dass der Anker nur noch an einem der Pole anliegt. Am anderen Pol bildet sich ein Luftspalt der zu einer Reduktion der magnetischen Anziehungskraft und somit zu einem deutlichen Abfall des Bremsmoments führt.
- Das spezifizierte Moment der PE-Bremse steht erst nach einer gewissen Einlaufzeit zur Verfügung. Die Gründe hierfür liegen zum einen darin, dass die Reibschicht erst aufgebaut werden muss, zum anderen sind diese fertigungstechnisch bedingt. Die Rückseite der PE-Bremse wird zum Verspannen der Motorlager verwendet. Dadurch kommt es zu einer Verformung des Bremsengehäuses, die dazu führen kann, dass der Innenpol weiter vorsteht als der Außenpol, d.h. bei den ersten Bremsungen berührt nur der Innenpol den Anker¹, was wegen des kleineren Reibradius ein deutlich geringeres Bremsmoment zur Folge hat (Abbildung 6-13). Geringere Fertigungstoleranzen und eine Montage, bei der im eingebauten Zustand beide Pole in der selben Ebene zu liegen kommen, sind mit hohen Kosten verbunden. Aus diesem Grunde wird der Innenpol gegenüber dem Außenpol in der Fertigung zurückgesetzt und kommt erst bei Verschleiß am Außenpol zum Tragen (Abbildung 6-8). Der Innenpolrückstand wird dabei so bemessen, dass in jedem Fall nur der Außenpol trägt. Auch hier erreicht die Bremse das spezifizierte Moment erst nach einer gewissen Anzahl von Lastspielen, das Anfangsmoment ist aber wegen des größeren Reibradius am Außenpol höher ($r_a > r_i$).

¹ Aufgrund von Fertigungstoleranzen können ebenfalls Maßabweichungen zwischen der Lage des Innen- und Außenpols auftreten, die dazu führen, dass nur einer der Pole im Reibkontakt steht.



Schw 6-25

Abbildung 6-8: Zurückversetzter Innenpol

Aus diesen Problemen wurden Fragestellungen abgeleitet, die als Einstieg in die Lösungssuche verwendet worden sind. Zur Dokumentation dieser Probleme und offenen Fragen wurde ein angepasster Ideenspeicher eingesetzt, der in nachfolgender Tabelle auszugsweise dargestellt ist.

Tabelle 6-2: Auszug aus dem angepassten Ideenspeicher

Problem	vermutete Ursache	These, Entwicklungsziel	Informations-, Absicherungsbedarf	Abhilfe bzw. Fragestellung für Lösungssuche	Parameter
Systembedingte Schwächung der Anpresskraft des Ankers auf die Pole durch die Segmentfedern.	Federkraft der Segmentfedern bewirkt ein Abziehen des Ankers von den Polen und wirkt damit der Magnetkraft entgegen, mit der der Anker angezogen wird.	Ohne diese Feder bzw. mit einer Feder mit anderer Kennlinie (Druck statt Zug) könnte die Bremse ein deutlich höheres Moment bei gleichem Bauvolumen erbringen.		Alternative Möglichkeiten zum Abheben des Ankers und Halten in der abgehobenen Position.	F_{Magnet} F_{Feder} C_{Feder}
Moment schwankt sehr stark aufgrund unterschiedlicher Einflüsse.	Genauer Einfluß unklar, wahrscheinlich fertigungsbedingt (Serienstreuung) und betriebsbedingt (unterschiedliche Betriebszustände).	Tellern des Ankers ist eine mögliche Einflussgröße.	Einflussgrößen und deren Auswirkungen.	Möglichkeiten, die Momentenschwankungen zu reduzieren (aus der Fertigung, aus dem Betrieb) oder ganz zu eliminieren.	Toleranzen
Rechts – Links Unterschied.	unklar	In einer Drehrichtung ist das Moment deutlich größer als in der anderen. Ziel ist, das größere Moment in beiden Drehrichtungen zu realisieren.	Analyse dieses Effekts erforderlich.	Lösungen, die diesen Unterschied nicht aufweisen.	
Zeitaufwendiger Einlaufprozess.	Bis zum Erreichen der spezifizierten Bremsmomente ist ein zeitaufwendiger Einlauf durchzuführen.	Bremse erreicht das spezifizierte Moment ohne Einlaufvorgang.	Analyse des Einlaufprozesses, welche Effekte treten dabei auf.	Optimierung des Einlaufvorgangs.	

Diese Tabelle wurde basierend auf den zu diesem Zeitpunkt vorliegenden Informationen erstellt. Aus diesem Grund sind in einigen Fällen die Fragestellungen, die im Rahmen der Lösungssuche behandelt werden sollen, noch nicht genau spezifiziert. Erst im Laufe der weiteren Entwicklung, z.B. bei den Analysen, wurden umfangreichere Informationen generiert, die eine genauere Formulierung zu lassen. Daher ist eine kontinuierliche Ergänzung dieser Übersicht erforderlich.

Als Ergebnis einer derartig intensiven Aufgabenklärung konnte eine Reihe von weiteren Anforderungen, gegenseitige Abhängigkeiten und Randbedingungen formuliert werden, die in der ursprünglichen und schon sehr umfangreichen Anforderungsliste nicht enthalten waren, aber ausschlaggebend für die Entwicklung der Bremsen sind. Darüber hinaus ist es für das weitere Vorgehen entscheidend, diese wichtigen Informationen und Forderungen bereits frühzeitig zu kennen, denn nur dann können sie auch rechtzeitig berücksichtigt werden.

6.3.2 Ableiten von Bewertungskriterien

Bevor intensiv mit einer Lösungssuche begonnen worden ist, wurden erste Bewertungskriterien aus der Anforderungsliste abgeleitet, die im Weiteren im Mittelpunkt der Betrachtung standen. Aufgrund der bereits dargelegten Vorteile eines mehrstufigen Auswahlverfahrens wurden auch unterschiedlich detaillierte Bewertungskriterien für die Vor- und die Endauswahl festgelegt.

6.3.2.1 Bewertungskriterien für die Vorauswahl

Den wenig detailliert vorliegenden Lösungen Rechnung tragend, die in frühen Phasen der Entwicklung in der Regel noch großen Informationsbedarf aufweisen, und um eine schnelle und dennoch fundierte Vorauswahl durchführen zu können, wurden folgende Kriterien festgelegt, mit denen jeweils die Erfüllung mehrerer Anforderungen gleichzeitig beurteilt werden kann:

Tabelle 6-3: Kriterien zur Bewertung

Kriterien	Beinhaltete Anforderungen
Potenzial für den Kunden	Leistungsdaten, Lebensdauer, Bauraum, Abmessungen
Risiko der Umsetzung	Neuheitsgrad, Problembereiche, Einsatz neuer Technologien
Aufwand der Umsetzung	Neuheitsgrad, Umfang der Informationsbeschaffung, Aufwand für Analysen

6.3.2.2 Bewertungskriterien für die Endauswahl

Da bei der endgültigen Auswahl der Lösungen, die im weiteren Verlauf des Projekts umgesetzt werden sollen, schon mehr Informationen vorliegen und die Lösungen durch den nun höheren Detaillierungsgrad besser miteinander verglichen werden können, sind mehrere Bewertungskriterien erforderlich. Diese Kriterien lassen sich analog zu den Anforderungen in unterschiedliche Gruppen einteilen; zum einen in Kriterien, die unbedingt erfüllt sein müssen (KO-Kriterien, wie z.B. Restmomentfreiheit), zum anderen in Kriterien, die eine geforderte Ausprägung erreichen müssen (z.B. Haltemoment größer/gleich als der geforderte Wert in der

Anforderungsliste). Gerade anhand der Kriterien aus der zweiten Gruppe ist eine Differenzierung unterschiedlicher Lösungsvarianten möglich, die auch in der Portfoliodarstellung transparent wird¹.

- Restmomentfreiheit (kein unkontrollierter Verschleiß, keine unkontrollierte Erwärmung)
- Lebensdauer, Verschleiß
- Momentniveau
- Schwankungsbreite des Moments
- Fail Safe Funktion
- Spielfreiheit
- Einlaufverhalten (Zeitbedarf, Aufwand)

Diese relativ überschaubare Menge an Kriterien erlaubt eine fundierte Beurteilung einzelner Lösungsvarianten.

6.4 Durchführung umfangreiche Recherchen zur Informationsgewinnung

Im Rahmen der Analyse und der orientierenden Lösungssuche wurden umfangreiche Recherchen durchgeführt. Dabei wurden Informationen über zahlreiche bekannte Bremssysteme zusammengetragen. Neben Produkten der Wettbewerber wurde nach verschiedenen Arten von Bremsen gesucht, ungeachtet ihrer Baugröße und ihrer Einsatzgebiete (u.a. Fahrzeugtechnik, Fördertechnik).

Da als wichtige Parameter zur Optimierung der betrachteten Systeme die Reibung und der Magnetismus erkannt wurden, wurden die Recherchetätigkeiten in diesen Bereichen intensiviert.

6.4.1 Recherche Magnetismus

Aus Produktkatalogen verschiedener Hersteller konnten wertvolle Informationen zum Thema Magnetismus gewonnen werden, insbesondere zu relevanten Merkmalen unterschiedlicher Magnetwerkstoffe (Magnetkraft, Magnetkraftverlauf bei Temperaturerhöhung, Kosten, usw.) Sehr interessant waren vor allem zahlreiche Möglichkeiten zur Kraftverstärkung (Abbildung 6-9). Diese Erkenntnisse wurden bei der Gestaltung diverser Konzepte berücksichtigt.

¹ Der Grad der Kundenzufriedenheit kann gesteigert werden, wenn die Leistungsdaten die geforderten Werte überschreiten.


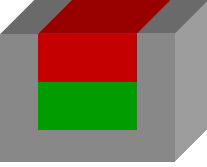
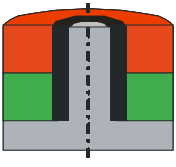
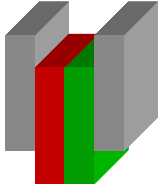
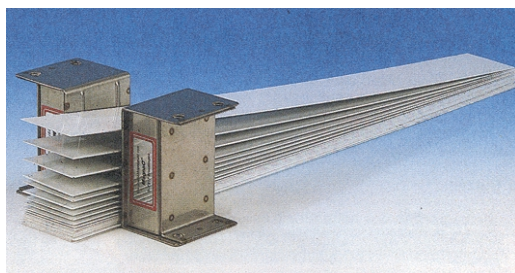
Bauart	Eisenrück- schlussplatte	U-Profil Polplatte	Eisenrück- schlussplatte mit Mittelpol	Sandwich- aufbau
Haftkraft- erhöhung (Faktor)	 1,3	 6,0	 4,5	 18
				Schw 6-28

Abbildung 6-9: Möglichkeiten zur Verstärkung der Magnetkraft

Die umfangreichen Recherchen lieferten unter anderem auch Informationen zum sogenannten Blechespreizer, der in der Blechverarbeitung zum Vereinzeln von Blechen eingesetzt wird und in unterschiedlichen Abmessungen erhältlich ist (Abbildung 6-10). Durch die Schutzschicht, mit der die Bleche für den Transport überzogen werden, kommt es zu einem Aneinanderhaften der einzelnen Bleche, was das Trennen erschwert. Blechespreizer induzieren jeweils gleiche Polaritäten in die einzelnen Bleche eines Blechstapels. Da sich gleiche Magnetpole abstoßen, spreizen sich die Bleche voneinander ab und können so leichter separiert werden.



Schw 6-19

Abbildung 6-10: Blechespreizer (MAGNAC 1999)

Da der Effekt den Teammitgliedern bisher unbekannt war und über dessen Stärke keinerlei Informationen vorlagen, wurde mit vorhandenen Magnetkörpern und zwei Metallplättchen (Rückschlussplatten aus einer PE-Bremse) ein einfaches Modell (Abbildung 6-11) aufgebaut, anhand dessen der Effekt in eindrucksvoller Weise nachvollzogen werden konnte. Entscheidend war hierbei die Verfügbarkeit von einfachen Materialien, die den raschen Aufbau dieses Modells erst ermöglicht haben, das für ein fundiertes Verständnis der zugrundeliegenden Physik gesorgt hat. Die Ergebnisse dieses orientierenden Versuchs wurden zu einem späteren Zeitpunkt wieder aufgegriffen und dienten als Basis für eine kreative Lösungssuche.

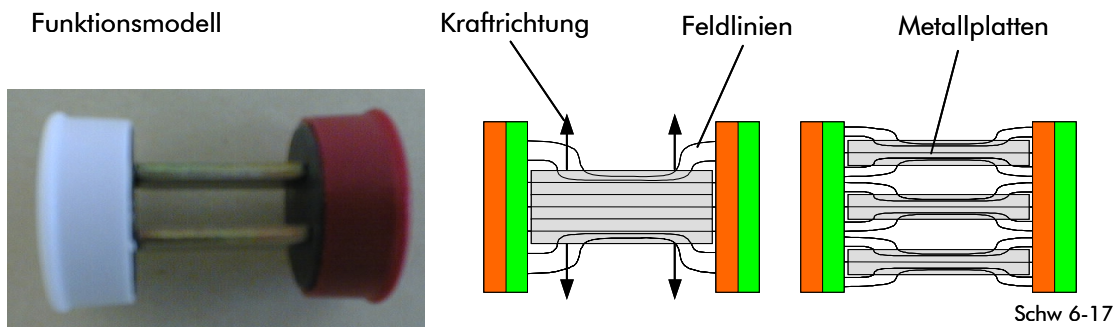


Abbildung 6-11: Aus handelsüblichen Tafelmagneten aufgebautes Modell eines Blechespreizers

6.4.2 Recherche Reibung

NIEMANN (1983) weist auf folgende Eigenschaften von Reibpaarungen und Reibbelägen hin, die bei der Entwicklung von Bremsen und Kupplungen zu beachten sind:

- Hohe Reibungszahl, möglichst konstant über einen weiten Bereich von Gleitgeschwindigkeit (Schlupf), Flächenpressung und Temperatur.
- Hohe Verschleißfestigkeit und keine Fressneigung.
- Hohe mechanische Festigkeit und Wärmebeständigkeit.
- Gute Wärmeleitfähigkeit zur schnellen Ableitung der Reibungswärme.

Diese Anforderungen und die Ergebnisse, wie z.B. die bei der Funktionsmodellierung aufgezeigten Abhängigkeiten und Einflüsse einzelner Parameter, wurden bei der äußerst umfangreichen Recherche berücksichtigt.

Neben zahlreichen Informationen über das zeitliche Reibverhalten verschiedener Reibpaarungen in Abhängigkeit verschiedener Parameter (Temperatur, Verschleiß, Belastung, Gleitgeschwindigkeit, zu verrichtende Arbeit, usw.) konnten auch wichtige Erkenntnisse über den Einlaufvorgang und das Einlaufverhalten unterschiedlicher Reibpartner zusammengetragen werden (SEVERIN & LÜHRSEN 1983; SEVERIN & MUSIOL 1995).

Zur Optimierung der Reibungszahl und zur Verbesserung der Verschleißfestigkeit wurden darüber hinaus diverse Möglichkeiten zur Oberflächenbeschichtung (Materialien, Verfahren, Reibwerte, Verschleißkennzahlen, usw.) recherchiert. Ziel war, das Reibverhalten positiv zu beeinflussen. Diese Informationen wurden bei der Planung und Durchführung verschiedener Analysen berücksichtigt und waren ein wertvoller Input für die weitere Lösungssuche.

6.5 Orientierende und projektbegleitende Analysen zur Informationsgewinnung

Aufgrund der hohen Bedeutung der Reibung auf das Gesamtverhalten der zu entwickelnden Bremsen wurde diese Thematik intensiv durchleuchtet.

Orientierende Analysen wurden nicht nur zur Überprüfung erster Lösungsvarianten eingesetzt, sondern auch zum besseren Verständnis relevanter Effekte, die im Zusammenhang mit den betrachteten Bremsen stehen. Dies betraf in erster Linie die Themen Magnetismus und Reibung, da hier häufig theoretische Überlegungen und erste Lösungsideen verifiziert werden mussten, bevor sie weiter vertieft und zur Optimierung eingesetzt werden konnten. Da aufgrund der Komplexität der Thematik schon frühzeitig abzusehen war, dass im Verlaufe des Projekts zahlreiche Versuche durchgeführt werden müssen, wurde zur Standardisierung der Abläufe und zur Sicherstellung der Vergleichbarkeit der Ergebnisse ein einfach reproduzierbares Versuchsprogramm festgelegt.

6.5.1 Standardisiertes Versuchsprogramm

Um den Aufwand für die erforderlichen Versuche insgesamt gering halten zu können, wurden Teilelemente aus den verschiedenen Methoden der statistischen Versuchsplanung aufgegriffen und bei der Definition des standardisierten Versuchsprogramms berücksichtigt. Informationen zu den unterschiedlichen Methoden wurden dazu von der Analysemethodendatenbank zur Verfügung gestellt.

In diesem mehrstufigen Versuchsprogramm werden verschiedene Belastungen eingestellt und das Verhalten des jeweiligen Prüfkörpers beurteilt. Bei der Festlegung der Abfolge der einzelnen Belastungen (Belastungshöhe, Belastungsdauer) wurden die Erfahrungen aus der Anwendung der Bremsen beim Kunden (Auswertung verschiedener Belastungsfälle) sowie die Ergebnisse aus den bisherigen Erprobungen diverser Bremsen berücksichtigt.

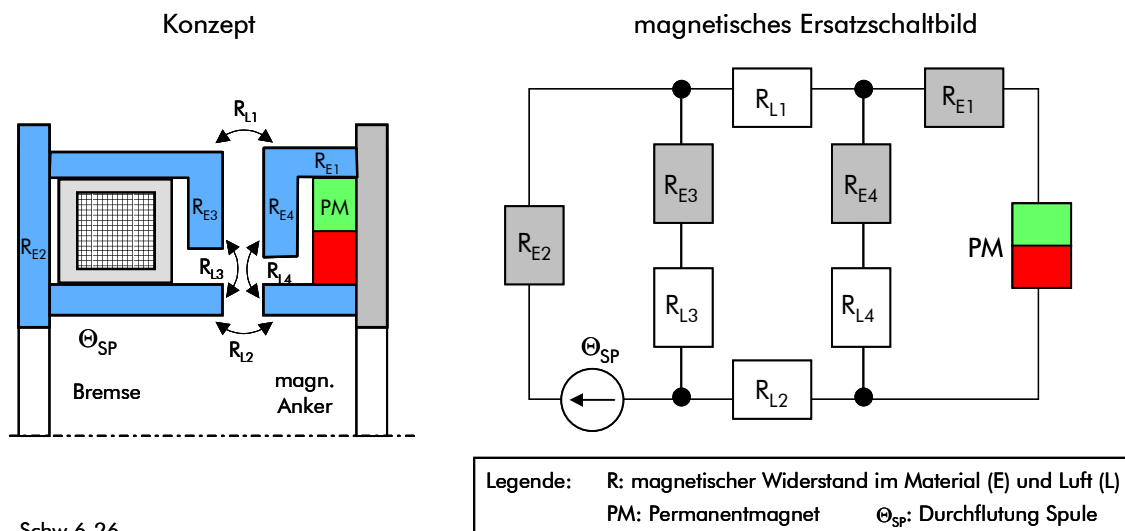
Das Versuchsprogramm wurde so flexibel gestaltet, dass es auf die Belange unterschiedlicher Funktionsträger und Prototypen angepasst werden konnte, aber dennoch vergleichbare Ergebnisse geliefert wurden. So wurde es auf der einen Seite zur Überprüfung einzelner Komponenten eingesetzt, die sich in relevanten Merkmalen unterschieden (z.B. Oberfläche der Anker). Auf der anderen Seite auch zur Verifizierung des Funktionsverhaltens von Gesamtsystemen sowie zur Überprüfung einzelner Anforderungen, die eine hohe Priorität aufweisen. In der ersten Stufe wurden eher allgemeine Informationen generiert (prinzipielles Verhalten der Komponente, Grad der Funktionserfüllung, tendenzielle Ausprägung der Werte, z.B. hohes – mittleres – geringes Bremsmoment). In der zweiten Stufe, die deutlich mehr Zeit beansprucht hat, wurden in umfangreicheren Messungen detailliertere Informationen erarbeitet, z.B. exakte Werte für einzelne Parameter. Somit unterstützt das Versuchsprogramm aufeinander aufbauende Analysen, deren Vorteile bereits dargestellt worden sind.

Auf diese Weise konnte das Verhalten von neuen Komponenten und die Auswirkungen von Veränderungen an bestehenden Systemen aufwandsarm abgeschätzt werden. So ließen sich Tendenzen frühzeitig erkennen und ein schrittweises Herantasten an die optimale Parameter-einstellung wurde unterstützt. Ausschlaggebend für das weitere Vorgehen war, dass dieses Versuchsprogramm bereits sehr früh im Entwicklungsprojekt definiert worden ist. Somit wurde ein zielgerichtetes Vorgehen unterstützt. Durch die umfangreiche versuchbegleitende Dokumentation der Messwerte konnte auch ein umfangreicher Datenbestand aufgebaut werden, dessen Auswertung ebenfalls weitere Erkenntnisse erbracht hat.

6.5.2 Analyse Magnetismus

Im Zusammenhang mit dem Magnetismus wurde in einer Reihe von Analysen die Ausbreitung der Magnetfelder und die auftretenden Magnetkräfte in Abhängigkeit vom Luftspalt und der Bauteilgeometrie untersucht. Dazu wurden Berechnungen mittels eines im Rahmen des Projekts entwickelten Berechnungswerkzeugs (BERNECKER 2000) durchgeführt, dass in Abhängigkeit der Bauteilgeometrie Aussagen über die auftretenden Magnetkräfte und die daraus resultierenden Reibmomente erlaubt.

Hierfür wurde ein mathematisches Ersatzmodell verwendet, das auf den aus der Elektrotechnik bekannten Kirchhoff'schen Gesetzen (Knotenregel, Maschenregel) zur Spannungs- und Stromberechnung beruht. Zur Verringerung des Berechnungsaufwands wurde basierend auf Microsoft® EXCEL ein einfaches Berechnungsprogramm erstellt, das nach Eingabe der geometrischen Werte eines Konzepts die auf den Anker wirkenden Anziehungskräfte errechnet (Abbildung 9-12).



Schw 6-26

Abbildung 6-12: Mathematisches Ersatzmodell, das dem Berechnungswerkzeug zugrunde liegt.

Der Aufwand zur Erstellung des Berechnungsprogramms war durchaus gerechtfertigt, da es von Anfang an sehr flexibel konzipiert worden ist und so auch für andere Aufgabenstellungen im Rahmen dieses Projekts angepasst und eingesetzt werden konnte.

Daneben wurde mittels der FEM-Methode der genaue Verlauf der Magnetfeldlinien analysiert. Da dieses Verfahren deutlich aufwendiger ist und eine genauere Modellierung der zu untersuchenden Anordnungsvarianten darstellt, wurde es nur an den Varianten angewendet, die nach der ersten Abschätzung mit dem selbstentwickelten Berechnungswerkzeug Potenzial erwarten ließen. Ungeeignete Lösungsvarianten wurden in der orientierenden Berechnung bereits aussortiert.

Abgesehen von diesen rechnerischen Analysen wurden auch eine Reihe von orientierende Versuchen mit einfachen Modellen durchgeführt, aus denen ebenfalls wertvolle Informationen gewonnen werden konnten. Dabei wurden vergleichbar mit dem in Kapitel 6.4.1 beschriebenen Modell zur Verifikation des Blechspreizeffekts einfache Modelle aus Bauteilen von Bremsen (Magnete, Metallteile, Spulen), magnetisch leitfähigen Halbzeugen aus dem

Entwicklungslabor sowie weiteren Komponenten (Baukastenelemente und Bauteile, die durch einfache Fertigungsprozesse speziell hergestellt wurden) aufgebaut.

Dabei zeigte sich, wie bedeutend ein gut ausgestattetes Entwicklungslabor ist. Nur wenn derartige Elemente sowie flexible Versuchseinrichtungen zur Verfügung stehen bzw. aufwandsarm beschafft werden können, lassen sich einfache Modelle aufbauen und erste orientierende Versuche durchführen, aus denen wichtige Informationen gewonnen werden können.

6.5.3 Analyse Reibung

6.5.3.1 Aufstellen eines Reibmodells

Durch eine theoretische Betrachtung des Effekts der Reibung, bei der die Ergebnisse der Recherchen berücksichtigt worden sind, wurden wichtige Parameter identifiziert¹, die das Reibmoment beeinflussen. Darauf aufbauend wurden zahlreiche orientierende Versuche geplant, anhand derer die theoretischen Überlegungen verifiziert werden konnten.

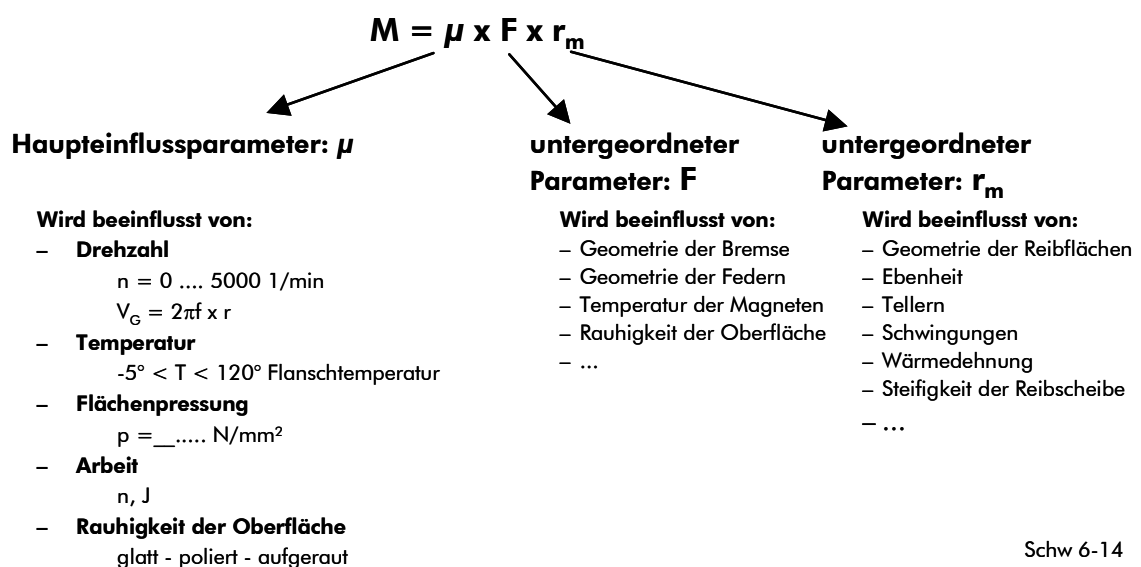


Abbildung 6-13: Relevante Einflussparameter auf das Bremsmoment

6.5.3.2 Analyse einzelner Parameter

Um die theoretischen Überlegungen zum Parameter r_m verifizieren zu können, wurden Versuche geplant, bei denen dieser Parameter isoliert betrachtet werden konnte, um so fundierte Aussagen zu erhalten und dessen Einfluss auf das Gesamtverhalten der Bremse abschätzen zu können.

¹ Hierzu wurden Teilmethoden aus der statistischen Versuchsplanung eingesetzt.

Die Schwankungsbreite des mittleren Reibradius kann zwischen den beiden Grenzwerten Außen- und Innendurchmesser der Reibfläche schwanken (siehe Abbildung 6-8). Dies tritt beim Tellern des Ankers bzw. der Reibscheibe auf, wo diese nur noch partiell an ihren Reibpartner anliegen.

Zur Analyse dieses Effekts wurden aus vorhandenen Reibscheiben verschiedene Varianten gefertigt, die lediglich eine 1mm breite Reibfläche besitzen (Abbildung 6-14). Somit konnten die geometrisch bedingten Schwankungen deutlich reduziert und die Größe des Effekts bestimmt werden.

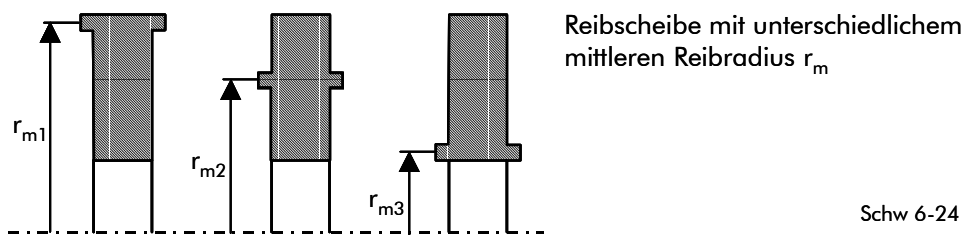


Abbildung 6-14: Reibscheiben mit 1mm breiten Reibflächen zur Analyse der Momentschwankungen

6.5.3.3 Reibuntersuchungen mit unterschiedlich beschichteten Anker

In weiteren Untersuchungen wurde der Einfluss der Oberfläche der Reibflächen eingehend analysiert. Dazu wurden mehrere Anker mechanisch bzw. chemisch bearbeitet. Durch die mechanische Bearbeitung wurden unterschiedliche Oberflächenstrukturen auf den Reibflächen erzeugt, bei der chemischen Bearbeitung wurden mehrere Anker mit verschiedenen Beschichtungen versehen.

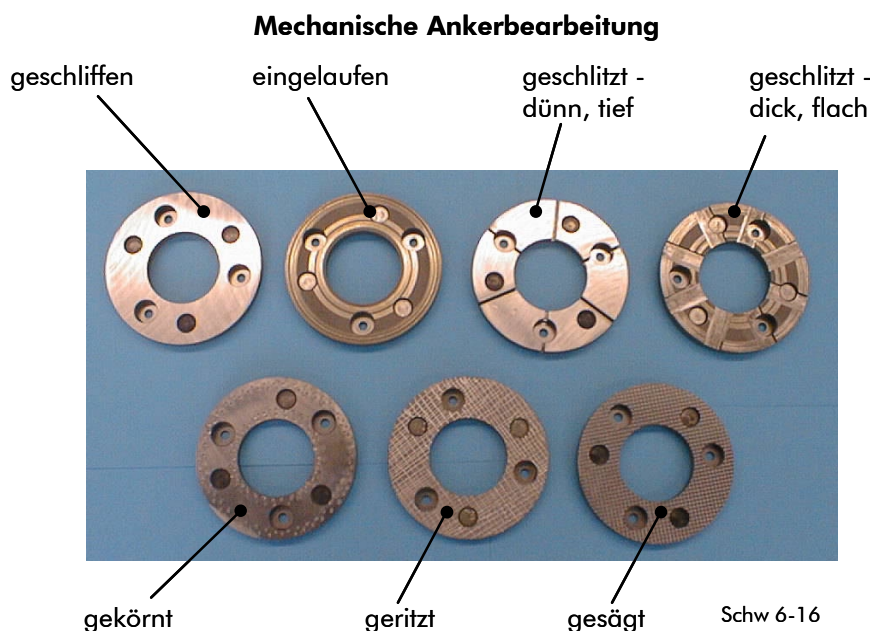


Abbildung 6-15: Anker mit unterschiedlicher Oberfläche für orientierende Reibuntersuchungen

Anhand der Auswertung der Messungen der durchgeführten Versuche konnte auf eine optimale Oberflächenstruktur sowie eine optimale Beschichtung geschlossen werden. In weiteren Versuchen wurde die Kombination gut geeigneter Oberflächenstrukturen mit verschleißgünstigen Beschichtungen untersucht, um auch Aussagen über die Verträglichkeit beider Maßnahmen und eventuelle gegenseitige Beeinflussungen treffen zu können.

6.6 Orientierende Lösungssuche

Bereits im Verlauf der intensiven Analyse der Aufgabe wurden neben den Recherchen und der Analyse von Anforderungen unter Einsatz verschiedener Kreativitätstechniken in mehreren aufeinander folgenden Workshops nach Lösungen gesucht, wobei stets unterschiedliche Eingangsfragestellungen bearbeitet worden sind. Anfangs waren diese sehr allgemein formuliert, da nach generellen Möglichkeiten zum Abbremsen einer Bewegung und zum Fixieren einer erreichten Position gesucht wurde. Im Laufe des Projekts wurden bereits identifizierte Teilprobleme aufgegriffen und deutlich zielgerichteter gesucht; z.B. nach Lösungen, bei denen zusätzliche Reibelemente eingesetzt werden.

Neben Brainstorming wurden die Methode 6-3-5 und die Galeriemethode angewendet, die auf die speziellen Bedürfnisse angepasst wurden und dadurch auf große Akzeptanz bei den Teammitgliedern gestoßen sind. Bei der im Team bevorzugten Art der Lösungssuche wurden die erzeugten Lösungsvarianten auf Ideenformularen skizziert und dabei sämtliche relevanten Informationen mit festgehalten. Diese Formulare wurden vom Moderator der Sitzung an Pinnwänden befestigt und konnten so von den anderen Teammitgliedern als Anregung für eigene Ideen verwendet werden. Zum einen wurden diese Lösungen um weitere Merkmale ergänzt oder Problembereiche durch geeignete Variation der Wirkstruktur gezielt eliminiert.

