

# **Ein Verfahren zur Bewertung technischer Risiken in der Phase der Entwicklung komplexer Serienprodukte**

Von der Fakultät für Maschinenbau  
der Universität Stuttgart zur Erlangung der Würde eines  
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigte Abhandlung

Vorgelegt von  
**Frank Eugen Wißler**  
aus Löffingen

Hauptberichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Prof. E.h. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c.  
mult. E. Westkämper  
Mitberichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. B. Bertsche  
Tag der Einreichung: 26. Januar 2005  
Tag der mündlichen Prüfung: 31. Januar 2006

# IPA-IAO Forschung und Praxis

Berichte aus dem  
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und  
Automatisierung (IPA), Stuttgart,  
Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und  
Organisation (IAO), Stuttgart,  
Institut für Industrielle Fertigung und  
Fabrikbetrieb (IFF), Universität Stuttgart  
und Institut für Arbeitswissenschaft und  
Technologiemanagement (IAT), Universität Stuttgart


Herausgeber:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Prof. E.h. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. mult. Engelbert Westkämper  
und

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E.h. mult. Dr. h.c. mult. Hans-Jörg Bullinger  
und

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dieter Spath

Frank Eugen Wißler



Ein Verfahren zur Bewertung  
technischer Risiken  
in der Phase der Entwicklung  
komplexer Serienprodukte

Nr. 437

Dr.-Ing. Frank Eugen Wißler

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Prof. E.h. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. mult. Engelbert Westkämper

ord. Professor an der Universität Stuttgart

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E.h. mult. Dr. h.c. mult. Hans-Jörg Bullinger

ord. Professor an der Universität Stuttgart

Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft, München

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dieter Spath

ord. Professor an der Universität Stuttgart

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Stuttgart

D 93

ISBN 3-936947-86-4 Jost Jetter Verlag, Heimsheim

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils gültigen Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Jost Jetter Verlag, Heimsheim 2006.

Printed in Germany.

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

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Druck: printsystem GmbH, Heimsheim

## Geleitwort der Herausgeber

Über den Erfolg und das Bestehen von Unternehmen in einer marktwirtschaftlichen Ordnung entscheidet letztendlich der Absatzmarkt. Das bedeutet, möglichst frühzeitig absatzmarktorientierte Anforderungen sowie deren Veränderungen zu erkennen und darauf zu reagieren.

Neue Technologien und Werkstoffe ermöglichen neue Produkte und eröffnen neue Märkte. Die neuen Produktions- und Informationstechnologien verwandeln signifikant und nachhaltig unsere industrielle Arbeitswelt. Politische und gesellschaftliche Veränderungen signalisieren und begleiten dabei einen Wertewandel, der auch in unseren Industriebetrieben deutlichen Niederschlag findet.

Die Aufgaben des Produktionsmanagements sind vielfältiger und anspruchsvoller geworden. Die Integration des europäischen Marktes, die Globalisierung vieler Industrien, die zunehmende Innovationsgeschwindigkeit, die Entwicklung zur Freizeitgesellschaft und die übergreifenden ökologischen und sozialen Probleme, zu deren Lösung die Wirtschaft ihren Beitrag leisten muss, erfordern von den Führungskräften erweiterte Perspektiven und Antworten, die über den Fokus traditionellen Produktionsmanagements deutlich hinausgehen.

Neue Formen der Arbeitsorganisation im indirekten und direkten Bereich sind heute schon feste Bestandteile innovativer Unternehmen. Die Entkopplung der Arbeitszeit von der Betriebszeit, integrierte Planungsansätze sowie der Aufbau dezentraler Strukturen sind nur einige der Konzepte, welche die aktuellen Entwicklungsrichtungen kennzeichnen. Erfreulich ist der Trend, immer mehr den Menschen in den Mittelpunkt der Arbeitsgestaltung zu stellen - die traditionell eher technokratisch akzentuierten Ansätze weichen einer stärkeren Human- und Organisationsorientierung. Qualifizierungsprogramme, Training und andere Formen der Mitarbeiterentwicklung gewinnen als Differenzierungsmerkmal und als Zukunftsinvestition in *Human Resources* an strategischer Bedeutung.

Von wissenschaftlicher Seite muss dieses Bemühen durch die Entwicklung von Methoden und Vorgehensweisen zur systematischen Analyse und Verbesserung des Systems Produktionsbetrieb einschließlich der erforderlichen Dienstleistungsfunktionen unterstützt werden. Die Ingenieure sind hier gefordert, in enger Zusammenarbeit mit anderen Disziplinen, z. B. der Informatik, der Wirtschaftswissenschaften und der Arbeitswissenschaft, Lösungen zu erarbeiten, die den veränderten Randbedingungen Rechnung tragen.

Die von den Herausgebern langjährig geleiteten Institute, das

- Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA),
- Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO),
- Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF), Universität Stuttgart,
- Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT), Universität Stuttgart

arbeiten in grundlegender und angewandter Forschung intensiv an den oben aufgezeigten Entwicklungen mit. Die Ausstattung der Labors und die Qualifikation der Mitarbeiter haben bereits in der Vergangenheit zu Forschungsergebnissen geführt, die für die Praxis von großem Wert waren. Zur Umsetzung gewonnener Erkenntnisse wird die Schriftenreihe „IPA-IAO - Forschung und Praxis“ herausgegeben. Der vorliegende Band setzt diese Reihe fort. Eine Übersicht über bisher erschienene Titel wird am Schluss dieses Buches gegeben.

Dem Verfasser sei für die geleistete Arbeit gedankt, dem Jost Jetter Verlag für die Aufnahme dieser Schriftenreihe in seine Angebotspalette und der Druckerei für saubere und zügige Ausführung. Möge das Buch von der Fachwelt gut aufgenommen werden.

Engelbert Westkämper    Hans-Jörg Bullinger    Dieter Spath

## **Vorwort**

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb der Universität Stuttgart und am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) in Stuttgart.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Prof. E.h. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. mult. E. Westkämper für die Unterstützung und Förderung bei der Durchführung der Arbeit. Herrn Prof. Dr.-Ing. B. Bertsche danke ich für die bereitwillige Übernahme des Mitberichtes.

Wertvoll waren für mich viele konstruktive Dialoge und kritische Diskussionen mit meinen ehemaligen Kollegen. Stellvertretend möchte ich Herrn Holger Heiler, Herrn Oliver Mannuß, Herrn Knut Drachsler, Herrn Dr.-Ing. Thomas Staiger und Herrn Dr.-Ing. Alexander Schloske nennen. Besonders danken möchte ich Herrn Dr.-Ing. Christoph Mai für die ausgiebigen wissenschaftlichen Diskussionen und freundschaftlichen Ratschläge sowie seine moralische Unterstützung.

Ebenso danke ich den vielen Personen, mit denen ich an den verschiedenen Projekten gearbeitet habe, für ihre Anregungen und die konstruktive Zusammenarbeit. Dabei sollen auch die Studenten, stellvertretend seien Herr Mathias Schubert und Herr Stefan Kirsch genannt, nicht vergessen werden, die durch ihren Einsatz die Projekte immer wieder vorangetrieben haben.

Bei meiner Frau Tanja möchte ich mich für die vielen entgangenen Wochenendausflüge entschuldigen und ihr für ihre Geduld, ihr liebevolles Coaching und ihre aufmunternden Worte von tiefstem Herzen danken. In besonderem Maße danke ich meinen Eltern Adelbert und Walburga Wißler, die mit ihrer vorbehaltlosen Unterstützung und ihrem liebevollen Zuspruch meine bisherige persönliche und berufliche Entwicklung maßgeblich geprägt und gefördert haben. Ihnen ist diese Arbeit gewidmet.

Wolfsburg, im Februar 2006

Frank E. Wißler





## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	11
Abkürzungsverzeichnis .....	13
1 Thematische Abgrenzung der Arbeit.....	14
1.1 Ausgangssituation und Problemstellung .....	14
1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise .....	18
2 Technisches Risikomanagement bei der Entwicklung komplexer Serienprodukte .....	19
2.1 Risiko und Risikomanagement.....	19
2.1.1 Der Risikobegriff.....	19
2.1.2 Risikomanagementsysteme .....	21
2.1.3 Aufgaben des Risikomanagements.....	22
2.1.4 Technische Risiken bei der Produktentwicklung .....	24
2.2 Entwicklung komplexer Serienprodukte .....	26
2.2.1 Merkmale der Produktentwicklung .....	26
2.2.2 Aufgaben bei der Produktentwicklung.....	32
2.2.3 Organisation der Produktentwicklung.....	34
2.2.4 Komplexe Serienprodukte .....	37
2.3 Methoden des Risikomanagements bei der Produktentwicklung.....	38
2.3.1 Projektcontrolling .....	39
2.3.2 Produktreifegrad .....	42
2.3.3 Reviews .....	44
2.3.4 Quality Gates.....	45
2.3.5 Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse (FMEA) .....	48
2.3.6 Fehlerbaumanalyse (FTA).....	50
2.3.7 Ereignisablaufanalyse (ETA).....	51
2.4 Handlungsbedarf.....	53
3 Grundlagen für das Risikobewertungsverfahren .....	56
3.1 Systeme .....	56
3.1.1 Systembegriff.....	56
3.1.2 Systemtheorie und Systemtechnik .....	58
3.1.3 Systeme der Produktentwicklung .....	59
3.2 Kybernetik sozio-technischer Systeme .....	61
3.3 Motivationstheorie und Arbeitsgestaltung .....	64
3.3.1 Zieltheorie.....	65
3.3.2 Formen der Arbeitsgestaltung .....	66

3.4	Entscheidungstheorien .....	67
3.4.1	Komplexität und Prognostizierbarkeit bei Entscheidungen .....	70
3.4.2	Einfluss der Information bei Entscheidungen .....	70
3.4.3	Einfluss der Gruppe auf das Entscheidungsverhalten.....	72
3.4.4	Handlungstheoretische Erkenntnisse zum Entscheidungsverhalten.....	73
4	Herleitung des Risikobewertungsverfahrens.....	75
4.1	Repräsentation von Risikoinformationen in einem Modell .....	75
4.2	Bewertungsmethode .....	79
4.3	Integrationsaspekte.....	83
5	Operationalisierung des Risikobewertungsverfahrens.....	86
5.1	Vorgehen und Instrumente zum Aufbau des Risikoinformationsmodells.....	86
5.1.1	Prüfung der Komponenten bezüglich technischer Risiken .....	87
5.1.2	Definition von Hauptindikatoren.....	89
5.1.3	Definition von Risikoindikatoren und -kriterien .....	89
5.1.4	Review und Anpassung des Risikoinformationsmodells .....	91
5.1.5	Risikobewertungsfrequenz .....	92
5.2	Risikobewertungsmethode.....	93
5.2.1	Vergegenwärtigung der Planung .....	94
5.2.2	Retrospektive und Prospektive bei der Risikobewertung .....	94
5.2.3	Risikosteuerung und Risikoinformationsrepräsentation .....	95
5.3	Einbindung von Lieferanten in den Risikobewertungsprozess.....	97
5.4	Auswertung, Aggregation und Kommunikation der Risikoinformationen .....	98
5.5	Einflüsse der dezentralen Risikobewertung .....	100
6	Softwaretechnische Realisierung des Risikobewertungsverfahrens.....	101
7	Praktische Anwendung von Risikobewertungsverfahrens .....	106
7.1	Entwicklung eines elektrohydraulischen Bremssystems (brake-by-wire).....	106
7.2	Parallele Produkt- und Produktionsentwicklung von Dünnschicht-Solarzellen ....	110
7.3	Erfahrungen der praktischen Anwendung.....	114
8	Zusammenfassung.....	116
9	Summary .....	120
	Literaturverzeichnis .....	124

## Abbildungsverzeichnis

Bild 1-1:	Entgangener Deckungsbeitrag bei einem Pkw der oberen Mittelklasse.....	14
Bild 1-2:	Eingrenzung der Arbeit auf die Phase Produktentwicklung.....	16
Bild 2-1:	Sicherheit, Risiko und Unsicherheit.....	20
Bild 2-2:	Elemente des Risikomanagementsystems im Unternehmen.....	21
Bild 2-3:	Risikomanagement als Prozess.....	23
Bild 2-4:	Beispielhafte Risikokategorien und Einordnung von technischen Risiken.....	25
Bild 2-5:	Phasen und Ergebnisse von Forschung, Entwicklung und Innovation.....	27
Bild 2-6:	Produktentwicklung im Lebenslauf eines Produktes.....	28
Bild 2-7:	Kostenfestlegung und Änderungsaufwand.....	30
Bild 2-8:	Typologie von Produktentwicklungsprojekten.....	31
Bild 2-9:	Neuheitsgrad in Entwicklung und Konstruktion.....	32
Bild 2-10:	Vorgehen bei der Entwicklung technischer Systeme.....	33
Bild 2-11:	Systematik und Definition des Simultaneous Engineering.....	35
Bild 2-12:	Rollen in einem Produktentwicklungsprojekt.....	36
Bild 2-13:	Komplexität durch Varietät und Konnektivität.....	38
Bild 2-14:	Methoden aus Projektmanagement und Qualitätsmanagement.....	39
Bild 2-15:	Projektcontrolling als Projektplanung und -steuerung.....	41
Bild 2-16:	Elemente der Review-Technik.....	44
Bild 2-17:	Entwicklungsprozess nach VDA.....	46
Bild 2-18:	Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse (FMEA).....	49
Bild 2-19:	Fehlerbaumanalyse (FTA).....	51
Bild 2-20:	Ereignisablaufanalyse (ETA).....	52
Bild 2-21:	Bewertung der Methoden des Risikomanagements.....	53
Bild 3-1:	Darstellung eines Systems.....	56
Bild 3-2:	Struktur eines Systems in unterschiedlicher Detaillierung.....	57
Bild 3-3:	Wesentliche Systeme bei der Produktentwicklung.....	60
Bild 3-4:	Technischer Regelkreis und Projektbearbeitung als Regelkreis.....	62
Bild 3-5:	Erweitertes Schema des Regelkreises.....	64
Bild 3-6:	Zieltheorie von Locke.....	65
Bild 3-7:	Handlungsspielraum nach Ulich.....	67
Bild 3-8:	Der Managementprozess in idealtypischer Darstellung.....	69
Bild 3-9:	Einordnung des Informationsstandes.....	71
Bild 3-10:	Zusammenhang von Unbestimmtheit, Ungewissheit und Unsicherheit.....	72
Bild 3-11:	TOTE-Einheit und VVR-Einheit.....	74

Bild 4-1:	Quellen und Struktur der Risikobewertungsobjekte.....	76
Bild 4-2:	Eigenschaften eines Risikoindikators .....	77
Bild 4-3:	Ergebnis- und ablauforientierte Risikobetrachtung.....	78
Bild 4-4:	Risikobewertung im Projektmanagement-Regelkreis .....	79
Bild 4-5:	Unvollkommenheit der Informationsbasis im Projektverlauf .....	80
Bild 4-6:	Erkenntnisgewinn, Risikobewertung und Entscheidungsbedarf .....	81
Bild 4-7:	Zielanpassungen und Markterfolg .....	83
Bild 4-8:	Austausch von FMEA- und Risikobewertungsinformationen.....	84
Bild 4-9:	Integrationspotenziale bei Kopplung von Methoden.....	85
Bild 5-1:	Vorgehen zur Definition der Risikobewertungsobjekte .....	86
Bild 5-2:	Potenzielle Risiken in Ziel-, Handlungs- und Sachsystem.....	87
Bild 5-3:	Einschätzung der Risiken von einzelnen Komponenten.....	88
Bild 5-4:	Strukturierung der Risikoindikatoren in einem Indikatorenbaum .....	90
Bild 5-5:	Informationstiefe in Abhängigkeit von Projektrisiken .....	92
Bild 5-6:	Zeit- bzw. projektphasenbezogene Festlegung von Bewertungszeitpunkten.....	92
Bild 5-7:	Ablauf des Risikobewertungsprozesses .....	94
Bild 5-8:	Risikobewertung der Teilzielerreichung.....	95
Bild 5-9:	Risikomerkmale und Ampelausprägungen .....	97
Bild 5-10:	Auswertung der Risikobewertungsergebnisse.....	98
Bild 5-11:	Zyklus der Risikobewertung und -kommunikation .....	99
Bild 6-1:	Ablauf der softwaregestützten Risikobewertung und Softwaremodule.....	101
Bild 6-2:	Datenmodell.....	102
Bild 6-3:	Screenshot zum Anlegen von Stammdaten .....	104
Bild 6-4:	Screenshot der Indikatorenbewertung.....	105
Bild 7-1:	Prinzipschaubild der elektrohydraulischen Bremse .....	107
Bild 7-2:	Bewertungsobjekte der Komponente „Bremse-Gesamt“ .....	109
Bild 7-3:	Kriterien zum Indikator System-FMEA.....	110
Bild 7-4:	Aufbau eines Solarzellenmoduls .....	111
Bild 7-5:	Produktionsprozess von Dünnschicht-Solarzellen.....	112
Bild 7-6:	Bewertungsobjekte des Prozessschrittes „Strukturierung“ .....	113
Bild 7-7:	Kriterien zum Indikator Sachmittelbeschaffung .....	113

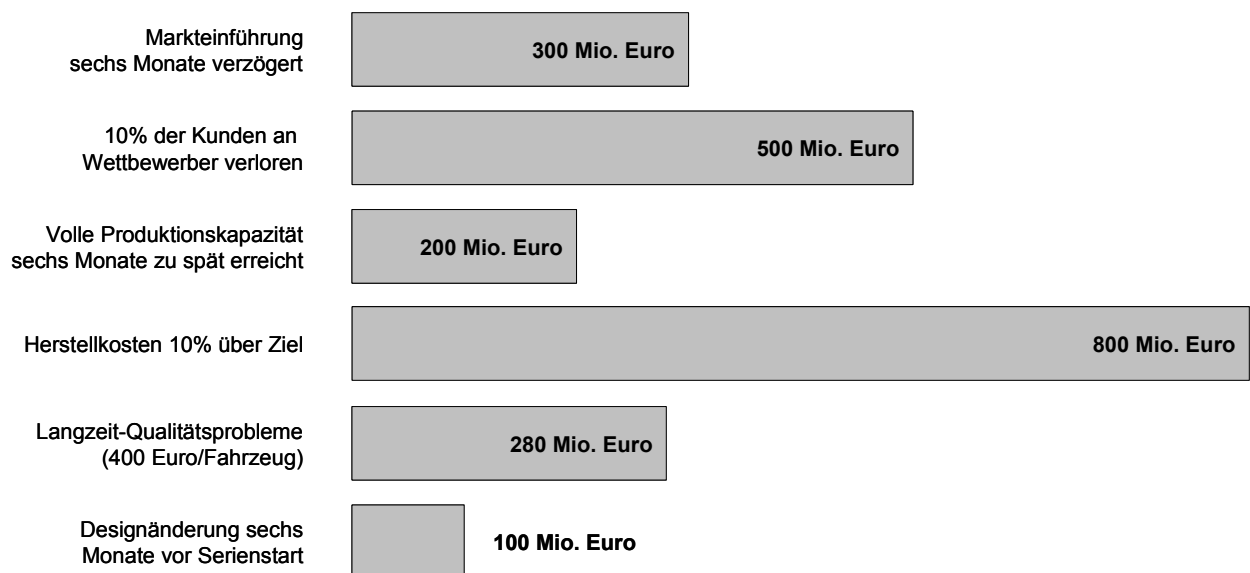
## Abkürzungsverzeichnis

A	Aktivität
AP	Arbeitspaket
CIS	Dünnschichtsolarzelle aus Kupfer, Indium, Gallium und Selen
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
ETA	Ereignisablaufanalyse (Event Tree Analysis)
EWC	Entwicklungscontrolling
F&E	Forschung und Entwicklung
FMEA	Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse (Failure Mode and Effects Analysis)
FTA	Fehlerbaumanalyse (Fault Tree Analysis)
HI	Hauptindikator
I	Indikator
IT	Informationstechnologie
K	Kriterium
KontraG	Gesetz zur Kontrolle und Transparenz im Unternehmensbereich
M	Meilenstein
MA	Mitarbeiter
OEM	Original Equipment Manufacturer (Automobilhersteller)
P	Druck
PRG	Produktreifegradmethode
QM	Qualitätsmanagement
R	Ressource
RM	Risikomanagement
RPZ	Risikoprioritätszahl
S	Weg
SE	Simultaneous Engineering
t	Zeit
T	Termin
TOTE	Test-Operate-Test-Exit
U	Spannung
VDA	Verband der Automobilindustrie e.V.
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
VVR	Vergleichs-Veränderungs-Rückkopplungs-Einheit
Z	Ziel
ZM	Zielmerkmal
ZMA	Zielmerkmalsausprägung

# 1 Thematische Abgrenzung der Arbeit

## 1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Verstärkter internationaler Konkurrenzdruck, stagnierende Absatzmärkte und kürzere Produktlebenszyklen stellen an Industrieunternehmen zunehmend höhere Anforderungen, um am Markt erfolgreich zu sein. In der Automobilindustrie, die ein Vertreter für komplexe Serienprodukte ist, wird sich nach einer Studie von *McKinsey*<sup>1</sup> die Produktvielfalt innerhalb von fünf Jahren verdoppeln, wobei sich die Produktentwicklungszeit bei gleich bleibender Personalkapazität voraussichtlich um ein weiteres Viertel reduzieren wird. Des Weiteren stellt *McKinsey* in dieser Studie am Beispiel einer Pkw-Entwicklung (Bild 1-1) dar, welche Auswirkungen die verschiedenen Zielabweichungen auf den Deckungsbeitrag haben.



Quelle: McKinsey (2001)

**Bild 1-1: Entgangener Deckungsbeitrag bei einem Pkw der oberen Mittelklasse**

Die Produktentwicklung muss also in immer kürzeren Zeiträumen kundenorientierte, kostengünstige und zuverlässige Produkte hervorbringen. Um den steigenden Forderungen von Kunden bzw. Märkten an Qualität, Kosten und Termine gleichermaßen zu entsprechen, müssen Unternehmen ihre Anstrengungen stärker als bisher auf die frühen Phasen der Produktentwicklung konzentrieren. Späte Korrekturen der Produkteigenschaften oder gar am Kunden bzw. Markt vorbeigehende Produkte ziehen einen erheblichen Änderungsaufwand nach sich und führen unweigerlich zu erheblichen wirtschaftlichen Nachteilen. In den pro-

---

<sup>1</sup> Vgl. McKinsey (2001)

duktdefinierenden Bereichen von Entwicklung und Konstruktion werden zwar nur 6% der Produktgesamtkosten direkt durch anfallende Konstruktionsstunden verursacht, aber über 70% dieser Kosten durch die Definition von Material und Fertigung festgelegt.<sup>1</sup>

Bei den Herstellern komplexer Serienprodukte sind die Garantie- und Kulanzkosten in den letzten Jahren stark gestiegen, so auch in der Automobilindustrie. Am Beispiel der Marke Mercedes geben *Harnischfeger/Reinking*<sup>2</sup> für den Zeitraum von 1998 bis 2000 eine Verdreifachung an. Unter Berufung auf Unternehmerkreise beziffern sie die Höhe der Garantie- und Kulanzkosten bei der Marke Mercedes im Jahr 2000 auf 1,7 Mrd. Euro. Diese Summe ist ungefähr gleich hoch wie das Volumen der Entwicklungskosten. Mit der seit Januar 2002 ausgedehnten Gewährleistungsfrist in Europa auf zwei Jahre geht *McKinsey*<sup>3</sup> davon aus, dass sich die Garantie- und Kulanzkosten – je nach Hersteller und bisher gewährter Kulanz – um 30 bis 150 Prozent erhöhen werden. Die Fehler, die zu den Garantie- und Kulanzkosten führen, werden laut *McKinsey* überwiegend in der Produkt- und Produktionsentwicklungsphase verursacht.

Die *Entwicklung komplexer Serienprodukte*, die in dieser Arbeit Gegenstand der Betrachtung ist, wird in den meisten Industrieunternehmen in Form von Projekten durchgeführt. Viele Projekte sind dabei durch lange Projektlaufzeiten, viele Projektbeteiligte und dadurch viele Schnittstellen, eine zunehmende Komplexität der Produkte und Prozesse, die frühe Einbindung von Lieferanten und die damit einhergehende verteilte Entwicklung an mehreren Standorten charakterisiert. Zur Absicherung der Produktentwicklung werden in der Regel mehrere Prototypen und Muster erstellt, die nach umfangreichen Erprobungen in mehreren Iterationsschleifen mit den fortschreitenden Kenntnissen und Erfahrungen der beteiligten Fachdisziplinen verbessert und verfeinert werden.

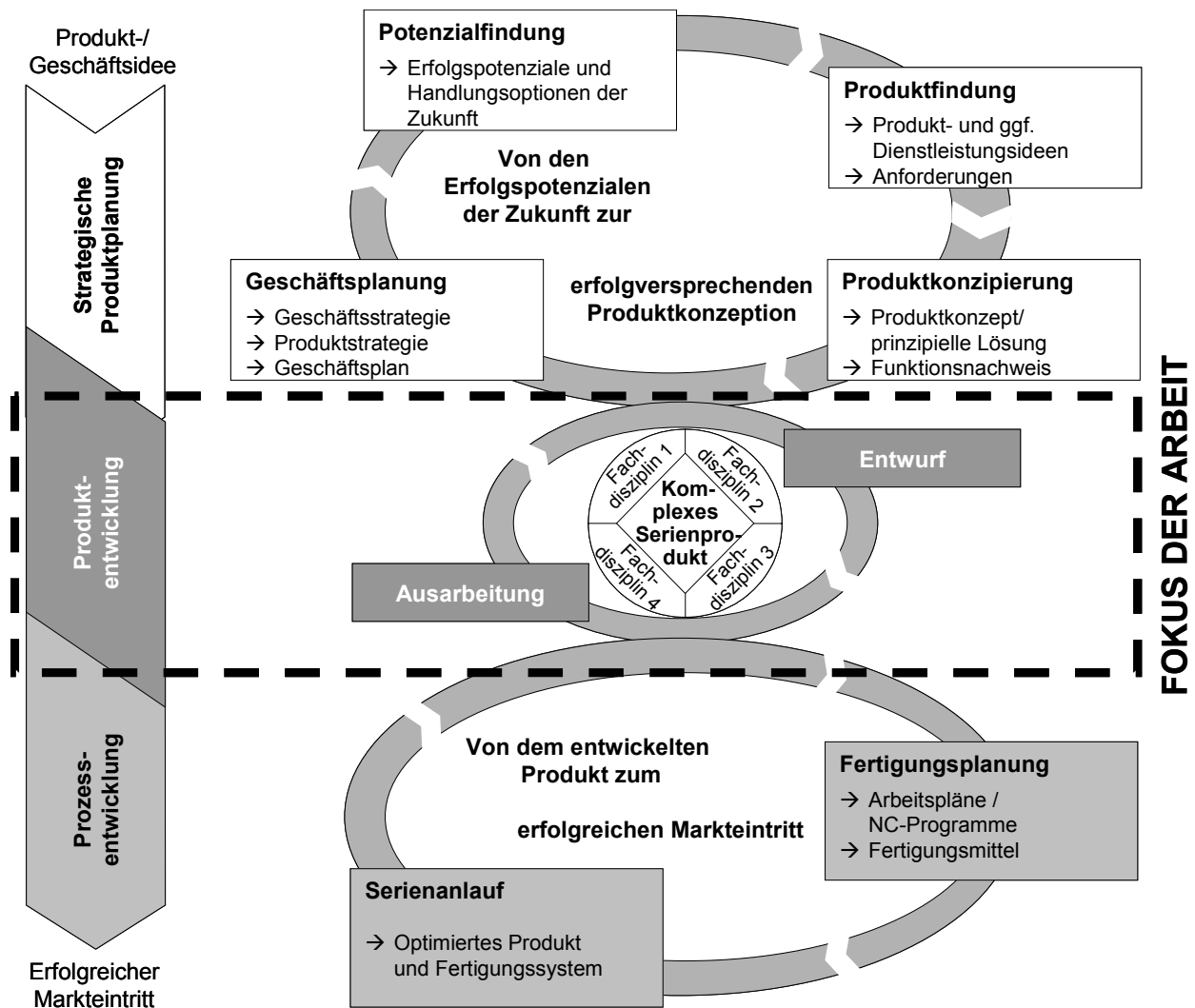
In Bild 1-2 sind diese Iterationsschleifen dargestellt. Gerade die zeitlich lange Phase der Produktentwicklung, die oft über mehrere Jahre verläuft, ist bei komplexen Serienprodukten von hoher Bedeutung. Nach Festlegung des ersten Produktkonzeptes, mit dem ein Entwicklungsprojekt beginnt, findet bei Verfeinerung der Prinziplösung durch Entwurf und Ausarbeitung ein Erkenntnisfortschritt statt, bei dem die technischen Risiken geeignet gehandhabt werden müssen. Unter einem *technischen Risiko* wird in dieser Arbeit die *potenzielle, in der Technik begründete Abweichung von zukünftigen Zielzuständen* verstanden.

---

<sup>1</sup> Vgl. VDI 2235 (1987), S. 3

<sup>2</sup> Vgl. Harnischfeger/Reinking (2001)

<sup>3</sup> Vgl. McKinsey (2001)



Quelle: In Anlehnung an Gausemeier/Ebbesmeyer/Kallmeyer (2001), S. 44

### Bild 1-2: Eingrenzung der Arbeit auf die Phase Produktentwicklung

Das Management von technischen Risiken kann als Teil des Qualitätsmanagements angesehen werden. Qualitätsmanagement in Unternehmen umfasst alle Tätigkeiten, die dazu dienen, Qualität zu erzeugen. Unter Qualität wird die Beschaffenheit einer Einheit bezüglich ihrer Eignung, festgelegte oder vorausgesetzte Anforderungen zu erfüllen<sup>1</sup>, verstanden. Kurz gesagt kann Qualität auch als Übereinstimmung mit Forderungen definiert werden. Das Qualitätsmanagement stellt für die Produktentwicklung einige Qualitätsmethoden zur Verfügung. Es werden u. a. die Methoden Design Review, Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse (FMEA), Fehlerbaumanalyse (FTA) und Ereignisablaufanalyse (ETA) eingesetzt.<sup>2</sup> Die Methoden FMEA, FTA und ETA werden in der Literatur<sup>3</sup> auch als Methoden zur Risikobewer-

<sup>1</sup> Vgl. DIN EN ISO 8402 (1995)

<sup>2</sup> Vgl. Pfeifer (1993), S. 47

<sup>3</sup> Vgl. Pfeifer (1993), S. 34; Schloske (1999), S. 25



tung bezeichnet.

Weitere Ansätze zum Risikomanagement findet man innerhalb des Themengebietes Projektmanagement. Um die definierten Projektziele zu erreichen, sind im Rahmen des Projektcontrollings die Funktionen Organisieren, Planen, Steuern, Administrieren und Berichten für die Projektparameter Verträge, Konfiguration, Qualität, Kosten, Leistung und Termine zu erfüllen.<sup>1</sup>

Auch legislative Bestrebungen wie z. B. im Rahmen des Gesetzes zur Kontrolle und Transparenz im Unternehmensbereich (KontraG) aus dem Jahre 1998 machen die Implementierung eines Risikomanagements erforderlich.<sup>2</sup> Der Vorstand einer Kapitalgesellschaft hat in diesem Rahmen geeignete Maßnahmen zu treffen, insbesondere ein Früherkennungssystem für Risiken sowie ein Überwachungssystem einzurichten. Außerdem fordert das Gesetz die Erweiterung der Berichterstattung dahingehend, dass der Lagebericht der Gesellschaft auch auf künftige Risiken eingehen muss.<sup>3</sup> Insbesondere die nun gesetzlich erforderliche frühzeitige Risikoerkennung, die nur durch regelmäßige Risikobetrachtung sichergestellt wird, wird mit den vorhandenen Methoden nur ungenügend unterstützt.

Um den Erkenntnisfortschritt bei der Produktentwicklung zeitnah zu nutzen, müssen die Risiken bezüglich der Erreichung wesentlicher Ziele regelmäßig und umfassend bewertet sowie kommuniziert werden. Die bisherigen Ansätze für die Bewertung der technischen Risiken, die Risikokommunikation und die Projektsteuerung sind in dem Umfeld hinsichtlich dieser Forderungen jedoch unzureichend.

Die Folgen dieser Unzulänglichkeiten bei Methoden und Hilfsmitteln für das technische Risikomanagement sind in vielen Unternehmen immer wiederkehrende Probleme mit unregelmäßigen, partiellen und späten Risikobewertungen sowie deren Kommunikation. Dadurch ist die projektweite Transparenz aktueller Risiken nur mangelhaft gegeben und eine präventive Projektsteuerung eingeschränkt wirksam.

---

<sup>1</sup> Vgl. Franke (1993), S. 52

<sup>2</sup> Vgl. Franz (2000), S. 51

<sup>3</sup> Vgl. Hommelhoff/Mattheus (2000), S. 8-9

## 1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung eines Verfahrens für die Bewertung technischer Risiken in der Phase der Entwicklung komplexer Serienprodukte. Im Mittelpunkt der Betrachtung stehen interdisziplinäre und örtlich verteilte Projektteams. Das Verfahren soll dabei der hohen Komplexität und Dynamik von Entwicklungsprojekten sowie den notwendigen Iterationsschleifen der Produktentwicklung gerecht werden. Basierend auf den Bewertungsergebnissen soll eine gezielte Risikokommunikation als Voraussetzung für effiziente und effektive Entscheidungsprozesse ermöglicht werden. Mit dem zu erarbeitenden Risikobewertungsverfahren soll der Erkenntnisfortschritt bei der Produktentwicklung zeitnah als Grundlage für die Projektsteuerung genutzt werden.

Zur Erreichung dieser Zielsetzung ist folgendes Vorgehen vorgesehen:

In Kapitel 2 werden ausgehend von den Betrachtungsgegenständen „Umgang mit Risiken“ und „Entwicklung komplexer Serienprodukte“ die in der Literatur und Praxis vorliegenden Methoden des Risikomanagements in der Produktentwicklung beschrieben und bezüglich ihrer Eignung für die technische Risikobewertung und -kommunikation analysiert und beurteilt. Aus den bestehenden Defiziten im Hinblick auf die Lösung der im Rahmen dieser Arbeit bearbeiteten Aufgabenstellung wird der Handlungsbedarf abgeleitet.

Die wissenschaftlichen Grundlagen für den Lösungsansatz werden in Kapitel 3 beschrieben. Hierzu gehören Theorien, Modelle und Ansätze zu Systemen, Kybernetik, Motivation und Entscheidung.

In Kapitel 4 wird auf Basis der oben beschriebenen Grundlagen ein Verfahren für die Bewertung von technischen Risiken hergeleitet und beschrieben.

Die Operationalisierung des Risikobewertungsverfahrens erfolgt in Kapitel 5.

In Kapitel 6 wird die Konzeption einer softwaretechnischen Umsetzung dargestellt.

Die praktische Anwendung des Risikobewertungsverfahrens wird in Kapitel 7 anhand von zwei Beispielen beschrieben und erläutert.

Die Zusammenfassung und kritische Bewertung des Erreichten ist Inhalt von Kapitel 8. Hier werden weitere Einsatzgebiete des Verfahrens aufgezeigt sowie Ansatzpunkte zur Weiterentwicklung und sich daraus ergebender Forschungsbedarf skizziert.

## 2 Technisches Risikomanagement bei der Entwicklung komplexer Serienprodukte

### 2.1 Risiko und Risikomanagement

#### 2.1.1 Der Risikobegriff

Zunächst soll der Begriff „Risiko“ näher betrachtet werden. Philosophisch gesehen basiert der Begriff „Risiko“ auf der fundamentalen Erfahrung, dass der Mensch seinem Schicksal weitestgehend ausgeliefert ist.<sup>1</sup> Dem allgemeinen Sprachgebrauch entsprechend wird unter Risiko ein Wagnis oder eine Verlustmöglichkeit bzw. die Ungewissheit des Eintritts oder des Ausbleibens eines bestimmten Erfolges verstanden.<sup>2</sup>

Aus diesem Verständnis gehen verschiedene Ansatzpunkte zur Definition des Risikos hervor, wobei die Meinungen der Angehörigen der einzelnen Fachgebiete auseinander gehen.

Grundsätzlich einig ist man sich über die Tatsache, dass eine technische und eine betriebswirtschaftliche Sicht des Risikos existiert: Die *technische Sichtweise des Risikos* wird auch als „reines Risiko“ bezeichnet, da nur die negativen Folgen oder die durch Störgrößen bewirkte Verlustgefahr gesehen werden. Die betriebswirtschaftliche Sicht des Risikos ist als mögliche Differenz zwischen dem ursprünglich gesetzten Ziel und dem tatsächlich erreichten Zustand zu sehen. Dadurch werden sowohl die positiven als auch die negativen Abweichungen miteinbezogen, weshalb auch der Begriff „spekulatives Risiko“ verwendet wird.<sup>3</sup> Es sind also nach dem allgemeinen Begriffsverständnis die Chance und das Risiko enthalten.

All diesen Ausführungen zum Risiko liegt zu Grunde, dass jedes Risiko das *Vorhandensein einer Zielvorstellung* voraussetzt, mit der das Ergebnis verglichen werden kann. Diese Feststellung und Erkenntnis ist in der Literatur mehrfach<sup>4</sup> zu finden.

Ein weiterer Definitionsansatz neben diesen auf die Wirkung des Risikos abzielenden Definitionen besteht darin, den Risikobegriff aufgrund eines speziellen Informationszustandes zu erklären und dabei die Ursache des Risikos einzubeziehen. Schon *Knight*<sup>5</sup> unterschied drei Informationszustände: Sicherheit, Unsicherheit und Risiko. Unsicherheit bedeutet bei ihm, dass keine oder nur subjektive Wahrscheinlichkeitsurteile zur Messung angegeben werden

---

<sup>1</sup> Vgl. Obermeier (1999), S. 13

<sup>2</sup> Vgl. Sauerwein/Thurner (1998), S. 19

<sup>3</sup> Vgl. Mensch (1990), S. 11-18

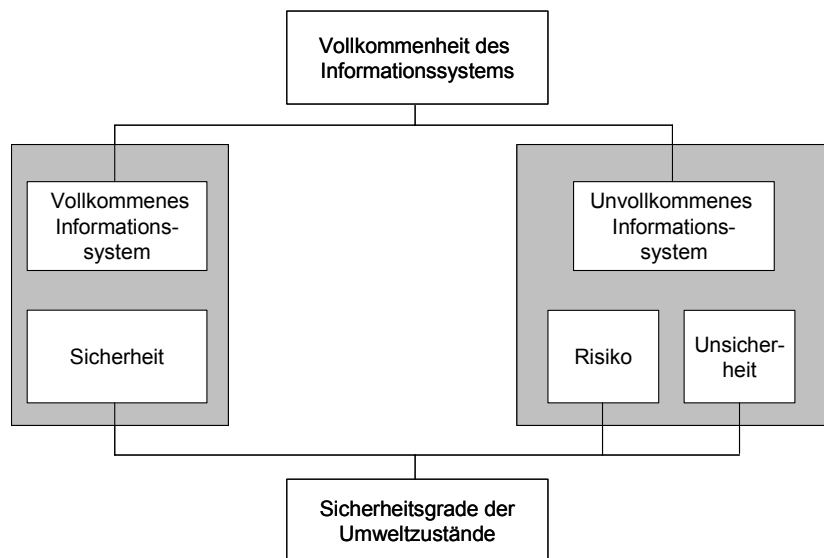
<sup>4</sup> Vgl. Hänggi (1996), S. 63; Braun (1982), S. 27; Haller/Ackermann (1992), S. 18

<sup>5</sup> Vgl. Knight (1921), S. 19 f. und S. 197 ff.; zitiert nach Braun (1982), S. 24

können. Risiko bedeutet, dass Wahrscheinlichkeiten eine objektive Messung erlauben.

*Schnorrenberg/Goebels*<sup>1</sup> verwenden die Begrifflichkeiten im Zusammenhang mit der Entscheidungstheorie, indem sie Entscheidungen nach dem Sicherheitsgrad der Informationen in Bezug auf ein Ereignis unterscheiden. Ein Ereignis ist dann unsicher, wenn es selbst oder die Wahrscheinlichkeit seines Eintretens nicht bekannt ist. Liegt ein Risiko vor, ist das Ereignis bekannt und ihm können objektive Eintrittswahrscheinlichkeiten zugeordnet werden. Bei der Ungewissheit hingegen können nur subjektive Wahrscheinlichkeiten zugeordnet werden. Im Allgemeinen wird allerdings der Begriff Risiko auch für den entscheidungstheoretischen Begriff Ungewissheit verwendet.

Im Rahmen von Entscheidungen stellt *Wöhe*<sup>1</sup> die Begrifflichkeiten Sicherheit, Risiko und Unsicherheit als Bezeichnungen für den Sicherheitsgrad der Umweltzustände in einen Zusammenhang mit der Vollkommenheit des Informationssystems (Bild 2-1).



Quelle: Wöhe (2002), S. 122

### **Bild 2-1: Sicherheit, Risiko und Unsicherheit**

Bei einem vollkommenen Informationssystem sind dem Entscheider die Menge der möglichen Umweltzustände und die jeweils eintretende Umweltsituation bekannt. Bei einem unvollkommenen Informationssystem ist zwar die Menge der möglichen Umweltzustände bekannt, es ist aber nur eine Entscheidung unter Risiko (objektive und subjektive Eintrittswahrscheinlichkeiten) oder Unsicherheit (unbekannte Eintrittswahrscheinlichkeiten) möglich.

In dieser Arbeit wird der Risikobegriff in Anlehnung an *Wöhe* verwendet, d. h. bei einer Ent-

---

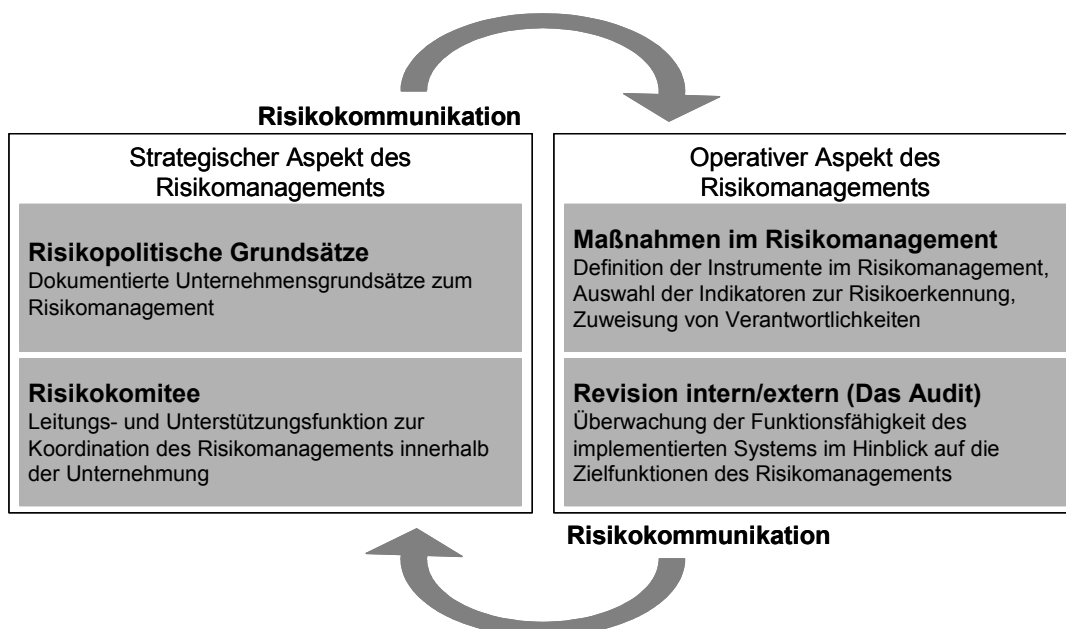
<sup>1</sup> Vgl. Schnorrenberg/Goebels (1997), S. 4 f.

scheidung unter Risiko liegen objektive bzw. subjektive Eintrittswahrscheinlichkeiten für mögliche Umweltzustände vor.

## 2.1.2 Risikomanagementsysteme

Für die Risikobetrachtung auf der Ebene des Gesamtunternehmens können Risikomanagementsysteme etabliert werden, die u. a. im Gesetz zur Kontrolle und Transparenz im Unternehmensbereich (KonTraG) gefordert werden. Hiernach muss die Unternehmensleitung die für das Unternehmen bestandsgefährdenden Risiken regelmäßig bewerten und Kontrollorgane sowie Öffentlichkeit darüber informieren. Ziel ist es, Risikoallokationen und -konzentrationen zu erkennen und zu vermeiden. Der *aktive* Umgang mit Risiken steht im Mittelpunkt.

In Bild 2-2 sind die Zusammenhänge von strategischem und operativem Risikomanagement in einem unternehmensweiten Risikomanagementsystem dargestellt.



Quelle: Palmer/Marous (2001), S. 14

### Bild 2-2: Elemente des Risikomanagementsystems im Unternehmen

Ein Unternehmen definiert in seinen risikopolitischen Grundsätzen, welche Risiken in seinem Geschäftsmodell es auf welche Art handhaben möchte. Risiken, die in akzeptierbarem Verhältnis zu den Chancen stehen, werden getragen. Im operativen Risikomanagement gilt es dann, geeignete Verfahren und Instrumente zum Umgang mit Risiken zu etablieren und dauerhaft anzuwenden. Für die Risikoerkennung schlagen *Palmer/Marous*<sup>2</sup> die Verwendung von

<sup>1</sup> Vgl. Wöhe (2002), S. 122

<sup>2</sup> Vgl. Palmer/Marous (2001), S. 14

geeigneten Indikatoren vor, die von Verantwortlichen bewertet werden.

### **2.1.3 Aufgaben des Risikomanagements**

In einem Entwicklungsprojekt gibt es bezogen auf die komplexen Entscheidungsprozesse eine Vielzahl von Aufgaben des Risikomanagements. Jede Risikobetrachtung basiert auf Zielerwartungen. Da die Zielerreichung unsicher ist, entsteht überhaupt erst ein Risiko.

Die Aufgaben des Risikomanagements sind in der Literatur zwar teilweise unterschiedlich strukturiert, setzen sich jedoch im Großen und Ganzen aus gleichen bzw. vergleichbaren Inhalten zusammen. Es erfolgt eine ähnliche Einteilung in Risikoerkennung, Risikobewertung, Risikobewältigung und Risikokontrolle.<sup>1</sup> Zum Teil findet man als zusätzliches Strukturelement die Kommunikation.<sup>2</sup>

Eine übersichtliche Struktur beschreiben *Dörner/Doleczik*<sup>3</sup>. Bei ihnen besteht der Risikomanagementprozess im engeren Sinne aus den drei Elementen Risikoidentifikation, Risikoanalyse und -bewertung sowie Risikosteuerung (Bild 2-3). Dabei bildet die Festlegung von Unternehmenszielen und Strategien die Basis für den Prozess. In allen Phasen erfolgt eine Unterstützung durch das Risikocontrolling und -reporting.

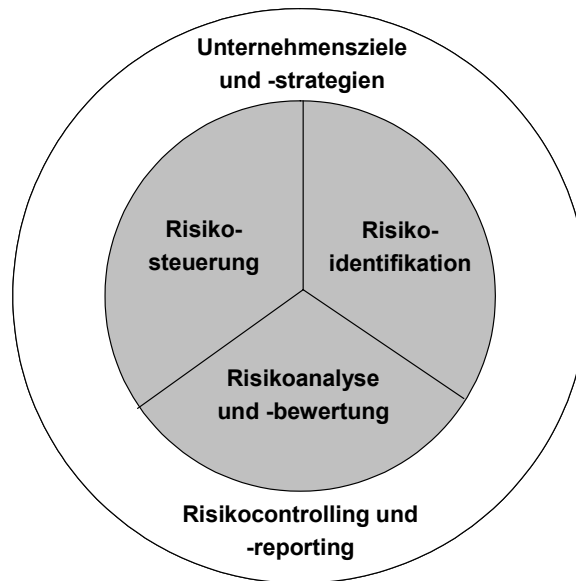
Bei der Risikoidentifikation erfolgt eine möglichst vollständige Erfassung der Risiken, denen das Unternehmen ausgesetzt ist. Die frühzeitige Erkennung ist die grundlegende Voraussetzung für eine erfolgreiche Risikobewältigung. Eine wichtige Aufgabe in dieser Phase ist die Entwicklung bzw. Anpassung und Bereitstellung geeigneter Instrumente und Methoden.

---

<sup>1</sup> Vgl. Scharer (2002), S. 31 f.

<sup>2</sup> Vgl. Braun (1982), S. 65 f.

<sup>3</sup> Vgl. Dörner/Doleczik (2000), S. 201 ff.



Quelle: Dörner/Doleczik (2000), S. 202

### **Bild 2-3: Risikomanagement als Prozess**

Im Anschluss werden im Rahmen der Risikoanalyse und -bewertung die tatsächlich relevanten Risiken bestimmt sowie ihre Auswirkungen auf den Unternehmenserfolg so gut wie möglich quantifiziert. Die Wahrscheinlichkeit des Eintretens und die Höhe des damit verbundenen Schadens bestimmt das Ausmaß des Risikos. In dieser Phase ist es erforderlich, sinnvolle Risikomaße sowie geeignete Methoden und Bewertungsinstrumente zu erarbeiten. Erschwerend wirkt sich hierbei eine hohe Komplexität der Risikosituation aus, die unter anderem durch Interdependenzen und kumulative Effekte gekennzeichnet sein kann.

