

Lehrstuhl für
Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik
der Technischen Universität München

**Konzept eines integrierten Risikomanagements für die Ablauf-
und Strukturgestaltung in Fabrikplanungsprojekten**

Sebastian Weig

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

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Gunther Reinhart

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Willibald Günthner

Die Dissertation wurde am 07.02.2008 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 09.06.2008 angenommen.

Sebastian Weig

**Konzept eines integrierten
Risikomanagements für die Ablauf- und
Strukturgestaltung in Fabrikplanungsprojekten**



Herbert Utz Verlag · München

Forschungsberichte IWB

Band 220

Zugl.: Diss., München, Techn. Univ., 2008

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH · 2008

ISBN 978-3-8316-0823-2

Printed in Germany
Herbert Utz Verlag GmbH, München
089-277791-00 · www.utzverlag.de

Geleitwort der Herausgeber

Die Produktionstechnik ist für die Weiterentwicklung unserer Industriegesellschaft von zentraler Bedeutung, denn die Leistungsfähigkeit eines Industriebetriebes hängt entscheidend von den eingesetzten Produktionsmitteln, den angewandten Produktionsverfahren und der eingeführten Produktionsorganisation ab. Erst das optimale Zusammenspiel von Mensch, Organisation und Technik erlaubt es, alle Potentiale für den Unternehmenserfolg auszuschöpfen.

Um in dem Spannungsfeld Komplexität, Kosten, Zeit und Qualität bestehen zu können, müssen Produktionsstrukturen ständig neu überdacht und weiterentwickelt werden. Dabei ist es notwendig, die Komplexität von Produkten, Produktionsabläufen und -systemen einerseits zu verringern und andererseits besser zu beherrschen.

Ziel der Forschungsarbeiten des *iwb* ist die ständige Verbesserung von Produktentwicklungs- und Planungssystemen, von Herstellverfahren sowie von Produktionsanlagen. Betriebsorganisation, Produktions- und Arbeitsstrukturen sowie Systeme zur Auftragsabwicklung werden unter besonderer Berücksichtigung mitarbeiterorientierter Anforderungen entwickelt. Die dabei notwendige Steigerung des Automatisierungsgrades darf jedoch nicht zu einer Verfestigung arbeitsteiliger Strukturen führen. Fragen der optimalen Einbindung des Menschen in den Produktentstehungsprozess spielen deshalb eine sehr wichtige Rolle.

Die im Rahmen dieser Buchreihe erscheinenden Bände stammen thematisch aus den Forschungsbereichen des *iwb*. Diese reichen von der Entwicklung von Produktionssystemen über deren Planung bis hin zu den eingesetzten Technologien in den Bereichen Fertigung und Montage. Steuerung und Betrieb von Produktionssystemen, Qualitätssicherung, Verfügbarkeit und Autonomie sind Querschnittsthemen hierfür. In den *iwb* Forschungsberichten werden neue Ergebnisse und Erkenntnisse aus der praxisnahen Forschung des *iwb* veröffentlicht. Diese Buchreihe soll dazu beitragen, den Wissenstransfer zwischen dem Hochschulbereich und dem Anwender in der Praxis zu verbessern.

Gunther Reinhart

Michael Zäh

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit am ifp - Prof. Dr.-Ing. Joachim Milberg Institut für Produktionstechnik GmbH.

Mein Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Michael F. Zäh und Herrn Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart, den Leitern des Instituts für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) der Technischen Universität München, sowie Herrn Hon.-Prof. Dr.-Ing., Dr. h.c., Dr.-Ing. E.h. Joachim Milberg, dem ehemaligen Leiter des Instituts, für die wohlwollende Unterstützung und großzügige Förderung, die entscheidend zur erfolgreichen Durchführung dieser Arbeit beigetragen hat. Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Willibald Günthner, dem Leiter des Lehrstuhls für Fördertechnik Materialfluss Logistik (*fml*) der Technischen Universität München, möchte ich mich für die Übernahme des Korreferates und die aufmerksame Durchsicht der Arbeit sehr herzlich bedanken.

Des Weiteren danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing Christoph Maier und Herrn Dr.-Ing. Ulrich Kohler, den ehemaligen geschäftsführenden Gesellschaftern des *ifp*, sowie Herrn Dipl.-Ing. Ralph Wannewetsch und Herrn Dipl.-Ing. (FH) / MAEBA Robert Kuttler, den Geschäftsführern des *ifp*, für die stete Unterstützung und berufliche Förderung sowie die langjährige gute Zusammenarbeit. Dieser Dank gilt auch allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des *ifp* für die kollegiale Zusammenarbeit.

Besonderen Dank möchte ich den Herren Michael Braunschmidt, Mathias Mörtl, Ulrich Mündlein, Florian Reichl und Martin Strecker sowie meinem Bruder Florian Weig für die lebhaften fachlichen Diskussionen aussprechen – ihre wertvollen Anregungen haben meine Arbeit wesentlich unterstützt.

Meiner Freundin Susanne danke ich für ihre Aufmunterungen, ihre Fröhlichkeit und ihren Optimismus, die mich gerade in der Schlussphase der Arbeit immer wieder entscheidend motivierten und aufbauten. Schließlich und nicht zuletzt möchte ich mich ganz besonders bei meinen Eltern bedanken. Sie haben mich stets in meiner Ausbildung unterstützt, mir den nötigen Rückhalt gegeben, mein Leben entscheidend geprägt und damit den Grundstein dieser Arbeit gelegt. Ihnen widme ich diese Arbeit.

München, im Juni 2008

Sebastian Weig

Meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	XIII
Notation	XVII
1 Einführung	1
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit	5
2 Grundlagen und Eingrenzung des Untersuchungsbereiches	9
2.1 Grundlagen der Fabrikplanung und ihrer Elemente	9
2.1.1 Begriffsbestimmung und Zielsetzung der Fabrikplanung	9
2.1.2 Gestaltungsfelder, Vorgehensweise und Inhalte der Fa- brikplanung	14
2.1.3 Rechnergestützte Methoden in der Fabrikplanung	17
2.1.4 Aktuelle Entwicklungen in der Fabrikplanung	18
2.2 Grundlagen des Risikomanagements	21
2.2.1 Definitionen und Begriffsklärung	21
2.2.2 Systematik und Methoden des Risikomanagements	24
2.2.3 Risikomanagementsysteme und Risiken des Unternehmens	28
2.2.4 Risikomanagement als Bestandteil des Projektmanagements	29
2.3 Spezifizierung des Untersuchungsbereiches	31
2.4 Zwischenfazit	34

3	Stand der Forschung und Handlungsbedarf.....	35
3.1	Ansätze zum Risikomanagement in der Fabrikplanung	35
3.1.1	Risikomanagementansätze in den verschiedenen Planungsfeldern der Fabrikplanung	36
3.1.2	Risikomanagementansätze in den verschiedenen Planungsphasen der Fabrikplanung	39
3.2	Ansätze zur Berücksichtigung von Unsicherheiten in den Planungsparametern in der Fabrikgestaltung	40
3.2.1	Ansätze in der Standardliteratur.....	40
3.2.2	Ansätze zur integrierten und synchronisierten Planung	42
3.2.3	Integriertes Szenariomanagement in der Fabrikplanung.....	45
3.3	Zusammenfassung und Ableitung des Handlungsbedarfes.....	49
4	Konzept eines integrierten Risikomanagements für die Ablauf- und Strukturgestaltung in Fabrikplanungsprojekten	53
4.1	Anforderungen an das Konzept	53
4.1.1	Anforderung aus der Systematik des Risikomanagements.....	54
4.1.2	Anforderungen aus der Systematik der Fabrikplanung	55
4.2	Entwurf des integrierten Konzeptes	56
4.2.1	Darstellung des integrierten Konzeptes	56
4.2.2	Grobbeschreibung der einzelnen Elemente des Konzeptes	57
4.2.3	Integration des Konzeptes in den Fabrikplanungsprozess	58
4.2.4	Prämissen für den Einsatz des Konzeptes.....	60

4.3	Einordnung des Konzeptes in das Risikomanagementsystem des Unternehmens	61
4.4	Zwischenfazit	64
5	Identifikation der Risikofaktoren im Planungsprozess	65
5.1	Systematik der Risikoauswirkung im Zielsystem	65
5.2	Ableitung potentieller Risikofaktoren aus den Planungsprozessschritten	68
5.3	Typologisierung der Planungsunsicherheiten.....	71
5.4	Einbindung der Risikoidentifikation in den Planungsprozess	73
5.4.1	Ablauf der Identifikation von Risikofaktoren im Projekt.....	74
5.4.2	Bestimmung der Unsicherheiten in den Planungsparametern	76
5.5	Zwischenfazit	77
6	Systematik zur Analyse der Risiken im Planungsprozess	79
6.1	Aufbau und Konzeption der Analysesystematik	79
6.1.1	Systematik zur Risikoanalyse	80
6.1.2	Detaillierung der Bewertungssystematik.....	82
6.1.3	Grundannahmen in der Bewertungssystematik	83
6.1.4	Einschränkung der Bewertungssystematik auf die Zielgröße Herstellkosten.....	84
6.2	Konzeption des Planungsmodells	85
6.2.1	Anforderungen an das Planungsmodell.....	85
6.2.2	Aufbau und Gestaltung des Planungsmodells	88
6.2.3	Festlegung der Schnittstellen zur Simulationssoftware	93

6.3	Konzeption des Risikomodells	95
6.3.1	Anforderungen an das Risikomodell	95
6.3.2	Methode zur Bewertung der singulären Risikofaktoren.....	98
6.3.3	Clusterung der bewerteten Risikofaktoren	106
6.3.4	Aggregation der Risiken zur Gesamtrisikosicht.....	107
6.4	Zwischenfazit.....	113
7	Steuerung und Überwachung des Risikos im Planungsprozess	115
7.1	Risikosteuerung im Planungsprozess.....	115
7.1.1	Ableitung geeigneter Steuerungsmaßnahmen für die Ablauf- und Strukturplanung	116
7.1.2	Auswahl und Bewertung der Auswirkung der Steuerungsmaßnahmen.....	120
7.1.3	Projektzeitplanspezifische Einleitung der Steuerungsmaßnahmen.....	124
7.2	Kontinuierliche Überwachung des Risikos im Planungsprozess....	126
7.2.1	Elemente zur Überwachung der Risikofaktoren	126
7.2.2	Einführung von Risk Gates in den Planungsablauf	129
7.3	Zwischenfazit.....	134
8	Validierung des Konzeptes	137
8.1	Entwicklung eines prototypischen Softwaretools	137
8.1.1	Grundaufbau des Software-Tools	138
8.1.2	Softwaretechnische Umsetzung des Planungsmodells.....	139
8.1.3	Softwaretechnische Umsetzung des Risikomodells	143

8.2	Einsatz des Konzeptes mit Hilfe des Softwaretools in einem konkreten Planungsfall	146
8.2.1	Spezifikation des Planungsfalles	147
8.2.2	Anwendung des Konzeptes im Planungsfall	148
8.3	Kritische Würdigung des Konzeptes.....	158
8.3.1	Bewertung des Konzeptes anhand der gestellten Anforderungen.....	158
8.3.2	Bewertung des Konzeptes anhand des Einsatzes in der Praxis.....	159
8.3.3	Zusammenfassung der Bewertung und abschließende Empfehlung	163
9	Zusammenfassung und Ausblick	165
10	Literaturverzeichnis	169
11	Anhang	189
11.1	Erläuterung der Risikokategorien	189
11.2	Erläuterung der Risikosteuerungsmaßnahmen	191
11.3	Grundlagen der Wahrscheinlichkeitstheorie	194
11.3.1	Wahrscheinlichkeitsräume und Wahrscheinlichkeit	194
11.3.2	Zufallsvariablen und ihre Verteilung	195
11.3.3	Der zentrale Grenzwertsatz	198
11.4	Berechnungsverfahren der Herstellkosten im Planungsmodell	199
11.5	Darstellung des Algorithmus zur Diskretisierung von stetigen Dichte- bzw. Verteilungsfunktionen	202
11.6	Genutzte Softwareprodukte.....	205

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Veränderte Rahmenbedingungen für produzierende Unternehmen (in Anlehnung an WIENDAHL ET AL. 2004, S. 3 f.).....	1
Abbildung 1-2: Darstellung des Zielkonflikts "Entscheidung unter Unsicherheit" in der Fabrikplanung.....	3
Abbildung 1-3: Aufbau und Gliederung der Arbeit	6
Abbildung 2-1: Planungsebenen der Fabrikplanung in der Systemhierarchie (in Anlehnung an HERNÁNDEZ 2003, S. 42).....	12
Abbildung 2-2: Gestaltungsfelder der Fabrikplanung (in Anlehnung an GRUNDIG 2006, S. 9).....	14
Abbildung 2-3: Planungsphase der Fabrikplanung (in Anlehnung an KETTNER ET AL. 1984, S. 5).....	15
Abbildung 2-4: Darstellung aktueller Forschungsaktivitäten im Bereich der Fabrikplanung.....	19
Abbildung 2-5: Entscheidungssituationen bei vollständiger bzw. unvollständiger Information.....	22
Abbildung 2-6: Abgrenzung Risiko vs. Chance.....	23
Abbildung 2-7: Phasenmodell des Risikomanagement-Prozesses (in Anlehnung an DIEDERICHS 2004, S. 15).....	25
Abbildung 2-8: Systematik der Risikosteuerungsstrategien.....	26
Abbildung 2-9: Exemplarische Auswahl von Methoden und Hilfsmitteln des Risikomanagements	27
Abbildung 2-10: Beispielhafte Risikolandschaft eines Unternehmens und Integration des Risikomanagementsystems (in Anlehnung an WILDEMANN 2006, S. 33; DIEDERICHS 2004, S. 93).....	28
Abbildung 2-11: Kategorisierung der Projektrisiken in der Fabrikplanung	30

Abbildung 2-12:	Systematik zur Eingrenzung des Untersuchungsbereichs	31
Abbildung 2-13:	Die Zielgrößen der Fabrik als zu Grunde gelegtes Zielsystem für die Risikobetrachtung im Planungsprojekt	33
Abbildung 3-1:	Darstellung des Untersuchungsbereiches zu Ansätzen des Risikomanagements in der Fabrikplanung	36
Abbildung 3-2:	Regelkreis der integrierten Ablauf- und Strukturgestaltung (in Anlehnung an SCHMIDT 2003, S. 50)	42
Abbildung 3-3:	Erweiterter Ablauf der Fabrikplanung mit Technology-Gates (FIEBIG 2004, S. 105)	44
Abbildung 3-4:	Das Phasenmodell des Szenario-Managements (in Anlehnung an GAUSEMEIER & FINK 1995, S. 17)	46
Abbildung 3-5:	Einsatz des Szenariomanagements in der Fabrikplanung zur Abschätzung des zukünftigen Wandlungsbedarfs (WIENDAHL ET AL. 2002A, S. 15)	47
Abbildung 3-6:	Auflistung der lenkbaren und nichtlenkbaren Schlüsselfaktoren einer Fabrik (in Anlehnung an HERNÁNDEZ 2003, S. 119).....	48
Abbildung 3-7:	Bewertung relevanter Ansätze zum integrierten Risikomanagement in der Fabrikplanung	50
Abbildung 4-1:	Anforderungen an ein Konzept zum integrierten Risikomanagement in der Ablauf- und Strukturgestaltung	54
Abbildung 4-2:	Konzept zum integrierten Risikomanagement für die Ablauf- und Strukturgestaltung in Fabrikplanungsprojekten.....	57
Abbildung 4-3:	Integration der Risikomanagementelemente in den Regelkreis der Ablauf- und Strukturplanung	59
Abbildung 4-4:	Beispielhafte Projektorganisation eines Fabrikplanungsprojektes (IFP 2006)	63

Abbildung 4-5:	Integration des Konzeptes in das Risikomanagementsystem des Unternehmens.....	63
Abbildung 5-1:	Systematik der Risikoauswirkung im Zielsystem	66
Abbildung 5-2:	Überblick der Planungsparameter als spezifische Risikofaktoren für die Gestaltung der Fabrik.....	70
Abbildung 5-3:	Diskrete und stetige Dichtefunktionen zur Beschreibung der wertmäßigen Unsicherheiten in den Planungsparametern	72
Abbildung 5-4:	Typologisierung in temporäre und kontinuierliche Unsicherheiten in den Planungsparametern.....	73
Abbildung 5-5:	Ablauf der Risikoidentifikation im Planungsprozess.....	74
Abbildung 5-6:	Kategorisierung der Risikofaktoren.....	75
Abbildung 6-1:	Systematik zur integrierten Risikoanalyse mit Hilfe des Risikomodells und des Planungsmodells.....	81
Abbildung 6-2:	Das Vorgehen zur Bewertung der Risikofaktoren im Zusammenwirken des Planungs- und des Risikomodells.....	82
Abbildung 6-3:	Anforderungen an das Planungsmodell.....	86
Abbildung 6-4:	Aufbau des Planungsmodells und Interaktion der Elemente	88
Abbildung 6-5:	Schnittstellen des Planungsmodells zur Simulationssoftware (Grobkonzept).....	94
Abbildung 6-6:	Anforderungen an das Risikomodell.....	96
Abbildung 6-7:	Zielsetzung und Typologisierung der Transferfunktionen zur Ermittlung der Adaptionskosten im Risikomodell.....	99
Abbildung 6-8:	Beispiel zur Analyse eines singulären Risikofaktors.....	102
Abbildung 6-9:	Chance-/Risikobetrachtung am Beispiel des Flächenbedarfs.....	103
Abbildung 6-10:	Die Methode der Risk Map zur Clusterung der Risikofaktoren.....	107

Abbildung 6-11: Die Aggregationsstufen zur Bereichs- oder Gesamtrisikosicht.....	108
Abbildung 6-12: Die Korrelationsmatrix als Methode zur Abbildung von Abhängigkeiten zwischen Risiken	110
Abbildung 6-13: Der Ablauf der Monte-Carlo-Simulation zur Risikoaggregation auf Bereichs- / Gesamtebene	111
Abbildung 6-14: Beispielhaftes Ergebnis der Risikoaggregation	112
Abbildung 7-1: Grundsätzliche Typologisierung der Risikosteuerungsmaßnahmen in „ursachen- vs. wirkungsbezogen“	117
Abbildung 7-2: Systematik zur Ableitung des Maßnahmenkatalogs für die Risikosteuerung in der Ablauf- und Strukturgestaltung ..	118
Abbildung 7-3: Maßnahmenkatalog zur Risikosteuerung für die Ablauf- und Strukturgestaltung in Fabrikplanungsprojekten	119
Abbildung 7-4: Fixierung des optimalen Sicherheitsgrades (in Anlehnung an DIEDERICHS 2004, S. 199).....	121
Abbildung 7-5: Beispiel eines (einstufigen) Entscheidungsbaumes	123
Abbildung 7-6: Beispielhafter Ausschnitt eines Projektzeitplanes mit spezifischen Entscheidungspunkten	124
Abbildung 7-7: Die dynamische Risikomatrix als Element zur Überwachung der Risikofaktoren (Übersichtsdarstellung) ..	127
Abbildung 7-8: Die dynamische Risikomatrix als Element zur Überwachung der Risikofaktoren (Einzelblattdarstellung)...	127
Abbildung 7-9: Der Risikomonitor als Element zur Darstellung der Gesamtrisikosituation im Planungsprozess.....	128
Abbildung 7-10: Risk Gates als Maximalgrenze der Risikotragweite über der jeweiligen Zielgröße zu spezifischen Kontrollpunkten...	130
Abbildung 7-11: Prinzipieller Ablauf der Risikobeurteilung an den Risk Gates	131

Abbildung 7-12: Integration der Risk Gates in den Fabrikplanungsablauf	132
Abbildung 8-1: Grundaufbau des implementierten EDV-Softwaretools und Übersicht des Hauptmenüs.....	138
Abbildung 8-2: Hauptmenü des Planungsmodells in FPR-SYS	139
Abbildung 8-3: Ablauf des Dimensionierungsalgorithmus im Planungsmodell	141
Abbildung 8-4: Schnittstellen von FPR-SYS zur Ablaufsimulationssoftware	142
Abbildung 8-5: Hauptmenü des Risikomodells in FPR-SYS	143
Abbildung 8-6: Festlegung der Risikofaktoren und Auswahl der Dichtefunktionen im Risikomodell von FPR-SYS.....	144
Abbildung 8-7: Die Menüoberfläche zur Analyse eines singulären Risikofaktors im Softwaretool FPR-SYS	145
Abbildung 8-8: Festlegung der Transferfunktionen für den Planungsfall	148
Abbildung 8-9: Der Prozessablauf bzw. die Bearbeitungsschritte des betrachteten Produktionsumfangs in der Gehäusefertigung	149
Abbildung 8-10: Die Liste der Risikofaktoren im Bereich der Gehäusefertigung als Ergebnis der Risikoidentifikation	150
Abbildung 8-11: Exemplarische Darstellung der Analyseergebnisse eines Risikofaktors im Planungsfall.....	151
Abbildung 8-12: Clusterung der untersuchten Risiken in der Gehäusefertigung mit Hilfe der Risk Map	152
Abbildung 8-13: Ausschnitt aus der Korrelationsmatrix für die Risikofaktoren im Bereich Gehäusefertigung.....	153
Abbildung 8-14: Ergebnis der Risikoaggregation am Beispiel der Ressource „Fläche“ bzw. der Zielgröße „Herstellkosten“ im Planungsfall	154