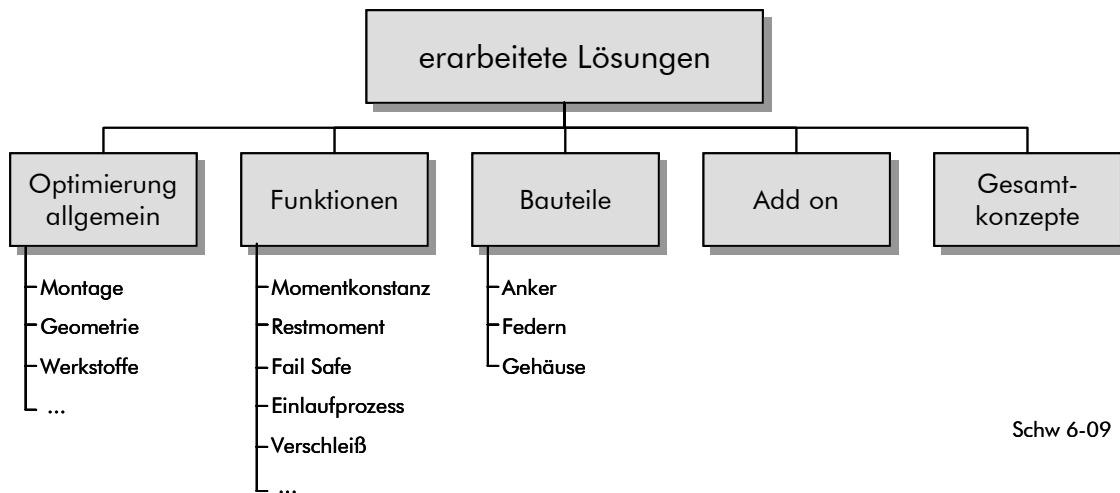
Im Anschluss an die kreative Phase wurden sämtliche Lösungen von den jeweiligen Erstellern vorgestellt und gemeinsam im Team diskutiert und anhand der Eingangs festgelegten Kriterien bewertet und in Kategorien eingeordnet (Abbildung 6-16). Auch in dieser Phase wurden noch weitere Lösungen durch Abwandlung der diskutierten Varianten erzeugt. Hier konnte die Kreativität, das Wissen und die Erfahrung des gesamten Teams effektiv eingesetzt werden. Die Ergebnisse dieser Diskussion sowie der Bewertung wurden auf den verwendeten Ideenformularen vermerkt und diese archiviert bzw. die Informationen in die Konzeptdatenbank übertragen.

6.7 Einordnung der Ideen in Portfoliodiagramme

Aufgrund der umfangreichen Aufgabenstellung und der unterschiedlichen Ansatzpunkte, die verfolgt worden sind, konnte eine Vielzahl von Lösungsvarianten generiert werden, die unterschiedliche Bauteile und Funktionen der Bremse betreffen.

Abbildung 6-16 zeigt verschiedene Kategorien, zu denen Lösungen erarbeitet worden sind. Diese Einteilung wurde im Laufe des Projekts bedarfsgerecht erweitert. Eine wertvolle Unterstützung bot dabei das Rechnerwerkzeug *Erweiterter Ideenspeicher*, das eine Zuordnung ein-

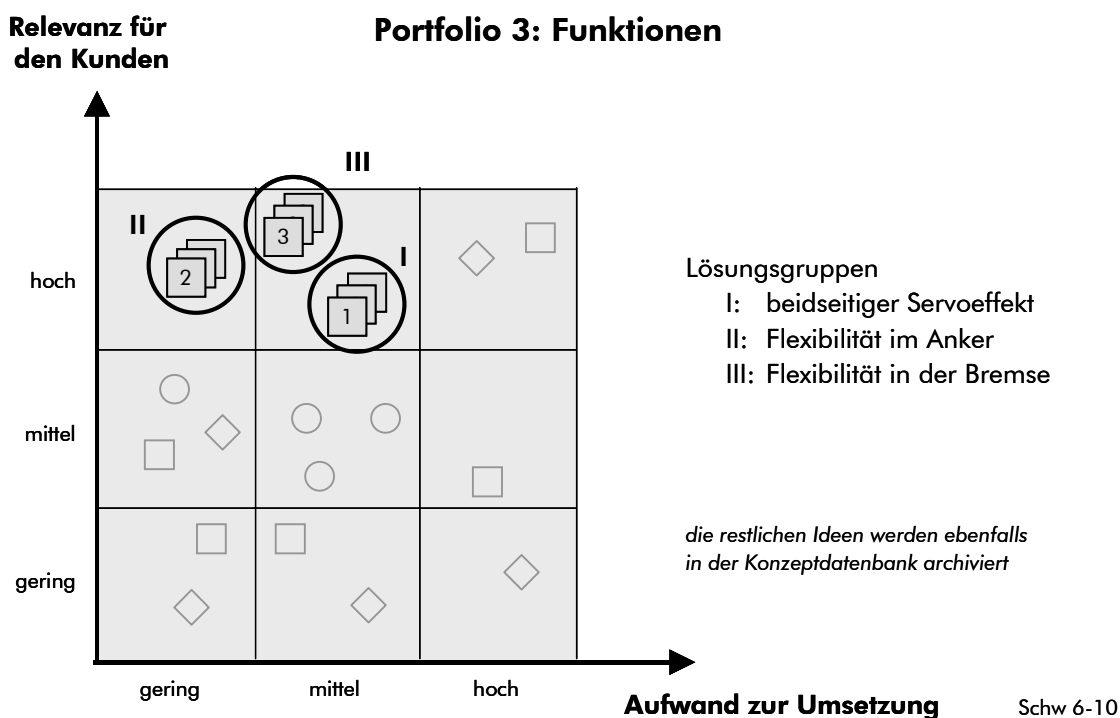
zelner Lösungen zu mehreren Kategorien erlaubt. Eine Lösung, die den Anker der Bremse betrifft kann so auch mit der Kategorie Optimierung allgemein verknüpft werden.



Schw 6-09

Abbildung 6-16: Einteilung der erarbeiteten Lösungen in verschiedene Kategorien

Zur graphischen Visualisierung der Vorauswahl und ersten Bewertung wurden für all diese Kriterien Portfoliodiagramme erstellt und die erzeugten Lösungen eingetragen.



Schw 6-10

Abbildung 6-17: Portfoliodarstellung der Kategorie Funktionen

Aus diesen wiederum wurden einzelne Lösungen aufgegriffen (z.B. die in Abbildung 6-17 dargestellten Lösungsgruppen), die im weiteren Verlauf des Projekts eingehend betrachtet bzw. als Ausgangspunkt für eine zielgerichtete Lösungssuche verwendet worden sind.

6.8 Ausgewählte Ergebnisse

Im Folgenden wird das Vorgehen und der Einsatz verschiedener Methoden und Hilfsmittel anhand der Entwicklung ausgewählter Beispiel beschrieben.

6.8.1 Integration des Bleche-Spreizer Effekts

Da das Entwicklungsteam von der Idee des magnetischen Trennens überzeugt war, wurden verschiedene Einsatzmöglichkeiten für diesen Effekt gesucht.

6.8.1.1 Bleche-Spreizer bei PE-Bremsen

6.8.1.1.1 Theoretische Betrachtung und Lösungssuche

Im Rahmen der Analyse wurde erkannt, dass die Segmentfedern, die den Anker von den Polen abheben, der Magnetkraft entgegenwirken, was zu einer Reduzierung der Gesamtanpresskraft führt und was ein geringeres Bremsmoment zur Folge hat. Aus diesem Grund wurde eine Lösungssuche gestartet, bei der alternative Möglichkeiten zum Abheben des Ankers erarbeitet werden sollten.

Dabei wurde der aus der Literaturrecherche bekannte Effekt des Bleche-Spreizers aufgegriffen, dessen Funktionsweise in einem ersten orientierenden Versuch bereits nachgewiesen werden konnte, und nach Einsatzmöglichkeiten für die vorliegende Problemstellung geforscht. Diese Suche hat ca. 15 verschiedene Varianten hervorgebracht, die diskutiert und weiter detailliert worden sind. In dieser Diskussion wurden wichtige funktionsrelevante Merkmale erkannt (z.B. magnetische Trennung erforderlich, d.h. die Magnetfelder der im Gehäuse der Bremse eingebauten Magnete und der Magnete, die zum Abheben des Ankers am Umfang verteilt werden, dürfen sich nicht überlagern) und auf deren Basis bereits erste Lösungen aussortiert, bei denen Mängel in der Funktion identifiziert worden sind. Dabei wurden auch wichtige Anforderungen mit erarbeitet, die bei der Umsetzung dieser Lösungen zu berücksichtigen sind.

Als am besten geeignete Lösung kristallisierte sich eine Kombination aus mehreren dieser Lösungsvarianten heraus. Diese wurde abschließend noch gemeinsam soweit detailliert, dass ein erstes Funktionsmuster erstellt werden konnte, welches im Rahmen von orientierenden Versuchen analysiert worden ist (Abbildung 6-18).

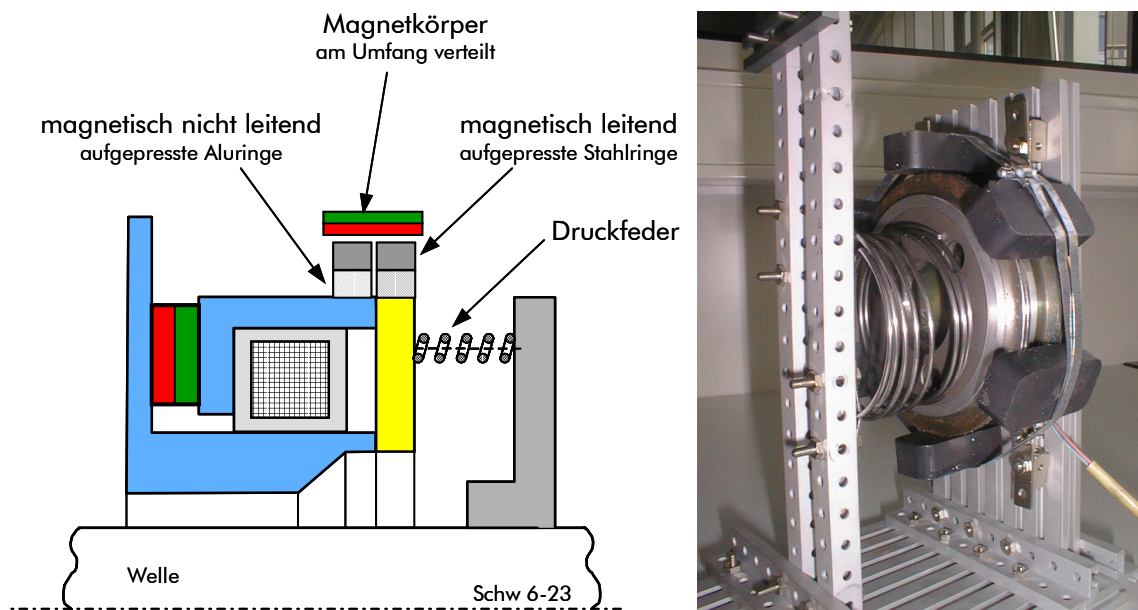


Abbildung 6-18: Konzeptskizze und Funktionsmuster der PE-Bremse mit integriertem Blechspreizereffekt

Aufbauend auf den positiven Ergebnissen der ersten Versuche wurde eine weitere Detaillierung dieses Konzeptes vorgenommen. In erster Linie wurde nach alternativen Anordnungsvarianten gesucht, die ein optimales Abheben des Ankers bei minimaler Magnetleistung erzielen. Eine der verfolgten Ideen beinhaltete eine geeignete Führung des magnetischen Feldes, so dass die Magnete, die bereits in der Bremse zum Aufbringen der Magnetkraft vorhanden sind, auch zum Abheben des Ankers verwendet werden. Diese Anordnung wäre sehr kostengünstig. In diesem Zusammenhang wurden eine Reihe von Anordnungsvarianten erzeugt, die erst analysiert werden mussten, bevor eine fundierte Aussage über das Funktionsverhalten möglich war.

Dabei wurde das in Kapitel 6.5.2 beschriebene Berechnungsprogramm erfolgreich eingesetzt, da es die Überprüfung einer großen Zahl von Anordnungsvarianten in kurzer Zeit unterstützt. So konnten interessante Lösungen herausgefiltert werden, die im Folgenden detaillierter betrachtet worden sind.

6.8.1.1.2 Ergebnisse und weiteres Vorgehen

Diese Berechnungen ergaben, dass ein großer Bauaufwand erforderlich ist, um die zum Abheben des Ankers erforderlichen Magnetkräfte aus den im Bremsgehäuse integrierten Magneten zu beziehen. Daher wurde dieses Konzept verworfen und eine Lösungsvariante, die zusätzliche Magnetkörper aufweist, für die weitere Umsetzung ausgewählt. Abschließend wurde ein Prototyp der Bremse aufgebaut und im Versuch erfolgreich getestet. Als Nachteil dieser Variante sind die hohen Kosten für die zusätzlichen Magnetkörper zu erwähnen, weil aus Bauraumgründen leistungsfähige Neodym Magnete eingesetzt werden müssen. Aus diesem Grund wurde dieses Lösungskonzept nicht für einen Serieneinsatz ausgewählt, da dieser erst bei sinkenden Preisen für die Magnetkörper wirtschaftlich relevant werden wird und alternative, kostengünstigere Lösungen für diese Problematik im Ideenspeicher enthalten waren.

6.8.1.2 Bleche-Spreizer bei FD- und Lamellenbremsen

6.8.1.2.1 Problemanalyse

Das sichere Abheben des Reibbelags vom Flansch und Anker ist bei der betrachteten Bauart der FD-Bremse nicht gewährleistet. Der Reibbelag muss aus Funktionsgründen eine axiale Beweglichkeit besitzen, damit er beim Bremsen auf den Flansch gedrückt werden kann. Eine zwangsweise Rückstellung beim Lüften der Bremse in eine neutrale Zwischenposition, in der keine Restmomente auftreten, ist nicht gegeben.

Bei der Bauart der Lamellenbremsen wurde das Trennen der Lamellen im gelüfteten Zustand bisher noch nicht zufriedenstellend gelöst, da bei allen bisher bekannten und eingesetzten Lösungsvarianten ein Restmoment auftreten kann. Die Ursache für dieses Problem liegt ebenfalls darin, dass die einzelnen Lamellen nicht genau geführt werden können und sie beim Lüften keine definierte Position einnehmen.

Berühren sich die Lamellen im Betrieb führt das zu hohen Reibmomenten, unerwünschter Erwärmung und zu erhöhtem Verschleiß. Die Problematik verschärft sich mit steigenden Drehzahlen, welche gerade für zukünftige Einsätze dieser Bremsen gefordert werden.

Die bisher verwendeten gewellten Lamellen oder Lamellen (SCHWANKL 2000A), die beim Lüften mittels Federn getrennt werden, sind weit verbreitet und werden von den Kunden auch akzeptiert, da keine besseren Lösungen verfügbar sind. Auch wurden bereits Versuche mit Magnetringsen unternommen, die in die Lamellen integriert werden¹. Dabei stehen sich jeweils gleiche Pole der Magnetkörper gegenüber, was zum Abstoßen und damit zum Trennen der Lamellen führt. Problematisch bei dieser Variante stellte sich der geringe Einbauraum und der hohe fertigungstechnische Aufwand zur Herstellung und Montage dieser Ringe dar, weshalb sich diese Lösung am Markt nicht durchsetzen konnte.

Aus diesem Grund wurde der Effekt des Bleche-Spreizers erneut aufgegriffen und im Rahmen von mehreren kreativen Lösungssuchen nach Integrationsmöglichkeiten in der FD- bzw. der Lamellenbremse gesucht. Als Einstieg in die Lösungssuche wurden die in der Konzeptdatenbank archivierte Ideen zum Einsatz dieses Effekts bei der PE-Bremse eingehend betrachtet. Aus den jeweiligen Beschreibungen dieser Lösungen sowie deren Vor- und Nachteile konnten wertvolle Informationen und zahlreiche Anregungen entnommen werden.

Da die Reibbeläge der zu trennenden Lamellen einer Lamellenbremse auf magnetisch leitenden Stahlgrundelementen aufgesetzt sind, war bereits eine wichtige Voraussetzung für den Einsatz dieses Effekts gegeben. Das Gehäuse einer Lamellenbremse besaß ebenfalls noch Bauraum zur Aufnahme mehrerer Magnetkörper.

Die generierten Lösungsvarianten wurden im Anschluss an die Lösungssuche umgehend bewertet und weiter detailliert, wobei auch die Erkenntnisse aus den Recherchen zur Magnettechnik bei der Gestaltung mit berücksichtigt worden sind.

¹ Informationen zu verschiedenen Ansätzen sind u.a. dem Abschlussbericht zum Teilprojekt B12 des SFB 117 - Leistungsverzweigung in der Antriebstechnik - zu entnehmen.

6.8.1.2.2 Aufbau von Funktionsmustern für eine FD-Bremse

Bei einer FD-Bremse sind für den Einsatz des Blechspreizeffekts noch geringe Modifikationen erforderlich, da der standardmäßig eingesetzte Reibbelag nicht aus magnetisch leitfähigem Material besteht. Um den Aufwand der Änderungen gering halten zu können, wurde auf den Reibbelag ein Stahlring aufgepresst (Abbildung 6-19).

Die Feldlinien der am Umfang verteilten Magnete verlaufen im Anker, in dem aufgepressten Stahlring und dem Flansch. Dadurch werden im Stahlring Kräfte induziert, die ein beidseitiges Abstoßen bewirken und so den Reibbelag zwischen Anker und Flansch zentrieren. Dies erfolgt berührungslos, somit verschleißfrei und funktioniert lageunabhängig.

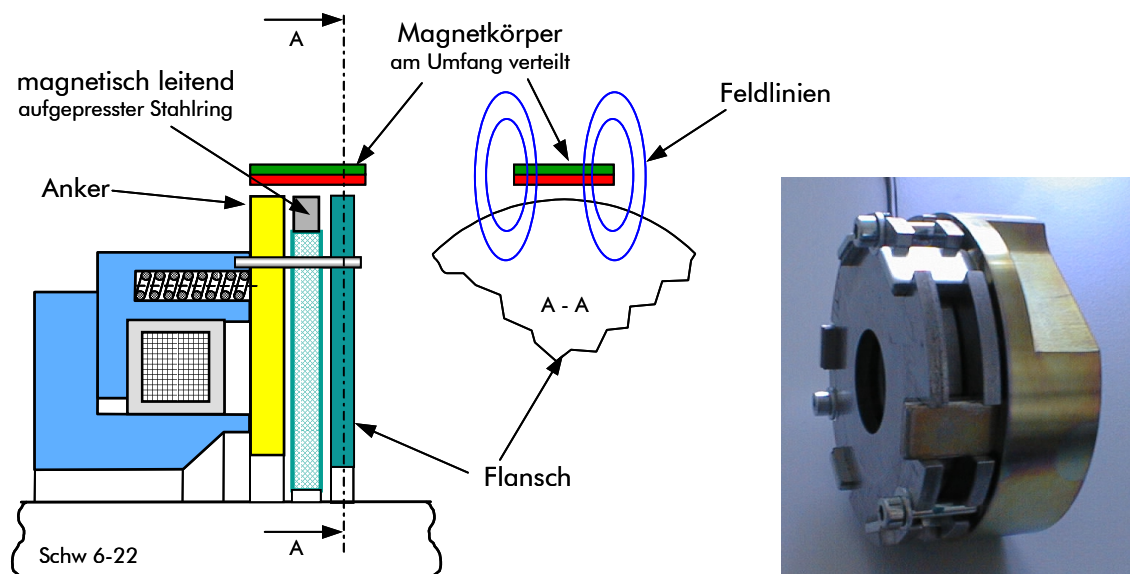


Abbildung 6-19: Konzeptskizze und Prototyp einer restmomentfreien FD-Bremse

6.8.1.2.3 Aufbau von Funktionsmustern für eine Lamellenbremse

Für die weitere Absicherung der ausgewählten Konzepte wurden verschiedene Funktionsmuster mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad angefertigt, wobei die Komplexität der Modelle von Phase zu Phase zugenommen hat.

Abbildung 6-20 zeigt ein Funktionsmuster, das für Versuchszwecke aus den Bauteilen einer Lamellenkupplung aufgebaut wurde.



Abbildung 6-20: Modell aus Standardkomponenten zur Überprüfung der Funktion

Der Aufwand für die Herstellung konnte dadurch sehr gering gehalten werden und es war nach kurzer Zeit verfügbar, d.h. es konnte als Anschauungsmodell für die weitere Lösungssuche verwendet werden. Am Umfang des Gehäuses wurden fünf Magnetkörper angebracht, die aufgrund des Bleche-Spreizer Effekts das Auseinanderspreizen der Lamellen bewirken. Dieser Effekt lies sich am Modell sehr gut nachvollziehen.

Aufgrund der positiven Ergebnisse wurde ein weiterer Prototyp erzeugt, mit dem auch erste Versuche am Prüfstand durchgeführt werden konnten (Abbildung 6-21).

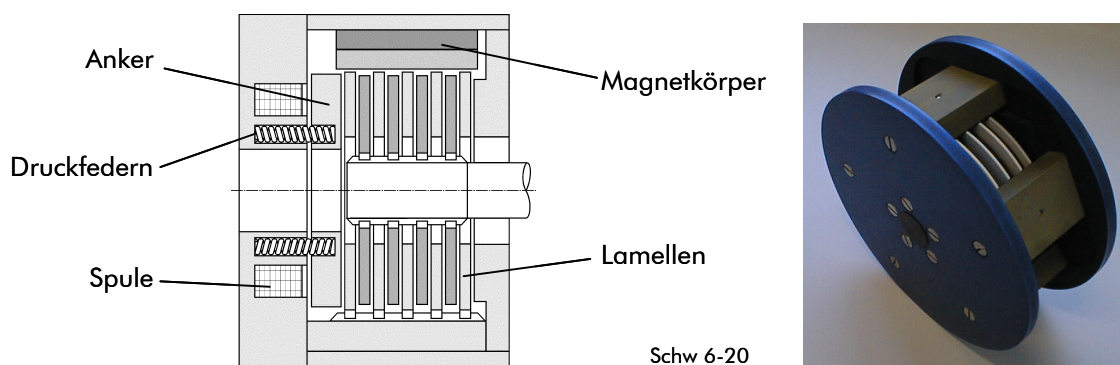


Abbildung 6-21: Prototyp einer Lamellenbremse basierend auf dem Blechspreizer-Effekt

6.8.1.2.4 Ergebnis

Beim Einsatz des Bleche-Spreizer Effekts können FD- und Lamellenbremsen realisiert werden, bei denen das Trennen der Reibbeläge bzw. der Lamellen berührungslos, somit verschleißfrei und lageunabhängig erfolgt (LINDEMANN, SCHLÜTER & SCHWANKL 2000). Weitere Vorteile ergeben sich im Bereich der Montage (keine Justage erforderlich) und im Betrieb, da dieser Mechanismus selbstregelnd und völlig wartungsfrei ist. Die Anforderung nach vollständiger Restmomentfreiheit dieser Bremsebauart wird dadurch problemlos erfüllt. Diese wichtige Hauptfunktion konnte anhand einfacher Funktionsmuster und Prototypen verifiziert werden.

6.8.1.3 Zusammenfassung und Erkenntnisse aus diesen Beispielen

Auf Basis der Idee, den Bleche-Spreizer Effekt in den elektromagnetischen Bremsen einzusetzen, wurde in mehreren kreativen Sitzungen zielgerichtet nach Lösungen gesucht, wie dies verwirklicht werden kann. Durch den Einsatz unterschiedlicher Kreativitätstechniken wurden zahlreiche Ideen generiert, die in einfachen Versuchen analysiert werden konnten.

Wegen der großen Anzahl verschiedener Lösungsvarianten war auch die Dokumentation, die ein Wiederaufgreifen einzelner Lösungsansätze zu einem späteren Zeitpunkt erlaubt, sehr wichtig. In den zahlreichen kreativen Sitzungen lies es sich nicht vermeiden, dass bereits erzeugte Ideen erneut skizziert und zur Diskussion gestellt worden sind. Wurde dies rechtzeitig erkannt, konnte auf die bereits dokumentierten Informationen zurückgegriffen werden, was zu einer deutlichen Zeitersparnis führte.

Eine bedeutende Rolle kam bei dieser Entwicklung der schnellen Verfügbarkeit von einfachen Modellen und Funktionsmustern zu, da diese wesentlich zum Verständnis beigetragen haben. Anhand der verschiedenen Modelle und Funktionsmuster konnten zahlreiche wichtige Informationen zu diesem Effekt gewonnen werden, welche für das weitere Vorgehen, z.B. die Auswahl und Bewertung und für die spätere Serienreifemachung von entscheidender Bedeutung waren.

Zur einfachen Handhabung der vielen Lösungsansätze war ein methodisches Vorgehen mit einem gestufter Bewertungsprozess zwingend erforderlich, bei dem ungeeignete Lösungen frühzeitig aussortiert wurden. Um die zur Vorauswahl und Bewertung erforderlichen Informationen aufwandsarm generieren zu können, waren aufeinander aufbauende Analysen am besten geeignet, die die benötigten Informationen mit dem jeweils erforderlichen Detaillierungsgrad bereitgestellt haben.

Die nach der Vorauswahl verbleibenden Ideen wurden gemeinsam weiterverfolgt und konnten in mehreren Produkten umgesetzt werden. Dabei zeigte sich die Notwendigkeit, im Entwicklungsprojekt durchaus mehrere Varianten weiterzuverfolgen und parallel zu detaillieren und sich nicht frühzeitig auf eine einzige Lösung zu fixieren.

6.8.2 Bremse mit flexiblen Elementen

6.8.2.1 Eingangsfragestellung und theoretische Analyse

Als Ursache der Schwankungen im Bremsmoment wurden neben Schwankungen im Reibwert auch ein unregelmäßiger Kontakt der Reibflächen von Anker und Bremse vermutet und in einer theoretischen Betrachtung eingehend untersucht. Dieser unregelmäßige Kontakt kann durch Schwingungen im System (Tellern des Ankers) hervorgerufen werden oder durch Unebenheiten auf den Reibflächen angeregt werden, die durch lokale Verschweißungen infolge Temperaturüberhöhungen entstehen. Auch können Verformungen einzelner Bauteile infolge der Wärmeeinwirkung beim Bremsen auftreten.

Ein weiteres Problem, dass durch Einbringung einer Flexibilität ins System gelöst werden kann, ist die Optimierung des Einlaufprozesses, da sich im günstigsten Fall ein Zurücksetzen des Innenpols vermeiden lässt. Ist der Anker flexibel, steht er mit beiden Polen von Anfang an in Reibkontakt, was zu einem höheren Bremsmoment führt.

6.8.2.2 Zielgerichtete Lösungssuche

Durch die Anwendung verschiedener Kreativitätstechniken konnten in kurzer Zeit weitere Lösungen generiert werden. Im Rahmen der Präsentation einzelner Lösungsvorschläge wurden wiederum Optimierungen vorgenommen, sowie aus einzelnen Teillösungen neue Gesamtkonzepte zusammengestellt. Diese Lösungen wurden diskutiert und anhand einer ersten Bewertung vorausgewählt. Dabei konnten verschiedene Möglichkeiten identifiziert und in Kategorien zusammengefasst werden, mit denen eine Flexibilität im System erzielt werden kann (Abbildung 6-22).

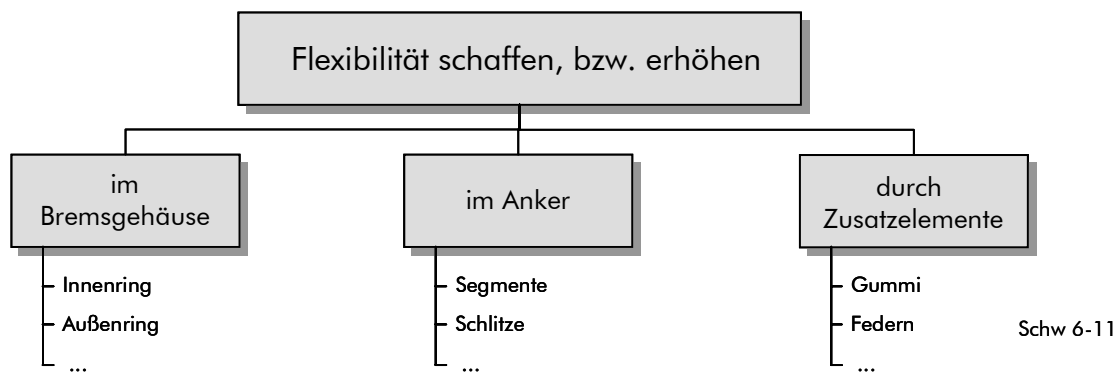


Abbildung 6-22: Lösungsmöglichkeiten zur flexiblen Gestaltung des Systems

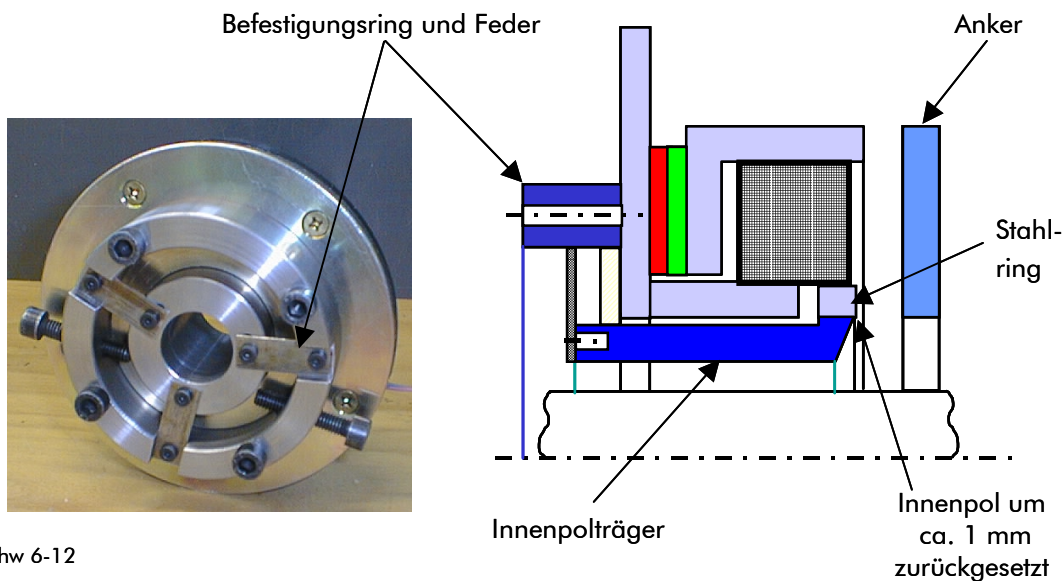
Basierend auf dieser Klassifizierung, die auch im Ideenspeicher und der Konzeptdatenbank abgebildet worden ist, wurden durch Variation der Wirkstruktur (EHRENSPIEL 1995) weitere Lösungen abgeleitet, die in kreativen Sitzungen zur Lösungssuche erneut aufgegriffen wurden. Dadurch konnte der Lösungsraum kontinuierlich erweitert werden.

Diese unterschiedlichen Kategorien von Lösungen wurden getrennt voneinander bearbeitet.

6.8.2.3 Flexibilität in der Bremse

Eine Flexibilität in der Bremse lässt sich durch eine Verschieblichkeit der beiden Pole gegeneinander realisieren. Daher wurde nach Möglichkeiten gesucht, wobei stets die Anforderungen, die aus der magnetischen Anziehung resultieren (geschlossener Kreis, magnetisch leitende Materialien) zu berücksichtigen waren.

Letztendlich wurden mehrere Alternativen generiert, bei denen entweder den Außenpol oder den Innenpol eine Bewegung in axialer Richtung durchführen konnte. Basierend auf diesen Konzepten wurde eine Bewertung durchgeführt, bei der in erster Linie der Aufwand für die Fertigung und Montage betrachtet worden ist. Dazu wurden jeweils geeignet erscheinende Lösungsvarianten für einen beweglichen Außen- bzw. Innenpol von Team gemeinsam weiter detailliert, bis fundierte Aussagen über deren Herstellung getroffen werden konnten. Aufgrund des einfacheren und kompakteren Aufbaus wurde die Variante mit federndem Innenpol bevorzugt und in Form eines Prototypen aufgebaut, den nachfolgende Abbildung zeigt.