Die Risikosteuerung hat die Aufgabe, die bewerteten Risiken im Einklang mit den Unternehmenszielen und den definierten Vorgaben zu bewältigen. Dies kann durch Vermeidung, Reduktion oder bewusstes Eingehen auf das Risiko erfolgen. Es stellt sich die Frage, ob die Einzelrisiken getragen oder Maßnahmen zur Verringerung oder Vermeidung ergriffen werden sollen. Diesbezüglich sind adäquate Maßnahmen auszuwählen, die einen Umgang mit dem Risiko entsprechend der Risikobereitschaft des Unternehmens ermöglichen.

Innerhalb des Risikocontrollings und -reportings werden Signale, Schwellenwerte oder Begrenzungen quantitativer oder qualitativer Art festgelegt, die eine Weitermeldung erfordern. Außerdem ist die Wirksamkeit der Steuerungsmaßnahmen laufend zu kontrollieren, gegebenenfalls sind Modifikationen vorzunehmen. In Notfällen sollte eine sofortige Information der zuständigen Entscheidungsträger erfolgen.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Vgl. Dörner/Doleczik (2000), S. 201 ff.

#### 2.1.4 Technische Risiken bei der Produktentwicklung

Bezogen auf den *Produktentwicklungsprozess* werden in der Literatur *Marktrisiken* und *technische Risiken* unterschieden. Das Marktrisiko besteht in der Unsicherheit hinsichtlich des Erreichens der Marktbedürfnisse. Das Marktrisiko wird im Wesentlichen durch die Beziehungen Markt und Unternehmen, Markt und Produkt sowie Markt und Umwelt beeinflusst.<sup>1</sup>

Im Zusammenhang mit *technischen Risiken* geht Hänggi<sup>2</sup> davon aus, dass *bis zu einer gewissen, bis dato erforschten physikalisch-technischen Obergrenze einer Technologie prinzipiell jedes technische System realisierbar ist*. In diesem Bereich gibt es für jede technische Aufgabenstellung unter Verwendung verschiedener Technologien stets mindestens eine Lösung. Sofern der gewünschte technische Zielerreichungsgrad nicht über die technologische Fortschrittsniveaugrenze hinaus geht, kann das technische Risiko dadurch eliminiert werden, dass ein hinreichend großes Kosten- und Zeitbudget zur Verfügung gestellt wird. Diese Vorgehensweise wäre allerdings in der überwiegenden Zahl der Forschungs- und Entwicklungsprojekte ökonomisch nicht zu rechtfertigen.<sup>3</sup>

Also erst aufgrund der wirtschaftlichen Randbedingungen eines Entwicklungsprojektes ergeben sich Qualitäts-, Kosten- und Terminrisiken, welche sich in der Summe als *technische Risiken* darstellen lassen (Bild 2-4).

Die *technischen Risiken* beruhen nach diesem Verständnis hauptsächlich auf unzureichenden Kenntnissen und Erfahrungen einer Technologie bzw. der Kombination verschiedener Technologien, den technologischen Risiken. Nach Westkämper/Balve<sup>4</sup> nehmen die technischen Risiken über die vier Technologie-Lebensphasen (Entstehung, Wachstum, Reife und Degeneration) von der Schrittmachertechnologie über Schlüssel- und Basistechnologie bis zur verdrängten Technologie ab. Mit dieser Abnahme sinkt allerdings auch das Entwicklungs- und Wettbewerbspotenzial einer Technologie.

---

<sup>1</sup> Vgl. Eckert (1985), S. 11; Smith/Reinertsen (1991), S. 208

<sup>2</sup> Vgl. Hänggi (1996), S. 75

<sup>3</sup> Vgl. Eckert (1985), S. 59

<sup>4</sup> Vgl. Westkämper/Balve (2003), S. 276 f.



				Technische Risiken		
Umfeldrisiken	Geschäftsrisiken	Finanzielle Risiken	Schadensrisiken	Projekt- risiken	IT-Risiken	Rechtliche Risiken
z. B.	z. B.	z. B.	z. B.	z. B.	z. B.	z. B.
Gesetzliche Rahmenbedingungen	Marktrisiken	Währungsrisiken	Personenbezogene Risiken	Terminrisiken	IT-Sicherheit	Vertragsrisiken
Staatliche Förderpolitik	Wettbewerbsrisiken	Länderrisiken	Sachbezogene Risiken	Kostenrisiken	Datenintegrität	Haftungsrisiken
Politische Stabilität	Technologische Risiken	Zinsrisiken	Betreiber- risiken	Qualitäts- risiken	Daten- verfügbarkeit	Risiken Gesetzes- verletzung

Quelle: In Anlehnung an Wittmann (2000), S. 474

**Bild 2-4: Beispielhafte Risikokategorien und Einordnung von technischen Risiken**

In der Literatur<sup>1</sup> werden sechs *Gruppen von Einflussfaktoren* angeführt, welche auf das *technische Risiko* einer Produktentwicklung wirken können:

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

---

<sup>1</sup> Vgl. Eckert (1985), S. 70 ff., Hänggi (1996), S. 76

## 2.2 Entwicklung komplexer Serienprodukte

### 2.2.1 Merkmale der Produktentwicklung

Produktentwicklungen erfolgen in Form von Prozessen. Ein Prozess wird in der Literatur<sup>1</sup> allgemein als eine Menge von Aktivitäten definiert, die

- eine konkrete räumliche und zeitliche Struktur besitzt,
- die Bereitstellung eines bestimmten Produktes durch die Transformation von Objekten über unterschiedliche Zwischenzustände in den geforderten Endzustand beinhaltet,
- auf das Ziel der Wertschöpfung ausgerichtet ist,
- durch das organisierte Zusammenwirken von Menschen, Betriebsmitteln, Material, Energie und Informationen gekennzeichnet ist.

Der Prozess der Produktentwicklung ist zwischen der vorher stattfindenden Forschung und der nachfolgenden Markteinführung eingeordnet. Zentrales Merkmal für den Übergang von der Forschung in die Entwicklung ist nach *Specht/Beckmann*<sup>2</sup> die Kenntnis der Technologie. Unter Technologie soll in dieser Arbeit nach *Bullinger*<sup>3</sup> das Wissen über Lösungswege zur technischen Problemlösung verstanden werden, was dem Know-how-Begriff gleichgesetzt werden kann. Beim Übergang von der Vorentwicklung in die Produkt- und Prozessentwicklung ist das Produkt- und Produktionskonzept bereits festgelegt.

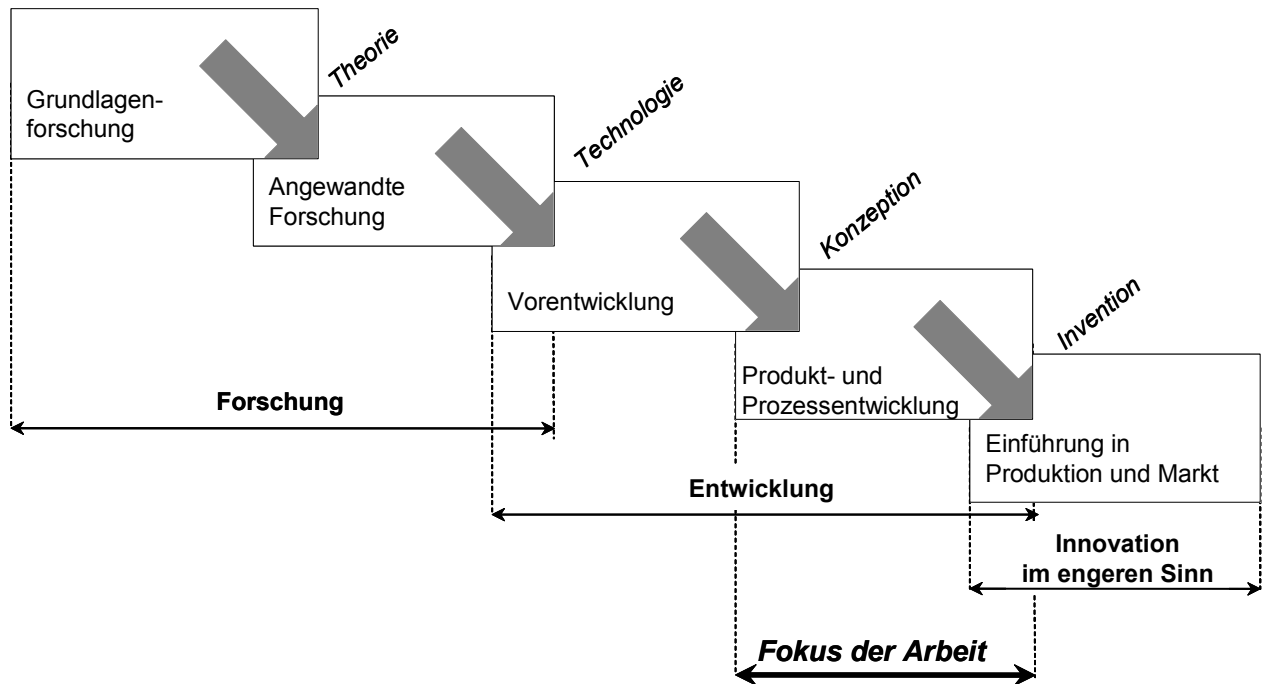
Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der Phase der Produkt- und Prozessentwicklung, die als Eingangsmerkmale eine bekannte Technologie und ein festgelegtes Produkt- und Produktionskonzept voraussetzen (Bild 2-5).

---

<sup>1</sup> Vgl. Juran (1993); Pall (1992)

<sup>2</sup> Vgl. Specht/Beckmann (1996), S. 18

<sup>3</sup> Vgl. Bullinger (1994), S. 33 f.



Quelle: In Anlehnung an Specht/Beckmann (1996), S. 18

### Bild 2-5: Phasen und Ergebnisse von Forschung, Entwicklung und Innovation

*Siegwart* definiert die Produktentwicklung als „die Nutzung wissenschaftlich-theoretischer Erkenntnisse mit dem Ziel, produktions- und marktfähige Produkte oder Verfahren zu schaffen“<sup>1</sup>. In Anlehnung an diese Definition soll in dieser Arbeit für die Produktentwicklung folgendes gelten:

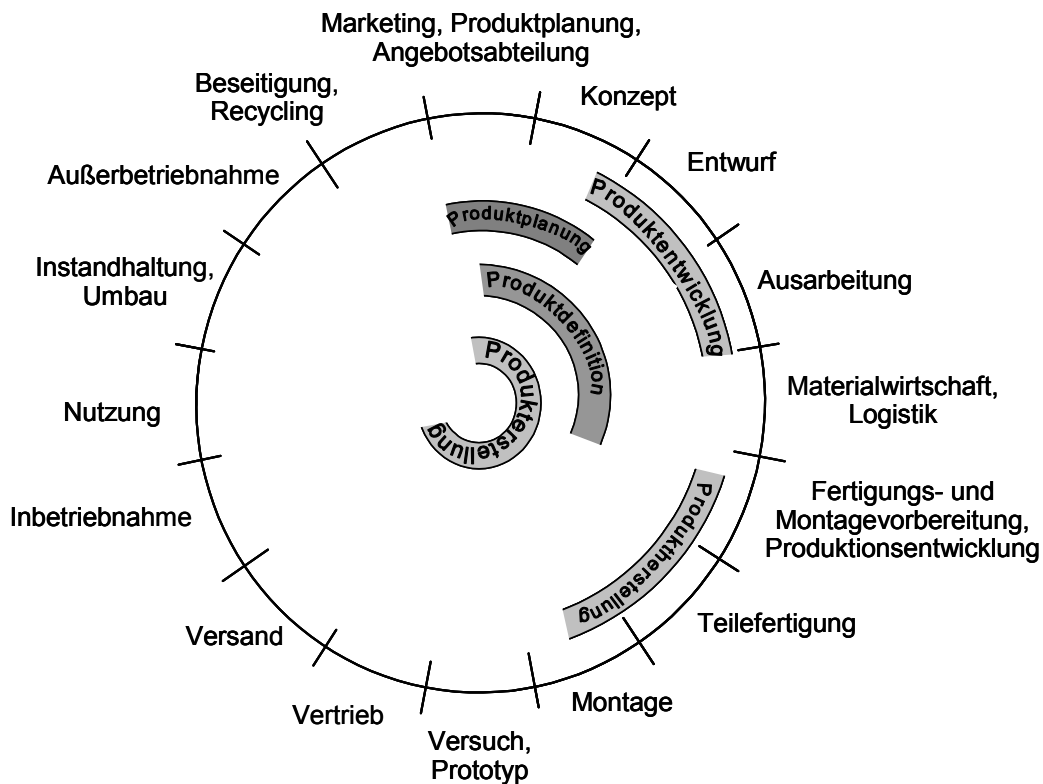
- Durch die Verwendung wissenschaftlich-theoretischer Erkenntnisse existiert bei der Produktentwicklung ein gewisser Grad an Neuartigkeit, aus dem Risiken entstehen können.
- Gegenstand der Produktentwicklung können sowohl materielle als auch immaterielle Produkte sowie Produktionsverfahren sein.
- Anforderungen an das Produkt sind u. a. die Produzierbarkeit und Vermarktungsfähigkeit.

Entwicklungsprozesse sind in erster Linie „Prozesse des Gestaltens“.<sup>2</sup> Die Gestaltung betrifft nicht nur das eigentliche Produkt, sondern umfasst die Berücksichtigung aller im Produktlebenszyklus wesentlichen produktbezogenen Prozesse sowie die von ihnen benötigten Hilfsmittel bei der Produktentwicklung.

Betrachtet man den Prozess der Produkterstellung (Bild 2-6), so setzt die Produktentwicklung auf den Ergebnissen der Produktplanung auf. Zeitlich parallel zur Produktentwicklung findet die Produktionsentwicklung statt.

<sup>1</sup> Vgl. Siegwart (1974), S. 16

<sup>2</sup> Vgl. Schumann (1994), S. 5



Quelle: In Anlehnung an Ehrlenspiel (2003), S. 146

### **Bild 2-6: Produktentwicklung im Lebenslauf eines Produktes**

Nachdem das Konzept erstellt ist, wird bei der Produktentwicklung das Produkt in iterativen Schritten von Gestaltung, Herstellung und Testen zur Serienreife gebracht. Ein Produkt gilt im Allgemeinen dann als serienreif, wenn die Konstruktion in ihren Eigenschaften so ausgelegt ist, dass die Anforderungen hinsichtlich Funktion, Kosten, Gewicht, Herstellbarkeit, Zuverlässigkeit, Service, Dokumentation, Recycling etc. erfüllt werden.

Die Produktentwicklung hat eine hohe Ablaufkomplexität, wofür im Wesentlichen folgende Ursachen verantwortlich sind:

- Komplexität des Produktes,
- Vielzahl und Vielfalt der notwendigen Aktivitäten,
- Hoher Grad an zeitlicher Parallelität der Aktivitäten,
- Vielzahl der zwischen den Aktivitäten existierenden Wechselwirkungen sowie
- Vielzahl von Aufgabenträgern durch die Beteiligung zahlreicher betrieblicher Funktionsbereiche.

Produktentwicklung ist ein dynamischer Vorgang, der planbare und aufgrund seines innovativen und kreativen Charakters auch stochastische Anteile beinhaltet.<sup>1</sup> Ihrem Charakter nach kann die Produktentwicklung als ein Informationserzeugungs- und -verarbeitungsprozess aufgefasst werden, der hochgradig wissensbasiert ist. Zu Beginn der Produktentwicklung existiert ein weitgehend offener Lösungsraum, der durch einen maximalen Umfang an Gestaltungsfreiräumen und einen minimalen Umfang an konkret festgelegten Produkteigenschaften gekennzeichnet ist. Dieser Zustand ändert sich im Laufe der Produktentwicklung zu einem umgekehrten Verhältnis am Entwicklungsende.

Bei der Beschreibung der Produkteigenschaften werden zahlreiche detaillierte und strukturierte Informationen verwendet. *Eastman/Fereshetian* bezeichnen die Produktentwicklung als einen Vorgang, der Informationsstrukturen erzeugt und diese Strukturen mit Inhalt füllt.<sup>2</sup> Die Informationen in Entwicklungsprozessen lassen sich durch folgende Eigenschaften charakterisieren:

- Die Informationen sind in hohem Maße miteinander verknüpft, da sie unterschiedliche Aspekte auf unterschiedlichen Detaillierungsebenen, aber ein und desselben Produktes beschreiben.
- Die Informationsmenge wächst im Laufe der Produktentwicklung, da auf jeder Detaillierungsebene die Informationen weiter ansteigen.
- Die Informationsstrukturen in Entwicklungsprozessen sind nicht a priori bestimmbar, sondern sie entstehen im Verlaufe der Produktentwicklung.
- Die Informationen besitzen eine Vielzahl unterschiedlicher Darstellungsmedien und -formen, die alle gleichzeitig und gleichberechtigt nebeneinander existieren.

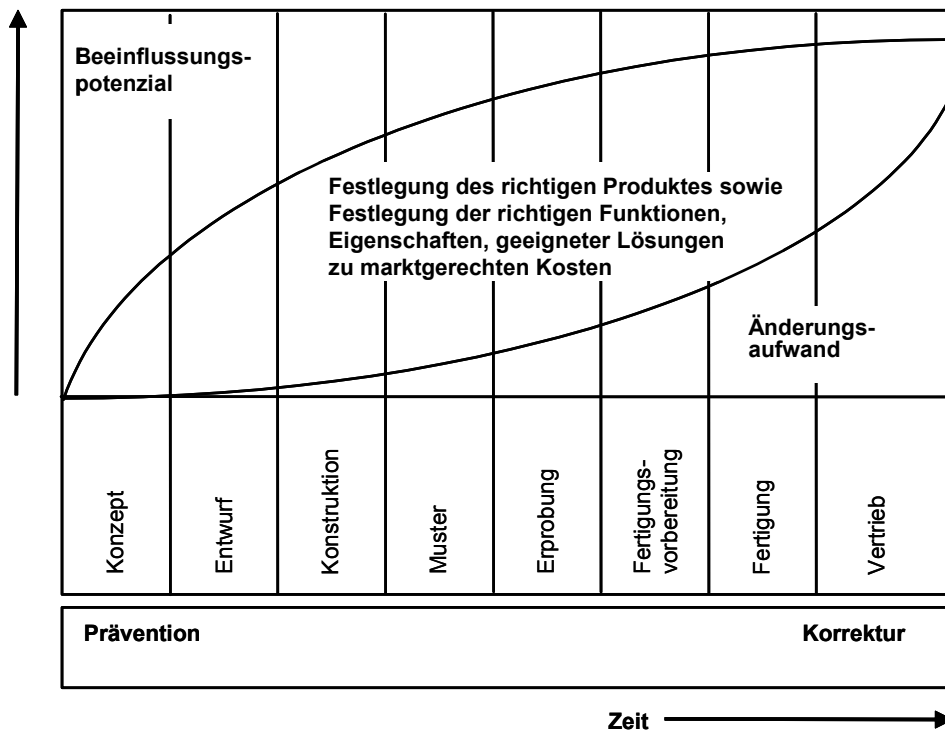
Die wirksamsten Möglichkeiten zur Beeinflussung des Produkterfolgs hinsichtlich Qualität, Kosten und Entwicklungszeiten sieht *Kersten*<sup>3</sup> eindeutig im Entwicklungsbereich, da die wichtigsten Produkteigenschaften und damit auch die Kosten bereits in der frühen Entwicklungsphase festgelegt werden. Mit fortschreitender Produktentstehung sinkt das Beeinflussungspotenzial und steigt der Änderungsaufwand (Bild 2-7).

---

<sup>1</sup> Vgl. Wildemann (1994), S. 27

<sup>2</sup> Vgl. Eastman/Fereshetian (1994), S. 556

<sup>3</sup> Vgl. Kersten (1999), S. 356



Quelle: Kersten (1999), S. 356

### Bild 2-7: Kostenfestlegung und Änderungsaufwand

Die oben aufgeführten Merkmale der Produktentwicklung wie Phasen, Ablaufkomplexität, Informationen und Beeinflussungspotenzial sind beschreibender Art, haben den Zweck der Einordnung und treffen im Wesentlichen auf alle Produktentwicklungen zu. Neben diesen beschreibenden Merkmalen lassen sich weitere differenzierende Merkmale finden, deren Ausprägungen auf Unterschiede zwischen einzelnen Produktentwicklungsprojekten hinweisen. In Bild 2-8 sind die bereits erwähnten Merkmale um die örtliche Verteilung der Entwicklung ergänzt und die Ausprägungen der in dieser Arbeit betrachteten Projekte markiert.

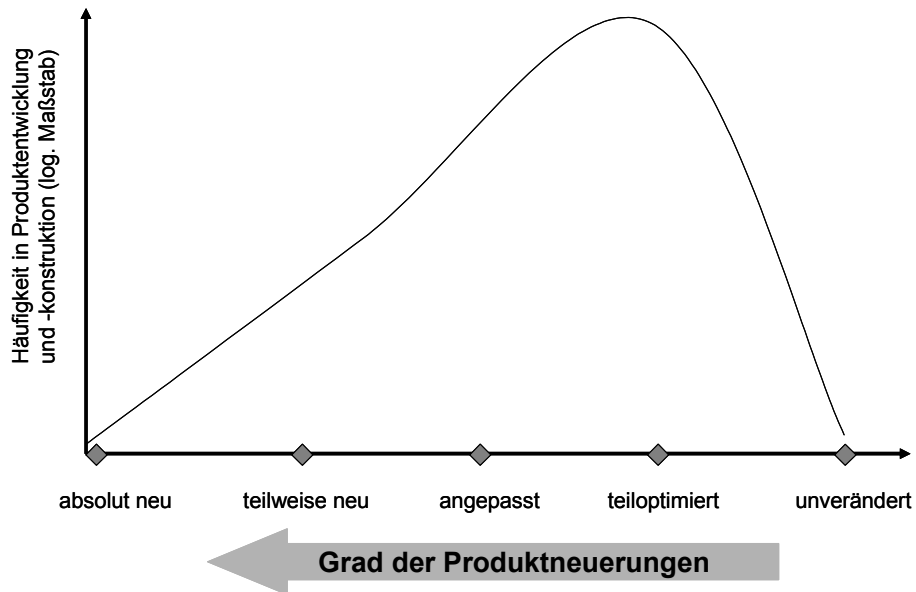
Merkmale der Produktentwicklung	Ausprägungen		
Komplexität des Produkts	Geringe Anzahl und Verschiedenheit von Bauteilen und Verbindungen	Mittlere Anzahl und Verschiedenheit von Bauteilen und Verbindungen	Hohe Anzahl und Verschiedenheit von Bauteilen und Verbindungen
Laufzeit des Projektes	Projektlaufzeit < 1 Jahr	1 Jahr ≤ Projektlaufzeit ≤ 2 Jahre	Projektlaufzeit > 2 Jahre
Anzahl involvierter Mitarbeiter im Projekt	MA-Zahl < 20	20 ≤ MA-Zahl ≤ 50	MA-Zahl > 50
Neuheitsgrad in Entwicklung und Konstruktion	Weiterentwicklung	Neuentwicklung: Technologie umfassend bekannt	Neuentwicklung: Technologieträger
Örtliche Verteilung der Entwicklung	Gemeinsames Projekthaus	Konzentration auf einen Standort	Verschiedene Standorte

 In dieser Arbeit betrachtete Ausprägungen

**Bild 2-8: Typologie von Produktentwicklungsprojekten**

Hinsichtlich des Neuheitsgrads gibt *Lindemann*<sup>1</sup> an, dass nur in wenigen Ausnahmefällen ein Produkt komplett neu entwickelt wird. Vielmehr wird bei der Entwicklung neuer Maschinen, Fahrzeuge und Anlagen immer versucht, bewährte Teilsysteme und Teillösungen mit Neuerungen zu kombinieren, um somit Risiken und Aufwand zu begrenzen. Die in Bild 2-9 aufgezeigte Verteilung sagt jedoch nichts über die Bedeutung der einzelnen Entwicklungen aus.

<sup>1</sup> Vgl. Lindemann (1996), S. 289



Quelle: Lindemann (1996), S. 290

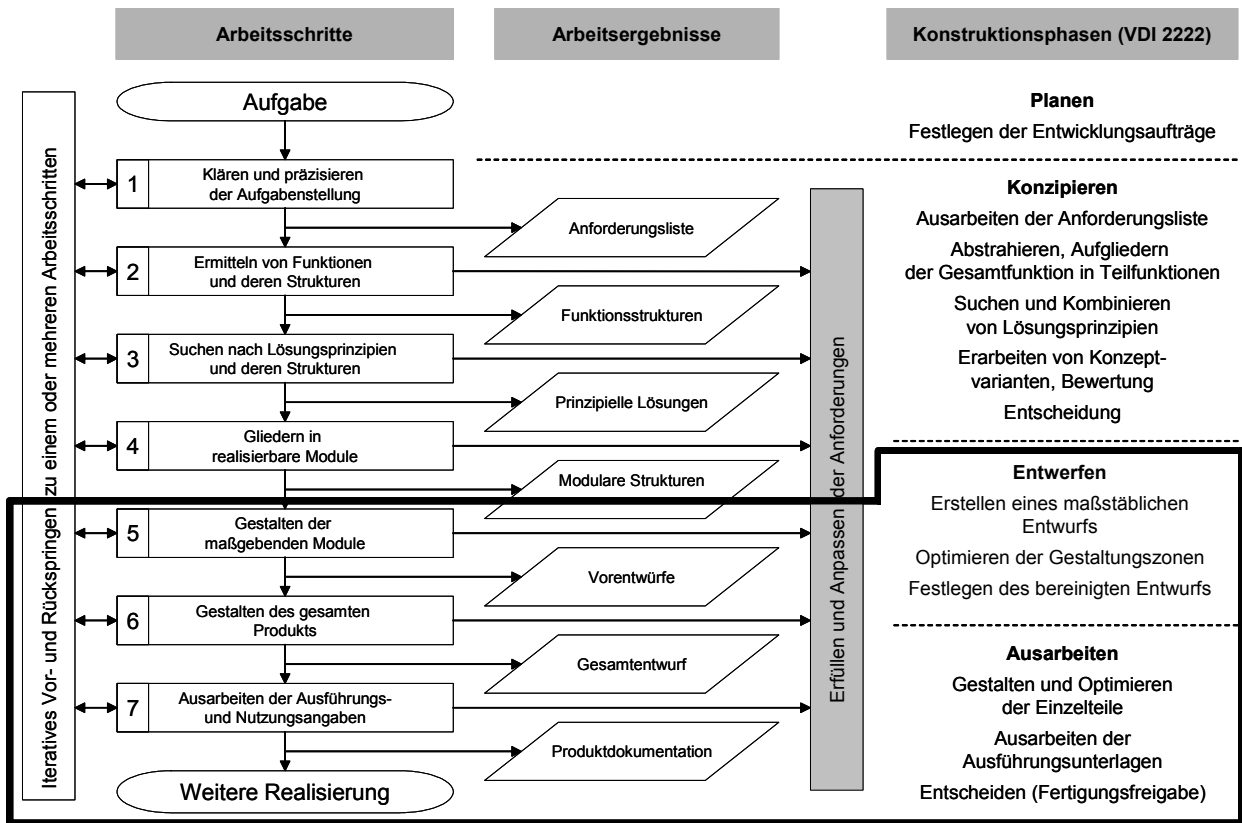
**Bild 2-9: Neuheitsgrad in Entwicklung und Konstruktion**

### 2.2.2 Aufgaben bei der Produktentwicklung

Nach dem VDI<sup>1</sup> lassen sich die Phasen der Produktentwicklung unterteilen in Planen, Konzipieren, Entwerfen und Ausarbeiten. Sie sind in Bild 2-10 mit einer detaillierten Phasenbeschreibung aufgeführt.

<sup>1</sup> Vgl. VDI 2222; zitiert nach Weule (2002), S. 227





#### Fokus der Arbeit

Quelle: VDI 2221/2222 in Anlehnung an Kläger (1993); zitiert nach Weule (2002), S. 227

### Bild 2-10: Vorgehen bei der Entwicklung technischer Systeme

Folgende Teilaufgaben charakterisieren die Produktentwicklung<sup>1</sup>:

- Berücksichtigung der Markt- bzw. Kundenforderungen, Überprüfung ihrer wirtschaftlichen Erfüllung und Sicherstellung ihrer Erfüllung,
- Gestaltung eines anforderungsgerechten Produktes,
- Gestaltung aller im Verlaufe des gesamten Lebenszyklus notwendigen produktbezogenen Prozesse (Herstellung, Kundendienst, Entsorgung usw.) und der von ihnen benötigten Dokumente und Hilfsmittel.

Die Erfüllung der Teilaufgaben vollzieht sich in einer fortschreitenden Detaillierung und Konkretisierung der Produktbeschreibung. Diese Detaillierung und Konkretisierung ist ein charakteristisches Merkmal der gesamten Produktentwicklung und stellt eine mehrere Stufen und Schritte umfassende Transformation der Produktbeschreibung dar.<sup>2</sup> Während der Produktentwicklung finden regelmäßig und parallel Risikobewertungen, Entscheidungsfindungen und Konfliktbeseitigungen statt.

<sup>1</sup> Vgl. Hänggi (1996), S. 41 f.; Weber (1978), S. 25 ff.; Hubka (1976)

<sup>2</sup> Vgl. Radtke (1995), S. 3

### 2.2.3 Organisation der Produktentwicklung

Bei der Produktentwicklung werden als grundlegende Konzepte Simultaneous Engineering und Projektorganisation angewendet.

#### 2.2.3.1 Simultaneous Engineering

Bei der üblichen funktional-arbeitsteiligen Organisation eines Unternehmens bestehen Informationsbarrieren zwischen den einzelnen Abteilungen, in denen aufgrund einer jeweils anderen Ausbildung, Fachsprache und Fachproblematik Unverständnis vorzufinden ist.<sup>1</sup> Außerdem besteht bei einem arbeitsteiligen, sequentiellen Vorgehen der entscheidende Nachteil im hohen Änderungsaufwand, dessen Ursachen in den vielen erforderlichen Iterationsschleifen liegen.<sup>2</sup>

Simultaneous Engineering (SE) ist ein Ansatz, der primär einen ablauforganisatorischen Schwerpunkt hat. Die bisher sequentielle und funktionsorientierte Bearbeitung soll durch die zeitlich und organisatorisch koordinierte Parallelisierung und Synchronisation einzelner Teilaufgaben effizienter gestaltet werden. Zentraler Ansatzpunkt ist die zeitliche Parallelisierung der Entwicklung eines Produktes und seiner Produktionsmittel, um die gesamte Produkterstellungszeit deutlich zu verkürzen.<sup>3</sup> Bei dem Lösungsansatz Simultaneous Engineering geben nach *Stanke/Berndes*<sup>4</sup> die drei Handlungsweisen Parallelisieren, Standardisieren und Integrieren die Richtung zur Gestaltung des Produktentwicklungsprozesses vor. Sie unterscheiden ferner<sup>5</sup> zwischen sequenziellen, überlappenden sowie parallelen und vernetzten Produktentwicklungsprozessen. Bei der überlappenden Produktentwicklung wird mit der Entwicklung der Produktionsmittel begonnen, unmittelbar nachdem die Festlegung des Produktes erfolgt ist (simultaneous engineering). Bei der parallelen und vernetzten Produktentwicklung werden Produktionsmittel und Produkt zeitlich parallel entwickelt, um die wechselseitigen Forderungen zu berücksichtigen (concurrent engineering). Da diese feine Unterscheidung in dieser Arbeit nicht zielführend ist, wird die umfassende SE-Definition nach *Eversheim/Bochtler/Laufenberg*<sup>6</sup> verwendet, nach der Simultaneous Engineering die integrierte und zeitparallele Abwicklung der Produkt- und Prozessgestaltung ist (Bild 2-11).

---

<sup>1</sup> Vgl. Ehrlenspiel (1991); zitiert nach Stuffer (1993), S. 31

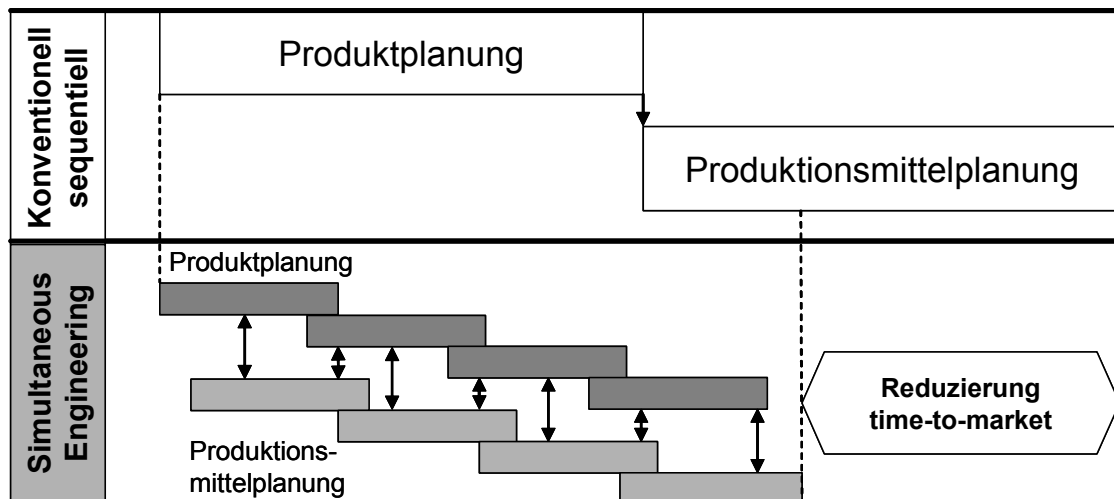
<sup>2</sup> Vgl. Spur (1991); zitiert nach Stuffer (1993), S. 32

<sup>3</sup> Vgl. Stuffer (1993), S. 30

<sup>4</sup> Vgl. Stanke/Berndes (1997), S. 15 ff.

<sup>5</sup> Vgl. Stanke/Berndes (1996), S. 19 f.

<sup>6</sup> Vgl. Eversheim/Bochtler/Laufenberg (1995), S. 16



Quelle: In Anlehnung an Eversheim/Bochtler/Laufenberg (1995), S. 2

### Bild 2-11: Systematik und Definition des Simultaneous Engineering

Der Zeitvorteil durch die parallelen und vernetzten Entwicklungsprozesse bringt allerdings als Nachteil eine hohe Entscheidungskomplexität mit sich.<sup>1</sup> Durch die parallele Arbeit an den verschiedenen Aufgaben wird der Kommunikationsaufwand beträchtlich erhöht. Hierdurch ergeben sich neue Forderungen an die Informationsunterstützung und an die eingesetzten EDV-Systeme.<sup>2</sup>

Als wesentliche Ziele des Simultaneous Engineering lassen sich zusammenfassen<sup>3</sup>:

- Integration der im Produktentwicklungsprozess nachgeschalteten Stellen (und ihres Know-hows) durch Vorverlagerung von Aktivitäten,
- Integration von externem Know-how durch eine enge Einbindung von Zulieferunternehmen,
- Reduzierung des Koordinationsaufwands durch Aufgaben- und Kompetenzintegration im SE-Team.

Die Einbindung von Zulieferunternehmen hat insbesondere in der Automobilindustrie eine hohe Bedeutung, da ein sehr großer Anteil der Wertschöpfung eines Automobils durch Zulieferer erbracht wird. Im Schnitt erreichen OEMs in der derzeitigen Wertschöpfungsarchitektur einen Wertschöpfungsanteil von 35%, der Modellrechnungen zufolge bis zum Jahr 2015 auf 25% absinkt.<sup>4</sup> Um bei dieser Einbindung gute Kunden-Lieferanten-Beziehungen aufzubauen, sind folgende Voraussetzungen zu beachten:

<sup>1</sup> Vgl. Stanke/Berndes (1997), S. 16

<sup>2</sup> Vgl. Stuffer (1993), S. 30

<sup>3</sup> Vgl. Ehrlenspiel (2003); Stuffer (1993), S. 31

<sup>4</sup> Vgl. Radtke u. a. (2004), S. 110 ff.

- Transparenz,
- Kommunikation, Abstimmung und Steuerung,
- Klare Leistungsdefinition und
- Hohe Flexibilität bei Änderungen.

Die Beziehung von Automobilherstellern und -zulieferer ist geprägt von einer wechselseitigen Abhängigkeit, so dass langfristig ein partnerschaftliches Verhalten über den in der Natur der Sache liegenden Interessenskonflikten Vorteile auf beiden Seiten bringt.

### 2.2.3.2 Projektorganisation

In der Praxis werden Projekte meist in Form einer Matrix-Organisation durchgeführt, bei der die Projektbeteiligten disziplinarisch der Linie unterstellt sind und zu definierten Anteilen ihrer Kapazität an den einzelnen Projekten arbeiten. Die Organisation in Projekten besteht in vielen Unternehmen aus den Rollen Steuerkreis, Projektleitung, Arbeitspaket-Leiter und Arbeitspaket-Mitarbeiter (Bild 2-12). Bei sehr großen Projekten wird darüber hinaus in manchen Unternehmen ein Lenkungsausschuss etabliert.

	<b>Aufgaben</b> (Was tun?)	<b>Kompetenzen</b> (Was dürfen?)	<b>Verantwortung</b> (Für welche Ergebnisse?)
<b>Lenkungsausschuss</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projektrahmen definieren</li> <li>• Projektziele festlegen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projektauftrag erteilen</li> <li>• Grundsatzentscheidungen treffen</li> <li>• Projektphasen freigeben</li> <li>• Ressourcen freigeben</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projekterfolg</li> <li>• Konformität mit strategischen Zielen</li> <li>• Ressourcenschonung</li> </ul>
<b>Steuerkreis</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projektrahmen definieren</li> <li>• Projektziele festlegen</li> <li>• Abstimmung mit anderen Projekten</li> <li>• Maßnahmen genehmigen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projektentscheidungen treffen</li> <li>• Projektziele in kleinem Rahmen anpassen</li> <li>• Ressourcen überwachen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verantwortung gegenüber den Gesellschaftern bezüglich Gesamtprojekt</li> </ul>
<b>Projektleitung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projekt, Ressourcen planen</li> <li>• Projektcontrolling durchführen</li> <li>• Foren moderieren, Personal führen</li> <li>• Bericht erstatten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operative Entscheidungen treffen</li> <li>• Ressourcen steuern</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verantwortung gegenüber Steuerkreis bezüglich Ablauf und Ressourcen</li> <li>• Erreichung der Projektziele</li> </ul>
<b>Arbeitspaket-Verantwortliche</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arbeitspakete (AP) planen</li> <li>• AP kontrollieren</li> <li>• Bericht erstatten</li> <li>• AP und Mitarbeiter fachlich führen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fachliche Entscheidungen treffen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erreichung der AP-Ziele</li> <li>• Abgestimmte Schnittstellen zu anderen APs</li> </ul>
<b>Arbeitspaket-Mitarbeiter</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aktivitäten ausführen</li> <li>• Probleme erkennen und analysieren</li> <li>• Lösungen selbstständig erarbeiten und ggf. umsetzen</li> <li>• Bericht erstatten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fachliche Entscheidungen treffen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erreichung der AP-Ziele</li> <li>• Abgestimmte Schnittstellen zu anderen APs</li> </ul>

**Bild 2-12: Rollen in einem Produktentwicklungsprojekt**

Kommunikation und Koordination sind in den Produktentwicklungsprojekten wichtige Aufgaben. Es müssen in wiederkehrender Weise sachliche Zielkonflikte identifiziert, Lösungsalternativen erarbeitet und Lösungen entschieden werden. Der Umgang mit Konflikten und das Informations- und Kommunikationsverhalten im Projekt sind von hoher Bedeutung.

Um die Projektleitung organisatorisch zu unterstützen, gibt es in manchen Unternehmen als Stabsfunktion bei der Projektleitung einen so genannten Projektmanagementunterstützer oder Projektsteuerer. Die Projektsteuerung bereitet Lösungsvorschläge und Entscheidungen vor. Sie plant, organisiert und koordiniert, schlägt Anpassungsmaßnahmen vor, sorgt für Aktenlage und Dokumentation, berät, berichtet, schätzt Risiken ab und schafft Sicherheit für die Projektleitung. Die Projektsteuerung überprüft ferner Kosten- und Terminpläne Dritter auf Plausibilität und Vollständigkeit und überwacht deren Einhaltung.

#### **2.2.4 Komplexe Serienprodukte**

Ein *Produkt* wird definiert als das Ergebnis von Tätigkeiten und Prozessen.<sup>1</sup> In dieser Arbeit soll diese Produktdefinition Hardware, verfahrenstechnische Produkte, Software oder Kombinationen daraus einschließen. Der Begriff *Serienprodukt* wird in dieser Arbeit für Produkte verwendet, die nach der Produktentwicklung in großen Stückzahlen hergestellt werden. Diese werden in der Literatur<sup>2</sup> bezüglich ihres Fertigungstyps auch als Massenfertigung oder Massenproduktion bezeichnet und sind charakterisiert durch eine häufige Prozesswiederholung und sehr hohen einmaligen, bezogen auf das Einzelprodukt aber geringen Aufwand an Entwicklungskosten und Investitionen. Bei einer Massenproduktion sind die Produkt- und Produktionsentwicklungsprozesse eng mit dem Vermarktungsprozess verknüpft, insbesondere bei der Markteinführung eines Produktes. In der Praxis hat die Einhaltung von Markteinführungsterminen bei Serienprodukten eine sehr hohe Bedeutung, da eine zeitliche Verschiebung große wirtschaftliche Nachteile zur Folge hat. Am Beispiel der Automobilindustrie setzt *McKinsey* die Verzögerung der Markteinführung eines Mittelklassewagens um 6 Monate mit einem entgangenen Deckungsbeitrag von 300 Mio. Euro an.<sup>3</sup>

Eine weitere Eingrenzung der Arbeit auf *komplexe* Serienprodukte wird vorgenommen, da diese Art von Produkten eine besondere Herausforderung an das Management von Produkt- und Produktionsentwicklung darstellen. Nach *Reither*<sup>4</sup> gibt es mindestens 30 Definitionsansätze für Komplexität, die jedoch nicht im starken Widerspruch zueinander stehen. Komplexi-

---

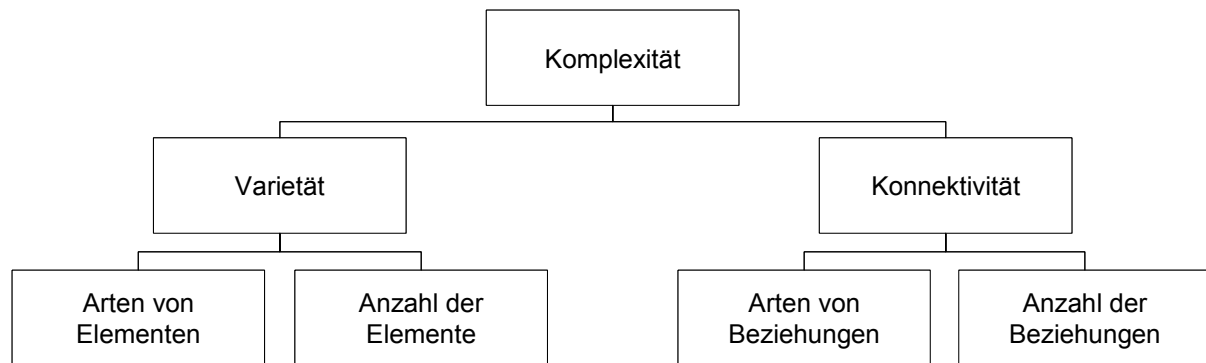
<sup>1</sup> Vgl. DIN EN ISO 8402 (1995), S. 7

<sup>2</sup> Vgl. Warnecke (1993), S. 4

<sup>3</sup> Vgl. Kapitel 1.1, Bild 1-1

<sup>4</sup> Vgl. Reither (1997), S. 10

tät beschreibt nach *Patzak*<sup>1</sup> die strukturellen Merkmale von Systemen wie Überschaubarkeit, Umfang, Handlichkeit, innere Vermaschung. Er definiert Komplexität durch Varietät und Konnektivität, wobei unter Varietät die Anzahl und Verschiedenartigkeit der Systemelemente und unter Konnektivität die Anzahl und Verschiedenartigkeit der Beziehungen zwischen den Systemelementen verstanden wird (Bild 2-13).



Quelle: Patzak (1982), S. 23

**Bild 2-13: Komplexität durch Varietät und Konnektivität**

*Lindemann*<sup>2</sup> beschreibt die Komplexität eines Systems zusätzlich anhand des Merkmals Dynamik (Art und Anzahl der möglichen Zustände) und fügt bei den Merkmalen Varietät und Konnektivität die Untermerkmale Ungleichmäßigkeit der Aufteilung der Elemente bzw. Beziehungen hinzu.

### 2.3 Methoden des Risikomanagements bei der Produktentwicklung

Die in dieser Arbeit betrachtete Entwicklung komplexer Serienprodukte ist gekennzeichnet durch eine hohe Anzahl beteiligter Personen, eine meist mehrjährige Projektlaufzeit sowie eine hohe Komplexität des Produktentwicklungsprozesses. Bei diesen Rahmenbedingungen treten in der Praxis erfahrungsgemäß hohe Risiken bezüglich Terminüberschreitung, gestiegenen Produkt- und Entwicklungskosten sowie Abweichungen von den geplanten Entwicklungszielen auf. Zum Umgang mit diesen technischen Risiken bei der Produktentwicklung werden in der Praxis verschiedene Ansätze und Methoden verwendet, die vorwiegend aus dem Projektmanagement und dem Qualitätsmanagement stammen. Am weitesten verbreitet und von besonderer Relevanz für komplexe Serienprodukte sind die in Bild 2-14 dargestellten Methoden.

<sup>1</sup> Vgl. Patzak (1982), S. 22

<sup>2</sup> Vgl. Lindemann (2005), S. 9

Projektmanagement	Qualitätsmanagement
Projektcontrolling	Reviews
Produktreifegrad	Quality Gates
	Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse (FMEA)
	Fehlerbaumanalyse (FTA)
	Ereignisablaufanalyse (ETA)

**Bild 2-14: Methoden aus Projektmanagement und Qualitätsmanagement**

Jede Methode ist mit einem Aufwand verbunden, der mit dem erzielten Nutzen in einem angemessenen Verhältnis stehen sollte. Aufwandsbestimmende Merkmale sind vorwiegend die Art und Weise von Risikobewertung und Risikokommunikation. Der Nutzen von Risikomanagementmethoden kann vor allem an den Parametern frühzeitige Risikosteuerung und bessere Entscheidungsergebnisse erkannt werden. Daraus abgeleitet erfolgt die Bewertung der vorliegenden Ansätze bezüglich ihrer Eignung für ein Risikomanagement der Produktentwicklung nach folgenden Kriterien:

- Flexibilität der Methode hinsichtlich Breite, Tiefe und Frequenz der Risikobewertung,
- Orientierung der Risikobewertungsobjekte am Produktentstehungsprozess,
- Einbeziehung von Experten in den Bewertungsprozess,
- Bereitstellung von geeigneten Informationen für die Risikobewertung sowie
- Hierarchieebenspezifische Risikokommunikation und Risikosteuerung.

### 2.3.1 Projektcontrolling

Projekte sind zielorientierte, zeitlich begrenzte Aktionsfolgen, die in der Regel einmalig, komplex und stets aperiodischer Art sind. Das Projektmanagement ist eine spezifische, prozessorientierte *Führungskonzeption*, die zur effizienten Planung, Organisation und Steuerung komplexer Projekte eingesetzt wird.<sup>1</sup> Hierbei hat die Eigenverantwortlichkeit der Beteiligten eine besondere Bedeutung.

---

<sup>1</sup> Vgl. Schönit (1988), S. 114

Der Managementprozess umfasst die Phasen Zielsetzung, Planen, Entscheiden, Realisieren und Kontrollieren.<sup>1</sup> Kontrolle wird bei dieser prozesshaften Sichtweise des Managements als Feedback-Kontrolle, als Phase eines kybernetischen Regelkreismodells gesehen.

Der Begriff Controlling leitet sich nach *Hahn/Hungenberg*<sup>2</sup> aus dem Verb „to control“ ab, welches im betriebswirtschaftlichen Kontext mit steuern und überwachen übersetzt werden kann. Controlling ist die koordinierende Funktion der Informations- und Planungsunterstützung. *Horváth*<sup>3</sup> hat ein sehr weit gehendes Verständnis von Controlling und definiert es als ein Subsystem der Führung, das Planung, Kontrolle und Informationsversorgung koordiniert, also ein umfassendes Konzept der Planung, Steuerung und Überwachung betrieblicher Abläufe. Zu den Elementen eines Projektcontrollings zählt er Controllingziele, Controllingaufgaben, Controllingkonzeption, Controllingsystem und Controllinginstitution.

Bei der Durchführung von Projekten spielen die Projektplanung, die Projektsteuerung und übergeordnet das Projektcontrolling eine bedeutende Rolle.