Abbildung 8-15: Ausschnitt aus der Sammlung geeigneter Risikosteuerungsmaßnahmen für die identifizierten Risiken	156
Abbildung 8-16: Darstellung der dynamischen Risikomatrix für das Planungsbeispiel	157
Abbildung 8-17: Bewertung des Konzeptes anhand der Zielerfüllung bzgl. der gestellten Anforderungen	159
Abbildung 9-1: Holistisches, integriertes Risikomanagementsystem in der Fabrikplanung (Ausblick).....	167
Abbildung 11-1: Beispielhafte Darstellung einer Verteilungs- und einer Dichtefunktion (hier: Normalverteilung um Mittelwert 0 mit Standardabweichung 1)	196
Abbildung 11-2: Kalkulation der Herstellkosten im Planungsmodell.....	199
Abbildung 11-3: Im Risikomodell implementierter Algorithmus zur Diskretisierung stetiger Dichtefunktionen	202
Abbildung 11-4: Beispiel für eine diskretisierte Dichtefunktion mit Diskretisierungsintervall $D_x=5$	204

Abkürzungsverzeichnis

2D	zweidimensional
3D	dreidimensional
Abs.	Absatz
alt.	alternativ, alternativer, alternatives
Aufl.	Auflage
Bd.	Band
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CAD	(engl.) Computer Aided Design (dt.: Computergestütztes Konstruieren)
CFaR	(engl.) Cash Flow at Risk (dt.: Cash Flow unter Risiko)
CSCW	(engl.) Computer Supported Collaborative Work (dt. Computerunterstütztes kollaboratives Arbeiten)
DFG	Deutsche Forschungsgesellschaft
d.h.	das heißt
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
dt.	Deutsch
dyn.	dynamisch
ebd.	ebendieser, ebenda
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
engl.	Englisch
et al.	et alii (lat.), und andere
etc.	et cetera (lat.), und weiteres

e.V.	eingetragener Verein
evtl.	eventuell
f.	folgende
ff.	fortfolgende
F&E	Forschung und Entwicklung
ggf.	gegebenenfalls
h	(engl.) hour (dt.: Stunde)
Hrsg.	Herausgeber
http	hypertext transfer protocol
i.d.R.	in der Regel
ifp	ifp - Prof. Dr.-Ing. Joachim Milberg Institut für Produktions- technik GmbH
inkl.	inklusive
IPH	Institut für integrierte Produktion Hannover gGmbH
iwb	Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaf- ten der Technischen Universität München
konst.	konstant
kont.	kontinuierlich
KonTraG	Gesetz zur Kontrolle und Transparenz im Unternehmensbe- reich
MCS	Monte-Carlo-Simulation
n/a	(engl.) not applicable (dt.: nicht zutreffend)
Nr	Nummer
ODBC	(engl.) Open Database Connectivity (dt.: Offene Datenbank Verbindungsfähigkeit)

OEM	(engl.) Original Equipment Manufacturer (dt.: Originalgerätehersteller)
PERT	(engl.) Project Evaluation and Review Technique (dt.: Projekt-Evaluierungs- und -Überprüfungstechnik)
PMI	(engl.) Project Management Institute (dt.: Projekt Management Institut)
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
RA	Ressourcenausprägung
REFA	REFA-Verband für Arbeitsstudien, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung e.V., Darmstadt
Res.	Ressource(n)
resp.	respektive
RM	Risikomanagement
RPZ	Risikoprioritätszahl
S.	Seite
sog.	so genannte, so genannter, so genanntes
SWOT	(engl.) Strengths-Weaknesses-Opportunities-Threats (dt.: Stärken-Schwächen-Chancen-Gefahren)
TGA	technische Gebäudeausstattung
u.a.	und andere(s), unter anderem, unter anderen
u.U.	unter Umständen
VaR	(engl.) Value at Risk (dt.: Unternehmenswert unter Risiko)
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf
Verl.	Verlag
vgl.	vergleiche
vs.	versus

WBZ	Wiederbeschaffungszeit
www	world wide web
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil
ZFC	Zeitschrift für Controlling
ZWF	Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung

Notation

<i>Agg</i>	Aggregationsebene / -level-Index
<i>i, j</i>	Parameterwertindices
<i>k</i>	Risikofaktorindex
<i>M</i>	Maschinenindex
<i>Mid</i>	mittlerer Wert
<i>Min</i>	minimaler Wert
<i>Max</i>	maximaler Wert
<i>Plan</i>	geplanter Wert
<i>Prod</i>	Produktindex
<i>Wahr</i>	wahrscheinlichster Wert
λ	Eigenwert der Korrelationsmatrix
$\sigma(x)$	Standardabweichung des Parameters
σ^2_p	Varianz zum Planungszeitpunkt t_p
<i>BK</i>	Bestandskosten [€]
$E(x)$	Erwartungswert des Parameters
FBW_{Mid}	mittlerer Fertigwarenbestand [€]
<i>FD</i>	direkte Fertigungskosten [€]
<i>FGK</i>	Fertigungsgemeinkostenzuschlag [%]
<i>FK</i>	Fertigungskosten [€]
<i>HK</i>	Herstellkosten [€]
HK_{Plan}	Planwert der Herstellkosten [€]
$HK_{Stück}$	Herstellkosten je Stück [€/Stück]
K_A	Kosten für kalkulatorische Abschreibung [€]
K_E	Energiekosten [€]
K_I	Instandhaltungskosten [€]
K_{Konv}	Kosten für Konventionalstrafen [€]
K_{Opp}	Opportunitätskosten [€]
$K_{Plan Res}$	Kosten für Planungsressourcen [€]
K_R	Raumkosten [€]
K_{Res}	Kosten der Ressource [€]
K_Z	Zinskosten [€]

Notation

MGK	Materialgemeinkostenzuschlag [%]
MK	Materialkosten [€]
MSS	Maschinenstundensatz [€/h]
p	Wahrscheinlichkeit [%]
p_j	Wahrscheinlichkeit des Eintretens des diskreten Wertes j des spezifischen Risikofaktors
P_{Risk}	Wahrscheinlichkeit des Eintretens des Risikos [%]
P_{Worst}	Wahrscheinlichkeit des Eintretens des Worst-Case [%]
PSS	Personalstundensatz [€/h]
RA^{Res}	Ressourcenausprägung [<i><abhängig von Ressource></i>]
RA_{Plan}^{Res}	geplante Ressourcenausprägung [<i><abhängig von Ressource></i>]
RT_{Konfid}^{HK}	Risikotragweite in Bezug auf die Herstellkosten auf angegebenem Konfidenzniveau [€]
RT_{Mid}^{HK}	gewichtete mittlere Risikotragweite in Bezug auf die Herstellkosten [€]
RT_{Worst}^{HK}	Worst-Case der Risikotragweite in Bezug auf die Herstellkosten [€]
RT_{Konfid}^{Res}	Risikotragweite in Bezug auf die spezifische Ressource auf angegebenem Konfidenzniveau [<i><abhängig von Ressource></i>]
RT_{Mid}^{Res}	gewichtete mittlere Risikotragweite in Bezug auf die spezifische Ressource [<i><abhängig von Ressource></i>]
RT_{Worst}^{Res}	Worst-Case der Risikotragweite in Bezug auf die spezifische Ressource [<i><abhängig von Ressource></i>]
SEF	Sondereinzelkosten der Fertigung [€]
ST	Stückzahl [Stück]
t	Zeit
t_p	Planungszeitpunkt
t_E	Entscheidungszeitpunkt
T_{Beleg}	Belegungszeit [h]
T_N	Nutzungszeit [h]
UBW_{Mid}	mittlerer Umlaufwarenbestand [€]
UK	Umlaufbestandskosten [€]
$Var(x)$	Varianz des Parameters
x	Parameterwert

x_{Max}	maximaler Wert des Parameters
x_{Min}	minimaler Wert des Parameters
x_{Plan}	geplanter Wert des Parameters
x_{Wahr}	wahrscheinlichster Wert des Parameters
Z_{Plan}	geplanter Zielwert
ZS_{Kalk}	kalkulatorischer Zinssatz [%]

1 Einführung

„Das größte Risiko unserer Zeit liegt in der Angst vor dem Risiko.“

HELMUT SCHOECK

1.1 Ausgangssituation

Produzierende Unternehmen operieren heute in einem härter werdenden globalen Wettbewerb, der durch steigenden Kosten- und Zeitdruck gekennzeichnet ist (ABELE ET AL. 2006B; REINHART & HOFFMANN 2000; ZÄH ET AL. 2004A). Sie sehen sich dabei zunehmend mit der Situation konfrontiert, dass ihre unternehmerischen Aktivitäten mehr denn je durch externe Randbedingungen geprägt werden, die ihrerseits einem immer schnelleren Wandel unterliegen (EVERSHEIM & LUCZAK 2000). Dieses Umfeld, in dem die Unternehmen agieren, hat sich durch verschiedene Entwicklungen stark verändert (vgl. Abbildung 1-1) und zeichnet sich insbesondere durch eine hohe Komplexität und Dynamik aus (ZÄH ET AL. 2005A, S. 3).

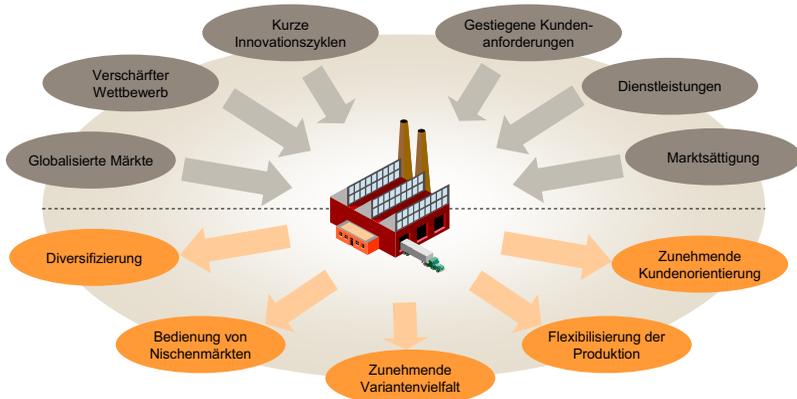


Abbildung 1-1: *Veränderte Rahmenbedingungen für produzierende Unternehmen (in Anlehnung an WIENDAHL ET AL. 2004, S. 3 f.)*

Die *globalisierten Märkte* stellen die produzierenden Unternehmen durch eine *Verschärfung des Wettbewerbs* sowie einen stark schwankenden Nachfrageverlauf bezüglich Stückzahlen und Varianten vor große Herausforderungen (REINHART ET AL. 2003). Neben der wachsenden Variantenvielfalt verkürzen sich

die *Produktlebenszyklen*, so dass der Lebenszyklus des Produkts inzwischen meist kürzer als der der Produktionsanlage geworden ist (SCHUH & GOTTSCHALK 2004, S. 212). Die *gestiegenen Kundenanforderungen* und der wachsende Trend nach Individualisierung erhöhen zudem die turbulente, d.h. schwer prognostizierbare Lage an den Märkten (LINDEMANN ET AL. 2006). Die *Marksättigung* zwingt die Unternehmen zusätzlich zu einer höheren Innovationsdynamik hinsichtlich Produkt und Prozess. Besonders produktintegrierte *Dienstleistungen* gewinnen dabei an Bedeutung. Die Unternehmen reagieren auf diese Entwicklungen mit einer *Diversifizierung* der Produkte und der Bedienung von *Nischenmärkten*, was zu einer deutlichen Zunahme an *Produktvarianten* führt. Mit dieser wachsenden *Kundenorientierung* sehen sich die Unternehmen allerdings gezwungen, die resultierende Komplexität durch eine *Flexibilisierung* der Produktion abzufangen (WIENDAHL ET AL. 2004, S. 3 f.).

Um die Chancen eines sich stetig wandelnden Umfeldes nutzen und dessen Risiken beherrschen zu können, ist es notwendig abzuschätzen, welche Einflussfaktoren für die Entwicklung des Unternehmens relevant sind und wie es auf Veränderungen reagiert (MILBERG 2000, S. 324 ff.). Die Fähigkeiten zur schnellen Aktion, zur schnellen Reaktion und zur schnellen Anpassung bestimmen dabei den Erfolg eines Unternehmens (MILBERG 2003, S. 313). Die Planung der Prozesse, Abläufe und Strukturen erhält vor dem Hintergrund der turbulenten Einflussfaktoren daher eine wettbewerbsentscheidende Bedeutung (GÜNTNER 2005; WESTKÄMPER 2004, S. 42; ZÄH ET AL. 2003A, S. 12). Laut DOMBROWSKI (2007, S. 17) betragen die Bruttoinvestitionen, die im Jahre 2004 in Deutschland im verarbeitenden Gewerbe mit Bezug auf Fabriken getätigt wurden, 42,19 Mrd. Euro, was einem Anteil von rund 11% der gesamten Bruttoinvestitionen in Deutschland entspricht. Diese hohe Summe verdeutlicht die Notwendigkeit einer zielorientierten und systematischen Fabrikplanung.

Diese veränderten Rahmenbedingungen stellen jedoch auch die Fabrikplanung vor neue Herausforderungen: Das Streben nach einer Harmonisierung der Produkt-, Prozess- und Gebäudelebenszyklen führt zu immer kürzer werdenden Fabriklebenszyklen (WIRTH ET AL. 2000). Produktionstechnische Systeme sind daher immer häufiger und in kürzerer Zeit neu zu planen bzw. umzugestalten (DOMBROWSKI & TIEDEMANN 2004, S. 137; WESTKÄMPER 2004, S. 42; ZÄH ET AL. 2003B, S. 329), so dass die Fabrikplanung zu einem kontinuierlichen Prozess wird (NYHUIS ET AL. 2004, S. 95). Weitere Herausforderungen stellen die Forderung nach höchster Planungsgeschwindigkeit trotz unscharfer Datenbasis (WIENDAHL ET AL. 2001, S. 187), die Gestaltung der Fabrik nach wirtschaftlich-

sozialen und kulturellen Standards (WESTKÄMPER 2007, S. 9), die Partizipation und Einbindung zahlreicher Partner im Planungsprozess sowie die erhöhte Komplexität durch eine starke Vernetzung der Planungszusammenhänge und -objekte (SCHUH ET AL. 2006, S. 167) dar.

GÜNTNER (2004) sieht daher die Notwendigkeit zur Entwicklung neuer Methoden und Werkzeuge, um die Diskrepanz zwischen verkürzten Planungszeiten und der Forderung nach qualitativ hochwertigen Planungsergebnissen zu minimieren. Dabei kommt insbesondere den frühen Phasen des Planungsprozesses eine entscheidende Bedeutung zu, da dort die Kostenbeeinflussung, d.h. die Beeinflussbarkeit der Ausgaben für den zukünftigen Fabrikbetrieb bzw. der Investitionsausgaben am größten ist (KETTNER ET AL. 1984, S. 7; KOLAKOWSKI ET AL. 2005, S. 211). Es erfolgen jedoch strategische Entscheidungen von Unternehmen heute in einem Umfeld wachsender Unsicherheit bei den Planungsgrundlagen (NYHUIS 2006, S. 143). So muss zu Beginn des Fabrikplanungsprozesses, d.h. insbesondere in der Grobplanung, auf Grund verkürzter Produktentstehungszeiten sowie einer Parallelisierung der Planungsprozesse mit unsicheren bzw. unscharfen Daten bezüglich Produkt, Produktionsprogramm und Technologien gearbeitet werden (EVERSHEIM & SCHMIDT 2001).

Daraus ergibt sich die Herausforderung, die in den frühen Phasen weit reichenden Entscheidungen stellenweise unter hoher Unsicherheit treffen zu müssen bzw. diese Unsicherheiten in dem Fabrikkonzept zu berücksichtigen. Dieser Zielkonflikt ist in Abbildung 1-2 visualisiert.

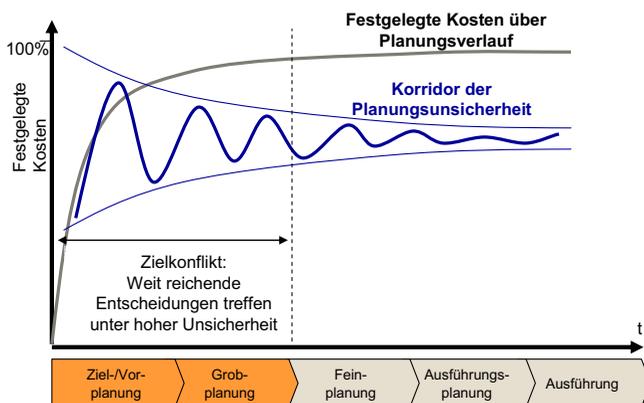


Abbildung 1-2: Darstellung des Zielkonflikts "Entscheidung unter Unsicherheit" in der Fabrikplanung

Die Erfahrungen aus der Praxis zeigen, dass der Planer auf Grund der unsicheren Datenlage mit Annahmen arbeitet, diese jedoch häufig nicht bewertet bzw. sich der Einflüsse dieser Annahmen auf das Ergebnis nicht bewusst ist. Zudem müssen oft Entscheidungen bspw. bezüglich zu errichtender Gebäudeflächen etc. getroffen werden, bevor alle für die Dimensionierung erforderlichen Daten endgültig feststehen. Diese Entscheidungen unter Unsicherheit stellen ein Risiko für die Zielerreichung dar – das Risikobewusstsein ist jedoch häufig nicht vorhanden bzw. die Hauptrisikotreiber nicht bekannt. Neue Werkzeuge in der Fabrikplanung sind daher notwendig, die die unscharfen und unsicheren Eingangsinformationen verarbeiten können, um diese Risiken schon in der Konzeptionsphase zu minimieren (SAUER 2004, S. 33).

Welche Auswirkungen nicht oder zu spät adressierte Risiken haben können, zeigt das Beispiel der Neuentwicklung der A380-Baureihe der Firma AIRBUS INDUSTRIES: Produktionstechnische Probleme mit der Verkabelung verzögerten den Anlauf des neuen A380 erheblich (AIRBUS 2006) – die Kosten für die Produktionsausfälle sowie die Konventionalstrafen summieren sich bis 2010 auf geschätzte 5 Milliarden Euro und stürzten den Mutterkonzern EADS in schwere Turbulenzen (FASSE 2007). Dieses Beispiel verdeutlicht, dass gerade Risiken an der Schnittstelle zwischen Produktentwicklung und Produktionsplanung ein Projekt erheblich verzögern und somit den Erfolg eines Unternehmens gefährden können.

Auch der Gesetzgeber reagiert auf die gestiegene Dynamik und Komplexität im Unternehmensumfeld. So wurde im Gesetz zur Kontrolle und Transparenz im Unternehmensbereich (KonTraG) mit Inkrafttreten zum 30.04.1998 für Aktiengesellschaften explizit die Pflicht der Unternehmensleitung zur Einrichtung eines Risikomanagements festgeschrieben (GLEIBNER & ROMEIKE 2005, S. 1 f.). Der Vorstand hat geeignete Maßnahmen zu treffen, insbesondere ein Überwachungssystem einzurichten, damit den Fortbestand gefährdende Entwicklungen früh erkannt werden (§ 91 Abs. 2 AktG). Dies beschränkt sich nicht nur auf den Finanzbereich, sondern beinhaltet explizit alle Geschäftsbereiche des Unternehmens.

Die Anforderungen aus dem turbulenten Umfeld bzw. den gesetzlichen Randbedingungen zeigen die Bedeutung einer pro-aktiven Adressierung von Risiken im Rahmen von Fabrikplanungsprojekten. Daher stellt sich die Frage, wie diese Risiken in der Gestaltung der Fabrik berücksichtigt bzw. der Umgang mit den Risiken in den Planungsprozess integriert werden können.

1.2 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit

In einem durch stetigen Wandel geprägten Unternehmensumfeld stellt eine fundierte und termingerechte Planungsdurchführung eines Fabrikplanungsprojektes einen entscheidenden Erfolgsfaktor im Wettbewerb dar. Dabei kommt der Gestaltung der Abläufe und Strukturen der Fabrik eine ausschlaggebende Rolle zu. Der in der Ausgangssituation beschriebene Zielkonflikt des Treffens weitreichender Entscheidungen unter hoher Unsicherheit lässt sich als zentrale Problemstellung dieser Arbeit formulieren. Um die Anforderungen nach einer Erhöhung der Qualität der Planungsergebnisse bei gleichzeitiger Verkürzung der Planungsdauer zu erfüllen, ist eine fundierte Risikoanalyse im Planungsablauf zur Vermeidung von nachträglichen Änderungen bzw. einer Projektverzögerung unerlässlich. Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ist es daher, einen integrierten Ansatz zum Risikomanagement für die Ablauf- und Strukturgestaltung in Fabrikplanungsprojekten zu entwickeln, dessen Einsatz die Effizienz des Planungsprojektes steigern und dessen Erfolg sicherstellen soll.

Aus dieser Zielsetzung lässt sich nachfolgende Aufgabenstellung ableiten: Es gilt ein Konzept zu entwickeln zur

- Identifikation der Risikofaktoren und zum Aufzeigen der Hauptstellhebel bzgl. einer Reduzierung des Risikos,
- Bewertung des Risikos der im Planungsverlauf getroffenen Annahmen bzw. der Unsicherheiten bezüglich der Planungsparameter,
- Darstellung eines kontinuierlichen Überblicks der Planungsrisiken im Projektverlauf und
- Integration der Risikomanagementsystematik in den Fabrikplanungsprozess.