Schw 6-12

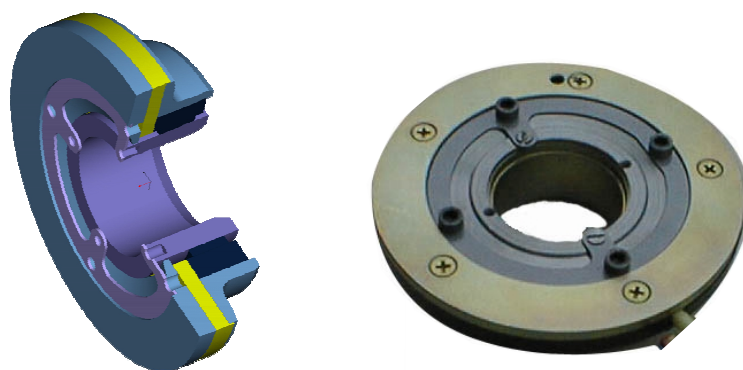
Abbildung 6-23: Erster Prototyp mit federndem Innenpol

Bei dieser Lösungsvariante wurde der Innenpol einer serienmäßigen PE-Bremse um ca. 10mm abgedreht und durch einen axial beweglichen Stahlring ersetzt, der auf einem federnd gelagerten Innenpolträger aufgepresst worden ist. Dieser Stahlring wurde um ca. 1mm nach innen verschoben, so dass beim Anziehen des Ankers dieser erst am Außenring zum Anliegen kommt. Durch die am Übergang Stahlring-Anker wirkenden Magnetkräfte wird der Stahlring und Innenpolträger vom Anker – entgegen der Federkraft – angezogen und der Reibkontakt hergestellt. Beim Lüften der Bremse bewegen die Federn den Stahlring und Innenpolträger wieder zurück in die Ausgangslage und der Anker kann restmomentfrei rotieren.

6.8.2.3.1 Erprobung im Versuch

Da bei der konstruktiven Gestaltung dieses Prototypen auf vorhandene Bauteile zurückgegriffen wurde und die Anschlussmaße für die Adaption im vorhandenen Bremsenprüfstand bereits mit berücksichtigt worden sind, konnten sofort nach dessen Fertigstellung die ersten Messungen durchgeführt werden. Die Herstellung verlief ebenfalls problemlos, da Mitarbeiter aus der Fertigung bei der konstruktiven Gestaltung mitgewirkt haben und dabei nur Materialien eingesetzt worden sind, die bereits im Lager verfügbar waren und nicht erst zeitaufwendig beschafft werden mussten. Auch wurden weitgehend Komponenten von bereits vorhandenen Bremsen verwendet und entsprechend modifiziert. Dabei wurde das im Vorfeld festgelegte Belastungsspektrum durchfahren, was einen Vergleich dieser Bremse mit den bisher getesteten Varianten erlaubt hat.

Aufgrund der sehr guten Messergebnisse, sowohl in Hinblick auf die Höhe als auch auf die geringe Schwankungsbreite des Bremsmoments, wurde dieses Konzept für die weitere Umsetzung ausgewählt und ein weiterer seriennaher Prototyp erstellt (Abbildung 6-24).



Schw 6-15

Abbildung 6-24: CAD-Modell und seriennaher Prototyp mit federndem Innenpol

6.8.2.3.2 Vorteile

Neben der deutlichen Reduzierung der Momentschwankungen konnte auch der zeitaufwendige Einlaufprozess entscheidend verkürzt und ein sofortiges Tragen beider Pole realisiert werden. Somit sind von Beginn an die Nennmomente der Bremse verfügbar. Durch die federnde Lagerung des Innenpols entsteht zudem die Möglichkeit eines Toleranzausgleich für Fertigungs- und Montageungenauigkeiten sowie für ungleichmäßigen Verschleiß am Innen- und Außenpol.

6.8.2.3.3 Zusammenfassung

Durch die frühzeitige Aufwandsabschätzung für die Fertigung und Montage und die gemeinsame konstruktive Auslegung des ersten Prototypen konnte aufwandsarm und in kurzer Zeit Versuchshardware geschaffen werden. Diese Versuche ließen das hohe Potenzial dieser Lösung sofort erkennen, da die Messwerte deutlich besser waren als bei den bisher getesteten Bremsen. Die Erkenntnisse, die aus dem Aufbau und der Erprobung des ersten Prototypen gewonnen werden konnten, flossen bei der weiteren Entwicklung und dem Aufbau des seriennahen Prototypen mit ein.

Damit konnte in kurzer Zeit eine neue Bremse entwickelt werden, die eine deutliche Verbesserung gegenüber herkömmlichen Bauarten aufweist und nur geringfügigen Mehraufwand in der Fertigung¹ und Montage (ein zusätzliches Bauteil mit Befestigungsoperation) verursacht.

6.8.2.4 Flexibilität im Anker

Parallel zur vorher beschriebenen Variante wurde auch der flexible Anker weiter bearbeitet und verschiedene Lösungen generiert. Ein flexibler Anker kann sich trotz Unebenheiten den Polen der Bremse besser anpassen. Damit kann ein einseitiges Abheben des Ankers sicher verhindert und ein Einbruch des Bremsmoments vermieden werden.

Zur Erzeugung der Flexibilität im Anker wurden wiederum verschiedene Ansätze verfolgt und in Form von Funktionsmustern aufgebaut. Zum einen wurden serienmäßige Anker mit

¹ Der Mehraufwand für die Fertigung der Feder kann im Serieneinsatz vermutlich durch die einfachere Geometrie der Gehäusebauteile kompensiert werden, da das Zerspanvolumen deutlich geringer ist.

Schlitzten versehen, wobei deren Tiefe und Breite, Zahl und Anordnung variiert wurde, zum anderen wurden Anker aus Blechringen aufgebaut, die miteinander vernietet worden sind. Hier wurde die Zahl der Verbindungen sowie die Dicke der einzelnen Ringe variiert.

6.8.2.4.1 Erprobung im Versuch

Die gefertigten Anker wurden in mehreren Versuchsreihen getestet und die Messwerte ausgewertet. Dabei wurden die Erkenntnisse aus der statistischen Versuchsplanung berücksichtigt, um mit einer geringen Anzahl von Versuchen den maximal möglichen Informationsgewinn erzielen zu können.

6.8.2.4.2 Zusammenfassung

Die unterschiedlichen Varianten haben erwartungsgemäß zu unterschiedlichen Versuchsergebnissen geführt, wobei in einigen Fällen deutliche Verbesserungen in der Momentcharakteristik erzielt werden konnten. Über den flexiblen Spielausgleich hinaus konnte eine höhere thermische Belastung des Ankers realisiert werden, da die Schlitzlöcher einen Ventilationseffekt und somit eine bessere Wärmeabfuhr bewirken. Aus den Versuchsergebnissen konnten die Auswirkungen der Variationen deutlich abgelesen und so wichtige Erkenntnisse für das weitere Vorgehen gewonnen werden. Beispielsweise konnte aus den Messungen von Ankern mit unterschiedlich tiefen Schlitzlöchern auf eine ideale Schlitztiefe geschlossen werden¹.

Im Folgenden wurden geeignet erscheinende Anker weiter detailliert, wobei der Fokus auf der Optimierung der Fertigung und der erzielbaren Lebensdauer lag. Dabei wurde auch noch weitere Lösungsvarianten skizziert, bei denen Anker im Tiefziehverfahren anzufertigen sind. Die dadurch entstehenden flexiblen Segmente sind voneinander entkoppelt und können so alle Unebenheiten am Reibpartner federnd kompensieren². Zur abschließenden Verifizierung der Funktion ausgewählter Lösungsvarianten wurden erste Abschätzungen mittels einfachen FEM-Analysen sowie Versuche zur Dauererprobung durchgeführt.

6.8.2.5 Abschließende Beurteilung dieser Lösungsgruppe

Dieser Lösungsansatz hat ebenfalls zu sehr guten Ergebnissen geführt. Dabei waren die Informationen, die Eingangspunkt im Rahmen von Recherchen und verschiedensten Analysen erzeugt worden sind – sowohl orientierende Versuche mit einfachen Modellen als auch die Erprobung von bestehenden Bremsen am Prüfstand – ausschlaggebend für das Verständnis der Problematik. Erst als diese durchdrungen war, konnte durch das zielgerichtete Vorgehen mit orientierender Lösungssuche und mehreren aufeinander aufbauenden Analysen neue und innovative Bremsvarianten erstellt werden, die den Anforderungen genügen und hohes Potenzial für den Kunden und das Unternehmen aufweisen. Insgesamt hielt sich der Aufwand für diese Entwicklung in Grenzen, da Schritt für Schritt mehr Informationen zusammengetragen worden sind, die für die weiteren Tätigkeiten sehr wichtig waren. So konnte rasch auf Probleme reagiert und optimale Lösungen generiert werden.

¹ Der Optimierungsvorgang verlief analog bei der Schlitzbreite.

² Aufgrund des hohen fertigungstechnischen Aufwands wurde von dieser Bauform kein Funktionsmuster erstellt, sondern mit rechnerbasierenden Analysen gearbeitet.

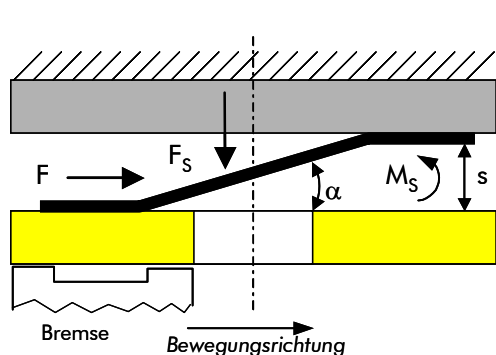
6.8.3 Servoanker

6.8.3.1 Analyse

Die Auswertung von Messreihen, die im Rahmen der Dauererprobung aufgezeichnet worden sind, hat einen drehrichtungsabhängigen Unterschied im Bremsmomentverlauf sichtbar gemacht. Zur Erklärung dieses nicht unerheblichen Momentunterschieds wurde ein abstraktes Modell skizziert (Abbildung 6-25), an dem die auftretenden Effekte analysiert werden konnten.

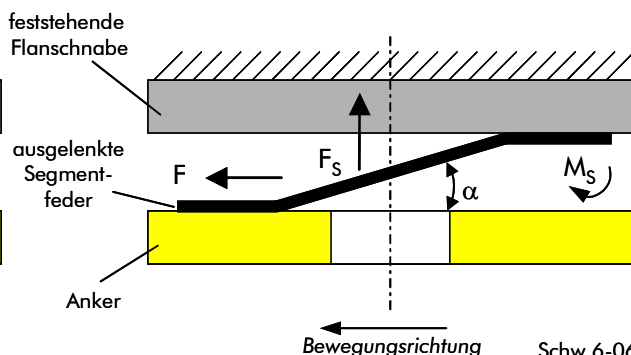
I. Selbsthelfend

Verstärkung der Anpresskraft
um den Betrag von F_S



II. Selbstschadend

Minderung der Anpresskraft
um den Betrag von F_S



Schw 6-06

Abbildung 6-25: Theoretische Betrachtung des Rechts-/Links Unterschieds im Bremsmoment

Im Falle einer Bremsung wird der Anker durch die Magnetkräfte angezogen und auf die Pole der Bremse gepresst. Dies führt zu einer Auslenkung der ursprünglich planen aber elastischen Segmentfedern um den Betrag s des Luftspalts. Die dabei auftretenden Bremskräfte F werden über die Segmentfedern in die Flanschnabe eingeleitet und führen zum Abbremsen der Bewegung. Je nach Drehrichtung kommt es durch die Anordnung der Segmentfedern zu einem selbsthelfenden bzw. selbstschadenden Effekt. Die Kraft F erzeugt aufgrund der wirksamen Hebellängen und der Auslenkung um den Winkel α eine Kraft F_S , die zu einer Erhöhung (+) bzw. einer Reduzierung (-) der Anpresskraft führt. Im günstigsten Fall wird der Anker mit einer wesentlich höheren Kraft angepresst, als durch die Magnetkräfte alleine möglich wäre.

$$F_{\text{Anpresskraft}} = F_{\text{Magnetkraft}} \pm F_S$$

Dieser basierend auf den Messergebnissen theoretisch analysierte Servoeffekt¹ konnte durch einen orientierenden Versuch nachgewiesen werden, bei dem die Segmentfedern durch Schraubenfedern ersetzt wurden. Bei sonst identischen Randbedingungen konnte ein von der Drehrichtung unabhängiges Moment gemessen werden, das in etwa dem Mittel aus den vorher bestimmten Maximal- und Minimalwerten entsprach. Dieses Ergebnis entsprach auch den

¹ In Anlehnung an die aus dem PKW bekannte Servobremse.

ursprünglichen Vermutungen, da bei Schraubenfedern geometriebedingt kein Servoeffekt auftreten kann.

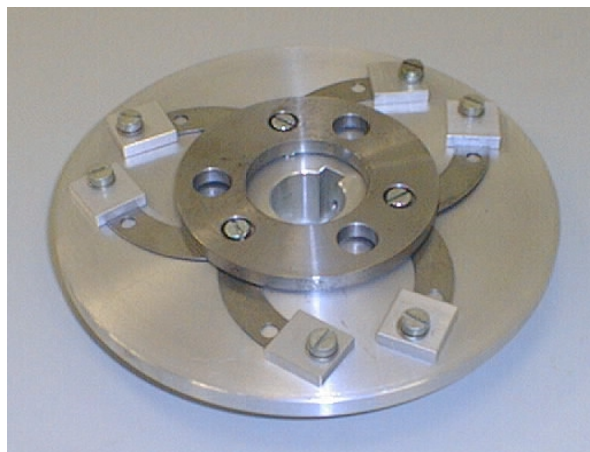
6.8.3.2 Zielgerichtete Lösungssuche

Basierend auf diesen theoretischen Überlegungen und den Ergebnissen des orientierenden Versuchs wurde eine zielgerichtete Lösungssuche durchgeführt, bei der verschiedene Möglichkeiten erarbeitet wurden, den selbsthelfenden Effekt in beiden Richtungen zu realisieren, und so ein deutlich höheres Moment bei gleichem Magnetvolumen zu erzielen. Dazu wurden verschiedene Federgeometrien und Einspannvarianten skizziert und diskutiert.

Einer Anordnung mit am Flansch beidseitig eingespannten Federn, die in der Mitte am Anker befestigt sind, wurden bei der Vorauswahl die größten Realisierungschancen eingeräumt. Bevor die Detaillierung dieses Konzepts erfolgt ist, wurde ein weiterer orientierender Versuch durchgeführt.

6.8.3.3 Nachweis der Funktion im orientierenden Versuch

Dazu wurden sechs serienmäßige Segmentfedern jeweils paarweise an einem ebenfalls serienmäßigen Anker befestigt (Abbildung 6-26). Zur Befestigung der Federenden an der Flanschnabe wurden Federhalter gefertigt, die die Bewegung der Feder in einer Richtung durch einen festen Anschlag fixieren und in der anderen Richtung freigeben. Dadurch wird eine Verstärkung der Anpresskraft in beiden Richtungen erzielt, was durch den Versuch auch nachgewiesen werden konnte.



Schw 6-08

Abbildung 6-26: Funktionsmuster aus Standardkomponenten für orientierenden Versuch

6.8.3.4 Prototyp für die Dauererprobung

Alle bisherigen Erkenntnisse flossen in die Umsetzung dieser Lösungsvariante mit ein und führten zu der in Abbildung 6-27 dargestellten optimierten Federgeometrie, mit der ein selbsthelfender Effekt in beiden Drehrichtungen realisiert worden ist. Dazu bedarf es lediglich einer geeigneten Befestigung der Federenden an der Flanschnabe, die eine eingeschränkte Beweglichkeit zulassen. Mit Hilfe von FEM-Berechnungen und abschließenden Versuchen,

bei denen die Dauerfestigkeit nachgeprüft wurde, konnte die Eignung dieser Lösung für einen Einsatz in der Serie nachgewiesen werden.

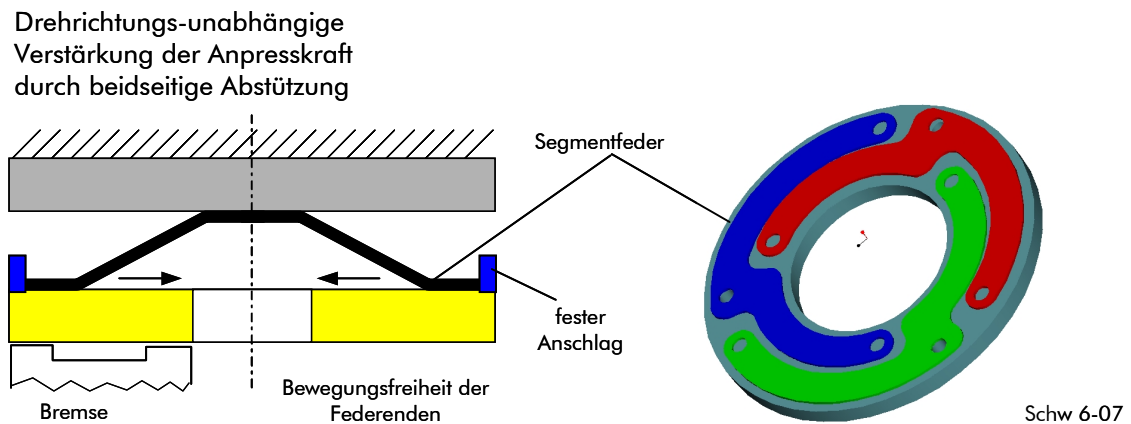


Abbildung 6-27: Prinzipskizze zur Verifikation und CAD-Modell eines Anker

6.8.3.5 Zusammenfassung und Erkenntnis aus diesem Beispiel

Dieses Beispiel zeigt, wie eine Problematik, die in der Anwendung der Bremse und in der versuchstechnischen Erprobung erkannt wurde, zielgerichtet gelöst worden ist. Einen wesentlichen Beitrag dazu haben die einfachen graphischen Modelle geleistet, anhand deren die auftretenden Effekte analysiert worden sind. Dabei wurde auch der zugrundeliegende Mechanismus der Selbstverstärkung transparent. In einer zielgerichteten Lösungssuche konnte dieser Mechanismus derart optimiert werden, dass eine Verstärkung der Bremskraft nun in beiden Richtungen möglich ist. Der Nachweis dieses Effekts konnte anhand einfacher orientierender Versuche gebracht werden. Die Erkenntnisse¹ aus diesen Versuchen flossen umgehend in die weitere Detaillierung mit ein, Schwachstellen konnten so frühzeitig beseitigt und positive Effekte weiter ausgebaut werden. Dies hat letztendlich zu einem optimierten System geführt, was auch die abschließend durchgeführte FEM-Analyse und die Dauererprobung gezeigt hat.

6.8.4 Kombination von verschiedenen Teillösungen zu Gesamtsystemen

Durch die zahlreichen Lösungssuchen mit unterschiedlichen Eingangsfragestellungen, die während des gesamten Entwicklungsprojekts durchgeführt worden sind, wurde eine Vielzahl an Lösungen generiert und mit Hilfe der Dokumentationswerkzeuge archiviert.

Diese Lösungen führten zum einen zu neuen Gesamtkonzepten, zum anderen zu Optimierungen für einzelne Funktionen und Bauteile der betrachteten Bremse. Dabei empfiehlt es sich, verschiedene dieser Optimierungsansätze in einem Gesamtsystem zu integrieren, und so eine kundengerechtes Produkt anbieten zu können, das die Anforderungen in allen Bereichen erfüllt bzw. sogar übertrifft. Unterstützung bei der Kombination und umgehenden Verifikation im Versuch bot hier insbesondere die Verwendung eines hardwarebasierten Morphologischen

¹ Erkenntnisse in Bezug auf die optimale Gestaltung der Feder.

Kastens, der anstelle von skizzierten Lösungsvarianten die unterschiedlichen Funktionsmuster und Prototypen enthält.

So können aus Einzelkomponenten zusammengestellte Gesamtsysteme sofort im Anschluss am Prüfstand erprobt und Aussagen über das individuelle Zusammenwirken getroffen werden¹. Damit lassen sich in kurzer Zeit eine große Menge an unterschiedlichen Gesamtsystemen im Versuch erproben, wobei wichtige Informationen für die abschließende Bewertung und Auswahl der zu realisierenden Lösungen gesammelt werden können. Dies führt zu einer erhöhten Entscheidungssicherheit und senkt das Risiko von zeit- und kostenintensiven Änderungen in späteren Phasen der Produkterstellung.

Tabelle 6-4: Beispiel für optimiertes Gesamtsystem

Bauteil	Kennzeichen	Vorteile	Analyse
Magnetkörper	Optimierte Anordnung der Magnete mit Rückschlussplatten in Sandwichbauweise	größere Magnetkraft bei gleichem Magnetvolumen	Ergebnis aus der Recherche und aus orientierenden Versuchen
Gehäuse mit Innen- und Außenring	Schlitze im Gehäuse zur Verbesserung der Luftzirkulation und somit der Wärmeableitung	geringere Wärmebelastung, geringer Schwächung der Magnetkraft	aus theoretischen Überlegungen
	Optimierung der Polgeometrie	größere Anziehungskraft	FEM-Analyse des Magnetkraftverlaufs
Spule	Regulierung der Spulenspannung	geringerer Energieverbrauch	Theoretische Überlegungen, Verifizierung im Versuch
Anker	Anker mit alternativer Oberflächenbehandlung bzw. Oberflächenstruktur	günstigere Reibwerte	Ergebnis der Recherche und orientierender Versuche sowie aus der Dauererprobung
Segmentfeder	Neue Federgeometrie mit beidseitigem Servoeffekt	beidseitige Kraftverstärkung	theoretische Analyse, kreative Lösungssuche, FEM-Analyse, Dauererprobung

Dieses Gesamtsystem steht als Beispiel für eine Vielzahl von weiteren, die sich aus den archivierten Lösungen kombinieren lassen. Somit stellt diese umfangreiche Sammlung einen großen Wert für das Unternehmen dar, gerade im Hinblick auf die Entwicklung kundenindividueller Produkte (PINE 1999), deren Bedeutung mehr und mehr zunimmt.

Viele dieser Lösungen wurden durch einfache Analysen und Erprobungen im Versuchsfeld bereits umfassend abgesichert und können ohne großen zusätzlichen Aufwand für einen Serieneinsatz vorbereitet werden. Da sämtliche Informationen zu den jeweiligen Lösungen mit dokumentiert worden sind, können diese Lösungen auch zu einem späteren Zeitpunkt problemlos wieder aufgegriffen und umgesetzt werden.

¹ Eine Kombination von verschiedenen Teilfunktionsträgern ist nicht bei allen Produktbeispielen möglich. Gerade bei hochintegrierten Systemen wird die hier mögliche Trennung in Einzelfunktionen nicht realisierbar sein. Dennoch konnte dieses Vorgehen in mehreren Projekten erfolgreich angewendet werden.

6.8.5 Bewertung der Lösungen

Das Einsatzspektrum der Bremsen ist sehr groß, daher werden einzelne Funktionen der Bremse von unterschiedlichen Anwendern verschieden stark gewichtet und die Anforderungen abweichend formuliert. Aus diesem Grunde wurden mehrere verschiedenartige Lösungsvarianten zur Umsetzung in Serienprodukte ausgewählt, wobei neben der Funktions- und Anforderungserfüllung in erster Linie wirtschaftliche Erwägungen betrachtet worden sind.

6.9 Zusammenfassung

Das hier beschriebene Entwicklungsprojekt eignete sich besonders für die Anwendung des Erweiterten Vorgehensmodells. Auf der einen Seite sollte das bestehende Produkt deutlich verbessert und neue innovative Lösungen gefunden werden, auf der anderen Seite war die Einarbeitung in die komplexe Thematik für ein Teil der Mitarbeiter erforderlich.

6.9.1 Vorgehen

Durch die intensive Analysephase, bei der die Anforderungen an die neu zu entwickelnden Produkte eingehend untersucht wurden, konnte bei allen Teammitgliedern ein umfassendes Verständnis für die Problematik und die relevanten Zusammenhänge erzeugt werden.

Besonders aussagekräftig war die Beurteilung der Anforderungen hinsichtlich ihrer technischen Realisierbarkeit und ihrer Bedeutung für das Gesamtsystem. Daraus konnte der vorrangige Handlungsbedarf abgeleitet und Problemstellen frühzeitig erkannt werden, was eine äußerst zielführende Arbeitsweise unterstützt hat. Durch die umfangreichen Recherchen und die Schwachstellenanalysen vorhandener Produkte konnten ebenfalls wertvolle Informationen zusammengetragen und relevante Parameter identifiziert werden, die einen wesentlichen Einfluss auf die zu entwickelnden Produkte aufwiesen. Bei der Bearbeitung dieser Aufgabenpakete wurde keine festgelegte Reihenfolge eingehalten. Vielmehr wurde situativ auf Basis offener Fragen und gewonnener Erkenntnisse jeweils kurzfristig der nächste Schritt festgelegt und ausgeführt. Oftmals kam es dabei auch zu Iterationen, beispielsweise bei der Funktionsmodellierung des Systems, da hier neue Erkenntnisse stets aktualisiert wurden und die Funktionsmodellierung mehrfach im Entwicklungsprozess angewendet worden ist.

Dieses iterative Vorgehen wurde auch bei der Suche nach Lösungen praktiziert. In eine Vielzahl von kreativen Sitzungen wurde unter Anwendung verschiedener Methoden allgemein nach Lösungen für innovative Gesamtsysteme gesucht oder zielgerichtet Varianten zur Optimierung von Teilfunktionen erarbeitet. Äußerst vorteilhaft waren die orientierenden Lösungssuchen in den frühen Phasen der Entwicklung, die in erster Linie der Informationsbeschaffung gedient haben. Dabei kommen die Vorteile der flexiblen Gestaltung des Erweiterten Vorgehensmodells zum Tragen, dass derartige Abweichungen¹ vom Standardprozess begünstigt¹.

¹ Sowohl Vor- als auch Rücksprünge, d.h. Überspringen bzw. erneutes Durchlaufen eines Arbeitsschrittes.

6.9.2 Analysen und orientierende Versuche

Aufgrund des Neuheitsgrades vieler Lösungen waren umfangreiche Analysen erforderlich, anhand derer Aussagen über das Funktionsverhalten getroffen und das weitere Vorgehen festgelegt werden konnte. Zur Unterstützung dieser Analysen kamen eine Reihe von Modellen zum Einsatz, vom einfachen Verifikationsmodell in Form einer Skizze, über diverse CAD-Modelle bis zu aufwendigen Funktionsmustern und Prototypen. Dabei wurde stets versucht, die Modelle einfach zu gestalten, um eine aufwandsarme Herstellung zu ermöglichen. Somit waren die Modelle schnell verfügbar und wertvolle Informationen konnten bereits frühzeitig erzeugt werden. Diese schnelle Verfügbarkeit förderte ebenfalls ein zielgerichtetes und effizientes Vorgehen, da eine erste, aussagekräftige Beurteilung der Lösungsvarianten in den meisten Fällen bereits anhand einfacher Prinzipversuche durchgeführt werden konnte.

Analog zur bedarfsgerechten Auswahl von Analysemethoden wurde bereits im Vorfeld abgeschätzt, welches Modell die größte Aussagekraft im Verhältnis zum Erstellungsaufwand besitzt. Der Einsatz von Modellen, mit denen Teilfunktionen abgesichert werden konnten, unterstütze dabei die einfache und schnelle Anfertigung der Modelle. Ebenso wurden unterschiedlich detaillierte Modelle eingesetzt – von der abstrakten mathematischen Beschreibung bis zum seriennahen Prototypen – und die Modellart (Rechnermodell, Hardwaremodell aus unterschiedlichsten Materialien) problemspezifisch ausgewählt.

In aufeinander aufbauende Analysen wurde die Funktionserfüllung ausgewählter Lösungsvarianten untersucht. Entsprechend der Zunahme der zur Verfügung stehenden Informationsmenge wurden die Analysen von Schritt zu Schritt detaillierter. In den frühen Phasen wurden erste Informationen anhand einfacher Funktionsmuster generiert, später wurden umfangreichere Analysen in Form von aufwendigeren Versuchen durchgeführt.

Dies erlaubte die aufwandsarme Überprüfung einer Vielzahl unterschiedlicher Lösungsvarianten in kurzer Zeit und lieferte wichtige Daten für die Vorauswahl. Bereits bei der Planung dieser umfangreicheren Analysen wurden die Ergebnisse der vorausgegangenen, orientierenden Analysen berücksichtigt.

Zur Überprüfung einzelner Parameter und zur Sicherstellung der Vergleichbarkeit der Analyseergebnisse wurde frühzeitig ein standardisiertes Versuchsprogramm festgelegt. Dieses Versuchsprogramm bot wichtige Unterstützung bei der Planung und Durchführung von Analysen sowie der Herstellung von Funktionsmustern und Prototypen, da von Anfang an bekannt war, welche Eigenschaften überprüft und welche Randbedingungen beachtet werden müssen. Zur theoretischen Untersuchung verschiedener Lösungsvarianten diente ein Berechnungswerkzeug, das ebenfalls im Rahmen dieses Projekts entwickelt worden ist. Durch den flexiblen Aufbau konnte es vielfältig eingesetzt werden, womit auch der Erstellungsaufwand gerechtfertigt war.

¹ Z.B. Lösungssuche – orientierende Analyse – Lösungssuche; theoretische Betrachtung – Lösungssuche – Funktionsmodellierung.

6.9.3 Methoden

Zur Unterstützung sämtlicher Tätigkeiten wurden verschiedene Methoden und Hilfsmittel eingesetzt. Aufgrund des häufigen Einsatzes von unterschiedlichen Methoden konnten wertvolle Erfahrungen gewonnen werden, die eine Beurteilung der Eignung einzelner Methoden in Bezug auf verschiedene Fragestellungen erlaubt hat. Darüber hinaus konnte der mit der Anwendung einer Methode einhergehende Aufwand sowie die Aussagekraft der Ergebnisse abgeschätzt werden. Unterstützung bei der Auswahl von Methoden bot die Analysemethodenbank. Sie hat alle wesentlichen Informationen sowie erforderliche Hilfsmittel wie Formulare oder Checklisten zur Verfügung gestellt. Individuelle Erfahrungen aus der Anwendung einzelner Methoden sowie subjektive Beurteilungen wurden in der Analysedatenbank vermerkt und sind somit auch für andere Anwender und einen späteren Einsatz der jeweiligen Methode verfügbar. Damit konnte ein unternehmensweiter Wissensspeicher zum Thema Methoden und Hilfsmittel aufgebaut werden, der auch für andere Projekte einen großen Wert besitzt.

In folgender Tabelle sind häufig eingesetzte Methoden und Hilfsmittel sowie die zur Unterstützung verwendeten Modellarten entsprechend einzelner Teilschritte des Erweiterten Vorgehensmodells aufgelistet.

Tabelle 6-5: Eingesetzten Methoden, Hilfsmittel und Modelle

	Methoden, Hilfsmittel	Modelle	Kommentar
Lösungssuche	Suche nach bekannten Lösungen, Bionik, Brainstorming, Methode 6-3-5, Galeriemethode, TRIZ	vorhandene Bauteile, Skizzen, Baukastenmodelle, Funktionsmuster, Prototypen, Produkte des Wettbewerbs und aus anderen technischen Bereichen	Die eingesetzten Modelle waren sehr wertvoll bei der Unterstützung der Lösungssuche. Durch einen abwechselnden Einsatz unterschiedlicher Kreativitätsmethoden konnten deren jeweilige Vorteile gut zur Geltung kommen.
orientierende Analyse, Informationsbeschaffung	orientierende Versuche, Versuchsplanung allgemein, Berechnungen, einfache FEM-Berechnungen	graphische Modelle, Modelle für Magnetismus, vorhandene Bremsen, einfache Funktionsmuster, Teilfunktionsträger, CAD-Modelle	Die schnelle Verfügbarkeit einfacher Modelle war von entscheidender Bedeutung, da Informationen umgehend generiert werden konnten, die für das weitere Vorgehen sehr wichtig waren.
abschließende Analyse	FEM-Berechnungen Versuche am Prototypen Dauerversuche, Lebensdauerversuche, Simulationen, statistische Versuchsplanung	detaillierte Funktionsmuster, Prototypen, CAD-Modelle	Aufgrund des höheren Anspruchs an die generierten Informationen waren aufwendigere Modelle und aufwendigere Analysen erforderlich. Vorteilhaft erwies sich die Anwendung aufeinander aufbauender Analysemethoden
Bewertung	Vorauswahlliste, Punktbewertung, Nutzwertanalyse		Da die Bewertungskriterien bereits im Vorfeld festgelegt worden sind, konnten sie stets im Blickfeld gehalten werden, was eine zielgerichtete Arbeitsweise begünstigt hat.

Da im Verlauf des gesamten Projekts sehr viele Workshops durchgeführt werden mussten, konnte das flexible Workshopkonzept zur Unterstützung der Planung und Durchführung eingesetzt werden. Gerade das hier beschriebene flexible Vorgehen lässt eine detaillierte Planung einzelner Workshops nicht zu. Oftmals wird der weitere Ablauf auf Basis der jeweils vorliegenden Informationen bzw. zu klärenden Fragestellungen situativ festgelegt.