Planung ist definiert als eine Vorwegnahme von Handlungen unter Unsicherheit bei unvollkommener Information. Sie beruht auf Prognosen über den zukünftigen Eintritt von Ereignissen und dient der Zielausrichtung aller Aktivitäten einer Organisation.<sup>4</sup>

In Form konkreter Sollvorgaben liefert die Planung gleichzeitig die Basis für die Kontrolle. In der Praxis werden bei der Planung Balkendiagramme, Netzpläne und Aktivitätslisten verwendet. In Bild 2-15 ist der Zusammenhang von Projektplanung und -steuerung dargestellt.

---

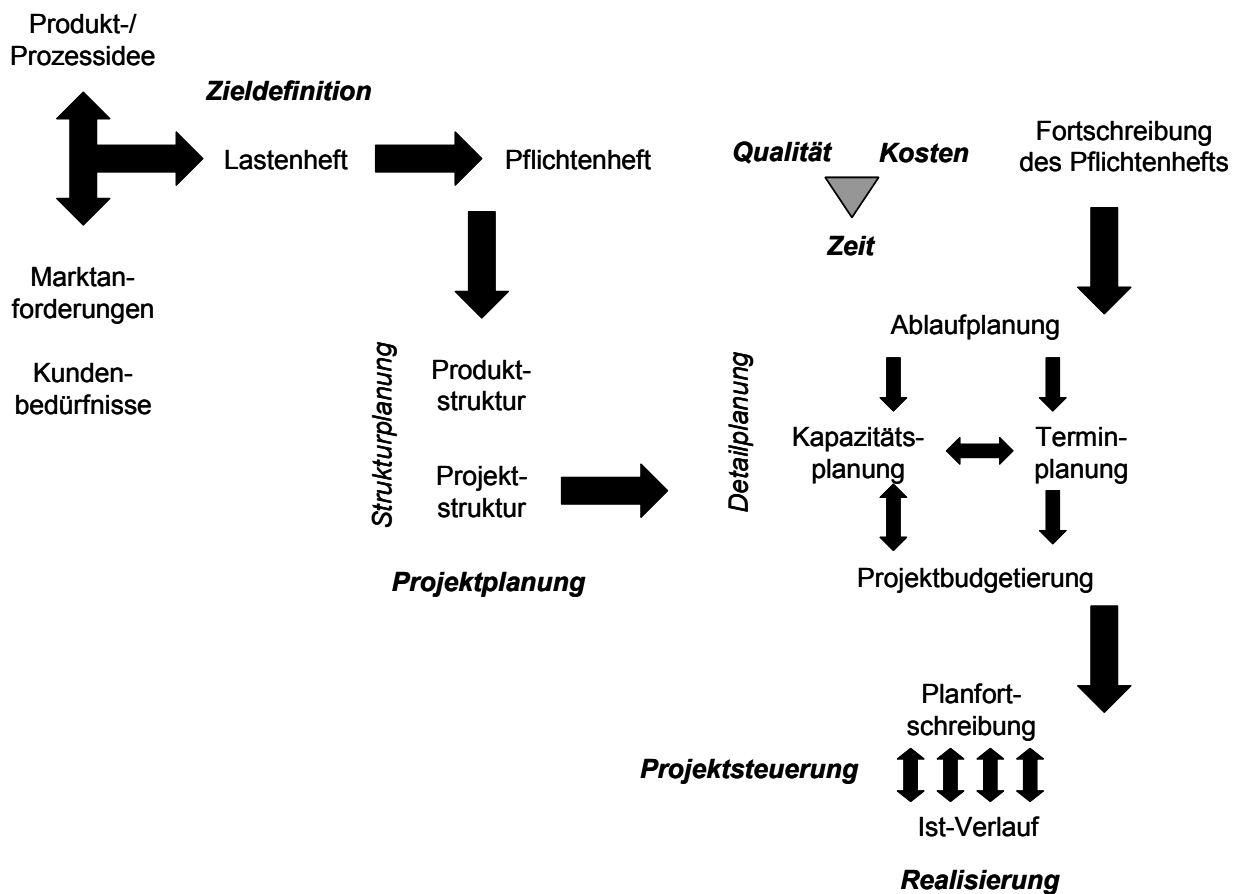
<sup>1</sup> Vgl. Staehle (1999), S. 538

<sup>2</sup> Vgl. Hahn/Hungenberg (2001), S. 265

<sup>3</sup> Vgl. Horváth (1996)

<sup>4</sup> Vgl. Wild (1981), S. 12 ff.





Quelle: In Anlehnung an Brockhoff (1994), S. 282

### Bild 2-15: Projektcontrolling als Projektplanung und -steuerung

Zentrale Aufgabe des Controllings ist die permanente Informationsversorgung über den Projektfortschritt, um den Grad der Zielerreichung im Projektverlauf zu ermitteln. Hierbei lassen sich die Methoden der Projektfortschrittsmessung in input-, ablauf- und ergebnisorientierte Verfahren unterscheiden.<sup>1</sup>

Input- und ablauforientierte Verfahren der Projektfortschrittsmessung (z. B. Meilenstein-Trendanalyse, Faktorverbrauch) basieren auf Betrachtungen des IST-Standes im Vergleich zum SOLL-Stand, der in Ablauf- und Kapazitätsplänen beschrieben ist. Ergebnisorientierte Verfahren der Projektfortschrittsmessung beziehen sich auf den Vergleich von IST zu SOLL bezüglich Merkmalen oder Teilen (z. B. fertig gestellte Arbeitspakete, freigegebene Zeichnungen).

<sup>1</sup> Vgl. Wangenheim (1998), S. 92

Nach *DIN 69905* hat ein Projektcontrolling das Erreichen der Projektziele durch folgende Aufgaben sicherzustellen: Soll-/Ist-Vergleich, Feststellung der Abweichungen, Bewertung der Konsequenzen und Vorschlägen von Korrekturmaßnahmen, Mitwirkung bei der Maßnahmenplanung und ihrer Durchführung. Während des Projektes sind verlässliche Informationen über den Erfüllungsgrad der zeitlichen, wirtschaftlichen und funktionalen Anforderungen von Bedeutung. Diese Informationen müssen nicht nur einen Überblick über den aktuellen Status eines Projektes erlauben, sondern auch Schlüsse auf zu erwartende Entwicklungen und mögliche Risiken zulassen.

Das Projektcontrolling findet in der Praxis in Form von Statusbesprechungen, Review-Meetings etc. statt, die jedoch in der Regel ineffizient sind. Die Besprechungen dauern aufgrund unzureichender Planung zu lange, und die Teilnehmer sind nicht auf die notwendigen beschränkt. Zu einer effizienten Besprechungsplanung fehlt der erforderliche Detaillierungsgrad von Risikoinformationen, um eine hinreichende Priorisierung der zu besprechenden Punkte vorzunehmen sowie Entscheidungsbedarf, notwendige Teilnehmer und Diskussionszeit aufeinander abzustimmen.

Zwar ist grundsätzlich die Flexibilität des Projektcontrollings vorhanden, die Breite, Tiefe und Frequenz der Risikobetrachtung wird jedoch nicht systematisch geplant. Außerdem verwendet das Projektcontrolling über die Projektpläne hinaus keine explizit benannten Risikobewertungsobjekte, die eine Verbindung zum inhaltlichen Projektfortschritt, zum Ergebnis oder zur Ablaufplanung aufweisen.

Ein weiterer Schwachpunkt im Projektcontrolling besteht darin, dass die verantwortlichen Projektbeteiligten nicht systematisch in die Risikobewertung einbezogen sind und damit ihr Wissen ungenügend berücksichtigt wird.

### **2.3.2 Produktreifegrad**

Jüngere Ansätze zur ergebnisorientierten Projektfortschrittsmessung sind die *Serienreifegradmessung*, der *Projektreifegrad* und der *Produktreifegrad* in der Automobilindustrie, die in der Literatur bei *Wangenheim*<sup>1</sup>, *Fischer*<sup>2</sup>, *Staiger*<sup>3</sup> und *Heiler/Wißler*<sup>4</sup> näher beschrieben sind. Beim Produktreifegrad werden im Entwicklungsprojekt Indikatoren festgelegt, die regelmäßig bezüglich ihrer Risiken bewertet werden.

---

<sup>1</sup> Vgl. Wangenheim (1998), S. 115-139

<sup>2</sup> Vgl. Fischer/Henne (1998), S. 172-181; Fischer/Weber (1998)

<sup>3</sup> Vgl. Staiger (1997), S. 56-61 und S. 335-340

<sup>4</sup> Vgl. Heiler/Wißler (1999), S. 26-29

*Wangenheim* beschreibt dieses Verfahren zur Planung und Steuerung des Serienanlaufs eines gesamten Automobils an der Schnittstelle von Entwicklung und Produktion. In der Arbeit von *Wangenheim* ist jedoch kein systematisches Verfahren angegeben, wie die einzelnen Teams zu den Indikatoren kommen und wie diese konkretisiert werden. Das legt die Vermutung nahe, dass in der Praxis eine hohe Beliebigkeit bei der Bewertung auftritt. Aufgrund der betriebswirtschaftlichen Ausrichtung seiner Arbeit geht *Wangenheim* wenig auf die technischen Zusammenhänge ein.

*Fischer* sieht in Reifegrad-Bewertungen bei Entwicklungsprojekten den Zweck, Entscheidungsträger über den augenblicklichen Stand (Time Now) des Projektes und über die voraussichtliche Zielerreichung (Prognose zum Projektende) zu informieren. Hierzu empfiehlt er die Einführung eines Indikatorensystems. Er gibt zwar einige Beispiele für Indikatoren an und klassifiziert diese, einen systematischen Ansatz zur Herleitung der Indikatoren zeigt er jedoch nicht auf. Um den Reifegrad des Projektes zu berichten, werden die Indikatoren jeweils in Prozent ausgedrückt, normiert und hinsichtlich ihrer relativen Bedeutung gewichtet.

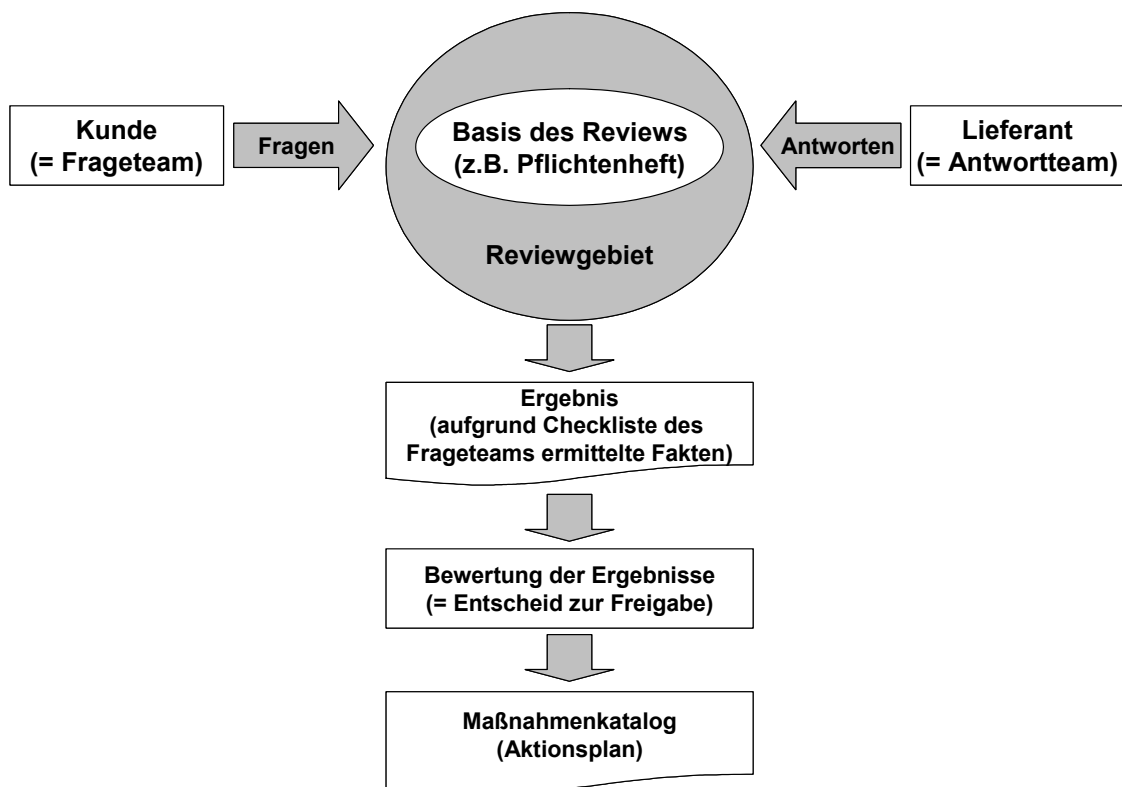
Einen ähnlichen Ansatz beschreiben *Staiger* mit dem Projektreifegrad und *Heiler/Wißler* mit der *Produktreifegradmethode (PRG)* für ein umfassendes Projektcontrolling. Hier werden die Indikatoren in mehrere Ebenen strukturiert und abhängig vom Gefährdungspotenzial im Projekt detailliert. Indikatorenverantwortliche führen eine regelmäßige Bewertung der Indikatoren mittels Ampelfarben durch, beschreiben die Risiken in verbaler Form und leiten in ihrem Handlungsspielraum stehende Maßnahmen ab.

Die Ansätze von *Wangenheim*, *Fischer*, *Staiger* und *Heiler/Wißler* bieten Vorteile bei der Projektfortschrittsmessung. Auch ermöglichen sie in hohem Maße Flexibilität bei der Risikobewertung und beziehen Experten in den Prozess ein. Ihre Ausgestaltung für die frühen Phasen der Produktentwicklung weist jedoch eine mangelnde Systematik und ungenügende Detaillierung bezüglich der Risikobewertung und -kommunikation auf. Eine ausführliche, handlungsorientierte Beschreibung, die für eine erfolgreiche Anwendung dieses Ansatzes in der Praxis notwendig ist, erfolgt nicht. Auch Kopplungen zu den Informationsflüssen und Rollen im Rahmen der Projekt- und Linienorganisation, die ein umfassender Ansatz berücksichtigen muss, werden nicht aufgezeigt.

### 2.3.3 Reviews

In der Literatur<sup>1</sup> werden für die Produktentwicklung unterschiedliche Arten von Reviews beschrieben, die wiederum je nach Umfang, Aufgabenstellung, Produkt und Einsatzschwerpunkt verschiedene Ausprägungen haben. Reviews haben den Zweck, während der Entwicklung eines neuen Produktes Verbesserungsmöglichkeiten und Fehlerquellen frühzeitig erkennbar zu machen. Sie sind rückwärts gerichtet und betrachten, was geleistet wurde. Reviews finden meistens am Ende einer Entwicklungsphase statt und unterstützen die Freigabeentscheidung für die nächste Projektphase.

Wichtige Elemente der Review-Technik sind Fragen und Antworten zum Reviewgebiet, das ermittelte Ergebnis, dessen Bewertung sowie ein Maßnahmenkatalog (Bild 2-16).



Quelle: In Anlehnung an Seghezzi (1994), S. 396

**Bild 2-16: Elemente der Review-Technik**

Im Zusammenhang mit dieser Arbeit soll die Methodik der Entwurfsüberprüfung (Design-Review) näher betrachtet werden. Ein Design-Review ist definiert als formale Überprüfung

<sup>1</sup> Vgl. Seghezzi (1994), S. 395 f.; VDA 4 Entwicklungsabläufe (2003), S. 5 f.

eines Entwurfes/Entwicklungsergebnisses zur Feststellung von Problembereichen und Unzulänglichkeiten, die Auswirkungen auf den Einsatzzweck und die Einsatzbedingungen eines Produktes haben. Darüber hinaus beinhaltet es die Identifizierung und Einleitung von Korrekturmaßnahmen um sicherzustellen, dass die an das Produkt gestellten Forderungen erfüllt werden. Innerhalb des Design Reviews sollten die Erfahrungen aller Beteiligten genutzt werden, um Fehler und Unzulänglichkeiten zu finden. Die Kommunikation über Bereichs- und Abteilungsschnittstellen hinweg sollte verbessert und eine nachvollziehbare Dokumentation der Ergebnisse gewährleistet werden.<sup>1</sup>

Durch den Einsatz von Reviews ergeben sich weniger Probleme bei der Herstellung und im Markt, reduzierte Werkzeug- und Herstellungskosten, weniger Produktänderungen bei der Vorbereitung der Produktion, während der Einführung und nach Beginn des Verkaufs, und es werden unnötige Verzögerungen an den Schnittstellen verhindert.<sup>2</sup>

Die Risikobewertung innerhalb von Reviews orientiert sich jedoch nicht am Produktentstehungsprozess. Aufgrund des hohen Aufwands und teilweise ungenügenden Detaillierungsgrades bei einzelnen Fragestellungen sind Reviews für die regelmäßige Risikobewertung und -kommunikation nicht ausreichend. Zudem erfolgt die Risikokommunikation und -steuerung nicht hierarchieebenspezifisch, und Experten werden nur unsystematisch einbezogen.

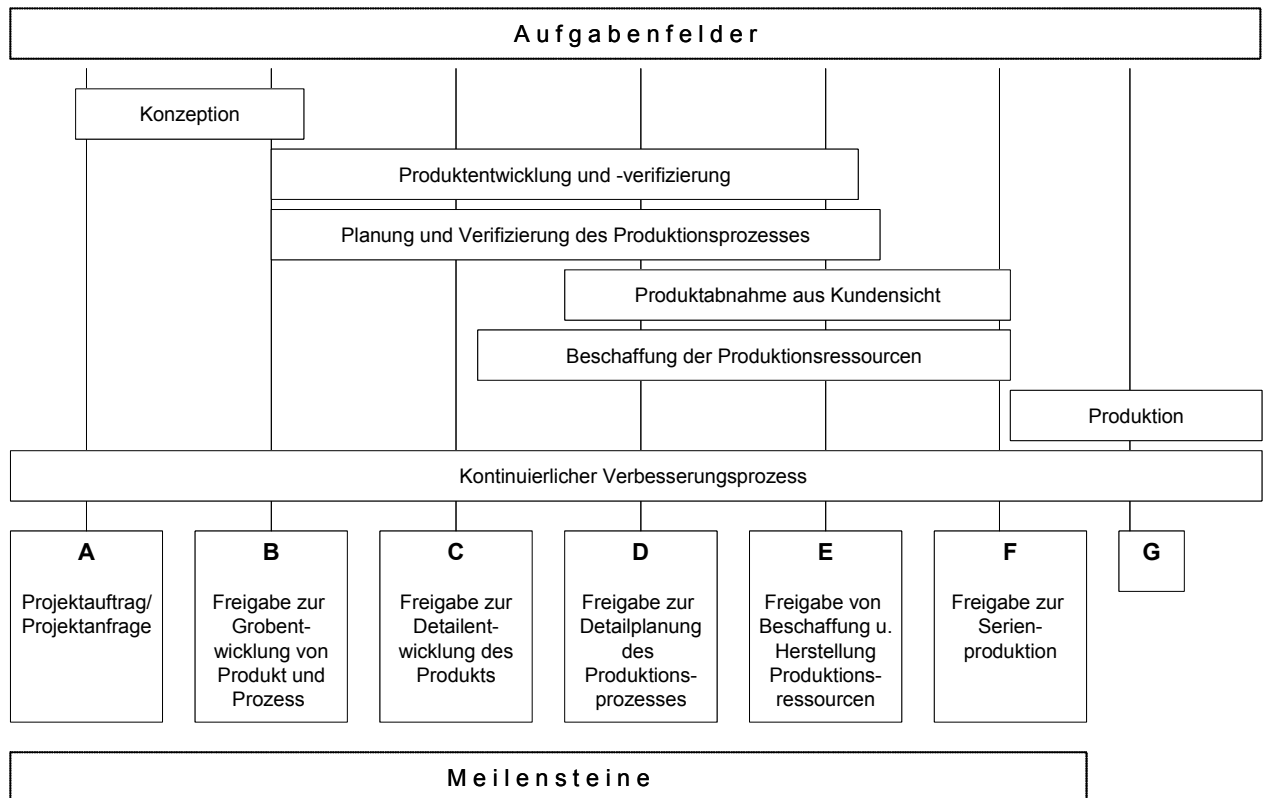
#### **2.3.4 Quality Gates**

Die Entwicklung komplexer Produkte, die in Großserien in verschiedenen Varianten hergestellt werden, dauert in vielen Branchen oft mehrere Jahre bis zur Markteinführung. Da die Überschaubarkeit und Planbarkeit dieses langen Zeitraums unzureichend ist, werden in vielen Unternehmen Entwicklungsphasen festgelegt, denen die Entwicklungsaktivitäten zugeordnet werden können. Unternehmensübergreifend bieten Branchenverbände Prozessmodelle als Hilfsmittel an. Stellvertretend ist in Bild 2-17 der Entwicklungsprozess vom Verband der Automobilindustrie (VDA) dargestellt. Aus ihm gehen die zeitliche Parallelität von Produkt- und Produktionsentwicklung hervor. Am Ende der einzelnen Phasen sind Meilensteine, an denen formale Freigaben erteilt werden.

---

<sup>1</sup> Vgl. Pfeifer (1993), S. 50 ff.

<sup>2</sup> Vgl. Seghezzi (1994), S. 395



Quelle: VDA 4 Teil 3 (1998), S. 14

### Bild 2-17: Entwicklungsprozess nach VDA

Für eine wirksame Projektsteuerung müssen Soll-Ist-Vergleiche durchgeführt werden. Alle Entwicklungsprozesse im Unternehmen sollten dabei so gestaltet werden, dass sie effektiv im Sinne der Erfüllung von Unternehmenszielen und effizient im Sinne des Ressourceneinsatzes und des Zeitverbrauchs sind. Dazu müssen ein geeignetes Instrumentarium auf der Grundlage eines Prozessmodells aufgestellt sowie die entscheidungsrelevanten Informationen bedarfsgerecht aufbereitet werden. Nach Wildemann<sup>1</sup> kann hierfür die Methode der *Quality Gates* als wirksame Methode der Prozessfortschrittsmessung und -bewertung angewendet werden. Unter einem *Quality Gate* wird ein ergebnisorientierter Zeitpunkt verstanden, der durch produkt- bzw. prozessspezifische Inhalte und Leistungen definiert wird.

In der Literatur existiert eine Vielzahl von Bezeichnungen für Kontroll- und Entscheidungspunkte bei Prozessen bzw. Projekten, die vorwiegend dem Projektmanagement entstammen: Meilenstein, Checkpoint, Projektüberprüfung, Freigabe, Review oder auch *Quality Gate* bzw. Qualitätstor.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Vgl. Wildemann (2003), S. 20

<sup>2</sup> Vgl. Scharer (2002), S. 35

Ein Quality Gate umfasst sowohl Reviews als auch Vorausschau und kann in Abgrenzung zum Meilenstein erst passiert werden, wenn Ergebnisse und weiteres Vorgehen freigegeben sind. Bei Überschreiten einer festgelegten Akzeptanzschwelle der Ist-Werte im Prozessablauf wird durch die Beurteilungsschranke das Risiko transparent.<sup>1</sup>

Die Methode der *Quality Gates* wird vor allem in der Automobilbranche eingesetzt. *Quality Gates* sind dort Beurteilungspunkte, an denen Leistungen, die zuvor zwischen Kunden und Lieferanten verbindlich vereinbart worden sind, bezüglich ihrer Einhaltung und Vollständigkeit bewertet werden.<sup>2</sup> Der Schwerpunkt liegt im Allgemeinen auf dem Messen der Zielerreichung von Forderungen anhand klar definierter Messkriterien. Dieses Ergebnis bildet die Basis für eine im Anschluss zu treffende Projektfortsetzungs-, Projektkorrektur- oder Abbruchentscheidung.<sup>3</sup>

Die Vorteile von *Quality Gates* liegen sowohl für Kunden als auch für Lieferanten darin, dass der Kunde seine eigenen Prozesse vor Fehlleistungen des Lieferantenprozesses schützen kann, während der Lieferant seine Prozesse auf die Anforderungen des Kundenprozesses abstimmen kann. Für eine effiziente Funktionsweise dieses Steuerungsinstruments bedarf es der interdisziplinären Zusammenarbeit der zur Erfüllung der Phaseninhalte notwendigen Bereiche und eines funktionierenden Kommunikationsflusses, insbesondere bei nicht vollständiger Erfüllung der Anforderungen. Zur unternehmensweiten Etablierung ist ein kombiniertes Vorgehen von oben nach unten und von unten nach oben erforderlich. Außerdem ist es eine wesentliche Voraussetzung, dass die Mitarbeiter qualifiziert, motiviert und mit den entsprechenden Kompetenz- und Entscheidungsspielräumen ausgestattet sind.<sup>4</sup> Hieraus ergeben sich auch die Grenzen der Methode.

*Scharer* beschreibt einen Quality Gate-Ansatz mit integriertem Risikomanagement. Er entwickelte eine Methodik zur zielorientierten Planung und Durchführung von Produktentstehungsprozessen. Gekennzeichnet ist die Methodik durch die Orientierung am Produktentstehungsprozess, die Messung der Zielerreichung von Prozessen, die Strukturierung von Gate-Kriterien und ein kontinuierliches Risikomanagement. *Scharer* weist bei seiner Methodik auf den Vorteil hin, dass am Quality Gate in der Vorausschau bereits kritische Aktivitäten der Folgephase betrachtet werden.<sup>5</sup>

---

<sup>1</sup> Vgl. Wildemann (2003), S. 20

<sup>2</sup> Vgl. Fauth u. a. (1999), S. 756

<sup>3</sup> Vgl. Spath u. a. (2001), S. 1544

<sup>4</sup> Vgl. Wildemann (2003), S. 21-24

<sup>5</sup> Vgl. Scharer (2002), S. 105 f.

Als Schwachpunkt von Quality Gates kann die mangelnde Berücksichtigung des Erkenntnisfortschritts gesehen werden. Eine Risikobewertung, die nur zu Zeitpunkten von Quality Gates stattfindet, kann bei mehrjährigen Entwicklungsprojekten komplexer Serienprodukte der Dynamik nur ungenügend Rechnung tragen. Ergänzend sollte ein schneller und aufwandsarmer Bewertungsprozess aufgezeigt werden, um eine bessere Akzeptanz des Risikomanagements zu erreichen. Experten werden zwar zum Teil in den Bewertungsprozess einbezogen, die Risikokommunikation und -steuerung erfolgt jedoch nicht hierarchieebenspezifisch.

### **2.3.5 Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse (FMEA)**

Die Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse (FMEA) ist eine entwicklungs- und planungsbegleitend eingesetzte Methode zur Analyse und Vermeidung potenzieller Risiken, die auf den Ebenen System, Konstruktion und Prozess angewendet wird.<sup>1</sup> Während der Planungsphase sollen mit der FMEA potenzielle Fehler bei der Entwicklung eines Produktes erkannt und durch geeignete Maßnahmen vermieden werden. Ferner ist es mit Hilfe der FMEA möglich, vorliegendes Erfahrungswissen über Fehlerzusammenhänge und Qualitätseinflüsse systematisch zu sammeln und zur Verfügung zu stellen.<sup>2</sup>

Methodische Grundsätze der FMEA sind die präventive Anwendung, interdisziplinäre Teamarbeit, systematische Vorgehensweise und Ergebnisdokumentation.<sup>3</sup> Die FMEA hat in erster Linie präventiven Charakter und soll dazu beitragen, Fehler in den frühen Produktlebenslaufphasen zu vermeiden. Die Durchführung erfolgt in interdisziplinären Teams, in die die am Produkt beteiligten Bereiche eingebunden sind. Die FMEA dient aber auch der systematischen Analyse vorhandener Fehlerbilder und ermöglicht so eine Produkt- bzw. Prozessverbesserung, nachdem die Planungsphasen bereits abgeschlossen sind. Die systematische Vorgehensweise wird zwecks Dokumentation der Ergebnisse durch Formblätter unterstützt (Bild 2-18).

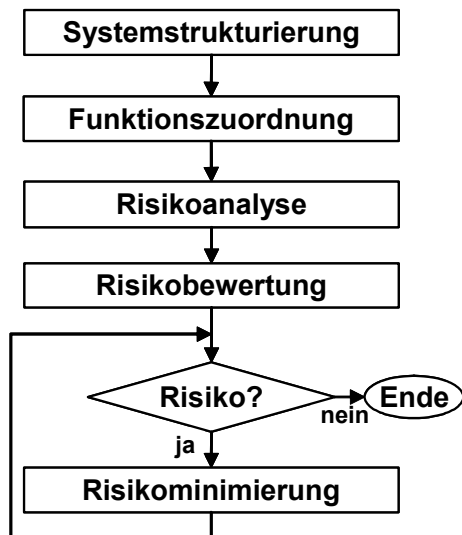
---

<sup>1</sup> Vgl. Kersten (1999), S. 360

<sup>2</sup> Vgl. Pfeifer (1993), S. 59

<sup>3</sup> Vgl. Schloske (1999), S. 29-31





		FMEA				System		Nummer:	1.2
								Seite:	1/5
Typ/Modell/Fertigung/Charge: Servolenkung		Sach-Nummer: Maßnahmenstand:		Verantwortlich: Firma:		Erstellt:		06.07.01	
FMEA/Systemelement: Hydraulischer Unterbau		Sach-Nummer: Maßnahmenstand:		Verantwortlich: Firma:		Erstellt:		06.07.01	
Mögliche Fehlerfolgen		B	Mögliche Fehler	Mögliche Fehlerursachen	Vermeidungsmaßnahmen	A	Entdeckungsmaßnahmen	E	RPZ V/T
Systemelement: <b>Hydraulischer Unterbau</b>									
Funktion: <b>Definierte axiale Kolbenbewegung gewährleisten</b>									
[Servolenkung] Spurstange nicht nach Vorgabe eingestellt		Translative Bewegung wird nicht umgesetzt	[Antriebsritzel] bricht	Maßnahmenstand - Anfang 30.05.01 Auslegung auf Basis bekannter ZHLs.					
				2		10			Schloske, 210 01.04.02 abgeschlossen
				Maßnahmenstand 30.05.01					
				1	Mißbrauchstest (Bordsteinabdruckversuch) Kühne, 213 01.07.02 unbearbeitet	2			Kühne, 213 Schloske, 210 01.10.01 - 01.07.02 unbearbeitet
					Dauereprobung nach Lastenheft Kühne, 213 01.07.02 unbearbeitet				
			[Antriebsritzel] Zahnbruch	Maßnahmenstand - Anfang 30.05.01 Auslegung auf Basis bekannter ZHLs.					
				2		10			Kühne, 213 01.04.02 abgeschlossen

Quelle: Schloske (1999), S. 30 f.

### Bild 2-18: Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse (FMEA)

Man unterscheidet Konstruktions-, Prozess- und System-FMEA, denen eine gleichartige Vorgehensweise gemeinsam ist. Unterschiede liegen vor allem in der Planungsphase und der mit der Durchführung verbundenen Zielsetzung.<sup>1</sup> Die Konstruktions-FMEA wird innerhalb der Entwicklungsphase angewendet und ist auf ein Produkt ausgerichtet. Sie wird bei neuen oder geänderten Teilen bzw. Werkstoffen, bei geänderten oder zusätzlichen Forderungen, bei besonderen Funktions- oder Sicherheitsrisiken oder bei Problemteilen eingesetzt. Die Prozess-FMEA wird im Rahmen der Produktionsplanungsphase durchgeführt. Dabei werden die Eignung und Sicherheit des Herstell- und Montageverfahrens, die Qualitätsfähigkeit sowie die Prozessstabilität untersucht. Mit der System-FMEA, die in der Automobilindustrie Mitte der neunziger Jahre mit der VDA 4.2<sup>2</sup> eingeführt wurde, wird das funktionsgerechte Zusammenwirken der einzelnen Komponenten eines komplexen Systems untersucht. Zusammenhänge von Fehlfunktionen, Fehlerursachen und Fehlerfolgen der einzelnen Systemelemente werden auf höherer Abstraktionsebene analysiert. Sie kann ferner für einen Systemvergleich sowie zur Entscheidungsunterstützung bei der Systemauswahl herangezogen werden.

Die FMEA liefert primär qualitative Aussagen. Obwohl meist Experten in den Bewertungsprozess einbezogen sind, werden die Aussagen stark von der Zusammensetzung des Teams und den Erfahrungen der Teammitglieder beeinflusst. Die entwicklungsbegleitend

<sup>1</sup> Vgl. Pfeifer (1993), S. 61 f.

<sup>2</sup> Vgl. VDA 4 Teil 2 (1996)

durchzuführende FMEA muss permanent angepasst werden und darf nicht als statisches Dokument verstanden werden.<sup>1</sup> Die Anwendung der FMEA ist mit einem hohen personellen sowie zeitlichen Aufwand verbunden<sup>2</sup>, da u. a. verschiedene Betriebszustände getrennt behandelt und analysiert werden. Falls das Zusammenspiel von Fehler und Fehlerursache sehr umfangreich ist, kann eine Fehlerbaumanalyse (FTA) zur Strukturierung durchgeführt werden. Die Eignung der FMEA für das Risikomanagement wird gemeinsam mit FTA und ETA bewertet.

### **2.3.6 Fehlerbaumanalyse (FTA)**

Ziel der Fehlerbaumanalyse, im Englischen *Fault Tree Analysis* (FTA) genannt, ist es, eine abgesicherte Aussage über das Verhalten eines Systems bezogen auf das Auftreten eines zu definierenden Fehlers zu machen, wobei insbesondere eine Abschätzung der Ausfallwahrscheinlichkeit angestrebt wird.<sup>3</sup> Innerhalb der Fehlerbaumanalyse werden logische Verknüpfungen von Komponenten- und Teilsystemausfällen, die zu einem unerwünschten Ereignis führen, ermittelt und dargestellt. Dabei geht es insbesondere auch darum, neben den Ausfallursachen deren funktionale Zusammenhänge aufzudecken.<sup>4</sup>

Als Voraussetzung für eine effektive Fehlerbaumanalyse sollte ein detailliertes Verständnis des zu untersuchenden Systems bzw. Problems vorhanden sein. Zu Beginn der Fehlerbaumanalyse wird das zu untersuchende Ereignis festgelegt wie z. B. die Negation einer Funktion oder die Nichterfüllung eines geforderten Qualitätsmerkmals. Im Anschluss werden diesem „TOP-Ereignis“ mögliche Ursachen zugeordnet. Für jede direkt zugeordnete Ursache muss überprüft werden, ob sie sich mit anderen zugeordneten direkten Ursachen in einer UND- oder einer ODER-Verknüpfung befindet (Bild 2-19). Danach sind die Wahrscheinlichkeiten zu quantifizieren, mit denen die direkten Ursachen eintreten. Im nächsten Schritt gelten die direkten Ursachen als TOP-Ereignis, und ihnen werden ihre direkten Ursachen zugeordnet. So lässt sich die gesamte Fehler-Ursachen-Kette bis hin zur originären Ursache darstellen, die letztendlich zum zuerst genannten TOP-Ereignis geführt hat. Anhand der Bewertung der Auftrittswahrscheinlichkeiten der einzelnen Ergebnisse lässt sich ein kritischer Pfad erkennen, der am häufigsten zum TOP-Ereignis führt. Hier gilt es, entsprechende Abhilfemaßnahmen einzuleiten.<sup>5</sup>

---

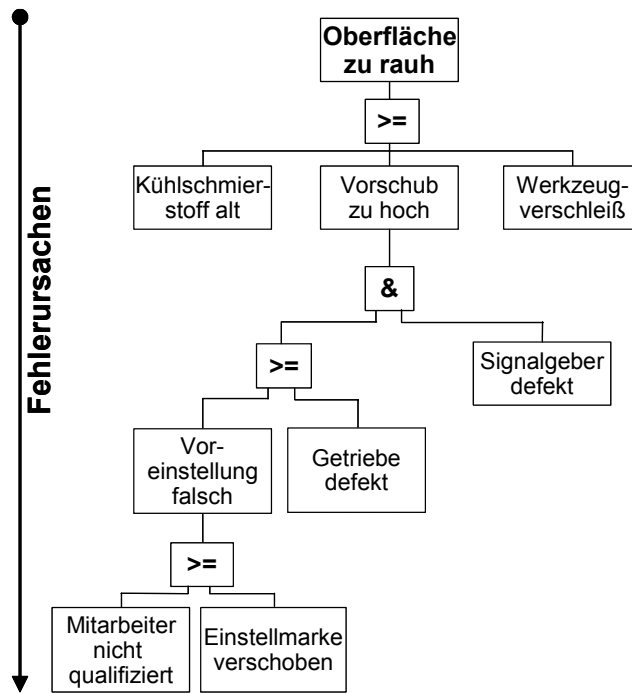
<sup>1</sup> Vgl. Bertsche/Lechner (2004), S. 119

<sup>2</sup> Vgl. Lindemann (2005), S. 235

<sup>3</sup> Vgl. Pfeifer (1993), S. 76

<sup>4</sup> Vgl. VDA 4 Fehlerbaumanalyse (2003), S. 6

<sup>5</sup> Vgl. Schloske (2001), S. 126



Quelle: In Anlehnung an Schloske (2001), S. 143

**Bild 2-19: Fehlerbaumanalyse (FTA)**

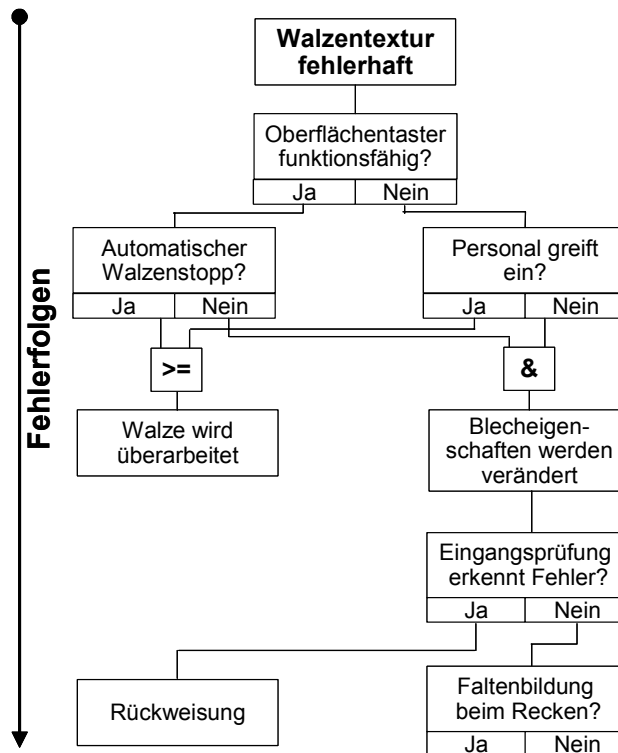
Der wesentliche Vorteil der Fehlerbaumanalyse liegt in der Möglichkeit, Ursachenkombinationen sowie Ausfallwahrscheinlichkeiten zu erkennen und übersichtlich darzustellen. Kritisch ist anzumerken, dass der Aufwand zur vollständigen Durchführung der Analyse erheblich ist und sie deshalb nur bei ausgewählten Problembereichen angewendet werden sollte. Außerdem können Wechselwirkungen der einzelnen Ursachen in Bezug auf das Ereignis nicht dargestellt werden. Dafür kann jedoch eine statistische Versuchsplanung eingesetzt werden.

### 2.3.7 Ereignisablaufanalyse (ETA)

Ziel der Ereignisablaufanalyse, im Englischen *Event Tree Analysis* genannt, ist die systematische Identifizierung und Bewertung aller möglichen Ereignisabläufe, die von einem gegebenen Anfangsereignis ausgehen.

Ausgehend vom Anfangsereignis werden alle Folgeereignisse bis zu den möglichen Endergebnissen ermittelt. Dabei werden jedem Folgeereignis ein JA- und ein NEIN-Ausgang zugeordnet, sofern es sich nicht um das Endereignis handelt. Für beide Ausgänge werden alle potenziell möglichen Folgeereignisse aufgeführt, den jeweiligen Folgeereignissen können Auftretswahrscheinlichkeiten zugeordnet werden.<sup>1</sup> Der Ereignisablauf wird mit Hilfe grafischer Symbole in einem Ablaufdiagramm dargestellt (Bild 2-20).

<sup>1</sup> Vgl. Schloske (2001), S. 126



Quelle: In Anlehnung an Schloske (2001), S. 143

### Bild 2-20: Ereignisablaufanalyse (ETA)

Die Ereignisablaufanalyse ermöglicht es, alle Folgeereignisse zu erkennen, zu denen ein unerwünschtes Ausgangsereignis führen kann. Dies ist insbesondere dann wichtig, wenn zu analysieren ist, ob ein aufgetretener Fehler die Sicherheit eines Menschen beeinträchtigen kann. Es wird ferner möglich zu überprüfen, inwieweit ein technisches System vorgegebene Fehlerraten einhalten kann.

Auch die Ereignisablaufanalyse ist, wie die vorher genannten Methoden FMEA und FTA, sehr zeitaufwendig. Zudem werden sie oft zu spät und nur einmalig angewendet. Bei den notwendigen Iterationszyklen in der Produktentwicklung ist der Anpassungsaufwand zur Reflexion und Aktualisierung der FMEA-, FTA- und ETA-Ergebnisse sehr hoch, so dass der zeitlichen Dynamik eines Entwicklungsprojektes nur ungenügend Rechnung getragen wird. Die genannten Methoden sind dabei vorwiegend produktorientiert und helfen bei der Strukturierung, Analyse, Bewertung, Problemlösung und Kommunikation nur hinsichtlich eines *Einzelfokus*, nicht jedoch umfassend für das gesamte Projekt. Darüber hinaus sind die Informationen nur mangelhaft vernetzt, werden nicht hierarchieebenspezifisch kommuniziert bzw. gesteuert, und es bestehen Unsicherheiten bezüglich der Bewertungsergebnisse aufgrund der hohen Subjektivität bei dem Prozess ihrer Erzeugung.

## 2.4 Handlungsbedarf

Zum Risikomanagement bei der Produktentwicklung werden in Wissenschaft und Praxis verschiedene Ansätze und Methoden aus den Gebieten Projektmanagement und Qualitätsmanagement angeboten. Zu nennen sind hier als wesentliche Ansätze auf der einen Seite das Projektcontrolling mit Meilenstein- und Kostentrendanalysen sowie der Produktreifegrad. Auf der anderen Seite werden Reviews, Quality Gates, Fehlermöglichkeits- und -einflussanalysen, Fehlerbaumanalysen und Ereignisablaufanalysen eingesetzt.

Die Bewertung dieser Methoden bezüglich ihrer Eignung für ein Risikomanagement bei der Produktentwicklung anhand der in Kapitel 2.3 beschriebenen wesentlichen Kriterien zeigt, dass diese nicht vollständig erfüllt werden. Bild 2-21 bietet eine Übersicht über den Erfüllungsgrad der einzelnen Kriterien bei jeder Methode.

<div style="text-align: right;"><b>Bewertungs- kriterien</b></div> <div style="text-align: left;"><b>Methoden des Risikomanagements</b></div>	Flexibilität bzgl. Breite, Tiefe, Frequenz der Risikobewertung	Orientierung der Risikobewertungsobjekte am Produktenstehungsprozess	Einbeziehung von Experten in den Bewertungsprozess	Bereitstellung von geeigneten Informationen für die Risikobewertung	Hierarchieebenspezifische Risikokommunikation und -steuerung
Projektcontrolling					
Produktreifegrad					
Reviews					
Quality Gates					
Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse (FMEA)					
Fehlerbaumanalyse (FTA)					
Ereignisablaufanalyse (ETA)					

= nicht erfüllt   
 = teilweise erfüllt   
 = voll erfüllt

**Bild 2-21: Bewertung der Methoden des Risikomanagements**

Die Methode *Produktreifegrad* erfüllt die Bewertungskriterien besser als die anderen betrachteten Methoden, jedoch besteht auch hier noch Verbesserungsbedarf. Die Aufgabe ist nun, die guten Ansätze der Produktreifegradmethode weiter auszubauen sowie weitere Aspekte hinzuzufügen. Bei der projektweiten Steuerung der technischen Risiken während des gesamten Entwicklungsprozesses liegt die Herausforderung darin, das Verfahren so zu gestalten, dass der Aufwand der Risikobewertung mit der Qualität und Aktualität der Risikoinformationen in einem angemessenen Verhältnis steht. Für das Verfahren, das in das *zu bewertende Objekt*, die *beteiligten Experten*, den *Risikobewertungsprozess* sowie die *Risikokommunikation und -steuerung* gegliedert werden kann, wird im Folgenden der Handlungsbedarf beschrieben.

Das *zu bewertende Objekt* ist der Betrachtungsgegenstand jeder Risikobewertung. Da die Betrachtungsbreite und -tiefe sowie die Frequenz der sich wiederholenden Bewertungen in hohem Maße aufwandsbestimmend sind, bietet die in der Produktreifegradmethode angewandte flexible Definition von Indikatoren und Kriterien einen brauchbaren Ansatz. Allerdings bleibt unklar, welche genauen Eigenschaften Indikatoren und Kriterien aufweisen sollten und wie sie zusammenhängen. Weiterhin wird keine Hilfestellung angeboten, woher und wie diese Indikatoren und Kriterien abgeleitet werden können.

Die *beteiligten Experten* führen die Risikobewertung durch. Dabei wirkt es sich sowohl auf den Aufwand als auch auf die Qualität der Risikoinformationen aus, wer beteiligt wird und in welcher Art diese Beteiligung erfolgt. Um den Erkenntnisfortschritt im Entwicklungsprozess zeitnah zu nutzen, sollten zum einen alle Personen, auch Lieferanten, mit Entwicklungsverantwortung und zum anderen interne Kunden, die weiter hinten in der Prozesskette auf den Entwicklungsergebnissen aufbauen, an der Risikobewertung mitwirken. Im Vergleich zu zentralen Bewertungsrunden mit persönlichen Zusammenkünften wie z. B. bei der FMEA, die bei den sich wiederholenden Bewertungen jeweils einen hohen Aufwand verursachen, hat der Ansatz der dezentralen, asynchronen Bewertung, die einzeln durch jeden Bewertungsverantwortlichen durchgeführt wird, Effizienzvorteile.

Der *Risikobewertungsprozess* beeinflusst zum einen die Aktualität der Risikoinformationen über die Häufigkeit seiner Durchführung und zum anderen den Aufwand und die Qualität über seine Durchführungsart. Die Akzeptanz von wiederkehrenden Risikobewertungen bei den Anwendern wird insbesondere durch eine optimale Informationsversorgung sowie eine strukturierte Führung durch den Bewertungsprozess beeinflusst. Von den angebotenen Methoden wird keine Hilfestellung gegeben, mit welchen Informationen der Bewertungsprozess versorgt werden sollte, um die Risikobewertung anwendergerecht und mit möglichst wenig Aufwand durchzuführen. Die bestehenden Methoden weisen eine mangelhafte Vernetzung

der Risikobewertungsobjekte mit den Planungsdokumenten wie Konzeptbeschreibung, Lastenheft und Projektplan auf. Außerdem ist der Rückfluss aus übergeordneten Entscheidungsgremien auf die Bewertungsebene nicht durchgängig sichergestellt. Bei der Art der Bewertungsdurchführung liegt der Handlungsbedarf nicht in genaueren Methoden der Risikoquantifizierung, sondern in einer einfachen, leicht verständlichen Bewertung, die die hohe Komplexität des Gesamtprojektes handhabbar macht.

Bei *Risikokommunikation und -steuerung* sind die Menge der Risikoinformationen und die Art ihrer Weitergabe aufwandsbestimmend. Die angebotenen Methoden bieten dabei keine ausreichende Priorisierung und hierarchieebenspezifischen Verdichtungen der Risikoinformationen an. Folglich wird die Einbindung der Projekthierarchie und die Planung von effizienten Besprechungen zur Abstimmung von Maßnahmen nicht geeignet unterstützt. Eine weitere Schwäche fast aller bestehenden Ansätze liegt in der mangelhaften Zusammenführung der zusammengehörenden Informationen Projektplan und Maßnahmenlisten. In der Praxis werden z. B. Projektpläne, Offene-Punkte-Listen des Projektleiters und Maßnahmenpläne aus der FMEA-Anwendung oft unabhängig voneinander geführt. Sie sind in der Regel nicht miteinander abgestimmt, und eine Kopplung mit Prioritäten, die sich aus übergeordneten Zielen ergeben, ist nicht vorhanden.

Die Folgen dieser Unzulänglichkeiten bei Methoden und Hilfsmitteln für das technische Risikomanagement sind in vielen Unternehmen immer wiederkehrende Probleme mit unregelmäßigen, partiellen und späten Risikobewertungen sowie deren Kommunikation.

Soll eine aktuelle und projektweite Transparenz von Projektrisiken als eine Basis für Steuerungsentscheidungen vorliegen, so muss das technische Risikomanagement eine umfassende, regelmäßige und dezentrale Risikobewertung und -kommunikation ermöglichen sowie das Erfahrungswissen von möglichst vielen Projektbeteiligten einbeziehen. Hierzu wird ein Modell zur Repräsentation von Risikoinformationen benötigt, das zusammen mit einer flexiblen Risikobewertungsmethode das verteilte, kooperative Arbeiten unterstützt und hierbei den dezentral erzielten Erkenntnisfortschritt berücksichtigt. Die Bewertungsobjekte sollten außerdem eine Vernetzung mit den Planungsdokumenten aufweisen.