Der Projektleitung bzw. dem Fabrikplaner soll damit ein umfassendes Konzept zur Verfügung gestellt werden, um die Planungsunsicherheiten bzw. Annahmen in dem Planungsprojekt berücksichtigen bzw. durch zielgerichteten Einsatz an Planungsressourcen reduzieren zu können. Durch die Kommunikation der aus diesen Unsicherheiten resultierenden Risiken an alle beteiligten Fachdisziplinen soll zudem eine Synchronisation in Bezug auf die Planungsergebnisse und enthaltenen Risiken unterstützt werden.

Die zentrale Leitfrage der Arbeit lässt sich somit folgendermaßen formulieren:

Wie können die Elemente und Methoden des Risikomanagements in den Fabrikplanungsprozess integriert werden, so dass ein kontinuierlicher Überblick über die Planungsrisiken in Bezug auf die Gestaltung der Abläufe und Strukturen gegeben wird sowie die entscheidenden Stellhebel zur Beeinflussung des Risikos aufgezeigt werden?

Zur strukturierten Problemdarstellung und Erreichung der ausgeführten Zielsetzung wurde die in Abbildung 1-3 veranschaulichte Vorgehensweise gewählt.



Abbildung 1-3: *Aufbau und Gliederung der Arbeit*

Nach einer Hinführung zum Thema und der Formulierung der Zielsetzung in *Kapitel 1* werden in *Kapitel 2* grundlegende Zusammenhänge, Begriffe und Inhalte der Fabrikplanung sowie des Risikomanagements erläutert und der Untersuchungsbereich der Arbeit eingegrenzt.

Im anschließenden *Kapitel 3* wird der Stand der Forschung in Bezug auf vorhandene Ansätze des Risikomanagements in der Fabrikplanung sowie Ansätze zur Berücksichtigung von Unsicherheiten in der Fabrikplanung kritisch beleuchtet und bewertet. Auf Basis dieser Analyse wird der dieser Arbeit zugrunde liegende Handlungsbedarf für ein integriertes Konzept abgeleitet.

Die Darstellung des Gesamtkonzeptes erfolgt in *Kapitel 4*: Nach der Ableitung der Anforderungen aus dem aufgezeigten Handlungsbedarf werden die Einzel-elemente grob umschrieben, eine Einordnung des Konzeptes in den Fabrikplanungsablauf vorgenommen sowie die Schnittstelle hin zum Risikomanagementsystem des Unternehmens erläutert.

Eine ausführliche Beschreibung der einzelnen Elemente des Konzeptes erfolgt in den anschließenden Kapiteln. Zunächst werden in *Kapitel 5* die Systematik zur Bewertung der Auswirkung des Risikos in Bezug auf das Zielsystem präsentiert, die Risikofaktoren im Planungsprozess abgeleitet und der Schritt der Risikoidentifikation in den Fabrikplanungsprozess integriert. *Kapitel 6* stellt darauf aufbauend die Systematik zur Analyse der Risiken dar. Nach einem Überblick der Systematik werden deren Teilelemente, das Risikobewertungsmodell sowie das Planungsmodell, detailliert erläutert und deren Schnittstellen definiert. *Kapitel 7* beschreibt die Ableitung möglicher Steuerungsmechanismen sowie die Elemente zur Überwachung der Risiken.

Zur Validierung des Konzeptes wurde ein prototypisches Softwaretool entwickelt. In *Kapitel 8* wird dieses Tool zunächst grundlegend erklärt und anschließend die Anwendung des Konzeptes unter Einsatz des Softwaretools an einem konkreten Praxisbeispiel dargelegt. Die Erfahrung aus dem Planungsfall dient als Grundlage einer kritischen Würdigung des Konzeptes.

Zum Abschluss findet sich in *Kapitel 9* eine Zusammenfassung der Ergebnisse sowie ein Ausblick auf weitere Forschungsschritte im Rahmen einer Synchronisation von Risikomanagement und Fabrikplanung.

2 Grundlagen und Eingrenzung des Untersuchungsbereiches

„To climb steep hills requires slow pace at first.“

WILLIAM SHAKESPEARE

Als Einführung in die Thematik und die Zielsetzung der Arbeit werden in diesem Kapitel grundlegende Begriffe definiert sowie elementare Zusammenhänge der Felder *Fabrikplanung* und *Risikomanagement* dargelegt.

Dazu werden in Abschnitt 2.1 die Grundlagen der Fabrikplanung und ihrer Elemente erläutert: Ausgehend von der Zielsetzung der Fabrikplanung werden Inhalt und Vorgehensweise sowie Methoden im Fabrikplanungsprozess dargestellt und aktuelle Trends auf dem Gebiet der Fabrikplanung aufgezeigt.

Im Weiteren werden fundamentale Begriffe des Risikomanagements vermittelt: Abgeleitet aus der Definition der Begriffe *Unsicherheit* und *Risiko* werden eine Einführung in das Risikomanagement gegeben und die einzelnen Elemente des Risikomanagements vorgestellt. Anschließend wird die Integration von Risiken in ein Risikomanagementsystem des Unternehmens beschrieben und schließlich auf Risiken in Projekten fokussiert.

Aufbauend auf den dargestellten Grundlagen der Fabrikplanung und des Risikomanagements wird in Abschnitt 2.3 der Untersuchungsbereich genauer spezifiziert. Mit einem Zwischenfazit in Abschnitt 2.4 schließt das Kapitel.

2.1 Grundlagen der Fabrikplanung und ihrer Elemente

2.1.1 Begriffsbestimmung und Zielsetzung der Fabrikplanung

Der Begriff *Fabrik* stammt ursprünglich von dem lateinischen Wort „*fabrica*“ ab und bedeutet übersetzt Werkstatt (KETTNER ET AL. 1984, S. 1). In der Literatur existiert keine einheitliche Definition des Begriffs *Fabrik*. So definiert SPUR (1994) beispielsweise Fabriken als „... *Anstalten von gewerblichen Produktionsbetrieben, in denen gleichzeitig und regelmäßig Arbeitskräfte beschäftigt sind, die unter Einbeziehung von Planungs- und Verwaltungsarbeit eine organi-*

sierte Produktion unter Anwendung von Arbeitsteilung und Maschinen betreiben“. Ähnliche Definitionen finden sich bei AGGTELEKY (1990, S. 34, S. 42), KETTNER (1984, S. 1 f.) und SCHMIGALLA (1995, S. 34). FELIX (1998, S. 32) erweitert diese Sicht um die Produktionsfaktoren und definiert die Fabrik als Stätte zur Herstellung eines Produktes durch die Umwandlung der Faktoren Boden, Arbeit, Kapital, Energie und Information. Die Berücksichtigung der Produktionsfaktoren sowie eine Orientierung an der Wertkette nach PORTER (1992) bietet die Begriffsdefinition der Fabrik nach WIENDAHL (2003). Er definiert Fabrik als „... eine lokale Bündelung von primären Produktionsfaktoren (Personal, Betriebsmittel, Gebäude, Material) und deren Derivat (Kapital, Wissen, Qualifikation), mit Hilfe derer in Form von Prozessen ein definierter Teil der Wertkette zur Erstellung abgeforderter Marktleistungen (i.d.R. Sachgütern) dargestellt wird. Üblicherweise erfolgt dies unter einheitlicher organisatorischer, technischer und wirtschaftlicher Leitung.“

Inhalt der Fabrikplanung ist die Auslegung und Gestaltung von Fabriken. WÖHE (2000, S. 134) definiert *Planung* als „... die gedankliche Vorwegnahme zukünftigen Handelns durch Abwägen verschiedener Handlungsalternativen und Entscheidung für den günstigsten Weg“. Planung bedeutet in diesem Sinn somit ein Treffen von Entscheidungen, die in die Zukunft gerichtet sind. Entsprechend der unterschiedlichen Betrachtungsweisen des Objektes Fabrik existieren auch zum Verständnis der *Fabrikplanung*¹ verschiedene Ausprägungen. Nach KETTNER (1984, S. 3) ist die Aufgabe der Fabrikplanung „...unter Berücksichtigung zahlreicher Rahmen- und Randbedingungen die Voraussetzungen zur Erfüllung der betrieblichen Ziele sowie der sozialen und volkswirtschaftlichen Funktionen einer Fabrik zu schaffen“. Ähnliche Definitionen zu Ziel und Aufgabe der Fabrikplanung finden sich bei AGGTELEKY (1990A, S. 26), FELIX (1998, S. 26), SCHMIGALLA (1995, S. 70) oder WIENDAHL (1999, S. 9-1). In Anlehnung an KUDLICH (2000, S. 12) definiert KOHLER (2007, S. 8) den Umfang und Inhalt der Fabrikplanung wie folgt:

„Ziel der Fabrikplanung ist die systematische Entwicklung zukünftiger Betriebsstrukturen sowie die Auswahl der am besten geeigneten“

¹ Als Synonyme für „Fabrikplanung“ werden stellenweise auch die Begriffe „Werksplanung“ oder „Werkstrukturplanung“ (SCHMIGALLA 1995, S. 13) sowie „Betriebsprojektierung“ (ROCKSTROH 1985, S. 14 f.) verwendet.

ten Alternative anhand einer Zielformulierung, die alle Einflussfaktoren berücksichtigt“.

Im Rahmen der Fabrikplanung wird das Planungsobjekt Fabrik häufig als komplexes System betrachtet und analysiert (vgl. u.a. AGGTELEKY 1990A, S. 21; EVERSHEIM & SCHUH 1999, S. 9-7; FELIX 1998, S. 48; SCHMIGALLA 1995, S. 71). Ein System lässt sich dabei nach HABERFELLNER (1994, S. 5 f.) durch seine *Elemente* (d.h. Teile oder Elemente) und deren *Konnektivität* (d.h. Relationen der Elemente zueinander) beschreiben und über definierte *Systemgrenzen* einschränken. Jedes Element kann dabei wiederum ein (Sub-)System darstellen. Die Systemtheorie unterscheidet drei grundlegende Konzepte von Systemen (ROPOHL 1999; MERTINS ET AL. 1994):

1. Das *Funktionale Konzept*: Ein System wird als Funktionseinheit betrachtet, das Inputs (Eingangsgrößen) gemäß den Systemeigenschaften in Outputs (Ausgangsgrößen) umwandelt (*Funktion des Systems*).
2. Das *Strukturelle Konzept*: Ein System wird in seiner Struktur, d.h. der Relationen zwischen den Elementen betrachtet (*Aufbau des Systems*).
3. Das *Hierarchische Konzept*: Ein System wird in seinen Stufen, d.h. Hierarchieebenen der Einzelsysteme und ihrer Subsysteme betrachtet (*Ebenen des Systems*).

Innerhalb dieser Arbeit soll eine Fabrik als *Produktionssystem* im Sinne der Systemtechnik betrachtet werden, das alle Elemente und zugehörigen Relationen enthält, die zur vollständigen Erstellung eines Produktes erforderlich sind (EVERSHEIM 1992, S. 2059). Der systemtheoretische Ansatz und die Betrachtung einer Fabrik oder ihrer Elemente als System sind insbesondere für eine abstrakte Modellierung sinnvoll und werden daher in Abschnitt 6.2 angewendet.

HERNÁNDEZ (2003, S. 42) unterteilt in Anlehnung an die Aufgliederung der *Planungsebenen* nach WIENDAHL (2001) das System Fabrik in fünf Systemebenen (Abbildung 2-1).

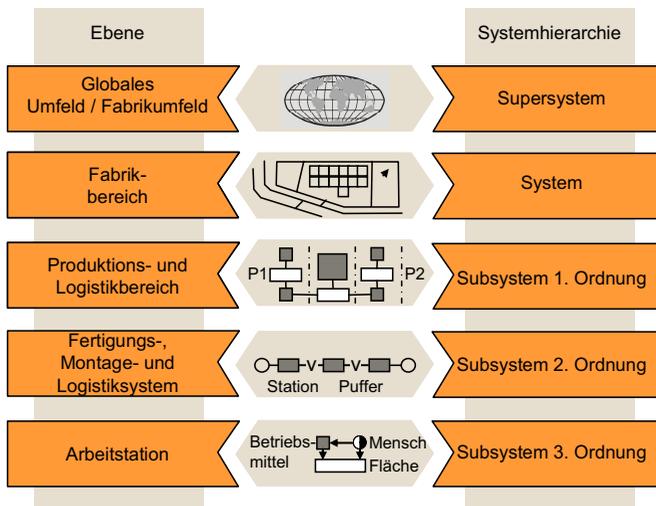


Abbildung 2-1: Planungsebenen der Fabrikplanung in der Systemhierarchie (in Anlehnung an HERNÁNDEZ 2003, S. 42)

Eine entsprechende Gliederung in Planungsebenen findet sich bei GAUSEMEIER (2006, S. 31) oder bei HENN & KÜHNLE (1999, S. 9-67).

Die *Arbeitsstation* bildet das kleinste Subsystem. Es beschreibt einzelne Fertigungs- oder Montagestationen samt Handhabungs- oder Automatisierungseinrichtungen. Eine Verkettung einzelner Arbeitsstationen oder Arbeitsplätze inkl. der zugehörigen Puffer ergibt die *Fertigungs-, Montage- oder Logistiksysteme*. Die räumliche Anordnung dieser Subsysteme ergibt das Feinlayout der Fabrik. Als *Produktions- oder Logistikbereich* wird eine Kombination dieser Subsysteme, die durch Material- oder Informationsflüsse miteinander verbunden sind, bezeichnet. Das Groblayout der Fabrik entsteht durch die räumliche Anordnung dieser Bereiche. Der *Fabrikbereich* stellt eine Zusammenfassung verschiedener Produktions- sowie indirekter Bereiche dar. Die Anordnung der einzelnen Bereiche innerhalb des Werkslayouts wird auch als Generalstruktur bezeichnet. In dem *Globalen Umfeld / Fabrikumfeld* werden Fabriken über ihren Standort positioniert. Die gezielte Verknüpfung verteilt angesiedelter Fabriken wird als Produktionsnetzwerk bezeichnet (ENGELBRECHT 2001).

Es werden zwei generelle Typen von Fabrikplanungsvorhaben unterschieden: die *Neuplanung* und die *Umplanung* (vgl. AGGTELEKY 1990A, S. 29 f.; REFA 1985, S. 149; WIENDAHL 1999, S. 9-1). Im Hinblick auf das sich stetig wandelnde

Unternehmensumfeld wird häufig auch die *kontinuierliche Planung* (oder *Rekonfiguration*) als weiterführender Fabrikplanungstyp genannt (vgl. u.a. SCHUH 2005; WECK ET AL. 2002; WESTKÄMPER 2004; WIENDAHL 2003). Die Neuplanung, die häufig auch als *Grüne-Wiese-Planung* bezeichnet wird (AGGTELEKY 1990A, S. 29), räumt dem Planungsteam ein Höchstmaß an Freiheit ein, da hier sämtliche Objekte und Eigenschaften der Fabrik neu gestaltet werden können. Anlass für eine solche Planung kann z.B. eine Erweiterung der bestehenden Anlagen oder die Aufnahme einer neuen Produktion sein. Die Umplanung besteht aus der Modernisierung oder Erweiterung bestehender Betriebsbereiche. Die kontinuierliche Planung resultiert aus der Integration neuer Produkte und Prozesse und erfordert eine Rekonfiguration einzelner Arbeitsstationen.

Hervorgehoben wird in der Literatur der projekthafte Charakter eines Fabrikplanungsvorhabens (vgl. u.a. AGGTELEKY 1990A, S. 39; BERGHOLZ 2005, S. 33; FELIX 1998, S. 11; KETTNER ET AL. 1984, S. 7; WIENDAHL 1999, S. 9-12). Die DIN 69901 definiert ein *Projekt* als „Vorhaben, das im Wesentlichen durch eine Einmaligkeit der Bedingungen in ihrer Gesamtheit definiert ist“ (DIN 69901 1987). LITKE (2005, S. 8) ergänzt diese Definition um folgende Merkmale: Ein Projekt hat ein festgelegtes Ziel(-system), einen definierten Anfang und ein definiertes Ende und muss mit begrenzten, vorher festgelegten Finanzmitteln und Ressourcen dieses Ziel erreichen. Der Projektcharakter der Fabrikplanung beginnt sich durch den aus dem dynamischen Unternehmensumfeld resultierenden Druck zur stetigen Veränderung zu wandeln (MEIER 2003, S. 157). Wie zuvor beschrieben, gewinnt im Feld der Fabrikplanung der Aspekt der kontinuierlichen Planung immer mehr an Bedeutung. Dennoch wird weiterhin – insbesondere bei Neuplanungen oder großen Umplanungen – der projekthafte Charakter bei vielen Fabrikplanungsvorhaben bestehen bleiben.

Als maßgebliche Zielfelder der Fabrikplanung sieht WIENDAHL (2002, S. 136) die vier Felder *Wirtschaftlichkeit* (z.B. Herstellkosten, Investitionskosten, ...), *Logistikleistung* (z.B. Lieferzeit, Liefertreue,...), *Veränderungsfähigkeit* (z.B. Flexibilität, Wandlungsfähigkeit, ...) und *Attraktivität* (z.B. Arbeitsumgebung, Ergonomie, ...). BAUMEISTER (2003) stellt eine Methodik vor, um die Ziele einer Fabrikplanung aus den übergeordneten Unternehmenszielen abzuleiten. Er definiert dabei die sieben Zielkategorien *Flexibilität*, *Wirtschaftlichkeit*, *Geschwindigkeit*, *Mitarbeiter*, *Ökologie*, *Kooperationsfähigkeit* und *Qualität*. Abhängig von der Strategie des Unternehmens kann so für das spezifische Fabrikplanungsprojekt eine Positionierung innerhalb dieser – teilweise konträren – Zielfelder erfolgen, um ein umfassendes Zielsystem für den Planungsfall vorzugeben.

2.1.2 Gestaltungsfelder, Vorgehensweise und Inhalte der Fabrikplanung

Der Fabrikplanungsprozess umfasst alle Umfänge der Problemstellungen in der Planung, Realisierung und Inbetriebnahme von Fabriken. Das Gesamtsystem Fabrik kann nach GRUNDIG (2006, S. 9) in folgende drei *Gestaltungsfelder*² aufgliedert werden:



Abbildung 2-2: Gestaltungsfelder der Fabrikplanung (in Anlehnung an GRUNDIG 2006, S. 9)

WIENDAHL (2005, S. 33) detailliert das Gestaltungsfeld der Fabrikstruktur- und Ablaufplanung und führt neben der Standortplanung und der Generalbebauungs- und Gebäudeplanung zusätzlich die drei Gestaltungsfelder Produktionsstruktur- und Logistikplanung, Prozess- und Betriebsmittelplanung sowie Personal- und Organisationsplanung auf.

Für die Lösung komplexer Fabrikplanungsaufgaben, die durch eine Vielzahl an Entscheidungsproblemen geprägt ist, ist eine systematische und iterative *Vorgehensweise* unerlässlich (AGGTELEKY 1990A, S. 41 f.; KETTNER ET AL. 1984, S. 10). Grundsätzlich existieren hierzu zwei unterschiedliche Ansätze (KETTNER

² GRUNDIG nennt hier explizit als drittes Gestaltungsfeld nur die *Fabrikstrukturplanung*. Seine Definition umfasst jedoch auch die Koppelung der Produktionsstrukturen sowie deren Ablauflogik (vgl. GRUNDIG 2006, S. 65). Da der Begriff *Fabrikstruktur* in der Literatur stellenweise nur für die räumliche, strukturelle Anordnung der Produktionsressourcen verwendet wird, wurde der Begriff in dieser Arbeit um die *Ablaufplanung* erweitert.

ET AL. 1984, S. 10; SCHMIGALLA 1995, S. 85): die *analytische Vorgehensweise* (auch als Planung von Außen nach Innen bezeichnet) und die *synthetische Vorgehensweise* (auch als Planung von Innen nach Außen bezeichnet). Einheitlich in der Literatur ist jedoch eine zeitliche³ und logische Gliederung des Fabrikplanungsprozesses in einzelne Stufen (vgl. u.a. AGGTELEKY 1990A, S. 31 ff.; EVERSHEIM & SCHMIDT 2001, S. 837; FELIX 1998, S. 87 ff.; GRUNDIG 2006; KETTNER ET AL. 1984, S. 17; ROCKSTROH 1985, S. 46; SCHMIGALLA 1995, S. 29; WIENDAHL 2005, S. 31). Innerhalb und zwischen den Stufen erfolgen häufige Iterationsschritte, um die Bildung einer optimalen Lösungsvariante zu unterstützen – zudem überlappen sich die Phasen, so dass keine eindeutige Trennung möglich ist (KETTNER ET AL. 1984, S. 5; AGGTELEKY 1990A, S. 37). Abbildung 2-3 verdeutlicht dieses stufenweise Vorgehen.