6.9.4 Werkzeuge zur Unterstützung der Dokumentation

Auch in diesem Projekt kam der projektbegleitenden Dokumentation eine entscheidende Bedeutung zu. Bereits in den frühen Phasen wurde eine große Menge an Informationen zusammengetragen und generiert, die ohne geeignete Dokumentationshilfsmittel nicht mehr gehandhabt und überblickt werden kann. Beginnend in der Phase der intensiven Aufgabenklärung wurde das Rechnerwerkzeug Ideenspeicher eingesetzt, dessen Struktur anhand der vorliegenden Randbedingungen festgelegt und im Laufe des Projekts entsprechend angepasst worden ist.

Durch die umfassende Lösungssuche war auch eine geeignete Archivierung sämtlicher Lösungen erforderlich. Da sehr häufig nach Lösungen gesucht wurde und sich die dabei behandelten Fragestellungen oftmals nur geringfügig unterschieden haben, war es unvermeidlich, dass Lösungen mehrfach skizziert und diskutiert worden sind. Hier kamen die Vorteile der umfangreichen Dokumentation zum Tragen, da in diesem Fall auf bereits vorhandene Informationen zurückgegriffen werden konnte und so aufwendige Mehrarbeit vermeidbar war. Neben dem Ideenformular wurde auch die *Konzeptdatenbank* eingesetzt. Deren Suchfunktionen unterstützen das Auffinden einzelner Lösungen und die abschließende Kombination von Teillösungen zu Gesamtsystemen.

Im Verlaufe des Projekts konnte eine Fülle unterschiedlicher Lösungen generiert werden. Mehrere ausgewählte Optimierungsansätze sowie Lösungen für Gesamtsysteme sind bereits erfolgreich umgesetzt worden. Im *Ideenspeicher* und der *Konzeptdatenbank* befinden sich aber noch zahlreiche weitere Lösungen, die großes Innovationspotenzial aufweisen. Diese wurden nur aus Zeitgründen zurückgestellt und können in zukünftigen Produkten verwirklicht werden.

In diesem und in einer Vielzahl weitere Projekte (Kapitel 9.2) konnte das im Rahmen dieser Arbeit definierte Erweiterte Vorgehensmodell erfolgreich angewendet werden. Entscheidend waren dabei die Intensivierung der Tätigkeiten in den frühen Phasen und die große Flexibilität im Vorgehen. Da die meisten der bearbeiteten Aufgabenstellungen aus dem industriellen Umfeld stammen bzw. gemeinsam mit Unternehmen bearbeitet worden sind, konnte auch die industrielle Praxistauglichkeit nachgewiesen werden und den Projektpartnern die zugrunde liegenden Gedanken vermittelt werden.

7 Zusammenfassung und Ausblick

7.1 Überblick und Ergebnisse

Der Entwicklung innovativer Produkte muss zunehmend eine höhere Bedeutung beigemessen werden. Zum einen, um auf die Forderungen und Wünsche der Kunden nach neuen oder verbesserten Funktionen angemessen zu reagieren und zum anderen, um sich von den Produkten der Konkurrenz in geeigneter Weise differenzieren zu können. Diese Tendenz verstärkt sich durch die zunehmende Globalisierung und den stetigen Zwang nach Reduzierung der Kosten bei gleichzeitiger Steigerung der Qualität. Da ein früher Markteintritt für den wirtschaftlichen Erfolg entscheidend ist, ist auch eine Verkürzung der Entwicklungszeiten unabdingbar. Nur so können neue Produkte in immer kürzeren Zyklen auf dem Markt etabliert werden. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die steigende Komplexität der Produkte, die mit der zunehmenden Integration von unterschiedlichen Funktionalitäten aus verschiedenen Wissensbereichen einhergeht. Dieser Trend ist im Bereich der Mechatronik sehr stark ausgeprägt.

Die Entwickler werden bei ihren anspruchsvollen Aufgaben durch zahlreiche Methoden und Werkzeuge unterstützt, die sie im Laufe eines Entwicklungsprojekts einsetzen. Zur optimalen Gestaltung der Abfolge einzelner Teilschritte in einem Entwicklungsprojekt können sie sich an einschlägig bekannten Vorgehensmodellen orientieren, z.B. an der VDI 2221 (1993). Trotz der abstrakten Formulierung derartiger Modelle und der Betonung von Iterationen, wird dennoch ein gewisser Rahmen mit einer klar umrissenen Abfolge von Einzeltätigkeiten vorgegeben.

Gerade bei der Entwicklung innovativer Produkte empfiehlt sich eine größere Flexibilität im Vorgehen, wie sie in zahlreichen Entwicklungsbeispielen praktiziert worden ist, die im Vorfeld dieser Arbeit durchgeführt worden sind. Dabei konnte gezeigt werden, dass es durchaus zielführend ist, bereits frühzeitig eine orientierende Lösungssuche mit dem Ziel der Informationsgewinnung durchzuführen und einzelne Funktionen anhand einfacher Modelle in orientierenden Versuchen umgehend zu analysieren, auch wenn noch wenige Informationen über das spätere Produkt vorliegen.

Eine große Diskrepanz besteht ferner in der Bekanntheit und der Anwendung von Methoden im wissenschaftlichen Umfeld und in der industriellen Praxis. Es existieren zwar eine Vielzahl unterschiedlicher Methoden für einzelne Tätigkeiten, in der Industrie angewendet werden aber nur wenige, da die Methoden in vielen Fällen nicht bekannt oder nur unzureichend an die speziellen Belange der Industrie angepasst sind. Dazu kommt ein Informationsdefizit, weil die Methoden oftmals nur unzureichend beschrieben sind und daher nicht klar ersichtlich wird, für welchen Zweck sie eingesetzt werden können und welche Ergebnisse sie liefern.

Zur Unterstützung der Entwicklung in den bedeutenden frühen Phasen, in denen wichtige Entscheidungen getroffen und bereits ein Großteil der Kosten festgelegt werden, wurden neben dem Erweiterten Vorgehensmodell verschiedene Hilfsmittel und Werkzeuge definiert. Diese sind für einen Einsatz in der industriellen Praxis abgestimmt und konnten bereits in mehreren Entwicklungsprojekten erfolgreich eingesetzt werden.

Das Erweiterte Vorgehensmodell zeichnet sich durch eine sehr hohe Flexibilität in der Bearbeitung einzelner Teilschritte aus, die im Rahmen der Entwicklung eines Produkts abzuarbeiten sind. Es stellt eine Reihe von Methoden und Hilfsmitteln zur Verfügung, aus denen die Bearbeiter bedarfsgerecht auswählen können. Gerade Neuentwicklungen mit hohem Innovationsanspruch machen eine intensive Aufgabenklärung mit umfassender Informationsbeschaffung erforderlich. Dazu wird eine Analyse und Priorisierung der Anforderungen durchgeführt, bei der deren Vollständigkeit überprüft und gegenseitige Abhängigkeiten und Beeinflussungen identifiziert werden. Darauf aufbauend werden die Hauptfunktionen und funktionsrelevante Parameter sowie Kriterien für eine mehrstufige Bewertung und Auswahl festgelegt.

Ein weiteres Kernelement im Erweiterten Vorgehensmodell stellt die umfassende Suche nach möglichen Lösungen dar. Daher wird bereits im Rahmen der Aufgabenklärung eine orientierende Lösungssuche zur Informationsbeschaffung durchgeführt. Basierend auf den dabei erzeugten Ideen lassen sich sämtliche bis dahin vorliegenden Ergebnisse und Festlegungen frühzeitig verifizieren, z.B. die Anforderungen, Funktionen, Parameter oder Bewertungskriterien.

Die Ideen, die bei dieser orientierenden Lösungssuche generiert werden, werden vom Team diskutiert sowie im Rahmen von orientierenden Versuchen aufwandsarm analysiert. Sie stellen wertvolle Ausgangspunkte für eine zielgerichtete Lösungssuche dar.

Durch die Anwendung des Erweiterten Vorgehensmodells konnte gezeigt werden, dass einfache Analysen mit physikalischen Funktionsmustern und Prototypen trotz fortschreitender Entwicklungen im Bereich der Rechner- und Softwaretechnik, die immer komplexere und leistungsfähigere Analysehilfsmittel bereitstellt, durchaus gerechtfertigt und zielführend sind. Diese orientierenden Analysen mit einfachen und bedarfsgerecht aufgebauten, realen Modellen leisten gerade in den frühen Phasen einen großen Beitrag zur Durchdringung der Problemstellung und unterstützen die Generierung wertvoller Informationen, die wiederum die Basis für rechnerbasierte Analysensysteme darstellen können. Daher sollte stets bedarfsgerecht entschieden werden, welche Arten und Kombinationen von Modellen und welche Analysemethoden für die zu lösende Fragestellung am geeignetsten sind.

Da neben den Recherchen vor allem Analysen wichtige Hilfsmittel zur Informationsbeschaffung sind, wurden sie im Erweiterten Vorgehensmodell ebenfalls intensiv behandelt. Neben Hinweisen zur Planung und Durchführung von aufeinander aufbauenden Analysen mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad wurde ein Rechnerwerkzeug entwickelt, das den Entwickler bei der bedarfsgerechten Auswahl einer geeigneten Analysemethode unterstützt sowie Informationen zum Einsatz der Methode und den zu berücksichtigenden Voraussetzungen bereitstellt. Damit werden die von der industriellen Praxis geforderten Methodenbeschreibungen in kompakter Form zur Verfügung gestellt.

Im Zuge der umfangreicher werdenden Informationen, die in einem Entwicklungsprojekt gehandhabt werden müssen, spielt die prozessbegleitende Dokumentation eine tragende Rolle. Neben der Nachvollziehbarkeit kann sie auch eine Beschleunigung der Entwicklung von Folgeprojekten bewirken, wenn auf Ergebnisse aus bereits abgeschlossenen Projekten aufwandsarm zugegriffen werden kann. Dazu müssen die Informationen in geeigneter Weise strukturiert und archiviert werden. Zur vereinfachten Handhabung und Unterstützung der Archivie-

rung der generierten Informationen werden mehrere Dokumentationswerkzeuge entwickelt und erfolgreich eingesetzt.

In den frühen Phasen der Aufgabenklärung bietet sich die Nutzung des Ideenspeichers an, mit dem auftretende Fragen, identifizierte Probleme sowie erste Lösungen dokumentiert werden. Damit ist gewährleistet, dass sämtliche Informationen, die im Laufe der Entwicklung generiert werden, auch dokumentiert und damit verfügbar werden. Zur Unterstützung der Dokumentation bei der Lösungssuche kann das Ideenformular oder die Konzeptdatenbank verwendet werden, die eine strukturierte Archivierung aller Ideen ermöglichen. Projektunabhängig kann als übergeordnetes Werkzeug die Datenbank Neue Produktidee eingesetzt werden, die als unternehmensweiter Ideenspeicher fungiert. Mit dieser Datenbank werden alle Ideen und Lösungen archiviert und an Abteilungen bzw. Personen im Unternehmen weitergeleitet, die mit deren Umsetzung beauftragt werden.

Bei der Definition des Erweiterten Vorgehensmodells wurden gezielt Schwachstellen im bisherigen Vorgehen identifiziert und eliminiert sowie bewusst einfache Hilfsmittel zur Unterstützung einzelner Tätigkeiten geschaffen, in denen ebenfalls noch Verbesserungsbedarf vorhanden war. Die Intensivierung der frühen Phasen zielt darauf ab, dass die wichtigen Festlegungen, die in dieser Phase bereits getroffen werden müssen, auf Basis abgesicherter Informationen erfolgen und damit Fehler frühzeitig erkannt und beseitigt werden können. Auf diese Weise kann die Effektivität und Effizienz der Arbeit gesteigert und die Entwickler entlastet werden.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit ist ein flexibles Vorgehensmodell mit zahlreichen Methoden und Hilfsmitteln entstanden, die eine Unterstützung der Entwickler in den wichtigen frühen Phasen bieten und dessen Potenzial schon in mehreren industriellen Entwicklungsprojekten aufgezeigt werden konnte. Es ist sehr allgemeingültig formuliert und bietet oftmals mehrere alternativ einsetzbare Methoden und Hilfsmittel zur Auswahl, um die Akzeptanz bei den Anwendern zu erhöhen und um eine breite Anwendbarkeit zu ermöglichen, die unabhängig von den Randbedingungen im Unternehmen oder den zu entwickelnden Produkten ist.

7.2 Ausblick

Ziel dieser Arbeit war, die frühen Phasen der Entwicklung durch ein geeignetes Vorgehen, einfach anwendbare Methoden und effektive Hilfsmittel zu unterstützen, wobei der Schwerpunkt auf die funktionale Betrachtung der zu entwickelnden Produkte gelegt worden ist.

Für zukünftige Arbeiten bietet es sich an, eine Erweiterung des Vorgehensmodells um die Betrachtung zusätzlicher Kriterien durchzuführen, beispielsweise die frühzeitige Einbindung der Kostenbetrachtung. Gerade in diesem Bereich existiert bereits eine Vielzahl unterschiedlicher Verfahren und Hilfsmittel, die eine frühzeitige Abschätzung der zu erwartenden Kosten ermöglichen und dadurch einen Beitrag zur Einhaltung des in der Anforderungsliste festgelegten Kostenrahmens leisten. Analog zur Analyse funktionsbestimmender Eigenschaften von unterschiedlichen Lösungsvarianten, die anhand einfacher Modelle und orientierender Versuche durchgeführt wird, bietet sich eine frühzeitige und aufwandsarme Analyse von kostenver-

ursachenden Bauteilen und Funktionen an. Darauf aufbauend kann eine fundierte Abschätzung der zu erwartenden Kosten vorgenommen werden.

Um den Aufwand für die Informationsbeschaffung noch weiter reduzieren zu können, ist eine Wiederverwendung von Analyseergebnissen anzustreben. Analog zu Lösungsspeichern wie z.B. Konstruktionskatalogen oder der hier vorgestellten Konzeptdatenbank, bei denen anhand abstrakt formulierten Fragestellungen geeignete Lösungen gesucht werden können, empfiehlt sich der Aufbau von Datenbeständen, in denen Ergebnisse aus Analysen archiviert und somit unternehmensweit verfügbar gemacht werden.

Die Herausforderung besteht darin, Analysen soweit zu abstrahieren, dass sie nicht nur Informationen für die eigentlich vorliegende Fragestellung liefern, sondern dass darüber hinaus ein Mehr an Informationen erzeugt wird, das zu einem späteren Zeitpunkt von Nutzen ist. Dabei sollte aber der Aufwand zur Durchführung der Analyse und zur geeigneten Aufbereitung und Archivierung der Ergebnisse so gering wie möglich sein.

In einem ersten Ansatz wurden in der Analysemethodendatenbank Methoden zur Unterstützung der Lösungssuche ergänzt. Hier kann eine Erweiterung um sämtliche Methoden durchgeführt werden, die im Zusammenhang mit der Entwicklung von Produkten oder Prozessen von Interesse sind. Es können auch Vernetzungen einzelner Methoden untereinander abgebildet werden. In den Entwicklungsbeispielen kamen häufig aufeinander aufbauende Analysen zum Einsatz. Dabei wurden bei der Planung der Informationsbeschaffung diejenigen Methoden ausgewählt, bei denen die gewünschten Informationen mit dem geringsten Aufwand erzeugt werden können. In der Regel wurden dazu mit orientierenden Analysen erste Informationen generiert, die als Input für darauf aufbauende, detailliertere Analysen verwendet worden sind. Ein weiteres Beispiel für die Vernetzung von Methoden ist die mehrstufige Bewertung, bestehend aus Vorauswahl und anschließender detaillierter Bewertung der verbleibenden Lösungsvarianten. Dieses Vorgehen wurde ebenfalls wiederholt praktiziert.

Diese Vernetzung von Methoden kann auch auf andere Bereiche ausgedehnt werden, z.B. auf die Lösungssuche, bei der erst mit geeigneten Methoden ein Lösungsraum aufgespannt wird, der im Anschluss zielgerichtet erweitert wird. Dazu ist eine genaue Analyse der zu vernetzenden Methoden durchzuführen, bei der die jeweiligen Ein- und Ausgangsinformationen bestimmt werden.

Die Werkzeuge zur Unterstützung der projektbegleitenden Dokumentation wurden auf Basis von Microsoft® Produkten als Stand-alone-Lösungen konzipiert, weshalb noch Redundanzen in den Datenbeständen auftreten können. Möglichkeiten zum Austausch von Daten zwischen den einzelnen Werkzeugen wurden bei deren Konzeptionierung bereits berücksichtigt. Der manuelle Datenaustausch ist aber zeitaufwendig und gerade bei einer größeren Gruppe von Anwendern nicht zu empfehlen. Daher sollte die Integration sämtlicher Funktionalitäten der hier vorgestellten Werkzeuge in ein übergeordnetes Datenbanksystem angestrebt werden. Darüber hinaus müssen firmenspezifische Anforderungen (Anpassung an die vorhandene Rechnerlandschaft, Sicherheitsrichtlinien, Datenbankstruktur, Layout der Bedienoberflächen usw.) berücksichtigt werden. Im Hinblick auf die zunehmende globale Verteilung von Unternehmensbereichen ist eine Anbindung an das Internet ebenfalls sehr zu empfehlen. Auf diese Weise kann ein wertvoller Beitrag zu einem unternehmensweiten Ideenmanagement geleistet werden.

8 Literaturverzeichnis

ABROMOVICI, M.; GERHARD, D.:

Flexible Management of distributed engineering information resources with PDM. In: Lindemann, U.; Birkhofer, H.; Meerkamm, H.; Vajna, S. (Eds.): Proceedings of the 12th International Conference on Engineering Design ICED 1999, München, 24.-26.8.1999; München: Technische Universität 1999. (Schriftenreihe WDK 26). S. 1425 – 1430.

ADOLF, H.; DAMMER, M.; JUNGNIKKEL, G.; WEIBENBERGER, M.:

Integration von Gestaltung und Berechnung bei der Produktionsmaschinen-Entwicklung. Konstruktion (1999) 10, S. 19-26.

AHMED, S.; BLESSING, L.; WALLACE, K.:

The relationships between data, information and knowledge based on a preliminary study of engineering designers. Proceedings, ASME Design Theory and Methodology Conference, Las Vegas, Nevada, USA, 1999.

AKIYAMA, K.:

Funktionsanalyse. Landsberg/Lech: Moderne Industrie 1994.

ALBERS, A.; SCHWEINBERGER, D.:

The process chain „from market to product“ – a concrete instrument for product innovation. In: Lindemann, U.; Birkhofer, H.; Meerkamm, H.; Vajna, S. (Eds.): Proceedings of the 12th International Conference on Engineering Design ICED 1999, München, 24.-26.8.1999; München: Technische Universität 1999. (Schriftenreihe WDK 26).

ALTSCHULLER, G.:

Erfinden –(k)ein Problem? Anleitung für Neuerer und Erfinder. Berlin: Technik 1984.

AMFT, M.; DEMERS, M.; WULF, J.:

TRIZ in Group Design. In: Lindemann, U.; Birkhofer, H.; Meerkamm, H.; Vajna, S. (Eds.): Proceedings of the 12th International Conference on Engineering Design ICED 1999, Vol. 3, München, 24.-26.08.1999. München: Technische Universität 1999, S. 1695-1698. (Schriftenreihe WDK 26).

ASHLEY, S.:

Rapid concept modelers. Mechanical Engineering (1996) 1, S. 64-66.

BALACHANDRA, R.; RAELIN, J.:

When to kill that R&D project. In: (Hrsg.): Roozenburg, N.; Eekels, J.: EVAD – Evaluation and decision in design. Zürich: Heurista 1990, S.99 – 102.

BASSEWITZ VON, A.; RITTER, G.:

Geschäftsprozessorganisation. Ein Fallbeispiel zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit. ZWF 96 (2001) 7-8, S. 383ff.

BAUMBERGER, C.:

The Mind Machine. Methoden zur Unterstützung der Kreativität. TU München, 2000.

BDI:

Technologietransfer – durch Information zur Innovation. Hrsg.: Bundesverband der Deutschen Industrie e.V. Industrieförderung GmbH. Köln: 1983.

BEITZ, W.:

Wie muss man gute Entwickler und Konstrukteure ausbilden? In: VDI-Gesellschaft EKV (Hrsg.): Effizienter Entwickeln und Konstruieren. Tagung München, 23.-24.03.1995, Düsseldorf: VDI 1995, S. 71 - 82 . (VDI-Berichte 1169).

BEITZ, W.:

Bewertungsmethoden als Entscheidungshilfe zur Auswahl von Lösungsvarianten. Konstruktion 24 (1972), S. 493-498.

BENDER, K.; BINDBEUTEL, K.; KARCHER, A.:

Rahmensysteme in der integrierten Produktentwicklung. ZWF 92 (1997) 7/8, S. 356-358.

BERG & PARTNER SOFTWARE- UND BERATUNGS-GBR

Prospektunterlagen Prosecco 2.2. Darmstadt: 1999.

BERNARD, R.:

Early evaluation of product properties within the integrated product development. Aachen: Shaker 1999.

BERNARD, R.; STETTER, R.:

Early Determination of Product Properties. In: Riitahuhta, A. (Ed.): Proc. of the 11th Intern. Conference on Engineering Design ICED 1997, Vol. 2, Tampere (Finnland), 19.-21.08.1997. Tampere: University of Technology 1997, S. 675-680. (Schriftenreihe WDK 25).

- BERGMANN, G.:
Jährlich 500 Produkte aus dem Euro-Lab. VDI Nachrichten, Nr. 14, 6. April 2001, S. 19.
- BERNECKER, F.:
Anwendung unterschiedlicher Analysemethoden anhand ausgewählter Produktbeispiele. Unveröffentlichte Studienarbeit (Nr. 1867). München: TUM, Lehrstuhl für Produktentwicklung 2000.
- BERNHARDT, R.:
Die Konstruktion rationalisieren, konventionell und EDV gestützt. VDI-Z Integrierte Produktion 129 (1987) 3, S. 21-25.
- BERTH, R.:
Der kleine Wurf. Manager Magazin (1993) 4, S. 214 – 227.
- BICHLMAIER, C.:
Methoden zur flexiblen Gestaltung von integrierten Entwicklungsprozessen. München: Herbert Utz 2000.
- BINDER:
Elektromagnetische Bremsen und Kupplungen. Landsberg/Lech: Moderne Industrie 1992.
- BIRKHOFER, H.:
Unterlagen zur Vorlesung Produktentwicklung. Darmstadt: 1999.
- BIRKHOFER, H.:
Methodik in der Konstruktionspraxis – Erfolge, Grenzen und Perspektiven. In: Hubka, V. (Hrsg.): Proceedings of ICED 91, Zürich. Zürich: Edition Heurista 1991, S. 224-233. (Schriftenreihe WDK 20).
- BIRKHOFER, H.; LINDEMANN, U.; ALBERS, A.; MEIER, M.:
Product development as a structured and interactive network of knowledge – a revolutionary approach. In: Wallace, K.; Culley, S.; Duffy, A.; McMahon, C. (Eds.): Proc. of the 13th Intern. Conference on Engineering Design 01, Glasgow, 21.-23.08.2001. Glasgow: I Mech E 2001. (Schriftenreihe WDK 28).
- BFK-INGENIEURE:
Team Orientierte Problemlösung, 8 Schritte Methode (8S). Seminarunterlagen, 1997.
- BLESSING, L.:
Effizienter entwickeln – welche Rolle hat die Konstruktionsforschung. In: VDI-Gesellschaft EKV (Hrsg.): Effizienter Entwickeln und Konstruieren. Tagung München, 23.-24.03.1995, Düsseldorf: VDI-Verlag 1995, S. 125 – 143. (VDI-Berichte 1169).
- BLESSING, L.; BALL, R.:
Implementation and initial evaluation of a process-based approach to design. In Riitahuhta A. (Hrsg.) 11th International Conference on Engineering Design (ICED 97), Tampere, Finland (Tampere University of Technology, Finland), 2, S. 271-276.
- BOCHTLER, W.:
Modellbasierte Methodik für eine integrierte Konstruktion und Arbeitsplanung. Berichte aus der Produktionstechnik, Bd. 96,6; Aachen: Shaker 1996.
- BÖCKER, A.:
Vorbeugen ist besser als heilen. Entwicklungs- und Betriebsbegleitung von Windkraftgetrieben. In: Der Konstrukteur 1-2/2001. Verlag für Technik und Wirtschaft VTW GmbH & Ko KG, 2001. S. 18 – 20.
- BRAESS, H.-H.; SEIFFERT, U.:
Handbuch Kraftfahrzeugtechnik. (Hrsg.) Braess, H.-H., Seiffert, U.). Braunschweig: Vieweg 2000.
- BRANDT, H.:
Rechnerunterstützte Gestaltung der Dauererprobung bei PKW-Automatikgetrieben. VDI Fortschrittsberichte Nr. 190. Düsseldorf: VDI-Verlag 1993.
- BREIING, A.; FLEMMING, M.:
Theorie und Methoden des Konstruierens. Berlin: Springer 1993.
- BREIING, A.; KNOSALA, R.:
Bewerten technischer Systeme. Theoretische und methodische Grundlagen bewertungstechnischer Entscheidungshilfen. Berlin: Springer 1997.
- BRENK, J.; EVERSHEIM, W.; FORNITZ, S.:
Prozessorientierte Produktinnovation. VDI-Z Integrierte Produktion. 138 (1996) 5, S. 34- 39.

- BRONWEN, R.:
Team Oriented Problem Solving. Brentwood: Ford Motor Company Ltd. 1992.
- BRYANT, C.; KURFMAN, M.; STONE, R.; MCADAMS, D.:
Creating equation handbooks to model design performance parameters. In: Wallace, K; Culley, S.; Duffy, A.; McMahon, C. (Eds.): Proc. of the 13th Intern. Conference on Engineering Design 01, Glasgow, 21.-23.08.2001. Vol. "Design Research -Theories, Methodologies, and Product Modelling" S. 501-508. Glasgow: I Mech E 2001. (Schriftenreihe WDK 28).
- BÜHNER, R.:
Entgelt – Neue Arbeitsstrukturen erfordern neue Vergütungskonzepte. 1. Auflage. München: 1998.
- BUGGERT, W.; WIELPÜTZ, A.:
Target Costing: Grundlagen und Umsetzung des Zielkostenmanagements. München: Hanser 1995.
- BULLINGER, H.; BAUER, S.:
Neue Modelle der Entgeltgestaltung. ZWF 93 (1998) 5, S. 208-211.
- BULLINGER, H.; WARSCHAT, J.; WÖRNER, K.; WIBLER, K.:
Rapid Product Development. VDI-Z Integrierte Produktion 138 (1996) 5, S. 38-41.
- BÜSSING, A.; HERBIG, B.; EWERT, T.:
Implizites und explizites Wissen. Einflüsse auf Handeln in kritischen Situationen. Zeitschrift für Psychologie (2001) 209, S. 174-200.
- CLARK, K.; WHELLWRIGHT, S.:
Managing new product and process development. Text and cases. Harvard Business School, The Free Press New York 1993.
- CLARKSON, J.; HAMILTON, J.:
Signposting the design process. In: Lindemann, U.; Birkhofer, H.; Meerkamm, H.; Vajna, S. (Eds.): Proc. of the 12th Intern. Conference on Engineering Design ICED 1999, Vol. 1, München, 24.-26.08.1999. München: TU 1999, S. 107-112. (Schriftenreihe WDK 26).
- CLARKSON, J.; MELO, A.; CONNOR, A.:
Signposting for design process improvement. In 6th International Conference on Artificial Intelligence in Design 2000 (AID 2000). Massachusetts: Worcester Polytechnic Institute 2000, S. 333-353.
- CLAUSING, D.:
Total Quality Development. A step-by-step guide to world-class Concurrent Engineering. University of Missouri-Rolla: ASME Press 1994.
- COLLIN, H.:
Handhabung von Produkt-Knowhow in kleinen und mittelständischen Unternehmen. München: TU, Diss. 2001.
- CONRAT, J.-I.:
Änderungskosten in der Produktentwicklung. München: TU. Diss. 1998.
- COOPERN, R.:
Product leadership. Cambridge: Perseus Books 1999.
- CROSS, N.; CLAYBURN-CROSS, A.:
Observation of teamwork and social processes in design. In: Cross, N.; Dorst, K. (Ed.): Analysing design activity. Chichester: Wiley & Sons. 1996.
- CROSS, N.:
Engineering design methods. Strategies for product design. Second Edition. Chichester: Wiley & Sons Ltd. 1994.
- DAENZER, W.; HUBER, F.: (HRSG.)
Systems Engineering. Methodik und Praxis. Zürich: Moderne Industrie 1999.
- DANNEHL, S.:
Dokumenten-Management beflügelt E-Business. VDI nachrichten, Nr. 35, 1. September 2000, S. 18.
- DANNER, S.:
Ganzheitliches Anforderungsmanagement für marktorientierter Entwicklungsprozesse. Aachen: Shaker 1996. (Konstruktionstechnik München, Bd. 24) Zugl. München: TU, Diss. 1996.
- DAVENPORT, T.; PRUSAK, L.:
Working Knowledge: How organisations manage what they know. Massachusetts: Harvard Business School Press 1998.

- DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR QUALITÄT E.V. FRANKFURT:
DGQ-Band 13 – 51: Qualitätsmanagement in der Entwicklung. Berlin: Beuth 1995.
- DIN 44300:
Informationsverarbeitung – Begriffe. Berlin: Beuth 1982.
- DORST, K.:
Design, science and the solving of underdetermined problems. In: Wallace, K; Culley, S.; Duffy, A.; McMahon, C. (Eds.): Proc. of the 13th Intern. Conference on Engineering Design 01, Glasgow, 21.-23.08.2001. Vol. "Design Research -Theories, Methodologies, and Product Modelling" S. 245-252. Glasgow: I Mech E 2001. (Schriftenreihe WDK 28).
- DÖRNER, D.:
Konstruktion und Intuition. In: Effizienter Entwickeln und Konstruieren. Düsseldorf: VDI 1995, S. 1-10. (VDI-Bericht 1169).
- DYLLA, N.:
Denk- und Handlungsabläufe beim Konstruieren. München: Hanser 1991.
- DYLLA, N.; FRICKE, G.:
Erfolgreich entwickeln. In: Effizienter Entwickeln und Konstruieren. Düsseldorf: VDI 1995, S. 117-123. (VDI-Bericht 1169).
- EHRENSPIEL, K.; BERNARD, R.; GÜNTHER, J.:
Unterstützung des Konstruktionsprozesses durch Modelle. Bild und Begriff III. 1995, S. 45-58.
- EHRENSPIEL, K.; KIEWERT, A.; LINDEMANN, U.:
Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren: Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung. 3. Auflage. Berlin: Springer 2000.
- EHRENSPIEL, K.; GÜNTHER, J.:
Wie wird Konstruieren erfolgreich? In: VDI-Gesellschaft EKV (Hrsg.): Effizienter Entwickeln und Konstruieren. Tagung München, 23.-24.03.1995, Düsseldorf: VDI 1995, S. 45 – 70. (VDI-Berichte 1169).
- EHRENSPIEL, K.:
Komplexe Bedingungen beim Entwickeln und Konstruieren erfordern eine Anpassung des Vorgehens. In: Pahl, G. (Hrsg.): Prof. Dr.-Ing. E.h. Dr.-Ing. Wolfgang Beitz zum Gedenken - Sein Wirken und Schaffen. Berlin: Springer 1999, S. 225-240.
- EHRENSPIEL, K.:
Integrierte Produktentwicklung. München: Hanser 1995.
- EICHACKER, S.; PIELEN, A.:
Von der Unternehmensmodellierung zum Wissensmanagement. ZWF 92 (1997) 7/8, S. 374-376.
- EIGNER, M.:
Technische Informationssysteme. ZWF 91 (1996) 9, S. 395-397.
- ELSAS VAN, P.; DIJK VAN C.:
Fast shape designer: a surface modeller based upon hand sketched curves. In: Advances in computer-aided engineering: CAD/CAM-research at Delft University of Technology. Delft: Delft University Press 1994, S. 137 – 144.
- ELSNER, G.; SOCK, W.:
Wissensbank im Internet. VDI-Z Integrierte Produktion 140 (1998) 9, S. 18-19.
- ENGELBRECHT, J.:
Innovation – von der Idee bis zur Verwirklichung. Gerbrunn: Lehmann 1977.
- EVERSHEIM, W.; ROBBATZ, A.; ZIMMERMANN, H.-J.; DERICHS, T.:
Information Management within Concurrent Engineering. Special Issue 1997.
- EVERSHEIM, W.; SCHERNIKAU, J.; GOEMAN, D.:
Module und Systeme. Die Kunst liegt in der richtigen Strukturierung. VDI-Z Integrierte Produktion 138 (1996) 11/12, S. 44-48.
- ERTEL, G.:
Entwicklung eines Baukastens für Kinematikuntersuchungen. Unveröffentlichte Semesterarbeit (Nr. 1918). München: TUM, Lehrstuhl für Produktentwicklung 2001.
- EYRICH, W.; LYNEN, W.:
Vom 3D-Modelling zur 3D-Konstruktion. VDI-Z Integrierte Produktion 143 (2001) 3, S. 36-37.