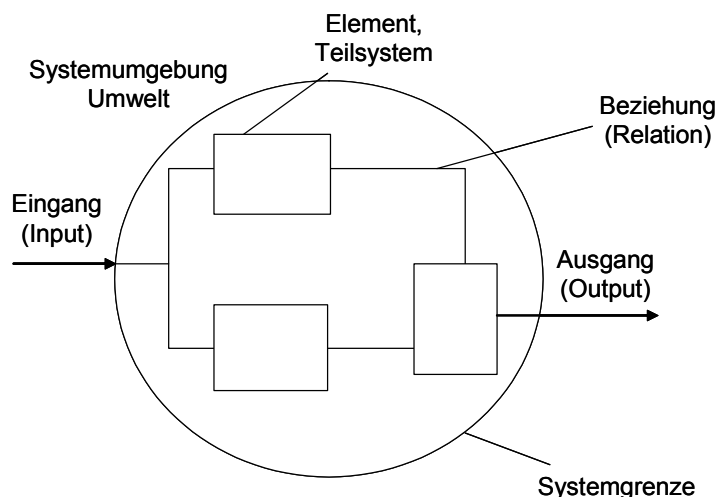
Grundlagen für das zu entwickelnde Risikobewertungsverfahren sind in Form des Produktreifegrads zwar vorhanden, es besteht jedoch noch Verbesserungsbedarf insbesondere bei der systematischen Ableitung der Bewertungsindikatoren und -kriterien, der Vernetzung der Risikoinformationen sowie der aufwandsarmen Risikobewertung und -kommunikation. Hierbei sind weitere spezifische Aspekte, wie z. B. Verhalten von Gruppen, einzubeziehen. Die notwendige Basis für die Herleitung des benötigten Risikobewertungsverfahrens wird im Folgenden geschaffen.

### 3 Grundlagen für das Risikobewertungsverfahren

#### 3.1 Systeme

##### 3.1.1 Systembegriff

Der Begriff „System“ stammt aus dem Griechischen und bedeutet „das aus mehreren Teilen bestehende und gegliederte Ganze“. <sup>1</sup> Ein System besteht aus einer Menge von Elementen bzw. Teilsystemen, die Eigenschaften besitzen und durch Beziehungen miteinander verbunden sind. Eigenschaften sind z. B. Maße, Zuverlässigkeit, Kosten und Eignung zur Herstellung. Eine weitere Eigenschaft ist die Funktion, die durch den Unterschied der dem Zweck entsprechenden Ein- und Ausgangsgrößen beschrieben werden kann. Nach außen wird ein System durch eine Systemgrenze von seiner Umgebung abgegrenzt (Bild 3-1). <sup>2</sup>



Quelle: Ehrlenspiel (2003), S. 15

#### **Bild 3-1: Darstellung eines Systems**

In der Literatur <sup>3</sup> werden Systeme in vielfältiger Weise unterschieden. Hinsichtlich ihrer Beziehung zur Umwelt werden Systeme als offen oder geschlossen bezeichnet. Letztere weisen keine Interaktionsbeziehungen zu anderen Systemen auf. Nach ihrer Veränderlichkeit im Zeitablauf können Systeme in statisch bzw. dynamisch differenziert werden. Eine weitere Unterscheidung zwischen einfachen und komplexen Systemen findet nach der Anzahl der Beziehungen statt.

---

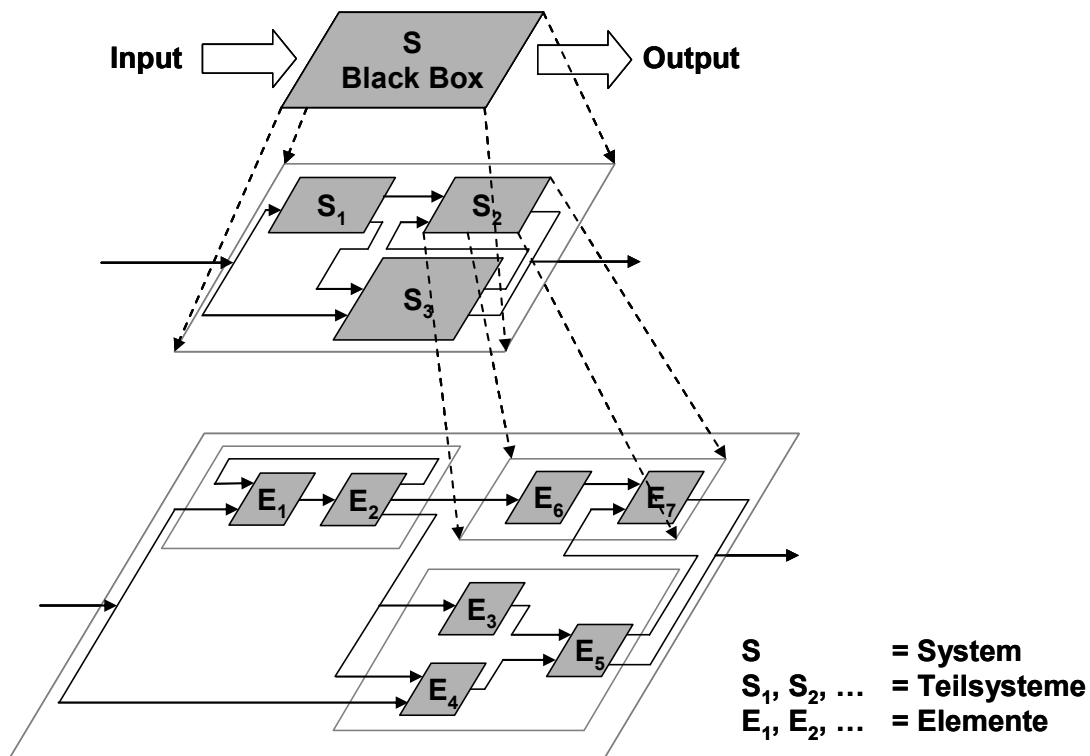
<sup>1</sup> Vgl. Duden (2001), S. 833

<sup>2</sup> Vgl. Ehrlenspiel (2003), S. 15 ff.

<sup>3</sup> Vgl. Patzak (1982), S. 20; Buchholz (1996), S. 99; Ehrlenspiel (2003), S. 16; Reither (1997), S. 14



Systembegriff und Systemansatz sind in verschiedenen Detaillierungsebenen vom Ganzen bis zum Teil durchgängig anwendbar (Bild 3-2). Die abstrakteste Darstellung eines Systems stellt die „Black Box“ dar, in der nur die Ein- und Ausgangsgrößen ohne Strukturen erkennbar sind. Ein System setzt sich einerseits aus Subsystemen zusammen, andererseits ist es selbst Bestandteil von übergeordneten umfassenderen Supersystemen.



Quelle: Ehrlenspiel (2003), S. 17

**Bild 3-2: Struktur eines Systems in unterschiedlicher Detaillierung**

Kennzeichen des Systemansatzes sind inhaltliche Allgemeingültigkeit, formale Abstraktheit und Zweckorientiertheit, welche eine umfassende und zugleich strukturierende Betrachtungsweise erlauben.<sup>1</sup> Dieser allgemeine Systemgedanke wird im Rahmen der betriebswissenschaftlichen Systemtheorie auf Unternehmen übertragen, die in diesem Sinne als äußerst komplexe, offene, sozio-technische Systeme zu bezeichnen sind.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Vgl. Patzak (1982), S. 2

<sup>2</sup> Vgl. Hahn/Hungenberg (2001), S. 10; Ulrich (2001), S. 153 ff.

### 3.1.2 Systemtheorie und Systemtechnik

*Patzak*<sup>1</sup> sieht in der Systemwissenschaft eine interdisziplinäre Wissenschaft vom zweckrationalen Handeln, die Strategien zur Bearbeitung von Konflikten und Widersprüchen bei individueller und insbesondere kollektiver Handlung anbietet. Trotz des Anspruchs der Rationalität können auch emotional gefärbte Systemkomponenten und Bewertungen berücksichtigt, d. h. bewusst gemacht, erfasst und methodisch verarbeitet werden.

Die Systemtheorie nach *Shannon/Weaver*, *Wiener* und *Bertalanffy*<sup>2</sup> ist ein methodenorientierter Wissenschaftszweig, der den Einzelwissenschaften allgemeine Grundvorstellungen sowie Denk- und Vorgehensweisen zur Lösung ihrer Erkenntnisprobleme zur Verfügung stellt.<sup>3</sup> Mit der Entwicklung der Systemtheorie erfolgte auch der Übergang vom mechanistischen zum ganzheitlichen Ansatz der Erkenntnisgewinnung.<sup>4</sup> Die mechanistische Betrachtung der Einzelteile nach dem Konzept der Ursache-Wirkungsbeziehungen versagt bei vorhandenen Wechselwirkungen spätestens dann, wenn die Wirkung auf die eigene Ursache zurückwirkt.<sup>5</sup> Ergo besitzt ein System als Ganzes Eigenschaften, die nicht auf einzelne Elemente zurückgeführt werden können, sondern sich aus dem Aufbau des gesamten Systems ergeben.

Ausgehend von der allgemeinen Systemtheorie hat sich die Systemtechnik entwickelt, die in der Literatur synonym auch als „Systems Engineering“ bezeichnet wird. Die Systemtechnik als fachübergreifender Denkansatz vermittelt im Wesentlichen zwei Inhaltsbereiche, zum einen den Begriff des Systems und zum anderen die Methodik zur Analyse und Synthese von Systemen. Die Systemtechnik ist ein Methodengebäude, das zur Behandlung von Problemen mit hoher Komplexität dient und sich mit sämtlichen Lebensphasen von Systemen befasst. Sie bietet Unterstützung, wenn viele Lösungen denkbar sind und es keinen vorgezeichneten Lösungsweg gibt. Die Systemtechnik ist als Methodologie des zweckrationalen Handelns auf die praktische Anwendung ausgerichtet.<sup>6</sup>

---

<sup>1</sup> Vgl. Patzak (1982), S. 8

<sup>2</sup> Vgl. Shannon/Weaver (1949); Wiener (1949); Bertalanffy (1951); zitiert nach Staehle (1999), S. 41 ff.

<sup>3</sup> Vgl. Staehle (1999), S. 41 f.; Marks (1991), S. 16

<sup>4</sup> Vgl. Rapoport (1985), S. 148

<sup>5</sup> Vgl. Marks (1991), S. 17

<sup>6</sup> Vgl. Patzak (1982), S. 2, 15

Die einzelnen Modelle, Methoden und Hilfsmittel der Systemtechnik werden in Vorgehenskonzepten zusammengefasst. Eine weit verbreitete Gliederung dieser Vorgehenskonzepte baut auf der Problemlösungslogik von *Dewey* auf und umfasst folgende Phasen.<sup>1</sup>

- Situationsanalyse,
  - Informationsbeschaffung,
  - Informationsaufbereitung,
  - Informationsdarstellung,
- Zielformulierung,
- Synthese von Lösungen,
- Analyse von Lösungen,
- Bewertung/Entscheidung.

Bei *Laufenberg*<sup>2</sup> findet sich eine detaillierte Auflistung und Bewertung der Elemente der Systemtechnik.

Analog zur Systemtechnik verwendet die Konstruktionswissenschaft zwei Inhaltsbereiche, zum einen die *Theorie technischer Systeme* als Beschreibung technischer Gebilde und zum anderen die *Theorie der Konstruktionsprozesse*.<sup>3</sup>

### **3.1.3 Systeme der Produktentwicklung**

Für die Produktentwicklung von besonderer Bedeutung hält *Ehrlenspiel*<sup>4</sup> die in Bild 3-3 aufgeführte Gliederung in die drei Systeme Ziel-, Sach- und Handlungssystem.

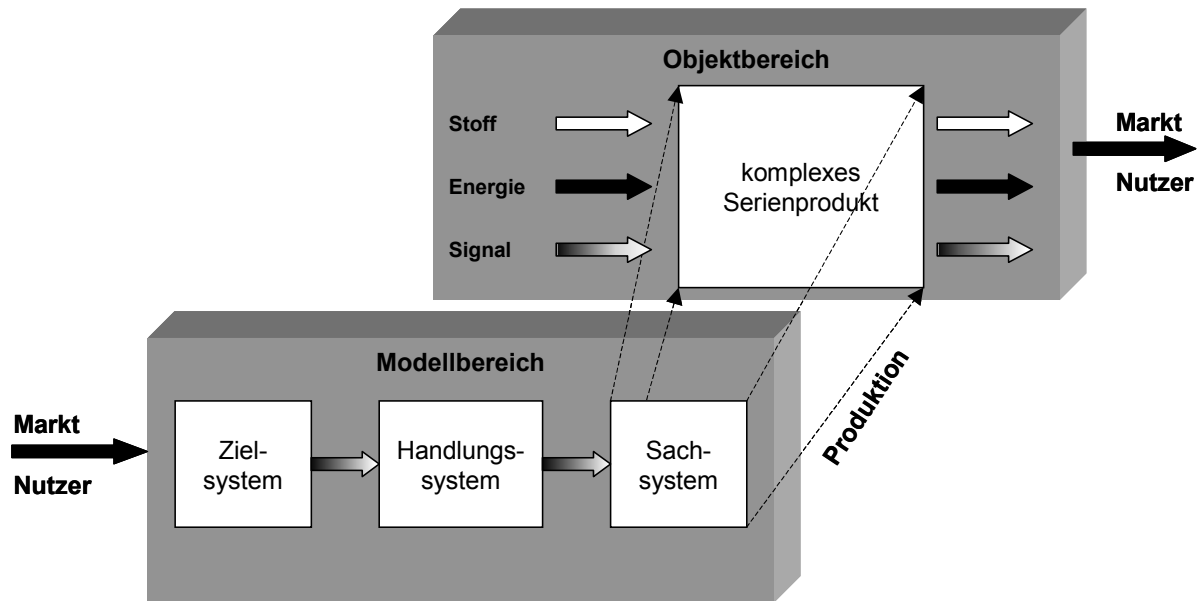
---

<sup>1</sup> Vgl. Habermas (1992); zitiert nach Laufenberg (1995), S. 35

<sup>2</sup> Vgl. Laufenberg (1995), S. 163 ff.

<sup>3</sup> Vgl. Ehrlenspiel (2003), S. 13

<sup>4</sup> Vgl. Ehrlenspiel (2003), S. 18 ff.



Quelle: In Anlehnung an Ehrlenspiel (2003), S. 20

### Bild 3-3: Wesentliche Systeme bei der Produktentwicklung

Das Zielsystem enthält die Menge der Zielvorgaben, d. h. die Forderungen, und deren Verknüpfungen. Im Zielsystem werden die Forderungen strukturiert und evtl. hierarchisch nach der Wichtigkeit oder gemäß der zeitlichen Abfolge der Teilziele aufgeführt. Typische Dokumente des Zielsystems in Unternehmen sind z. B. Forderungslisten, Pflichten- und Lastenhefte. Sie stellen die Grundlage für jede Beurteilung des entstehenden Sachsystems und des Entwicklungs- bzw. Handlungsprozesses dar. Deshalb ist ein sehr klar strukturiertes Zielsystem von Vorteil. Großen Einfluss auf den Inhalt des Zielsystems hat der Markt bzw. der Nutzer, für den das Produkt erstellt wird.

Sachsysteme sind in der Technik die aus der Arbeit von Ingenieuren, Technikern usw. entstehenden technischen Systeme wie z. B. Maschinen, Maschinenteile, Geräte und Apparate. Im Sachsystem wird das zu konstruierende bzw. das zu produzierende Produkt dargestellt, wobei man einen Modellbereich und einen Objektbereich unterteilen kann. Im Modellbereich wird ein Produkt abstrahiert mit Dokumenten wie z. B. Zeichnungen, Berechnungen, Drahtmodellen und Stücklisten beschrieben. Je nach Zweck werden eine Vielzahl von Modellierungen technischer Systeme oder Produkte in unterschiedlichen Abstraktionsebenen, Sichten und Darstellungsarten verwendet. Durch die Produktion werden diese Modelle dann in die körperliche Realität, d. h. den Objektbereich, überführt. Sowohl die Modellierung als auch die Überführung in den Objektbereich wird durch Ziel- und Handlungssysteme unterstützt. Das Sachsystem ist das Objekt des Handlungssystems. Dieses Objekt muss nicht immer ein materielles Gebilde beschreiben, sondern kann auch ein immaterielles Produkt wie z. B. Software sein.

Handlungssysteme beinhalten strukturierte Aktivitäten und die Träger dieser Aktivitäten, die z. B. zur Zielerfüllung eines zu erstellenden Sachsystems nötig sind. Dazu gehören Handlungen, Sachmittel und Menschen. Handlungssysteme können in Anlehnung an *Patzak*<sup>1</sup> in zwei Systeme aufgeteilt werden. Patzak unterscheidet bei seiner verfahrenstechnischen Klassifizierung von Systemen zwischen Programmsystem und Wirksystem. Das Programmsystem, auch Aufgabensystem genannt, beschreibt die Art und Weise der durchzuführenden Aktivitäten als Mittel zur Zielerreichung und wird in der Praxis in Form eines abstrakten Systems wie z. B. als Vorgehensplan, Terminplan, Programm oder Prozess dargestellt. Die Wirksysteme sind als konkrete Systeme die Träger der Aktivitäten. Sie haben somit für das Programmsystem unmittelbaren Mittelcharakter. In ihrer allgemeinen Form als sozio-technische Systeme setzen sie sich aus belebten Komponenten (Menschen, sonstige Lebewesen) und unbelebten Komponenten (Sachmittel) zusammen, deren Zusammenwirken durch formelle und informelle Beziehungsmuster (Organisation) ermöglicht wird.

Die dargestellten Zusammenhänge zwischen Ziel-, Sach- und Handlungssystem lassen erkennen, dass diese sehr eng verknüpft sind: Die im Zielsystem vorgegebenen Forderungen an das technische Sachsystem beeinflussen den Prozess seiner Erstellung, d. h. das Handlungssystem, und dieser wiederum das technische Sachsystem.

### **3.2 Kybernetik sozio-technischer Systeme**

Der Begriff „Kybernetik“ stammt aus dem Griechischen und bedeutet Steuermannskunst.<sup>2</sup> Kybernetik ist eine wissenschaftliche Forschungsrichtung, die sich mit der Steuerung und Regelung von Systemen beschäftigt.<sup>3</sup>

Nach *Patzak*<sup>4</sup> ist eine Steuerung ein Vorgang in einem System, bei dem eine oder mehrere Größen als Eingangsgrößen andere Größen als Ausgangsgrößen aufgrund der dem System eigentümlichen Gesetzmäßigkeiten beeinflussen. Kennzeichnend für Steuerung ist dabei der offene Wirkungsablauf. Demgegenüber ist eine Regelung ein Vorgang, bei dem die zu regelnde Größe, die Regelgröße, fortlaufend erfasst, mit einer anderen Größe, der Führungsgröße, verglichen und abhängig vom Ergebnis dieses Vergleichs im Sinne einer Angleichung an die Führungsgröße beeinflusst wird. Ein System als einfacher Regelkreis ist durch seine Rückkopplungen in der Lage, einen bestimmten stabilen Zustand aufrecht zu erhalten. Dies gilt sowohl für technische, als auch für sozio-technische Systeme (Bild 3-4).

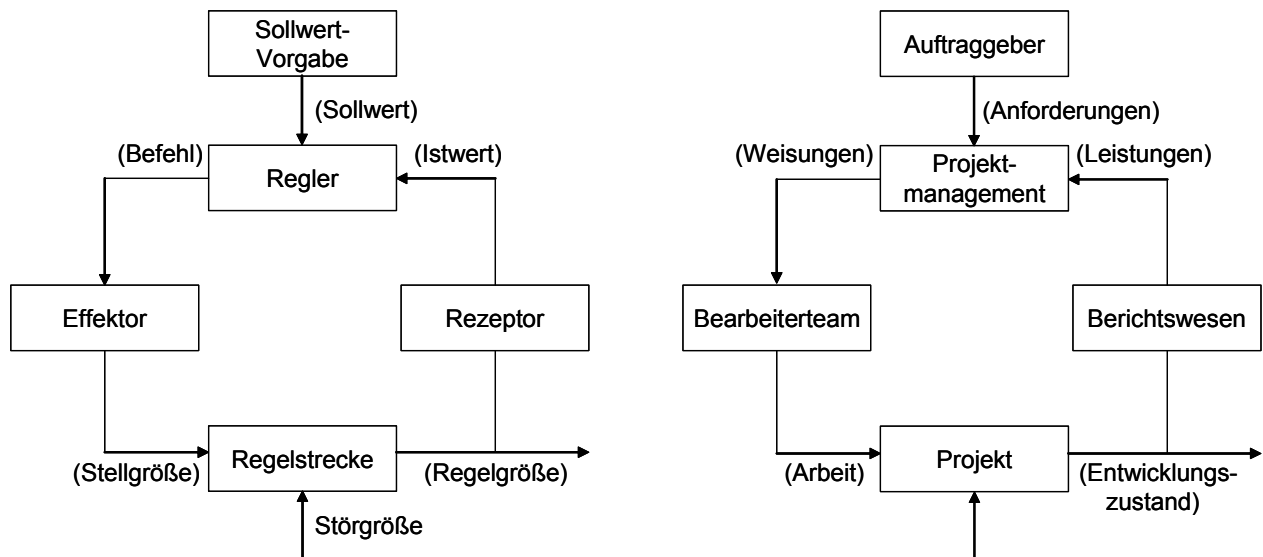
---

<sup>1</sup> Vgl. Patzak (1982), S. 30 f.

<sup>2</sup> Vgl. Duden (2001), S. 464

<sup>3</sup> Vgl. Beer (1962), S. 47

<sup>4</sup> Vgl. Patzak (1982), S. 59 ff.



Quelle: Ropohl (1975), S. 16 f.

**Bild 3-4: Technischer Regelkreis und Projektbearbeitung als Regelkreis**

Nach Schwaninger<sup>1</sup> ist Kybernetik die Wissenschaft von der Gestaltung und Lenkung komplexer, dynamischer Systeme. Die Kybernetik betrachtet die Bewältigung von Komplexität als den Kern des Managements und liefert ein leistungsfähiges Instrumentarium, um mit Komplexität vernünftig und wirksam umzugehen. Die Bedeutung der Wechselwirkungen für die Funktion bzw. das Verhalten eines Systems wird in der Kybernetik aufgegriffen und präzisiert, indem Wirkungsgefüge als funktionale Modelle gebildet werden.

Anpassungsfähige Systeme höherer Ordnung können auch Störungen höherer Ordnung verarbeiten und ihre Stabilität erhalten. So setzen sich ultrastabile Systeme aus einer Vielzahl von Regelkreisen zusammen, so dass unterschiedliche Verhaltensweisen selbstständig gewählt werden können, und zwar so lange, bis im Hinblick auf die wirkenden Störgrößen ein stabiler Zustand erreicht wird; die Auswahl erfolgt über einen Parameter, der den Charakter einer Stufenfunktion aufweist ("selbstorganisierendes System"). Noch höherwertige Systeme entstehen, wenn mehrere ultrastabile Systeme zur Erreichung eines übergeordneten Zieles gekoppelt werden. Die einzelnen ultrastabilen Subsysteme dieses so genannten multistabilen Systems treten nur dann aktiv in Beziehung zueinander, wenn die Existenz (Stabilität) eines Untersystems bedroht ist, ansonsten ruht die Verbindung. Die Kybernetik befasst sich mit derartigen dynamischen, mit Rückkopplungen ausgestatteten Systemen, wobei die Information als Flussgröße im Vordergrund der Betrachtung steht.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Vgl. Schwaninger (1995), S. 150

<sup>2</sup> Vgl. Patzak (1982), S. 62

Von ihrem Charakter her ist die Kybernetik eine Querschnittswissenschaft bzw. eine interdisziplinäre Wissenschaft, die sich mit dem Studium von Systemen beliebiger Art beschäftigt, die in der Lage sind, Informationen aufzunehmen, zu speichern, zu verarbeiten und sie zur Steuerung und Regelung zu benutzen. Jedoch bringt erst die Verbindung der Systemtheorie mit der Kybernetik einen praktischen Anwendungsbezug, vor allem im Zusammenhang mit Managementproblemen. Die Kybernetik als die Wissenschaft von der Steuerung und Regelung von Systemen nach *Wiener*<sup>1</sup> sowie die mathematisch orientierte Informationstheorie nach *Shannon/Weaver*<sup>2</sup> haben den normativen Gestaltungsaspekt der Systemtheorie begründet. Vereinfacht ausgedrückt kann man Kybernetik als Wissenschaft von der Lenkung und Management als Beruf der Lenkung ansehen.<sup>3</sup>

Historisch werden zwei Phasen der Forschung unterschieden. Kybernetik I betont primär die gleichgewichtserhaltenden Prozesse in Systemen. Folglich stehen Probleme der Ultra- und Multistabilität sowie der Servomechanismen zu deren Erreichung (Soll-Ist-Vergleich, Abweichungsanalyse, Rückkopplung) im Mittelpunkt des Interesses. Hingegen befasst sich Kybernetik II mit Problemen von Instabilität, Flexibilität, Wandel, Lernen, Autonomie und Selbstreferenz. Ungleichgewicht ist keine Katastrophe, sondern eher der Normalfall und Voraussetzung für Wandel.

*Schwaninger*<sup>4</sup> definiert Lenkung als den Prozess, durch welchen ein System sich selbst unter Kontrolle hält, indem ein Fließgleichgewicht mit seiner Umwelt laufend hergestellt wird. Unter dem Lenkungsbegriff sind die Begriffe Steuerung (Lenkung durch Vorkopplung oder feedforward) und Regelung (Lenkung durch Rückkopplung oder feedback) subsumierbar (Bild 3-5).

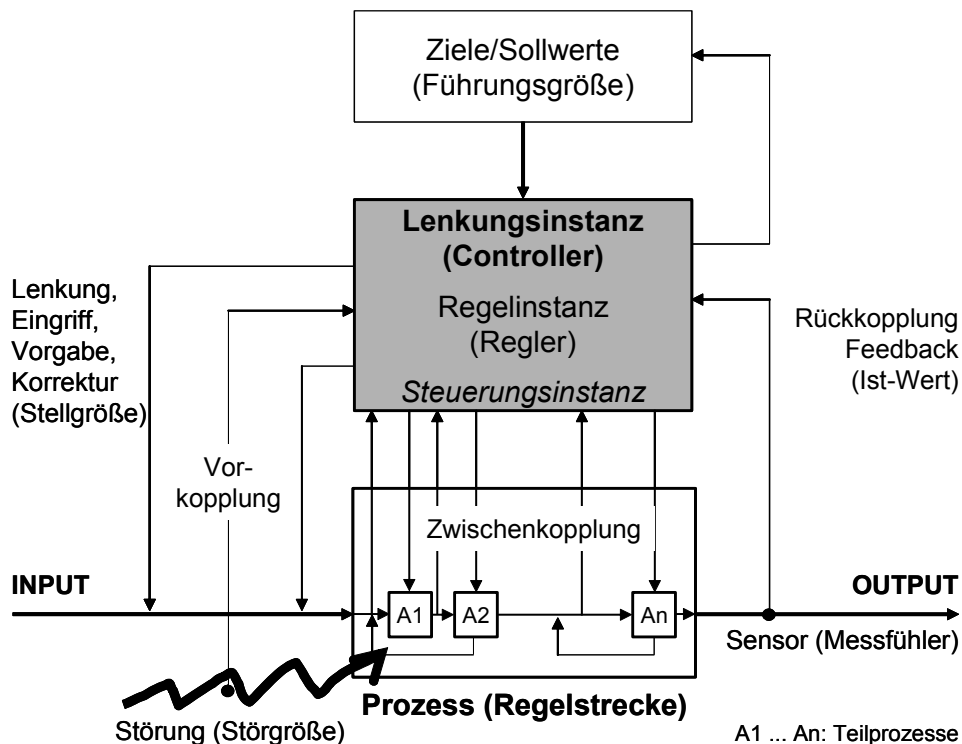
---

<sup>1</sup> Vgl. Wiener (1949)

<sup>2</sup> Vgl. Shannon/Weaver (1949)

<sup>3</sup> Vgl. Staehle (1999), S. 42 f.

<sup>4</sup> Vgl. Schwaninger (1994), S. 315



Quelle: Schwaninger (1994), S. 22

**Bild 3-5: Erweitertes Schema des Regelkreises**

Komplexität ist definiert als die Eigenschaft, viele Zustände annehmen zu können. Die Kybernetik drückt Komplexität durch die Maßgröße Varietät aus, die die Anzahl möglicher Zustände eines Systems bezeichnet.<sup>1</sup> Komplexitätsbewältigung erfolgt durch Dämpfung und Verstärkung. Nach dem Gesetz der erforderlichen Varietät nach *Ashby*<sup>2</sup> kann nur Varietät Varietät absorbieren (zerstören). Dies bedeutet, dass das Verhaltensrepertoire einer effektiven Lenkungseinheit potenziell der jeweiligen Situation ebenbürtig sein muss.

### 3.3 Motivationstheorie und Arbeitsgestaltung

Die Motivationstheorien werden unterteilt in Inhalts- und Prozesstheorien. Die Inhaltstheorien dienen zur Erklärung, *was* im Individuum oder seiner Umwelt Verhalten erzeugt oder aufrechterhält. Hierzu zählen u. a. die Ansätze von *Maslow*, *Herzberg* und *McClelland*.<sup>3</sup> Prozesstheorien dienen der Erklärung, *wie* ein bestimmtes Verhalten hervorgebracht, gelenkt, erhalten und abgebrochen wird. Hierzu zählen die Ansätze von *Vroom*, *Porter/Lawler* und *Locke*.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Vgl. Schwaninger (1995), S. 152

<sup>2</sup> Vgl. Ashby (1968), S. 206 ff.

<sup>3</sup> Vgl. Maslow (1943, 1954); Herzberg (1959, 1987); McClelland (1953, 1961, 1971); zitiert nach Staehle (1999), S. 221 ff.

<sup>4</sup> Vgl. Vroom (1964); Porter/Lawler (1968); Locke (1968, 1976); zitiert nach Staehle (1999), S. 221 ff.

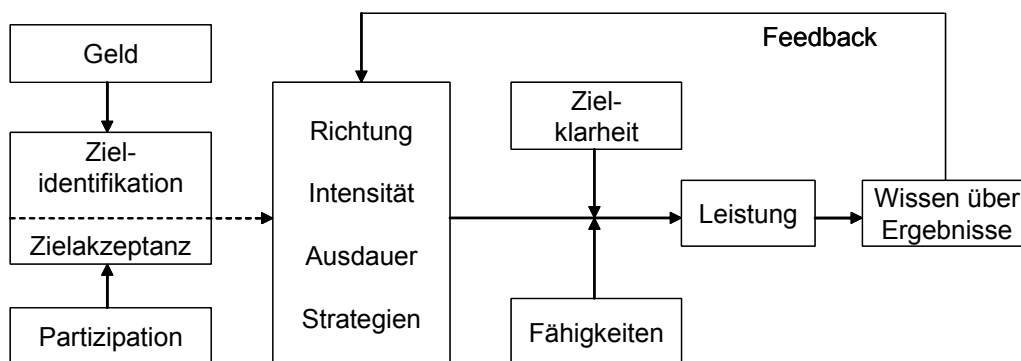


Aus den Motivationstheorien sind für diese Arbeit der Einfluss von Zielen auf das Leistungsverhalten und die Formen der Arbeitsgestaltung, insbesondere der Arbeitsinhalt und sein Handlungsspielraum, von Interesse.

### 3.3.1 Zieltheorie

In der Zieltheorie der Arbeitsmotivation von *Locke*<sup>1</sup>, die zu den Prozesstheorien zählt, wird der Einfluss von Zielen auf das Leistungsverhalten beschrieben (Bild 3-6). Zielsetzung führt zu Spannungen, die durch intensive Bewegung auf das Ziel hin reduziert wird. Solange das Ziel nicht erreicht bzw. die Aufgabe nicht gelöst ist, wirkt eine Kraft auf das Individuum, die abhängig ist von der Valenz des Ziels. Somit wird Motivation erzeugt.

Ziele beeinflussen die Leistung, indem sie Richtung, Intensität und Ausdauer von individuellen Aktivitäten festlegen und dazu anregen, Zielerreichungsstrategien zu entwickeln. Es gibt vier Voraussetzungen, damit Ziele zu hohen Anstrengungen bzw. Leistungen motivieren<sup>2</sup>: Zielklarheit, Zielakzeptanz, Zielschwierigkeit und Feedback über Zielerreichung. Außerdem beeinflussen auch die Fähigkeiten des Bearbeiters die Leistung.



Quelle: Landy/Conte (2004), S. 356

**Bild 3-6: Zieltheorie von Locke**

Hinsichtlich der Ziele bei Produktentwicklungsprozessen weisen *Schrader/Göpfert*<sup>1</sup> darauf hin, dass es bezüglich der Auswirkungen von klaren und unklaren Zielformulierungen auf den Projekterfolg in der Literatur unterschiedliche Auffassungen gibt. Bei ihrer Betrachtung unterscheiden sie zwischen unklaren und offenen Zielen. Unklare Zielformulierungen lassen wesentliche Zielelemente unbestimmt und erlauben somit keine eindeutige Messung der Zielerreichung. Bei offenen Zielformulierungen hingegen werden bezüglich einzelner Dimensionen des Lösungsraumes bewusst keine Vorgaben getroffen. Sie weisen in einer kleinzah-

<sup>1</sup> Vgl. Locke (1968, 1976); zitiert nach Landy (2004), S. 355 f.

<sup>2</sup> Vgl. Staehle (1999), S. 237

ligen empirischen Analyse der Zielbildung bei komplexen Produktentwicklungsprozessen nach, dass in diesen Situationen klare und offene Zielformulierungen positiv mit dem Projekterfolg korrelieren. Ihre Hypothesen lauten:

- Zielklarheit bezüglich der *funktionalen und dimensional*en Anforderungen an die Komponente und der von der Komponente zu erfüllenden Qualitätsanforderungen korreliert positiv mit dem Erfolg eines Entwicklungsprojektes und
- Zieloffenheit bezüglich der endgültigen *konstruktiven Merkmale der Komponente und der prozeduralen Gestaltung des Entwicklungsprojektes* korreliert ebenfalls positiv mit dem Erfolg eines Entwicklungsprojektes.

Bei der Zielbildung sollen deshalb funktionale und dimensionale Merkmale klar vorgegeben werden. Die Detailplanung und Ausgestaltung hingegen sollte dem Projektteam überlassen werden.

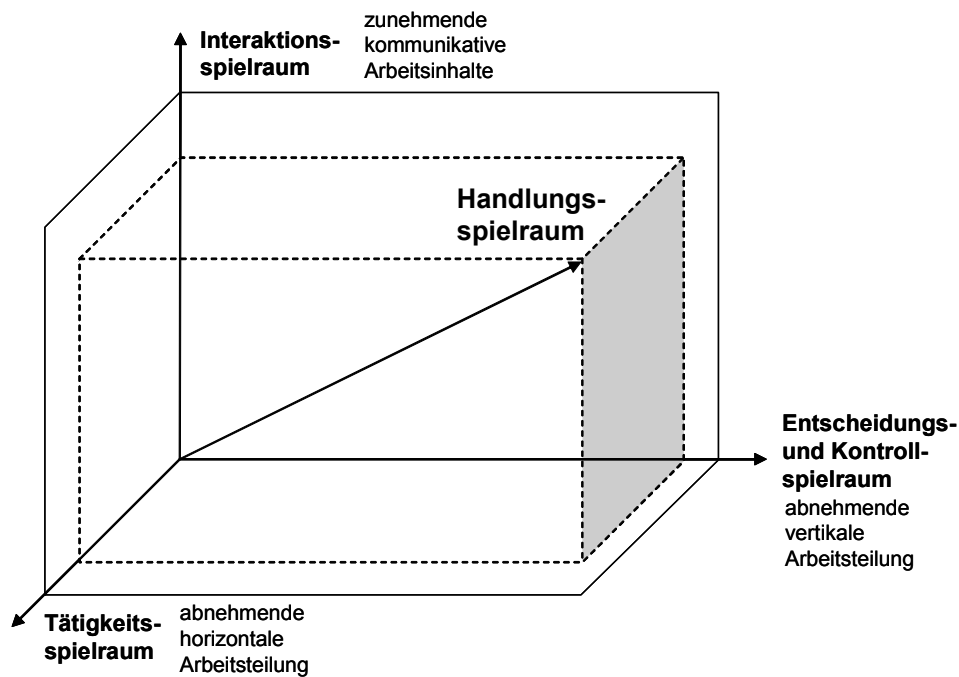
### **3.3.2 Formen der Arbeitsgestaltung**

Der wichtigste Aspekt bei der Arbeitsgestaltung ist der Arbeitsinhalt. Dieser sollte sowohl nach ökonomischen als auch nach humanen Kriterien gestaltet sein. Jeder Arbeitsinhalt ist dabei mit einem mehr oder weniger umfangreichen Handlungsspielraum verbunden. Der Handlungsspielraum setzt sich nach *Ulich*<sup>2</sup> zusammen aus der Dimension des Tätigkeitsspielraums (quantitativer Arbeitsinhalt, Vergrößerung z. B. durch Job Enlargement oder Job Rotation), der Dimension des Entscheidungs- und Kontrollspielraums (qualitativer Arbeitsinhalt, Erhöhung z. B. durch Job Enrichment) sowie der Dimension des Interaktionsspielraums (Bild 3-7).

---

<sup>1</sup> Vgl. Schrader/Göpfert (1998), S. 191ff.

<sup>2</sup> Vgl. Ulich (1972); zitiert nach Luczak (1998), S. 506 f.



Quelle: Ulich (1972); zitiert nach Luczak (1998), S. 506

**Bild 3-7: Handlungsspielraum nach Ulich**

Ziel der Arbeitsstrukturierung ist es, unter Erhaltung und Steigerung der Leistungsfähigkeit den Arbeitsinhalt mit den Fähigkeiten, Bedürfnissen und Zielen der Mitarbeiter in Übereinstimmung zu bringen. Für die Arbeitsstrukturierung bzw. die Gestaltung von Arbeitsaufgaben und -inhalten werden in der Literatur verschiedene Prinzipien angeboten<sup>1</sup>, von denen für diese Arbeit das Prinzip der vollständigen und ganzheitlichen Arbeitsinhalte relevant ist. Die Arbeitsinhalte können als ganzheitlich und vollständig angesehen werden, wenn sie das eigenständige Setzen von Zielen, die selbstständige Handlungsvorbereitung durch eigene Planungsaufgaben, die Auswahl der Mittel zur Zielerreichung, Rückmeldungen über Arbeitsablauf und Ergebnis sowie die Überprüfung des Arbeitsergebnisses mit den gesetzten Zielen umfassen.<sup>2</sup>

### 3.4 Entscheidungstheorien

Unter Entscheidungstheorien werden klassischerweise formale, interdisziplinäre Theorien über die rationale Entscheidung eines Individuums oder einer sozialen Institution verstanden, also ein Aussagensystem über die Wahl einer Möglichkeit, wenn mehrere Möglichkeiten denkbar sind.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Vgl. Luczak (1998), S. 505 f.

<sup>2</sup> Vgl. Ulich (1994); zitiert nach Luczak (1998), S. 506

<sup>3</sup> Vgl. Staehle (1999), S. 519

Bei den Theorien der rationalen Wahl<sup>1</sup> strebt ein rational handelnder Entscheider nach Nutzenmaximierung. Die klassische Entscheidungstheorie der Mikroökonomie geht von den Annahmen aus, dass Ziele, Entscheidungsproblem, Alternativen, Konsequenzen usw. bekannt und klar formuliert sind und dass der Entscheider unbeeinflusst von persönlichen Werten oder Gruppennormen handelt. Entscheidungsverhalten in Organisationen kann diese Annahmen jedoch kaum erfüllen.

Die später entwickelten Theorien der begrenzt-rationalen Wahl<sup>2</sup> gehen daher davon aus, dass der Entscheider über unvollständige Informationen verfügt, nicht alle Alternativen und Konsequenzen kennt und diese auch nur unzureichend bewerten kann. Daher lässt sich im Vorhinein niemals *die* optimale Lösung finden. Zwischen den einzelnen Phasen, die der Entscheider durchläuft, sind Rückkopplungsschleifen vorgesehen. Dabei generiert und bewertet der Entscheider nur so lange Alternativen, bis er eine das eigene Anspruchsniveau befriedigende Lösung gefunden hat. Die Höhe des Anspruchsniveaus und die Intensität der Anstrengungen hängen von der Erwartung ab, mit welcher subjektiven Eintrittswahrscheinlichkeit Ergebnisse als Handlungsfolge (Handlungs-Ergebnis-Erwartung) und bestimmte Konsequenzen von Handlungsergebnissen (Ergebnis-Folge-Erwartung) eintreffen.

Als weitere Entscheidungstheorie soll das Konflikt-Modell der Entscheidung<sup>3</sup> erwähnt werden. Während die vorher genannten Theorien die kognitive Seite der Entscheidungsfindung betonen, beleuchtet das Konflikt-Modell der Entscheidung vor allem die affektive Komponente. Entscheidungen, vor allem wichtige, sind demnach oft mit Gefühlen wie Stress, Hass, Angst und Ärger verbunden. Deshalb versuchen die Betroffenen, solche Situationen zu vermeiden. Eine zentrale These des Modells besagt, dass die Qualität der Entscheidung unmittelbar von dem Ausmaß abhängt, in dem sich der Entscheider vor der Entscheidung einer sorgfältigen Informationssuche widmet. Die Sorgfältigkeit der Informationssuche ist wiederum abhängig vom wahrgenommenen Konflikt- und Stressniveau, das sich für ein optimales Informationsverhalten im mittleren Bereich befinden soll. Ist das Konflikt- und Stressniveau zu gering, wird die Informationssuche vernachlässigt. Bei zu hohem Stress erfolgt Resignation vor dem Aufwand, und der Entscheider trifft eine rein emotionale oder gar keine Entscheidung. Bei Entscheidungsprozessen in Gruppen wird durch das Phänomen des Groupthink<sup>4</sup> die suboptimale Informationssuche noch verstärkt.

---

<sup>1</sup> Vgl. Simon (1945); zitiert nach Staehle (1999), S. 519 f.

<sup>2</sup> Vgl. Simon (1976, 1978); zitiert nach Staehle (1999), S. 520 ff.

<sup>3</sup> Vgl. Janis/Mann (1977); zitiert nach Staehle (1999), S. 524 ff.

<sup>4</sup> Vgl. Kapitel 3.4.3

Nach Gzuk<sup>1</sup> wird unter Entscheidung sowohl der Vorgang (Entscheidungsprozess) als auch das Ergebnis der Wahl zwischen Alternativen (Entschluss) verstanden. Information spielt in allen Phasen strategischer Entscheidungsprozesse von der Entscheidungsvorbereitung über die Entscheidungsfindung hin zur Erfolgskontrolle eine wichtige Rolle. Hierbei sind nach Bullinger die folgenden beiden kritischen Erfolgsfaktoren relevant.<sup>2</sup>

- Qualität und Effizienz der Entscheidungsprozesse und
- Art und Qualität der Informationen.

Für Erfolg und Misserfolg jeder Unternehmung ist die Qualität ihrer Entscheidungen von ausschlaggebender Bedeutung.<sup>3</sup> Die maßgeblichen Handlungen in der Unternehmung beruhen auf bewussten Wahlakten und diese Entscheidungen weisen einen ungelösten Problemgehalt auf. In der entscheidungsorientierten Betriebswirtschaftslehre wird der Prozess der bewussten Wahlhandlung in folgende Phasen unterteilt (Bild 3-8).

Führungsfunktion		Prozessstufen		
Willensbildung	Planung	Zielbildung		
		Problemanalyse	Problemerkennung	
			Problemuntersuchung	
			Problembewertung	
	Alternativensuche			
	Alternativenbewertung			
Willensdurchsetzung	Entscheidung	Entscheidungsvorbereitung		
		Entschluss		
	Durchsetzung	Entscheidungsoperationalisierung		
		Instruktion und Motivation		
		Kontrolle	Kontrollvorbereitung	
			Kontrolldurchführung	

Quelle: In Anlehnung an Jung/Kleine (1993), S. 114; zitiert nach Mai (1997), S. 40

### Bild 3-8: Der Managementprozess in idealtypischer Darstellung

Der Phase der Willensbildung (Entscheidungsfindung) schließt sich eine Phase der Willensdurchsetzung (Entscheidungsrealisierung) an. Der Willensbildung kommt eine große Bedeutung zu, da Versäumnisse oder fehlerhafte Festlegungen in dieser Phase sich in der Realisierung

<sup>1</sup> Vgl. Gzuk (1988), S. 125

<sup>2</sup> Vgl. Bullinger u. a. (1995), S. 16

<sup>3</sup> Vgl. Imboden (1982), S. 1

sierungsphase nur schwer bereinigen lassen. Dieser Umstand erklärt laut *Imboden*<sup>1</sup>, dass die entscheidungsorientierte Forschung sich bisher recht einseitig mit der Phase der Entscheidungsfindung beschäftigt.

### **3.4.1 Komplexität und Prognostizierbarkeit bei Entscheidungen**

Nach *Malik*<sup>2</sup> muss man die Illusion der Prognostizierbarkeit aller für die Führung bedeutsamen Faktoren aufgeben. Wir leben in einer Welt, die ihrer Natur nach nicht prognostizierbar ist. Die erste Hauptkenntnis der mathematisch-physikalischen Chaostheorie ist die Unprognostizierbarkeit komplexer Systeme. Ihre zweite Hauptkenntnis ist, dass dennoch Ordnung und Ordnungsmuster entstehen können, die wir zwar ihrem Typus nach, nicht aber in ihren Einzelheiten vorhersagen können.

Dadurch, dass bei der Produktentwicklung die zukünftige Zielerreichung unbestimmt und ungewiss ist, muss beim Projektfortschritt mit Überraschungen, Diskontinuitäten und Instabilitäten gerechnet werden.

### **3.4.2 Einfluss der Information bei Entscheidungen**

Entscheidungen basieren auf unterschiedlichen Informationsständen. Der bei einer Entscheidung verwendete Informationsstand ergibt sich aus subjektiver Informationsnachfrage, vorliegendem Informationsangebot und objektivem Informationsbedarf (Bild 3-9).

Nach *Braun*<sup>3</sup> hängen Risiko und Information stark zusammen. Das Fehlen von Information kann als Grundlage des Risikos verstanden werden, wobei das Verhältnis des Informationsstands mit dem Informationsbedarf als ein Maß für die *Unvollkommenheit* der Information angesehen werden kann.<sup>4</sup>

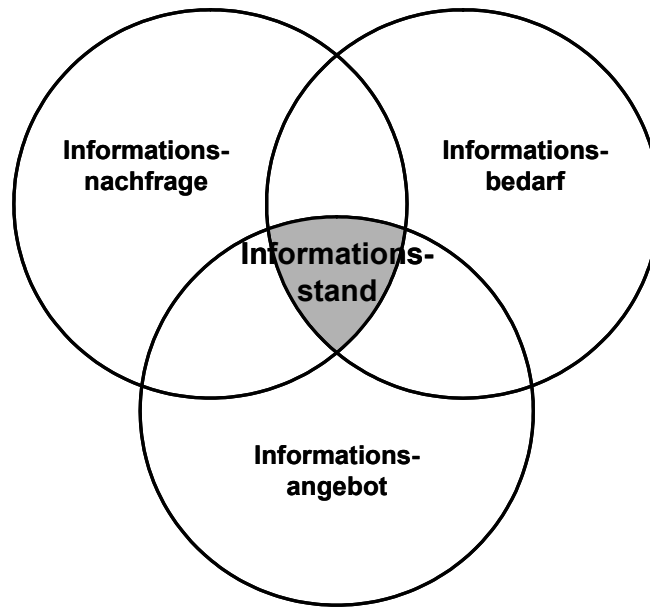
---

<sup>1</sup> Vgl. Imboden (1982), S. 2

<sup>2</sup> Vgl. Malik (1999), S. 22 f.

<sup>3</sup> Vgl. Braun (1982), S. 26

<sup>4</sup> Vgl. Neubürger (1989), S. 26-32



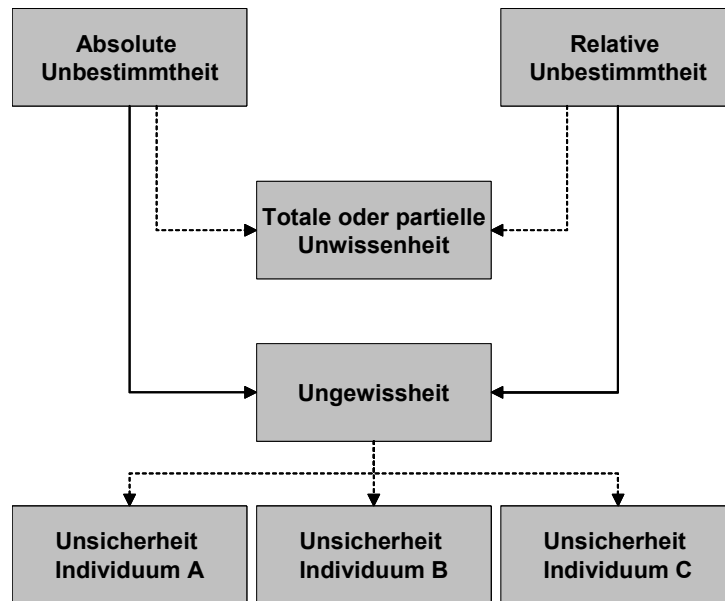
Quelle: In Anlehnung an Hänggi (1996), S. 73

**Bild 3-9: Einordnung des Informationsstandes**

Die Unvollkommenheit des Informationsstands besteht aus den drei Bestandteilen *Unvollständigkeit*, *Unbestimmtheit* und *Unsicherheit*. *Unvollständigkeit* der Information zeigt sich darin, dass Elemente oder Teile der Information fehlen. In realen Situationen müssen Entscheidungen vor allem aufgrund ihrer Komplexität unter unvollständiger Information getroffen werden. Bei der *Unbestimmtheit* kann zwischen absoluter und relativer Unbestimmtheit unterschieden werden, wobei bei absoluter Unbestimmtheit davon ausgegangen wird, dass nichts auf der Welt vorherbestimmt ist, während bei der relativen Unbestimmtheit angenommen wird, dass Naturgesetze das Geschehen statistisch beeinflussen. *Unsicherheit* ist hingegen definiert als der sich auf den Einzelnen beziehende, subjektive Informationsmangel.<sup>1</sup> Ferner gilt es hier zu bemerken, dass sich eine Ungewissheit mit objektiv vorliegendem Informationsmangel immer subjektiv in den Unsicherheiten der einzelnen Individuen niederschlägt. Im Folgenden werden nur noch die Unvollständigkeit und die Unsicherheit als die Bestandteile der Unvollkommenheit der Information angesehen, da die Unbestimmtheit in der Unsicherheit enthalten ist. Die Unbestimmtheit führt über die Ungewissheit zur Unsicherheit (Bild 3-10).