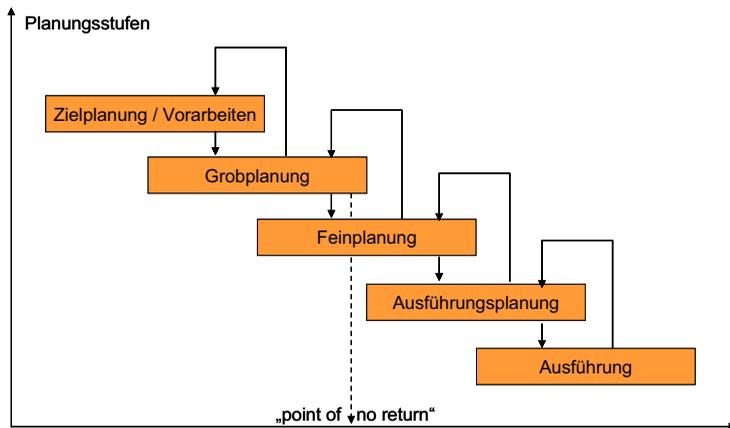


Abbildung 2-3: *Planungsphase der Fabrikplanung (in Anlehnung an KETTNER ET AL. 1984, S. 5)⁴*

³ Im Rahmen einer stärkeren Synchronisation der am Fabrikplanungsprozess beteiligten Partner ist eine Abkehr von der zeitlich sequentiellen hin zur parallel-simultanen Vorgehensweise (siehe Punkt *Synchronisation* in Abschnitt 2.1.4) zu beobachten (vgl. u.a. NYHUIS ET AL. 2004; REICHARDT & GOTTSWINTER 2003; WIENDAHL ET AL. 2001).

⁴ Anmerkung: Die Originaldarstellung von KETTNER (1984, S. 5) enthält je eine separate Phase für die Zielplanung und die Vorarbeiten. Häufig werden diese Phasen in der Literatur jedoch kombiniert – dies ist in der Abbildung dargestellt.

Die zuvor aufgeführten Phasenkonzepte unterscheiden sich zwar in der Anzahl, im Umfang und in den Inhalten der einzelnen Phasen, lassen sich jedoch in einer integrierenden Betrachtung in die nachfolgend beschriebenen fünf Phasen zusammenfassen⁵:

- In der *Ziel- und Vorbereitungsphase* wird die grobe Zielsetzung der Planungsaufgabe in Abstimmung mit den Unternehmenszielen festgelegt. Anschließend erfolgt die Erfassung der Datenbasis für das Fabrikplanungsprojekt: Es werden die Produkte und deren Varianten, das zukünftige Produktionsprogramm, das Auftragspektrum und relevante Randbedingungen analysiert. Anhand dieser Datenbasis wird eine erste Abschätzung bzgl. Personal-, Betriebsmittel- und Materialbedarf (KETTNER ET AL. 1984, S. 18) getroffen. Zusätzlich wird der Zeit- und Kostenrahmen sowie die Projektorganisation für das Planungsprojekt fixiert. Die Freigabe der konkreten Planungsarbeiten bildet den Abschluss der Phase.
- Die anschließende Phase der *Grobplanung* beinhaltet zunächst eine Verfeinerung der ermittelten Planungsdaten. Darauf aufbauend erfolgen die Konzipierung der Teilsysteme und ihrer Schnittstellen, die Festlegung der wichtigsten Prozessketten und entsprechender Steuerungsprinzipien, eine erste grobe Ressourcendimensionierung, die Erstellung des Groblayouts der Produktionsbereiche sowie die Konzipierung der Organisationsstruktur. Häufig wird diese Planungsstufe als Planung vom *Ideal-konzept* hin zum *Realkonzept* (vgl. u.a. KETTNER ET AL. 1984, S. 19; FELIX 1998, S. 87) durchgeführt, indem zunächst ohne Randbedingungen die ideale Lösung und anschließend unter deren Berücksichtigung reale Lösungen erzeugt werden. Das Ergebnis dieser Phase sind alternative Grobkonzepte der Fabrik, die vor einer Detaillierung bzw. Ausgestaltung hin zu einem Feinkonzept hinsichtlich monetärer und nicht-monetärer Zielgrößen bewertet werden müssen. Zum Abschluss dieser Phase erfolgt auch eine Entscheidung von Seiten der Unternehmensleitung bzgl. der Fortführung des Projektes („point of no return“, vgl. Abbildung 2-3 bzw. KETTNER ET AL. 1984, S. 26).

⁵ Für eine detaillierte Gegenüberstellung und einen Vergleich der Phasenmodelle sei auf BERGHOLZ (2005, S. 71 ff.) verwiesen.

- In der *Feinplanungsphase* werden die erarbeiteten Grobkonzept-Varianten detaillierter ausgearbeitet. Hier liegt der Fokus auf einer ausführlichen Prozessplanung und der Ausgestaltung der einzelnen Betriebsmittel inklusive der kapazitiven Feinplanung im Hinblick auf den stellenbezogenen Personalbedarf oder die Austaktung der Linien. Das Ergebnis dieser Phase ist das sog. Feinlayout sowie eine vollständigen Ressourcendimensionierung.
- Die *Ausführungsplanung* umfasst diejenigen Aufgaben, die zur Realisierung des in der Feinplanung detaillierten Konzeptes notwendig sind. Dies sind insbesondere die Erstellung von detaillierten Spezifikationen und Ausschreibungen, auf deren Basis dann Angebote eingeholt werden, die Auftragsvergabe, die Bauplanung sowie eine Umzugsplanung. Mit Hilfe einer umfangreichen Ausführungsterminierung kann die fristgerechte Umsetzung der Spezifikationen überwacht werden.
- Die *Ausführung* (auch als Projektrealisierung bezeichnet) umfasst die Durchführung und Überwachung der Maßnahmen zur Umsetzung des in der Ausführungsplanung erstellten Leistungskataloges bis hin zur Erstellung bzw. Inbetriebnahme der Fabrik. Insbesondere der reibungslose und schnelle Produktionsanlauf ist Gegenstand aktueller Forschungsaktivitäten (vgl. u.a. KUHN ET AL. 2002; WIENDAHL ET AL. 2002B; ZÄH & MÖLLER 2004; ZÄH & WÜNSCH 2005).

Parallel zu der Ausarbeitung der Inhalte der einzelnen Gestaltungsfelder erfolgen über die Phasen hinweg ein kontinuierliches Projektmanagement sowie eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung (WIENDAHL 2005, S. 33).

2.1.3 Rechnergestützte Methoden in der Fabrikplanung

Für eine systematische Planung komplexer Produktionssysteme sind rechnergestützte Tools oder Methoden unerlässlich (KÖHLER 2007, S. 27). Der größte Nutzen durch den Einsatz digitaler Planungswerkzeuge wird dabei in der Reduzierung der Planungszeit, der Erhöhung der Planungsqualität, der Vermeidung von Planungsfehlern sowie in der Verkürzung der Anlaufphase eines Produktionssystems gesehen (BLEY 2006; EVERSHEIM 2002; WIENDAHL 2002A; ZÄH & SCHACK 2006). Zur Unterstützung des Fabrikplanungsprozesses stehen heute unterschiedlichste Simulations- und Planungssysteme zur Verfügung. ZÄH (2005B) untergliedert diese Planungswerkzeuge in Tools zur Prozessplanung,

zur Ablaufsimulation und zur Kinematiksimulation. In der digitalen Prozessplanung werden Fertigungs- und Montageprozesse für komplette Werke, Linien oder einzelne Arbeitsabläufe geplant. Die Ablaufsimulationswerkzeuge dienen zum Erstellen bzw. Optimieren von Produktionssystemen und deren logistischer Verknüpfung bzw. Abläufe. Die Kinematiksimulation schließlich dient einer effizienten und ergonomischen Ausgestaltung von Arbeitsplätzen und -abläufen. In dieser Visualisierung der Produktionssysteme gewinnt die Virtual-Reality-Darstellung an Bedeutung (EVERSHEIM ET AL. 2002; JOOSTEN ET AL. 2001; WIENDAHL 2002A). Zusätzlich zu erwähnen sind noch Werkzeuge zur Layoutgestaltung bzw. Materialflusssimulation, die der Strukturgestaltung und -optimierung dienen. Beispiele für kommerzielle Softwaretools zu den einzelnen Planungsfeldern finden sich u.a. bei TECNOMATIX (2006) und DELMIA (2006).

Die Gesamtheit bzw. die Integration der verschiedenen Planungs- und Simulationstools wird sowohl in der Praxis als auch in der Literatur unter dem Begriff *Digitale Fabrik* geführt (vgl. u.a. BLEY & FRANKE 2001; FUSCH & KRESS 2001; JOOSTEN ET AL. 2001; WESTKÄMPER 2001; ZÄH ET AL. 2003C). Die (sich in Vorbereitung befindende) VDI-Richtlinie 4499 definiert die Digitale Fabrik als „...den Oberbegriff für ein umfassendes Netzwerk von digitalen Modellen, Methoden und Werkzeugen – unter anderem die Simulation und 3D-Visualisierung –, die durch ein durchgängiges Datenmanagement integriert werden“ (BLEY ET AL. 2006). Zentraler Bestandteil der Digitalen Fabrik ist dabei eine *gemeinsame Datenbasis*, die die Grundlage dieses durchgängigen Datenmanagements darstellt (BRACHT ET AL. 2005). Die Digitale Fabrik ist Gegenstand aktueller Forschungsvorhaben im Bereich der Fabrikplanung, worauf im nächsten Abschnitt ausführlicher eingegangen wird.

2.1.4 Aktuelle Entwicklungen in der Fabrikplanung

Wie in der Einleitung ausgeführt, ergeben sich für produzierende Unternehmen aus dem turbulenten, d.h. dynamischen und komplexen Umfeld auch für die Fabrikplanung neue Herausforderungen. Die Forschungsaktivitäten der vergangenen Jahre zeigen unterschiedliche Wege auf, um diesen Herausforderungen gerecht zu werden (Abbildung 2-4).

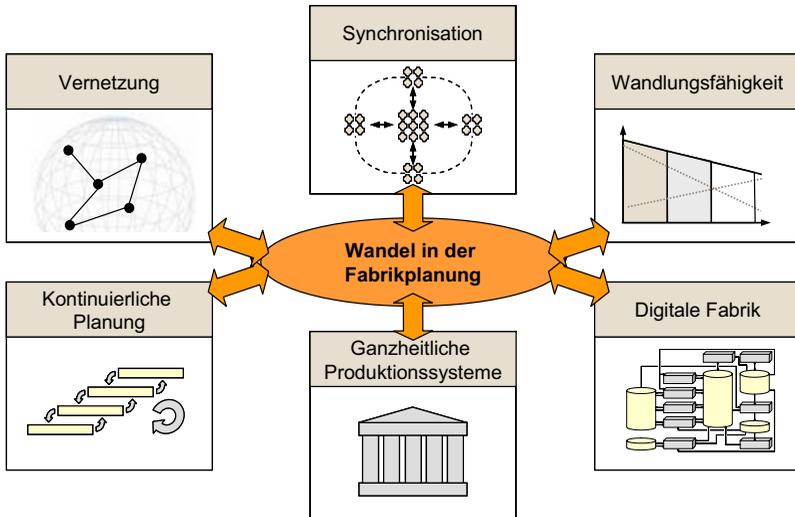


Abbildung 2-4: Darstellung aktueller Forschungsaktivitäten im Bereich der Fabrikplanung

Das Stichwort *Vernetzung* beschreibt den Aspekt der Vernetzung und Interdependenz von Werken oder Fabrikstrukturen. Hierin sieht SCHUH (2005) eine der Herausforderungen für die Fabrikplanung in Zeiten der Globalisierung. Die Untersuchung der optimalen Gestaltung von Produktions- bzw. Wertschöpfungsnetzwerken im globalen Umfeld, ihre logistische Vernetzung und Auswirkungen auf die Fabrikplanung werden derzeit umfassend untersucht (vgl. u.a. ABELE ET AL. 2006A; KAMPKER ET AL. 2005; REINHART & VON BREDOW 2006; REINSCH 2003; ZÄH ET AL. 2005C).

Mittels der *Synchronisation* von Inhalten und Planungsabläufen der verschiedenen Disziplinen der Fabrikplanung soll eine deutliche Verkürzung des Zeithorizonts für die Planungsprojekte erreicht werden (vgl. u.a. NYHUIS ET AL. 2004; REICHARDT & GOTTSWINTER 2003). Aus Sicht von NYHUIS (2006) wird die Fabrik „...nicht mehr als die Zusammenstellung von einzelnen Elementen der Bereiche Technik, Gebäude und Organisation verstanden, sondern als Gesamtsystem mit verschiedenen Subsystemen“. Das IPH prägte in diesem Zusammenhang den Begriff der *Synergetischen Fabrikplanung* (NYHUIS ET AL. 2005, S. 3). MEIERLOHR (2003) präsentiert ein Konzept zur durchgängigen, rechnergestützten Integration von Produktions- und Gebäudeplanung in der Fabrikgestaltung,

FIEBIG (2004) eine Methodik zur Synchronisation von Fabrik- und Technologieplanung.

Der Begriff der *Wandlungsfähigkeit* ist ein Schlüsselbegriff in der Gestaltung und Auslegung von Fabriken geworden (WIENDAHL 2002B) und wird als neue Zielgröße der Fabrikplanung im turbulenten Umfeld gefordert (BAUMEISTER 2003, S. 7; HERNÁNDEZ 2003, S. 8). REINHART (2000, S. 38 f.) definiert Wandlungsfähigkeit dabei als „ (...) Maß für die Fähigkeit eines Unternehmens, sich an ein turbulentes Umfeld zu adaptieren“, die über die Flexibilität und die Reaktionsfähigkeit des Unternehmens festgelegt wird (ebd., S. 25). Verwandte Definitionen zur Wandlungsfähigkeit finden sich insbesondere bei BAUMEISTER (2003), SCHUH ET AL. (2004), WESTKÄMPER ET AL. (2000), WIENDAHL (2005, S. 13) und ZÄH ET AL. (2005A). Aktuelle Forschungsvorhaben zielen auf die Wandlungsfähigkeit von Fabrikbauten (REICHARDT ET AL. 2006), die Bewertung von Wandlungsfähigkeit (vgl. u.a. ALEXOPOULOS ET AL. 2005; GRONAU ET AL. 2006; SCHUH ET AL. 2004; ZÄH ET AL. 2005D), oder die Erhöhung der Wandlungsfähigkeit in Produktionssystemen (ZÄH ET AL. 2004B; ZÄH ET AL. 2005E).

Die *Digitale Fabrik* bezeichnet, wie im vorherigen Abschnitt 2.1.3 definiert, ein umfassendes Netzwerk aus digitalen Modellen, Methoden und Werkzeugen zur Unterstützung des Fabrikplaners. Der Einsatz rechnergestützter Planungswerkzeuge soll dabei die Qualität sowie Geschwindigkeit der Planung erhöhen (BLEY ET AL. 2006; EVERSHEIM ET AL. 2002; WIENDAHL 2002A; ZÄH & SCHACK 2006). Die Untersuchungen werden hier in Richtung der Auswahl der richtigen Techniken (DOMBROWSKI & TIEDEMANN 2005; ZÄH & SCHACK 2006) und der systematischen Einführung (SCHRAFT & KUHLMANN 2006; ZÄH ET AL. 2005 F) weitergeführt.

SPATH (2003) definiert *Ganzheitliche Produktionssysteme* als „...methodische Regelwerke und Handlungsanleitungen zur Herstellung von Produkten. Sie stellen eine Art Betriebsanleitung für die Produktion vor allem unter Berücksichtigung organisatorischer, personeller und wirtschaftlicher Aspekte dar“. DOMBROWSKI (2005, S. 1) sieht diese als logische Weiterentwicklung des Lean-Production-Konzeptes, basierend auf dem Toyota-Produktionssystem. Derzeit wird die Interaktion der Ganzheitlichen Produktionssysteme mit der Fabrikplanung (vgl. u.a. BARTH 2005; DOMBROWSKI ET AL. 2005, FLEISCHER ET AL. 2005) bzw. deren Typologisierung untersucht (DOMBROWSKI ET AL. 2006; WILDEMANN & BAUMGÄRTNER 2006). Ganzheitliche Produktionssysteme erfordern die ständige Planungsfähigkeit, die Bewältigung eines erhöhten Planungsumfanges und eine höhere Geschwindigkeit im Planungsprozess (DOMBROWSKI & TIEDEMANN 2004).

Dies bedeutet, dass die Neu- und Umplanung von Produktionssystemen nicht mehr als einmaliger Prozess, sondern als kontinuierlicher Prozess verstanden werden muss. Diese *kontinuierliche Planung* (oder *Rekonfiguration*) ist Gestaltungsschwerpunkt verschiedener aktueller Forschungsvorhaben (vgl. u.a. CISEK 2004; HARMS 2004; KOHLER 2007).

2.2 Grundlagen des Risikomanagements

Wie zuvor ausgeführt, ist die Fabrikplanung ein elementarer Bestandteil der Unternehmensplanung. In einem turbulenten Unternehmensumfeld müssen die aus diesen Turbulenzen entstehenden Unsicherheiten in der Unternehmensplanung berücksichtigt werden. Die wirtschaftswissenschaftliche Forschung bietet zur Bewertung, Steuerung und Überwachung dieser Unsicherheiten insbesondere die Methodik des Risikomanagements an, deren Grundlagen im nachfolgenden Abschnitt erörtert werden.

2.2.1 Definitionen und Begriffsklärung

Die Ungewissheit bzgl. des Eintretens zukünftiger Ereignisse stellt das Grundproblem der Planung dar. Da eine Planung stets zukunftsbezogen ist (vgl. hierzu die Definition von Planung in Abschnitt 2.1.1), setzt die Festlegung von Planungsentscheidungen Informationen vielfältigster Art voraus (WÖHE & DÖRING 2000, S. 149).

Die betriebswirtschaftliche Entscheidungstheorie (vgl. hierzu bspw. SCHOLL 2001, S. 43 f.; WÖHE & DÖRING 2000, S. 149 ff.) differenziert je nach Form der Information in eine Entscheidung unter *Sicherheit* (d.h. vollkommener Information) und in eine Entscheidung unter *Unsicherheit* (d.h. unvollkommener Information). Letztere kann noch – wie in Abbildung 2-5 visualisiert – in die Entscheidung unter *Risiko* (d.h. die Wahrscheinlichkeit für eine mögliche eintretende Umweltsituation ist bekannt⁶) und die Entscheidung unter *Ungewissheit* (d.h. die Wahrscheinlichkeit für eine mögliche eintretende Umweltsituation ist nicht bekannt) unterschieden werden.

⁶ Hierbei kann ferner in subjektive, d.h. individuell empfundene, und objektive, d.h. allgemein gültige Wahrscheinlichkeit differenziert werden (vgl. BAMBERG & COENENBERG 1989, S. 66).

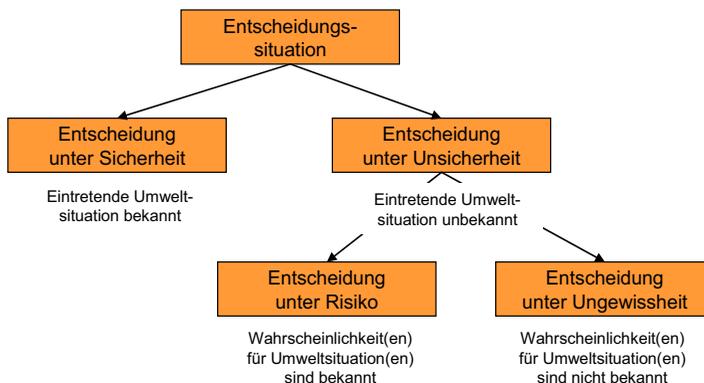


Abbildung 2-5: Entscheidungssituationen bei vollständiger bzw. unvollständiger Information

Für den Begriff *Risiko*⁷ existieren in verschiedenen Fachdisziplinen eine Vielfalt unterschiedlicher Definitionen (DAHMEN 2002, S. 5). Im allgemeinen (deutschen) Sprachgebrauch wird unter Risiko üblicherweise „...die Möglichkeit oder erhöhte Wahrscheinlichkeit des Eintritts eines als negativ bewerteten Ereignisses“ verstanden (SEILER 1995). Häufig wird in diesem Zusammenhang auch ein zweistufiger Risikobegriff verwendet (vgl. u.a. HARRANT & HEMMRICH 2004, S. 9; WALL 2003, S. 665 f.; WILDEMANN & BAUMGÄRTNER 2006, S. 17): Hierbei ist das Risiko im weiteren Sinne (auch *spekulatives Risiko* genannt) wertneutral, d.h. es umfasst sowohl Verlustmöglichkeiten (Risiko) als auch Gewinnmöglichkeiten (Chance) - Risiko im engeren Sinne (auch als *reines Risiko* bezeichnet) hingegen bezieht sich nur auf den Eintritt eines Schadensfalles.

⁷ Das Wort *Risiko* wurde im 16. Jahrhundert aus dem Italienischen von *risico*, *risco* (heute *rischio*) übernommen und bedeutete eigentlich die „Klippe, die zu umschiffen ist“, „gefährlicher Fels“ bzw. in einer allgemeinen Form „gewagtes Unternehmen“ (BROCKHAUS 1992, S. 440).