FAGERSTRÖM, B.; JOHANNESSON, H.:

A product and process model supporting main and sub-supplier collaboration. In: Wallace, K.; Culley, S.; Duffy, A.; McMahon, C. (Eds.): Proc. of the 13th Intern. Conference on Engineering Design 01, Glasgow, 21.-23.08.2001. Vol. "Design Management – Process and Information Issues" S. 329-336. Glasgow: I Mech E 2001. (Schriftenreihe WDK 28).

FOWLER, M.:

Analysemuster. Wiederverwendbare Objektmodelle. Bonn: Addison-Wesley-Longman 1999.

FOWLER, M.:

UML Distilled. 2. Ed. München: Addison-Wesley 1999.

FRANKENBERGER, E.:

Computer supported systematic design and knowledge-management in the early design phase. In: Wallace, K.; Culley, S.; Duffy, A.; McMahon, C. (Eds.): Proc. of the 13th Intern. Conference on Engineering Design 01, Glasgow, 21.-23.08.2001. Vol. "Design Management – Process and Information Issues" S. 115-122. Glasgow: I Mech E 2001. (Schriftenreihe WDK 28).

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ARBEITSWIRTSCHAFT UND ORGANISATION (IAO):

SFB 374 – Entwicklung und Erprobung innovativer Produkte – Rapid Prototyping. Entnommen am: 09.02.01, URL: <http://www.sfb374.uni-stuttgart.de/darstel.htm>.

FRICKE, G.:

Konstruieren als flexibler Problemlöseprozess – Empirische Untersuchung über erfolgreiche Strategien und methodische Vorgehensweisen beim Konstruieren. Fortschritts-Berichte VDI Reihe 1 Nr. 227. Düsseldorf: VDI-Verlag 1993.

FRÖHLICH, O.:

Conjoint Costing. In: Handbuch Kosten- und Erfolgs-Controlling. Hrsg.: Reichmann, T.. München: Vahlen 1995.

FRÖHNER, K.; LORANI, A.:

Personenbezogene Bestimmungsgrößen in der Produktentwicklung. VDI-Z Integrierte Produktion 138 (1996) 5, S. 30-33.

FRÖHNER, K.; NAWROTH, K.:

Produktinnovation mit älteren und jüngeren Ingenieuren. VDI-Z Integrierte Produktion 142 (2000) 5, S. 79-81.

GAITANIDES, M.; MÜFFELMANN, J.:

Standardisierung komplexer Prozesse im strategischen Kontext. ZWF 91 (1996) 5, S. 195-198.

GARDNER, S.; JACKSON, M.; SHELDON, D.:

The need for change in the perception of product quality. In: Hubka, V. et al. (Eds.): Proceedings of ICED 93, Zürich.: Edition Heurista 1993, S. 226-229. (Schriftenreihe WDK 22).

GAUSEMEIER, J.; EBBESMEYER, P.; KALLMEYER, F.:

Produktinnovation. München: Hanser 2001

GAUSEMEIER, J.; FINK, A.; RIEPE, B.:

Szenariobasiertes Technologiemanagement. ZWF 93 (1998) 4, S. 139-142.

GAUSEMEIER, J.; FINK, A.:

Kurzbericht über die Untersuchung Neue Wege zur Produktentwicklung. Paderborn: HNI 1997.

GAUSEMEIER, J.; LINDEMANN, U.; REINHART, G.; WIENDAHL, H.:

Kooperatives Produktengineering. Paderborn: HNI 2000. (HNI-Verlagsschriftenreihe; Bd. 79).

GERHARD, E.:

Entwickeln und Konstruieren mit System: Ein Handbuch für Praxis und Lehre. 3. Auflage. Renningen-Malmsheim: Expert 1998.

GERKEN, H.; WEYRICH, M.:

Technologien zum Wissensmanagement in der CAD/CAM-Prozesskette. ZWF 95 (2000) 11, S. 543-546.

GIAPOULIS, A. ET AL.:

Workshop methods in practice. ICED 99, 24.-26. August 1999, München. Entnommen am: 21.04.2001, URL: <http://www.methods-in-practice.de/methodsandtools.htm>.

GIAPOULIS, A.; SCHLÜTER, A.; EHRENSPIEL, K.; GÜNTHER, J.:

Effizientes Konstruieren durch generierendes und korrigierendes Vorgehen. In: Hubka, V. et al. (Eds.): Proc. of ICED 95, Vol. 2, Praha. Zürich: Edition Heurista 1995, S. 477-483. (Schriftenreihe WDK 23).

- GIERHARDT, H.:
Global verteilte Produktentwicklungsprojekte. Ein Vorgehensmodell auf der operativen Ebene. München: TU Lehrstuhl für Produktentwicklung, Diss. 2001.
- GILBOA, Y.; WEISS, M.; COHEN, A.:
Conceptual design of preferred concepts, by evaluation and computerized combination of solution principles. In: Wallace, K; Culley, S.; Duffy, A.; McMahon, C. (Eds.): Proc. of the 13th Intern. Conference on Engineering Design 01, Glasgow, 21.-23.08.2001. Glasgow: I Mech E 2001. (Schriftenreihe WDK 28).
- GOLDSCHMIDT, G.:
The desinger as a team of one. In: Cross, N.; Dorst, K. (Ed.): Analysing design activity. Chichester: Wiley&Sons. 1996.
- GÖKER, H. M.:
Einbinden von Erfahrung in das konstruktionsmethodische Vorgehen. Fortschritts-Berichte VDI Reihe 1 Nr. 268. Düsseldorf: VDI-Verlag 1996.
- GRABOWSKI, H.; KURZ, A.:
Produktentwicklung mit kreativitätsunterstützenden Systemen. In: Wildemann, Reichwald (Hrsg.): Kreative Unternehmen – Spitzenleistung durch Produkt- und Prozessinnovationen. Stuttgart: Poeschel 1996
- GROBE, A.:
Das Praktikum „Konstruktion technischer Produkte“. IMW Institutsmitteilungen 23 (1998) S. 137-144.
- HACKER, W.:
Arbeitspsychologie. Bern: Hans Huber 1986.
- HANDENHOVEN, VAN, E.; TRASSAERT, P.:
Design Knowledge and design skills. In: Lindemann, U.; Birkhofer, H.; Meerkamm, H.; Vajna, S. (Eds.): Proc. of the 12th Intern. Conference on Engineering Design ICED 1999, Vol. 1, München, 24.-26.08.1999. München: TU 1999, S. 153-158. (Schriftenreihe WDK 26).
- HANSCHKE, M.:
Entwicklung eines Transfersystems für die kombinierte PET-MRT-Bildgebung von Kleintieren. Unveröffentlichte Diplomarbeit (Nr. 894). München: TUM, Lehrstuhl für Produktentwicklung 2001.
- HANSEN, W.:
Qualitätsmanagement im Unternehmen. Berlin: Springer 1993.
- HARTMANN, W.:
Anwendung von Rapid Prototyping im Industriedesign. In: (Hrsg. Reinhardt, G.; Milberg, J.) Rapid Prototyping. Effizienter Einsatz von Modellen in der Produktentwicklung. München: Utz 1998, S. 3-1 - 3-17 (iwb Seminarberichte 38).
- HAUSER, J.; CLAUSING, D.:
The House of Quality. Harvard Business Review 1988, S. 63 – 72.
- HAUB I., WAGNER K.:
Nutzung von Erfahrungswissen. Leitprojekt, Integrierte virtuelle Produktentstehung – Fortschrittsbericht (2001) 4, S. 80.
- HEISIG, P.:
Die ersten Schritte zum professionellen Wissensmanagement. In: Antoni, C.: (Hrsg.) Report Wissensmanagement. Wie deutsche Firmen ihr Wissen profitabel machen. Symposium publishing. Entnommen am: 24.01.01.
http://www.symposium.de/wissen/wm_01.htm.
- HENFLING, M.:
Theorie technischer Innovationen in der industriellen Fertigung. Lehmann 1981.
- HERB, R.; HERB, T.; KOHNHAUSER, V.:
TRIZ - der systematische Weg zur Innovation. Landsberg/Lech: Moderne Industrie 2000.
- HERING, E.; TRIEMEL, J.:
Qualitätsmanagement für Ingenieure. Hrsg.: Blank, H-P.: 4. Auflage, Heidelberg: Springer 1999.
- HIRSCH-KREINSEN, H.; SCHMIERL, K.:
Einfache Produkte intelligent produzieren. VDI-Z Integrierte Produktion 140 (1998) 6, S. 64-67.
- HUGHES, P.; BURVILL, C.; HUGHES, R.:
Applying conceptual design methods to engineering management. In: Wallace, K; Culley, S.; Duffy, A.; McMahon, C. (Eds.): Proc. of the 13th Intern. Conference on Engineering Design 01, Glasgow, 21.-23.08.2001. Vol. "Design Management – Process and Information Issues" S. 277-284. Glasgow: I Mech E 2001. (Schriftenreihe WDK 28).

HUNGENBERG, H.; WULF, T.:

Business Process Reengineering. ZWF 93 (1998) 7/8, S. 304-307.

HUSTARD, T.:

Reviewing current practices in innovation management and a summary of selected best practices. In: Rosneau, M.: (Ed.) PDMA Handbook of New Product Development, New York: John Wiley & Sons, 1996, S. 489-511.

IAI:

Fehleinschätzungen über Weiterbildung und Wissensmanagement sind Innovationsbarrieren. Bochum, Jahresbericht (1999), Nr. 183.

ILOI:

Innovationsmanagement in bayerischen KMU. München: 1997.

IRLINGER, R.:

Methoden und Werkzeuge zur nachvollziehbaren Dokumentation in der Produktentwicklung. Aachen, Shaker 1999.

JAGER, R.; RUWE, P.:

Using rapid prototyping in Produkt Development. In Hubka, V.: (Editor): Proceedings of the 10th International Conference on Engineering Design in Praha, Zürich: Edition Heurista, 1995.

JENSEN, T.:

A taxonomy for design reuse system: proposing a system for formalized on-line knowledge capturing. Engineering Design Conference 98, Brunel University: 23.-25. Juni 1998.

JORDAN, R.:

Refurbishingprozess für ein Gerät der Agfa-Fototechnik. Unveröffentlichte Semesterarbeit (Nr. 1854). München: TUM, Lehrstuhl für Produktentwicklung 2000.

JOST, A.:

Computer Aided Selling im Pharma-Kundenmanagement. Leverkusen: Deutscher Universitätsverlag 1998.

KERMODE, G.; SIVALOGANATHAN, S.:

Complexity resolution for design excellence. Proceedings EDC 2000. London: Brunel University 2000, S. 397 – 406.

KERSTEN, VIEHMAN, LÄNDER:

FMEA – Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse. Stuttgart: Seminarunterlagen der Firma Bosch 1995.

KIENECKER, S.:

Retten Sie Ihr Wissenskapital. Versicherungswirtschaft (1999), 9, S. 622.

KIM, C.; MAUBORGNE, R.:

Knowing a Winning Business Idea When you see One. Harvard Business Review 2000, S. 129-138.

KIRSCHMAN, C.; FADEL, G.; JARA-ALMONTE, C.:

A Function Based decomposition in Mechanical Design. In: Proceedings of the 1996 ASME DETC. New York: ASME International 1996.

KLOCKE, F.; EVERSHEIM, W.; FALLBÖHMER, M.; BRANDENBURG, F.:

Einsatzplanung von Fertigungstechnologien. ZWF 94 (1999) 4, S. 186-190.

KLOCKE, F.; FALLBÖHMER, A.:

Innovative Technologieketten in der Produktentwicklung. Berücksichtigung der Potenziale innovativer Fertigungsverfahren in frühen Phasen der Produktentwicklung. VDI-Z Integrierte Produktion 140 (1998) 11/12, S. 56 – 59.

KLOCKE, F.; NÖKEN, S.:

Rapid Prototyping und Rapid Tooling. VDI-Z Special Werkzeug- und Formenbau (1996) 11, S. 50-54.

KOLLER, R.:

Konstruktionslehre für den Maschinenbau – Grundlagen methodischen Konstruierens. 4. Aufl. Berlin: Springer 1998.

KOLLI, R.; STUYVER, R.; HENNESSEY, J.:

A conceptual sketching device for the early phase of design. In: Advances in computer-aided engineering: CAD/CAM-research at Delft University of Technology. Delft: Delft University Press 1994, S. 152 – 161.

KÖLBACH, M.:

Die Workshop-Methode. Entnommen am: 23.02.01. URL: http://www.sozialnetz-hessen.de/ergo-online/Arbeitsorg/G_Workshop.htm.

- KÖNIG, B.; KLOSTERMEYER, A.; KUHN, K.:
Innovative Neuproduktentwicklung in Primär- und Sekundärorganisation. ZWF 92 (1997) 11, S. 568-570.
- KÖNIG, W.; EVERSHEIM, W.; CELI, I.; NÖKEN, S.; ULLMANN, C.:
Rapid Prototyping – Bedarf und Potenziale. VDI-Z 135 (1993) 8, S. 92-97.
- KRAECHTER, A.:
Design und virtuelle Produktentwicklung. VDI-Z Integrierte Produktion. Spezial Werkzeug- und Formenbau (1997) 11, S. 28 – 30.
- KRAUSE, F.; EDLER, A.; WOLL, R.:
Problemmanagement informationstechnisch unterstützen. ZWF 91 (1996) 11, S. 530-533.
- KRAUSE, F.; JANSEN, H.; VOLLBACH, A.:
Modularität von EDM-Systemen. ZWF 91 (1996) 3, S. 109-111.
- KRAUSE, F.; KAHLERT, T.:
Kriterien zur Auswahl von EDM-Systemen. ZWF 93 (1998) 7/8, S. 317-319.
- KRAUSE, F.; STEPHAN, M.:
Fehlersensitive Produktgestaltung. ZWF 91 (1996) 7/8, S. 330-332.
- KROTTMAIER, J.:
Leitfaden Simultaneous Engineering. Berlin: Springer 1995.
- KROTTMAIER, J.:
Versuchsplanung: Der Weg zur Qualität des Jahres 2000. TÜV Rheinland 1991.
- KUKAT, F.:
Die Wissensnetzwerke der Siemens AG. In: Antoni, C.: (Hrsg.) Report Wissensmanagement. Wie deutsche Firmen ihr Wissen profitabel machen. Symposium publishing. Entnommen am: 24.01.01.
http://www.symposium.de/wissen/wm_01.htm.
- KURZ, A.:
Rechnerunterstütztes Ideen-Management für die innovative Produktplanung. Aachen: Shaker 1998.
- KÜHNLE, H.; GOLLOS, M.:
Simultane Entwicklung und Optimierung von Produktionssystemen. ZWF 94 (1999), 10, S. 593-596.
- LAUCHE, K.; EHBETS MÜLLER, R.; GROTE, G.:
Collective conceptualisation in early phases of innovation process. In: Marjanovic, D.: Intern. Design Conference 2000. Proc. of the 6th Intern. Design Conference, Dubrovnik, 23.-26.05.2000. Dubrovnik 2000, S. 119-124.
- LINDEMANN, U.:
Produktentwicklung und Konstruktion. Vorlesungsskript. München: Eigenverlag 2001.
- LINDEMANN, U.: (2001B)
Product innovation on demand – fiction or truth? In: Wallace, K; Culley, S.; Duffy, A.; McMahon, C. (Eds.): Proc. of the 13th Intern. Conference on Engineering Design 01, Glasgow, 21.-23.08.2001. Vol. "Design Research -Theories, Methodologies, and Product Modelling". Glasgow: I Mech E 2001, S. 347-354. (Schriftenreihe WDK 28).
- LINDEMANN, U.: (2001C)
Methoden in der Produktentwicklung. Konstruktion (2001) 1/2. S. 3.
- LINDEMANN, U.:
Methoden der Produktentwicklung. Vorlesungsskript. München: Eigenverlag 2000.
- LINDEMANN, U.:
Kosten, Zeit, Qualität, Flexibilität ... „entstehen“ in der Konstruktion. Konstruktion 50 (1998) 11/12, S. 3.
- LINDEMANN, U.; AMFT, M.; ABMANN, G.; WULF, J.; BIRKHOFER, H.; WALLMEIER, H.:
Rechnerunterstützung für frühe Phasen der Entwicklung. F&M 106 (1998) 3, S. 123-127.
- LINDEMANN, U.; ASSMANN, G.; COLLIN, H.:
Neue Werkzeuge für das Informationsmanagement. In: Anderl, R.; Encarnaçã, J. L.; Rix, J. (Hrsg.): CAD '98 - TeleCAD, Produktentwicklung in Netzwerken, Darmstadt, 05./06.03.1998. Darmstadt: TU Fachgebiet DiK u. Fraunhofer-IGD 1998.

- LINDEMANN, U.; KLEEDÖRFER, R.:
Erfolgreiche Produkte durch integrierte Produktentwicklung. In: Reinhart, G.; Milberg, J. (Hrsg.): Mit Schwung zum Aufschwung, Münchner Kolloquium '97. Landberg / Lech: Moderne Industrie 1997, S. 115-136.
- LINDEMANN, U.; REICHWALD, R.:
Integriertes Änderungsmanagement. Lindemann, U.; Reichwald, R.: (Hrsg.). Berlin: Springer 1998.
- LINDEMANN, U.; STETTER, R.:
Industrial application of the method „early determination of product properties“. In: Proc. of the ASME 1998 Design Engineering Technical Conferences and Computers in Engineering Conference. DTM '98 & ASME 1998, Atlanta (USA), 13.-16.09.1998. Atlanta: ASME International. 1998.
- LINDEMANN, U.; STRICKER, H.; GRAMANN, J.; PULM, U.:
Systematik zur Wirkungskontrolle von Kosteneinsparungen in Wertanalyseprozessen. ZWF (2001) 10.
- LINDEMANN, U.; SCHLÜTER, A.; SCHWANKL, L.:
Innovation – Zufall oder zielgerichtete Kreativität. In: VDI-EKV, Berliner Kreis (Hrsg.): Der kreative Konstrukteur - Freiräume schaffen für Produkt- und Prozessentwicklungen. 4. Deutscher Konstrukteurstag Bochum, 06./07.09.2000. Düsseldorf: VDI-Verlag 2000.
- LINDSAY, P.; NORMAN, D. A.:
Einführung in die Psychologie: Informationsaufnahme und Verarbeitung beim Menschen. Berlin: Springer 1981.
- LOOS, S.:
QS-9000 und VDA 6.1: Inhalte, Unterschiede, Checklisten für die Zertifizierung. München: Hanser 1998.
- LÜTHY, W.; SCHWEIZER, P.:
Sag mir, was in den Dokumenten steht! Technische Rundschau (2001) 1/2.
- MAGNAC:
Magnetische Ideen. Lieferprogramm der Firma MagnaC. Wendlingen: 1999
- MALORNY, C.; SCHWARZ, W.; BACKERRA, H.:
Die sieben Kreativitätswerkzeuge KZ. Kreative Prozesse anstoßen, Innovationen fördern. München: Carl Hanser 1997.
- MARCA, D.:
SADT, Structured analysis and design technique. NewYork: McGraw-Hill Book Company 1986.
- MARSH, J.:
The capture and structure of design experience. Cambridge: Cambridge University Engineering Department 1996.
- MARXT, C.:
Application of dissipative structures to improve the generation and selection of new product ideas. In: Wallace, K; Culley, S.; Duffy, A.; McMahon, C. (Eds.): Proc. of the 13th Intern. Conference on Engineering Design 01, Glasgow, 21.-23.08.2001. Vol. "Design Research -Theories, Methodologies, and Product Modelling" S. 323-330. Glasgow: I Mech E 2001. (Schriftenreihe WDK 28).
- MATTHEWS, P.:
Preliminary evaluation of conceptual mechanical designs. First Year Report Cambridge: Cambridge University Engineering Department 1998.
- MATTHEWS, P.; WALLACE, K.; BLESSING, L.:
Conceptual evaluation using neural networks. In: Lindemann, U.; Birkhofer, H.; Meerkamm, H.; Vajna, S. (Eds.): Proceedings of the 12th International Conference on Engineering Design ICED 1999, München, 24.-26.8.1999; München: Technische Universität 1999. S. 1925 – 1928. (Schriftenreihe WDK 26).
- MATTHIASSEN, B.:
Robust Design at the conceptual stage. In: Hubka, V. et al. (Eds.): Proc. of ICED 95, Vol. 3, Praha. Zürich: Edition Heurista 1995, S. 1160-1161. (Schriftenreihe WDK 23).
- MAYER, E.:
Konstruktionskataloge. Entnommen am: 22.04.01, URL: <http://www.fbe.fh-frankfurt.de/personal/mayer/kk/kataloge.html>.
- MEAD, R.:
The Design of Experiments. Cambridge: Cambridge University Press 1988.

- MEERKAMM, H.; ADUNKA, R.; HOCHMUTH, R.:
Praktische Produktentwicklung mit 3D-CAD Systemen. Bildband zur Vorlesung. Lehrstuhl für Konstruktionstechnik, Sommersemester 2000.
- MELO, A.; CLARKSON, J.:
Design process planning using a state-action model. In: Wallace, K; Culley, S.; Duffy, A.; McMahon, C. (Eds.): Proc. of the 13th Intern. Conference on Engineering Design 01, Glasgow, 21.-23.08.2001. Vol. "Design Management – Process and Information Issues" S. 345-352. Glasgow: I Mech E 2001. (Schriftenreihe WDK 28).
- MEWES, D.:
Der Informationsbedarf im konstruktiven Maschinenbau. Düsseldorf: VDI-Verlag 1973.
- MEYER'S LEXIKON:
Band 14. Mannheim: 1992
- MICHAELI, W.; SCHLESINGER, K.; THORNAGEL, M.:
Rechnerunterstützte Verwaltung von Produkthanforderungen. VDI-Z Integrierte Produktion 142 (2000) 7/8, S. 65-68.
- MILNE, A.:
Analysing the Activity of Multidisciplinary Teams in the Early Stages of Conceptual Design: Method and Measures. In: Scrivener, S. (Eds.): Collaborative Design. CoDesign 2000. Coventry, 11.-13.09.2000. Coventry: Univ. 2000, S. 289 - 297.
- MITTELSTRAB, J.:
Kreativität und Konstruktion. ZWF 96 (2001) 1-2, S. 52 –58.
- MEERKAMM, H.; HEYNEN, CH.; SCHWEIGER, W.:
Integration von Berechnungen in den frühen Entwurfsprozess. In: VDI-EKV (Hrsg.): Verkürzte Entwicklungsprozesse durch Integration von Gestaltung und Berechnung. Tagung Stuttgart 1999. Düsseldorf: VDI-Verlag 1999, S. 103-121.
- MEIER, M.:
Produkt-Innovations-Prozess. Zürich: Eigenverlag 2000.
- MEIER, M.:
Unterlagen zur Vorlesung. Zürich: Eigenverlag 1999.
- MEIER, M.; BICHSEL, M.; ELSPASS, W.; LEONHARDT, U.; WOHLGESINGER, M.; ZWICKER, E.:
Neuartige Tools zur effizienten Nutzung der Produktdaten im gesamten Produkt-Lebenszyklus. Konstruktion (1999) 9. S. 11 – 18.
- MEINDL, M.:
Prototypen in der Produktentwicklung. In: Reinhart, G. (Hrsg.): Rapid Prototyping. Methoden für die reaktionsfähige Produktentwicklung. Tagung München. München: Herbert Utz 1999, S. 1-1 - 1-27. (iwb Seminarberichte Nr. 49).
- MÜLLER, C.:
Entwicklung und Aufbau eines Präsentationsmodells für Produkte aus dem Automobilbereich. TU München, unveröffentlichte Studienarbeit Nr. 1866, München 2000.
- MÜLLER, H.:
Quality Engineering – ein Überblick über neuer Verfahren. In: Zink, K. (Hrsg.), Qualität als Managementaufgabe: Total Quality Management, 3. Auflage. Landsberg/Lech: Moderne Industrie 1994.
- MÜLLER, J.:
Arbeitsmethoden der Technikwissenschaften. Berlin: Springer 1990.
- MÜLLER, J.:
Ist die Methodik der technischen Forschung und Entwicklung schon richtig orientiert? Maschinenbautechnik 35 (1986) 9, S. 414-417.
- MÜLLER, M.:
Innovation – Der geplante Zufall oder zufällig geplant? In: VDI-EKV (Hrsg.): Produktion: Innovation durch Technik und Organisation., Düsseldorf: VDI-Verlag 1999, S. 249 – 259. (VDI Berichte Nr. 1469).
- MÜLLER, R.:
Datenbankgestützte Teileverwaltung und Wiederholteilsuche. München: Hanser 1991.
- MUSSARD, M.; WYSS, H.:
Innovationsleitfaden. Zürich: SIA, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein 1993.

- NEVINS, J.; WHITNEY, D.:
Concurrent design of product & process. New York: MacGraw-Hill 1989.
- NIEMANN, G.:
Maschinenelemente Band III. Berlin: Springer 1983.
- NONAKA, I.; TAKEUCHI, H.:
The Knowledge Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation. New York: Oxford University Press 1995.
- OBERMANN, K.:
Digitales Prototyping und Rapid Prototyping ergänzen sich. VDI nachrichten (1999) 19, S. 20.
- OGNJANOVIC, M.:
Creativity in design incited by knowledge modeling. In: Lindemann, U.; Birkhofer, H.; Meerkamm, H.; Vajna, S. (Eds.): Proceedings of the 12th International Conference on Engineering Design ICED 1999, München, 24.-26.8.1999; München: Technische Universität 1999. S. 1925 – 1928. (Schriftenreihe WDK 26).
- PACHE, M.; LINDEMANN, U.; RÖMER, A.; HACKER, W.:
Zukünftige CAD-Systeme zum Skizzieren in den frühen Phasen der Produktentwicklung. CAD CAM Report 20 (2001) 3, S. 98 - 103.
- PACHE, M.; RÖMER, A.; LINDEMANN, U.; HACKER, W.:
Sketching behaviour and creativity in conceptual engineering design. In: Wallace, K; Culley, S.; Duffy, A.; McMahon, C. (Eds.): Proc. of the 13th Intern. Conference on Engineering Design 01, Glasgow, 21.-23.08.2001. Vol. "Design Research -Theories, Methodologies, and Product Modelling" S. 461-468. Glasgow: I Mech E 2001. (WDK 28).
- PACHE, M.; SCHWANKL, L.; STETTER, R.:
Körperliche Modelle in der Produktentwicklung. In: Reinhart, G. (Hrsg.): Rapid Prototyping. Methoden für die reaktionsfähige Produktentwicklung. Tagung München. München: Herbert Utz 1999, S. 2-1 - 2-24. (iwb Seminarbericht 49).
- PAHL, G.; BEITZ, W.:
Konstruktionslehre: Methoden und Anwendung. 4. Auflage. Berlin: Springer 1997.
- PELZER, W.:
Methodik zur Identifizierung und Nutzung strategischer Technologiepotenziale. Aachen, Shaker 1999.
- PERNICKY, R.:
Die letzte Reserve. Manager magazin (1990) 3, S. 256-271.
- PFEIFFER, T.:
Qualitätsmanagement im Unternehmen. Entnommen am: 18.08.2001, URL: <http://www.qm-trends.de/fb0413.htm>.
- PFEIFFER, T.; BONSE, L.:
Tendenzen zur rechnergestützten Qualitätssicherung. Düsseldorf: VDI-Verlag 1989. (VDI Berichte Nr. 759).
- PFEIFER, T.; FORKERT, S.; SIEGLER, S.:
Transparente Projektreife in der Entwicklung. ZWF 91 (1996) 11, S. 564-567.
- PICHLER, B.; BERNECKER, G.; SCHWAIGER, M.; ZIEGLER, S.:
A 32-Channel LSO Matrix Coupled to a Monolithic 4x8 APD Array for High Resolution PET. In: IEEE Nuclear Science Symposium & Medical Imaging Conference, Lyon, 2000. IEEE Trans. Nucl. Sci.: 2000.
- PIGHINI, U.; FARGNOLI, M.; GERACI, D.:
A design procedure for the safety of mechanical Systems. In: Wallace, K; Culley, S.; Duffy, A.; McMahon, C. (Eds.): Proc. of the 13th Intern. Conference on Engineering Design 01, Glasgow, 21.-23.08.2001. Vol. "Design Methods for Performance and Sustainability" S. 11-18. Glasgow: I Mech E 2001. (Schriftenreihe WDK 28).
- PINE, J.:
Mass Customization. McGraw Hill Book Company 1999.
- PITIONI, V.:
Modelle und Mathematik. In: Stachowiak, H. (Hrsg.) Modelle – Konstruktion und Wirklichkeit. München: Wilhelm Fink 1983.
- POINCARÉ, H.:
Science et Méthode. Paris: 1908.
- POLYA, G.:
Schule des Denkens (orig. How to Solve it). Bern: Francke 1949.

- PRAUN VON, S.:
Digital Mock-up. Entwicklungsstrategie und Kommunikationsplarrform für den gesamten Produktlebenszyklus. VDI-Z Integrierte Produktion. Spezial C-Techniken (1998) 3 S. 42-44.
- PUCHNER, K.:
Methodische Entwicklung eines flexiblen Hebe- und Unterbausystems für die technische Hilfeleistung mit hydraulischem Rettungsgerät. Unveröffentlichte Studienarbeit Nr. 1895, TU München 2001.
- PUGH, S.:
Concept selection – a method that works. In: (Hrsg.): Roozenburg, N.; Eekels, J.: EVAD – Evaluation and decision in design. Zürich: Heurista 1990, S.73 – 82.
- PUGH, S.:
Integrated methods for successful product engineering. Massachusetts: Addison-Wesley 1989.
- PULM, U.; LINDEMANN, U.:
Enhanced systematics for functional product structuring. In: Culley, S.; Duffy, A.; McMahon, C.; Wallace, K. (Eds.): Proc. of the 13th Intern. Conference on Engineering Design 01, Vol. "Design Research -Theories, Methodologies, and Product Modelling", Glasgow, 21.-23.08.2001. Glasgow: I Mech E 2001, S. 477-484. (Schriftenreihe WDK 28).
- QUENTIN, H.:
Versuchsmethoden im Qualitäts-Engineering. Wiesbaden: Vieweg 1994.
- RAMPERSAD, H.:
Integrated and simultaneous design for robotic assembly. Chichester: John Wiley & Sons Ltd. 1994.
- REIMANN, P.; MÜLLER, K.; STRAKLOFF, P.:
Kognitiv kompatibel? Wissensmanagement: Brückenschlag zwischen Technik und Psyche. C't (2000) 4, S. 274-281.
- REINERTSEN, D.:
Managing the Design Factory. München: Hanser, 1998.
- REINHART, G.; FELDMANN, C.:
Gemeinsam geht's besser. AV 32 (1995) 5, S. 360-364.
- REINHART, G.; LINDEMANN, U.; BICHLMAIER, C.; FELDMANN, C.; GLANDER, M.; SCHMALZL, B.; ZANKER, W.:
Integrierte Produktentwicklung in Konstruktion und Montageplanung. Projektmanagement (1997) 1, S. 4-15.
- REINHART, G.; GRUNDWALD, S.; MURR, O.; GOLDSTEIN, B.:
Management integrierter Digital Mock-up Entwicklungsprozesse. ZWF 93 (1998) 12, S. 632-636.
- REINHART, G.; SCHNEIDER, C.; WEIBENBERGER, M.; SPRENZEL, A.; MEINLSCHMIDT, J.:
Kooperative Entwicklung technologisch komplexer Produkte. Konstruktion 50 (1998) 9, S. 15-22.
- REINHART, G.; WEIBENBERGER, M.:
Eigenschaftsoptimierung am virtuellen Prototyp. ZWF 92 (1997) 11, S. 571 –574.
- REINKING, J.:
Der Wandel im Konstruktionsprozess durch CAD. VDI-Z Integrierte Produktion 129 (1987) 5, S. 58-62.
- RHODES, R.; SMITH, D.:
Conceptual design – synthesis, evaluation ... and more. In: Hubka, V. et al. (Eds.): Proc. of ICED 93, Vol. 1, Zürich.: Edition Heurista 1993, S. 226-229. (Schriftenreihe WDK 22).
- RIEDEL, D.:
Gesamtheitliche Wirtschaftliche Bewertung und Entscheidung. In: Lindemann, U. · Reichwald, R. (Hrsg.): Integriertes Änderungsmanagement, Berlin: Springer 1998.
- RIZZO, A.:
Quality engineering with FEA and DOE. Mechanical Engineering (1994) 5, S. 76-78.
- ROOZENBURG, N.; EEKELS, J.:
Product design, structures and methods. Utrecht: Lemma, 1991.
- ROTH, K.:
Konstruieren mit Konstruktionskatalogen Band I. Springer: Berlin 1982.
- ROTH, K.:
Konstruieren mit Konstruktionskatalogen Band II. 2. Auflage. Springer: Berlin 1994.