---

<sup>1</sup> Vgl. Hänggi (1996), S. 69 ff.



Quelle: In Anlehnung an Hänggi (1996), S. 71

**Bild 3-10: Zusammenhang von Unbestimmtheit, Ungewissheit und Unsicherheit**

Nach Bullinger<sup>1</sup> kann sich die objektiv messbare Zunahme an Daten und Informationen auch subjektiv als *Information Overload* des Einzelnen bemerkbar machen. Jeder muss immer mehr Informationen filtern, verknüpfen, verdichten, vergleichen und bewerten, so dass es als immer schwerer empfunden wird, auf dieser Basis schnell gute Entscheidungen zu treffen.

### 3.4.3 Einfluss der Gruppe auf das Entscheidungsverhalten

Die Erkenntnisse aus zwei psychologischen Phänomenen sprechen dafür, die Entscheidungen von Einzelpersonen denen von Gruppen vorzuziehen. Das Groupthink-Phänomen<sup>2</sup> beschreibt die Abnahme von Problemerkennntnis und -lösungsfähigkeiten sowie von Urteilsfähigkeit in Gruppen als Folge von Gruppendruck (Befangenheit, Konformitätszwang). Das Risky-Shift-Phänomen<sup>3</sup> bezeichnet die Risikobereitschaft von Gruppen als höher im Vergleich zur Risikobereitschaft von Individuen. Erklärungsansätze hierfür können die Verteilung von Verantwortung, ein höheres Informationsniveau, ein risikobereiter Gruppenführer oder die Risikobereitschaft als kultureller Wert sein.

<sup>1</sup> Vgl. Bullinger u. a. (1995), S. 15

<sup>2</sup> Vgl. Janis (1982); zitiert nach Staehle (1999), S. 291

<sup>3</sup> Vgl. Schneider (1975); zitiert nach Staehle (1999), S. 291 ff.



#### 3.4.4 Handlungstheoretische Erkenntnisse zum Entscheidungsverhalten

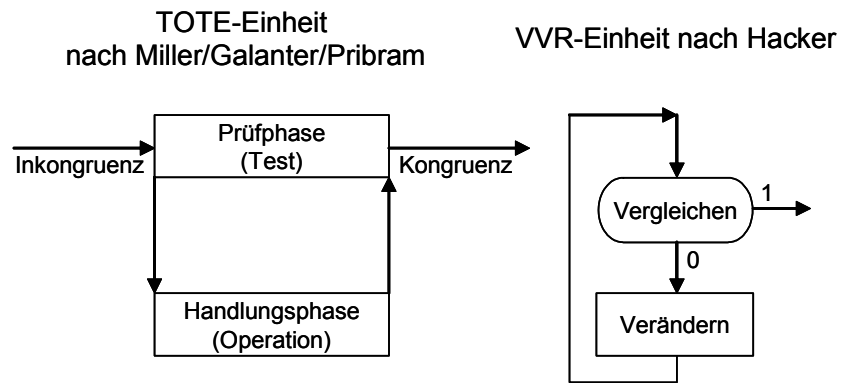
Menschliches Handeln wird innerhalb der Handlungstheorien in Anlehnung an *Miller*<sup>1</sup> auch als Rückkopplungszyklen (TOTE-Einheiten, Test-Operate-Test-Exit) beschrieben, die einen doppelten Soll-Ist-Vergleich beinhalten. Über Rückkopplungsschleifen werden Kontrollinformationen über den Grad einer vorher angestrebten Zielerreichung vermittelt. Ist der Sollzustand noch nicht erreicht, kann die Schleife mehrfach durchlaufen werden. *Hacker*<sup>2</sup> greift auf das in Bild 3-11 dargestellte TOTE-Modell zurück und formuliert es um in das VVR-Modell (Vergleichs-Veränderungs-Rückkopplungs-Einheit).

Hacker stellt dabei besonders heraus, dass die VVR-Einheit nicht nach außen abgeschlossen ist, sondern einen für Zielveränderungen und Umweltrückwirkungen offenen Prozess darstellt. Damit wird eine Trennung von Entscheidungs- und Durchführungsaufgaben unhaltbar, da jede Einheit sowohl den Vorgang des Entscheidens (Test) als auch die Durchführung (Operation) enthält. Innerhalb des Handlungsprogramms kann flexibel auf veränderte Ziele und Umweltbedingungen reagiert werden, weil nicht alles im Voraus detailliert geplant ist, sondern Teile des Handlungsprogramms erst während des Handlungsverlaufes generiert werden.

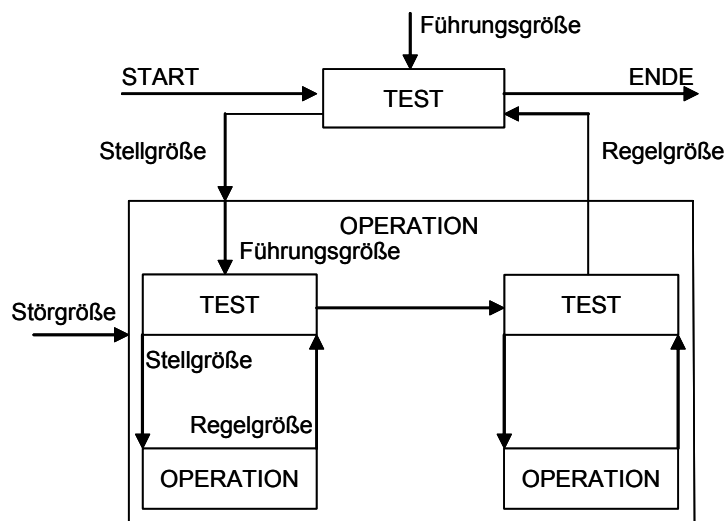
---

<sup>1</sup> Vgl. Miller u. a. (1973); zitiert nach Luczak (1998), S. 33

<sup>2</sup> Vgl. Hacker (1986); zitiert nach Staehle (1999), S. 215 f.



Blockschaubild eines zweistufigen hierarchischen Regelkreises



Quelle: In Anlehnung an Osterloh (1983), S. 172; zitiert nach Staehle (1991), S. 197

**Bild 3-11: TOTE-Einheit und VVR-Einheit**

## 4 Herleitung des Risikobewertungsverfahrens

### 4.1 Repräsentation von Risikoinformationen in einem Modell

Aufgrund der hohen Komplexität eines Entwicklungsprojektes weisen auch die in ihrem Verlauf betrachteten Risiken eine hohe Komplexität auf.<sup>1</sup> Um mit dieser Komplexität geeignet umzugehen, müssen ähnlich wie das Entwicklungsprojekt auch die betrachteten Risiken strukturiert werden.<sup>2</sup>

Das Risikoinformationsmodell soll in allen Phasen einer Serienentwicklung angewendet werden können. Ausgehend von der Erkenntnis, dass jedes Bewertungssystem aus Bewertungsobjekten und Bewertungsausprägungen besteht, wird das in dieser Arbeit zu entwickelnde Risikoinformationsmodell als eine Zusammensetzung aus Risikobewertungsobjekten und ihren im Projektverlauf erhobenen Risikobewertungsinformationen definiert. Hierbei wird die Einordnung als Bewertungsobjekt oder Bewertungsinformation in Abhängigkeit von der zeitlichen Dynamik über den Projektverlauf bestimmt.

In Anlehnung an die Systemtheorie wird bei der Produktentwicklung das zu entwickelnde Produkt mit seinen Komponenten als ein System mit seinen Systemelementen betrachtet.<sup>3</sup> Nach der Produktkonzeptentscheidung steht die Komponentenstruktur des Produktes im Großen und Ganzen fest und verändert sich im Laufe des Projektes nur noch geringfügig. Bei einer parallelen Produkt- und Produktionsentwicklung bietet sich eine Strukturierung an, die sich am Produktionsprozess orientiert, da dieser ebenfalls eine hohe Konstanz aufweist. Eine hohe Konstanz der Struktur über den gesamten Projektverlauf hat den Vorteil, dass für die Projektbeteiligten die Orientierung erleichtert wird.

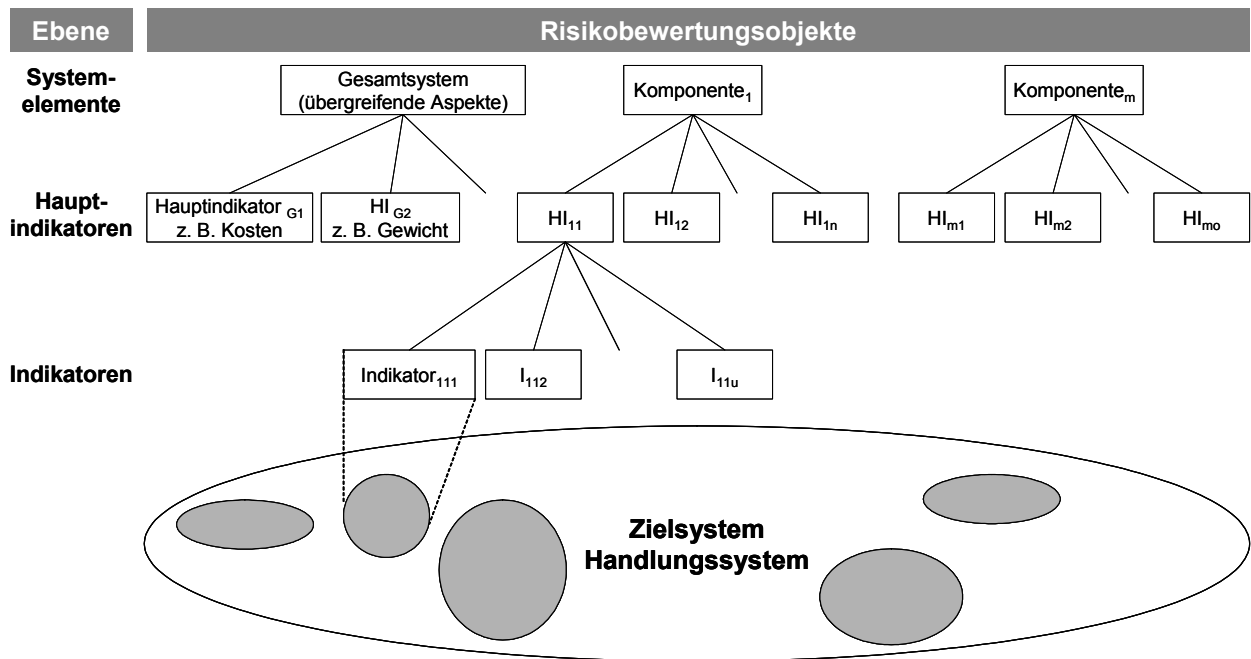
Bei der Produktentwicklung bieten sich durch diese Eigenschaft die Komponenten als erste Strukturebene der Risikobewertungsobjekte an (Bild 4-1).

---

<sup>1</sup> Vgl. Kapitel 3.2

<sup>2</sup> Vgl. Kapitel 2.2

<sup>3</sup> Vgl. Kapitel 3.1



**Bild 4-1: Quellen und Struktur der Risikobewertungsobjekte**

Nach der Systemtheorie kann das Gesamtsystem Eigenschaften besitzen, die nicht auf die Eigenschaften seiner Elemente zurückzuführen sind.<sup>1</sup> Für diese komponentenübergreifenden Aspekte wie z. B. Kosten oder Gewicht des komplexen Serienproduktes kann eine Komponente „Gesamtsystem“ definiert werden. In ihr sind u. a. aufgrund organisatorischer Aufgabenzuordnungen die übergreifenden Aspekte repräsentiert.

Betrachtet man die wesentlichen Systeme der Produktentwicklung, das Ziel-, Handlungs- und technische Sachsystem<sup>2</sup>, hinsichtlich ihrer Konstanz über den Projektverlauf, so weisen neben der obersten Ebene des Sachsystems auch das Ziel- und Handlungssystem eine höhere Stabilität als die Detailebenen des technischen Sachsystems auf. Daher eignen sich insbesondere das Ziel- und Handlungssystem als Grundlage für die Definition weiterer Ebenen und Objekte in der Risikoobjektstruktur.

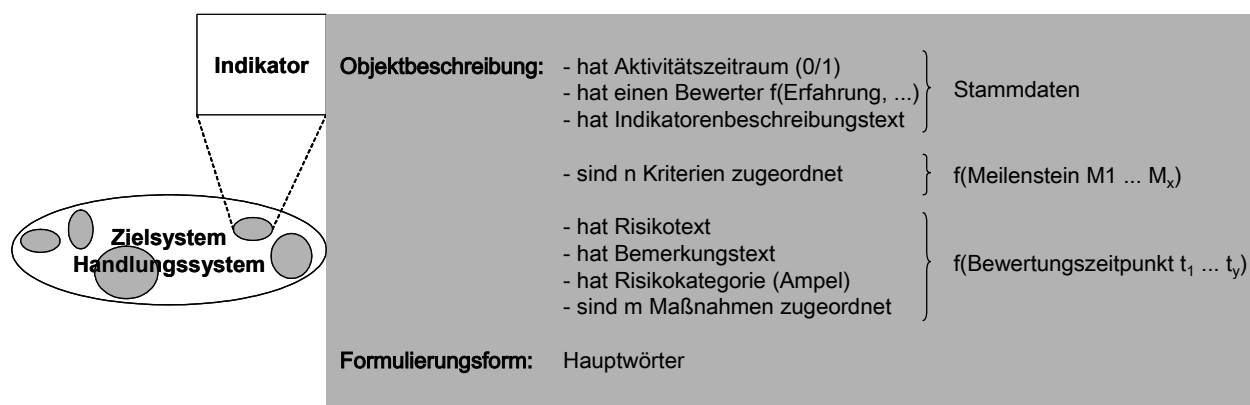
Die Wahl der Ebenenanzahl der Risikoobjektstruktur ist vor dem Aufbau des Risikoinformationsmodells vorzunehmen. Die Entscheidung hängt von der Orientierung gebenden Eigenschaft, der Übersichtlichkeit für inhaltliche Zusammenhänge und der im Projekt gewählten Verteilung der Verantwortlichkeiten ab. In den drei Ebenen Systemelemente, Hauptindikatoren und Indikatoren lassen sich die Risikoobjekte abbilden.

<sup>1</sup> Vgl. Kapitel 3.1.2

<sup>2</sup> Vgl. Kapitel 3.1.3

Von hoher Bedeutung ist die Ebene der Indikatoren. Ein einzelner Indikator beleuchtet im Projektverlauf Aspekte des Ziel- und/oder Handlungssystems, bildlich gesehen wie eine Taschenlampe. Jeder Indikator ist im Projekt eine bestimmte Zeit aktiv und wird in diesem Aktivitätszeitraum von einem zugeordneten Bewertungsverantwortlichen hinsichtlich des Risikos bewertet. Für die Festlegung einer „optimalen“ Anzahl von Indikatoren existiert kein formalwissenschaftliches, mathematisches Verfahren. Die Festlegung eines Indikators ist vielmehr eine Entscheidung unter Berücksichtigung des mit der Indikatorenfestlegung implizierten Bewertungsaufwandes. Die Anzahl und die Abstraktionsebene der Indikatoren hängen ferner von dem anfänglich bewerteten Risiko und der inhaltlichen Breite des beschreibenden Umfangs eines Indikators ab.

Bei einem Indikator bilden die Stammdaten und die meilensteinspezifischen Kriterien, die den Anspruch der Messbarkeit haben, die Vorgaben der Risikobewertung. Weitere Eigenschaften eines Indikators sind dem Bild 4-2 zu entnehmen.



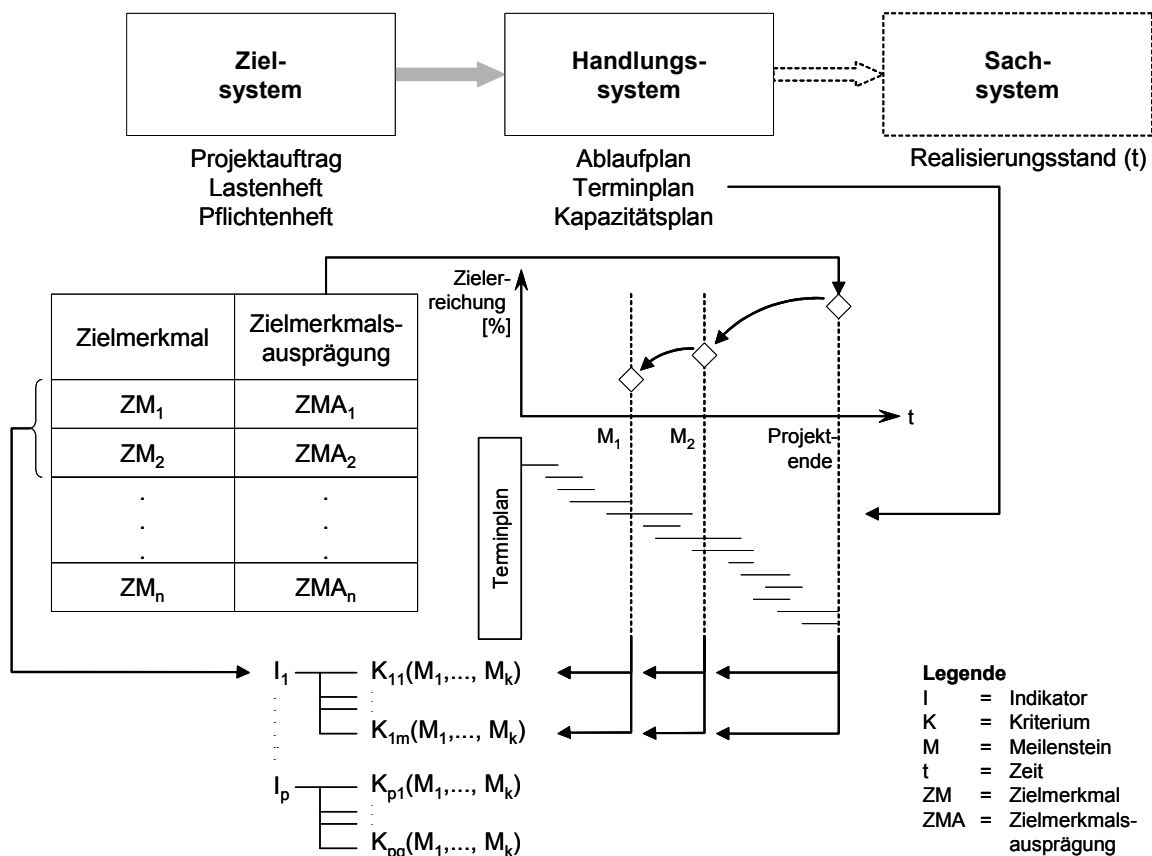
**Bild 4-2: Eigenschaften eines Risikoindikators**

Die Dokumentation der Risikobewertungsergebnisse wird ebenfalls den Indikatoren als bewertungszeitpunktstabhängige Risikoinformation zugeordnet. Diese Dokumentation beinhaltet neben einem Risiko- und Bemerkungstext eine Risikokategorie sowie gegebenenfalls zugeordnete Risikosteuerungsmaßnahmen. Im Risikoinformationsmodell unterliegen die gesamten Risikobewertungsergebnisse der höchsten zeitlichen Dynamik. Sie fallen bei jedem Bewertungszeitpunkt an.

Bei der Definition von Indikatoren bildet das Ziel- und Handlungssystem die Grundlage. Aus dem Zielsystem werden mehrere Zielmerkmale zusammengefasst und hierzu Indikatoren festgelegt. Das in der Regel auf dem Zielsystem aufbauende Handlungssystem<sup>1</sup> umfasst die

<sup>1</sup> Vgl. Kapitel 3.1.3

Aktivitäten und Ressourcen des Projekts und beschreibt u. a. deren zeitliche Abfolge. Zusätzlich zu den aus dem Zielsystem abgeleiteten Indikatoren werden aus dem Handlungssystem Indikatoren abgeleitet, so z. B. für das Vorliegen oder die Einhaltung des Terminplans. Die definierten Indikatoren werden zum Zweck der Messbarkeit durch meilensteinspezifische Kriterien konkretisiert. Bei der Bildung dieser Kriterien wird von Projektendzielen ausgegangen, die sich aus den Zielmerkmalsausprägungen am Projektende ergeben. Nach Abschluss der Planung des Handlungssystems können die Kriterien spezifisch zu den einzelnen Meilensteinen definiert werden (Bild 4-3).

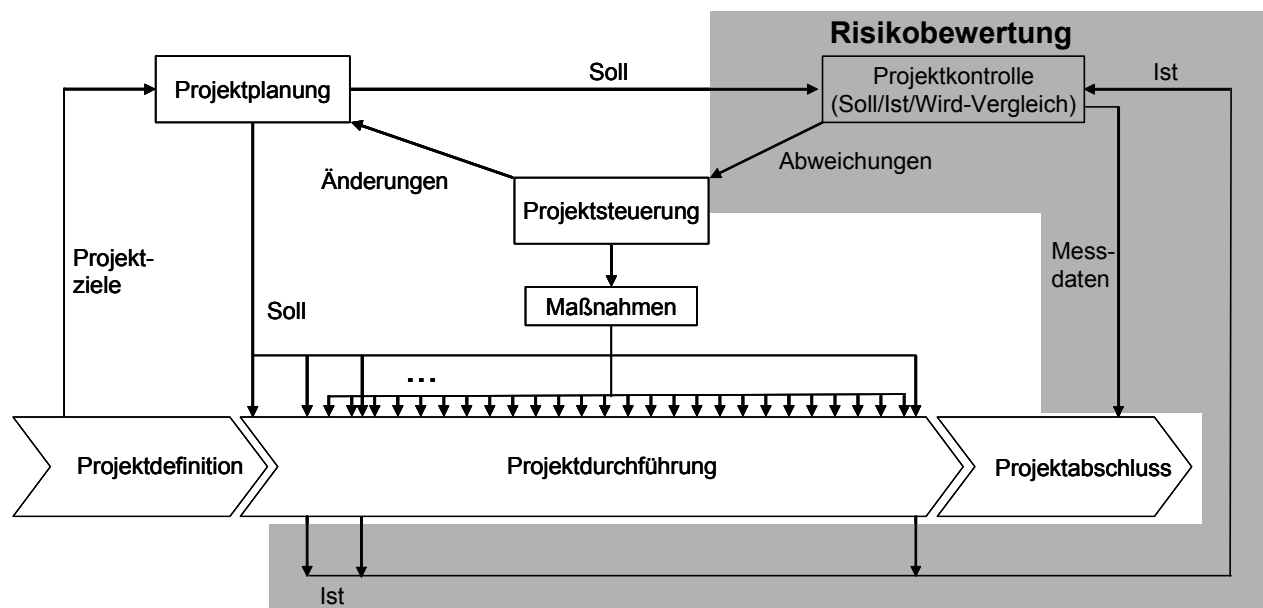


**Bild 4-3: Ergebnis- und ablauforientierte Risikobetrachtung**

Indikatoren beschreiben die Zielmerkmale, die über die Definition von Kriterien messbar gemacht werden. Somit sind die Kriterien ein Hilfsmittel, das eine ergebnis- und ablauforientierte Risikobetrachtung ermöglicht.

## 4.2 Bewertungsmethode

Im Projektverlauf werden im Rahmen des Projektmanagements die Aufgaben der Projektplanung, Projektkontrolle und Projektsteuerung durchgeführt.<sup>1</sup> In dem in Bild 4-4 dargestellten Projektmanagement-Regelkreis werden diese Aufgaben und ihre Zusammenhänge aufgezeigt. Die Risikobewertung ist darin in der Rückführungsschleife eingeordnet. Bei der Risikobewertung werden die Informationen des Ist-Standes der Projektdurchführung sowie der Wird-Prognosen unter Berücksichtigung der Projektplanung herangezogen und mit den Soll-Vorgaben aus der Zielplanung verglichen.



Quelle: In Anlehnung an Wißler/Vogt (2000), S. 178

**Bild 4-4: Risikobewertung im Projektmanagement-Regelkreis**

Jeder Risikobewertung in einem Entwicklungsprojekt liegt eine Unvollkommenheit der Informationsbasis zugrunde, die dadurch charakterisiert ist, dass mögliche zukünftige Ereignisse zwar bekannt sein können, die Wahrscheinlichkeit ihres Eintretens aber gar nicht oder nur durch objektive oder subjektive Eintrittswahrscheinlichkeiten vorhergesagt werden kann.<sup>2</sup> Der Bekanntheitsgrad der Informationsbasis ergibt sich aus den vorliegenden Erfahrungen, die im Rahmen von Konstruktion und Erprobung über das technische Sachsystem erhalten werden. Je mehr technische Parameter konkretisiert sind bis hin zu gefertigten Prototypen, die festgelegte Erprobungen mit definierten Beanspruchungen erfolgreich absolviert haben,

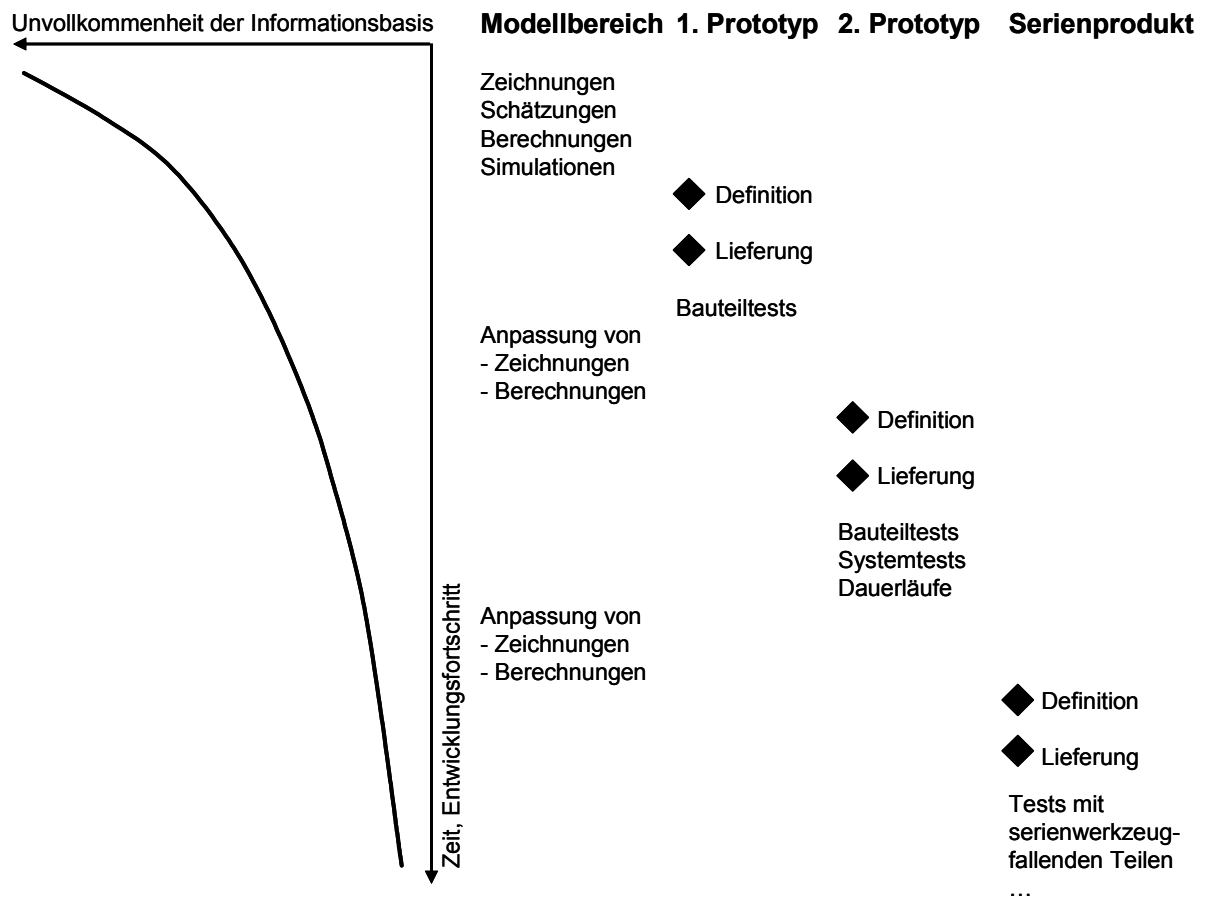
<sup>1</sup> Vgl. Kapitel 2.2.3.2

<sup>2</sup> Vgl. Kapitel 2.1.1

desto objektiver können Risikobewertungen durchgeführt werden.

Bei der Entwicklung von komplexen Serienprodukten werden in der Regel mehrere Iterationsschleifen durchgeführt. Diese Iterationsschleifen basieren auf dem TOTE-Modell<sup>1</sup> und ermöglichen das Lernen aus Erfahrungen mit einem konkreten Objekt. Die Anzahl der gewählten Iterationsschleifen in einem Entwicklungsprojekt wird in Abhängigkeit von den vorliegenden Erfahrungen mit einer Baugruppe und den zeitlichen Restriktionen festgelegt.

Die Unvollkommenheit der Informationsbasis nimmt im Projektverlauf mit den wachsenden Konkretisierungen und vorliegenden Validierungen ab. Eng mit der Unvollkommenheit der Informationsbasis im technischen Sachsystem hängt auch die Belastbarkeit der Risikobewertungsergebnisse zusammen. Als Folge der Bestimmtheit von Informationen nimmt der Subjektivitätsgrad der Risikoeinschätzungen ab, wodurch die Bewertungsergebnisse belastbarer werden (Bild 4-5).



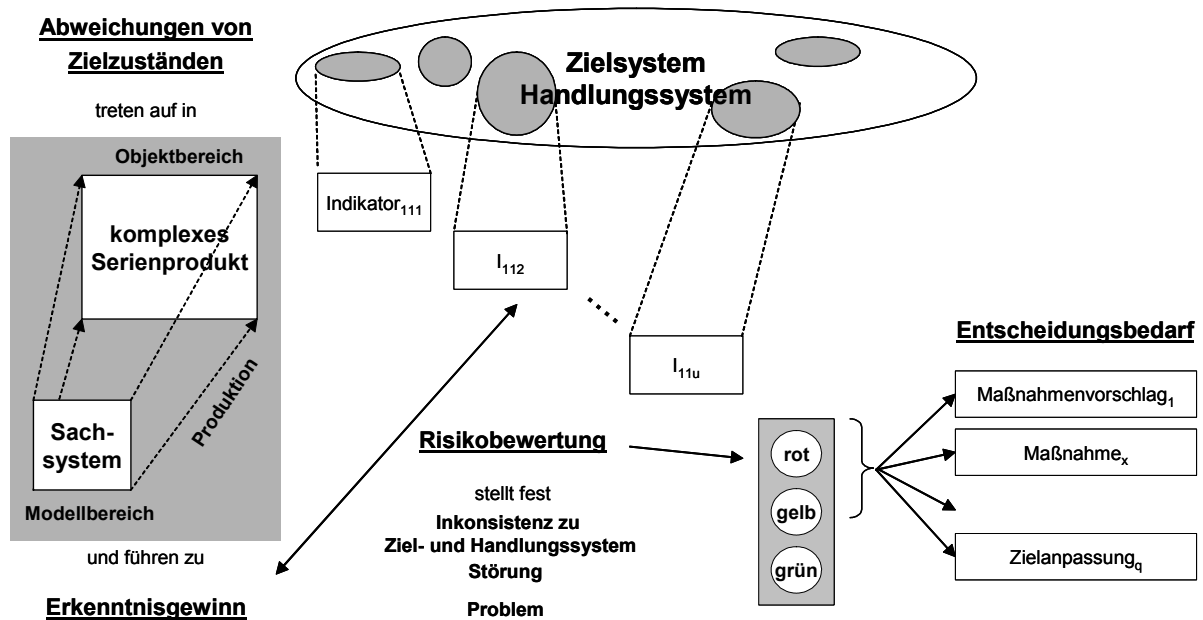
**Bild 4-5: Unvollkommenheit der Informationsbasis im Projektverlauf**

<sup>1</sup> Vgl. Kapitel 3.4.4



Bei der Risikobewertung werden der Erreichung zukünftiger Zielzustände des technischen Sachsystems durch den Bewertungsverantwortlichen subjektive oder wenn vorhanden objektive Eintrittswahrscheinlichkeiten zugeordnet. Eine objektive Eintrittswahrscheinlichkeit liegt beispielsweise bei einem Berechnungsergebnis vor, das das Versagen eines Bauteils basierend auf einem validierten Berechnungsverfahren voraussagt.

Die Bewertungsmethode soll zur Reduzierung des Bewertungsaufwands eine dezentrale Risikobewertung ermöglichen. Hierzu müssen für ein wirksames technisches Risikomanagement, das die Kommunikation von Risiken unterstützt und die Entscheidungen im Projekt verbessert, das Informationsmodell und die Bewertungsmethode aufeinander abgestimmt sein. Die wesentlichen Beziehungen ihres Zusammenwirkens stellt Bild 4-6 dar.



**Bild 4-6: Erkenntnisgewinn, Risikobewertung und Entscheidungsbedarf**

Im Projektverlauf wird die Festlegung des Produkts zunehmend konkretisiert. Es entstehen im Modellbereich des Sachsystems zum einen Konstruktionsunterlagen wie Zeichnungen und Stücklisten, denen Geometrie-, Material- und Dimensionierungsentscheidungen zugrunde liegen. Zum anderen werden im Modellbereich Erprobungen über virtuelle Techniken und CAE-Methoden durchgeführt. Weitere Erprobungen finden im Objektbereich an physisch vorliegenden Prototypen statt. Ausgehend von Abweichungen von vorgegebenen Zielzuständen, die im Modellbereich des Sachsystems oder bei realen Versuchen im Objektbereich auftreten, findet durch deren Ermittlung ein Erkenntnisgewinn statt. Die Regelung in diesem

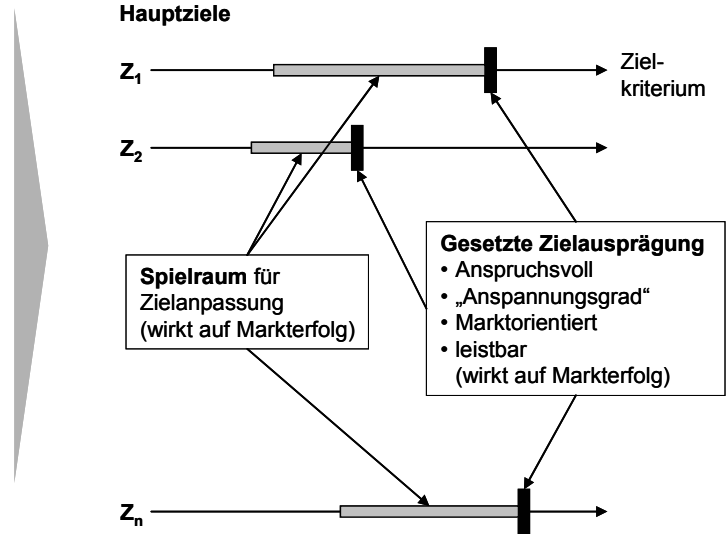
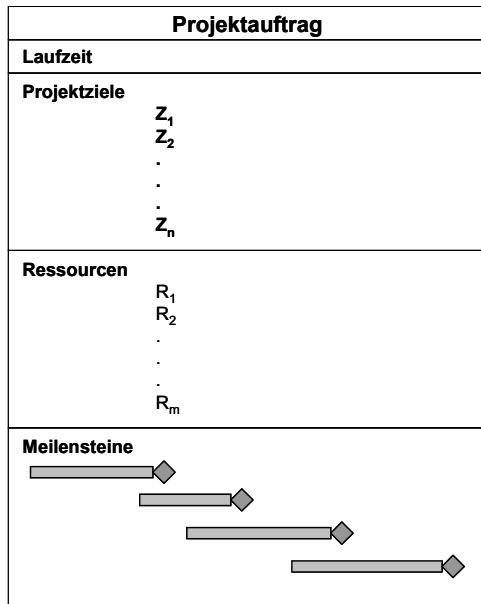
sozio-technischen System wird entsprechend der kybernetischen Ansätze<sup>1</sup> von den Projektbeteiligten durchgeführt, die als Lenkungsinstanz fungieren. Bei der regelmäßig stattfindenden Risikobewertung stellen die Projektbeteiligten bei der „Spiegelung“ von Realität und Prognose an den in den Kriterien der einzelnen Indikatoren verankerten Zielen Inkonsistenzen, Störungen oder Probleme fest. Um das Ziel zum nächsten Meilenstein dennoch zu erreichen, werden im Handlungssystem zusätzliche Aktivitäten, die über den bisherigen Planungsstand hinaus notwendig sind, geplant. Die Handlungsoptionen können dabei eine breite Spanne von entschiedenen Maßnahmen im Handlungsbereich des Bewerter über vorgeschlagene Maßnahmen für andere Gremien bis hin zu Zielanpassungsanträgen an die Auftraggeber des Projektes einnehmen. Angelehnt an die Theorien der begrenzt rationalen Wahl<sup>2</sup> ist zu beachten, dass der Entscheider nur solange Rückkopplungsschleifen durchläuft und alternative Maßnahmen prüft, bis er eine das eigene Anspruchsniveau befriedigende Lösung gefunden hat.

Die wesentlichen Projektziele (z. B. Produktkosten, Funktionalitäten) müssen permanent und mit hoher Sorgfalt überwacht werden, da zu hohe, nicht bewältigbare Risiken bzw. Zielanpassungen unter tragfähige Minimalausprägungen als Projektabbruchkriterien gelten können. Zielanpassungen sollten nur als ultima ratio angewendet werden, da die Auswirkungen nicht erreichter Ziele u. a. den Markt- und wirtschaftlichen Erfolg des Produktes erheblich reduzieren können. Um auch in diesem Bereich Handlungsspielraum während des Projektablaufs zu haben, sollten Auftraggeber von Projekten bei der Definition des Projektauftrages derart hohe, anspruchsvolle Ziele festlegen, dass bei einer Anpassung der Ziele nach unten zwar der Markt- und wirtschaftliche Erfolg reduziert, aber dennoch ein Gewinn erzielt wird (Bild 4-7).

---

<sup>1</sup> Vgl. Kapitel 3.2

<sup>2</sup> Vgl. Kapitel 3.4

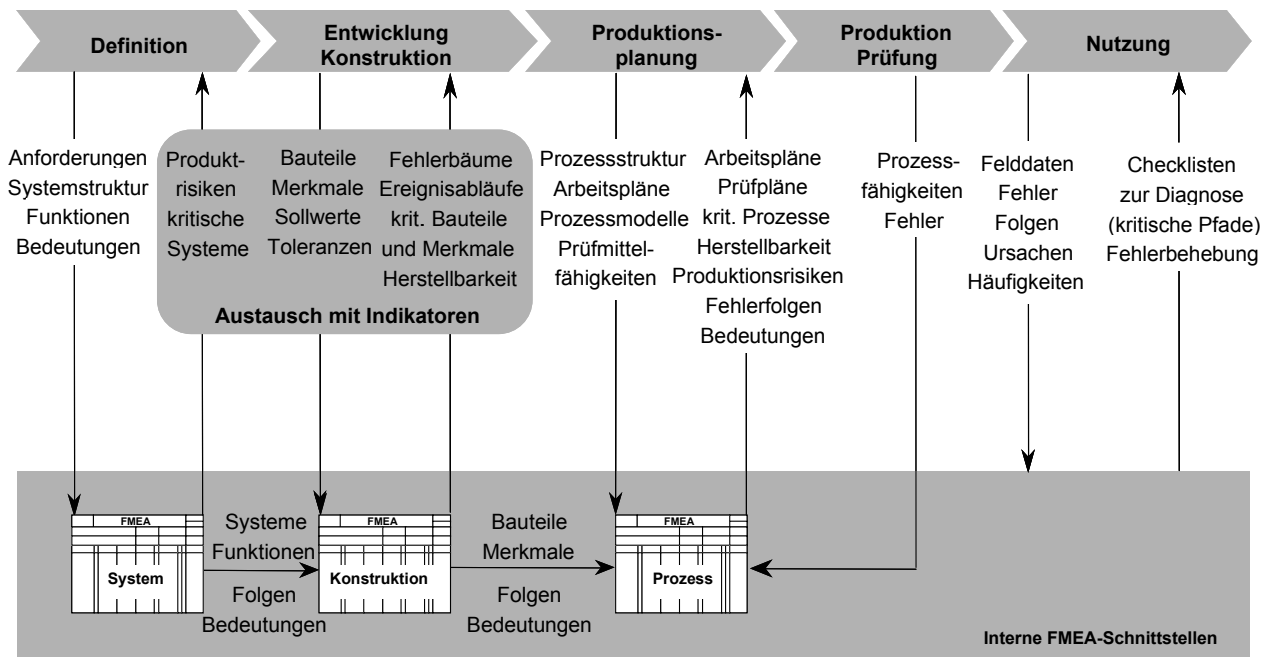


**Bild 4-7: Ziellanpassungen und Markterfolg**

### 4.3 Integrationsaspekte

Das Informationsmodell und die Risikobewertungsmethode sind eine Ergänzung der bestehenden Ansätze des Risikomanagements bei der Produktentwicklung. Daher ist ihre Vernetzung mit der Projektplanung, -überwachung und -steuerung sowie den Risikobewertungsverfahren FMEA, FTA und ETA zu berücksichtigen.

Zur Definition und Beschreibung der Indikatoren und Kriterien kann bei Vorliegen von FMEAs auf deren Informationen zurückgegriffen werden (Bild 4-8).

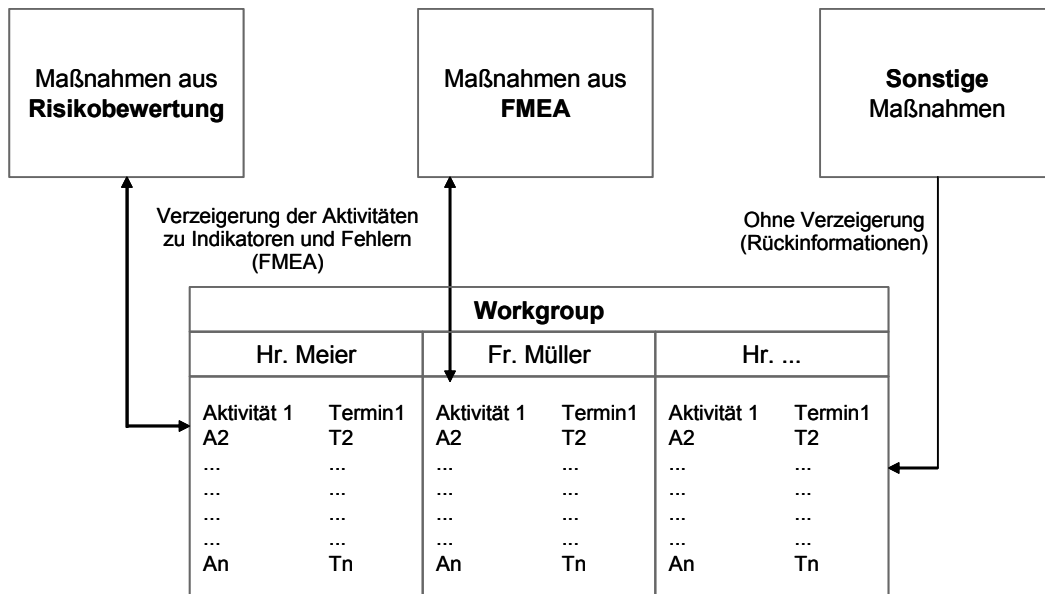


Quelle: In Anlehnung an Schloske (1999), S. 23

#### Bild 4-8: Austausch von FMEA- und Risikobewertungsinformationen

Aus den detaillierten Risikobetrachtungen von FMEA, FTA und ETA können besonders sicherheitskritische Fehlfunktionen bzw. Ereignisabläufe mit einer hohen Bedeutung in den Indikatorenbeschreibungstexten hinterlegt werden.

Die Vielzahl von Maßnahmenlisten, die in den verschiedenen Methoden entstehen, können zusammengefasst werden, um weitere Effizienzpotenziale zu erschließen. Vorstellbar ist eine Kopplung mit Workgroup-Systemen (Bild 4-9) oder die Integration in Projektmanagementsysteme.



Quelle: In Anlehnung an Wißler/Vogt (2000), S. 181

#### **Bild 4-9: Integrationspotenziale bei Kopplung von Methoden**

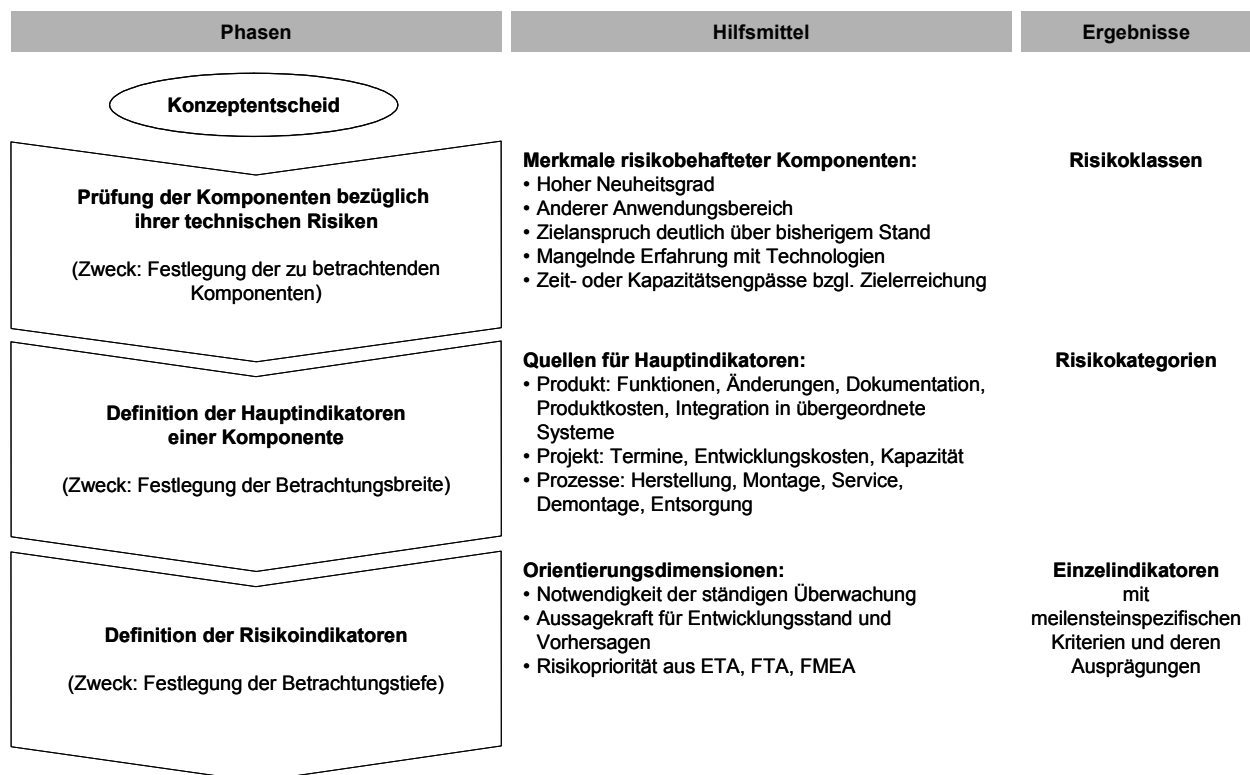
Ein weiterer Aspekt stellt die Integration von Lieferanten dar. In den meisten Entwicklungsprojekten werden eine Vielzahl an externen Lieferanten mit Entwicklungsumfängen beauftragt, deren Risiken ebenfalls regelmäßig eingeschätzt werden müssen. Die Art und Weise der Einbindung hängt sowohl von dem Maß der Kooperation als auch dem entgegengebrachten Vertrauen ab und variiert von der übertragenen Verantwortung einer eigenständigen Indikatorenbewertung durch den Lieferanten bis hin zu einer direkten persönlichen Steuerung des Lieferanten durch den Auftraggeber.