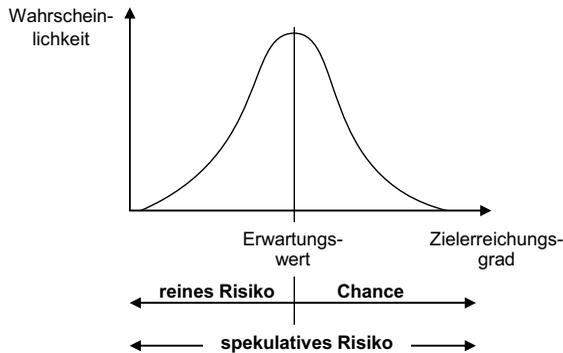


Abbildung 2-6: Abgrenzung Risiko vs. Chance

Im Qualitätsmanagement ist Risiko ein Schadenswert, der durch einen mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit auftretenden Fehler hervorgerufen wird (LINDEMANN 1996, S. 87; EHRENSPIEL 2007, S. 228). In der wirtschaftswissenschaftlichen Literatur (vgl. u.a. DIEDERICHS 2004, S. 9; HÄRTERICH 1987, S. 6; ROGLER 2002, S. 5) wird der Begriff Risiko häufig als Möglichkeit der Zielverfehlung definiert (dies korreliert wiederum mit dem zweistufigen Risikobegriff, da die Zielverfehlung einerseits positiv, andererseits negativ erfolgen kann). Diesem Aspekt der Zielverfehlung können bspw. auch die Definitionen von Risiko als *Gefahr einer Fehlentscheidung* (MIKUS 2001), als *Misserfolg einer Leistung* (IMBODEN 1983, S. 3 ff.) oder als *Möglichkeit einer ungünstigen zukünftigen Entwicklung in Form eines Schadens oder Verlustes* (BRÜHWILER 1994) zugeordnet werden.

Der Risikobegriff, der dieser Arbeit zugrunde gelegt werden soll, orientiert sich an der Definition von NEUBÜRGER⁸ (1989) und integriert den Aspekt der Planungsunsicherheiten. Er lautet wie folgt:

„Risiko ist das Maß für die Planungsunsicherheit, dass der zukünftige Wert vom tatsächlich geplanten (Ziel-)wert negativ abweicht.“

So zahlreich wie die Definitionen des Begriffs Risiko ist auch das Verständnis des Begriffs *Risikomanagement*⁹. Die Ursprünge des Risikomanagements lie-

⁸ NEUBÜRGER (1989) definiert Risiko dabei als „Maß für die Möglichkeit des negativen Abweichens des realisierten vom erwarteten Zielerreichungsgrad“.

gen in der US-amerikanischen Versicherungswirtschaft. Es entwickelte sich von einem Risikomanagement zur Handhabung versicherbarer Risiken hin zur heutigen Ausprägung des Risikomanagements im weiteren Sinne, d.h. zur Handhabung reiner und spekulativer Risiken (DAHMEN 2002, S. 19 f.). Allgemein besteht der Zweck des Risikomanagements in der systematischen Handhabung von Risiken, um eine erfolgreiche Umsetzung der Unternehmensziele zu ermöglichen (HALLER 1991). DIEDERICHS (2004, S. 13) erweitert dieses Verständnis und formuliert folgende Ziele eines konsequenten und proaktiven Risikomanagements:

- Existenzsicherung
- Sicherung des zukünftigen Erfolges
- Vermeidung bzw. Senkung der Risikokosten
- Marktwertsteigerung des Unternehmens

Die Aufgabe des Risikomanagements ist daher die Schaffung einer unternehmensweiten Risikomanagement-Kultur, die Integration risikopolitischer Grundsätze, der systematische und kontinuierliche Umgang mit den unternehmerischen Risiken, der Aufbau und die Integration einer Risikomanagement-Organisation sowie die gezielte Risikosteuerung und -bewältigung (DIEDERICHS 2004, S. 14).

2.2.2 Systematik und Methoden des Risikomanagements

Zentrales Element des Risikomanagements ist der bewusste Umgang mit Risiken (SCHARER 2003, S. 29). Für die Systematik des Risikomanagementprozesses existieren unterschiedliche Definitionen und Auffassungen (vgl. bspw. BURGER & BUCHHART 2002, S. 31; DIEDERICHS 2004, S. 15; SCHNORRENBERG ET AL. 1997, S. 19 f.; WILDEMANN 2006, S. 15; WITTMANN 2000, S. 794 f.). Es lassen sich jedoch vier Hauptelemente der Systematik ableiten, die in Abbildung 2-7 veranschaulicht sind.

⁹ Stellenweise wird anstatt *Risikomanagement* auch der englische Begriff *Risk Management* oder der Begriff *Risikopolitik* verwendet (ROGLER 2002, S. 20). Eine einheitliche Abgrenzung der Begrifflichkeiten existiert in der Literatur nicht.

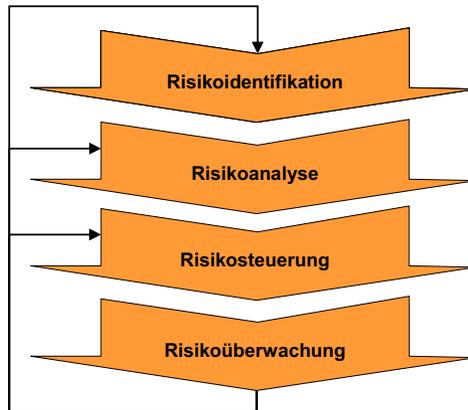


Abbildung 2-7: Phasenmodell des Risikomanagement-Prozesses (in Anlehnung an DIEDERICHS 2004, S. 15)

In der Phase der *Risikoidentifikation* erfolgt eine möglichst vollständige Erfassung der Risiken, denen das Unternehmen ausgesetzt ist. Dies kann zum einen durch eine systematische Erfassung, andererseits durch intuitive Verfahren geschehen. Das Ergebnis ist eine strukturierte Sammlung von Risiken. Eine mangelhafte oder nicht rechtzeitige Identifikation wirkt sich negativ auf die Risikosteuerung und somit auf den gesamten Risikomanagementprozess aus.

Der darauf folgende Prozessschritt der *Risikoanalyse* dient zur Untersuchung und Priorisierung der identifizierten Risiken. Der Schritt gliedert sich in die Teilschritte der Risikobewertung und der Risikoklassifizierung oder -kategorisierung auf (SCHNORRENBURG ET AL. 1997, S. 20). Ziel der Risikobewertung ist eine Evaluierung der einzelnen identifizierten Risiken bzgl. der Eintrittswahrscheinlichkeiten und deren Tragweite, d.h. in welchem Maße sie die Zielerreichung gefährden. In der Risikokategorisierung werden die bewerteten Risiken nach Dringlichkeit zur Einleitung von Steuerungsmaßnahmen sortiert. Das Ergebnis der Kategorisierung ist somit eine Darstellung der Risiken nach ihrer Priorität. Erschwerend wirkt sich in dieser Phase die häufig hohe Komplexität der Risikosituation aus, die unter anderem durch Interdependenzen und kumulative Effekte zwischen den Einzelrisiken hervorgerufen wird (WIBLER 2006, S. 23).

Die *Risikosteuerung* (häufig auch als Risikobewältigung oder Risikobehandlung bezeichnet) befasst sich mit der Prävention bzw. im Eintrittsfall eines Ereignisses mit der erforderlichen Reaktion. Zur Steuerung der Risiken existieren unterschiedliche Strategien (HORNUNG ET AL. 1999, S. 321). WILDEMANN (2006,

S. 52 f.) differenziert hierbei in aktive und passive Risikohandhabungsstrategien: Erstere greifen aktiv in die Auswirkungen der Risiken ein (d.h. sie reduzieren die Eintrittswahrscheinlichkeit und/oder die Auswirkung), letztere versuchen die Auswirkungen im Risikoeintrittsfall zu kompensieren. Es werden generell die vier Steuerungsstrategien *Risikovermeidung*, *Risikoverminderung*, *Risikoabwälzen*¹⁰(*Transfer*) und *Risikoakzeptanz* (*Selbsttragen*) unterschieden (vgl. u.a. DAHMEN 2002, S. 89; DIEDERICHS 2004, S. 189; FÜSER & GLEIBNER 2005, S. 20).

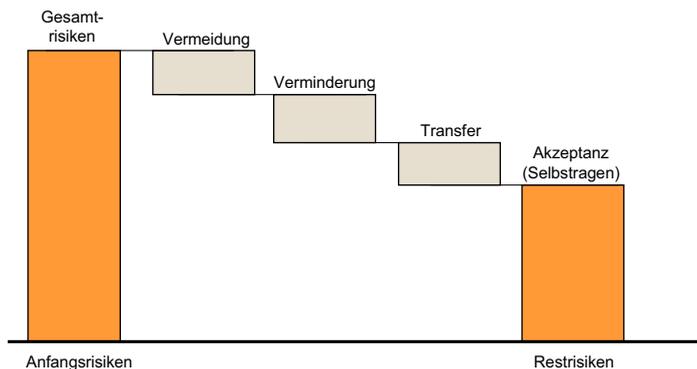


Abbildung 2-8: Systematik der Risikosteuerungsstrategien

Die Vermeidung und Verminderung stellen dabei aktive Strategien dar, der Transfer und die Akzeptanz (bzw. das Selbsttragen des Risikos) sind hingegen passive Strategien. Im Folgenden werden die Strategien kurz in Anlehnung an DIEDERICHS (2004, S. 188 ff.) erläutert: *Risikovermeidung* bezeichnet das ursachenbezogene Ausweichen gegenüber Risikoquellen und risikoeerzeugenden Faktoren. Häufig bedeutet dies den Verzicht auf ein Projekt oder Geschäft. Bei der *Risikoverminderung* hingegen sollen Risikopotentiale nicht von vorneherein ausgeschlossen, sondern auf ein akzeptables Maß reduziert werden. Diese Reduzierung kann ursachenbezogen in Form der Reduzierung der Eintrittswahrscheinlichkeit (Schadensverhütung) oder wirkungsbezogen in Form der Herabsetzung des Schadensausmaßes (Schadensherabsetzung) erfolgen. Der *Risikotransfer* bedeutet den (Teil-)Transfer des Risikos auf Dritte. Dies können zum einen Versicherungsunternehmen sein (Risikoversicherung), zum anderen

¹⁰ Häufig wird statt des Begriffes *Risikoabwälzen* auch der Begriff *Risikotransfer* verwendet. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit soll im Folgenden letzterer Ausdruck angewendet werden.

Vertragspartner, die über Verträge Risiken ganz oder teilweise übernehmen. Die *Risikoakzeptanz* schließlich bedeutet, ein Restrisiko zwangsläufig bzw. bewusst selbst zu tragen. Diese Maßnahme eignet sich im Allgemeinen nur für Risiken mit geringer Eintrittswahrscheinlichkeit und/oder geringem Schadensausmaß. Als letzter Schritt des Risikomanagements dient die *Risikoüberwachung* zur Beobachtung der Risikosituation, wie sie sich nach der Identifikation, der Bewertung und dem Treffen der Maßnahmen darstellt. Dies umfasst insbesondere die Verfolgung der Effizienz der Maßnahmen sowie eine erneute Bewertung nach einer Änderung der Informationslage bzw. des Umfeldes.

Aus Abbildung 2-7 ist auch ersichtlich, dass das Risikomanagement kein einmaliger, sondern ein kontinuierlicher Prozess ist. Um eine langfristige Anpassung des Unternehmens an sich stetig ändernde Bedingungen sicherzustellen, ist diese Kontinuität im Prozess zu verankern (DIEDERICHS 2004, S. 93 f.).

Zur Unterstützung des Risikomanagement-Prozesses gibt es eine Vielzahl an Methoden und Hilfsmitteln, die je nach Anwendungsfall oder Unternehmen spezifisch eingesetzt werden. Abbildung 2-9 zeigt eine exemplarische Auswahl (in Anlehnung an DIEDERICHS 2004; ROMEIKE 2004) zu den vier Schritten.

Exemplarische Methoden und Hilfsmittel des Risikomanagements			
Risikoidentifikation	Risikoanalyse	Risikosteuerung	Risikoüberwachung
<ul style="list-style-type: none"> • Checkliste • SWOT-Analyse • Risiko-Identifikations-Matrix • Interview, Befragung • FMEA • Morphologische Verfahren • Baumanalyse • Brainstorming • Delphi-Methode • Wertkettenanalyse • Prozessanalyse • Vernetztes Denken • ... 	<ul style="list-style-type: none"> • Simulationsmodell • Sensitivitätsanalyse • Szenarioanalyse • Prozessrisikoanalyse • FMEA • Value-at-Risk • Risikoindikator-Methode • Monte-Carlo-Simulation • Portfoliotechnik • Statistische Verfahren • Entscheidungsbaumverfahren • ... 	<p>Generell unentscheidbar in Methoden zur:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Risikovermeidung (bspw. Verzicht auf Geschäft) • Risikoverminderung (bspw. Risikosteuerung) • Risikotransfer (bspw. auf Vertragspartner überwälzen) • Risikoakzeptanz (d.h. Risiken selbst tragen) <p>(Einsatz stark abhängig vom jeweiligen Einzelfall)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Frühindikatoren • Balanced Scorecard • Risikomonitor • Risikolandschaft • VaR-Monitoring • Risikoportfolio • Risk Card • Dynamische Risikomatrix • Risk Inventory • ...

Abbildung 2-9: Exemplarische Auswahl von Methoden und Hilfsmitteln des Risikomanagements

Einzelne Methoden (wie z.B. das Risikoportfolio) können nicht einem speziellen Prozessschritt zugeordnet werden, sondern bilden in ihrer Gesamtheit die erforderte Funktionalität mehrerer Risikomanagementprozessschritte ab.

2.2.3 Risikomanagementsysteme und Risiken des Unternehmens

Das Risikomanagement wird generell als elementarer Bestandteil der Unternehmensführung angesehen (vgl. u.a. BRÜHWILER 2003, S. 31; BURGER & BUCHHART 2002, S. 10; DIEDERICHS 2004, S. 14; DÖRNER 2000; FÜSER & GLEIBNER 2005, S. 25; HÄRTERICH 1987, S. 32; MERBECKS ET AL. 2004, S. 54; ROMEIKE 2002, S. 13; SITT 2003; WILDEMANN 2006). Zur Ausführung des Risikomanagementprozesses und zu dessen Organisation können in den Unternehmen (teilweise IT-gestützte) Risikomanagementsysteme etabliert werden. Grundlage dieser Systeme sind zum einen strategische Aspekte des Risikomanagements, die die risikopolitischen Grundsätze sowie den organisatorischen Aufbau fokussieren, zum anderen operative Aspekte, die die Maßnahmen sowie deren Überwachung beinhalten (PALMER & MAROUS 2001, S. 14).

Unternehmen sehen sich in allen Geschäftsbereichen zahlreichen Risiken ausgesetzt. Eine einheitliche Kategorisierung dieser Risiken bzw. Risikoarten existiert in der Literatur nicht. Eine weit verbreitete Einteilung in die Kategorien *externe Risiken*, *leistungswirtschaftliche Risiken*, *finanzwirtschaftliche Risiken* und *Risiken aus Management und Organisation* ist in Abbildung 2-10 illustriert.

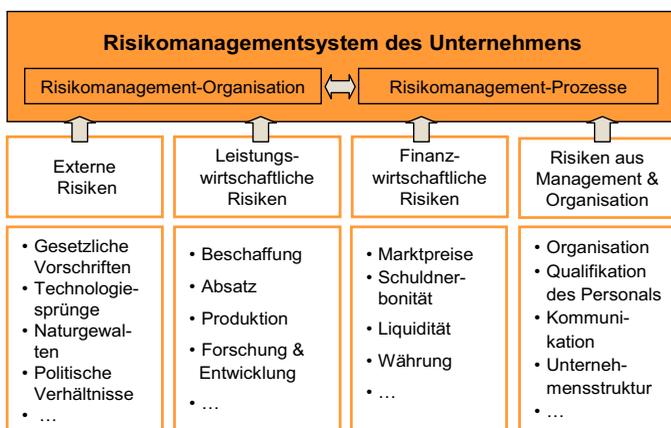


Abbildung 2-10: Beispielhafte Risikolandschaft eines Unternehmens und Integration des Risikomanagementsystems (in Anlehnung an WILDEMANN 2006, S. 33; DIEDERICHS 2004, S. 93)

Für das Risikomanagement der einzelnen Risikoarten oder -bereiche existieren eine Vielzahl an Methoden und Vorgehensweisen. ROGLER (2002) und HÄRTERICH (1987) erörtern detailliert das Risikomanagement im Industriebetrieb. Auch die Risiken der Produktentwicklung werden in verschiedenen Forschungsarbeiten umfassend analysiert (vgl. u.a. DAHMEN 2002; SCHARER 2003; WISLER 2006). Eine umfassende Methode zur Bewertung von Produkt- oder Prozessrisiken ist die FMEA¹¹, in der mittels einer Systemanalyse potentielle Fehler ermittelt, die Folgen für den Nutzer bzw. Kunden eruiert und die Eintrittswahrscheinlichkeit bzw. die Entdeckungswahrscheinlichkeit untersucht werden. Anhand einer Risikoprioritätszahl (RPZ) können entsprechende Maßnahmen zur Risikovermeidung oder -reduzierung implementiert werden (vgl. u.a. LINDEMANN 1996, S. 86 ff.; PFEIFER 2001).

Innerhalb der einzelnen Unternehmensbereiche können komplexe, zeitlich begrenzte Aufgaben als Projekte abgewickelt werden. Der nächste Abschnitt befasst sich mit der Systematik des Risikomanagements in ebensolchen Projekten.

2.2.4 Risikomanagement als Bestandteil des Projektmanagements

Projekte sind auf Grund ihrer charakteristischen Einmaligkeit der sie bestimmenden Bedingungen (vgl. Definition in Abschnitt 2.1.1) in besonderem Maße mit Risiken verbunden (CHAPMAN & WARD 1997; SCHNORRENBURG ET AL. 1997, S. 15 f.). Das Risikomanagement ist daher eine zentrale Aufgabe des Projektmanagements, um die Projektzielgrößen *Zeit*, *Kosten* und *Qualität* (häufig auch als *Projekt-Zieldreieck* bezeichnet) zu erfüllen (HARRANT & HEMMICH 2004, S. 5). Das *Project Management Institute* (PMI) definiert Risiko als „... ein noch nicht eingetretenes Ereignis, welches einen positiven oder negativen Einfluss auf das Erreichen der Projektziele hat.“ (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE 2003) und bezieht die Risikodefinition somit auf die Projektziele. Risikomanagement im Rahmen eines Projektmanagements ist nach HARRANT (2004, S. 5) daher „... ein systematischer und kontinuierlicher Prozess für die Identifizierung, Ana-

¹¹ FMEA: engl. für *Failure Mode and Effects Analysis* bzw. in der deutschen Übersetzung *Fehler-Möglichkeiten-Einfluss-Analyse*.

lyse, Bewertung und Überwachung von Projektrisiken sowie für die Planung und Umsetzung geeigneter Maßnahmen zur Risikovermeidung und Schadensreduzierung“.

Abgeleitet aus der großen Anzahl unterschiedlicher Projekttypen bzw. -inhalte existiert eine Vielzahl an Projektrisiken, die aus den unterschiedlichsten Quellen und Ursachen resultieren. Auch hier gibt es keine einheitliche Strukturierung bzgl. der Risikoarten. HARRANT (2004, S. 17 ff.) schlägt bspw. eine Gliederung in *fachlich-technische Risiken*, *Planungsrisiken* und *organisatorische Risiken* oder eine Gliederung nach den *Projektphasen* oder den *Projektteilbereichen* vor. Im Hinblick auf die Inhalte der Fabrikplanung soll im Rahmen dieser Arbeit in Anlehnung an SCHNORRENBURG (1997, S. 11) und BUSCH (2005, S. 52) nachfolgende Strukturierung der Risiken für Fabrikplanungsprojekte vorgenommen werden (Abbildung 2-11):

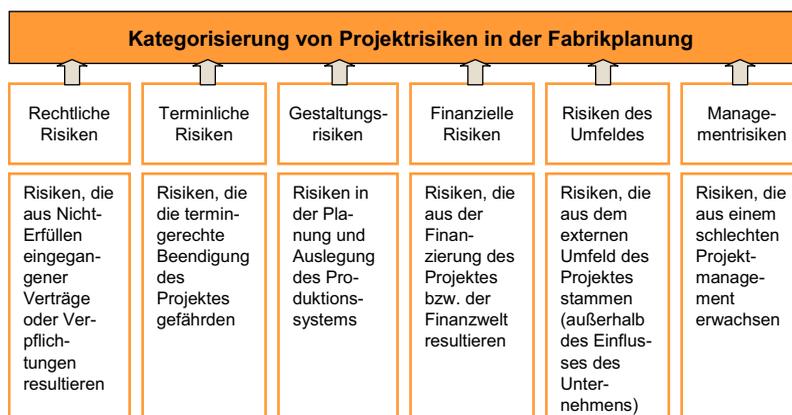


Abbildung 2-11: Kategorisierung der Projektrisiken in der Fabrikplanung

Im Rahmen dieser Arbeit soll für *Gestaltungsrisiken*¹² folgende Definition gelten:

„*Gestaltungsrisiken sind diejenigen Risiken, die aus der unvollständigen Information der Planungsparameter resultieren und damit die*

¹² Die ursprüngliche Bezeichnung der Gestaltungsrisiken bei SCHNORRENBURG (1997) und BUSCH (2005) ist „technische Risiken“. Unter technischen Risiken werden dabei Risiken der Leistungserstellung oder Qualitätsrisiken verstanden – im Hinblick auf die Planung von Produktionssystemen wurde daher der Begriff „Gestaltungsrisiken“ gewählt.

Zielerreichung im Hinblick auf die Dimensionierung bzw. Gestaltung des Produktionssystems gefährden.“

AHUJA (2005, S. 33) sieht in den technischen Risiken (d.h. den Gestaltungsrisiken im Kontext dieser Arbeit) eine unmittelbare Wirkung auf die Projektzielgröße *Qualität*, jedoch nur eine mittelbare Wirkung auf die Zielgrößen *Zeit* sowie *Kosten*.