- ROSCHI WAL, H.:
Fehler vermeiden, die Qualität erhöhen und die Kosten senken. Neue Methode verknüpft Fehler-Möglichkeiten- und – Einfluss-Analyse mit Wertanalyse. VDI-Z Integrierte Produktion 138 (1996) 4, S. 48-51.
- ROSENAU, M.:
The PDMA handbook of new product development. New York: John Wiley & Sons, Inc. 1996.
- RUBINSTEIN, R.; HERSH, H.:
The human factor. Designing Computer Systems for people. USA: Digital Press 1984.
- RUDOLPH, S.:
Eine Methode zur systematischen Bewertung von Konstruktionen. Fortschritts-Berichte VDI Reihe 1 Nr. 251. Düsseldorf: VDI-Verlag 1995.
- RÜCKERT, C.:
Untersuchungen zur Konstruktionsmethodik – Ausbildung und Anwendung. Fortschritts-Berichte VDI Reihe 1 Nr. 293. Düsseldorf: VDI-Verlag 1997.
- RÜGER, M.; OHLHAUSEN, P.:
Wissensmanagement – der Erfolgsfaktor der Zukunft. Konstruktion (2000), 3, S.35-37.
- SABISCH, H.; TINTELOT, C.:
Integriertes Benchmarking für Produkte und Produktentwicklungsprozesse. Berlin: Springer 1997.
- SACHSE, P.; HACKER, W.:
Unterstützung des Denkens und Handelns beim Konstruieren durch Prototyping. Konstruktion 49 (1997), S. 12-26.
- SACHSE, P.; HACKER, W.:
Early low-cost prototyping. Zur Funktion von Modellen im konstruktiven Entwicklungsprozess. Bild und Begriff III, 1995, S. 20ff.
- SCHARRER, M.:
Morphologische Methoden. Entnommen am: 26.03.01. http://www.uni-karlsruhe.de/~map/nmorphologische_methoden_b.html
- SCHEITHAUER, I.:
Nutzung bekannter Konstruktionslösungen. Entnommen am: 05.02.2001; <http://friday.prz.tu-berlin.de/~www-kt/Forschung/Themen/flyerscheithauer.html>.
- SCHLÜTER, A.:
Methodeneinsatz im mittelständischen Unternehmen. Konstruktion (2001) 1-2, S. 67-70.
- SCHLÜTER, A.:
Requirements on the use of methods in industry. In: Lindemann, U.; Birkhofer, H.; Meerkamm, H.; Vajna, S. (Eds.): Proc. of the 12th Intern. Conference on Engineering Design ICED 1999, Vol. 1, München, 24.-26.08.1999. München: TU 1999, S. 231-232. (Schriftenreihe WDK 26).
- SCHMIDT, G.:
Informationsmanagement. Modelle Methoden Techniken. Berlin: Springer 1996.
- SCHNEIDER, J.:
Stand und Entwicklungstrends von Expertensystemen für Entwicklung und Konstruktion. In: VDI-Gesellschaft EKV (Hrsg.): Expertensysteme in Entwicklung und Konstruktion: Bestandsaufnahme und Entwicklungsrichtungen. Tagung Baden Baden, 13.-14.11.1989, Düsseldorf: VDI 1989, S. 323 - 343. (VDI-Berichte 755).
- SCHOEN, S.:
Gestaltung und Unterstützung von Communities of Practice. Aachen: Shaker, 2001.
- SCHREIBER, A.:
Grundzüge der Mathematikdidaktik. Entnommen am: 20.06.2001. http://www.uni-flensburg.de/mathe/zero/veranst/didmath/heuristik_problemloesen/heuristik_problemloesen.html.
- SCHRODA, F.; SACHSE, P.:
Die Konstruktions-Landkarte. Planung, Dokumentation und Selbstreflexion des Konstruktionsprozesses. Konstruktion (2000), 3, S. 48-50.

- SCHULZ, J.; KEUTGEN, I.; BIRKHOFFER, H.:
User-oriented presentation of available categorised knowledge. Providing on-demand a flexible, relevant knowledge-base access. In: Lindemann, U.; Birkhofer, H.; Meerkamm, H.; Vajna, S. (Eds.): Proc. of the 12th Intern. Conference on Engineering Design ICED 1999, Vol. 1, München, 24.-26.08.1999. München: TU 1999, S. 171-176. (WDK 26).
- SCHWANKL, L. (2000A):
Konzeptionelle Entwicklung innovativer Bremssysteme. In: VDI EKV (Hrsg.): Mechatronik - Mechanisch/Elektrische Antriebstechnik. Tagung Wiesloch, 29.-30.03.2000. Düsseldorf: VDI 2000, S. 109-126. (VDI-Berichte 1533).
- SCHWANKL, L. (2000B):
Documentation and evaluation in early stages of the product development process. In: Wallace, K; Culley, S.; Duffy, A.; McMahon, C. (Eds.): Proc. of the 13th Intern. Conference on Engineering Design 01, Glasgow, 21.-23.08.2001. Vol. "Design Management – Process and Information Issues". Glasgow: I Mech E 2001, S. 235-242. (WDK 28).
- SCHWANKL, L.; PICHLER, B.; ZIEGLER, S.; BERNECKER, F.; HANSCHKE, M.:
Interdisziplinäre Entwicklung komplexer mechatronischer Produkte - am Beispiel medizintechnischer Anwendungen. In: VDI-Mechatronik Tagung 2001 - Innovative Produktentwicklung, Frankenthal, 12.-13.09.2001. Düsseldorf: VDI EKV 2001. (VDI-Berichte)
- SCHWANKL, L.; PACHE, M.:
Collaboration between University and Industry in Engineering Design. In: Scrivener, S. (Eds.): Adjunct Proc. of Col-laborative Design. CoDesign 2000 Coventry, 11.-13.09.2000. Coventry: Univ. 2000, S. 185-190.
- SELIGER, G.; NIEMEIER, J.; SCHENKENBECHER, K.:
Systematische Bewertung von F&E – Projekten. ZWF 91 (1996) 9, S. 416-418.
- SELL, I.:
Entscheidungsmodelle zur Bewertung und Auswahl von Produktalternativen. Konstruktion 50 (1998) 5, S. 36-40.
- SEVERIN, D.; LÜHRSEN, B.:
Veränderung der Temperaturen und der Reibungszahlen in den Reibflächen von Industriebremsen bei thermischer Belastung. Deutsche Hebe- u. Fördertechnik dhf (1983) 5/6, S.37-47.
- SEVERIN, D.; MUSIOL, F.:
Der Reibprozess in trockenlaufenden mechanischen Bremsen und Kupplungen. Konstruktion 47 (1995) 3, S.59-68.
- SHEPARD, H.:
Innovation-Resisting and Innovation-Producing Organizations. In: Journal of Business, Vol. 40, 1967, S. 470-477.
- SMITH, J.; CLARKSON, J.:
Improving Reliability During Conceptual Design. In: Culley, S.; Duffy, A.; McMahon, C.; Wallace, K. (Eds.): Proc. of the 13th Intern. Conference on Engineering Design 01, Vol. "Design Methods for Performance and Sustainability" Glas-gow, 21.-23.08.2001. Glasgow: I Mech E 2001, S. 83-90. (Schriftenreihe WDK 28).
- SPATH, D.; DILL, C.; SCHARER, M.:
Der Kommunikationszirkel vom Markt zum Markt. ZWF 96 (2001) 3, S.105-109.
- SPATH, D.; MATT, D.:
Schlanke Informationsprozesse. ZWF 93 (1998) 7/8, S. 338-340.
- SPATH, D.; MATT, D.; GEISINGER, D.:
Marktorientierte Neuproduktentwicklung. ZWF 93 (1998) 5, S. 200-202.
- SPATH, D.; STERNEMANN, K.; HERM, M.:
Kostenextensive Bereitstellung von Unternehmensinformationen. ZWF 96 (2001) 7-8, S. 378-382.
- SPECHT, D.; BEHRENS, S.; KIRCHHOF, R.:
Komplexität beim strategischen Technologiemanagement. ZWF 94 (1999) 12, S. 720-724.
- SPUR, G.:
Innovative Technologiepolitik. ZWF 93 (1998) 11, S. 538-339.
- SPUR, G.:
Auf dem Weg zur virtuellen Produktentwicklung. ZWF 92 (1997) 3, S. 74-75.
- SPUR, G.:
Ganzheitliches Technologiemanagement – Eine Aufgabe für Ingenieure. ZWF 92 (1997b) 4, S. 146-147.
- SPUR, G.:
Informations- und Kommunikationstechnik in der Produktion. ZWF 91 (1996) 3, S. 62-63.

- SPUR, G.:
Strategisches Produktmanagement. ZWF 91 (1996b) 7-8, S. 308-309.
- STACEY, M.; ECKERT, C.; MCFADZEAN, J.:
Sketch interpretation in design communication. In: Lindemann, U.; Birkhofer, H.; Meerkamm, H.; Vajna, S. (Eds.): Proc. of the 12th Intern. Conference on Engineering Design ICED 1999, Vol. 2, München, 24.-26.08.1999. München: TU 1999, S. 923-928. (Schriftenreihe WDK 26)
- ST-AMANT, R.; CHARRON, F.:
Design of experiments in engineering design. In: Hubka, V. et al. (Eds.): Proc. of ICED 95, Vol. 3, Praha. Zürich: Edition Heurista 1995, S. 1110-1111. (Schriftenreihe WDK 23).
- STEELE, J.; AUSTIN, S.; MACMILLAN, S.; SPENCE, R.; KIRBY, P.:
Identifying and managing iteration within the early stages of the building design process. In: Wallace, K; Culley, S.; Duffy, A.; McMahon, C. (Eds.): Proc. of the 13th Intern. Conference on Engineering Design 01, Glasgow, 21.-23.08.2001. Vol. "Design Applications in Industry and Education" S. 123-130. Glasgow: I Mech E 2001. (WDK 28).
- STEINWACHS, H.:
Praktische Konstruktionsmethode. Anleitung zum methodischen Konstruieren. Würzburg: Vogel 1976.
- STEINWENDER, F.:
Konstruieren im Maschinenwesen: von der Konstruktionsvorgabe bis zur Bauvorlage. München: Prentice Hall 1997.
- STETTER, R.; PACHE, M.:
Körperliche Modelle in der Produktentwicklung. In: Milberg, J.; Reinhart, G. (Hrsg.): Rapid Prototyping. Effizienter Einsatz von Modellen in der Produktentwicklung, München. München: Herbert Utz 1998. S. 2-1 - 2-26. (iwb Seminarberichte Nr. 38).
- STOLZ, P.:
Aufbau technischer Informationssysteme in Konstruktion und Entwicklung am Beispiel eines elektronischen Zeichnungsarchivs. München: Hanser 1994.
- STRECKFUß, G.:
Was ist Quality Function Deployment (QFD)? Entnommen am: 26.0.01, URL: <http://www.qfd-id.de/>
- STRITZKE, H.:
Internetgestütztes Informations- und Kommunikationssystem für verteilte Projektteams am Beispiel der Produktentstehung. Fortschrittsbericht. VDI Reihe 10 Nr. 569. Düsseldorf: VDI Verlag 1999.
- TAGUCHI, G.:
Quality Engineering in Production Systems. McGraw-Hill Book Company 1989.
- TERNINKO, J.; ZUSMAN, A.; ZLOTIN, B.:
Systematic Innovation – Theory of Inventive Problem Solving. 2. Edition. Nottingham, USA: Ideation International Inc. 1996.
- TROPSCHUH, P.:
Rechnerunterstützung für das Projektieren mit Hilfe eines wissensbasierten Systems. Konstruktionstechnik München, Band 1. München: Hanser 1989.
- TUSHMAN, M.; O'REILLY, CH.:
Innovation ist machbar. Landsberg/Lech: Moderne Industrie 1998.
- ULLMANN, D.:
The mechanical design process. 2. Auflage. Mc Graw-Hill 1997.
- ULLMAN, D.:
Computer Support for Design Team Decisions. In: Effizienter Entwickeln und Konstruieren, Düsseldorf: VDI 1995, S. 83-95. (VDI-Bericht 1169).
- ULUSOY, Y.:
EDM und technische Organisation. ZWF 91 (1996) 4, S. 152-153.
- VAJNA, S.; WEBER, C.:
Teilmodelle im Konstruktionsprozess – Bindeglied zwischen methodischer und rechnerunterstützter Konstruktion. Konstruktion (2000) 4, S. 46-50

- VDI-RICHTLINIE 2211, BLATT 1:
Datenverarbeitung in der Konstruktion – Methoden und Hilfsmittel – Aufgabe, Prinzip und Einsatz von Informationssystemen. Düsseldorf: VDI-Verlag 1980.
- VDI-RICHTLINIE 2221:
Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Düsseldorf: VDI-Verlag 1993.
- VIERTLBÖCK, M.:
Modell der Methoden- und Hilfsmiteleinführung im Bereich der Produktentwicklung. (Produktentwicklung München, Bd. 42) München: TU, Diss. 2000.
- VÖTTER, M.; MASHHOUR, T.:
Verbesserung der FMEA durch eine systematische Erfassung von Kausalzusammenhängen. VDI-Z Integrierte Produktion 138 (1996) 4, S. 52-54.
- VROOM, R.:
From databases to data management within product development. . In: Advances in computer-aided engineering: CAD/CAM-research at Delft University of Technology. Delft: Delft University Press 1994, S. 187 – 194.
- WACH, J.:
Problemspezifische Hilfsmittel für die integrierte Produktentwicklung. München: Hanser 1994.
- WATSON, G.:
Business systems engineering. Managing Breakthrough changes for productivity and profit. USA: John Wiley & Sons 1994.
- WELCH, R.; DIXON, J.:
Representing function, behavior and structure during conceptual design. In: (Hrsg.) Taylor, D.; Stauffer, L.: Design theory and Methodology – DTM '92. 4th International conference on design theory and methodology, Scottsdale, Arizona September 13.-16. 1992, USA: ASME 1992. S. 11 – 18.
- WESTKÄMPER, E.; FREESE, J.; MUTHSAM, H.:
Innovation und Produktentwicklung in virtuellen Strukturen. ZWF 92 (1997) 11, S. 579-582.
- WIEGERS, T.; BREEMEN VAN, E.; KNOOP, W.; VERGEEST, J.:
Valuation of Design Concepts. In: Designers: The Key to Successful Product Development. In: Frankenberger, E.; Badke-Schaub, P.; Birkhofer, H. (Hrsg.). London: Springer 1998, S. 284 – 300.
- WIENDAHL, H.:
Betriebsorganisation für Ingenieure. 2. Auflage, München: Hanser 1986.
- WIENDAHL, H.; FRANKEN, T.:
Konstruktionsabläufe beherrschen. ZWF 92 (1997) 11, S. 575-578.
- WILDEMANN, H.:
Leitfaden zur Einführung neuer Entlohnungskonzepte. 10. Auflage. München: 2002.
- WOOD, W.:
A methodology for transforming information into design knowledge. In: Lindemann, U.; Birkhofer, H.; Meerkamm, H.; Vajna, S. (Eds.): Proc. of the 12th Intern. Conference on Engineering Design ICED 1999, Vol. 1, München, 24.-26.08.1999. München: TU 1999, S. 131-136. (Schriftenreihe WDK 26).
- WRIGHT, I.
Design methods in engineering and product design. Berkshire: McGraw-Hill 1998.
- WÜPPING, J.:
Integrierter Ansatz zur kundengerechten Produktentwicklung. Konstruktion 50 (1998) 9, S. 38-42.
- ZÜST, R.:
Einstieg ins Systems Engineering. Zürich: Industrielle Organisation 1997.
- ZWF REDAKTION
Neuronale Netze und Fuzzy-Logik. ZWF 91 (1996) 4, S. 117.

9 Anhang

9.1 Ausgewählte Ergebnisse der Umfrage

An der Umfrage zum „Methodischen Vorgehen in den frühen Phasen der Produktentwicklung“, die im Zeitraum September bis Dezember 2000 durchgeführt worden ist, haben sich 59 Personen mit unterschiedlicher Vorbildung aus zehn verschiedenen Branchen beteiligt, wobei die Mehrzahl aus dem Maschinen- und Anlagenbau bzw. dem Automobilbau stammt (ca. 80%).

Der verwendete Fragebogen enthielt Fragen zum Unternehmen, zum Bearbeiter, zum allgemeinen methodischen Vorgehen und zur Dokumentation. Darüber hinaus besaßen die Teilnehmer die Möglichkeit in einem separaten Abschnitt eigene Fragen und Anregungen zu formulieren.

Im Vergleich zu Umfragen anderer Institute oder Forschungseinrichtungen (z.B. ILOI 1997, GAUSEMEIER ET AL. 200) lieferte die Auswertung zum Teil ähnliche Aussagen, zum Teil sind aber auch Abweichungen festzustellen. Ursachen für diese Abweichungen sind begründet in:

- der Ausbildung der Teilnehmer (im Vergleich zur ILOI Umfrage wurden fast ausschließlich Ingenieure befragt).
- der Unternehmensgröße (sehr viele Großunternehmen, die ILOI Umfrage richtete sich dagegen an KMU's).
- der Branchenzugehörigkeit der befragten Unternehmen.

78% der beteiligten Unternehmen besitzen einen großen Einfluss am Markt, 19% nur einen mittleren Einfluss. Mehr als die Hälfte der beteiligten Unternehmen gehören zu einem größeren Konzern. Die Zahl der Mitarbeiter der jeweiligen Unternehmen geht aus Abbildung 9-1 hervor.

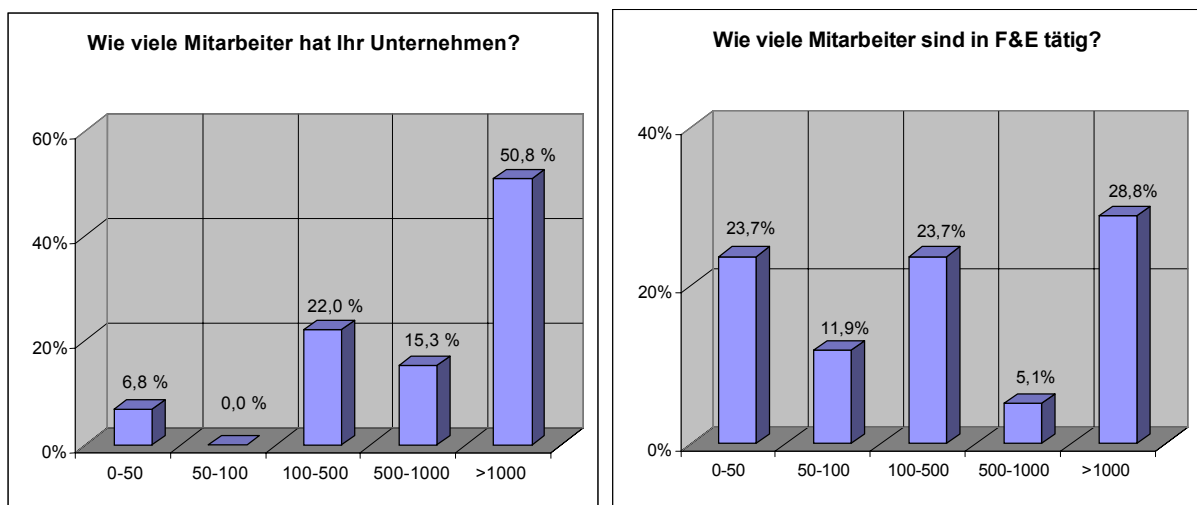


Abbildung 9-1: Gesamtzahl der Mitarbeiter und Anteil der in Forschung und Entwicklung tätigen

Mit ca. 85% stellen Personen mit einer Ausbildung zum Ingenieur (FH, TU, TH) die Mehrheit der Teilnehmer dar (Abbildung 9-2). Sie besitzen im Durchschnitt 10,5 Jahre Berufserfahrung und sind größtenteils mit technisch komplexen Neuentwicklungen beschäftigt (61%).

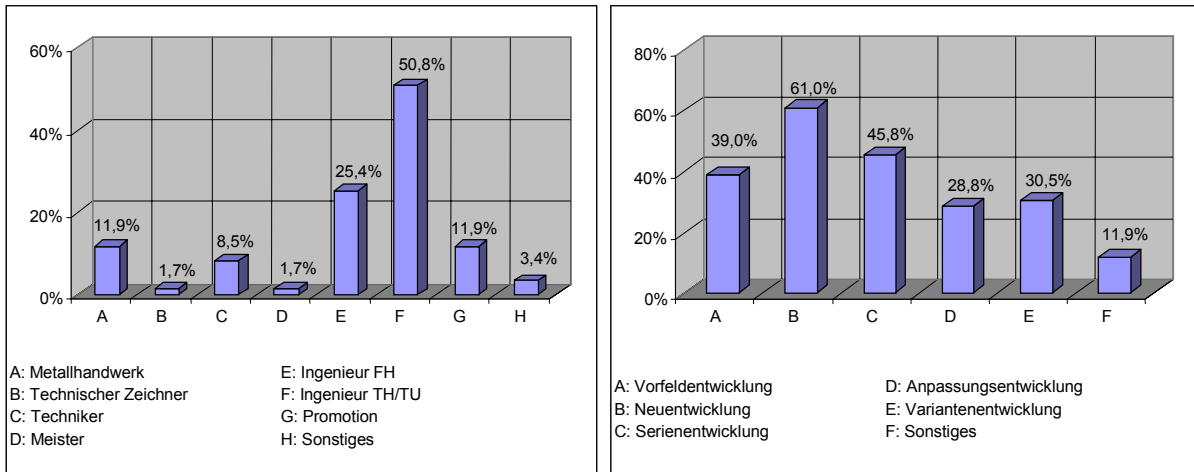


Abbildung 9-2: Ausbildung und Tätigkeiten der Umfrage-Teilnehmer

Im Folgenden sind ausgewählte Ergebnisse zu einzelnen Fragestellungen enthalten, die in den vorhergehenden Kapiteln diskutiert worden sind:

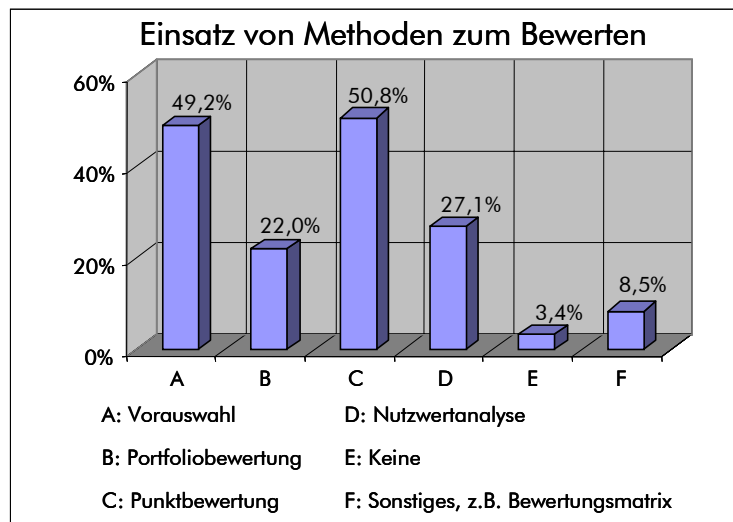


Abbildung 9-3: Anwendung von Methoden zum Bewerten von Lösungsalternativen

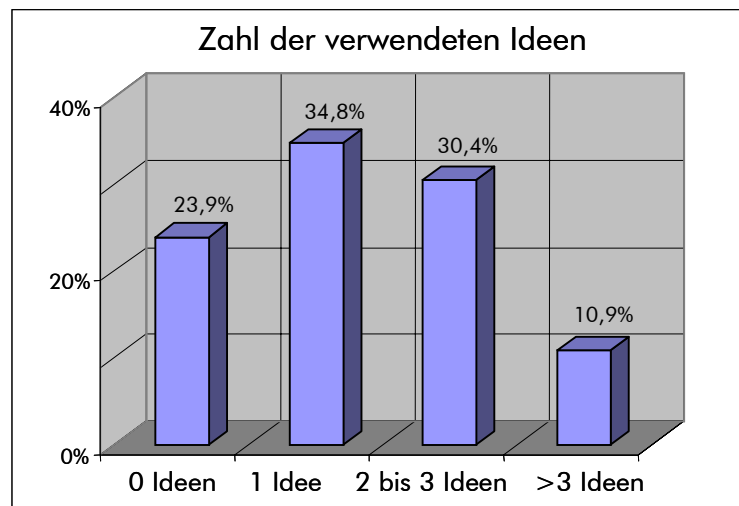


Abbildung 9-4: Anteil der verwendeten Ideen, die im Rahmen einer kreativen Sitzung entstanden sind

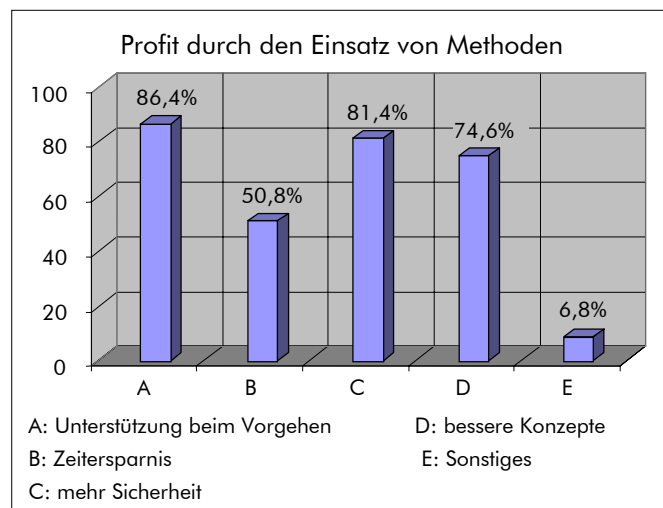


Abbildung 9-5: Profit durch den Einsatz von Methoden

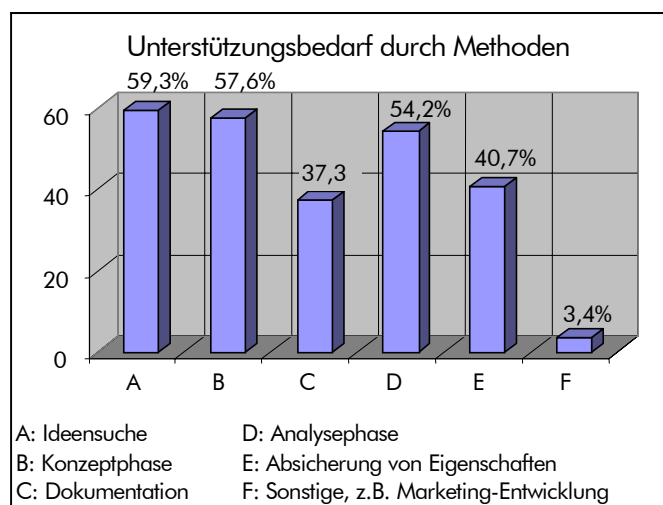


Abbildung 9-6: Unterstützungsbedarf durch Methoden

9.2 Ausgewählte Entwicklungsprojekte

In den folgenden Kapiteln werden verschiedene Entwicklungsprojekte vorgestellt, aus denen die Notwendigkeit für das Erweiterte Vorgehensmodell sichtbar und Unterstützungsbedarf in den Bereichen Methodenauswahl und Dokumentation erkannt wurde. Außerdem konnten hier weitere Anforderungen an das Vorgehensmodell, die Methoden und Hilfsmittel identifiziert werden, die bei deren Optimierung berücksichtigt worden sind sowie einzelne Elemente davon getestet werden. Bei der Durchführung all dieser Projekte stand insbesondere die Phase der Analyse relevanter Produkteigenschaften im Mittelpunkt der Betrachtung. Neben verschiedenen Methoden, die in unterschiedlichen Phasen eingesetzt worden sind, wurde auch der unterstützende Einsatz von Modellen, Funktionsmustern und Prototypen intensiv untersucht. Durch die unterschiedlichen Fragestellungen und Produktbereiche, die im Rahmen dieser Projekte behandelt worden sind, sowie durch die unterschiedliche Komplexität der Projekte, bot sich ein geeignetes Umfeld zur Anwendung und Erprobung des Erweiterten Vorgehensmodells sowie aller Methoden und Hilfsmittel, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit definiert worden sind.

9.2.1 Komponentenoptimierung im Bereich PKW-Sitze

9.2.1.1 Aufgabenstellung

In einer Reihe von Projekten wurde das System PKW-Sitz überarbeitet, wobei folgende Aufgabenstellungen im Mittelpunkt standen:

- a) Optimierung der Kopfstütze: Hier sollte der Einsatz alternativer Werkstoffe (Kunststoffe) im Kopfstützengestänge untersucht sowie Designanforderungen (Einstangensystem, keine sichtbaren Rastnuten für die Höhenverstellung) berücksichtigt werden. Problematisch waren die hohen Anforderungen an die Festigkeit dieser sicherheitsrelevanten Komponenten. Diese Anforderungen und die zu deren Überprüfung obligatorischen Prüfzyklen sind in verschiedenen Normen niedergeschrieben.
- b) Entwicklung einer Kopfstützenverstellung mit integrierter Easy-Entry Funktion: Die betrachtete Fahrzeugkategorie (2-Türer), bei der der Fahrer- bzw. Beifahrersitz verstellt werden muss, um Rücksitzpassagieren das Ein- und Aussteigen zu ermöglichen, ist mit einer sogenannten Easy-Entry Funktion ausgestattet. Mit dieser Funktion kann der Sitz nach erfolgter Verstellung wieder in die ursprüngliche Ausgangsposition zurückbewegt werden, ohne dass zusätzliche Einstellungen erforderlich sind. Problematisch ist lediglich die Kopfstütze, die nicht in diese Funktionalität integriert ist und in vielen Fällen neu justiert werden muss. Befindet sich diese in einer weit ausgefahrenen Position, schlägt sie beim Vorklappen des Sitzes am Dachhimmel an und wird dadurch eingefahren und verstellt.
- c) Optimierung des Sitzverstellbereichs: Der Sitzverstellbereich beschreibt jenen Bereich, den der sogenannte H-Punkt (Hüftpunkt) überstreichen kann. Um allen Anfor-

derungen der Kunden gerecht werden zu können, wäre ein deutlich vergrößerter Bereich wünschenswert, der im Optimum eine rechteckige Form¹ aufweist.

9.2.1.2 Vorgehen

Bei der Bearbeitung dieser Aufgaben kristallisierten sich die Schwerpunkte im Bereich „Werkstoffe“ (a) sowie „Kinematik“ (b und c) heraus.

Bevor überhaupt Lösungsvarianten für die Eingestängesysteme erarbeitet worden sind, wurden umfangreiche Recherchen durchgeführt und nach geeigneten Werkstoffen gesucht. Diese mussten aufgrund sicherheitstechnischer Richtlinien (Bruchfestigkeit, hohe Belastungen im Crashfall) sehr hohe Anforderungen erfüllen. Da die erforderlichen Informationen in Bezug auf diese Anforderungen weder in der Literatur noch bei den Herstellern dieser Werkstoffe erhältlich waren, mussten umfangreiche Analysen durchgeführt werden, auf deren Basis fundierte Aussagen getroffen werden sollten.

Dabei wurden in einem ersten Schritt in orientierenden Versuchen verschiedene Materialkennwerte erfasst, die zur Kalibrierung eines FEM - Modells verwendet worden sind. Neben Messreihen mit rein statischen Belastungen (zur Bestimmung der Verformung) waren auch dynamische Untersuchungen erforderlich, die mittels eines Schlagpendels durchgeführt wurden. Anhand dieser Materialkennwerte konnten im zweiten Schritt verschiedene Lösungsalternativen mit Hilfe der FEM - Berechnung überprüft werden.

Bei den orientierenden Versuchen wurden mehrere geeignet erscheinende Materialien analysiert, die in Form von Halbzeugen zur Verfügung standen. Diese Versuche wurden im Entwicklungslabor des Lehrstuhls durchgeführt. Dazu wurde aus bereits vorhandenen Einrichtungen (Computer mit Messerfassungssoftware, Kraftmessdosen, diverse Messhardware, Schlagpendel, Versuchseinrichtung zum Aufbringen statischer Lasten) und speziellen Erweiterungen (Einspannvorrichtungen für die Halbzeuge, Umbau des Schlagarms) in kurzer Zeit ein einfacher Versuchsaufbau realisiert. In mehreren Versuchsreihen konnten die in einschlägigen Normen geforderten Lastfälle verifiziert werden. Dazu wurde bei unterschiedlichen Temperaturen (-25°C, +25°C, 60°C) jeweils der Aufprall von vorne, der Aufprall von hinten und die Torsionsfestigkeit an sämtlichen Materialien untersucht.

Basierend auf den Ergebnissen dieser orientierenden Versuche konnten mit Hilfe der FEM - Berechnung relevante Abmessungen festgelegt werden, die aus Festigkeitssicht erforderlich waren. Unter Berücksichtigung dieser Berechnungsergebnisse wurden im Folgenden verschiedene Konzepte erstellt und Einbauuntersuchungen am CAD-Modell durchgeführt. Durch die Kombination aus orientierenden Versuchen an einfachen Halbzeugen und der Verifizierung mittels FEM-Berechnungen konnte der Analyseaufwand stark reduziert werden und dennoch alle erforderlichen Informationen in kurzer Zeit zusammen getragen werden.