## 5 Operationalisierung des Risikobewertungsverfahrens

### 5.1 Vorgehen und Instrumente zum Aufbau des Risikoinformationsmodells

Nachdem bei einem Entwicklungsprojekt im Rahmen der Produktplanung alternative Produktkonzeptionen erarbeitet und bewertet sind, wird beim Konzeptentscheid die beste Alternative ausgewählt. Dieses entschiedene technische Konzept enthält Restrisiken, von denen der Projektauftraggeber der Meinung ist, dass sie im Rahmen der Produktentwicklung derart gehandhabt werden können, dass die wesentlichen Projektziele erreicht werden.

Mit Beginn der Serienentwicklung wird das in Kapitel 4.1 beschriebene Risikoinformationsmodell mit seinen Risikobewertungsobjekten aufgebaut. Bei diesem Aufbau wird mit der Festlegung von Betrachtungsumfang und -tiefe der im Projektverlauf auftretende Risikobewertungsaufwand entscheidend bestimmt. Daher ist das Vorgehen zum Aufbau des Risikoinformationsmodells von hoher Bedeutung. Bild 5-1 beschreibt das drei Schritte umfassende Vorgehen zur Definition der Risikobewertungsobjekte.



**Bild 5-1: Vorgehen zur Definition der Risikobewertungsobjekte**

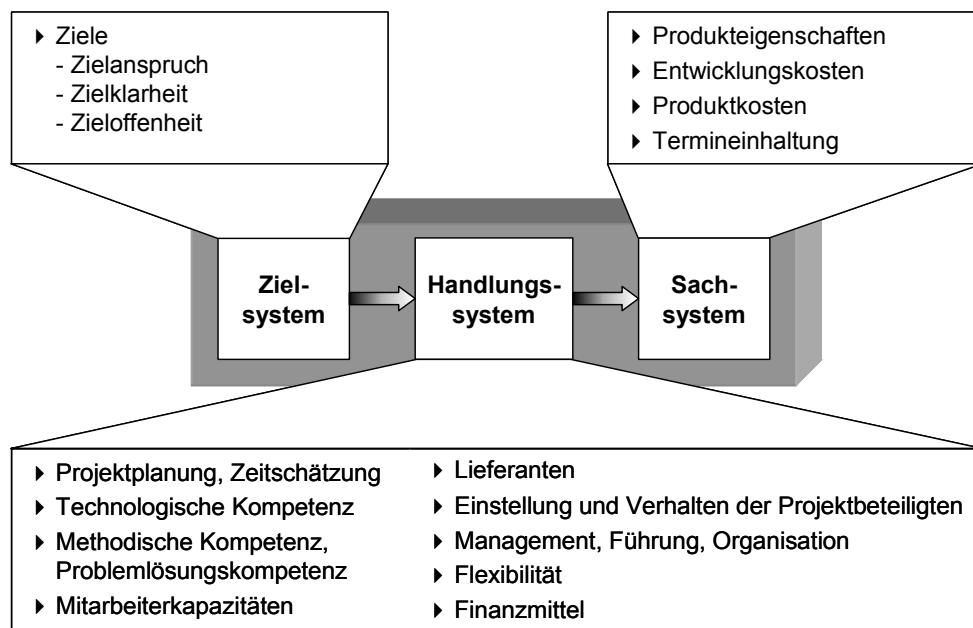
Ausgehend von Projektzielen, Projektablaufplan, Projektaufbauorganisation und Produktkonzept werden in einem ersten Schritt die Komponenten des Produktes bezüglich technischer Risiken geprüft. Im zweiten Schritt erfolgt für jede der zu betrachtenden Komponenten die

Definition der Hauptindikatoren, mit der die Betrachtungsbreite festgelegt wird. Zur Festlegung der Betrachtungstiefe werden dann im dritten Schritt die Risikoindikatoren definiert. Im Folgenden werden die Instrumente zur Unterstützung der drei Vorgehensschritte vorgestellt.

### 5.1.1 Prüfung der Komponenten bezüglich technischer Risiken

Eine erste Analyse und Einschätzung der Projektrisiken kann erfolgen, nachdem die Rahmendaten des Projektes festgelegt und wesentliche Projektentscheidungen getroffen sind. Zu diesen Voraussetzungen gehören in der Praxis vor allem das Vorliegen von Konzeptentscheid und technischer Konzeptbeschreibung, die in der Regel die Basis für eine Projektbeauftragung darstellen.

Bei der Risikoidentifikation<sup>1</sup> erfolgt die Erfassung sämtlicher Risiken des Projektes. In einem strukturierten Ansatz können hierzu die drei Systeme der Produktentwicklung<sup>2</sup> verwendet werden (Bild 5-2). Die Risiken in Ziel-, Handlungs- und Sachsystem werden in einer Initialbewertung eingeschätzt.



**Bild 5-2: Potenzielle Risiken in Ziel-, Handlungs- und Sachsystem**

<sup>1</sup> Vgl. Kapitel 2.1.3

<sup>2</sup> Vgl. Kapitel 3.1.3

Die Auswahl erfolgskritischer Komponenten für die Festlegung der ersten Ebene des Indikatorenbaums aus allen Komponenten des Produkts ermöglicht eine Verringerung der Informationen auf das Wesentliche und reduziert damit den organisatorischen Aufwand für Verwaltung und Bewertung der Risiken.

Das Risiko von einzelnen Komponenten wird im Wesentlichen bestimmt durch die Merkmale<sup>1</sup>

- Hoher Neuheitsgrad,
- Anderer Anwendungsbereich,
- Zielanspruch deutlich über bisherigem Stand,
- Mangelnde Erfahrung mit Technologien und
- Zeit- oder Kapazitätsengpässe bezüglich Zielerreichung.

Mit Hilfe einer Bewertungsmatrix können die einzelnen Komponenten hinsichtlich ihres Risikos eingeschätzt werden (Bild 5-3). Eine anschließende Gewichtung und Summation ergibt eine Projektrisikoaussage.

	Gesamtsystem	Komponente 1	Komponente 2	Komponente 3	...
▶ Hoher Neuheitsgrad	●	○	○	○	○
▶ Anderer Anwendungsbereich	○	●	●	○	○
▶ Zielanspruch deutlich über bisherigem Stand	●	○	●	○	●
▶ Mangelnde Erfahrung mit Technologien	●	○	●	○	○
▶ Zeit- oder Kapazitätsengpässe bezüglich Zielerreichung	○	○	●	○	○

● = trifft zu      ○ = trifft nicht zu

**Bild 5-3: Einschätzung der Risiken von einzelnen Komponenten**

<sup>1</sup> Vgl. Kapitel 2.1.4



Geringe Risiken bestehen in der Regel bei übernommenen Komponenten aus früheren Entwicklungen, deren Anwendungsbereich hohe Ähnlichkeiten aufweist. Bestehen jedoch Risiken in einem der angegebenen Bereiche, so ist die Betrachtung der Komponente zu empfehlen. Hierbei ist je nach Höhe des eingeschätzten Risikos die Anzahl von Hauptindikatoren und Indikatoren festzulegen.

### **5.1.2 Definition von Hauptindikatoren**

Hauptindikatoren haben den Zweck einer den Einzelindikatoren übergeordneten Klammer, die die verschiedenen Dimensionen bei der Risikobewertung beschreiben. Um diese Dimensionen über den Projektverlauf zur besseren Orientierung konstant zu halten, werden allgemeine Dimensionsdefinitionen empfohlen, deren Quellen die Kategorien Produkt, Projekt und Prozesse darstellen. Aus ihnen können folgende Hauptindikatoren abgeleitet werden:

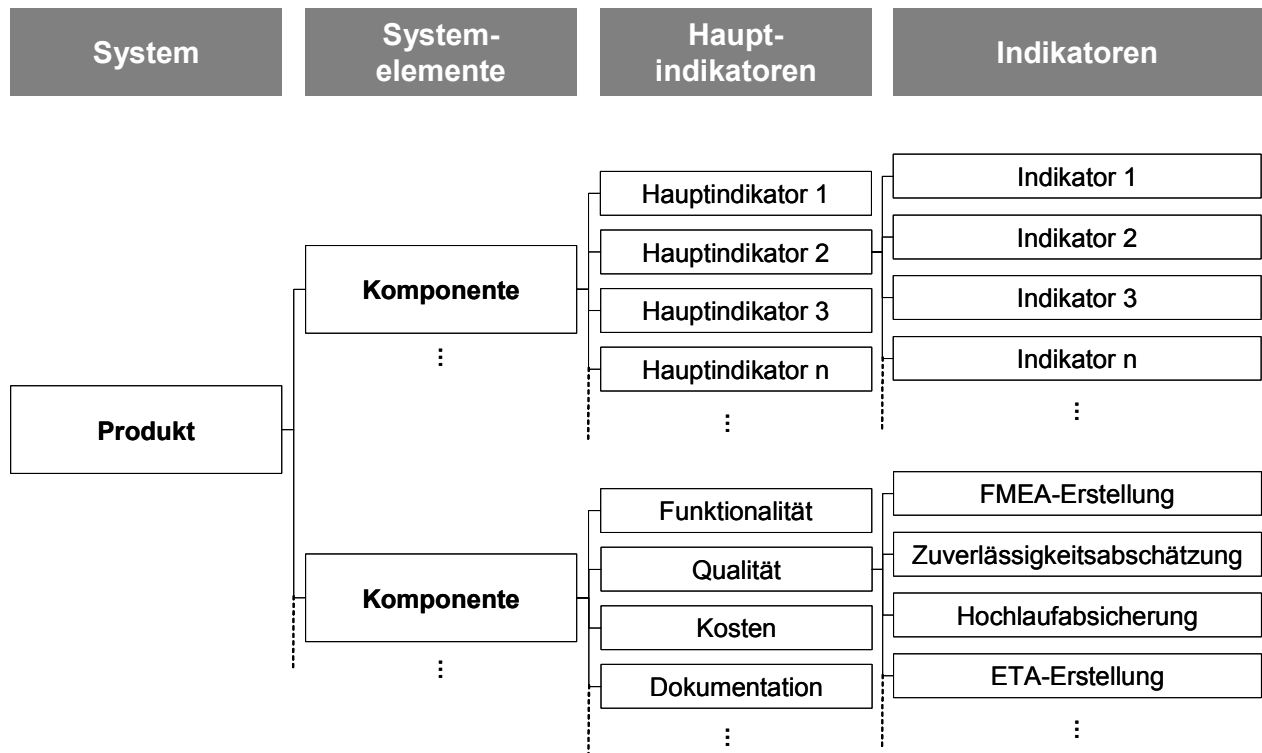
- Produkt: Funktionen, Änderungen, Dokumentation, Produktkosten, Integration in übergeordnete Systeme, Dimensionen etc.
- Projekt: Termine, Entwicklungskosten, Kapazität etc.
- Prozesse: Herstellung, Montage, Service, Demontage, Entsorgung etc.

### **5.1.3 Definition von Risikoindikatoren und -kriterien**

Indikatoren können die verschiedensten Sachverhalte eines Projektes beschreiben:

- Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen (z. B. Zielkosten für Komponenten),
- Technische Forderungen (z. B. Materialien, Kräfte, Oberflächengüte),
- Gesetzliche Vorgaben, interne und allgemeingültige Normen,
- Qualitätsforderungen,
- Arbeitspakete etc.

Bei der Produktentwicklung werden ausgehend von der technischen Struktur des Entwicklungsgegenstandes die Indikatoren in einem Indikatorenbaum (Bild 5-4) strukturiert. Dies erhöht die Übersichtlichkeit und ermöglicht darüber hinaus eine sinnvolle Aggregation der anfallenden Informationen für Projektstatusbesprechungen.



Quelle: In Anlehnung an Heiler/Wißler (1999), S. 27

**Bild 5-4: Strukturierung der Risikoindikatoren in einem Indikatorenbaum**

Bei der Definition von Indikatoren hilft die Orientierung an folgenden Punkten:

- Notwendigkeit der ständigen Überwachung
- Aussagekraft für Entwicklungsstand und Vorhersagen
- Risikopriorität aus FTA, FMEA, ETA, sofern vorhanden

Bei der Festlegung der Indikatoren sollte man sich auf die wesentlichen konzentrieren, um während der gesamten Risikobewertung ein vertretbares Verhältnis zwischen Bewertungsaufwand und der Relevanz der zu bewertenden Indikatoren sicherzustellen.

Nach der erstmaligen Definition von Risikoindikatoren kann aus diesen ein Referenzmodell festgelegt werden, das bei der späteren Anwendung des Risikobewertungsverfahrens bei der Entwicklung ähnlicher Produkte durch die Verwendung und Anpassung der Indikatoren und Kriterien den Aufwand reduziert.

Indikatoren, Hauptindikatoren und Komponenten werden durch namentlich benannte Verantwortliche betreut, welche die Bewertung der jeweils darunter liegenden Ebene koordinieren und nach der Bewertung gegebenenfalls mögliche Risiken und Maßnahmen mit den Bewertern diskutieren sowie auf Plausibilität prüfen. Die Zuordnung der Verantwortlichkeiten für die Risikobewertung erfolgt zur Erreichung einer höheren Leistungsfähigkeit nach dem Prin-

zip der vollständigen und ganzheitlichen Arbeitsinhalte<sup>1</sup>, bei dem Planung, Durchführung und Ergebnisbewertung selbstständig und aus einer Hand stattfinden. Die Festlegung von Komponenten, Hauptindikatoren und Indikatoren kann und sollte sich an der Organisation des Projektes orientieren, so dass über die Anknüpfung an bestehende Strukturen eine hohe Strukturähnlichkeit entsteht.

Für die Definition der Kriterien wurde aus der Zieltheorie<sup>2</sup> die Erkenntnis entnommen, dass Zielklarheit, Zielakzeptanz, Zielschwierigkeit und Feedback über Zielerreichung die Leistung positiv beeinflussen. Eine hohe Zielklarheit wird durch eine meilensteinspezifische Konkretisierung erreicht. Zielschwierigkeit und Zielakzeptanz sowie Feedback werden durch kooperative Vereinbarungen zwischen internen Kunden und Lieferanten erzielt. Hierdurch werden einerseits die situativen Merkmale der Projektphasen berücksichtigt und andererseits die Akzeptanz der Bewertungsergebnisse erhöht.

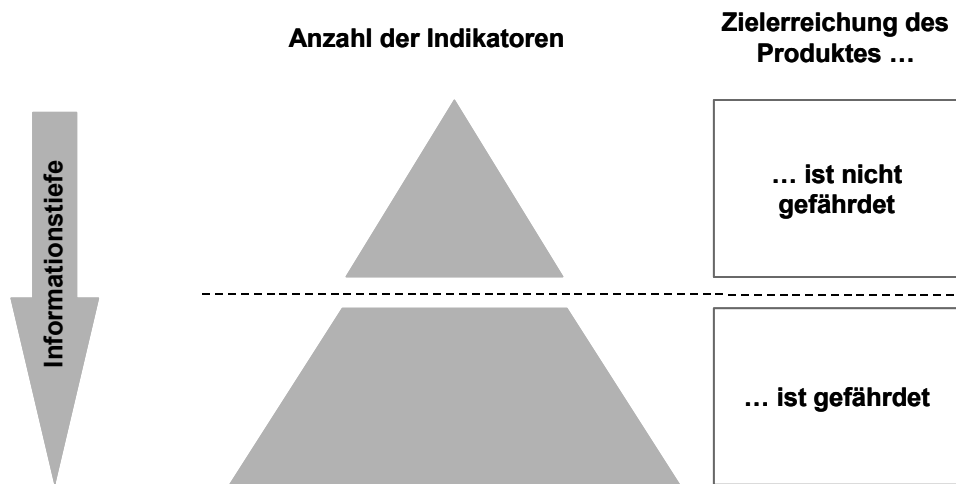
#### **5.1.4 Review und Anpassung des Risikoinformationsmodells**

Die Anzahl der definierten Indikatoren ist während des Projektfortschritts dynamisch und richtet sich nach dem aktuellen Projektrisiko (Bild 5-5). Daher muss das Risikoinformationsmodell in regelmäßigen zeitlichen Abständen beziehungsweise nach größeren Veränderungen von Projektinhalten überprüft und gegebenenfalls angepasst werden. Hierbei ist es von Bedeutung, dass eine Änderung nicht laufend erfolgt, sondern in festgelegten Zyklen durchgeführt wird. Hierdurch bleibt die Orientierung und Transparenz erhalten.

---

<sup>1</sup> Vgl. Kapitel 3.3.2

<sup>2</sup> Vgl. Kapitel 3.3.1



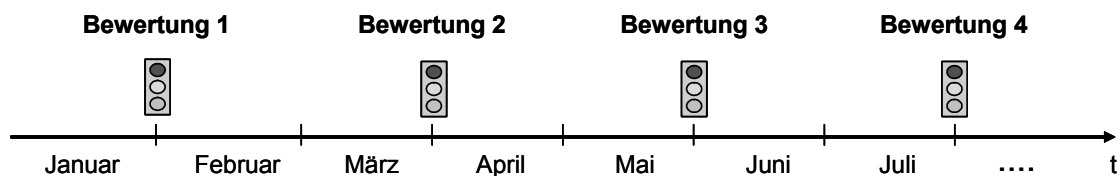
Quelle: Wißler (2000), S. 75

**Bild 5-5: Informationstiefe in Abhängigkeit von Projektrisiken**

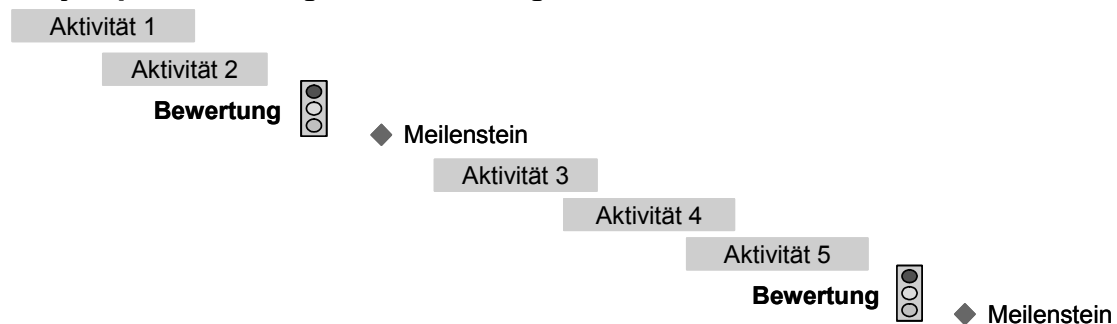
### 5.1.5 Risikobewertungsfrequenz

Nachdem die Indikatoren festgelegt sind, werden die Bewertungszeitpunkte festgelegt. Sie können sich an festen Zeitabständen oder an inhaltlichem Projektfortschritt orientieren (Bild 5-6).

#### Regelmäßige (zeitbezogene) Bewertung



#### Projektphasenbezogene Bewertung



Quelle: Wißler (2000), S. 78

**Bild 5-6: Zeit- bzw. projektphasenbezogene Festlegung von Bewertungszeitpunkten**

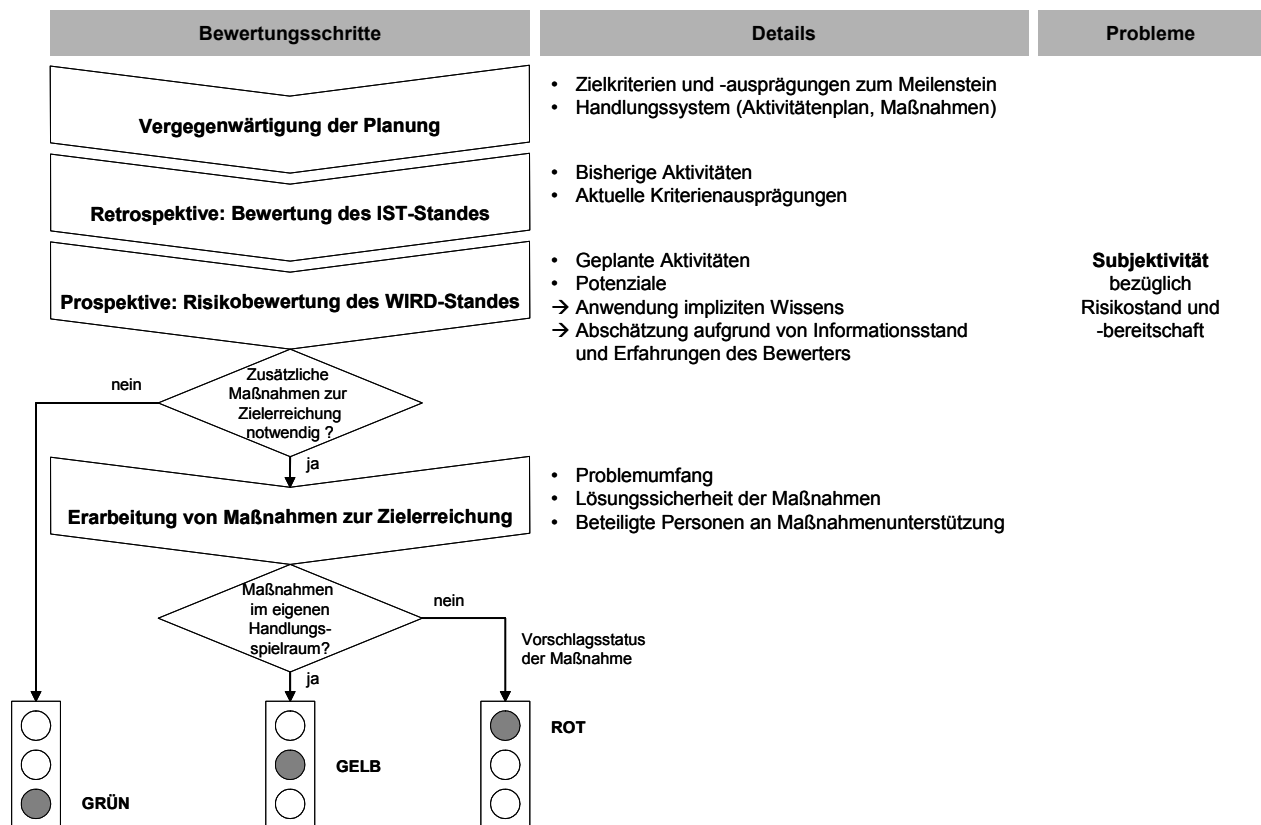
Bei der zeitbezogenen Bewertung sollten die Zeitpunkte so gewählt werden, dass Erkenntnisfortschritt und Bewertungsaufwand in einem angemessenen Verhältnis stehen. Eine Bewertung alle ein bis zwei Monate kann hier empfohlen werden.

Bei der projektphasenbezogenen Bewertung wird die Risikobewertung meist unmittelbar vor einem Meilenstein durchgeführt. Dies hat den Vorteil, dass die Projektbeteiligten ihre Aktivitäten und Bemühungen auf diesen Bewertungszeitpunkt ausrichten und so inhaltlich bedeutungsvolle Zwischen- und Endergebnisse mit einer höheren Wahrscheinlichkeit erreicht werden.

## **5.2 Risikobewertungsmethode**

Die Methode der Risikobewertung umfasst den Bewertungsprozess (Bild 5-7) und die benötigten Hilfsmittel zur Durchführung der Risikobewertung.

Die Bewertung des Entwicklungsstandes bezüglich der Risiken erfolgt durch „Experten“ auf der Ebene der Indikatoren. Diese Experten sind Mitarbeiter des Projektes, welche aufgrund ihrer jeweiligen Aufgaben im Projekt den aktuellen Status und mögliche Risiken der Teilziele des Projektes kennen und bewerten können. Das Ergebnis dieser Bewertung wird in Form einer Ampelfarbe angezeigt.



**Bild 5-7: Ablauf des Risikobewertungsprozesses**

Risikobewertungen für ein Projekt werden in einem definierten Zeitraum (beispielsweise eine Woche) durchgeführt, um einen möglichst einheitlichen Informationsstand zu ermöglichen. Die einzelnen Bewertungsschritte, die bei jedem Bewertungsprozess zyklisch durchlaufen werden, sind im Folgenden detailliert beschrieben.

### 5.2.1 Vergegenwärtigung der Planung

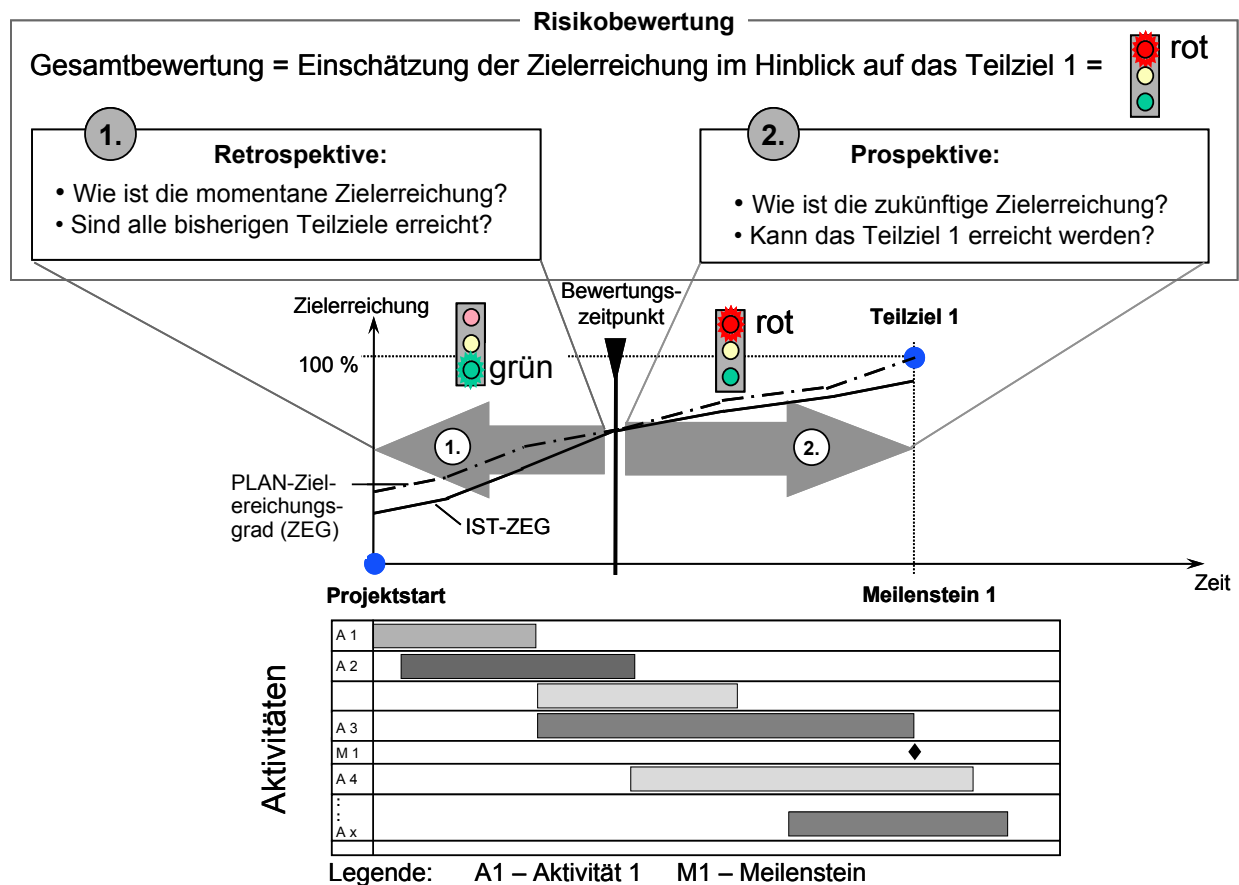
Im ersten Schritt muss sich der Indikatorverantwortliche die Ziele und die geplanten Aktivitäten vergegenwärtigen. Für eine geringe Bearbeitungszeit ist es von Bedeutung, dass die Planungsinformationen schnell zugänglich und übersichtlich dargestellt sind. Hier kann eine Kopplung zu elektronischen Lastenheften und Aktivitätenplänen helfen.

### 5.2.2 Retrospektive und Prospektive bei der Risikobewertung

Betrachtet man ein Projekt über die Zeit, erkennt man in der Regel einen ansteigenden Verlauf des Zielerreichungsgrades. Bei dem in dieser Arbeit vorgestellten Risikobewertungsverfahren wird nun nicht die Anstrengung unternommen, die Prozent-Werte von Plan- und Ist-Zielerreichungsgrad einschätzen zu lassen, da dieser Ansatz eine Scheingenaugkeit des Projektstandes hervorbringt, die für die Projektsteuerung ungeeignet ist.

Das Risikobewertungsverfahren basiert vielmehr auf den Einschätzungen von selbstverant-

wortlichen, am Projekt beteiligten Experten, die die Risikoindikatoren sowohl vergangenheits- als auch zukunftsorientiert betrachten (Bild 5-8). Die vergangenheitsbasierte Betrachtung ermittelt den aktuellen Status im Hinblick auf die aktuelle Zielerreichung (retrospektive Betrachtung). In der zukunftsorientierten Betrachtung erfolgt die Einschätzung der Zielerreichung im Hinblick auf den nächsten Meilenstein bzw. das Projektende (prospektive Betrachtung).



**Bild 5-8: Risikobewertung der Teilzielerreichung**

Unter Berücksichtigung der geplanten Aktivitäten findet Risikobewertung der Zielerreichung statt. Steuerungsnotwendigkeit<sup>1</sup> ergibt sich, wenn zum Bewertungszeitpunkt entweder der Ist- unterhalb des Plan-Zielerreichungsgrads ist oder der erwartete Wird-Zielerreichungsgrad die geplanten Teilziele voraussichtlich nicht erreichen wird.

### 5.2.3 Risikosteuerung und Risikoinformationsrepräsentation

Wenn das Projekt so verläuft, wie es geplant ist und keine unvorhergesehenen Störereignis-

<sup>1</sup> Vgl. Kapitel 3.2

se auftreten, die zusätzliche, über die geplanten Aktivitäten hinausgehende Maßnahmen erfordern, wird die Ampel auf grün gesetzt.

Wenn zusätzliche Aktivitäten notwendig werden, um die geplanten Ziele zu erreichen, wird ein Maßnahmenfindungs- und -entscheidungsprozess angestoßen. Hierbei werden von den Bewertungsverantwortlichen potenzielle Maßnahmen gesammelt und zu Maßnahmenalternativen geformt, die bewertet sowie schließlich ausgewählt werden.

Bei der anschließenden Betrachtung erfolgt die Einstufung, ob die ausgewählten Maßnahmen im Handlungsspielraum<sup>1</sup> des zuständigen Teams liegen. In diesem Zusammenhang ist der Handlungsspielraum der Bereich, für den ein Bewerter die Entscheidungskompetenz und -verantwortung hat (z. B. Überstunden, Beauftragung zusätzlicher Personen, Beauftragung von Lieferanten, Belastung eines Budgets).

Eine gelbe Ampel signalisiert, dass über den bisherigen Aktivitätenplan hinaus zusätzliche Maßnahmen durchgeführt werden, die Maßnahmen aber im Handlungsspielraum des Teams liegen. Diese Maßnahmen haben einen verbindlichen Charakter.

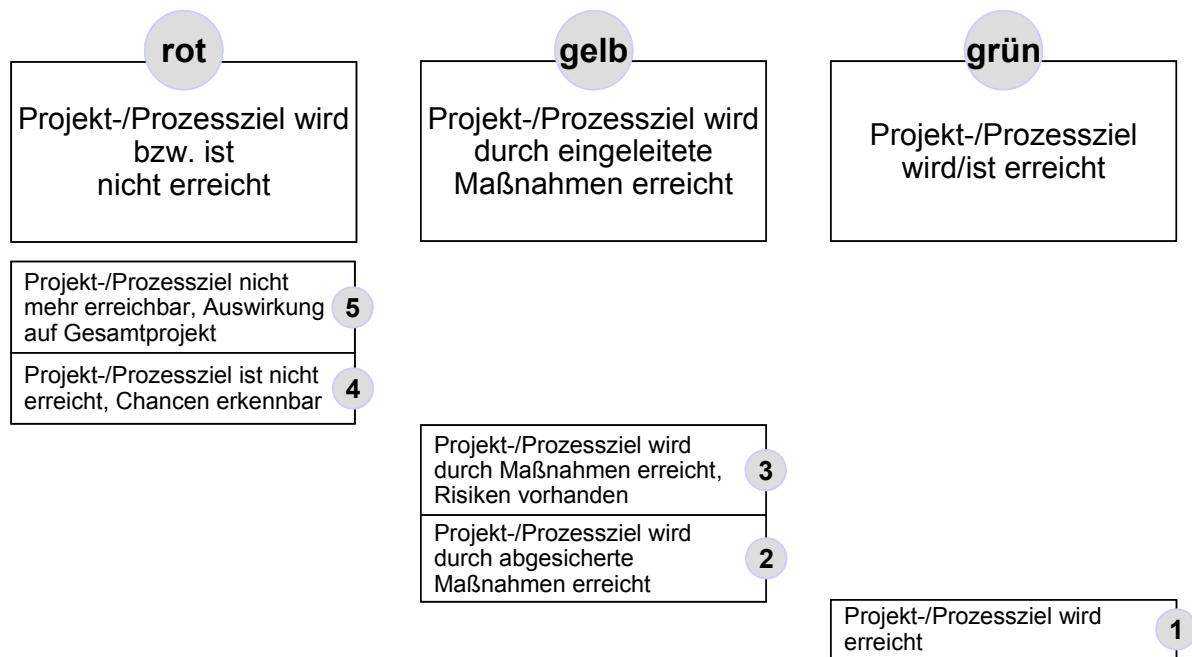
Eine rote Ampel signalisiert, dass der Handlungsspielraum des Teams erschöpft ist und somit Hilfe von übergeordneten Funktionen notwendig wird, um Meilensteinziele oder übergeordnete Projektziele zu erreichen. Die vom Team zu erarbeitenden Maßnahmen sind Zusatzmaßnahmen, die den Charakter eines Vorschlags haben und durch übergeordnete Entscheidungsträger genehmigt werden müssen.

Die Ampel stellt mit ihren drei Farben rot, gelb und grün eine einfache und intuitiv verständliche Bewertungsskala dar (Bild 5-9). Die Verwendung von zwei Stufen für die Farben gelb und rot verdeutlicht den unterschiedlichen Grad des aktuellen Risikos.

---

<sup>1</sup> Vgl. Kapitel 3.3.2





**Bild 5-9: Risikomerkmale und Ampelausprägungen**

Ampelausprägungen orientieren sich an Zusatzmaßnahmen und Handlungsspielraum des Bewerter. Angelehnt an das Konfliktmodell der Entscheidung<sup>1</sup> ist bei der Ampelbewertung die affektive Komponente der Entscheidung der Bewertungsverantwortlichen zu beachten. Mit der Entscheidung verbundene Gefühle wie Unsicherheit oder Angst sollten durch angemessenes Verhalten der Führungskräfte vermieden werden. Ansonsten kann es vorkommen, dass entweder fälschlicherweise zu lange grün oder zu früh rot entschieden wird.

### 5.3 Einbindung von Lieferanten in den Risikobewertungsprozess

Insbesondere bei einer Produktentwicklung mit hoher Anzahl von einbezogenen Lieferanten kann die erarbeitete Bewertungsmethode ihre besondere Stärke entfalten. Gerade die Dezentralität, die in der Praxis häufig eine hohe Intransparenz zur Folge hat, wird hier effizient gehandhabt, da die Indikatoren einzelnen Bewertern direkt zugeordnet sind, egal ob die Aufgaben im eigenen Unternehmen oder bei einem Lieferanten durchgeführt werden.


Sinnvoll ist die Bewertung von Indikatoren und Kriterien direkt durch die Projektbeteiligten beim Lieferanten. Organisatorisch werden die Lieferanten entweder über E-Mail zur Bewertungsabgabe im internetbasierten Bewertungssystem aufgefordert oder es erfolgt eine direkte Kommunikation zwischen den jeweiligen Mitarbeitern von Lieferant und Kunde, in der die

<sup>1</sup> Vgl. Kapitel 3.4

Projektergebnisse, -erkenntnisse und -aktivitäten über die Indikatoren systematisch und regelmäßig bewertet werden, wobei der Kundenmitarbeiter die gemeinsame Risikosicht in das System überträgt. Letztere Option hat den Vorteil einer direkten Steuerung des Lieferanten auf operativer Ebene.

#### 5.4 Auswertung, Aggregation und Kommunikation der Risikoinformationen

Die Auswertung der Risikobewertungsergebnisse kann in verschiedenen Detaillierungsgraden und auf verschiedenen Ebenen des Indikatorenbaums erfolgen. Die detaillierteste Darstellung ist die Aufführung jeder einzelnen Indikatorenbewertung unter Angabe von Risiken, Maßnahmenvorschlägen, Bewerter und Bewertungsdatum. Diese Darstellung ist vor allem für die Arbeit im Projektteam zur gemeinsamen Festlegung von zu treffenden Maßnahmen und für die Information des Projektleiters von Bedeutung (Bild 5-10).

 <b>Komponente: Funktionsssoftware</b>		<b>Risiken und Maßnahmen</b>		<b>Risikobewertungsergebnisse - Auswertung -</b>	31.10.04
Hauptindikator	Indikator	Bewerter	Risiken	Maßnahmen	Bewertung
Softwarequalität	Ergebnisse des Software-Tests	Dr. Müller	Unklares Testverfahren	Testverfahren ist noch zu klären	4 (Rot)
Softwarequalität	Einhaltung des Entwicklungs- (Vorgehens-) Modells	Schulze	Nicht vollständige Einhaltung des Entwicklungsprozesses führt zu Intransparenz und Qualitätsminderung	Schulung im Projekt und Controlling der Einhaltung des SW- Entwicklungsprozesses durch Hr. Muster	5 (Rot)
Softwarequalität	Qualität der Software-Struktur und deren Dokumentation	Maier	Dokumentation kann aus Kapazitätsgründen nicht aktuell gehalten werden	Kapazitäten erweitern	3 (Gelb)
Softwarequalität	Qualität der Technischen Kundenunterlagen	Schulze		Technische Kundenunterlage muss zur Anwendung im Projekt angepasst werden	2 (Gelb)
Softwarequalität	Software-Freigabe-Prozess	Maier	Funktionsfreigabe durch Kunden ist nicht ausreichend	Definition der SW-Freigabemfänge im Projekt	3 (Gelb)
Softwarequalität	Zuständigkeiten Software-Qualität	Kunze			1 (Grün)
Softwarequalität	Integrationstests	Dr. Hinz		Terminplan für Integrationstest erstellen	1 (Grün)
Softwarequalität	Aktualität Lastenheft	Maier			1 (Grün)

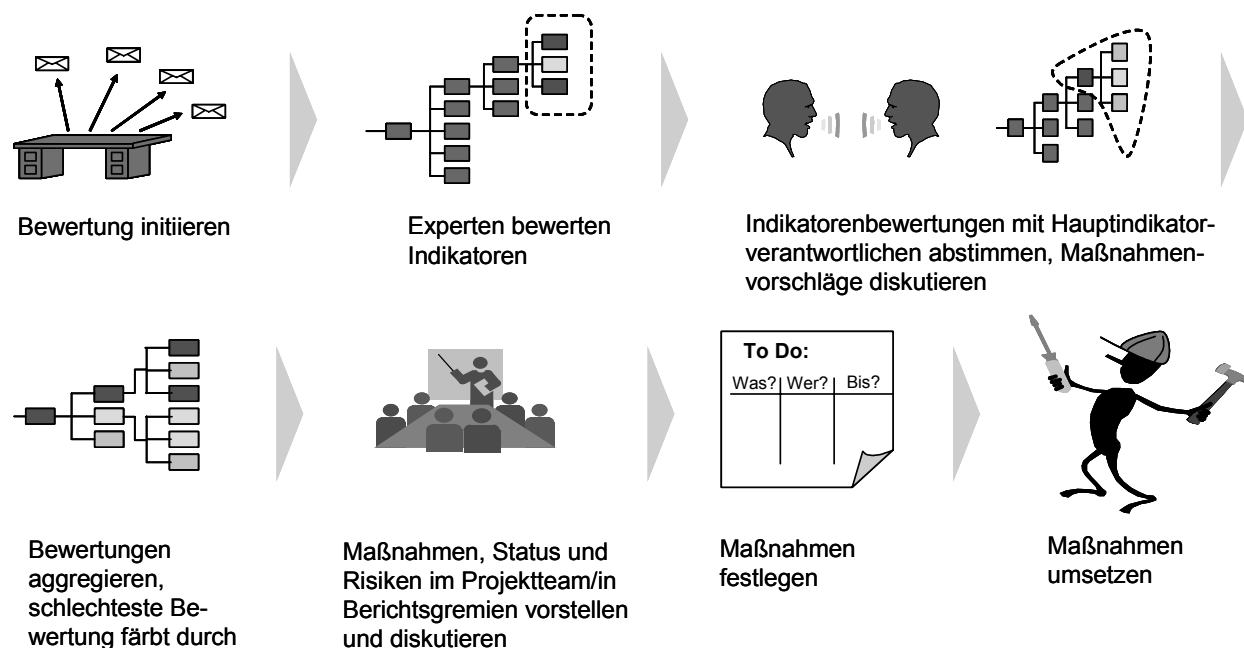
Quelle: In Anlehnung an Heiler/Wißler (1999), S. 29

#### Bild 5-10: Auswertung der Risikobewertungsergebnisse

Eine einfache Darstellung ist die farbliche Kodierung des Indikatorenbaums ohne Angabe von Risiken, Maßnahmen und Bewertern. Sie kann als Management-Übersicht verwendet werden. Die Auswertungen können in den verschiedenen Projektleitungsebenen eingesetzt werden. Die Projektleitung kann die Projektmitarbeiter schnell und zielgerichtet auf Basis der detaillierten Auswertung unterstützen. Lenkungs- bzw. Steuerungsgremien des Projektes,

die der Information der Linienverantwortlichen und gegebenenfalls der Unterstützung des Projektes aus der Linie dienen, können anhand der aggregierten Auswertungen einen schnellen Überblick über den Projektstatus und notwendige Unterstützung erhalten.

Der Ablauf eines Bewertungszyklus mit den einzelnen Schritten von der Initiierung der Bewertung bis zur Maßnahmenumsetzung ist in Bild 5-11 dargestellt.



Quelle: In Anlehnung an Heiler/Wißler (1999), S. 28

### **Bild 5-11: Zyklus der Risikobewertung und -kommunikation**

Durch die systematische Beschäftigung mit dem Stand ihrer Arbeit werden bei verantwortlichen Experten und Mitarbeitern ein Problembewusstsein und ein Verständnis für die Gesamtprojektrisiken entwickelt. In der Praxis ist diese bewusste Konfrontation mit der Realität eine wichtige und nicht zu unterschätzende Basis für die Kommunikation innerhalb der Teams.

Die Risikobewertung kann als Entscheidungsprozess aufgefasst werden, bei dem aufgrund der unvollständigen Informationen hinsichtlich Alternativen und Konsequenzen aus den Entscheidungstheorien der begrenzt-rationalen Wahl insbesondere die vorzusehenden Rückkopplungsschleifen Anwendung finden. Rückkopplungsschleifen sind in der erarbeiteten Risikobewertungsmethode zum einen in der Mehrinstanzenbewertung und zum anderen in der regelmäßigen Wiederholung der Bewertungen verwirklicht. Hierdurch wird auch die affektive Komponente von Entscheidungen aus dem Konflikt-Modell der Entscheidung berücksichtigt.

## 5.5 Einflüsse der dezentralen Risikobewertung

Die Risikobewertung findet im Handlungssystem der Produktentwicklung statt und wird von Personen durchgeführt. Daher treten hier auch Einflüsse auf, die aus der Psychologie bekannt sind. Diese Einflüsse bei der Risikobewertung hängen insbesondere davon ab, ob es sich um eine *Einzelbewertung* oder eine *Gruppenbewertung* handelt.

Das *Phänomen des Groupthink*<sup>1</sup> beschreibt, dass sowohl Problemlösungsfähigkeiten als auch Urteilsfähigkeiten innerhalb einer Gruppe als Folge von Gruppendruck zu Befangenheit und Konformitätszwang führen können. Das *Risky-Shift-Phänomen*<sup>2</sup> beinhaltet eine höhere Risikobereitschaft von Gruppen im Vergleich zu Einzelpersonen. Dies kann z. B. daran liegen, dass die Gruppe über ein höheres Informationsniveau oder einen risikobereiten Gruppenführer verfügt oder auch *Risikofreudigkeit als kulturellen Wert* ansieht. Zudem kann innerhalb von Gruppen das *Phänomen der geteilten Verantwortlichkeit* entstehen, indem die Einzelperson sich nicht für die Entscheidung verantwortlich fühlt, sondern diese auf die Gruppe überträgt. Dies hängt u. a. davon ab, welche *Rolle* die Person im Team einnimmt.

Aufgrund der beschriebenen, eher problematischen Einflüsse bei Entscheidungen durch Gruppen wird empfohlen, die Risikobewertung bei der innerhalb dieser Arbeit vorgestellten Methode dezentral durch Einzelpersonen durchführen zu lassen.

---

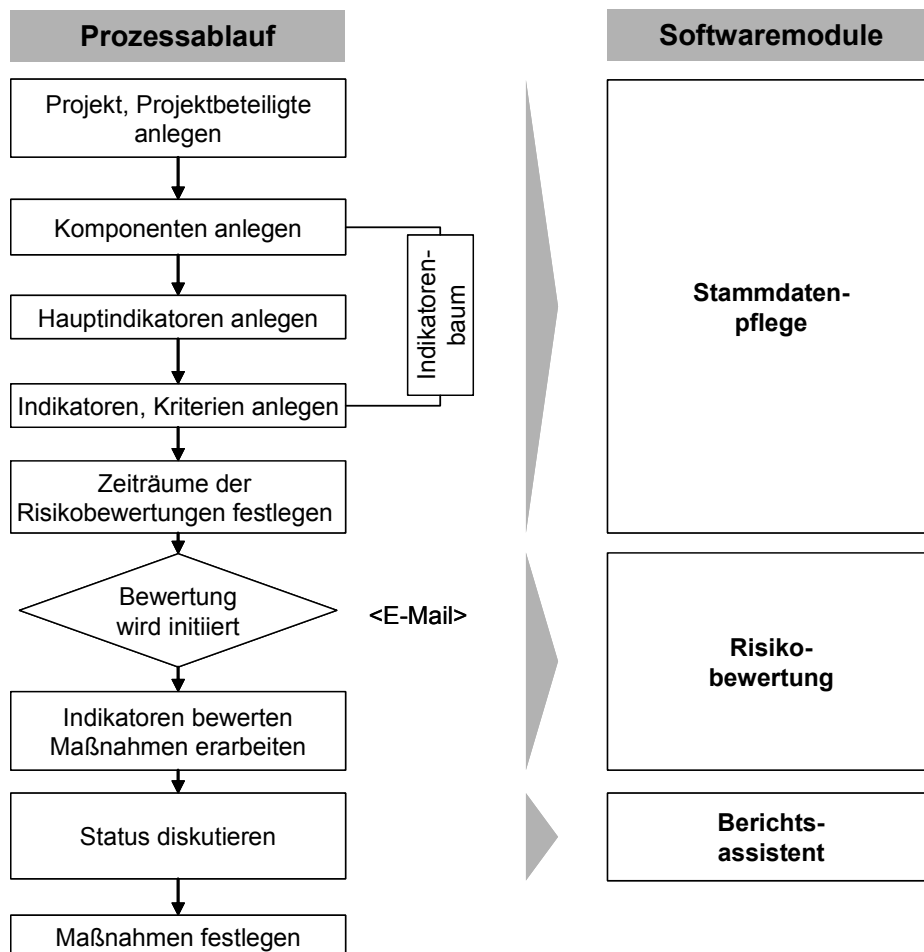
<sup>1</sup> Vgl. Kapitel 3.4.3

<sup>2</sup> Vgl. Kapitel 3.4.3

## 6 Softwaretechnische Realisierung des Risikobewertungsverfahrens

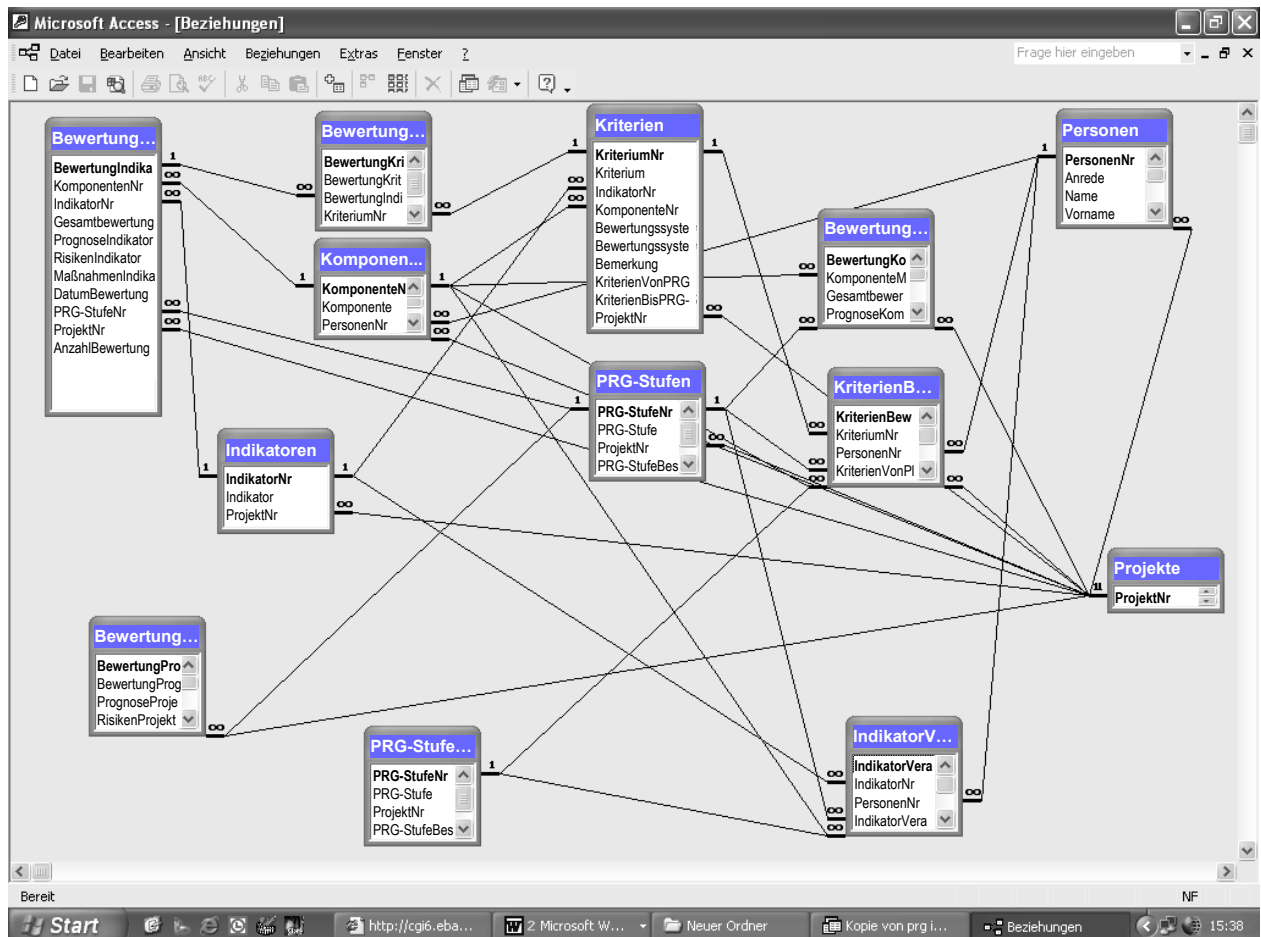
Das Verfahren zur dezentralen Risikobewertung kann in der Praxis durch den Einsatz einer softwaretechnischen Lösung mit einer hohen Effizienz eingesetzt werden. Daher wurde ein Konzept zur softwaretechnischen Realisierung erstellt und diese Software in Kooperation mit einem Softwareunternehmen umgesetzt.