Weiterhin behält natürlich eine Aufteilung der Risiken nach bspw. den Planungsphasen (Risiken der Zielplanung, Risiken der Grobplanung, ...), den Planungsinhalten (Risiken der Standortplanung, Risiken der Bauplanung, ...) etc. ihre Gültigkeit, so dass sich im Hinblick auf die Kategorisierung der Risiken ein mehrdimensionaler Raum aufspannt, in dem das Einzelrisiko platziert werden kann. Im nachfolgenden Abschnitt wird der Untersuchungsbereich u.a. für die betrachteten Risikoarten genauer spezifiziert.

2.3 Spezifizierung des Untersuchungsbereiches

Wie dargelegt, sind sowohl die Fabrikplanung als auch das Risikomanagement sehr komplexe und vielschichtige Forschungsgebiete. Gegenstand der Untersuchung im Rahmen dieser Arbeit ist ein spezifischer Bereich, der im Folgenden näher erläutert werden soll. Die Systematik zur Eingrenzung des Untersuchungsbereichs ist in Abbildung 2-12 veranschaulicht.

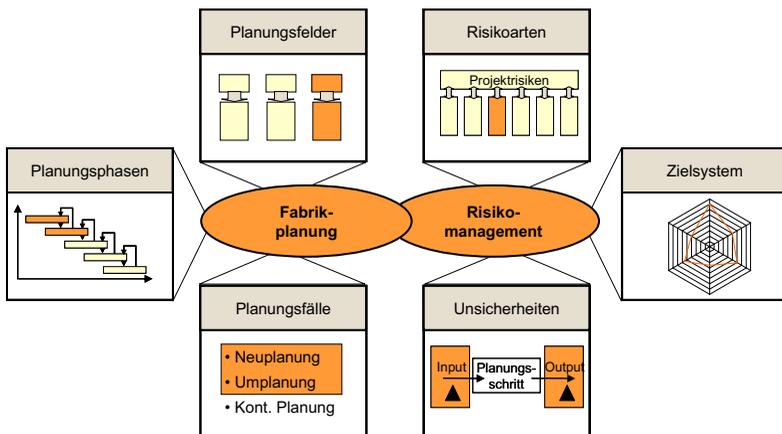


Abbildung 2-12: Systematik zur Eingrenzung des Untersuchungsbereichs

Für das Betrachtungsspektrum der Fabrikplanung sollen folgende Einschränkungen gelten:

- In Bezug auf die *Planungsphasen* wird der Untersuchungsbereich auf die *Ziel- und die Grobplanung* konzentriert. Wie in Abbildung 1-2 visualisiert, ist hier die Kostenbeeinflussung sowie die Unsicherheit der Planungsparameter am größten und damit der Einsatz des Konzeptes am zielführendsten. Bereits in der Zielplanungsphase geschieht – als Vorplanung – eine erste Dimensionierung der Fabrik, so dass hier eine erste Risikobetrachtung erfolgen sollte.
- Aus den verschiedenen *Planungsfeldern* der Fabrikplanung soll in dieser Arbeit die *Fabrikstruktur- und Ablaufplanung* analysiert werden. Die Risiken der *Standortplanung* sollen nur über den Parameter der Lohnkosten, der entscheidenden Einfluss auf die Gestaltung und Auslegung der Fabrik hat, berücksichtigt werden.
- Als *Planungsfälle* sollen *Neuplanungen* bzw. größere *Um- oder Erweiterungsplanungen* betrachtet werden, d.h. Planungsfälle, in denen ein Projektmanagement auf Grund der Komplexität und Größe der Aufgabe unabdingbar ist.

Aus dem Betrachtungsfeld des Risikomanagements sollen im Rahmen dieser Arbeit folgende Bereiche fokussiert werden:

- Der Untersuchungsbereich in Bezug auf die *Risikoarten* soll auf die *Gestaltungsrisiken*, d.h. diejenigen Risiken, die auf Grund von Unsicherheiten in den Planungsdaten hinsichtlich der Auslegung und Gestaltung des Produktionssystems bestehen, beschränkt werden.
- Die Betrachtung der *Unsicherheiten* soll ausschließlich im Hinblick auf die *Varianz der Inputparameterwerte* und deren Auswirkung auf das Zielsystem erfolgen. Untersuchungen bzgl. der Unsicherheiten durch die Methode oder das Werkzeug bzw. der Auswirkung von Fehlern in der Durchführung der einzelnen Planungsschritte sollen nicht erfolgen.
- Das betrachtete Risiko bezieht sich im Zieldreieck des Planungsprojektes auf die Leistungserstellung (*Qualität*), d.h. auf das *Zielsystem* der Fabrik. Hierbei soll die Analyse bzgl. der Initialkonfiguration (d.h. einer Volumenvorgabe für die Kammlinie) des Produktionssystems und der darin enthaltenen Unsicherheiten durchgeführt werden. Dies kann nur

auf der Basis abschätzbarer Szenarien bzw. Planungsprämissen erfolgen.

Gemäß der Einschränkung des Untersuchungsbereiches erfolgt die Risikobetrachtung somit im Hinblick auf die Ausgestaltung und Dimensionierung der Abläufe und Strukturen des Produktionssystems. Die Zielgrößen der Fabrik bilden gemäß Abbildung 2-13 das für den Risikobezug notwendige Zielsystem.

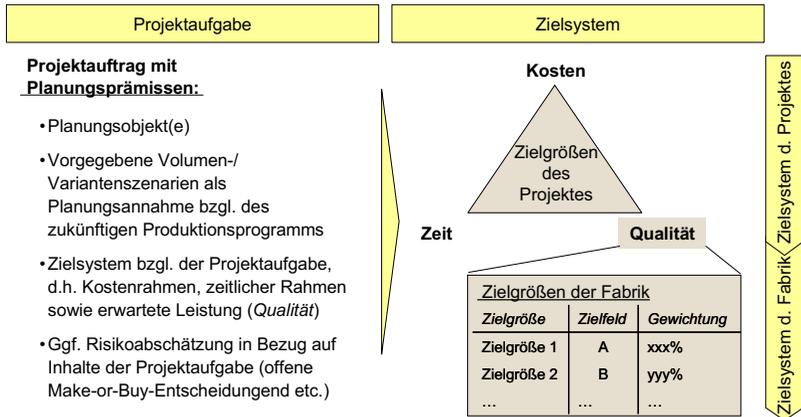


Abbildung 2-13: Die Zielgrößen der Fabrik als zu Grunde gelegtes Zielsystem für die Risikobetrachtung im Planungsprojekt

Basierend auf einem konkreten Projektauftrag, in dem die Planungsobjekte sowie die Planungsprämissen vorgegeben sind, werden konkrete Ziele bzgl. des Kosten- und Zeitrahmens sowie der erwarteten Leistung, die in Summe die *Qualität* der Projektergebnisse bilden, festgelegt und vereinbart. In der Praxis zeigt sich, dass Risiken bzgl. der Projektzielgrößen *Zeit* oder *Kosten* über gängige Projektmanagementtools wie bspw. Microsoft Project™ (MICROSOFT 2007A), RPlan (ACTANO 2007) oder spezifische MS-Excel™-Anwendungen (MICROSOFT 2007B) identifiziert und kontrolliert werden können. Für eine Aussage bzgl. der Risiken in Bezug auf die Projektzielgröße *Qualität* bzw. deren Unterziele können diese Tools im spezifischen Fall der Fabrikplanung keine Aussagen liefern. Es ist daher Gegenstand und Zielsetzung dieser Arbeit, wie in der Einleitung (vgl. Abschnitt 1.2) ausgeführt, einen Ansatz zum Management der Risiken in Bezug auf die Projektzielgröße *Qualität* zu entwickeln.

2.4 Zwischenfazit

Die Fabrikplanung als Bestandteil der strategischen Unternehmensplanung ist ein komplexes Gestaltungsobjekt, das die Koordination und Abstimmung unterschiedlicher Planungsdisziplinen bezüglich vielfältiger Gestaltungsfelder erfordert. Sie unterliegt daher in besonderem Maße den Herausforderungen, die aus einem turbulenten Unternehmensumfeld resultieren.

Gerade in den Anfangsphasen der Gestaltung des Produktionssystems werden umfassende, kostenimmanente Entscheidungen getroffen, die die Auslegung und Dimensionierung des Systems grundlegend festlegen. Ausgangspunkt für diese Gestaltung des Systems ist eine Planungsbasis, deren unterschiedliche Planungsparameter insbesondere in den frühen Phasen mit Unsicherheiten behaftet sind.

Diese Unsicherheiten werden im Rahmen der wirtschaftswissenschaftlichen Entscheidungstheorie als Risiko bezeichnet. Das Risikomanagement bietet in diesem Zusammenhang eine grundlegende Systematik zur Identifikation, Bewertung, Steuerung und Überwachung von Risiken. Als wichtiger Bestandteil des Projektmanagements bildet das Risikomanagement speziell bei großen Fabrikplanungsprojekten einen entscheidenden Erfolgsfaktor zum Erreichen der Projektziele.

Im folgenden Kapitel sollen daher bestehende Forschungsansätze zur Behandlung von Risiken und Unsicherheiten in der Fabrikplanung näher beleuchtet werden, um notwendige Schritte für einen integrierten Risikomanagementansatz in der Fabrikplanung abzuleiten.

3 Stand der Forschung und Handlungsbedarf

„Das Problem zu erkennen ist wichtiger, als die Lösung zu finden, denn die genaue Darstellung des Problems führt fast automatisch zur richtigen Lösung.“

ALBERT EINSTEIN

Aufbauend auf den im vorangegangenen Kapitel ausgeführten Grundlagen der Fabrikplanung und des Risikomanagements werden in diesem Kapitel bestehende Ansätze zum Risikomanagement in der Fabrikplanung bzw. Methoden zur Berücksichtigung von Unsicherheiten in den Planungsparametern bei der Gestaltung von Produktionssystemen untersucht.

Dazu werden zunächst in Abschnitt 3.1 Vorgehensweisen zum Risikomanagement in der Fabrikplanung, gegliedert nach den Planungsinhalten bzw. nach den Planungsphasen, erörtert. Im Anschluss werden Konzepte und Methoden, die den Faktor *Unsicherheit* in den Planungsparametern im Verlauf der Planung berücksichtigen, erläutert. Basierend auf diesen Ansätzen wird schließlich in Abschnitt 3.3 der Handlungsbedarf für ein integriertes Konzept zum Risikomanagement in der Ablauf- und Strukturgestaltung von Fabrikplanungsprojekten abgeleitet und in einer Zusammenfassung abschließend reflektiert.

3.1 Ansätze zum Risikomanagement in der Fabrikplanung

Die Fabrikplanung als Teil der (strategischen) Unternehmensplanung bezieht sich in der Regel auf hohe Investitionsvorhaben. Auf Grund ihres Planungscharakters, d.h. der Festlegung von Eigenschaften des Produktionssystems im Hinblick auf zukünftige Erwartungen, treten in besonderem Maße Risiken auf. Im Folgenden sollen Ansätze zum Risikomanagement in der Fabrikplanung analysiert werden.

Wie in Abbildung 3-1 illustriert, soll diese Analyse einerseits Ansätze aus den verschiedenen Planungsfeldern, andererseits aus den unterschiedlichen Planungsphasen aufzeigen.

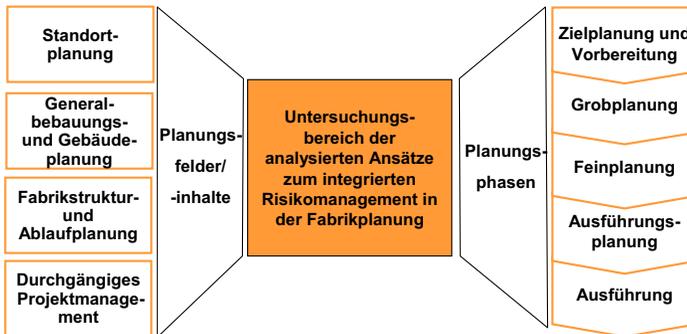


Abbildung 3-1: Darstellung des Untersuchungsbereiches zu Ansätzen des Risikomanagements in der Fabrikplanung

3.1.1 Risikomanagementansätze in den verschiedenen Planungsfeldern der Fabrikplanung

Die untersuchten Ansätze lassen sich den Planungsfeldern bzw. -inhalten der Standortplanung, der Generalbauungs- und Gebäudeplanung, der Fabrikstruktur- und der Ablaufplanung sowie dem durchgängigen Projektmanagement zuordnen.

Die *Standortplanung* ist Bestandteil der strategischen Planung des Unternehmens und besitzt auf Grund des langfristig bindenden Charakters (Planungshorizont 15 bis 30 Jahre) eine wesentliche Bedeutung für den wirtschaftlichen Erfolg des Unternehmens (GRUNDIG 2006, S. 219). HINKEL (2006) stellt einen Beitrag zur risikoorientierten Standortgestaltung vor, in welchem er die Interdependenzen zwischen dem Risikomanagement und der Standortstrukturgestaltung ausarbeitet und anschließend die Funktionen und Prozesse einer risikoorientierten Standortstrukturgestaltung ableitet. Er entwickelt einen Ansatz, um diese Risiken zu modellieren, und führt Partialmodelle zur Berücksichtigung politischer Risiken und Währungsrisiken detaillierter aus. Weitere Ansätze zum Risikomanagement in der Standortplanung finden sich u.a. bei BUHMANN ET AL. (2004), ABELE ET AL. (2006B) und WILDEMANN (2000). Diese Ansätze beziehen sich insbesondere auf die Entwicklung der sog. Standortfaktoren (Lohnkosten, Produktivitätsniveau, politische Verhältnisse etc.).

Ein zentrales Planungsfeld der Fabrikplanung ist die *Generalbauungs- und Gebäudeplanung*, auf die die Projektcharakteristik des Planungsobjektes *Fabrik*

übertragen werden kann. Diese Bauprojekte bieten auf Grund ihres Projektcharakters ebenso ein Einsatzfeld für das Risikomanagement. BUSCH (2005) präsentiert ein ganzheitliches, probabilistisches Risikomanagement-Prozessmodell für projektorientierte Unternehmen der Bauwirtschaft. Er stellt ein Modell vor, das mittels acht Modulen, ausgehend von dem Risikomanagementprozess auf Projektebene, diese Risiken analytisch aggregiert und in das Risikomanagementsystem des Unternehmens integriert. Hauptgegenstand seiner Arbeit ist dabei, die Risikobelastung, die Risikodeckung und die Risikoprozesssteuerung für das Gesamtunternehmen aufzuzeigen. Der Risikomanagementprozess auf Projektebene orientiert sich an dem Vier-Phasen-Standardmodell: Die Risikoidentifikation erfolgt mittels „pondering“ (engl. für Grübelei), Brainstorming oder Checklisten. Die Bewertung der Risiken wird über eine Multiplikation der Eintrittswahrscheinlichkeit mit der Tragweite durchgeführt. Als Methode für die anschließende Klassifizierung wird das Risiko-Portfolio bzw. die ABC-Analyse gewählt. Nach einer Ausführung zu Methoden zur Risikobewältigung stellt BUSCH als letzten Schritt seines Prozessmodells die Ermittlung der Kosten für die akzeptierten Risiken anhand deterministischer bzw. probabilistischer Verfahren (Monte-Carlo-Simulation¹³) vor.

Ein weiteres Verfahren zum Risikomanagement in Bauprojekten konzipiert WERNER (2003). In seiner Methode zur datenbankgestützten Risikoanalyse von Bauprojekten erstellt er ein Simulationsmodell, das mittels einer Monte-Carlo-Simulation Termin- und Kostenrisiken zu einem Gesamtprojektrisiko verrechnet. Basierend auf einer Stammdatenbank, in der Erfahrungswerte für Vorgänge gesammelt sind, werden für die Zeit-, Mengen- und Kostenaufwände Störungen mittels Wahrscheinlichkeitsfunktionen nachgebildet und die Gesamtauswirkung bzgl. Termin bzw. Kosten simuliert. Das Ergebnis, ein bewertetes Projektrisiko, kann in der Auftragskalkulation mitberücksichtigt werden. Weitere Ausführungen zu einem Risikomanagement bei Bauprojekten oder in der Bauindustrie finden sich u.a. bei GIRMSCHIED (2006), NEMUTH (2006) und NÖSTLTHALLER (2004).

Die zuvor geschilderten Ansätze beschränken sich ausschließlich auf das Risikomanagement in der Gebäudeplanung. Es findet keine Spezifizierung auf Fabrikplanungsprojekte statt. Die Methode der Monte-Carlo-Simulation zur Aggre-

¹³ Zur Erläuterung der Methode der Monte-Carlo-Simulation (MCS) vgl. Abschnitt 6.3.4 später.

gation der Risiken, insbesondere bei Interdependenzen zwischen den Risiken, kann jedoch auch auf die Risikoanalyse in der Ablauf- und Strukturgestaltung übertragen werden.

Ein *durchgängiges Projektmanagement* ist zentraler Bestandteil der Fabrikplanung (vgl. Abschnitt 2.1.2). Zahlreiche Autoren untersuchen die Methodik bzw. die Systematik eines Risikomanagements für Projekte (vgl. u.a. FRANKE 1990; HARRANT & HEMMICH 2004; LITKE 2005; SCHNORRENBERG ET AL. 1997; WALLMÜLLER 2004; WILLIAMS 2003). Sie behandeln hier meist als Projektbeispiele F&E-Projekte sowie IT-Softwareprojekte. Eine Detaillierung im Hinblick auf die Charakteristika bzw. spezielle Anforderungen von Fabrikplanungsprojekten wird jedoch nicht vorgenommen.

DOMBROWSKI (2002) fordert für Fabrikplanungsprojekte auf Grund ihrer hohen Komplexität den Einsatz von Projektmanagementsystemen. Er stellt ein Konzept vor, das im Rahmen eines ganzheitlichen Planungsansatzes der Digitalen Fabrik ein umfassendes Projektmanagementsystem für die Fabrikplanung realisiert. Dieses System beinhaltet zum einen die operativen Funktionalitäten der Projektstrukturplanung, der Aufwandsabschätzung, der Ablauf- und Ressourcenplanung sowie der Kostenplanung, zum anderen zeigt es die unterstützenden Funktionalitäten des Dokumentenmanagements, des Wissensmanagements sowie des CSCW/Groupware-Ansatzes auf. Der explizit geforderte integrale Bestandteil des Projektmanagements (vgl. hierzu Abschnitt 2.2.4), das Risikomanagement, ist in diesem Konzept nur indirekt über die Fortschrittsüberwachung bzw. die Steuerungsmaßnahmen berücksichtigt und nicht näher ausgeführt. Eine systematische Identifikation bzw. Analyse potentieller Risiken ist nicht vorgesehen. Der Ansatz bietet somit den konzeptionellen Rahmen, um das Risikomanagement als Bestandteil des Projektmanagements in die Systeme der Digitalen Fabrik zu integrieren. Die Funktionalitäten für ein Risikomanagement in der Fabrikplanung sowie die Synchronisation mit den Planungsprozessen sind jedoch nicht ausgearbeitet.

Die genaue Betrachtung der Methoden bzw. Konzepte zeigt, dass für Teile der Gestaltungsfelder der Fabrikplanung, nämlich die Standortplanung sowie die Gebäudeplanung, umfassende Ansätze zum Risikomanagement existieren. Die dort eingesetzten Methoden wie die Monte-Carlo-Simulation sowie die Risikolandkarte können entsprechend auf ein Konzept zum Risikomanagement in der Ablauf- und Strukturplanung transferiert werden. Ein ganzheitlicher Ansatz für dieses Konzept sowie die Integration in die Planungsprozesse als Bestandteil

des durchgängigen Projektmanagements müssen jedoch im Zuge dieser Arbeit untersucht werden.

3.1.2 Risikomanagementansätze in den verschiedenen Planungsphasen der Fabrikplanung

Die untersuchten Ansätze lassen sich den Planungsphasen (vgl. Abbildung 3-1) der Zielplanung und Vorbereitung, der Grobplanung, der Feinplanung, der Ausführungsplanung sowie der Ausführung zuordnen.

REINHART & VON BREDOW (2006) stellen in ihrem *Konzept zur Gestaltung von Wertschöpfungsketten* Methoden und Werkzeuge zum Risikomanagement in Produktionsnetzwerken vor. Dieser Ansatz lässt sich den Phasen der strategischen Unternehmensplanung sowie der frühen Zielplanung zuordnen. In ihrem Konzept erörtern sie drei zentrale Risiken der globalen Produktion: die Qualität, die Kosten der Produktionsfaktoren sowie die Flexibilität und Liefertreue. Zur quantitativen Bewertung von unterschiedlichen Netzwerkkonfigurationen, d.h. der Verteilung von Standorten und deren Vernetzung, wird eine Methode vorgestellt, bei der primäre Unsicherheiten über einen Zustandsbaum und sekundäre Unsicherheiten über stochastische Modellierung (Monte-Carlo-Simulation) abgebildet werden, die diskontierten Cash-Flows mittels des Realoptionsansatzes zu resultierenden Projektwerten verrechnet werden und so das projektspezifische Risiko kalkuliert werden kann. Dieser Ansatz fokussiert sich insbesondere auf die Verteilung der Wertschöpfungsumfänge auf verschiedene Standorte. Auf Gestaltungsrisiken im Grobplanungsprozess insbesondere einzelner Produktionssysteme wird nicht näher eingegangen.