¹ Die Neigungsverstellung erfolgt üblicherweise durch Kippen der Sitzfläche um einen festen Drehpunkt, die dazu führt, dass die Sitzfläche nicht parallel nach unten verstellt wird. Diese Rotation führt dazu, dass die anfangs parallel zum Fahrzeugboden ausgerichtete Sitzfläche in der Endposition dazu geneigt ist. Wünschenswert wäre u.a. auch eine Höhenverstellung, bei der die Sitzfläche im gesamten Längsverstellbereich parallel ausgerichtet bleibt.

Tabelle 9-1: Eingesetzte Modelle zur Unterstützung der Analysen bei der Komponentenoptimierung von PKW-Sitzsystemen

Analyseziel	Analyse	Modell								
		Handskizzen	Skizzen (Zeichenprogramm)	Berechnungsmodell	Simulationsprogramm	CAD-Modelle	Baukasten	Funktionsträger (Originalmaterial)	Vorhandene Bauteile (modifiziert)	Prototypen (eigens gefertigt)
Informationen über die Festigkeit der Werkstoffe zur Kalibrierung der FEM Rechnung bzw. abschließenden Überprüfung	Statische und dynamische Untersuchungen zur Kalibrierung der FEM Rechnung			X				X	X	X
	Festigkeitsberechnung zur Festlegung der Bauteilabmessungen und Beurteilung der Sicherheitsrichtlinien			X		X				X
Beurteilung des Funktionsverhaltens verschiedener Lösungsvarianten: Kopfstützenverstellung (keine unbeabsichtigte Verstellung)	Berechnung der Verstellkraft	X		X						
	Überprüfung der Verstellkraft							X	X	
Funktion der automatischen Kopfstützenverstellung (Easy-Entry Funktion)	Kinematik der Kopfstützenverstellung	X	X		X		X			
Funktion der H –Punkt Verstellung	Kinematik der H-Punktverstellung	X	X		X		X		X	
Realisierbarkeit der Konzepte aufgrund des zur Verfügung stehenden Bauraums	Bauraumuntersuchungen		X			X	X			X

Bei den Kinematikuntersuchungen, die für die Aufgaben b) und c) erforderlich waren, wurden einfache Modelle eingesetzt, die aus Elementen eines Baukastensystems aufgebaut worden sind. Damit konnte die prinzipielle Funktion verschiedener Lösungsvarianten, die zu diesem Zeitpunkt nur in Form einfacher Skizzen vorlagen, aufwandsarm beurteilt werden. Diese einfachen Baukastenmodelle konnten rasch und aufwandsarm verändert und um weitere Elemente ergänzt werden. Dadurch konnten zahlreiche Konzepte in kürzerer Zeit analysiert werden, als es mit realen Sitzprototypen möglich gewesen wäre.

9.2.1.3 Ergebnisse und Erkenntnisse¹

Das schrittweise Analysieren, bei dem die Ergebnisse der orientierenden Analysen als Eingangsinformation für die folgenden, detaillierteren Analyse verwendet werden, hat hier eine rasche Projektbearbeitung mit abgesicherten Zwischenergebnissen erlaubt. Die Informationen zu den Ein- und Ausgangsinformationen, die zur Anwendung einer Methode erforderlich sind, wurden dabei aus der Methodendatenbank entnommen. Dadurch konnten die einzelnen Analysen gut aufeinander abgestimmt werden.

Ebenso haben die zahlreichen Modelle, die zur Unterstützung eingesetzt worden sind, wesentlich zum Verständnis beigetragen und abgesicherte Aussagen ermöglicht, die für das weitere Vorgehen von großer Bedeutung waren. Der Informationsstand konnte kontinuierlich erhöht werden.

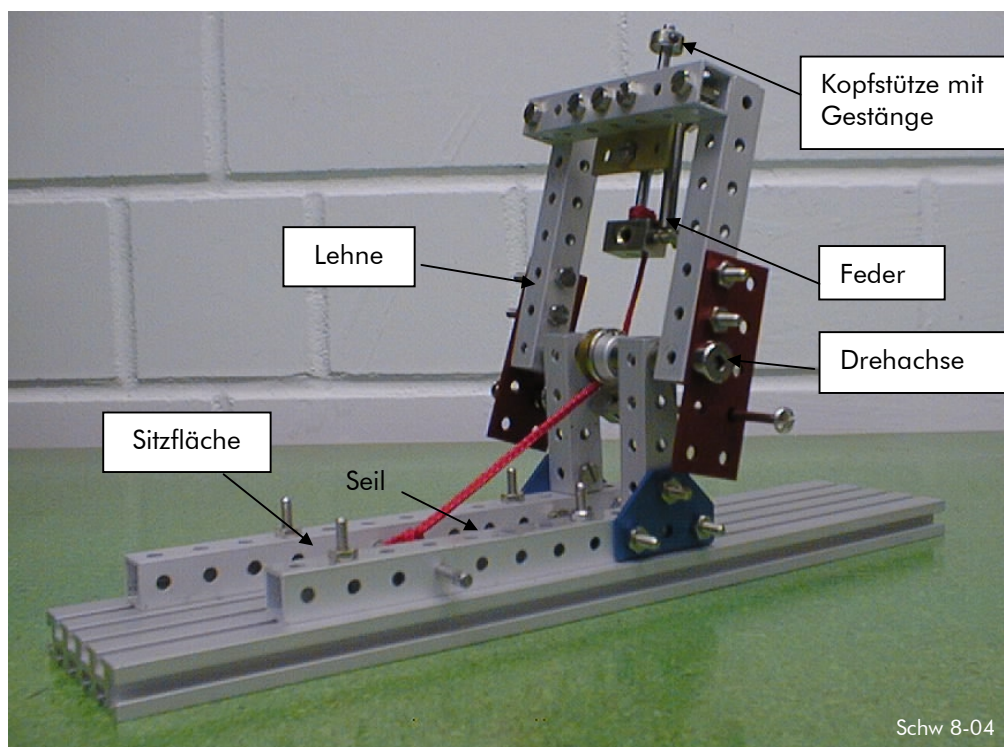


Abbildung 9-7: Einfaches Baukastenmodell zur Analyse der Easy Entry Funktion

Durch den Einsatz von Teilfunktionsträgern und deren Analyse konnte das Verhalten einzelner Lösungsvarianten sehr rasch überprüft und beurteilt werden. Es ist zu berücksichtigen, dass neben sehr detaillierten Modellen (zur FEM-Berechnung) auch äußerste abstrakte Modelle (Baukastenmodelle) zum Einsatz kamen, die gerade in den frühen Phasen sehr schnell generiert und analysiert werden konnten. Diese Informationen erlaubten eine zielgerichtete Optimierung einzelner Funktionen und die Festlegung von abgesicherten Konzepten. Aufbauend auf diesen abgesicherten Ergebnissen wurden seriennahe Prototypen entwickelt, die im weiteren Verlauf des Projekts nur noch geringfügig geändert werden mussten.

¹ Eine detailliertere Betrachtung der Ergebnisse wurde von PACHE, SCHWANKL & STETTER (1999) durchgeführt.

Der Mehraufwand, der in den frühen Phasen infolge der umfangreichen orientierenden Versuche aufgetreten ist, hat zu enormen Zeitersparnisse in den folgenden Phasen der Entwicklung geführt, da nur noch wenige Analysen erforderlich waren und kostenintensive Änderungen vermieden werden konnten. Somit kann von einer insgesamt kürzeren Gesamtentwicklungszeit ausgegangen werden.

Die im Rahmen der Materialuntersuchungen generierten Informationen konnten auch anderweitig wieder verwendet werden, da in mehreren Bauteilen ein Einsatz von Kunststoff angestrebt wird.

9.2.2 Innovativer Schiffsantrieb – Konzepte für den Voith Schneider Propeller

9.2.2.1 Aufgabenstellung

Der Voith Schneider Propeller (VSP) ist ein System zur Schuberzeugung für Schiffe, das in erster Linie bei Hafenschleppern, Hochseefähren und Spezialschiffen eingesetzt wird. Bei diesen Schiffen wird eine hohe Schubleistung und eine außerordentliche Wendigkeit gefordert. Beim VSP rotieren die senkrecht aus dem Schiffsboden herausragenden Flügel um eine senkrechte Achse. Dieser Drehbewegung ist eine Schwingbewegung der einzelnen Propellerflügel um ihre eigene Achse überlagert, deren Amplitude die Schubgröße und deren Phasenlage die Schubrichtung bestimmt.

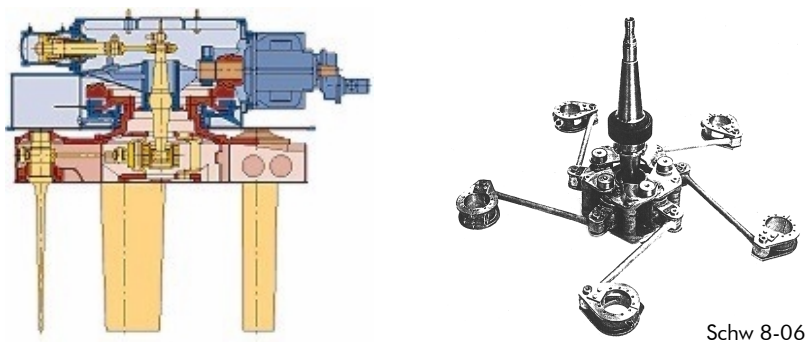


Abbildung 9-8: Voith Schneider Propeller und Verstellkinematik (VOITH 2001)

In Folge gesteigerter Kundenwünsche sollte dieses System überarbeitet und nach neuen Lösungsalternativen gesucht werden. Neben der Erhöhung der Systemleistung waren eine Gewichts- und Kostensenkung, eine kompaktere Bauweise und eine Reduzierung der Teilezahl vorrangige Ziele dieses Entwicklungsprojekts.

9.2.2.2 Ausgangssituation und Vorgehen

Aufgrund des Neuheitsgrades des betrachteten Systems für einen Großteil der Bearbeiter war eine intensive Aufgabenklärung und Analyse des bestehenden VSP erforderlich. Dies wurde im Team durchgeführt, wobei auch die Hauptanforderungen und Hauptfunktionen des VSP herausgearbeitet und nach ihrer Komplexität beurteilt worden sind. Zur Umsetzung einzelner

Funktionen wurden verantwortliche Bearbeiter festgelegt, die auch die Einhaltung der jeweils funktionsrelevanten Anforderungen beachten mussten. Die in diesem Schritt auf die Hauptforderungen reduzierte Anforderungsliste ließ sich sehr leicht handhaben, da nur die wirklich relevanten Elemente enthalten waren.

Durch die Zuordnung der Hauptanforderungen zu den Haupt- und Nebenfunktionen konnten relevante Zusammenhänge und Abhängigkeiten aufgedeckt werden, die für die Ableitung der Bewertungskriterien und die Lösungssuche entscheidend waren. Beispielsweise müssen bei der Umsetzung der Funktion *Steuerpunktverstellung*¹ neben den im ersten Schritt zugeordneten Anforderungen (Fahren im kartesischen Koordinatensystem, Drehen auf der Stelle), auch die Anforderungen an die Fahrgeschwindigkeit und die Zuverlässigkeit beachtet werden, da sie entscheidenden Einfluss auf mögliche Lösungskonzepte aufweisen. Diese Informationen wurden vom jeweiligen Verantwortlichen für eine Funktion ausgewertet und im Ideenspeicher dokumentiert.

Tabelle 9-2: Reduzierte Anforderungsliste mit Hauptanforderungen² und Haupt-/Nebenfunktionen des VSP

Hauptanforderungen an den VSP	Haupt-/Nebenfunktionen
Fahren im kartesischen Koordinatensystem	Steuerpunktverstellung
Drehen auf der Stelle	Ansteuerung/Kinematik
Hohe Positioniergenauigkeit	Regelung der Steuerpunktverstellung
Hohe Schuberzeugung	Momenteinleitung
Stufenlose Geschwindigkeitsregelung	Lagerung des Rotors
Hohe Fahrgeschwindigkeit	Lagerung der Flügel
Hohe Zuverlässigkeit	Ölhaushalt, Schmierung

Basierend auf den Haupt- und Nebenfunktionen wurde ein abstraktes Funktionsmodell des VSP skizziert, aus dem weitere wichtige Parameter abgeleitet werden konnten, wie z.B. der Einfluss der Flügelgeometrie auf die Positioniergenauigkeit und den Leistungsbedarf.

Basierend auf der Fülle der bereits vorliegenden Informationen wurden die Komplexität und Beherrschbarkeit einzelner Funktionen beurteilt, relevante Problembereiche identifiziert und das weitere Vorgehen in einer gemeinsamen Diskussion festgelegt.

Im Anschluss an die Analysephase wurde unter Einsatz verschiedener Kreativitätstechniken zielgerichtet nach Lösungen für einzelne Hauptfunktionen gesucht und so ein großer Lösungsraum aufgespannt. Zur Unterstützung der Lösungssuche wurden Ideenformulare eingesetzt sowie ein Ideenspeicher angelegt, in dem die Lösungen - nach Funktionen geordnet - dokumentiert und archiviert worden sind. Zur Förderung des Verständnisses der Aufgabe und zur Verifizierung der generierten Lösungen wurden neben Handskizzen und graphischen Darstellungen am Rechner auch einfache Baukastenmodelle sowie ein verkleinertes Modell des VSP³ eingesetzt.

Aus der Fülle erzeugter Lösungen, die sowohl eine Optimierung des bestehenden VSP darstellten als auch äußerst innovative Gesamtkonzepte enthielten, wurden im Rahmen einer

¹ Die Verstellung des Steuerpunktes bewirkt eine Änderung der Fahrtrichtung.

² Aus Gründen der Geheimhaltung wird auf eine genaue Spezifikation der Anforderungen verzichtet.

³ Aus dem Modellbau.

Vorauswahl, die gemeinsam mit Mitarbeitern des beteiligten Unternehmens durchgeführt worden ist, geeignete Lösungen für die weitere Umsetzung ausgewählt.

9.2.2.3 Ergebnisse und Erkenntnisse¹

Ungeachtet des Neuheitsgrades, den dieses äußerst komplexe System für die Bearbeiter hatte, konnten in kurzer Zeit eine Vielzahl unterschiedlicher Lösungen erarbeitet werden.

Durch intensive Auseinandersetzung mit der Aufgabenstellung und umfangreiche Recherchen nach alternativen Antriebskonzepten und Themenfeldern, die einzelne Funktionen betreffen (z.B. Strömungsmechanik zur Optimierung der Flügelprofile), wurden eine Reihe von wichtigen Informationen zusammengetragen, die für die zielgerichtete Lösungssuche, die Bewertung und Auswahl sehr wertvoll waren. Die zur Unterstützung eingesetzten Modelle sowie die Diskussionen der Vor- und Nachteile führten zu einem vertieften Verständnis der Thematik und dem Erkennen von Problembereichen, bei denen vordringlicher Handlungsbedarf vorhanden war. Trotz des großen Abstraktionsgrades dieser Modelle und der einfachen Analysen (Skizzen mit Bewegungspfeilen, orientierende Berechnungen, Untersuchung von Einbauvarianten am Rechner mit einfachen Hüllgeometrien) ließen sich fundierte Aussagen über das zu erwartende Verhalten einzelner Lösungen treffen.

Durch den Einsatz verschiedener Werkzeuge zur Unterstützung der Dokumentation konnte ein umfangreicher Ideenspeicher aufgebaut werden, der für die zukünftige Überarbeitung des Systems sehr wertvoll ist. Es hat sich auch gezeigt, dass einzelne Lösungen im Laufe der Zeit wiederholt aufgegriffen worden sind und nach intensiver Beschäftigung wieder verworfen wurden. Da im Ideenspeicher auch Lösungen dokumentiert werden, die Schwachstellen aufweisen, kann eine derartige unproduktive Mehrarbeit vermieden werden. Der Entwickler kann in so einem Fall auf die bereits vorhandenen Informationen zurückgreifen und sich die Begründung für die schlechte Bewertung einer Lösung ansehen. Hier ist lediglich zu prüfen, ob die Beurteilung einer Lösung aufgrund sich geänderter Randbedingungen angepasst werden muss und eine Lösung, die vor einiger Zeit als nicht realisierbar eingestuft worden ist, nun doch umgesetzt werden kann. Neben Lösungen, die Schwachstellen in einzelnen Funktionen beheben, enthält dieses Archiv auch innovative Gesamtlösungen, die eine deutliche Leistungssteigerung und die Erfüllung der eingangs beschriebenen Ziele versprechen.

Sehr vorteilhaft hat sich die klare Verteilung von Verantwortungen erwiesen. So wurden neben der Verantwortung für einzelne Funktionen des betrachteten Systems auch Verantwortliche zur Pflege und Aktualisierung der eingesetzten Werkzeuge und Hilfsmittel (Anforderungsliste, Ideenspeicher, Morphologischer Kasten) festgelegt und die in Kapitel 3.10.4 beschriebene Rollenverteilung im Team eingehalten.

¹ Weitere Hinweise zum VSP, zu diesem Projekt und den Ergebnissen finden sich unter <http://www.voithschiffstechnik.de>, bei SCHWANKL & PACHE (2000) und bei LINDEMANN (2001).

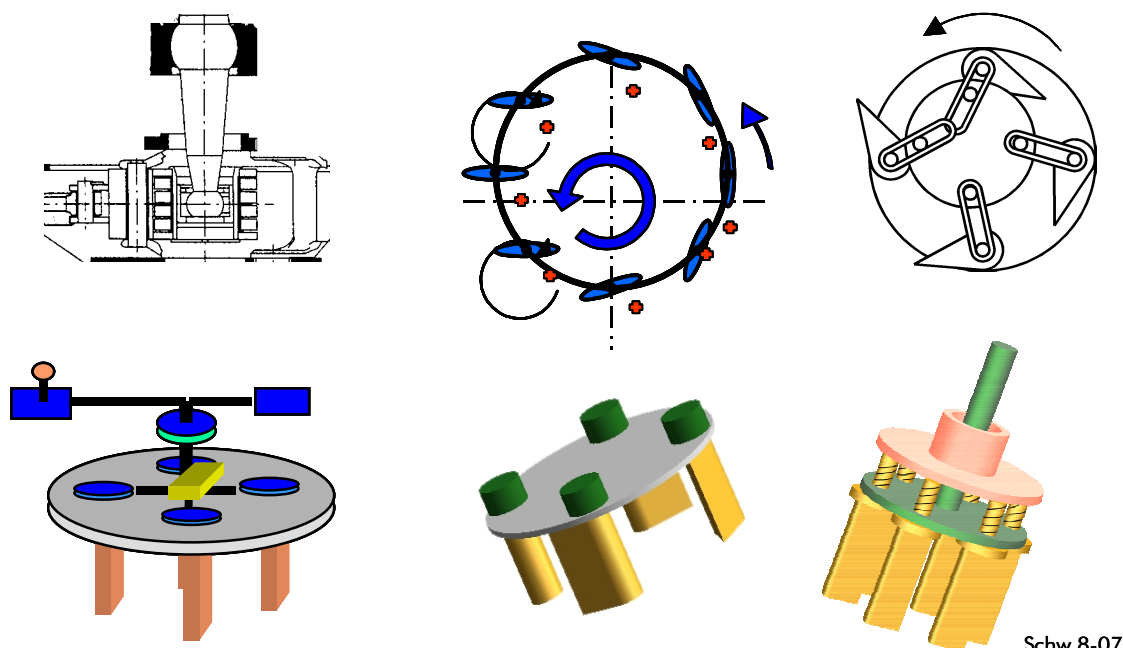


Abbildung 9-9: Generierte Skizzen und abstrakte CAD - Modelle

9.2.3 Optimierung eines Positronen-Emissions-Tomographen

Innerhalb eines interdisziplinären Forschungsprojekts wurde ein Prototyp-Tomograph für die hochauflösende Positronen-Emissions-Tomographie (PET) an kleinen Tieren entwickelt, der verschiedene Schwachstellen aufweist, wie sich in ersten Anwendungen gezeigt hat.

Bei diesen Detektoren handelt es sich um ein hochkomplexes System bestehend aus modernen Halbleiterlichtdetektoren, Szintillationskristallen mit Silikonkopplungen und einer integrierten Signalerfassungs- und -verarbeitungselektronik. Ein Positronen-Emissions-Tomograph besteht aus einer Vielzahl ringförmig angeordneter Detektoren die die eintreffenden γ -Quanten absorbieren und in elektrische Pulse umwandeln. Die Umsetzung der radioaktiven Strahlung in Licht geschieht im Szintillationskristall.

Das im Kristall absorbierte Gammaquant hebt Elektronen in ein höheres Energieniveau. Beim Zurückfallen auf das ursprüngliche Energieniveau werden Photonen im sichtbaren Wellenlängenbereich emittiert. Dieser Vorgang wird als Szintillation bezeichnet. Anschließend muss das Licht (die Photonen) in eine elektrische Ladung umgewandelt werden, wofür hochempfindliche Lichtdetektoren wie Photomultiplier (PMT) oder Lawinen-Photodioden (Avalanche Photodiode, APD) eingesetzt werden. Bei beiden Bauelementen setzen die Photonen des Szintillationslichts Elektronen frei. Diese werden in einem elektrischen Feld beschleunigt und setzen wiederum durch Stoßionisation lawinenartig weitere Elektron-Lochpaare frei, welche mit einem ladungsempfindlichem Vorverstärker in ein Spannungssignal umgesetzt werden.

Bei der Optimierung des vorhandenen Prototypen waren die Disziplinen Maschinenbau (Optimierung des mechanischen Aufbaus, Materialfragen), Elektrotechnik (Signalverarbeitung), Informatik (Signalerfassung und Auswertung), Physik (Detektieren von Gammaquanten) und die Medizin (klinische Anforderungen) gefordert.

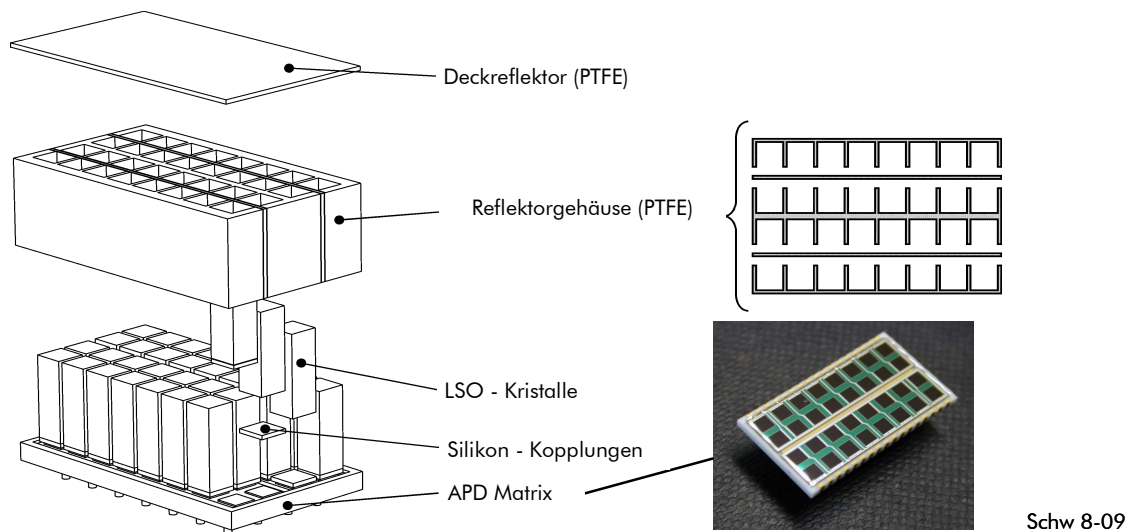


Abbildung 9-10: Detektorkopf

9.2.3.1 Aufgabenstellung

Zur kontinuierlichen Verbesserung des vorhandenen Tomographen sollte eine grundlegende Überarbeitung relevanter Komponenten und eine deutliche Steigerung der Leistungswerte erreicht werden. Als problematisch hat sich unter anderem die Montage des Detektors erwiesen, der aus einer Vielzahl von sehr kleinen Bauteilen aufgebaut werden muss. Für den Einsatz des PET-Tomographen im Magnetresonanztomographen (MRT) mussten dafür geeignete Materialien ausgewählt und auf die Verwendung im Detektor hin untersucht werden. Zum einen dürfen die Materialien nicht magnetisch leitfähig sein, zum anderen sollen sie die Messungen des MRT und PET nicht beeinträchtigen.

Zur Verkürzung der Messzeiten und zur Verbesserung der Reproduzierbarkeit der Messergebnisse sollte ein PET bestehend aus mehreren hintereinander angeordneten Ringen und ein flexibler Kleintierträger entwickelt werden. Da ein Detektorring nur einen axialen Bereich von ca. 20mm abdecken kann, erfolgt die Bildgebung in mehreren Schritten, wobei die Anzahl der Schritte von der Größe (Länge) des Versuchstiers abhängt. Werden jedoch mehrere Ringe axial hintereinander angeordnet, kann der zeitliche Aufwand für die Bilderzeugung und damit die Belastung des Versuchstiers drastisch reduziert werden.

Auf dem Kleintierträger sollen die Versuchstiere befestigt und während der Untersuchung mit Narkosegas versorgt werden können. Da diese Vorrichtung auch im MRT eingesetzt werden muss, sind hier ebenfalls sehr hohe Materialanforderungen zu erfüllen.

Tabelle 9-3: Hauptanforderungen an den PET und an den Kleintierträger

Hauptanforderungen PET-Optimierung	Hauptanforderungen Kleintierträger
Montage vereinfachen und -zeit reduzieren	Sicherstellung lebenserhaltender Funktionen
optische Auflösung verbessern	Narkosegaszufuhr
Kompakterer Aufbau (LxBXH)	Wärmezufuhr
Einsatz im MRT (geeignete Materialien)	Einsatz im MRT (geeignete Materialien)
Aufbau mit mehreren Ringen	kompakte Abmessungen

9.2.3.2 Vorgehen

Aufgrund der Komplexität der Aufgabenstellung wurde eine Aufteilung in verschiedene Hauptfunktionen vorgenommen (Montageoptimierung, Optimierung des Platinenlayouts des PET-Detektors, Entwicklung der flexiblen Kleintierhalterung). Basierend auf einer umfassenden Analyse der Anforderungen konnte der vordringliche Handlungsbedarf identifiziert werden. Neben der Suche nach alternativen Materialien und Anordnungsvarianten, die eine kompaktere Bauweise zulassen, stand die Reduzierung der Montagezeit im Vordergrund. Gerade der Einsatz einer Tierhalterung in unterschiedlichen bildgebenden Verfahren wie PET und MRT erfordert genaue Kenntnisse über den Einfluss der zu verwendenden Materialien auf die Bildgebung. Dazu wurden in mehreren umfangreichen Versuchsreihen Probekörper aus verschiedenen Materialien, die auf Basis ihrer Materialkennwerte als geeignet erschienen, im MRT untersucht und deren Auswirkung auf die Bildqualität beurteilt.

In weiteren orientierende Versuche zur Beurteilung des Funktionsverhaltens wurden einfache Funktionsmuster aus unterschiedlichen Materialien aufgebaut, die mit bereits vorhandenen Komponenten (Auswertelektronik, Signalverarbeitung, usw.) kombiniert worden sind. Bei der Lösungssuche wurden zu den geforderten Funktionen jeweils mehrere Alternativen generiert und im Team bewertet. Bei der Erzeugung von Anordnungsvarianten, die für einen kompakte Systemaufbau erforderlich waren, wurden aus der vorhandenen Bauform verschiedene Variationen abgeleitet und mit Hilfe von graphischen Modellen analysiert. Endgültige Aussagen über die Funktion ließen sich erst nach dem Aufbau von einfachen Funktionsmustern treffen, anhand deren der Montageaufwand abgeschätzt werden konnte.

9.2.3.3 Eingesetzte Rechnerwerkzeuge zur Dokumentation

Zur Unterstützung der nachvollziehbaren Dokumentation, der gerade bei einer derartigen interdisziplinären Zusammenarbeit eine hohe Bedeutung zukommt, wurde der Ideenspeicher eingesetzt. Neben ersten Ideen wurden auch alle offenen Fragen dokumentiert, die im Laufe der Aufgabenklärung und der Analyse der ersten Lösungsvarianten aufgetreten sind. Hierbei hat sich auch die Notwendigkeit einer Zuordnung von Verantwortlichen für einzelne Funktionen bzw. Hauptanforderungen herauskristallisiert. Dies erleichtert die Kommunikation und den Informationsaustausch im Team sowie die Koordination der Entwicklung. Hat eine Funktion Auswirkungen auf eine weitere, können sich die Verantwortlichen umgehend abstimmen. Die Gefahr, dass derartige Zusammenhänge zwar im Laufe der Entwicklung erkannt, aber aufgrund fehlender Zuständigkeiten nicht eingehend erörtert werden, kann damit reduziert werden.

Neben den umfangreichen Materialuntersuchungen waren zahlreiche weitere Versuchsreihen erforderlich, um einzelne Veränderungen am System (z.B. Variation der Anordnung, Auswirkungen von Materialien mit dünneren Wandstärken) zu verifizieren und deren Auswirkungen realistisch beurteilen zu können. Erst nachdem wichtige Informationen über geeignete Materialien vorlagen, konnten Konzepte für einen optimierten Detektoraufbau sowie für die flexible Halterung erstellt werden. Dabei kamen das Ideenformular und die Konzeptdatenbank zum Einsatz.

Um den Montageaufwand zu reduzieren musste anhand von Versuchen die Silikonkopplung (zur Verbindung der Szintillationskristalle mit den Halbleiterlichtdetektoren) durch ein einfacheres Verfahren ersetzt werden. Hierfür wurden Prototypen der Detektorköpfe mit unterschiedlichen Kopplungen aufgebaut und die Prototypen entsprechend modifiziert. In den anschließenden Messungen konnte die Leistungsfähigkeit der unterschiedlichen Kopplungen experimentell bestimmt und beurteilt werden.

9.2.3.4 Ergebnisse und Erkenntnisse¹

Die Entwicklung im interdisziplinären Team führte zu einem kompakten PET-Detektormodul mit besseren physikalischen Eigenschaften sowie einer deutlich vereinfachten Montage. Die Materialuntersuchungen, die zur Entwicklung des Kleintierträgers im MRT und PET durchgeführt worden sind, stellen wertvolle Grundlagen für eine künftige multimodale Bildgebung dar. Basierend auf den Erfahrungen die mit dem Prototyp-Tomographen gemacht werden konnten, wurde ein neuer Tomograph mit weiter verbesserten Komponenten entwickelt. Diese Verbesserungen beinhalten im Wesentlichen die weitere Miniaturisierung der Detektoren, die 20-fache Anzahl der Kanäle (und damit die Erhöhung der Sensitivität), und die Verkleinerung der Detektorpixel (Verbesserung der Ortsauflösung des Tomographen).

Die sehr komplexe Problemstellung erforderte ein strukturiertes Vorgehen mit intensivem Methoden- und Hilfsmiteinsatz, wobei relevante Informationen zu deren optimaler Anwendung von der Methodendatenbank zur Verfügung gestellt worden sind.

Eine große Bedeutung kam auch der prozessbegleitenden Dokumentation zu, da von Anfang an alle offenen Fragen, alle identifizierten Probleme sowie erste Lösungsansätze strukturiert und nachvollziehbar dokumentiert worden sind. Anhand dieser Dokumentation ließen sich die jeweils erforderlichen Analysen festlegen und planen sowie Fragestellungen ableiten, die im Rahmen der Lösungssuche bearbeitet worden sind.

Diese äußerst komplexe Aufgabenstellung bot ein ausgezeichnetes Umfeld zur Verifizierung, zur situativen Anpassung sowie zu einer kontinuierlichen Weiterentwicklung des bisherigen methodischen Vorgehens, der eingesetzten Methoden und Hilfsmittel.

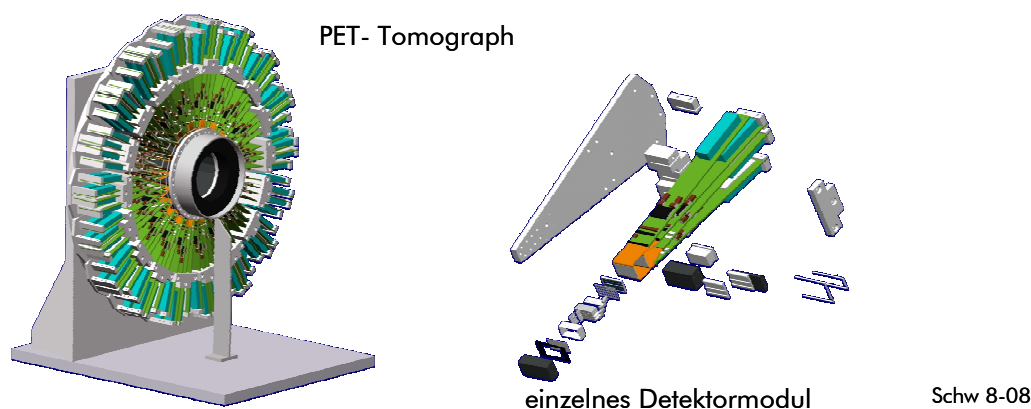


Abbildung 9-11: Tomograph und Detektormodul

¹ Weitere Ergebnisse finden sich bei PICHLER ET AL. (2000) und SCHWANKL ET AL. (2001).