Das Konzept der Software orientiert sich am Prozessablauf der Risikobewertung. In Bild 6-1 ist der Prozessablauf schematisch dargestellt. Die Anforderungen und Funktionen der Software wurden aus den Prozessschritten abgeleitet und in die drei funktionalen Module *Stammdatenpflege*, *Risikobewertung* und *Berichtsassistent* strukturiert, die später beschrieben werden.



**Bild 6-1: Ablauf der softwaregestützten Risikobewertung und Softwaremodule**

Die Schaffung eines flexiblen und dynamischen Anwendungssystems ist vor allem mittels objektorientierter Techniken möglich. Deshalb wurde für die softwaretechnische Realisierung ein durchgängig objektorientiertes Konzept gewählt. Das in Bild 6-2 skizzierte Datenmodell beschreibt die wichtigsten Objektklassen der Software, auf denen die Softwaremodule aufbauen.



Quelle: Fraunhofer IPA/Intermet (2001)

**Bild 6-2: Datenmodell**

Bei der Konzeption der Software wurde besonders auf Faktoren geachtet, die für die spätere Akzeptanz durch die Projektbeteiligten wesentlich sind. Hierzu zählen die

- dezentrale Programmausführung vom Arbeitsplatz-PC, die auch über Unternehmensgrenzen hinweg möglich sein soll,
- intuitive Bedienbarkeit sowie
- hohe Performanz des Systems.

Der Forderung nach *Dezentralität* wird durch die Konzeption der Software als Intranet- bzw. Internet-Lösung Rechnung getragen. Diese Architektur unterteilt die Applikation in eine „Frontend-Client“- und eine „Backend-Server“-Komponente. Das heißt, dass eine Trennung

zwischen Anwendungsprogrammen sowie Funktions- und Datenhaltung stattfindet. Die Anwendungsprogramme laufen auf jeder Arbeitsstation (Client). Die Programmlogik wird durch das Serverprogramm ausgeführt, welches auch den Zugriff auf die zentrale Datenbank vornimmt. Der Zugriff wird durch eine Security-Ebene geregelt. Jeder Benutzer kann die Daten sehen, für die er eine Berechtigung erteilt bekommen hat. Der Client übernimmt lediglich die Visualisierung auf dem Monitor und die Informationssteuerung von Tastatur und Maus.

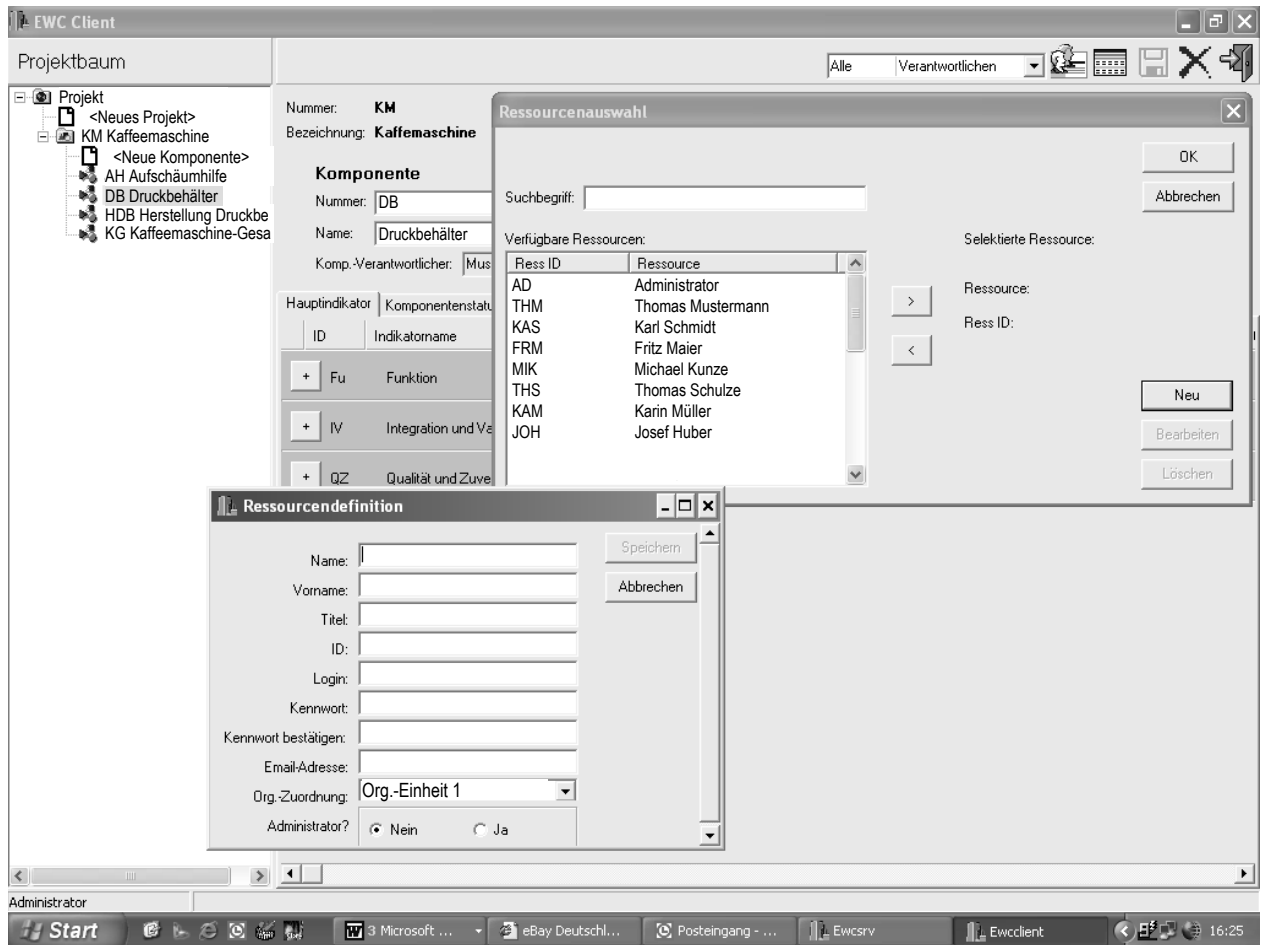
Die Arbeitsteilung von Client und Server läuft in drei Schritten ab:

- Durch den Client werden Informationen für den Server vorbereitet und anschließend als „Arbeitsanforderung“ an diesen übermittelt.
- Der Server wartet auf Anforderungen seiner Clients. Im Ereignisfall stellt er die benötigten Daten zusammen und übergibt diese dem auftraggebenden Client.
- Der Client visualisiert die Information und präsentiert sie dem Endbenutzer über seine Benutzeroberfläche.

An der Forderung der *intuitiven Bedienbarkeit* orientierte sich die Konzeption der Benutzeroberflächen und die softwareergonomische Definition der Navigation. Die Benutzeroberfläche lehnt sich stark an die durch Microsoft Windows bekannte Oberfläche mit einer Baumstruktur auf der linken Seite und den spezifischen Symbolen an. Unter softwareergonomischen Gesichtspunkten wurde die Anzahl an Masken, deren Aufbau, Inhalt sowie intuitive Bedienung und Navigation festgelegt. Durch diese Anlehnung wird eine geringe Einarbeitungszeit der Projektbeteiligten und eine effiziente Bewertungsdurchführung ermöglicht.

Die *hohe Performanz* des Systems macht sich u. a. in den Antwortzeiten von Dateneingabe am Client bis zur Server-Rückkopplung bemerkbar. Daher wurde bei der Auswahl der Hardware und bei der Konzeption von Datenbank und Datenübergabeprozeduren auf schnelle Übertragung und Verarbeitung der Daten geachtet.

In dem Softwaremodul *Stammdatenpflege* sind als Funktionen die Eingabe und Änderung von Projektnamen, Komponenten, Hauptindikatoren, Indikatoren, Kriterien, Projektbeteiligten und Bewertungszeiträumen verwirklicht (Bild 6-3). Unter Berücksichtigung der Zugehörigkeit zu einem Projekt bzw. Produkt wird ein vollständiger Indikatorenbaum, der die Basis jeder Risikobewertung darstellt, mit zugeordneten Bewertungsverantwortlichen in diesem Modul abgebildet und aktuell gehalten. In diesem Modul werden auch die Berechtigungen für jeden Benutzer festgelegt.

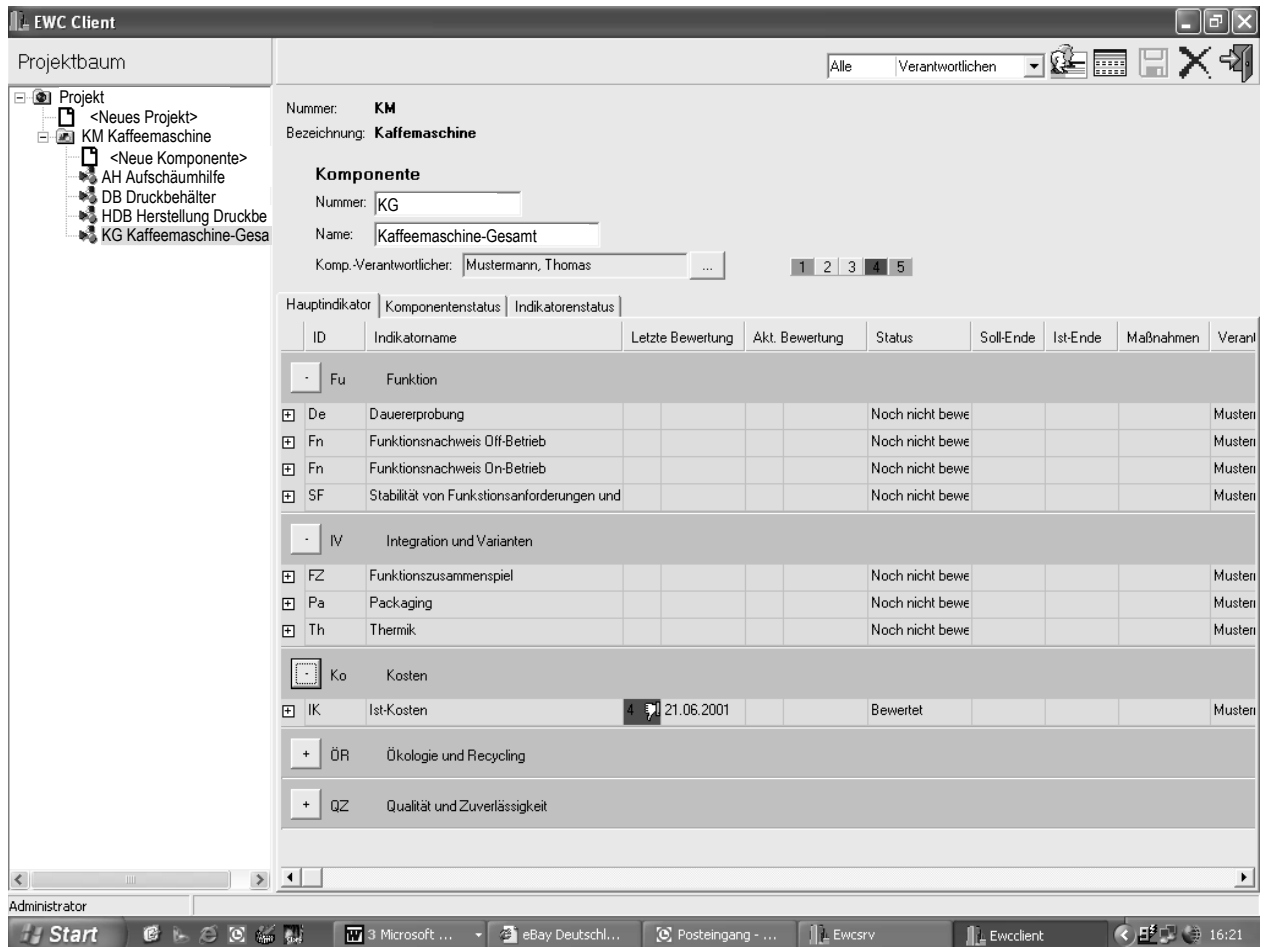


Quelle: In Anlehnung an Fraunhofer IPA/Internet (2001)

### Bild 6-3: Screenshot zum Anlegen von Stammdaten

In dem Softwaremodul *Risikobewertung* werden die zu einer Indikatorenbewertung notwendigen Informationen angezeigt, die Bewertung in Form von Ampelfarbe und Maßnahmen zur Zielerreichung eingetragen (Bild 6-4). Die Projektbeteiligten bekommen in dieser Sicht nur diejenigen Indikatoren angezeigt, für die sie bewertungsverantwortlich sind. Zu jedem Indikator ist über dessen Statusinformation erkennbar, ob die Risikobewertung bereits durchgeführt wurde. Noch ausstehende Bewertungen können den Bewertungsverantwortlichen über einen Automatismus per E-Mail angezeigt und eingefordert werden. So kann die Mahnungsfunktion aufwandsarm ausgeführt werden.





Quelle: Fraunhofer IPA/Intermet (2001)

#### Bild 6-4: Screenshot der Indikatorenbewertung

Mit Hilfe des *Berichtsassistenten* lassen sich alle Daten der Datenbank transparent und verdichtet darstellen. Die Strukturierung der Daten kann dabei spezifisch nach Komponenten des Produkts, nach Risikostatus der Indikatoren, nach Organisationseinheiten der Bewertungsverantwortlichen etc. erfolgen. Aus Vertraulichkeitsgründen kann ferner die Berechtigung zur Erstellung bestimmter Berichte auf bestimmte Personenkreise eingeschränkt werden. In der Regel werden für Statusbesprechungen im Projektteam, für Steuerkreise auf Abteilungsleitererebene und für Lenkungsausschüsse mit Auftraggebern Berichte mit unterschiedlichen Aggregationsebenen erstellt. Mit diesen Berichten kann Transparenz über relevante, fachbereichsübergreifende Informationen erzeugt und für eine Priorisierung der Besprechungspunkte herangezogen werden, so dass die Projekt- und Risikosteuerung aufwandsarm und systematisch durchgeführt werden kann.

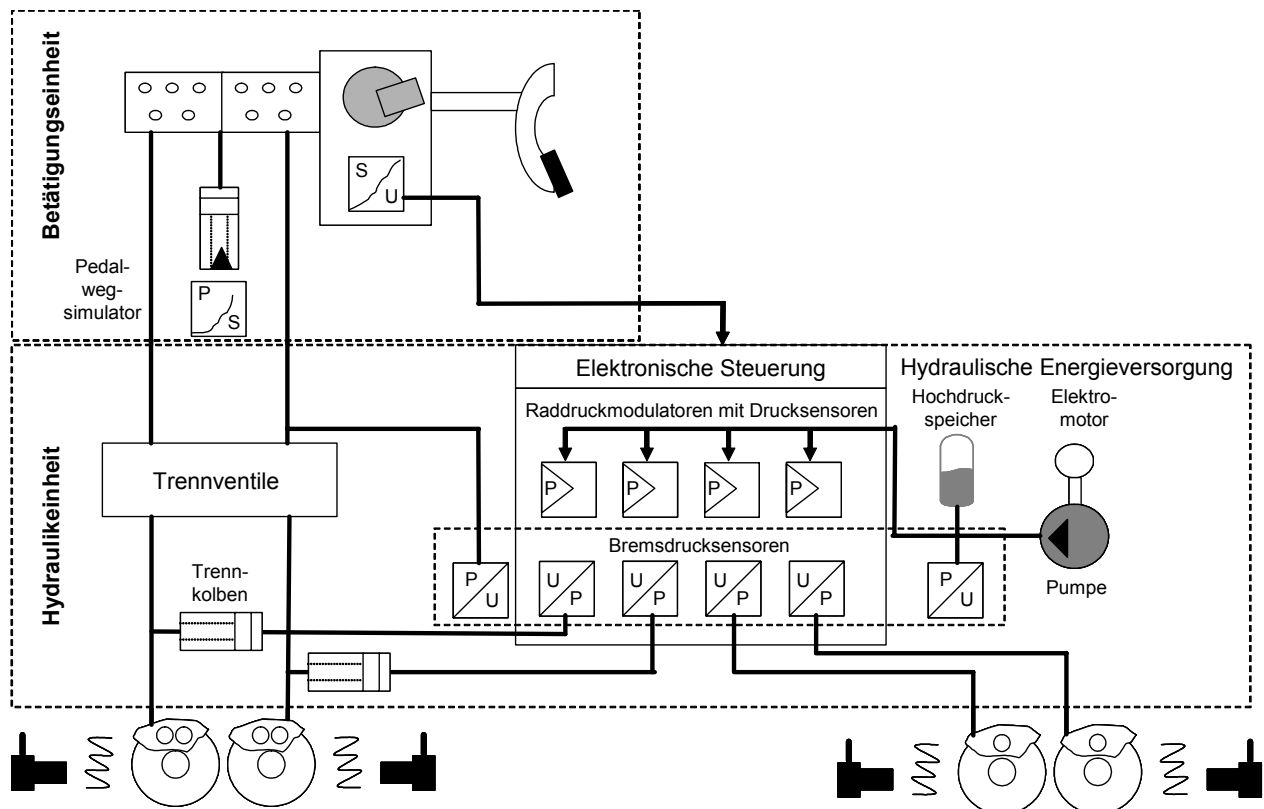
## **7 Praktische Anwendung von Risikobewertungsverfahren**

Das erarbeitete Bewertungsverfahren für das technische Risikomanagement wurde in mehreren Projekten angewendet und pilotartig validiert. Die Anwendung des Instrumentariums wird im Folgenden an zwei Beispielen der Entwicklung komplexer Serienprodukte erörtert. Das erste Beispiel stammt aus der Automobilindustrie und beschreibt die Anwendung bei der Entwicklung eines innovativen Bremssystems, bei dem hohe Risiken durch die Komplexität des mechatronischen Systems bestanden. Das zweite Beispiel beschreibt die Anwendung bei einer parallelen Produkt- und Produktionsentwicklung von Dünnschicht-Solarzellen in der Halbleiterindustrie. Hier waren die wechselseitigen Einflüsse bei Parameterveränderungen der Teilprozesse eine große Herausforderung. Nach der Beschreibung der beiden Anwendungsbeispiele erfolgt gesamthaft eine kritische Bewertung von Verfahren und dessen praktische Anwendung.

### **7.1 Entwicklung eines elektrohydraulischen Bremssystems (brake-by-wire)**

Bei der Weiterentwicklung von Systemen für die vollautomatische Fahrzeugführung und -lenkung zeichnet sich als generelle Richtung ab, dass mechanisch arbeitende Systeme von x-by-wire-Systemen abgelöst werden. Diese erfassen die Fahrerbefehle über Sensoren, verarbeiten deren Informationen elektronisch und geben daraus abgeleitete Steuerbefehle an mechatronische Stellglieder weiter. Die Produkte sind zum einen aufgrund der Integration neuer Produktfunktionen und durch einen erhöhten Anteil an Elektronik und Software komplexer geworden, zum anderen führt auch der Einsatz neuer Prozesstechnologien zu höherer Komplexität sowie höheren Risiken in den Entwicklungsprojekten.

Die Anwendung des Risikomanagements bei der Entwicklung des elektrohydraulischen Bremssystems erfolgte in einem Kernteam von rund zwanzig Mitarbeitern eines Automobilherstellers und eines Zulieferers in einem gemeinsamen Projekthaus. Während der OEM das Wissen über die Integration des Systems in Fahrzeuge einbrachte, steuerte der Zulieferer das Know-how über Bremsregelsysteme bei. Das System stellt das weltweit erste brake-by-wire-System im Pkw dar. Die elektrohydraulische Bremse ersetzt die mechanisch-hydraulische Verbindung zwischen Bremspedal und Hydraulikaggregat durch Elektronik (Bild 7-1).



Quelle: Automobil-Produktion (2001), S. 62

**Bild 7-1: Prinzipschaubild der elektrohydraulischen Bremse**

Die Schnittstelle zum Fahrer ist die Betätigungseinheit mit dem Bremspedal, die über einen Wegsensor und einen Drucksensor am noch vorhandenen Hauptbremszylinder misst, wie schnell und wie kräftig die Bremse betätigt wird. Das Steuergerät verarbeitet diese Informationen und erzeugt in den vier Raddruckmodulatoren des Hydraulikaggregats den jeweils optimalen hydraulischen Bremsdruck für jedes Rad. Zusammen mit je einem Drucksensor für die einzelnen Radbremsen ermöglichen die elektronisch angesteuerten Magnetventile eine sehr präzise, radindividuelle Regelung des Drucks. Eine elektromotorisch betriebene Kolbenpumpe sorgt in Verbindung mit einem Gasmembranspeicher für einen geregelten Bremsflüssigkeitsdruck. Für den Notfall hat das System eine konventionelle Rückfallebene. Zwei Ventile stellen dann die hydraulische Verbindung zwischen Haupt- und Radbremszylinder her, so dass immer ein ausreichend dimensionierter hydraulischer Bremsdruck an den Vorderrädern zur Verfügung steht.

Durch die gesamtheitliche Betrachtung des mechatronischen Systems von Anfang an als räumlich und funktionell integriertes Gesamtsystem steht schon beim Entwurf in der Konzeptphase das Wechselspiel der Funktionen im mechanischen und elektronischen Teil im

Mittelpunkt<sup>1</sup>, so z. B. ob eine Information aus vorhandenen Signalen errechnet wird oder durch einen separaten Sensor zusätzlich erfasst werden muss. Während der Seriennentwicklung ist als besonderes Risiko die späte Testbarkeit des Systems als Ganzes zu nennen, da die Entwicklungsabläufe für mechanische, elektrische und Softwarekomponenten derart unterschiedlich sind, dass frühe Tests nur mit groben Prototyp-Komponenten durchgeführt werden können. In einer frühen Phase kann z. B. die Software nur auf einem A-Musterrechner laufen, weil die Steuergeräte noch nicht existieren. Absicherungen werden durch einen erhöhten Einsatz von Simulationen wie z. B. Software-in-the-Loop, Hardware-in-the-Loop vorgenommen. Das Zuliefererunternehmen hat bei der Entwicklung einer Fahrdynamikregelung von den ersten Machbarkeitsstudien bis zu genauen Untersuchungen noch kurz vor der endgültigen Softwareabgabe Simulationen eingesetzt.<sup>2</sup>

Weitere Risiken liegen bei der Softwareentwicklung in den systematischen Prozessen und den Softwaretests, bei denen Vollständigkeit der Testfälle und deren Kombinationen sichergestellt werden muss. Die Bauteile müssen zuverlässig sein und das System muss bei Erschütterungen, Temperatur- und Feuchteextrema einwandfrei funktionieren. Rückrufaktionen sind häufig durch Feuchtigkeitsprobleme bei Sensoren verursacht. Im Verlauf der Entwicklung kommen weitere Einfluss- und Störgrößen hinzu. Derartige Störungen sind unvermeidbar, sie können jedoch mit einer frühzeitigen Risikoidentifikation und mit schnellen Problemlösungsprozessen gehandhabt werden.

Zu Beginn der Einführung des Risikomanagements im Projekthaus konnte auf eine definierte Projektorganisation und Aktivitätenpläne aufgebaut werden. Nach Abstimmung des Methodeneinsatzes mit Management und Betriebsrat beider Unternehmen wurden als erster Schritt die Systemkomponenten (Bremsen Gesamt, Betätigungseinheit, Drucksensoren, ...) einzeln betrachtet und hinsichtlich ihres Risikos eingeschätzt. Einige Komponenten, z. B. Raddrehzahlsensoren, wurden als Carry-Over-Parts übernommen und konnten aufgrund der vorliegenden umfangreichen Erfahrungen von der weiteren Risikobewertung ausgenommen werden.

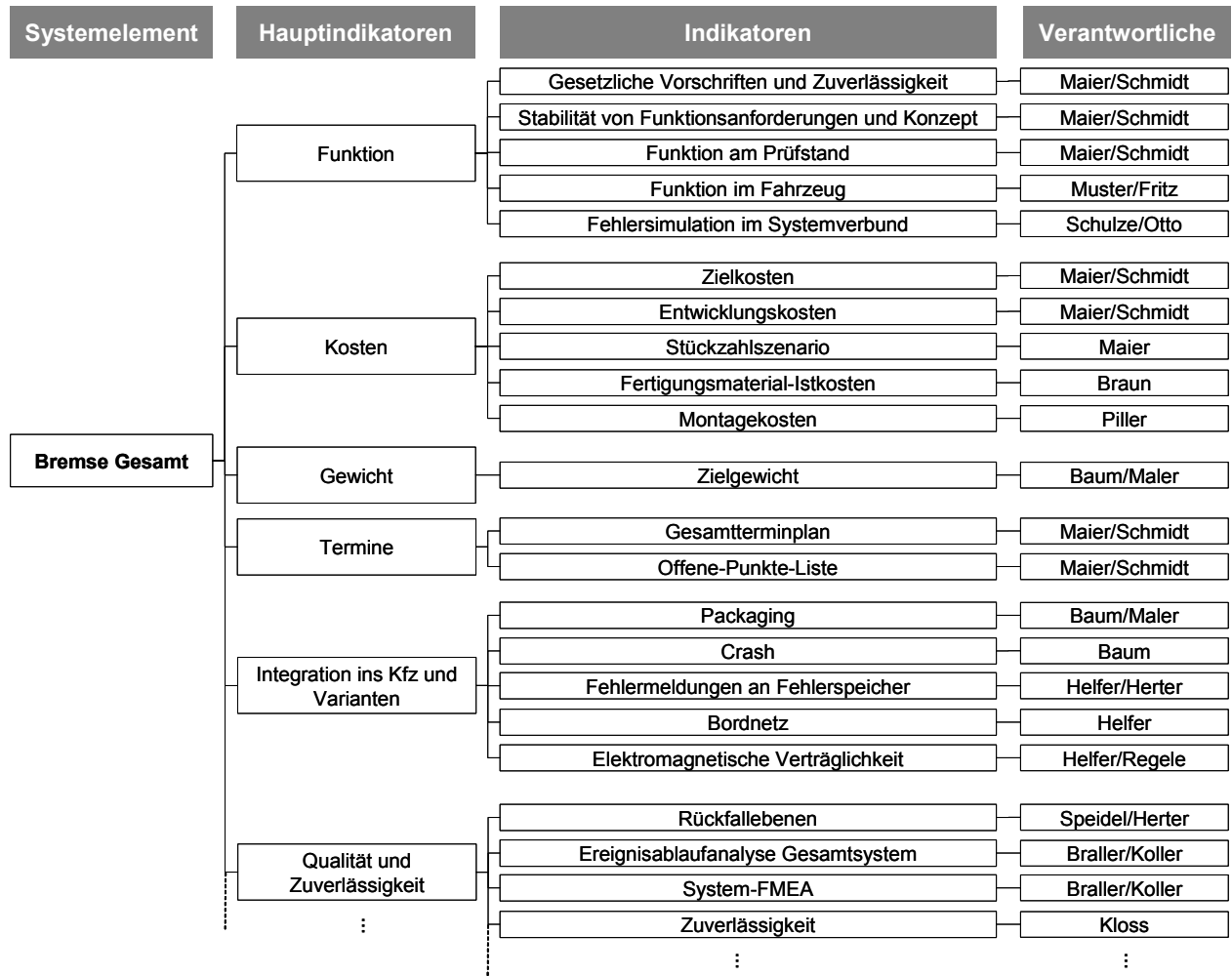
Die Definition der Hauptindikatoren orientierte sich an den vorgeschlagenen und bewährten Anforderungskategorien Funktion, Kosten, Gewicht, Termine, Integration in das Fahrzeug und Varianten, Qualität und Zuverlässigkeit, Herstellbarkeit beim Lieferanten, Montage, Dokumentation, Software-Qualität, Diagnose und Kundendienst sowie Ökologie und Recycling.

---

<sup>1</sup> Vgl. Isermann (1996), S. 303

<sup>2</sup> Vgl. Van Zanten u. a. (1997), S. 166

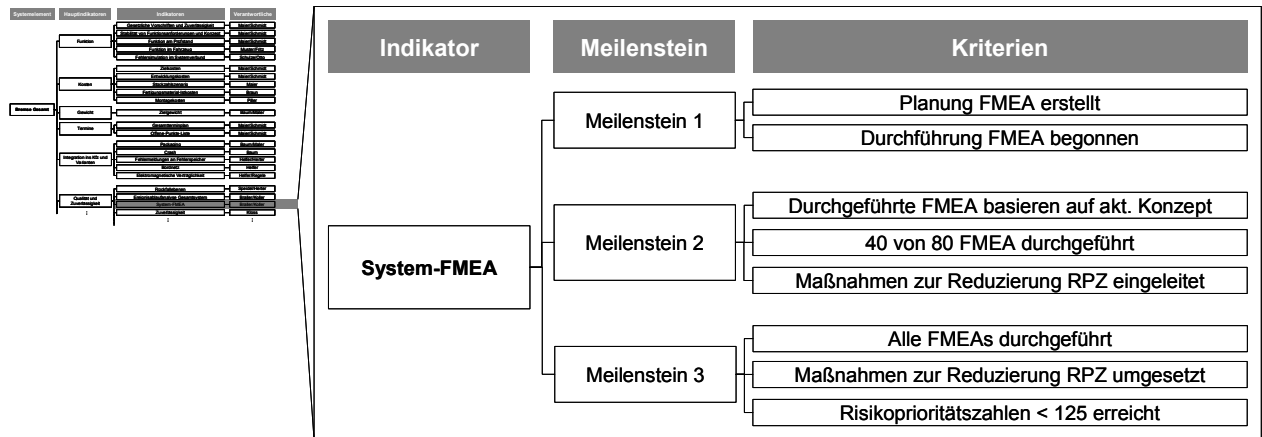
Die Definition der Einzelindikatoren und der meilensteinspezifischen Kriterien wurde von den Experten vorgenommen, die die Serienentwicklung von Bauteilen und Gesamtsystem durchgeführt haben. Die so definierten Bewertungsobjekte sind am Beispiel des Gesamtsystems Bremse in Bild 7-2 aufgeführt.



Quelle: In Anlehnung an Fraunhofer IPA (1999)

**Bild 7-2: Bewertungsobjekte der Komponente „Bremse-Gesamt“**

Für jeden Indikator wurden im Anschluss die meilensteinspezifischen Kriterien definiert. Exemplarisch sind für den Indikator System-FMEA die Kriterien in Bild 7-3 aufgeführt.



**Bild 7-3: Kriterien zum Indikator System-FMEA**

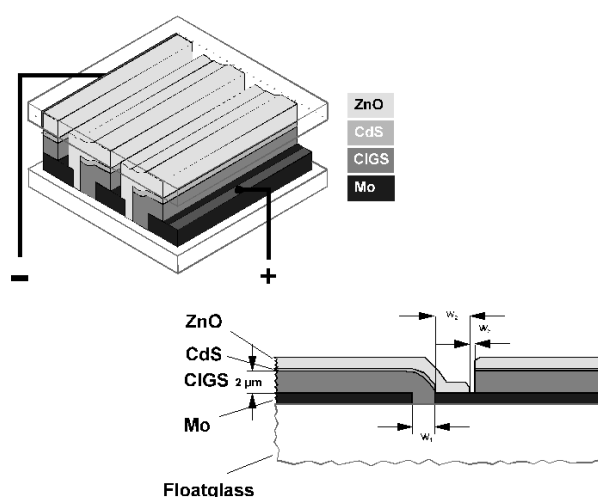
Die Bewertungsmethode wurde auf die Anforderungen im Projekthaus angepasst. Zum einen wurde die Verantwortung der Risikobewertungen auf so genannte Bewerterpaare aus beiden Unternehmen übertragen. Dies hat den Vorteil, dass über die verpflichtenden Durchsprachen eine Führung des Lieferanten-Mitarbeiters durch den OEM-Mitarbeiter ausgeübt werden konnte. Zum anderen wurde der Zugang zur Software für die Mitarbeiter beider Unternehmen ermöglicht, so dass hiermit der gleiche Informationsstand gewährleistet werden konnte.

## 7.2 Parallele Produkt- und Produktionsentwicklung von Dünnschicht-Solarzellen

Dünnschichttechnologie bedeutet, dass kostengünstige Träger (z. B. Fensterglas) mit elektrisch aktiven Materialien (Schichtdicken nur einige tausendstel Millimeter) im Quadratmetermaßstab beschichtet werden. Dünnschichtsolarmodule haben langfristig ein erhebliches Kostenreduktionspotenzial. Bei Dünnschichtszellensolarzellen, deren lichtabsorbierende Schicht aus den Elementen Kupfer (Cu), Indium (In), Gallium (Ga) und Selen (Se), kurz CIS oder CIGS besteht, konnten Ende der neunziger Jahre im Labor auf kleinen Flächen (< 1 cm<sup>2</sup>) Wirkungsgrade über 18 % demonstriert werden. Dieses hohe Wirkungsgradniveau, das erstmals Dünnschichtszellensolarzellen in die Region der polykristallinen Silizium-Wafertechnologie brachte, war der Ausgangspunkt für die beginnende konsequente Umsetzung dieser Technologie auf größeren Flächen mit industriellen Herstellungsverfahren. An einem wissenschaftlichen Institut wurden 30 cm x 30 cm große CIS-Solarmodule mit mittleren Wirkungsgraden von über 11 % hergestellt. In einem nächsten Schritt wurde ein Industrieunterneh-

men gegründet, in dem die Herstellungsprozesse auf die industrielle Größe 120 cm x 60 cm aufskaliert wurden.<sup>1</sup>

In Bild 7-4 sind zwei seriell verschaltete Einzelzellen, die in der Regel ca. 6 mm breit sind, schematisch dargestellt. Für die Herstellung einer CIS-Solarzelle werden insgesamt fünf verschiedene Schichten nacheinander aufgebracht. Die Gesamtdicke der Schichten beträgt nur etwa 4 µm. Diese Schichten werden mehrfach strukturiert, so dass einzelne Zellen elektrisch in Serie verschaltet werden und ein photovoltaischer Generator mit wählbarer Ausgangsspannung entsteht. Schließlich werden an den zwei äußeren Zellen Kontakte montiert und das Rohmodul zum Schutz vor Umwelteinflüssen mit einem Deckglas versiegelt. Das Endprodukt entsteht somit vom Rohglas bis zum fertigen Solarmodul in einem geschlossenen Fertigungsablauf.



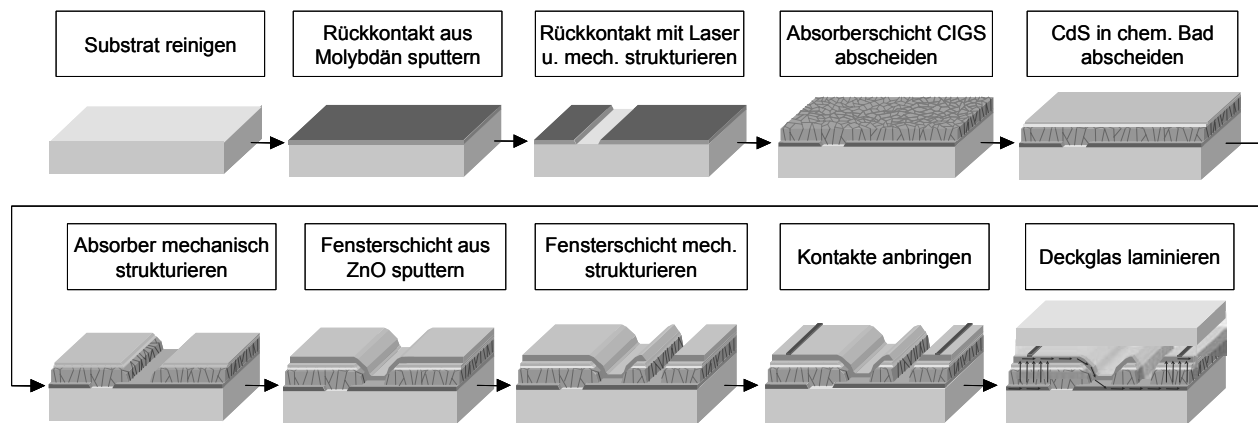
Quelle: Wittkopp/Haschke/Eicke (2000)

#### **Bild 7-4: Aufbau eines Solarzellenmoduls**

In Bild 7-5 sind der Fertigungsablauf und der Aufbau des CIS-Dünnschichtmoduls mit den einzelnen Kontakten und Halbleiterschichten gezeigt.

---

<sup>1</sup> Vgl. Powalla (2000)



Quelle: Powalla/Dimmler (2001)

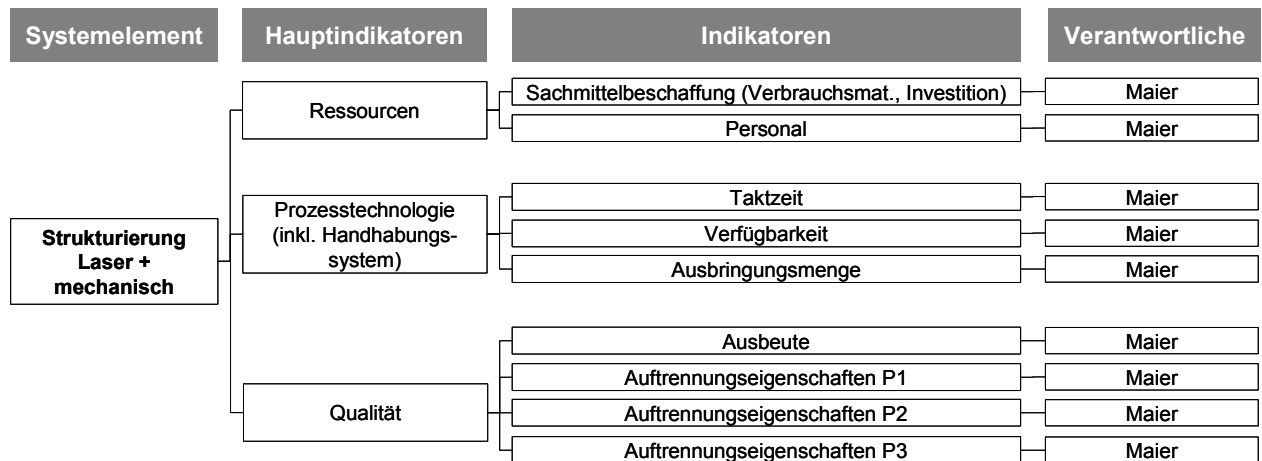
### Bild 7-5: Produktionsprozess von Dünnschicht-Solarzellen

Bei der Aufskalierung der Herstellungsprozesse auf die industrielle Größe 120 cm x 60 cm bestanden in allen Prozessschritten spezifische Risiken. Insbesondere die wechselseitigen Einflüsse bei Parameterveränderungen der Teilprozesse als auch die Wechselbeziehungen von Prozessparametern zu Produkteigenschaften stellten eine Herausforderung dar.

In diesem Projekt mussten die Projektorganisation und Aktivitätenpläne gleichzeitig mit dem Einsatz des Risikomanagements festgelegt werden. Nach Abstimmung des Methodeneinsatzes mit Management und Betriebsrat beider Unternehmen wurde als erster Schritt die Projektorganisation definiert. Hier bot sich eine Strukturierung nach Teilprozessen an, da die Kompetenzen der Mitarbeiter zur Entwicklung der einzelnen Prozessschritte sehr unterschiedlich waren. Die Teilprozesse wurden dann einzeln betrachtet und hinsichtlich ihres Risikos eingeschätzt. Da alle Teilprozesse neu waren, wurde jeder einzelne Prozessschritt als Komponente angesehen und der Risikobewertung unterzogen.

Die Definition der Hauptindikatoren orientierte sich an den wesentlichen Voraussetzungen, Eigenschaften und Ergebnisse der Prozessschritte, d. h. Ressourcen, Prozesstechnologie und Qualität des Zwischenproduktes. Die Definition der Einzelindikatoren und der meilensteinspezifischen Kriterien wurde von den Experten vorgenommen, die die Verantwortung für die Prozessschritte hatten. Die so definierten Bewertungsobjekte sind exemplarisch für den Prozessschritt Strukturierung in Bild 7-6 dargestellt.

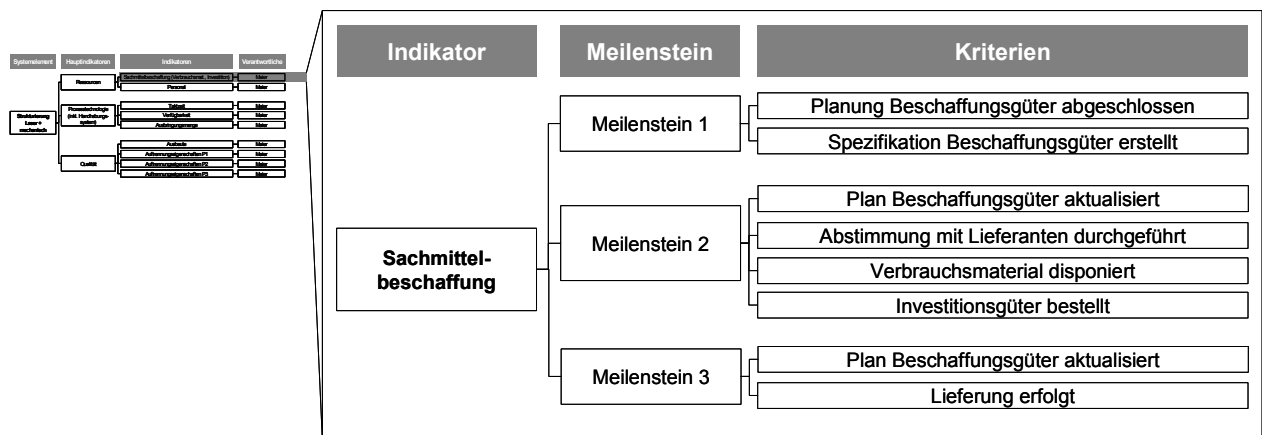




Quelle: In Anlehnung an Fraunhofer IPA (2001)

**Bild 7-6: Bewertungsobjekte des Prozessschrittes „Strukturierung“**

Die meilensteinspezifischen Kriterien für die Indikatoren wurden im Anschluss definiert. Exemplarisch für den Indikator Sachmittelbeschaffung sind die Kriterien in Bild 7-7 aufgeführt.



**Bild 7-7: Kriterien zum Indikator Sachmittelbeschaffung**

Nur qualitativ einwandfreie Zwischenprodukte führen zu qualitativ einwandfreien Endprodukten. Das bedeutet, dass sich die Ausbringungsquote an qualitativ einwandfreien Endprodukten aus der Multiplikation der Ausbringungsquote aller Teilprozesse ergibt. Daher sind eine hohe Prozesssicherheit in jedem Prozessschritt, frühzeitige In-Prozess-Prüfungen sowie eine aufeinander abgestimmte Prozessaustaktung von hoher wirtschaftlicher Bedeutung.

Die Bewertungsmethode wurde auch hier auf die Anforderungen angepasst, in dem zum einen die Verantwortung der Risikobewertungen auf die Bewerterpaare aus beiden Unternehmen übertragen mit dem Vorteil der verpflichtenden Durchsprachen. Zum anderen wurde der Zugang zur Software für die Mitarbeiter beider Unternehmen ermöglicht, so dass hiermit der gleiche Informationsstand gewährleistet werden konnte.

### **7.3 Erfahrungen der praktischen Anwendung**

Bei der Einführung und Anwendung der Risikobewertung in Entwicklungsprojekten haben sich folgende Punkte als besonders nützlich herausgestellt:

- Verpflichtung des TOP-Managements zur Einführung einer regelmäßigen Risikobewertung und -kommunikation,
- Information der Projektmitarbeiter über Ziele und Nutzen der Methodenanwendung für das Projekt und den einzelnen Mitarbeiter,
- Umfassende Schulung der Projektmitarbeiter über Anwendung und Auswertung der Risikobewertung,
- Sensibilisierung der Führungskräfte bezüglich des Umgangs mit Mitarbeitern, die rote Ampeln melden. Die Wirksamkeit der dezentralen Risikobewertung hängt in hohem Maße von der Unternehmenskultur ab. Die Arbeitsatmosphäre muss es zulassen, Probleme und Risiken offen zu signalisieren. Werden von den Mitarbeitern Sanktionen in irgendeiner Form erwartet, besteht die Gefahr manipulierter Bewertungen,
- EDV-gestützte Erfassung, Verarbeitung und Auswertung der Risikobewertungen,
- Empfänger- und situationsgerechte Zusammenfassung der Auswertungen,
- Schnelle Ableitung von Maßnahmen aus Bewertungen mit definierten Verantwortlichen und Terminen,
- Projektübergreifende Anwendung des Verfahrens verbessert das Aufwand-Nutzen-Verhältnis durch die Reduzierung des Schulungsaufwandes für die Mitarbeiter.

Grenzen des Ansatzes sind die hohe Subjektivität in den Fällen, in denen sich die Einschätzung der Risiken in frühen Phasen nicht auf konkrete technische Parameter beziehen. Die Subjektivität kann durch die Definition objektiv nachvollziehbarer Kriterien, die sich am technischen Entwicklungsfortschritt orientieren, umgangen werden. Als Lösungsidee kann hier auf systemtheoretische Ansätze zur Gewinnung von Zahlen, Daten und Fakten verwiesen werden, um die Indikatoren und Kriterien valider zu machen und damit die Gültigkeit der Aussagen zu erhöhen.

Durch die Risikobewertung wird eine Transparenz hinsichtlich Zielerreichung und Risiken für alle Projektbeteiligten erreicht. Das Erfahrungswissen der Projektbeteiligten kann umfassend genutzt werden, um potenzielle Probleme frühzeitig zu erkennen. Die Kommunikation in Projekt und Linie wird durch den Einsatz der Methode verbessert. Darüber hinaus werden kleine Regelkreise zur fachlichen Abstimmung implementiert, die eine zeitnahe Projektsteuerung zur Erreichung der Projektziele ermöglicht.

Die Anwendung des Verfahrens ist unternehmensübergreifend praktikabel. Sie fördert sowohl Transparenz als auch Kommunikation im Projekt und kann einem Unternehmen insbesondere zur Verstärkung der Führungsrolle gegenüber seinem Lieferanten empfohlen werden.