Das Risikomanagement in der Phase des *Produktionsanlaufs* steht im Fokus der Untersuchung von ZÄH & MÖLLER (2004). In ihrem Konzept werden zur Risikoidentifikation aus einem Prozessmodell des Serienanlaufs Risikoträger abgeleitet, auf die externe bzw. interne Risikofaktoren wirken. Die Bewertung des Risikos erfolgt mittels eines Würfels mit den Dimensionen Menge, Kosten und Qualität (die das Zielsystem des Produktionsanlaufes darstellen), auf dem die Auswirkungen der einzelnen Faktoren visualisiert werden. Die Steuerung und Überwachung der Risiken erfolgt über eine Risikolandkarte. Auf die Risiken in der Gestaltung bzw. der detaillierten Dimensionierung des Produktionssystems wird in diesem Ansatz nicht eingegangen.

Die untersuchten Ansätze lassen sich der frühen Zielplanungs- sowie der Ausführungsphase zuordnen. Das im Rahmen dieser Arbeit adressierte Konzept zum integrierten Risikomanagement in der Ablauf- und Strukturgestaltung für die Ziel- und Grobplanungsphase schließt somit eine entscheidende Lücke für den durchgängigen Einsatz eines Risikomanagements im Planungsprozess.

3.2 Ansätze zur Berücksichtigung von Unsicherheiten in den Planungsparametern in der Fabrikgestaltung

Die Grundlage eines jeden Fabrikplanungsprojektes ist die gemeinsame Planungsdatenbasis, die sich aus der Gesamtheit der Planungsparameter zusammensetzt. Ausgehend von Grundannahmen in der Zielplanung wird die Planungsbasis im Laufe der Planung immer weiter verfeinert und validiert (KÖHLER 2007, S. 24). Insbesondere bis zum Ende der Grobplanungsphase muss der Planer jedoch mit (teilweise) unscharfen Daten auskommen (WIENDAHL ET AL. 2001, S. 187), d.h. seine Planung beruht auf implizierten Unsicherheiten. Im Folgenden werden zunächst Methoden und Vorgehensweisen aus der Standardliteratur der Fabrikplanung vorgestellt, mit denen diese Unsicherheiten in der Planung einkalkuliert werden sollen. Daran anschließend werden Methoden zur integrierten bzw. synchronisierten Planung untersucht. Abschließend wird mit dem Szenariomanagement zur Bewertung der Wandlungsfähigkeit von Fabriken ein Verfahren präsentiert, mit dessen Hilfe eine zukunftsrobuste Planung ermöglicht wird.

3.2.1 Ansätze in der Standardliteratur

Die Unschärfe in den Planungsdaten und deren Berücksichtigung wird auch in den Standardwerken der Fabrikplanung diskutiert. So führt SCHMIGALLA (1995, S. 207) im Zusammenhang mit den Planungs- oder Betriebsdaten drei Fälle auf: die *pauschalieren*, die *aggregierten* und die *detaillierten* Daten. Er geht vor allem in der Zielplanung von Annahmen, aber keiner sicheren Kenntnis der Daten aus. Insbesondere in den frühen Phasen ist der Unsicherheitsgrad in der Planung so groß, dass diese Unsicherheit durch spezielle Planungstechniken berücksichtigt werden muss. Er nennt die Delphi-Methode, Fuzzy-Logic, die Risikoanalyse, robuste Planungsschritte, die Simulation oder die Szenario-Technik als Beispiele für diese Planungstechniken, detailliert sie jedoch nicht

3.2 Ansätze zur Berücksichtigung von Unsicherheiten in den Planungsparametern in der Fabrikgestaltung

(ebd., S. 363). Als Methode zur Überprüfung, welche Auswirkungen das zukünftige Produktionsprogramm (d.h. die Volumina und die Varianten) hat, schlägt er die *Sensitivitätsanalyse* vor (ebd., S. 164). Keiner der Ansätze wird aber näher beschrieben bzw. systematisch in den Fabrikplanungsprozess integriert.

In der Kombination, Variation und Iteration sieht AGGTELEKY (1990, S. 58) entscheidende Hilfsmittel zur Steigerung der Wirksamkeit und Ergiebigkeit der Planung. Er erläutert, dass jede Planung ein *kalkuliertes Risiko* beinhaltet und fordert in diesem Zusammenhang explizit einen Überblick über das Risiko und dessen mögliche Folgen in den Planungsprozess zu integrieren, ohne ein durchgängiges Konzept hierfür darzulegen (ebd., S. 58 f.). Ferner sieht er die *Wahrscheinlichkeit* als Planungsfaktor, der zur Validierung von Konzepten in die Planung mit einfließen soll (ebd., S. 59 f.). Er empfiehlt, aus dem optimistischen, dem wahrscheinlichen und dem pessimistischen Wert mit Hilfe der Formel

$$\frac{1 \times W_{opt} + 4 \times W_{wahr} + 1 \times W_{pess}}{6} \quad (3-1)$$

einen Erwartungswert zu errechnen und diesen in der Planung zu berücksichtigen. Eine Bewertung der Auswirkung des Erwartungswertes wird nicht erörtert.

Auch KETTNER (1984, S. 5) sieht die Iterationsschritte und die Alternativenentwicklung als entscheidende Planungsgrundsätze. Er führt explizit auf, dass die Güte jeder Planung von der Qualität ihrer Ausgangsdaten abhängt (ebd., S. 17) und schlägt für die sorgfältige Aufstellung des Produktionsprogramms, das die wichtigste Grundlage aller weiteren Planungsschritte ist (ebd., S. 18), verschiedene Prognoseverfahren vor (ebd., S. 48). Auch er empfiehlt die Methodik einer Betrachtung unterschiedlicher Entwicklungen (d.h. eine optimistische und pessimistische Einschätzung), um Kapazitätsgrenzen oder -engpässe aufzudecken (ebd. S. 51). Eine durchgängige Methodik zur Integration von Unsicherheiten im Planungsprozess ist nicht beschrieben.

Die Ansätze in der Standardliteratur zeigen, dass der Berücksichtigung des Faktors *Unsicherheit* in der Planung eine hohe Bedeutung zugemessen wird. Es werden Methoden vorgeschlagen, diesen in die Planung zu integrieren, jedoch nicht im Detail ausgeführt. Die systematische Identifizierung der Unsicherheiten als potentielle Risikofaktoren sowie eine Methodik zur Risikoanalyse werden nicht diskutiert. Eine ganzheitliche Integration aller Elemente des Risikomanagements in den Fabrikplanungsablauf ist somit nicht gegeben.

3.2.2 Ansätze zur integrierten und synchronisierten Planung

Um Unsicherheiten aus dem Produkt oder dem Prozess in der frühen Phase der Gestaltung des Produktionssystems zu berücksichtigen, wurden Konzepte entwickelt, die zum einen auf die Parallelität zur Produktentwicklung, zum anderen auf eine synchronisierte Technologieplanung abzielen. Diese Ansätze sollen im Folgenden kurz erläutert und im Hinblick auf ein integriertes Risikomanagement kritisch beurteilt werden.

Im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 361 der Deutschen Forschungsgesellschaft (DFG) wurden umfangreiche Methoden und Werkzeuge zur integrierten Produkt- und Prozessgestaltung erarbeitet¹⁴. Dabei wurde u.a. das Thema der Ablauf- und Strukturplanung im Kontext der integrierten Produkt- und Prozessgestaltung untersucht. SCHMIDT (2003) detailliert hierzu ein Konzept zur integrierten Ablauf- und Strukturplanung mit digitalen Fabrikmodellen. Er interpretiert, abgeleitet aus einem systemtechnischen Verständnis der Fabrik als komplexes System, die Ablauf- und Strukturplanung als Regelkreis¹⁵ (Abbildung 3-2).

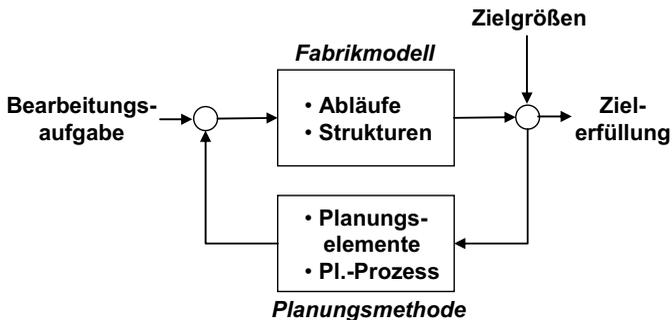


Abbildung 3-2: Regelkreis der integrierten Ablauf- und Strukturgestaltung (in Anlehnung an SCHMIDT 2003, S. 50)

Die Produktionsabläufe und -strukturen, die Regelstrecke, werden in einem Fabrikmodell abgebildet. Die Eingangsgröße für die Regelstrecke ist dabei die

¹⁴ Bzgl. einer ausführlichen Zusammenfassung der Ergebnisse vgl. EVERSHEIM & SCHUH (2005).

¹⁵ Zum grundlegenden Verständnis des Regelkreises und einer allgemeinen Einführung in die Regelungstechnik vgl. bspw. SCHMIDT (1994) oder LUNZE (2006).

Bearbeitungsaufgabe (z.B. das Produktionsprogramm), die die Randbedingungen für die Fabrikplanung bildet. Auf Basis des Fabrikmodells erfolgt ein Abgleich mit den (vorher definierten) Zielgrößen, so dass die Zielerfüllung dieser Werte als Ausgangsgröße interpretiert werden kann. Den Regler des Regelkreises stellt in diesem Fall die Planungsmethode, d.h. der Prozess der Grobplanung, dar. Bei einer Abweichung der Zielwerte kann über eine Neu- oder Nachgestaltung der Abläufe und Strukturen das Modell so angepasst werden, dass eine bestmögliche Zielerfüllung realisiert wird. SCHMIDT führt ein Referenz-Fabrikmodell ein, anhand dessen Fabrikmodelle für den jeweiligen Einsatzfall instanziiert und über die Planungselemente konfiguriert werden können. Als Gestaltungsobjekte des Referenzmodells sieht er dabei je drei Elemente aus Struktur- bzw. Ablaufsicht: Die Elemente *Ressource*, *Produktionselement* und *Organisationseinheit* sind Gestaltungsobjekte der Struktursicht; die Elemente *Bearbeitungsobjekt*, *Auftrag* und *Ablauf* sind Gestaltungsobjekte der Ablaufsicht. Seine Methode zur integrierten Ablauf- und Strukturplanung umfasst vier Schritte: Zunächst werden für die oben genannten Gestaltungsobjekte Wirkzusammenhänge visualisiert, die in einem zweiten Schritt verschiedenen Beeinflussungstypen zugeordnet werden. Als dritter Schritt werden objektbezogene Planungselemente abgeleitet, deren Planung als letzter und vierter Schritt im Planungsprozess durchgeführt wird.

Der Ansatz von SCHMIDT (2003) dient zur schnellen Erstellung und Bewertung von alternativen Struktur- und Ablaufvarianten, um die insbesondere in der Grobplanungsphase auftretenden Unsicherheiten im Modell erfassen zu können. In Bezug auf ein integriertes Risikomanagement lassen sich jedoch folgende Defizite feststellen: Es erfolgt keine systematische Identifikation der Risikofaktoren. Die Modellierung des Systems eignet sich als Grundlage für die Ermittlung des Schadensausmaßes in der Risikobewertung, wirft aber insbesondere bei der Integration von Wahrscheinlichkeiten offene Fragen auf. Auch erfolgt keine systematische Klassifizierung hin zu den Hauptrisiken bzw. Stellhebeln, um so eine effiziente Gegensteuerung im Planungsprozess zu ermöglichen. Ferner werden keine Steuerungsmöglichkeiten zur Reduzierung des Risikos genannt bzw. ausgearbeitet. Der Abgleich mit den Zielgrößen stellt ein Monitoring zum Verhalten des Produktionssystems dar. Eine Detaillierung hin zu einer Risikoüberwachung wird jedoch nicht gegeben. Dennoch bietet der Ansatz insbesondere durch die Darstellung des Fabrikplanungsprozesses als Regelkreis eine Ausgangsbasis zur Integration eines Risikomanagements.

Auf die zukünftigen Entwicklungen aus der Technologieplanung und einer Synchronisation mit der Fabrikplanung zielt der Ansatz von FIEBIG (2004). Basierend auf einer fabrikplanungsorientierten Analyse von Produktionstechnologien, in der anhand einer Einflussmatrix die Auswirkung von sieben fabrikplanungsrelevanten Technologiefeatures¹⁶ auf die Planungsfelder der Fabrik evaluiert wird, erstellt er eine Methode des integrierten Fabrik-Technologie-Roadmappings. Mittels einer retrospektiven Betrachtung werden ausgehend von Szenarien sowohl für die Fabrik als auch für die Technologien sog. Roadmaps erzeugt, die anschließend über eine systematische Fabrik-Technologie-Verknüpfung miteinander synchronisiert werden. Als Roadmaps werden dabei zukünftige Entwicklungspfade hin zu diesen Szenarien verstanden. Das Ergebnis ist eine kontinuierliche inhaltliche und zeitliche Synchronisation der Technologie- und Fabrikplanung, die mittels eines Fabrik-Technologie-Portfolios bzgl. ihres Einsatzpotentials beurteilt wird. Zur Integration des Roadmappings in den Ablauf der operativen Fabrikplanung schlägt FIEBIG so genannte (an die Quality-Gate-Systematik angelehnte) *Technology-Gates* vor. An diesen Gates erfolgt ein definierter Abstimmungsprozess zwischen der Fabrik- und der Technologieplanung. Im erweiterten Ablauf der Fabrikplanung sind drei dieser Technology-Gates vorgesehen (Abbildung 3-3).

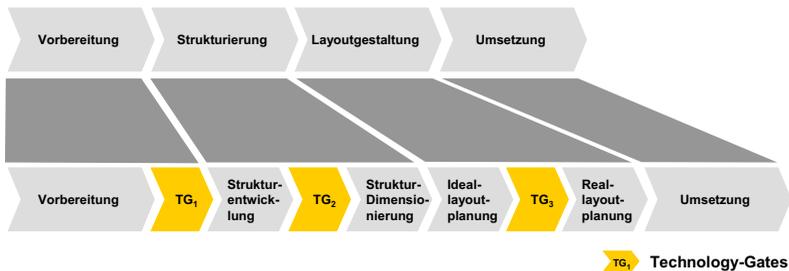


Abbildung 3-3: Erweiterter Ablauf der Fabrikplanung mit *Technology-Gates* (FIEBIG 2004, S. 105)

¹⁶ Diese sieben Technologiefeatures sind der *Raumbedarf*, die *Gebäudeanforderungen*, die *Verträglichkeit*, das *Logistikprofil*, die *Veränderungsfähigkeit*, das *Qualitätsprofil* sowie die *Personalanforderungen*. Für eine detaillierten Beschreibung der genannten Einflussanalyse vgl. FIEBIG (2004, S. 38 ff. bzw. S. 132 f.).

Der von FIEBIG entwickelte Ansatz dient insbesondere der langfristigen Entwicklung der Fabrik in der frühen Strategiephase. Er fokussiert sich auf die mögliche Entwicklung („roadmap“) in den Produktionstechnologien, integriert andere mögliche Risiken für die Fabrikstruktur aber nicht. Die Bewertung des Einsatzes der Einzeltechnologien geschieht auf einem abstrakten, strategischen Level, so dass keine Aussage über den Bedarf an Ressourcen in einem laufenden Planungsprojekt getroffen werden kann. Der Technology-Gate-Ansatz stellt eine Methode zur Synchronisation zu fest definierten Zeitpunkten dar. Dennoch kann er dem Anspruch eines kontinuierlichen Monitoring der Risiken nicht gerecht werden, da die Synchronisation nur an bestimmten Zeitpunkten im Planungsablauf erfolgt. Der Ansatz von FIEBIG enthält somit Teilelemente einer Risikomanagement-Methode in der Fabrikplanung, kann jedoch die geforderte ganzheitlich-integrative Sichtweise nicht bieten.

3.2.3 Integriertes Szenariomanagement in der Fabrikplanung

Die Szenarioanalyse stellt, wie in Abschnitt 2.2.2 beschrieben, eine einschlägige Methode zur Bewertung von Risiken dar. Die Analyse bzw. Bildung von alternativen Szenarien, z.B. im Hinblick auf das zukünftige Produktionsprogramm, ist ein elementarer Bestandteil in der Zielplanung von Fabriken (vgl. u.a. GRUNDIG 2006, S. 246 f.; KETTNER ET AL. 1984, S. 51; SCHMIGALLA 1995, S. 363; WIENDAHL 2005, S. 36).

GAUSEMEIER definiert ein Szenario als *„... eine allgemein verständliche Beschreibung einer möglichen Situation in der Zukunft, die auf einem komplexen Netz von Einflussfaktoren beruht. Ein Szenario kann darüber hinaus die Darstellung einer Entwicklung enthalten, die aus der Gegenwart zu dieser Situation führt“* (GAUSEMEIER & FINK 1999, S. 80). Am Heinz-Nixdorf-Institut wurde das Szenario-Management weiterentwickelt, das die Nutzung von Szenarien in die strategischen Planungs- und Führungsprozesse integriert. Diese Methode basiert auf zwei grundsätzlichen Prinzipien: dem *vernetzten Denken*, d.h. dem Erfassen der Wirkzusammenhänge eines komplexen Gesamtsystems, und der *multiplen Zukunft*, d.h. der Berücksichtigung von mehreren denkbaren Entwicklungen der Zukunft (GAUSEMEIER & FINK 1995, S. 91). Das Phasenmodell des Szenario-Managements ist in Abbildung 3-4 veranschaulicht.

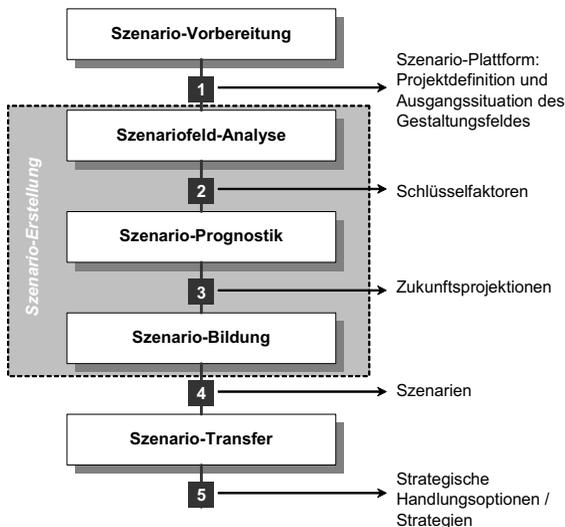


Abbildung 3-4: Das Phasenmodell des Szenario-Managements (in Anlehnung an GAUSEMEIER & FINK 1995, S. 17)

In der *Szenario-Vorbereitung* erfolgt die Projektdefinition und Analyse des Gestaltungsfeldes. Die anschließende *Szenario-Erstellung* wird in drei Teilschritten ausgeführt: Im ersten Teilschritt, der *Szenariofeld-Analyse*, werden aus allen Einflussfaktoren die Faktoren mit dem größten Einfluss, die so genannten *Schlüsselfaktoren*, identifiziert¹⁷. Die *Szenario-Prognostik*, der zweite Teilschritt der Szenario-Erstellung, bildet den Kern des Szenario-Managements. Hier werden unter Adaption des Prinzips der *multiplen Zukunft* mögliche Entwicklungen für die einzelnen Schlüsselfaktoren erarbeitet und daraus sog. *Zukunftsprojektionen*¹⁸ gebildet. Im dritten und letzten Teilschritt der Szenarioerstellung, der *Szenario-Bildung*, wird die Konsistenz der Zukunftsprojektionen bewertet und es werden diese anschließend zu *Projektionsbündeln* verdichtet. Ein Projekti-

¹⁷ Dies geschieht meist mit Hilfe der sog. *Einflussanalyse* oder *Einflussgrößenanalyse*. Zur Detaillierung sei hier auf die weiterführende Literatur verwiesen (vgl. u.a. GAUSEMEIER & FINK 1995; HABERFELLNER & DAENZER 1994; VESTER 2001).

¹⁸ Die Erzeugung dieser Zukunftsprojektionen gestaltet sich sowohl als kreativer als auch analytischer Prozess. Zu möglichen Verfahren sei auf BRAUCHLIN & HEENE 1995; GAUSEMEIER & FINK 1995 sowie GOMEZ & PROBST 1997 verwiesen.

3.2 Ansätze zur Berücksichtigung von Unsicherheiten in den Planungsparametern in der Fabrikgestaltung

onsbündel ist dabei eine Kombination von Zukunftsprojektionen, die für jeden Schlüsselfaktor genau eine Zukunftsprojektion enthält. Aus der großen Anzahl der möglichen Projektionsbündel werden durch Konsistenzfilterung und Kombination ähnlicher Bündel sog. *Rohszenarien* erstellt. Diese Rohszenarien lassen sich graphisch auch als Szenario-Trichter darstellen. Aufbauend auf diesen Rohszenarien werden in der letzten Phase des Szenariomanagements, dem *Szenario-Transfer*, mittels einer Auswirkungsanalyse strategische Handlungsoptionen bzw. Strategien entwickelt, um die erkannten Chancen zu nutzen und den Risiken entgegenzutreten.