9.2.4 Entwicklung einer Innenwirbelmaschine

9.2.4.1 Aufgabenstellung und Vorgehen

Im Rahmen der Entwicklung einer Innenwirbelmaschine zum kostengünstigen Fertigen hochgenauer Gewindemuttern wurden bei der Analyse der Aufgabenstellung folgende Hauptfunktionen identifiziert und daraus erste Bewertungskriterien abgeleitet.

Tabelle 9-4: Hauptfunktionen und daraus resultierende Bewertungskriterien

Hauptfunktionen ¹	Bewertungskriterien
Antrieb (Werkzeug und Vorschub)	Beschleunigung, Geschwindigkeit, Steifigkeit
Werkzeugabstützung	Genauigkeit, Steifigkeit
Schnitttiefeinstellung	Grad der Automatisierbarkeit, Genauigkeit

Aufgrund der außergewöhnlich hohen Anforderungen an den Antrieb, die aus der Bauteilgeometrie und der geforderten Fertigungsgenauigkeit resultieren, wurde dessen Realisierung als besonders problematisch eingestuft. Insbesondere, weil mit bekannten Antriebssystemen diese Forderungen bisher nicht erreicht werden konnten. Bei der orientierenden Lösungssuche wurden unter Einsatz verschiedener Kreativitätstechniken erste Ideen erarbeitet. Nach einer eingehenden Diskussion wurde eine Vorauswahl durchgeführt und die verbleibenden Lösungen im Morphologischen Kasten strukturiert.

Da aufgrund der Komplexität und des Neuheitsgrades der Aufgabe keine verlässlichen Aussagen über die Funktionserfüllung einzelner Lösungen getroffen werden konnte, war die Planung mehrerer Analysen erforderlich. Im Rahmen von einfachen, orientierenden Analysen sollte das prinzipielle Verhalten beurteilt und bei positiven Ergebnissen durch umfangreiche Analysen genau verifiziert werden. Bei der Planung der Analysen wurde bei sämtlichen verbleibenden Lösungen im Ideenspeicher der Informationsbedarf identifiziert und dokumentiert, sowie festgelegt, mit welcher Analyse er geklärt werden kann. Neben der Analysemethode wurden auch die erforderlichen Modelle (Funktionsmuster, Prototypen) sowie die notwendigen Hilfsmittel (z.B. Messeinrichtungen) spezifiziert und Verantwortliche festgelegt. Auf diese Weise wurden sämtliche Informationen nachvollziehbar dokumentiert, die im Laufe des Projektes generiert worden sind.

9.2.4.2 Ergebnisse und Erkenntnisse

Die intensive Diskussion einzelner Lösungen und das gemeinsame Identifizieren von Informationsbedarf ermöglichte eine deutliche Reduzierung des Analyseaufwands, da die erforderlichen Analysen bereits im Vorfeld genau festgelegt werden konnten. Der Morphologische Kasten bot stets eine gute Übersicht über den jeweils aktuellen Stand der Ergebnisse, da diese umgehend eingetragen und nicht geeignete Lösungen daraus entfernt worden sind.

¹ Hier wird aus Geheimhaltungsgründen ebenfalls auf eine genaue Spezifizierung der Anforderungen verzichtet.

9.3 Berechnungsprogramm zur Bestimmung des magnetischen Flusses

Berechnungsprogramm: Magnetischer Kreis
 Variante: B-PE 1.10

V 2.01

Schw 8-03

<p>Geometriegrößen</p> <p>Luftspalte</p> <p>$d_{L1} = 0$ [m] $d_{L2} = 0$ [m] $d_{L3} = 0,002$ [m] $d_{L4} = 1000$ [m] $A_{L1} = 0,002$ [m²] $A_{L2} = 0,001$ [m²] $A_{L3} = 0,004712$ [m²] $A_{L4} = 0,001$ [m²]</p> <p>Eisenwege</p> <p>$l_{E1} = 0$ [m] $l_{E2} = 0,06$ [m] $l_{E3} = 1000$ [m] $l_{E4} = 0,075$ [m] $A_{E1} = 1$ [m²] $A_{E2} = 0,00377$ [m²] $A_{E3} = 0,00001$ [m²] $A_{E4} = 0,002288$ [m²]</p>	<p>Konstanten</p> <p>Vakuum $m_0 = 1,2566E-06$ [Vs/Am] Eisen $m_{rE} = 1000$ [-] PM $B_r = 1,1$ [Vs/m²] $H_c = 820000$ [A/m] $l_{PM} = 0,005$ [m] $A_{PM} = 0,0025$ [m²] Spulenstrom $s = 0,1$ [-] Windungszahl $l = -0,5091815$ [A] $w_{SP} = 1000$ [-]</p>	<p>Zusatzgrößen für Reibmoment</p> <p>Geometrie und Materialdaten</p> <p>Radius außen $r_a = 0,068$ [m] Radius innen $r_i = 0,05$ [m] Reibwert $m = 0,5$ [-]</p>
<p>Ergebnisse</p> <p>Flüsse</p> <p>$F_4 = 0,00067548$ [Vs] $F_3 = 0,00000000$ [Vs] $F_2 = 0,00150330$ [Vs] $F_1 = 0,00067548$ [Vs] $F/(1+s) = 0,00217878$ [Vs]</p> <p>PM</p> <p>$F = 0,00239666$ [Vs] $Q_{PM} = -526,801$ [A] $B_{PM} = 0,95866$ [Vs/m²] $H_{PM} = -105360,3$ [A/m]</p> <p>Flussdichten</p> <p>$B_{L1} = 0,33774$ [Vs/m²] $B_{L2} = 0,67548$ [Vs/m²] $B_{L3} = 0,31904$ [Vs/m²] $B_{L4} = 0,00000$ [Vs/m²]</p> <p>Spannungen</p> <p>$s_{L1} = 45340,87$ [N/m²] $s_{L2} = 181363,48$ [N/m²] $s_{L3} = 40458,19$ [N/m²] $s_{L4} = 0,00$ [N/m²]</p> <p>Kräfte</p> <p>$F_{L1} = 90,68$ [N] $F_{L2} = 181,36$ [N] $F_{L3} = 190,64$ [N] $F_{L4} = 0,00$ [N]</p> <p>Abhebekraft</p> <p>$F = 272,05$ [N] $M = 7,61$ [Nm]</p>	<p>Hilfsgrößen für Rechnung</p> <p>Widerstände</p> <p>$R_{E1} = 0,00$ [A/Vs] $R_{E2} = 12664,85$ [A/Vs] $R_{E3} = 79,58 * 10^9$ [A/Vs] $R_{E4} = 26085,27$ [A/Vs] $R_{L1} = 0,00$ [A/Vs] $R_{L2} = 0,00$ [A/Vs] $R_{L3} = 337765,16$ [A/Vs] $R_{L4} = 795,77 * 10^9$ [A/Vs]</p> <p>Spule</p> <p>$Q_{SP} = -509,18145$ [A]</p> <p>Sonstige</p> <p>$V = 1640000,0$ [A/Vs] $W = 4100$ [A] $X = 0,0000000$ [-] $Y = 0,0744379$ [-] $Z = 5,6799645$ [-] $R_C = 1640000,0$ [A/Vs] $R_D = 1788163,4$ [A/Vs]</p>	

Abbildung 9-12: Ein- und Ausgabeformular zur Berechnung des magnetischen Flusses (Bernecker 2000)

9.4 Fragebogen zur Beurteilung von Analysemethoden

Fragebogen zur Beurteilung von Analysemethoden			
Bezeichnung der Methode:		Kategorie:	
		Ziel der Methode:	
Beschreibung der vorliegenden Problemstellung, Eingangsfragestellung:			
Welche Informationen waren bereits vorhanden (INPUT):		Welche Modelle wurden zur Unterstützung der Methode eingesetzt:	
Aus Projekt:		Phase im Projekt:	
War die Methode vorher schon bekannt:		Welche Erfahrung lagen mit dieser Methode bereits vor:	
Beurteilung der Methode:			
Erfahrungen aus der Anwendung:			
Erforderliche Voraussetzungen zum Einsatz der Methode:			
Anwendungsgebiet:			
Erforderliche Hilfsmittel (z.B. Hardware, Software):			
Welche waren besonders hilfreich:		Welche waren nicht hilfreich:	
Einarbeitungszeit:		Durchführungszeit:	
Konnte das Ziel der Analyse erreicht werden:			
Genauigkeit der Ergebnisse:			
Komplexität der Methode:			
Alternative Methoden:			
Sonstige Hinweise, Erfahrungen:			
Datum:		Name:	

Abbildung 9-13: Formular zur Beurteilung von Analysemethoden

9.5 Parametercheckliste

Parametercheckliste als Anlage zu Versuchsaufträgen im Rahmen der Eigenschaftsfrüherkennung			
Versuchsauftrag Nr.:		Versuchsbezeichnung:	
Fragestellung: Wozu wird untersucht? Welche Fragen sollen durch den Versuch beantwortet werden?			
Modell: Welches Modell des Produkts wird untersucht?			
Bauteil/Baugruppe:	Geometrie:	Material:	Herstellung:
Vergleichsmodell: Wird das Modell mit einem weiteren Modell verglichen (z.B. wenn Zahlenwerte allein nicht aussagekräftig sind)? Wie ist dieses beschaffen?			
Bauteil/Baugruppe:	Geometrie:	Material:	Herstellung:
Versuchsaufbau: Welche Versuchseinrichtungen werden verwendet? Wie wird untersucht?			
Direkt zu ermittelnde Parameter: Welche möglichst isolierten und zahlenmäßig fassbaren Parameter sollen ermittelt werden?			
Nr.	Direkt zu ermittelnde Parameter		
1			
2			
Indirekt zu ermittelnde Parameter: Welche Parameter sollen über die direkt zu ermittelnden Parameter abgeschätzt werden?			
Nr.	Indirekt zu ermittelnde Parameter		
1			
2			
Varierte Parameter: Welche einzelnen Parameter werden zielgerichtet verändert, um die Auswirkungen auf die zu ermittelnden Parameter zu erfassen?			
Nr.	Varierte Parameter	Zahlenwerte	
1			
2			
Störgrößen: Welche weiteren Parameter können die zu ermittelnden Parameter beeinflussen? Werden diese bewusst konstant gehalten oder muss deren Einfluss ignoriert werden?			
Nr.	Störgröße	Zahlenwert	Behandlung
1			<input checked="" type="checkbox"/> konstant gehalten <input type="checkbox"/> ignoriert
2			<input checked="" type="checkbox"/> konstant gehalten <input type="checkbox"/> ignoriert
Versuchsergebnisse			
Ermittelte Parameter: Welche Werte für die Parameter wurden abhängig von den variierten Parametern ermittelt? Welche Abschätzungen für indirekt zu ermittelnde Parameter sind möglich?			
Nr.	Ermittelte Parameter	Ergebnis/Zahlenwerte	
1			
2			
Zusammenfassung: Was ergaben die Versuche? Was sagen die Ergebnisse aus?			
Schlussfolgerungen bzgl. realem Einsatzes und weiterer Entwicklung: Welche Rückschlüsse erlaubt dies auf den realen Einsatz? Wie sollte bei der Entwicklung weiter vorgegangen werden?			
Weitere Erkenntnisse: Welche weiteren Erkenntnisse wurden während des Versuchs gewonnen?			

Abbildung 9-14: Parametercheckliste zur Eigenschaftsfrüherkennung (LINDEMANN & STETTER 1998)

9.6 Methoden und Hilfsmittel hinterlegt in der Methodendatenbank

Tabelle 9-5: Methoden der Methodendatenbank

ABC-Analyse	Entscheidungskriterien-Matrix	Matrixdiagramm	Statistische Versuchsplanung
Ablaufanalyse	Entscheidungsmethoden *	Methode 635	Streuungsdiagramm
Ablaufdiagramm	Entscheidungstabelle	Modellversuche	Streuungsanalysekarte
Abstraktion	Expertenschätzung	Morphologie	Synektik
Affinitätsdiagramm	Fehlerbaumanalyse FBA	Morphologischer Kasten	System: Boole'sche Algebra
Ähnlichkeitsgesetze	FMEA	Multi-Vari-Karte	Systemgrenzenverschiebung
Allgemeine Funktionsstruktur	Fehlersammelkarte	Netzplantechnik	Systemtechnik *
Analogiemethode	Festigkeitsrechnung *	Nutzwertanalyse	Szenario-Technik
Analyse natürlicher Systeme	Finite Elemente Methode *	Ordnungsschemata	Target Costing
Analyse Produktumgebung	Fischgrätendiagramm	Orientierende Versuche	Team-Entscheidung
Analysetechniken	Fremderzeugnisanalyse	Paarweiser Vergleich	Team Trouble Shooting
Anforderungsliste	Funktionelle Systembeschreibung	Pareto-Analyse	Technische Evolution *
Arbeitsablaufpläne	Funktionenanalyse	Petrinetztheorie	Tech.-wirtschaftl. Beurteilung
Attribute Listing	Funktionen-Hierarchie -Baum	Pfeildiagramm	Trendanalyse
Auswahl	Funktionsvereinigung / -trennung	Physikalische Effekte	Unternehmensanalyse
Auswahllisten	Gestaltungsprinzipien *	Plausibilitätsprüfung	Ursache Wirkungsdiagramm
Baukasten / Baureihen	Gewichtete Punktbewertung	Poka-Yoke	Variablensuche
Baumdiagramm	Grenzkostenrechnung	Portfoliobewertung	Variablenvergleich
Benchmarking	Grundregeln der Gestaltung	Problemlösungsbaum	Varianzanalyse
Bewertung, einfach *	Hauptkomponentenanalyse	Produkttest	Variation der Funktion *
Bewertung, intensive *	Histogramm	Prognosetechniken	Variation der Gestalt *
Beziehungsdiagramm	Industrial Design	Projektmanagement	Versuch, einfaktorierter
Bionik	Interrelatoinendiagramm	Projektstrukturplan	Versuch, teilfaktorierter
Black Box	Investitionsplanung	Prototypenversuche *	Versuch, vollfaktorierter
Brainstorming	Ishikawa-Diagramm	Prozess-Abaufplan	Versuchsmethodik, Shainin
Checkliste *	Kapazitätsplanung	Prüfformular	Versuchsmethodik, Taguchi
Checklisten zur Lösungsauswahl	Komponententausch	Qfd	Volkostenrechnung
Chef-Entscheidung	Konstruktionskataloge *	Rapid Prototyping	Vorteil-Nachteil-Vergleich
Conjointanalyse	Kontrollkarte	Regelkarte	Wertanalyse
Deckungsbeitragsrechnung	Korrelationsanalyse	Relativkostenkataloge	Wettbewerbsanalyse
Delphi-Methode	Korrelationsdiagramm	Relevanz-/ Entscheidungsbaum	Zeit/Kosten/Fortschritts-Diagramm
Effektanalyse	Kosten-/Nutzenrechnung	Risikoanalyse	Zielkatalog *
Eigenschaftenfrüherkennung *	Kosten-/Wirksamkeitsanalyse	Schwachstellenanalyse	Zielkonflikte
Eigenschaftenlisten	Kostenvergleichsrechnung	Sensitivitätsanalyse	Zuverlässigkeitsanalysen
Einfache Punktbewertung	Kostenwachstumsgesetze	Simulation, allgemein *	3-Kriterien-Bewertung *
Einflussmatrix	Kurzkalkulation	Simulationstechnik *	3-Stufen-Auswahl
Entscheidungsabsicherung	Marktanalyse	Singulärer Vergleich	6-Stufen-Methode (REFA)
Entscheidungsbaum	Matrix-Daten Analyse	Spannungsoptik	

* Die gekennzeichneten Methoden bezeichnen jeweils eine Reihe von weiteren Teilmethoden.

9.7 Vorauswahlliste

Tabelle 9-6: Teil einer Vorauswahlliste mit Huberzeugungselementen

Vorauswahlliste								
Konzept	Analyse und Beurteilung						Entscheidung	
	Lösungsvorschläge nach den Kriterien beurteilen mit: + ja - nein ? Informationsmangel						Vorschläge kennzeichnen mit: + Lösung weiter Verfolgen - Lösung scheidet aus ? Informationen beschaffen	
Forderungen der Anforderungsliste erfüllt								
Verträglichkeit gegeben								
Grundsätzliche Realisierbarkeit								
Arbeitsaufwand zulässig								
Terminlich Umsetzbar								
Know-how vorhanden bzw. im eigenen Bereich bevorzugt								
	A	B	C	D	E	F	Bemerkungen (Hinweise, Begründungen)	
Hydraulik	+	+	+	+	+	+		+
Hochdruckhydraulik	+	+	+	+	+	+		+
Druckübersetzer	+	-					Zeit für Erreichen des Maximalhubs	-
Pneumatik	+	-					Bauvolumen zu groß, Kräfte problematisch	-
Pneumohydraulik	+	+	+	+	+	+		+
Kolbenpumpe	+	?	+	+	+	+	Anwendung nur im Spezialfall	?
Spindelantrieb	+	+	+	+	+	+		+
Exzenter	+	+	+	+	+	+		+
Kniehebelantrieb	+	-					Gewicht zu groß	-
Hubmagnet	-						Krafterzeugung nicht ausreichend	-
Druckspeicher (Gas, Druckluft)	+	+	?	+	+	-	Einsatzdauer unklar	-

9.8 TOP 8D Report

8 D-Protokoll Nr.			
Grund der Beanstandung		Referenz Nr.	8 D-Beginn
Aktuelles Datum 22.06.01	Fahrzeug Modell Werk	Teile-Bezeichnung Typ-Teile-Nr. (Kunde) Typ-Teile-Nr. (WKS) Freigabe-Nr. Freigabedatum	
1. Team Name, Abt., Tel. Nr. Teamleiter	2. Problem Beschreibung (IST/IST-NICHT)		
3. Temporäre Maßnahme(n) zur Schadensbegrenzung		% Wirksamkeit	Einführungsdatum
4. Grundursache(n)		% Anteil	
5. Ausgewählte Korrekturmaßnahmen			% Wirksamkeit
6. Einführung der Korrekturmaßnahmen, einschließlich der notwendigen flankierenden Maßnahmen:		Einführungsdatum	
7. Einführung vorbeugender Maßnahmen		Einführungsdatum	
8. Anerkennung der Teamleistung		8 D-Abschluß	Erstellt von (Name, Abt. Tel. Nr.)
Datum:	Verantwortlich für das Feedback		
Verteiler:			

Abbildung 9-15: Formular zur Dokumentation des TOP 8-D Vorgehens

10 Dissertationsverzeichnis

Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München, Boltzmannstraße 15,
85748 Garching

Dissertationen betreut von

Prof. Dr.-Ing. W. Rodenacker,
Prof. Dr.-Ing. K. Ehrlenspiel und
Prof. Dr.-Ing. U. Lindemann

- D1 COLLIN, H.:
Entwicklung eines Einwalzenkalenders nach einer systematischen Konstruktionsmethode.
München: TU, Diss. 1969.
- D2 OTT, J.:
Untersuchungen und Vorrichtungen zum Offen-End-Spinnen. München: TU, Diss. 1971.
- D3 STEINWACHS, H.:
Informationsgewinnung an bandförmigen Produkten für die Konstruktion der Produktma-
schine. München: TU, Diss. 1971.
- D4 SCHMETTOW, D.:
Entwicklung eines Rehabilitationsgerätes für Schwerstkörperbehinderte. München: TU, Diss.
1972.
- D5 LUBITZSCH, W.:
Die Entwicklung eines Maschinensystems zur Verarbeitung von chemischen Endlosfasern.
München: TU, Diss. 1974.
- D6 SCHEITENBERGER, H.:
Entwurf und Optimierung eines Getriebesystems für einen Rotationsquerschneider mit allge-
meingültigen Methoden. München: TU, Diss. 1974.
- D7 BAUMGARTH, R.:
Die Vereinfachung von Geräten zur Konstanthaltung physikalischer Größen. München: TU,
Diss. 1976.
- D8 MAUDERER, E.:
Beitrag zum konstruktionsmethodischen Vorgehen durchgeführt am Beispiel eines Hochleis-
tungsschalter-Antriebs. München: TU, Diss. 1976.
- D9 SCHÄFER, J.:
Die Anwendung des methodischen Konstruierens auf verfahrenstechnische Aufgaben-
stellungen. München: TU, Diss. 1977.
- D10 WEBER, J.:
Extruder mit Feststoffpumpe – Ein Beitrag zum Methodischen Konstruieren. München: TU,
Diss. 1978.
- D11 HEISIG, R.:
Längencodierer mit Hilfsbewegung. München: TU, Diss. 1979.
- D12 KIEWERT, A.:
Systematische Erarbeitung von Hilfsmitteln zum kostenarmen Konstruieren. München: TU,
Diss. 1979.

- D13 LINDEMANN, U.:
Systemtechnische Betrachtung des Konstruktionsprozesses unter besonderer Berücksichtigung der Herstellkostenbeeinflussung beim Festlegen der Gestalt. Düsseldorf: VDI-Verlag 1980. (Fortschritt-Berichte der VDI-Zeitschriften Reihe 1, Nr. 60). Zugl. München: TU, Diss. 1980.
- D14 NJOYA, G.:
Untersuchungen zur Kinematik im Wälzlager bei synchron umlaufenden Innen- und Außenringen. Hannover: Universität, Diss. 1980.
- D15 HENKEL, G.:
Theoretische und experimentelle Untersuchungen ebener konzentrisch gewellter Kreisringmembranen. Hannover: Universität, Diss. 1980.
- D16 BALKEN, J.:
Systematische Entwicklung von Gleichlaufgelenken. München: TU, Diss. 1981.
- D17 PETRA, H.:
Systematik, Erweiterung und Einschränkung von Lastausgleichslösungen für Standgetriebe mit zwei Leistungswegen – Ein Beitrag zum methodischen Konstruieren. München: TU, Diss. 1981.
- D18 BAUMANN, G.:
Ein Kosteninformationssystem für die Gestaltungsphase im Betriebsmittelbau. München: TU, Diss. 1982.
- D19 FISCHER, D.:
Kostenanalyse von Stirnzahnradern. Erarbeitung und Vergleich von Hilfsmitteln zur Kostenfrüherkennung. München: TU, Diss. 1983.
- D20 AUGUSTIN, W.:
Sicherheitstechnik und Konstruktionsmethodiken – Sicherheitsgerechtes Konstruieren. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz 1985. Zugl. München: TU, Diss. 1984.
- D21 RUTZ, A.:
Konstruieren als gedanklicher Prozess. München: TU, Diss. 1985.
- D22 SAUERMAN, H. J.:
Eine Produktkostenplanung für Unternehmen des Maschinenbaues. München: TU, Diss. 1986.
- D23 HAFNER, J.:
Entscheidungshilfen für das kostengünstige Konstruieren von Schweiß- und Gußgehäusen. München: TU, Diss. 1987.
- D24 JOHN, T.:
Systematische Entwicklung von homokinetischen Wellenkupplungen. München: TU, Diss. 1987.
- D25 FIGEL, K.:
Optimieren beim Konstruieren. München: Hanser 1988. Zugl. München: TU, Diss. 1988 u. d. T.: Figel, K.: Integration automatisierter Optimierungsverfahren in den rechnerunterstützten Konstruktionsprozess.

Reihe Konstruktionstechnik München

- D26 TROPSCHUH, P. F.:
Rechnerunterstützung für das Projektieren mit Hilfe eines wissensbasierten Systems. München: Hanser 1989. (Konstruktionstechnik München, Band 1). Zugl. München: TU, Diss. 1988 u. d. T.: Tropschuh, P. F.: Rechnerunterstützung für das Projektieren am Beispiel Schiffsgetriebe.

- D27 PICKEL, H.:
Kostenmodelle als Hilfsmittel zum Kostengünstigen Konstruieren. München: Hanser 1989. (Konstruktionstechnik München, Band 2). Zugl. München: TU, Diss. 1988.
- D28 KITTSSTEINER, H.-J.:
Die Auswahl und Gestaltung von kostengünstigen Welle-Nabe-Verbindungen. München: Hanser 1990. (Konstruktionstechnik München, Band 3). Zugl. München: TU, Diss. 1989.
- D29 HILLEBRAND, A.:
Ein Kosteninformationssystem für die Neukonstruktion mit der Möglichkeit zum Anschluß an ein CAD-System. München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 4). Zugl. München: TU, Diss. 1990.
- D30 DYLLA, N.:
Denk- und Handlungsabläufe beim Konstruieren. München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 5). Zugl. München: TU, Diss. 1990.
- D31 MÜLLER, R.:
Datenbankgestützte Teileverwaltung und Wiederholteilsuche. München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 6). Zugl. München: TU, Diss. 1990.
- D32 NEESE, J.:
Methodik einer wissensbasierten Schadenanalyse am Beispiel Wälzlagerungen. München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 7). Zugl. München: TU, Diss. 1991.
- D33 SCHAAL, S.:
Integrierte Wissensverarbeitung mit CAD – Am Beispiel der konstruktionsbegleitenden Kalkulation. München: Hanser 1992. (Konstruktionstechnik München, Band 8). Zugl. München: TU, Diss. 1991.
- D34 BRAUNSPERGER, M.:
Qualitätssicherung im Entwicklungsablauf – Konzept einer präventiven Qualitätssicherung für die Automobilindustrie. München: Hanser 1993. (Konstruktionstechnik München, Band 9). Zugl. München: TU, Diss. 1992.
- D35 FEICHTER, E.:
Systematischer Entwicklungsprozeß am Beispiel von elastischen Radialversatzkupplungen. München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 10). Zugl. München: TU, Diss. 1992.
- D36 WEINBRENNER, V.:
Produktlogik als Hilfsmittel zum Automatisieren von Varianten- und Anpassungskonstruktionen. München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 11). Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D37 WACH, J. J.:
Problemspezifische Hilfsmittel für die Integrierte Produktentwicklung. München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 12). Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D38 LENK, E.:
Zur Problematik der technischen Bewertung. München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 13). Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D39 STUFFER, R.:
Planung und Steuerung der Integrierten Produktentwicklung. München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 14). Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D40 SCHIEBELER, R.:
Kostengünstig Konstruieren mit einer rechnergestützten Konstruktionsberatung. München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 15). Zugl. München: TU, Diss. 1993.

- D41 BRUCKNER, J.:
Kostengünstige Wärmebehandlung durch Entscheidungsunterstützung in Konstruktion und Härterei. München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 16). Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D42 WELLNIAK, R.:
Das Produktmodell im rechnerintegrierten Konstruktionsarbeitsplatz. München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 17). Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D43 SCHLÜTER, A.:
Gestaltung von Schnappverbindungen für montagegerechte Produkte. München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 18). Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D44 WOLFRAM, M.:
Feature-basiertes Konstruieren und Kalkulieren. München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 19). Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D45 STOLZ, P.:
Aufbau technischer Informationssysteme in Konstruktion und Entwicklung am Beispiel eines elektronischen Zeichnungsarchives. München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 20). Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D46 STOLL, G.:
Montagegerechte Produkte mit feature-basiertem CAD. München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 21). Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D47 STEINER, J. M.:
Rechnergestütztes Kostensenken im praktischen Einsatz. Aachen: Shaker 1996. (Konstruktionstechnik München, Band 22). Zugl. München: TU, Diss. 1995.
- D48 HUBER, T.:
Senken von Montagezeiten und -kosten im Getriebebau. München: Hanser 1995. (Konstruktionstechnik München, Band 23). Zugl. München: TU, Diss. 1995.
- D49 DANNER, S.:
Ganzheitliches Anforderungsmanagement für marktorientierte Entwicklungsprozesse. Aachen: Shaker 1996. (Konstruktionstechnik München, Band 24). Zugl. München: TU, Diss. 1996.
- D50 MERAT, P.:
Rechnergestützte Auftragsabwicklung an einem Praxisbeispiel. Aachen: Shaker 1996. (Konstruktionstechnik München, Band 25). Zugl. München: TU, Diss. 1996 u. d. T.: MERAT, P.: Rechnergestütztes Produktleitsystem.
- D51 AMBROSY, S.:
Methoden und Werkzeuge für die integrierte Produktentwicklung. Aachen: Shaker 1997. (Konstruktionstechnik München, Band 26). Zugl. München: TU, Diss. 1996.
- D52 GIAPOULIS, A.:
Modelle für effektive Konstruktionsprozesse. Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 27). Zugl. München: TU, Diss. 1996.
- D53 STEINMEIER, E.:
Realisierung eines systemtechnischen Produktmodells – Einsatz in der Pkw-Entwicklung Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 28). Zugl. München: TU, Diss. 1998.
- D54 KLEEDÖRFER, R.:
Prozeß- und Änderungsmanagement der Integrierten Produktentwicklung. Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 29). Zugl. München: TU, Diss. 1998.

- D55 GÜNTHER, J.:
Individuelle Einflüsse auf den Konstruktionsprozess. Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 30). Zugl. München: TU, Diss. 1998.
- D56 BIERSACK, H.:
Methode für Kraftleinleitungsstellenkonstruktion in Blechstrukturen. München: TU, Diss. 1998.
- D57 IRLINGER, R.:
Methoden und Werkzeuge zur nachvollziehbaren Dokumentation in der Produktentwicklung. Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 31). Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D58 EILETZ, R.:
Zielkonfliktmanagement bei der Entwicklung komplexer Produkte – am Bsp. PKW-Entwicklung. Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 32). Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D59 STÖBER, R.:
Zielkostenmanagement in integrierten Produkterstellungsprozessen. Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 33). Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D60 PHLEPS, U.:
Recyclinggerechte Produktdefinition – Methodische Unterstützung für Upgrading und Verwertung. Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 34). Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D61 BERNARD, R.:
Early Evaluation of Product Properties within the Integrated Product Development. Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 35). Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D62 ZANKER, W.:
Situative Anpassung und Neukombination von Entwicklungsmethoden. Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 36). Zugl. München: TU, Diss. 1999.

Reihe Produktentwicklung München

- D63 ALLMANSBERGER, G.:
Erweiterung der Konstruktionsmethodik zur Unterstützung von Änderungsprozessen in der Produktentwicklung. München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 37). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D64 ABMANN, G.:
Gestaltung von Änderungsprozessen in der Produktentwicklung. München: Utz 2000. (Produktentwicklung München, Band 38). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D65 BICHLMAIER, C.:
Methoden zur flexiblen Gestaltung von integrierten Entwicklungsprozessen. München: Utz 2000. (Produktentwicklung München, Band 39). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D66 DEMERS, M. T.:
Methoden zur dynamischen Planung und Steuerung von Produktentwicklungsprozessen. München: Dr. Hut 2000. (Produktentwicklung München, Band 40). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D67 STETTER, R.:
Method Implementation in Integrated Product Development. München: Dr. Hut 2000. (Produktentwicklung München, Band 41). Zugl. München: TU, Diss. 2000.

- D68 VIERTLBÖCK, M.:
Modell der Methoden- und Hilfsmiteleinführung im Bereich der Produktentwicklung. München: Dr. Hut 2000. (Produktentwicklung München, Band 42). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D69 COLLIN, H.:
Management von Produkt-Informationen in kleinen und mittelständischen Unternehmen. München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 43). Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D70 REISCHL, C.:
Simulation von Produktkosten in der Entwicklungsphase. München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 44). Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D71 GAUL, H.-D.:
Verteilte Produktentwicklung - Perspektiven und Modell zur Optimierung. München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 45). Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D72 GIERHARDT, H.:
Global verteilte Produktentwicklungsprojekte – Ein Vorgehensmodell auf der operativen Ebene. München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 46). Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D73 SCHOEN, S.:
Gestaltung und Unterstützung von Community of Practice. München: Utz 2001. (Produktentwicklung München, Band 47). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D74 BENDER, B.:
Zielorientiertes Kooperationsmanagement. München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 48). Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D75 SCHWANKL, L.:
Analyse und Dokumentation in den frühen Phasen der Produktentwicklung. München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 49). Zugl. München: TU, Diss. 2002.
- D76 WULF, J.:
Elementarmethoden zur Lösungssuche. München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 50). Zugl. München: TU, Diss. 2002.
- D77 MÖRTL, M.:
Entwicklungsmanagement für langlebige, upgradinggerechte Produkte. München: TU, Diss. 2002. (Als Diss. eingereicht)
- D78 GERST, M.:
Strategische Produktentscheidungen in der integrierten Produktentwicklung. München: TU, Diss. 2002. (Als Diss. eingereicht)
- D79 AMFT, M.:
Phasenübergreifende bidirektionale Integration von Gestaltung und Berechnung. München: TU, Diss. 2002. (Als Diss. eingereicht)