## 8 Zusammenfassung

Für Serienprodukte herstellende Industrieunternehmen ist die Produktentwicklung aufgrund ihrer langfristigen Auswirkung und ihrer hohen wirtschaftlichen Bedeutung ein wesentlicher Erfolgsfaktor. Die Festlegung, das richtige Produkt zur richtigen Zeit auf den Markt zu bringen, wird durch die strategische Produktplanung vorgenommen. Ausgehend von diesem definierten Rahmen werden Entwicklungsprojekte zur Umsetzung der Produktstrategie durchgeführt. Ihre Aufgabe ist es, die geplanten Produkte gemäß einem vorliegenden Produktkonzept unter Zuhilfenahme von Wissen, Ressourcen und finanziellen Mitteln zu vorgegebenen Qualitäts-, Kosten- und Zeitzielen serienreif zu entwickeln. Die Unsicherheit bezüglich der Erreichung dieser Projektziele sind die technischen Risiken, die sich aus den Qualitäts-, Kosten- und Terminrisiken zusammensetzen. Die in dieser Arbeit betrachtete Entwicklung komplexer Serienprodukte ist charakterisiert durch eine lange, oft viele Monate bis Jahre dauernde Entwicklungszeit, eine hohe Zahl an beteiligten Personen, die u. a. durch die Einbeziehung von Lieferanten meist örtlich verteilt arbeiten, und eine hohe Komplexität der Produkte und Prozesse. In diesem Umfeld bestehen viele Risiken, dass die vorgegebenen Projektziele nicht erreicht werden. Zum Management dieser technischen Risiken bei der Entwicklung komplexer Serienprodukte leistet diese Arbeit einen wichtigen Beitrag. Das entwickelte Risikobewertungsverfahren stellt die Grundlage für eine den Erkenntnisfortschritt einbeziehende, zeitnahe Erarbeitung von Maßnahmen zur Projektzielerreichung bereit.

In der Praxis wird das technische Risikomanagement in Projekten durch eine Vielzahl von Ansätzen und Methoden aus dem Projektmanagement und dem Qualitätsmanagement wirksam unterstützt. Zu nennen sind hier als wesentliche Ansätze auf der einen Seite das Projektcontrolling mit Meilenstein- und Kostentrendanalysen sowie die Produktreifegradmethode. Auf der anderen Seite werden Reviews, Quality Gates, Fehlermöglichkeits- und -einflussanalysen, Fehlerbaumanalysen und Ereignisablaufanalysen eingesetzt. Diese Methoden haben jeweils für ihren Anwendungszweck ihre Berechtigung, wobei die Methode *Produktreifegrad* den Anforderungen an die Repräsentation von Risikoinformationen und an eine umfassende, zeitnahe Risikobewertung am besten gerecht wird. Jedoch besteht hier Verbesserungsbedarf hinsichtlich der systematischen Ableitung der Bewertungsindikatoren, einer geeigneten Vernetzung der Risikoinformationen sowie einer aufwandsarmen Risikobewertung und -kommunikation.

Abgeleitet aus der Systemtheorie sind in der Produktentwicklung drei sehr eng verknüpfte Systeme von Bedeutung. Dies sind Zielsystem, Handlungssystem und Sachsystem. Die im Zielsystem enthaltenen Forderungen an das Produkt, d. h. das technische Sachsystem, beeinflussen den Prozess seiner Erstellung, d. h. das Handlungssystem, und dieser wiederum

das technische Sachsystem. In diesen drei Systemen sind Elemente enthalten, die angestrebte zukünftige Zielzustände beschreiben. Die Erreichung dieser Zielzustände unterliegt Risiken.

Basierend auf diesen Erkenntnissen wurde ein Risikoinformationsmodell entwickelt, das sich an den drei grundlegenden Systemen der Produktentwicklung orientiert. Das besondere Kennzeichen des Risikoinformationsmodells liegt in seiner Mehrebenenstruktur, die aus Elementen, Hauptindikatoren, Indikatoren und Kriterien besteht. Die ersten drei Ebenen weisen eine hohe Konstanz über den Projektverlauf auf, wodurch eine längerfristige Übertragung von Bewertungsverantwortlichkeiten ermöglicht wird. Hingegen werden die Kriterien basierend auf kooperativen Vereinbarungen zwischen internen Kunden und Lieferanten meilensteinspezifisch konkretisiert. Hierdurch werden einerseits die situativen Merkmale der Projektphasen berücksichtigt und andererseits die Akzeptanz der Bewertungsergebnisse erhöht. Das Risikoinformationsmodell umfasst neben diesen Bewertungsobjekten und Merkmalen zur Bewertungsergebnisklassifikation auch noch die Bewertungsergebnisse selbst. Durch diese Inhalte und die entwickelte Struktur kann das Risikoinformationsmodell während eines gesamten Entwicklungsprojektes eingesetzt werden.

Zur Operationalisierung des Risikoinformationsmodells wurden ein Vorgehen und zugehörige Instrumente zur projektspezifischen Modellerstellung erarbeitet. Ausgehend von dem Produktkonzept und dem vorhandenen Ziel- und Handlungssystem führt eine Analyse und Bewertung der Projektrisiken zur Festlegung der Modellstruktur. Insbesondere die Anzahl und der Detaillierungsgrad der Indikatoren basieren auf Entscheidungen, die die gegebene Projektstruktur mit den definierten Aufgaben, Kompetenzen und Verantwortlichkeiten auf der einen Seite und den aus der Festlegung folgenden Bewertungsaufwand auf der anderen Seite berücksichtigen. Den Änderungen der Risiken im Projektverlauf wird durch die Anpassbarkeit der Indikatoren Rechnung getragen. Ferner wird der Aufbau des Risikoinformationsmodells bei vergleichbaren Entwicklungsprojekten durch die Verwendung und Anpassung von Referenzmodellen für Risikoindikatoren erleichtert.

Die Risikobewertung wird bei dem hier erarbeiteten Verfahren dezentral von den Projektbeteiligten vorgenommen, um zum einen den Aufwand gegenüber zentralen Besprechungen zu reduzieren. Zum anderen wird hierdurch der Vorteil von realistischeren Entscheidungen durch Einzelpersonen genutzt, da die bei Gruppenentscheidungen auftretenden Phänomene des Groupthink und Risky-Shift umgangen werden.

Bei der Gestaltung von Hilfsmitteln für die projektspezifische Anwendung des Risikobewertungsverfahrens wurden Erkenntnisse aus Motivationstheorie und Entscheidungstheorie berücksichtigt. Aus der Zieltheorie wurde die Erkenntnis, dass Zielklarheit, Zielakzeptanz, Zielschwierigkeit und Feedback über Zielerreichung die Leistung positiv beeinflussen, für die Definition der Indikatoren und Kriterien verwendet. Bei der Zuordnung der Verantwortlichkeiten für die Risikobewertung wird das Prinzip der vollständigen und ganzheitlichen Arbeitsinhalte mit selbstständiger Handlungsvorbereitung durch eigene Planungsaufgaben, Auswahl der Mittel zur Zielerreichung, Rückmeldungen über Arbeitsablauf und Ergebnis sowie Überprüfung des Arbeitsergebnisses mit den gesetzten Zielen durchgängig verwirklicht.

Die Risikobewertung kann als Entscheidungsprozess aufgefasst werden, bei dem aufgrund der unvollständigen Informationen hinsichtlich Alternativen und Konsequenzen aus den Entscheidungstheorien der begrenzt-rationalen Wahl insbesondere die vorzusehenden Rückkopplungsschleifen Anwendung finden. Rückkopplungsschleifen sind in der erarbeiteten Risikobewertungsmethode zum einen in der Mehrinstanzenbewertung und zum anderen in der regelmäßigen Wiederholung der Bewertungen verwirklicht. Hierdurch wird auch die affektive Komponente von Entscheidungen aus dem Konflikt-Modell der Entscheidung berücksichtigt.

Das entwickelte Risikobewertungsverfahren ermöglicht über Auswertungen und Verdichtungen von Bewertungsergebnissen eine effiziente Kommunikation vorliegender Risiken. Zur Definition von risikoreduzierenden Maßnahmen bietet das Instrumentarium ebenfalls zielgerichtete Hilfestellung. So sind für alle Risikoindikatoren Hinweise auf potenzielle Maßnahmen aus Sicht der Bewerter angegeben, denen auf höherer Hierarchieebene direkt bzw. nach Modifikation oder Erweiterung zugestimmt werden kann. Aufwandsbeeinflussend wirkt sich die Entscheidung aus, ob zentrale Besprechungen mit vielen Projektbeteiligten oder bilaterale dezentrale Besprechungen mit einzelnen Projektbeteiligten durchgeführt werden. Durch die Transparenz über zusammengehörige Risikobereiche bieten die Risikobewertungsergebnisse auch für diese Entscheidungen eine geeignete Unterstützung.

Zur Steigerung der Effizienz bei der Risikobewertung und -kommunikation wurde als unterstützendes Werkzeug eine EDV-Lösung konzipiert, so dass Indikatorenfestlegung, Indikatorenbewertung, Maßnahmenfestlegung und Berichterstattung effizient durchgeführt werden können. Die softwaretechnische Realisierung des Risikobewertungsverfahrens unterstützt alle Phasen der Risikobewertung bei der Produktentwicklung. Eine softwareergonomische Gestaltung von Informationsdarstellung und Eingabeprozessen führte zu einer geringen Anzahl an Masken und damit zu einer leicht verständlichen Programmlogik und einfachen Bedienbarkeit.

Die praktische Anwendbarkeit des Risikobewertungsverfahrens wurde zum einen in der Au-

tomobilindustrie bei der Entwicklung eines neuen Bremssystems nachgewiesen. Bei der Kooperationsentwicklung durch einen Automobilhersteller und einen Zulieferer hat sich die Bildung von „Bewerterpaaren“ aus Bewertungsverantwortlichen von OEM und Zulieferer für Indikatoren bewährt. Die zur regelmäßigen Bewertung notwendige Kommunikationsdichte auf der operativen Ebene führte zu einer hohen Transparenz im Projekt, einer gemeinsam getragenen Sichtweise der Risiken und einem effizienten Risikomanagement.

Zum anderen wurde das Verfahren zum technischen Risikomanagement auf den Bereich einer parallelen Produkt- und Produktionsentwicklung in der Halbleiterindustrie übertragen. Die hier gewählte erste Strukturebene des Risikoinformationsmodells bestand aus den Prozessschritten von der Substratreinigung bis zur Endprüfung. Auch bei diesem Anwendungsgebiet trug das Instrumentarium mit der geschaffenen Transparenz und hohen Informationsgüte zum Projekterfolg bei.

### **Fazit**

Das entwickelte Risikobewertungsverfahren stellt eine notwendige und praktikable Ergänzung der bestehenden Ansätze für das Risikomanagement von Entwicklungsprojekten dar. Die Risikobewertungen stützen sich auf Einschätzungen der Projektbeteiligten, die gleichzeitig für die Planung und Durchführung der Entwicklungsaktivitäten zuständig sind. Hiermit wird sichergestellt, dass den Bewertungen aktuelle Informationsstände zum Erkenntnisfortschritt im Entwicklungsprojekt zugrunde liegen. Mit der in dieser Art geschaffenen hohen Transparenz über die Risiken im Projekt konnte das Ziel dieser Arbeit erreicht werden: Die Verbesserung der risikosteuernden Entscheidungen in Entwicklungsprojekten.

Der Anwendungsbereich des entwickelten Verfahrens kann über den bewährten Einsatz in der Automobil- und Halbleiterindustrie auf weitere Branchen ausgedehnt werden. Hierbei dürften vor allem entwicklungsintensive Branchen wie Flugzeugindustrie oder Maschinen- und Anlagenbau mit mehrmonatigen Projektlaufzeiten und vielen Projektbeteiligten den größten Nutzen ziehen.

Ansatzpunkte zur Weiterentwicklung des Verfahrens bietet die Berücksichtigung von wirtschaftlichen Risiken auf der Erlösseite. Veränderungen bei Kundenwünschen und Wettbewerberverhalten können zu Abweichungen der prognostizierten Absatzzahlen und Marktpreise führen und damit den Erfolg einer Produktentwicklung erheblich beeinflussen.

## 9 Summary

The development of products is an essential factor of success for industrial enterprises that produce series products because of its long term effects and its economical importance. The strategic planning of products defines the time when the product should be in the market. Based on this framework development projects are started to realize the product strategy. During the project the planned products should be developed ready for series production with the aid of knowledge, manpower, and financial resources obeying to reach the defined goals of quality, cost, and time. The uncertainty to reach these project goals are the technical risks that are composed of quality, cost, and time risks. The development of complex series products, which is the focus of this thesis, is characterised by a long development time, many involved persons partly working at different places, and a high complexity of products and processes. In such conditions there are many risks that the given project goals will not be reached. This thesis makes an important contribution to the management of technical risks during the development process of complex series products. The risk information model and the procedure of risk assessment form the basis to define currently and under consideration of knowledge progress the measures for reaching the goals.

In practice the technical risk management during projects is supported by many approaches and methods of project and quality management. Essential approaches are on the one hand project controlling with milestone and cost trend analysis and product maturity degree analysis. On the other hand reviews, quality gates, failure mode and effects analysis, fault tree analysis, and event tree analysis are used. Every method has its own purpose, but the product maturity degree analysis is the best to represent risk information and to assess risks currently and completely. However, there is need of improvement concerning systematic derivation of indicators, suitable links of risk information, and assessment and communication of risks with less time and energy needed.

Derived from system theory three linked systems are important for product development: the goal system, the action system, and the object system. The demands in the goal system concerning the product, which is represented in the technical object system, affect the process of construction, which is the action system, and this system affects the object system. These three systems contain elements describing the future states of goals. The achievement of these goals bears risks.

Based on this knowledge a risk information model was developed, oriented on the three fundamental systems of product development. The essential characteristic of the risk information model is its multiple level structure consisting of elements, main indicators, indicators,



and criterions. The first three levels remain nearly constantly during the project, so it is possible to define responsibilities for the assessment. However, the criterions based on commitments between internal customers and suppliers have to be put in concrete terms at each milestone. Because of this on the one hand the situational characteristics of the project phases are considered, on the other hand the acceptance of the assessment results is increased. The risk information model contains beside the objects of assessment and the marks to classify the results also the results of assessment itself. Because of these contents and the developed structure the risk information model can be used during the whole development project.

This thesis describes a way to operationalize the risk information model and the belonging instruments to create the model specifically for each project. Based on the product concept and the given goal and action system the structure of the model is fixed by an analysis and an assessment of the project risks. Especially the number and the degree of details of the indicators are based on decisions that consider on the one hand the structure of the project with its defined tasks, competencies, and responsibilities, on the other hand the time and energy needed for the assessment. If risks change during the project it will be possible to adapt the indicators. In addition, reference models for risk indicators can be used to create risk information models for comparable projects.

The risk assessment could be done from different places to reduce the time and energy needed compared to central meetings. In addition, it is an advantage to get more realistic decisions from persons one by one compared to groups because of such phenomenons as groupthink and risky shift.

During the design of instruments used for the risk assessment procedure scientific findings concerning motivation and decision theory were considered. For the definition of indicators and criterions findings from goal theory about the positive effect of goal specificity, goal acceptance, goal difficulty, and feedback about goal achievement on performance were used. When defining the responsibilities for the risk assessment the principle of complete and entire work contents with independent task planning, choice of means for reaching the goal, feedback about the process of work and the results, and comparison of results and given goals is realized.

The assessment of risks can be regarded as a process of decisions with incomplete information about alternatives and consequences. Here especially the feedback loops derived from the decision theory of limited rational choice are applied. In the risk assessment procedure feedback loops are realized by different authorities and regular repetitions of assessments. Because of this also the affective component of decisions derived from the conflict model of

decisions is taken into account.

The developed risk information model facilitates an effective risk communication by analysing and compressing assessment results. The instrument also renders assistance to define risk reducing measures. For every risk indicator hints about possible measures can be described from the view of the assessor. Persons of a higher hierarchical level can agree to these measures directly or after modification. The decision of central meetings with many persons involved compared to meetings of only some persons influences the time and energy needed. The risk assessment results support this decision by showing transparency about risk areas belonging together.

To increase the efficiency of risk assessment and communication an IT-tool was developed to define and assess indicators, to derive measures and to make reports. This software solution supports every phase of risk assessment during product development. The software is designed ergonomically with a low amount of masks and a program logic with is easy to understand and use.

The practical usability of the risk information model and the risk assessment procedure was shown on the one hand in the automobile industry developing a new brake system. In cooperative development between OEM and supplier it was proved to be useful forming pairs of assessors. At the regular assessments a common view of risks and an effective risk management could be reached by communicating often on the operative level.

On the other hand the risk assessment procedure was transferred to a parallel development of product and production in the industry of semi-conductors. The chosen first structure level of the risk information model was the process steps from cleaning the substrates to the final quality check. This practical example also showed that the instrument with its high transparency and its good information contributed to the success of the project.

## **Conclusion**

The developed risk assessment procedure is a necessary and practical supplement of the existing approaches for risk management in projects of product development. The risk assessment results are based on the view of project participants, which are also responsible for planning and execution of development activities. So it is assured that the assessment results are based on current information of knowledge progress in the development project. With the high transparency of project risks the following goal of this thesis was reached: The improvement of risk managing decisions in product development projects.

The application of the developed risk information model and risk assessment procedure, which is proved in the industries of automotive and semi-conductors, can be enlarged to fur-

ther industries. Especially design intensive industries as aerospace or mechanical engineering with a long development time and many involved persons could have the greatest benefit.

A starting point for further development of this procedure can be to take into account the economical risks of turnover. Dynamic changes in customer desires and competitor behaviour could show differences from the predicted sales volume and market prices and so influence the success of the developed product in a considerable way.

## Literaturverzeichnis

- Ashby (1968) Ashby, William Ross:  
An introduction to cybernetics.  
London: Methuen, 1968
- Automobil-Produktion (2001) N.N.: Premiere von Brake-by-Wire.  
In: Automobil-Produktion 15 (2001), Sonderausgabe Mercedes-Benz  
SL, November, S. 60-62
- Beer (1962) Beer, Stafford:  
Kybernetik und Management.  
Frankfurt: Fischer, 1962
- Bertalanffy (1951) Bertalanffy, Ludwig von:  
General system theory : A new approach to unity of science.  
In: Human biology 23 (1951) Nr. 4, S. 302-361
- Bertsche/Lechner (2004) Bertsche, Bernd; Lechner, Gisbert:  
Zuverlässigkeit im Fahrzeug- und Maschinenbau.  
3. Aufl.  
Berlin u. a.: Springer, 2004
- Braun (1982) Braun, Herbert:  
Risikomanagement : Eine spezifische Controllingaufgabe.  
Darmstadt: Toeche-Mittler, 1984.  
Zugl. Stuttgart, Univ., Diss., 1982
- Brockhoff (1994) Brockhoff, Klaus:  
Forschung und Entwicklung : Planung und Kontrolle.  
München u. a.: Oldenbourg, 1994
- Buchholz (1996) Buchholz, Wolfgang:  
Time-to-Market-Management : Zeitorientierte Gestaltung von Produkt-  
innovationsprozessen.  
Stuttgart; Berlin; Köln: Kohlhammer, 1996.  
Zugl. Gießen, Univ., Diss., 1996
- Bullinger (1994) Bullinger, Hans-Jörg:  
Einführung in das Technologiemanagement : Modelle, Methoden,  
Praxisbeispiele.  
Stuttgart: Teubner, 1994

- Bullinger u. a. (1995) Bullinger, Hans-Jörg u. a.:  
Produktivitätsfaktor Information : Data Warehouse, Data Mining und Führungsinformationen im betrieblichen Einsatz.  
In: Data Warehouse und seine Anwendungen : Data Mining, OLAP und Führungsinformationen im betrieblichen Einsatz, 7./8. November 1995 in Stuttgart / Bullinger, Hans-Jörg (Hrsg.). Stuttgart: Fraunhofer IRB, 1995, S. 11-30
- DIN EN ISO 8402 (1995) Norm DIN EN ISO 8402 08.1995:  
Qualitätsmanagement – Begriffe  
Zurückgezogen 12.2000
- Dörner/Doleczik (2000) Dörner, Dietrich; Doleczik, Günter:  
Prüfung des Risikomanagements.  
In: Praxis des Risikomanagements : Grundlagen, Kategorien, branchenspezifische und strukturelle Aspekte / Dörner, Dietrich; Horváth, Péter; Kagermann, Henning (Hrsg.). Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2000, S. 193-224
- Duden (2001) Duden Herkunftswörterbuch : Etymologie der deutschen Sprache.  
3. Aufl.  
Mannheim u. a.: Duden, 2001
- Eastman/Fereshetian (1994) Eastman, Charles M.; Fereshetian, N.:  
Information models for use in product design : A comparison.  
In: Computer-Aided Design 26 (1994) Nr. 7, S. 551-572
- Eckert (1985) Eckert, Detlef:  
Risikostrukturen industrieller Forschung und Entwicklung : Theoretische und empirische Ansatzpunkte einer Risikoanalyse technologischer Innovationen.  
Berlin: Erich Schmidt, 1985
- Ehrlenspiel (1991) Ehrlenspiel, Klaus:  
Integrierte Produkterstellung : Organisation - Methoden - Hilfsmittel.  
In: Wettbewerbsfaktor Zeit im Produktionsunternehmen, Münchner Kolloquium '91. Berlin: Springer, 1991, S. 113-131
- Ehrlenspiel (2003) Ehrlenspiel, Klaus:  
Integrierte Produktentwicklung : Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit.  
München; Wien: Hanser, 2003

- Eversheim/Bochtler/  
Laufenberg (1995) Eversheim, Walter (Hrsg.); Bochtler, Wolfgang; Laufenberg, Ludger:  
Simultaneous Engineering : Erfahrungen aus der Industrie für die  
Industrie.  
Berlin u. a.: Springer, 1995
- Fauth u. a. (1999) Fauth, Gunter u. a.:  
Den Anlauf im Griff : Quality Gates in der Produktion sichern Marken-  
qualität.  
In: Qualität und Zuverlässigkeit QZ 44 (1999) Nr. 6, S. 756-760
- Fischer/Henne (1998) Fischer, Wolfram; Henne, Günter:  
Mercedes-Benz S-Klasse : Transparenz und Prognose - Zwei  
Schlüssel zum Projekterfolg : Erfahrungen aus dem Projektmanage-  
ment.  
In: Motortechnische Zeitschrift 59 (1998) Sonderausgabe Die neue S-  
Klasse, S. 172-181
- Fischer/Weber (1998) Fischer, Wolfram; Weber, Matthias:  
Management für komplexe Produktprojekte.  
In: Maschinenbau (Zürich) 27 (1998) Nr. 9, S. 34-40
- Franke (1993) Franke, Armin:  
Risikobewußtes Projekt-Controlling.  
Köln: TÜV Rheinland, 1993
- Franz (2000) Franz, Klaus-Peter:  
Corporate Governance.  
In: Praxis des Risikomanagements : Grundlagen, Kategorien, bran-  
chenspezifische und strukturelle Aspekte / Dörner, Dietrich; Horváth,  
Péter; Kagermann, Henning (Hrsg.). Stuttgart: Schäffer-Poeschel,  
2000, S. 41-72
- Fraunhofer IPA (1999) Fraunhofer IPA: Unveröffentlichte Präsentationsunterlagen zum Pro-  
duktreifegrad bei der elektrohydraulischen Bremse.  
Stuttgart: Fraunhofer IPA, 1999
- Fraunhofer IPA (2001) Fraunhofer IPA: Unveröffentlichte Präsentationsunterlagen zum Ent-  
wicklungscontrolling bei der Entwicklung von Dünnschicht-  
Solarzellen.  
Stuttgart: Fraunhofer IPA, 2001
- Fraunhofer IPA/Internet (2001) Fraunhofer IPA; Internet: Unveröffentlichte Projektunterlage zur Er-  
stellung der Software Entwicklungscontrolling (EWC).  
Stuttgart: Fraunhofer IPA, 2001

- Gausemeier/Ebbesmeyer/  
Kallmeyer (2001) Gausemeier, Jürgen; Ebbesmeyer, Peter; Kallmeyer, Ferdinand:  
Produktinnovation : Strategische Planung und Entwicklung der Pro-  
dukte von morgen.  
München; Wien: Hanser, 2001
- Gzuk (1988) Gzuk, Roland:  
Messung der Effizienz von Entscheidungen.  
In: Innovative Entscheidungsprozesse : Die Ergebnisse des Projektes  
Columbus / Witte, Eberhard; Hauschild, Jürgen; Grün, Oskar (Hrsg.).  
Tübingen: Mohr, 1988, S. 125-142
- Haberfellner u. a. (1992) Haberfellner, Reinhard u. a.:  
Systems Engineering (SE) - neu bearbeitet.  
In: io Management 61 (1992) Nr. 5, S. 75-80
- Hacker (1986) Hacker, Wilfried:  
Arbeitspsychologie : Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten.  
Bern u. a.: Huber, 1986
- Hahn/Hungenberg (2001) Hahn, Dietger; Hungenberg, Harald:  
PuK : Planung und Kontrolle, Planungs- und Kontrollsysteme, Pla-  
nungs- und Kontrollrechnung : Wertorientierte Controllingkonzepte.  
6. Aufl.  
Wiesbaden: Gabler, 2001
- Haller/Ackermann (1992) Haller, Matthias; Ackermann, Walter:  
Versicherungswirtschaft - kundenorientiert.  
Zürich: Verlag des Schweizerischen Kaufmännischen Verbandes,  
1992
- Hänggi (1996) Hänggi, Roman:  
Risikomanagement und Simultaneous Engineering.  
St. Gallen, Univ., Diss., 1996
- Harnischfeger/Reinking (2001) Harnischfeger, Uta; Reinking, Guido:  
Mercedes : Garantiekosten belasten Profite.  
In: Financial Times Deutschland, 08.05.2001. URL:  
<http://www.ftd.de/ub/in/1070864.html> [Stand: 19.09.2002]
- Heiler/Wißler (1999) Heiler, Holger C.; Wißler, Frank E.:  
Umfassendes Projektcontrolling mit Hilfe der Produktreifegradmetho-  
de : Das Erreichen von Projektzielen durch regelmäßige Bewertung  
des Reifegrades sicherstellen.  
In: Projektmanagement 10 (1999) Nr. 2, S. 26-29

- Herzberg (1987) Herzberg, Frederick:  
One more time : How do you motivate employees?  
In: Harvard business review 65 (1987) Nr. 5, S. 109-120
- Herzberg u. a. (1959) Herzberg, Frederick u. a.:  
The motivation to work.  
New York u. a.: Wiley, 1959
- Hommelhoff/Mattheus (2000) Hommelhoff, Peter; Mattheus, Daniela:  
Gesetzliche Grundlagen : Deutschland und international.  
In: Praxis des Risikomanagements : Grundlagen, Kategorien, branchenspezifische und strukturelle Aspekte / Dörner, Dietrich; Horváth, Péter; Kagermann, Henning (Hrsg.). Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2000, S. 5-40
- Horváth (1996) Horváth, Peter:  
Controlling.  
6. Aufl.  
München: Vahlen, 1996
- Hubka (1976) Hubka, Vladimir:  
Theorie der Konstruktionsprozesse : Analyse der Konstruktionstätigkeit.  
Berlin; Heidelberg; New York: Springer, 1976
- Imboden (1982) Imboden, Carlo:  
Ein entscheidbezogenes Risikohandhabungsverfahren.  
Bern: Haupt, 1983.  
Zugl. Bern, Univ., Diss., 1982
- Isermann (1996) Isermann, Rolf:  
Mechatronische Systeme : Eine Einführung.  
In: GMA-Kongress 96 Mess- und Automatisierungstechnik, 10.-11. September in Baden-Baden / VDI/VDE (Hrsg.). Düsseldorf: VDI, 1996, S. 301-315
- Janis (1982) Janis, Irving L.:  
Victims of groupthink : A psychological study of foreign-policy decisions and fiascoes.  
2. Aufl.  
Boston: Houghton Mifflin, 1982



- Janis/Mann (1977) Janis, Irving. L.; Mann, Leon:  
Decision making : A psychological analysis of conflict, choice, and  
commitment.  
New York; London: Free Press, 1977
- Juran (1993) Juran, Joseph M.:  
Der neue Juran : Qualität von Anfang an.  
Landsberg/Lech: Moderne Industrie, 1993
- Kersten (1999) Kersten, Günter:  
Integrierte Methoden Anwendung in der Entwicklung.  
In: Handbuch Qualitätsmanagement / Masing, Walter (Hrsg.). 4. Aufl.  
München; Wien: Hanser, 1999, S. 355-388
- Kläger (1993) Kläger, Roland:  
Modellierung von Produktanforderungen als Basis für Problemlö-  
sungsprozesse in intelligenten Konstruktionssystemen.  
Aachen: Shaker, 1993.  
Zugl. Karlsruhe, Univ., Diss., 1993
- Knight (1921) Knight, Frank H.:  
Risk, Uncertainty and Profit.  
Reprint.  
New York: Kelly, 1964=1921
- Landy/Conte (2004) Landy, Frank J.; Conte, Jeffrey M.:  
Work in the 21st century : An introduction to industrial and organiza-  
tional psychology.  
Boston u. a.: McGraw-Hill, 2004
- Laufenberg (1995) Laufenberg, Ludger:  
Methodik zur integrierten Projektgestaltung für die situative Umset-  
zung des Simultaneous Engineering.  
Aachen: Shaker, 1996.  
Zugl. Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 1995
- Lindemann (1996) Lindemann, Udo:  
Produktentwicklung im Wettbewerb.  
In: Erfolgreiche Produkte und Prozesse / VDI-Gesellschaft System-  
entwicklung und Projektgestaltung (VDI-GSP). Düsseldorf: VDI Ver-  
lag, 1996. (VDI-Berichte Band 1305), S. 289-301

- Lindemann (2005) Lindemann, Udo:  
Methodische Entwicklung technischer Produkte : Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden.  
Berlin; Heidelberg; New York: Springer, 2005
- Locke (1968) Locke, Edwin A.:  
Toward a theory of task motivation and incentives.  
In: Organizational Behavior and Human Performance 3 (1968),  
S. 157-189
- Locke (1976) Locke, Edwin A.:  
The nature and causes of job satisfaction.  
In: Handbook of Industrial and Organizational Psychology / Dunette, Marvin D. (Hrsg.). Chicago: Rand MacNally, 1976, S. 1297-1349
- Luczak (1998) Luczak, Holger:  
Arbeitswissenschaft.  
2. Aufl.  
Berlin u. a.: Springer, 1998
- Malik (1999) Malik, Fredmund:  
Managementperspektiven : Wirtschaft und Gesellschaft, Strategie, Management und Ausbildung.  
2. Aufl.  
Bern; Stuttgart; Wien: Haupt, 1999
- Marks (1991) Marks, Siegfried:  
Gemeinsame Gestaltung von Technik und Organisation in soziotechnischen kybernetischen Systemen.  
Düsseldorf: VDI Verlag, 1991.  
Zugl. Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 1991
- Maslow (1943) Maslow, Abraham Harold:  
A theory of human motivation.  
In: Psychological Review 50 (1943), S. 370-396
- Maslow (1954) Maslow, Abraham Harold:  
Motivation and personality.  
New York u.a.: Harper and Row, 1954
- McClelland (1961) McClelland, David C.:  
The achieving society.  
Princeton, N.J.: Van Nostrand, 1961

- McClelland (1971)                      McClelland, David C.:  
Assessing human motivation.  
Morrestown, N.J.: General Learning, 1971
- McClelland u. a. (1953)                McClelland, David C. u. a.:  
The achievement motive.  
New York: Appleton-Century-Crofts, 1953
- McKinsey (2001)                        McKinsey & Company:  
„Quality Gates“ verhindern den Garantiefall.  
In: VDI-Nachrichten Nr. 44 (2001), S. 13
- Mensch (1990)                          Mensch, Gerhard:  
Risiko und Unternehmensführung : Eine systemorientierte Konzeption  
zum Risikomanagement.  
Frankfurt: Lang, 1991.  
Zugl. Berlin, Techn. Univ., Diss., 1990
- Miller u. a. (1973)                      Miller, Georg A.; Galanter, Eugene; Pribram, Karl H.:  
Strategien des Handelns : Pläne und Strukturen des Verhaltens.  
Stuttgart: Klett, 1973
- Neubürger (1989)                        Neubürger, Klaus W.:  
Chancen- und Risikobeurteilung im strategischen Management : Die  
informativische Lücke.  
Stuttgart: Poeschel, 1989
- Obermeier (1999)                        Obermeier, Otto-Peter:  
Die Kunst der Risikokommunikation : Über Risiko, Kommunikation  
und Themenmanagement.  
München: Gerling-Akademie, 1999
- Osterloh (1983)                         Osterloh, Margit:  
Handlungsspielräume und Informationsverarbeitung.  
Bern u. a.: Huber, 1983
- Pall (1987)                                Pall, Gabriel A.:  
Quality process management.  
Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1987
- Palmer/Marous (2001)                 Palmer, Ulrich; Marous, Patrick:  
Kontrolliertes Risiko : Softwaregestütztes Risikomanagement - heute  
und morgen.  
In: IT Management 8 (2001) Nr. 7, S. 12-19

- Patzak (1982) Patzak, Gerold:  
Systemtechnik - Planung komplexer innovativer Systeme : Grundlagen, Methoden, Techniken.  
Berlin u. a.: Springer, 1982
- Pfeifer (1993) Pfeifer, Tilo:  
Qualitätsmanagement : Strategien, Methoden, Techniken.  
München; Wien: Hanser, 1993
- Porter/Lawler (1968) Porter, Lyman W.; Lawler, Edward E.:  
Managerial attitudes and performance.  
Homewood, Ill.: Richard D. Irwin, 1968
- Powalla (2000) Powalla, Michael:  
CIS-Dünnschichtsolarmodule.  
In: Jahrestagung FV Sonnenenergie: 12. Internationales Sonnenforum, Juli 2000 in Freiburg
- Powalla/Dimmler (2001) Powalla, Michael; Dimmler, Bernhard:  
First results of the CIGS solar module pilot production.  
In: Proceedings of the 17. European PVSEC, October 2001 in Munich
- Radtke (1995) Radtke, Mirko:  
Konzept zur Gestaltung prozeß- und integrationsgerechter Produktmodelle.  
Kaiserslautern, Univ., Diss., 1995
- Radtke u. a. (2004) Radtke, Philipp; Abele, Eberhard; Zielke, Andreas E.:  
Die smarte Revolution in der Automobilindustrie.  
Frankfurt; Wien: Ueberreuter, 2004
- Rapoport (1985) Rapoport, Anatol:  
Die wissenschaftlichen und methodologischen Grundlagen der allgemeinen Systemtheorie.  
In: Integriertes Management / Probst, Gilbert J. B.; Siegwart, Hans (Hrsg.). Bern; Stuttgart: Haupt, 1985, S. 147-164
- Reither (1997) Reither, Franz:  
Komplexitätsmanagement : Denken und Handeln in komplexen Situationen.  
München: Gerling Akademie, 1997

- Ropohl (1975) Ropohl, Günter:  
Einleitung in die Systemtechnik.  
In: Systemtechnik - Grundlagen und Anwendung / Ropohl, Günter (Hrsg.). München; Wien: Hanser, 1975, S. 1-77
- Sauerwein/Thurner (1998) Sauerwein, Elmar; Thurner, Matthias:  
Der Risiko-Management-Prozeß im Überblick.  
In: Betriebliches Risikomanagement / Hinterhuber, Hans; Sauerwein, Elmar; Fohler-Norek, Christine (Hrsg.). Wien: Österreich, 1998, S. 19-39
- Scharer (2002) Scharer, Michael:  
Quality Gate-Ansatz mit integriertem Risikomanagement : Methodik und Leitfaden zur zielorientierten Planung und Durchführung von Produktentstehungsprozessen.  
Karlsruhe, Univ., Diss., 2002
- Schloske (1999) Schloske, Alexander:  
Ein Modell zur EDV-integrierten Fehlermöglichkeits- und -einflußanalyse (FMEA) in der Arbeitsplanung, Prüfplanung und Fertigung.  
Heimsheim: Jost-Jetter, 1999.  
Zugl. Stuttgart, Univ., Diss., 1999
- Schloske (2001) Schloske, Alexander:  
Produktentwicklungsmethoden richtig einsetzen.  
In: Effizienzsteigerung in der Produktentwicklung: Fraunhofer IPA Tagung, 20. November 2001 in Stuttgart / Schraft, Rolf D.; Westkämper, Engelbert (Hrsg.). Stuttgart: Fraunhofer IRB, 2001, S. 121-146
- Schneider (1975) Schneider, Hans-Dieter:  
Kleingruppenforschung.  
Stuttgart: Teubner, 1975
- Schnorrenberg/Goebels (1997) Schnorrenberg, Uwe; Goebels, Gabriele:  
Risikomanagement in Projekten : Methoden und ihre praktische Anwendung.  
Braunschweig; Wiesbaden: Vieweg, 1997
- Schönit (1988) Schönit, Willi:  
Produktinnovationen als Objekte dynamischer Systemanalysen : Ein System-Dynamics-Modell zur Erklärung und Gestaltung von Innovationsprozessen in industriellen Unternehmen.  
Pfaffenweiler: Centaurus, 1989.  
Zugl. Mannheim, Univ., Diss., 1988

- Schrader/Göpfert (1998) Schrader, Stephan; Göpfert, Jan:  
Zielklarheit und Zieloffenheit : Eine empirische Analyse der Zusammenarbeit von Herstellern und Zulieferern in der Produktentwicklung.  
In: Innovationsforschung und Technologiemanagement / Franke, Nikolaus; von Braun, Christoph-Friedrich (Hrsg.). Berlin u. a.: Springer, 1998, S. 191-204
- Schumann (1994) Schumann, Gerd:  
Adaptive Planung des Produktentwicklungsprozesses.  
München; Wien: Hanser, 1994.  
Zugl. Berlin, Techn. Univ., Diss., 1994
- Schwaninger (1994) Schwaninger, Markus:  
Managementsysteme.  
Frankfurt; New York: Campus, 1994
- Schwaninger (1995) Schwaninger, Markus:  
Komplexitätsbewältigung durch Führungsinformationssysteme.  
In: Data Warehouse und seine Anwendungen : Data Mining, OLAP und Führungsinformationen im betrieblichen Einsatz, 7./8. November 1995 in Stuttgart / Bullinger, Hans-Jörg (Hrsg.). Stuttgart: Fraunhofer IRB, 1995, S. 147-178
- Seghezzi (1994) Seghezzi, Hans Dieter:  
Qualitätsplanung.  
In: Handbuch Qualitätsmanagement / Masing, Walter (Hrsg.). 3. Aufl. München; Wien: Hanser, 1994, S. 373-400
- Shannon/Weaver (1949) Shannon, Claude Elwood; Weaver, Warren:  
The mathematical theory of communication.  
Urbana, Ill.: Univ. of Illinois Press, 1949
- Siegwart (1974) Siegwart, Hans:  
Produktentwicklung in der industriellen Unternehmung.  
Bern; Stuttgart: Haupt, 1974
- Simon (1945) Simon, Herbert A.:  
Administrative behavior : A study of decision-making processes in administrative organization.  
New York: Free Press, 1945

- Simon (1976) Simon, Herbert A.:  
Administrative behavior : A study of decision-making processes in administrative organization.  
3. Aufl.  
New York: Free Press, 1976
- Simon (1978) Simon, Herbert A.:  
Rationality as process and as product of thought.  
In: American Economic Review 68 (1978) Nr. 2, S. 1-16
- Smith/Reinertsen (1991) Smith, Preston G.; Reinertsen, Donald G.:  
Developing Products in half the time.  
New York: Van Nostrand Reinhold, 1991
- Spath u. a. (2001) Spath, Dieter u. a.:  
Tore öffnen : Quality-Gate-Konzept für den Produktentstehungsprozess.  
In: Qualität und Zuverlässigkeit QZ 46 (2001) Nr. 12, S. 1544-1549
- Specht/Beckmann (1996) Specht, Günter; Beckmann, Christoph:  
F&E Management.  
Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1996
- Spur (1991) Spur, Günter:  
Integrierte Produktentwicklung.  
ZWF CIM 86 (1991) Nr. 3, S. CA 14
- Staehe (1991) Staehe, Wolfgang H.:  
Management : Eine verhaltenswissenschaftliche Perspektive.  
6. Aufl.  
München: Vahlen, 1991
- Staehe (1999) Staehe, Wolfgang H.:  
Management : Eine verhaltenswissenschaftliche Perspektive.  
8. Aufl.  
München: Vahlen, 1999
- Staiger (1997) Staiger, Thomas Jörg:  
Projektreifegrad als Instrument der Projektüberwachung.  
In: Fit für den globalen Markt? Leitfaden für das Qualitätsmanagement und Projektmanagement : Lösungsansätze, Umsetzungsbeispiele, Methoden / VDMA; VdTÜV (Hrsg.). Frankfurt: VDMA Verlag, 1997, S. 56-61 und S. 335-340

- Staiger/Steiniger (1997) Staiger, Thomas J.; Steiniger, Roland:  
Erfolgreiche Steuerung von Produktentwicklungsprojekten mit Hilfe des Projektreifegrades. Vortrag bei der Gesellschaft für Projektmanagement, VDI-Haus, 18. November 1997 in Stuttgart
- Stanke/Berndes (1996) Stanke, Alexander; Berndes, Stefan:  
A Concept for Revitalisation of Product Development.  
In: CONSENS : Concurrent Simultaneous Engineering Systems / Bullinger, Hans-Jörg; Warschat, Joachim (Hrsg.). Berlin u. a.: Springer, 1996, S. 7-56
- Stanke/Berndes (1997) Stanke, Alexander; Berndes, Stefan:  
Simultaneous Engineering Teams.  
In: Forschungs- und Entwicklungsmanagement : Simultaneous Engineering, Projektmanagement, Produktplanung, Rapid Product Development / Bullinger, Hans-Jörg; Warschat, Joachim (Hrsg.). Stuttgart: Teubner, 1997, S. 15-27
- Stuffer (1993) Stuffer, Rupert:  
Planung und Steuerung der Integrierten Produktentwicklung.  
München; Wien: Hanser, 1994.  
Zugl. München, Techn. Univ., Diss., 1993
- Ulich (1972) Ulich, Eberhard:  
Arbeitswechsel und Aufgabenerweiterung.  
In: REFA-Nachrichten 25 (1972) Nr. 2, S. 265-275
- Ulich (1994) Ulich, Eberhard:  
Arbeitspsychologie.  
3. Aufl.  
Zürich: vdf Hochschulverl. AG an der ETH Zürich, 1994
- Ulrich (2001) Ulrich, Hans:  
Die Unternehmung als produktives soziales System : Grundlagen der allgemeinen Unternehmungslehre.  
3. Aufl.  
Bern; Stuttgart; Wien: Haupt, 2001
- Van Zanten u. a. (1997) Van Zanten, Anton Th. u. a.:  
Simulation bei der Entwicklung der Bosch-Fahrdynamikregelung.  
In: Mechatronik im Maschinen- und Fahrzeugbau, 11./12. März 1997 in Moers / VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb (Hrsg.). Düsseldorf: VDI Verlag, 1997, S. 143-166



- VDA 4 Entwicklungsabläufe (2003)      Verband der deutschen Automobilindustrie (VDA) Band 4: Sicherung der Qualität vor Serieneinsatz : Sicherung der Qualität während der Produktrealisierung : Methoden und Verfahren : Entwicklungsabläufe.  
4. Aufl.  
Frankfurt: VDA, 2003
- VDA 4 Fehlerbaumanalyse (2003)      Verband der deutschen Automobilindustrie (VDA) Band 4: Sicherung der Qualität vor Serieneinsatz : Sicherung der Qualität während der Produktrealisierung : Methoden und Verfahren : Fehlerbaumanalyse.  
4. Aufl.  
Frankfurt: VDA, 2003
- VDA 4 Teil 2 (1996)      Verband der deutschen Automobilindustrie (VDA) Band 4 Teil 2: Sicherung der Qualität vor Serieneinsatz : System-FMEA.  
Frankfurt: VDA, 1996
- VDA 4 Teil 3 (1998)      Verband der deutschen Automobilindustrie (VDA) Band 4 Teil 3: Sicherung der Qualität vor Serieneinsatz : Projektplanung.  
Frankfurt: VDA, 1998
- VDI 2221 (1993)      VDI-Richtlinie 2221 05.1993: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte.
- VDI 2222 (1997)      VDI-Richtlinie 2222 Blatt 1 06.1997: Konstruktionsmethodik - Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien.
- VDI 2235 (1987)      VDI-Richtlinie 2235 10.1987: Wirtschaftliche Entscheidungen beim Konstruieren : Methoden und Hilfen.
- Vroom (1964)      Vroom, Victor Harold:  
Work and motivation.  
New York u. a.: Wiley, 1964
- Wangenheim (1998)      Wangenheim, Sascha von:  
Planung und Steuerung des Serienanlaufs komplexer Produkte : Dargestellt am Beispiel der Automobilindustrie.  
Frankfurt: Peter Lang, 1998.  
Zugl. Stuttgart, Univ., Diss., 1998
- Warnecke (1993)      Warnecke, Hans-Jürgen:  
Der Produktionsbetrieb 2 : Produktion, Produktionssicherung.  
2. Aufl.  
Berlin u. a.: Springer, 1993

- Weber (1978) Weber, Felix A.:  
Die Gestaltung des Prozesses der Produktentwicklung und  
-einführung : Eine systemorientierte Darstellung.  
St. Gallen, Hochschule, Diss., 1978
- Westkämper/Balve (2003) Westkämper, Engelbert; Balve, Patrick:  
Technologiemanagement in produzierenden Unternehmen.  
In: Neue Organisationsformen im Unternehmen : Ein Handbuch für  
das moderne Management / Bullinger, Hans-Jörg; Warnecke, Hans  
Jürgen; Westkämper, Engelbert (Hrsg.). 2. Aufl. Berlin; Heidelberg;  
New York: Springer, 2003, S. 274-289
- Weule (2002) Weule, Hartmut:  
Integriertes Forschungs- und Entwicklungsmanagement : Grundla-  
gen, Strategien, Umsetzung.  
München; Wien: Hanser, 2002
- Wiener (1949) Wiener, Norbert:  
Cybernetics : Or control and communication in the animal and the  
machine.  
New York: Wiley, 1949
- Wild (1981) Wild, Jürgen:  
Grundlagen der Unternehmensplanung.  
3. Aufl.  
Opladen: Westdeutscher Verlag, 1981
- Wildemann (1994) Wildemann, Horst:  
Organisation und Projektabwicklung für das Just-In-Time-Konzept in  
F&E und Konstruktion (Teil 1).  
In: Zeitschrift Führung und Organisation zfo 63 (1994) Nr. 1, S. 27-33
- Wildemann (2003) Wildemann, Horst:  
Controlling im Total Quality Management.  
In: Qualitätsmanagement im Unternehmen : Grundlagen, Methoden  
und Werkzeuge, Praxisbeispiele / Hansen, Wolfgang; Kamiske, Gerd  
F. (Hrsg.). Düsseldorf: Symposion, 2003, 08.16, S. 1-29

- Wißler (2000)                      Wißler, Frank E.:  
Reife Produkte durch effiziente Qualitätslenkung in Entwicklungsprojekten.  
In: Erfolgreiche Produktentwicklung : Methoden und Werkzeuge zur Planung und Entwicklung von marktgerechten Produkten: Tagung, 5. und 6. Oktober 2000 in Stuttgart / VDI-Gesellschaft Systementwicklung und Projektgestaltung(Hrsg.), Düsseldorf: VDI Verlag, 2000, S. 69-83
- Wißler/Vogt (2000)                Wißler, Frank E.; Vogt, Guido:  
Effizientes Projektcontrolling im dynamischen Umfeld der Produktentwicklung.  
In: Projektmanagement - Strategien und Lösungen für die Zukunft: 17. Deutsches Projektmanagement Forum, 11. bis 14. Oktober 2000 in Frankfurt am Main / Ottmann, Roland u. a. (Hrsg.). Berlin: Vision-Works Congress, 2000, S. 175, 177-185
- Wittkopp/Haschke/  
Eicke (2000)                      Wittkopp, A.; Haschke, M.; Eicke, A.:  
Schichtanalytik der Röntgenfluoreszenz.  
In: Metall 54 (2000) Nr. 11, S. 662-666
- Wittmann (2000)                    Wittmann, Edgar:  
Organisation des Risikomanagements im Siemens Konzern.  
In: Risk Controlling in der Praxis : Rechtliche Rahmenbedingungen und geschäftspolitische Konzeptionen in Banken, Versicherungen und Industrie / Schierenbeck, Henner (Hrsg.). Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2000, S. 457-482
- Wöhe (2002)                        Wöhe, Günter:  
Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre.  
21. Aufl.  
München: Vahlen, 2002



## **Lebenslauf**

### **Persönliche Daten**

Name	Frank Eugen Wißler
Geburtsdaten	11. Mai 1966 in Löffingen
Familienstand	verheiratet

### **Schulausbildung**

1972 – 1976	Grundschule in Titisee-Neustadt
1976 – 1985	Kreisgymnasium Hochschwarzwald in Titisee-Neustadt Abschluss: Allgemeine Hochschulreife

### **Wehrdienst**

1985 – 1986	7. Flugabwehrregiment 10 in Sigmaringen
-------------	---

### **Hochschulausbildung**

1986 – 1992	Allgemeiner Maschinenbau an der Universität Karlsruhe (TH) Abschluss: Diplom-Ingenieur  Studienarbeit bei LuK GmbH in Bühl  Diplomarbeit bei Heidelberger Druckmaschinen AG in Heidelberg
-------------	--

### **Beruflicher Werdegang**

1992 – 1995	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart
1995 – 2001	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) in Stuttgart, Gruppenleiter Qualitätsmanagementsysteme (1997-2001)
2002 – 2005	Berater bei Volkswagen Consulting in Wolfsburg
Seit 2005	Koordinator Kostenanalytik bei der Volkswagen AG in Wolfsburg