HERNÁNDEZ (2003) detailliert im Rahmen seines Ansatzes zur *Systematik der Wandlungsfähigkeit in der Fabrikplanung* die Prinzipien des Szenariomanagements im Hinblick auf die Fabrikplanung mit der Zielsetzung, qualitativ hochwertigere und präzisere Planungsergebnisse zu erzeugen. Um die notwendige Ausprägung der Wandlungsfähigkeit abzuleiten, werden die Auswirkungen der Szenarien auf die Fabrik und ihre Wandlungsobjekte untersucht. HERNÁNDEZ (2003, S. 107) bezeichnet dies als *zukunftsrobuste Fabrikplanung* und fordert damit eine Planung, die auf mehreren Szenarien basiert. Er empfiehlt den Einsatz des Szenario-Managements insbesondere bei Fabrikneuplanungen sowie für größere Umstrukturierungen, da diese Projekte ein hohes wirtschaftliches Risiko bedeuten. Dieser Einsatz des Szenario-Managements in der Fabrikplanung ist in Abbildung 3-5 visualisiert.

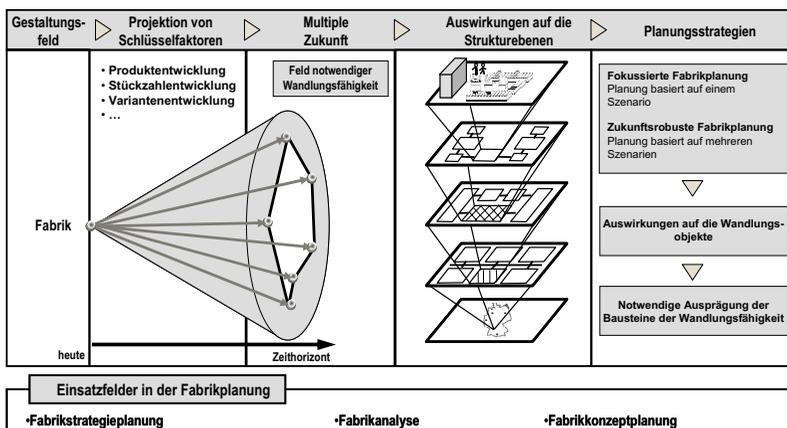


Abbildung 3-5: Einsatz des Szenariomanagements in der Fabrikplanung zur Abschätzung des zukünftigen Wandlungsbedarfs (WIENDAHL ET AL. 2002A, S. 15)

Ausgehend vom Gestaltungsobjekt Fabrik werden gemäß dem Phasenmodell des Szenariomanagements Schlüsselfaktoren identifiziert und Rohszenarien mittels Projektion ermittelt. Aus den Auswirkungen dieser Szenarien auf die einzelnen Elemente der Strukturebenen können entsprechende Planungsstrategien abgeleitet werden. Gemäß diesen Strategien kann dann die notwendige Ausprägung der Bausteine der Wandlungsfähigkeit bestimmt werden. Als Einsatzfelder werden die Fabrikstrategieplanung, die Fabrikanalyse sowie die Fabrikkonzeptplanung gesehen (WIENDAHL ET AL. 2002A).

HERNÁNDEZ (2003, S. 119) identifiziert die in Abbildung 3-6 aufgeführten Faktoren als *Schlüsselfaktoren* einer Fabrik. Dabei differenziert er in nicht lenkbare (d.h. aus dem globalen Umfeld oder Unternehmensumfeld resultierende) bzw. lenkbare (d.h. aus dem Fabrikumfeld resultierende) Faktoren.

Nicht lenkbare Schlüsselfaktoren (Globales Umfeld und Unternehmensumfeld)	Lenkbare Schlüsselfaktoren (Fabrikumfeld)
1 Marktdynamik-, -gesetze und -entwicklung	1 Produktarten und -typen
2 Nachfrageverlauf	2 Produktvarianten
3 Wettbewerbsstruktur/ neue Wettbewerber	3 Produktmengen
4 Marktstruktur und -segmentierung	4 Grad der Spezialisierung
5 Kompetenzen der Wettbewerber	5 Produktstandardisierung
6 Wirtschaftliche Entwicklung	6 Produktpreise
7 Kompetenzen der Partner im Produktionsnetzwerk	7 Ort der Produktion
8 Auslastung der Partner im Produktionsnetzwerk	8 Werkstoffentwicklung
9 Produktionsnetzwerkorganisation	9 Produkttechnologie
10 Branchenstandards und -normen	10 Fertigungstiefe
11 Preisforderungen	11 Produktionstechnologie und Automatisierung
12 Innovationsgeschwindigkeit	12 Produktgröße und -gewicht
13 Globalisierung der Produktion	13 Investitionsbudget
14 Marktstrategie der Wettbewerber	14 Umlauf- und Anlagevermögen
15 Lieferantenforderungen	15 Umsatz und Gewinne
16 Risikoneigung der Kapitalgeber/Aktionäre	16 Gebäudelebenszyklus
17 Lieferantenstruktur	17 Kooperationsstrategie
18 Machtstellung der Lieferanten	18 Standortentwicklung
19 Finanzpolitik	19 Distributionsstrategie
20 Technologieentwicklung	20 Marktstrategie/ Geschäftsfeldstrategie
21 Umweltpolitik	21 Serviceleistung
22 Globale Forschungs- und Entwicklungsintensität	22 Humanstrategien
23 Rohstoffe	23 Produktlebenszyklen
24 Import und Export	24 Unternehmens- und Metaziele
25 Herkunft und Struktur der Kunden	25 Logistikstrategie

Abbildung 3-6: *Aufstufung der lenkbaren und nichtlenkbaren Schlüsselfaktoren einer Fabrik (in Anlehnung an HERNÁNDEZ 2003, S. 119)*

Zur Eingliederung des Szenario-Managements in den Fabrikplanungsablauf schlägt HERNÁNDEZ einen Szenarioworkshop in der Zielplanungs- und Vorbereitungsphase vor. Anhand des oben abgebildeten Kataloges der Schlüsselfaktoren können die Experten und Verantwortlichen der wichtigsten Funktionen des Unternehmens die Rohszenarien erstellen und analysieren. Diese Auswir-

kungsanalyse und die Untersuchung der potentiellen Wandlungsanforderungen, d.h. der Schritt des Szenario-Transfers, erfolgen durch die Bestimmung der sog. Wandlungsbreite und der sog. Wandlungstiefe. Unter Wandlungsbreite wird dabei die Anzahl der betroffenen Gestaltungsfeld-Komponenten, unter Wandlungstiefe die Differenz zwischen dem Ist-Zustand und der Wandlungsanforderung des jeweiligen Objektes verstanden. Die Ergebnisse der Untersuchung können anschließend in der Gestaltung und Auslegung der Fabrik berücksichtigt werden.

Die Bildung von Szenarien bzw. die Szenarienanalyse stellt ein wichtiges Hilfsmittel in der Risikobewertung dar. Dennoch kann der Ansatz den Anforderungen eines integrierten Risikomanagements nicht vollständig gerecht werden. Insbesondere die integrierte Modellierung bzw. der Einfluss der Unsicherheiten auf die Zielgrößen der Fabrik werden nicht detailliert. Zudem wird keine Methode zur Aggregation hin zum Gesamtrisiko vorgestellt, so dass eine kontinuierliche Verfolgung bzw. eine Transparenz des Risikos im Planungsverlauf nicht gewährleistet werden kann. Der Ansatz zielt insbesondere auf eine langfristige Szenarienplanung ab, berücksichtigt aber nicht kurzfristige Änderungen der Planungsparameter und eine entsprechende Monitoring-Funktion in Bezug auf deren Auswirkungen. Gerade bei der Ausgestaltung bzw. Dimensionierung des Fabrikkonzeptes sollte nach Ansicht des Autors nicht nur auf Szenarien zurückgegriffen werden, sondern auf Grund der Komplexität der Produktionssysteme der Einfluss bzw. die Unsicherheit der einzelnen Elemente des Systems ins Kalkül gezogen werden. Hierzu ist es notwendig, diese einzelnen Faktoren zu identifizieren und in einer Risikoanalyse zu bewerten. Diese Prozesse sollten – aufbauend auf einer Szenarienbetrachtung – in den Fabrikplanungsprozess integriert werden.

3.3 Zusammenfassung und Ableitung des Handlungsbedarfes

In den Abschnitten 3.1 und 3.2 wurden einerseits Ansätze zum Risikomanagement in den verschiedenen Gestaltungsfeldern bzw. Phasen der Fabrikplanung, andererseits Ansätze zur Berücksichtigung von Unsicherheiten in den Parametern im Rahmen der Fabrikplanung analysiert. Abbildung 3-7 zeigt eine zusammenfassende Bewertung dieser Analyse.

3 Stand der Forschung und Handlungsbedarf

		Risikomanagement in Bauprojekten (Busch; Werner; u.a.)	Risikomanagement in Projekten (Harrant; Litke, ...)	Risikomanagement Standort/Produktionsnetzwerke (Zäh; Reinhart; Wildemann; u.a.)	Risikomanagement im Produktionsanlauf (Zäh; Möller)	Standardliteratur (Aggtelekey; Kettner; u.a.)	Systematik der Wandlungsfähigkeit (Hernandez; Wiendahl)	Integrierte Grobplanung von Abläufen und Strukturen (Schmidt; Eversheim)	Synchronisation von Fabrik- und Technologieplanung (Fliebig)	Ansatz dieser Arbeit
Fabrikplanungssystematik	Zielkorridor: Betrachtungsfeld									
	Standortplanung	○	○	●	○	◐	◐	○	○	○
	Gebäudeplanung	●	○	○	○	◐	◐	○	◐	○
	Fabrikstruktur- und Ablaufplanung	○	○	○	●	●	●	●	●	●
	Projektmanagement	◐	●	○	◐	◐	○	○	○	◐
	Zielkorridor: Einsatzgebiet									
	Neuplanung	●	◐	●	●	●	●	●	●	●
	Um- oder Erweiterungsplanung	●	◐	○	●	●	●	●	●	●
	Kontinuierliche Optimierung	○	○	○	○	○	◐	○	◐	○
	Zielkorridor: Phasen									
	Unternehmensplanung	●	◐	●	○	●	○	○	●	○
	Zielplanung	●	◐	◐	○	●	●	○	●	●
	Grobplanung	●	◐	○	○	●	●	●	●	●
	Detailplanung	◐	●	○	○	●	○	○	○	○
	Anlaufplanung	○	○	○	●	●	○	○	○	○
	Zielkorridor: Planungsdaten									
	Integration von Unsicherheiten	●	●	●	●	◐	●	◐	◐	●
Dyn. Veränderungen im Verlauf	◐	◐	◐	◐	◐	○	●	◐	●	
Risikomgt.-systematik	Zielkorridor: Risikomanagement-Systematik									
	Risiko-Identifikation / Systematisierung der Unsicherheiten	●	●	●	●	◐	◐	◐	◐	●
	Risiko-Bewertung / integrierte Modellierung der Unsicherheiten	●	●	●	●	◐	◐	◐	◐	●
	Risiko-Steuerung / Darstellung der Gestaltungsräume	●	●	●	●	◐	◐	○	◐	●
	Risiko-Überwachung / in Ablauf integrierte Systematik	●	●	●	●	◐	◐	◐	◐	●

● erfüllt ◐ teilweise erfüllt ○ nicht erfüllt

Abbildung 3-7: Bewertung relevanter Ansätze zum integrierten Risikomanagement in der Fabrikplanung

Die Bewertung verdeutlicht, dass kein durchgängiges Konzept zur Integration eines Risikomanagementprozesses in der Ablauf- und Strukturgestaltung von Produktionssystemen existiert. Die Hauptthese dieser Arbeit ist, dass durch einen integrierten Risikomanagementprozess Planungsrisiken bewertet und vermieden werden können bzw. im Planungsprozess diesem gezielt gegengesteuert werden kann. Hieraus resultiert der folgende Handlungsbedarf für ein Konzept, das mit ebendieser Integration einen Beitrag zur effizienten und qualitativ hochwertigen Planung leisten soll:

- Die für Teile der Fabrikplanungsfelder, nämlich die Standortplanung und die Gebäudeplanung, existente und adaptierte *Risikomanagement-*

Systematik muss auch auf das Feld der Fabrikstruktur- und Ablaufplanung ausgeweitet werden. Es gilt, im Rahmen eines umfassenden Projektmanagements eine Methodik des Risikomanagements in den Planungsablauf zu integrieren, um die Identifikation, Bewertung und Steuerung der Risiken sowie ein kontinuierliches Monitoring zu gewährleisten.

- Der Einfluss von unscharfen Werten in den Parametern und deren Auswirkung auf die Gestaltung der Fabrik ist in der Konzepterstellung zu berücksichtigen. Das Risiko bei *Planungsannahmen*, d.h. unsicheren Werten in den Planungsparametern, muss bewertbar gemacht werden. Die Möglichkeit, diese unscharfen Daten in der Planungsdatenbank zu hinterlegen, ist erforderlich. Diese Unschärfe muss in der im Rahmen der Digitalen Fabrik postulierten zentralen Datenbasis abbildbar sein. Im Rahmen des zu entwickelnden Konzeptes besteht daher der Handlungsbedarf, die in den bestehenden Ansätzen existente zentrale Datenbasis um Informationen bzgl. der Unsicherheiten in den Parametern zu ergänzen bzw. als Risikofaktoren kenntlich zu machen.
- Der Einfluss von *offenen Entscheidungen* in der Auslegung der Fabrik, die ebenso als Planungsunsicherheiten interpretiert werden können, muss als Risiko darstellbar sein. Insbesondere auf Grund einer verstärkten Parallelisierung (und gleichzeitiger Synchronisation) der Planungsaktivitäten der verschiedenen Gestaltungsfelder ist es notwendig, dass die Auswirkungen dieser offenen Entscheidungen für die unterschiedlichen Fachplaner evident sind. Es gilt daher im Rahmen dieser Arbeit eine Methode zu generieren, offene Entscheidungen über die Planungsparameter im Fabrikkonzept abbilden und deren Auswirkung evaluieren zu können.
- Neben der Darstellung einer *Zielerfüllung* von Alternativen in der Grobplanung der Fabrik muss eine Risikobetrachtung auf Basis der Unsicherheiten bzgl. dieser Zielerfüllung erarbeitet werden. Dies erfordert zusätzlich zu der Modellierung von Alternativen, die in den vorgestellten Ansätzen hinreichend realisiert ist, auch eine Bewertung der beinhalteten Risiken. Ein kontinuierliches Controlling des aktuellen Planungsergebnisses anhand der Planungszielsetzung und der enthaltenen Risiken ist dabei unerlässlich. Demgemäß muss ein Werkzeug bzw. Hilfsmittel zur Verfügung gestellt werden, das eine solche Controllingfunktionalität realisiert.

- Die in der Zielplanung definierten *Szenarien* müssen schnell und effektiv bzgl. ihres Einflusses auf das Planungsergebnis bzw. die Auslegung und Dimensionierung der Fabrik bewertet werden. Es ist daher erforderlich, bereits in der Zielplanung eine erste Aussage zur Dimension des Produktionssystems vornehmen zu können, die dann in der Grobplanung detailliert werden kann. Ein Hilfsmittel, das den Planer bei ebd. frühzeitiger Dimensionierung unterstützt und die Möglichkeit zum Verwalten von mehreren Szenarien ermöglicht, gilt es in das Gesamtkonzept zu integrieren.
- Zur effektiven Steuerung der Risiken ist es notwendig, die *Hauptstellhebel* zur Reduzierung bzw. Elimination ebd. Risikos zu identifizieren. Die in den Planungsparametern enthaltenen Unsicherheiten haben unterschiedliche Auswirkungen auf die Dimensionierung und Gestaltung des Systems. Im Rahmen eines effektiven Projektmanagements müssen dem Planer daher diejenigen Unsicherheiten aufgezeigt werden, die das größte Risiko bergen, so dass geeignete Steuerungsmaßnahmen hierfür erarbeitet werden können. Dies gilt es, in dem zu entwickelnden Konzept umzusetzen.

Der ausgeführte Handlungsbedarf wurde auf Basis der in Abschnitt 2.1 und 2.2 beschriebenen Grundlagen der Fabrikplanung bzw. des Risikomanagements und des in diesem Kapitel analysierten Standes der Forschung bzgl. einer Integration des Risikomanagements in die Fabrikplanung bzw. der Berücksichtigung von Unsicherheiten in den Parametern im Planungsprozess abgeleitet. Im nachfolgenden Kapitel wird daran anknüpfend ein Konzept zur Integration des Risikomanagements in der Ablauf- und Strukturgestaltung in Fabrikplanungsprojekten ausgearbeitet.

4 Konzept eines integrierten Risikomanagements für die Ablauf- und Strukturgestaltung in Fabrikplanungsprojekten

“Plans are nothing, planning is everything.”

DWIGHT D. EISENHOWER

Basierend auf dem im vorhergehenden Kapitel identifizierten Handlungsbedarf und der Zielsetzung der Arbeit werden im Folgenden die Anforderungen an ein integriertes Konzept zum Risikomanagement in der Gestaltung der Abläufe und Strukturen von Produktionssystemen abgeleitet (Abschnitt 4.1). Aufbauend auf diesen Anforderungen erfolgen eine Erläuterung des Konzeptes und eine Beschreibung der einzelnen Elemente bzw. ihrer Zusammenhänge (Abschnitt 4.2). Diese dienen als Basis einer ausführlichen Herleitung der einzelnen Gestaltungsschwerpunkte des Konzeptes, die in den nachfolgenden Kapiteln detailliert werden. In Abschnitt 4.3 wird ein Vorschlag zur Einbindung des Konzeptes in das Risikomanagementsystem des Unternehmens präsentiert. Mit einem Zwischenfazit (Abschnitt 4.4) schließt dieses Kapitel.

4.1 Anforderungen an das Konzept

Die Untersuchung zum Stand der Forschung hat gezeigt, dass zahlreiche Ansätze existieren, die Teilbereiche des Themenfeldes beinhalten bzw. behandeln. Es wurden Handlungsbedarfe aufgezeigt, die zu einer ganzheitlichen Integration des Risikomanagementprozesses notwendig sind. Im Folgenden sollen darauf aufbauend die Anforderungen an das integrierte Konzept formuliert werden. Diese Anforderungen lassen sich zum einen aus der Systematik des Risikomanagements, zum anderen aus der Systematik der Fabrikplanung ableiten (Abbildung 4-1).

4 Konzept eines integrierten Risikomanagements für die Ablauf- und Strukturgestaltung in Fabrikplanungsprojekten

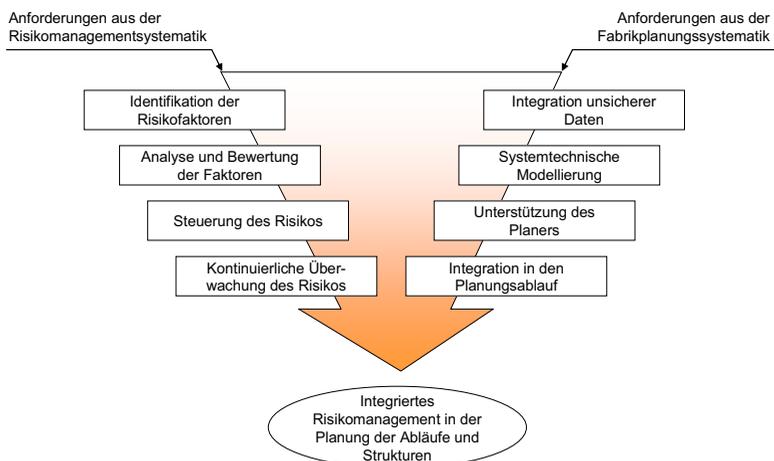


Abbildung 4-1: Anforderungen an ein Konzept zum integrierten Risikomanagement in der Ablauf- und Strukturgestaltung

4.1.1 Anforderung aus der Systematik des Risikomanagements

Die Anforderungen aus der Systematik des Risikomanagements leiten sich aus den vier Elementen des Risikomanagementprozesses (vgl. Abschnitt 2.2.2) ab.

Als erste Anforderung lässt sich die *Identifikation der Risikofaktoren* formulieren. Ziel des Konzeptes sollte es dabei sein, eine strukturierte und detaillierte Erfassung aller Risikopotentiale, die in der Gestaltung des Produktionssystems liegen, zu ermöglichen. Hierfür muss eine entsprechende Methodik initiiert werden, auf deren Basis die Identifikation und Strukturierung durchgeführt werden kann. Dabei gilt es zu beachten, dass die Risikoidentifikation kein einmaliger, sondern ein kontinuierlicher Prozess ist.

Das Konzept muss ferner die *Analyse und Bewertung* dieser identifizierten Risikofaktoren ermöglichen. Ziel der Analyse sollte sein, das Risikopotential jedes einzelnen Faktors zu ermitteln. Die Bewertung muss gemäß der Definition des Risikos auf die zu erreichenden Ziele des Systems bezogen werden. Des Weiteren ist eine Klassifizierung der Risiken notwendig, um eine Priorisierung in der Ableitung der Maßnahmen vornehmen zu können. Schließlich ist eine Aggregation der Risiken zur Darstellung des Gesamtrisikos in der Gestaltung des Produktionssystems als Teil der Risikoanalyse zu konzipieren.

Zur Beeinflussung der analysierten Risiken ist ein Prozess zur *Risikosteuerung* notwendig. Anhand der vorgenommenen Priorisierung müssen geeignete Maßnahmen erarbeitet werden, die es erlauben, das Risikopotential zu eliminieren oder zu reduzieren. Abhängig von der gewählten Risikosteuerungsstrategie können entsprechende Vorgehensweisen zur Risikosteuerung definiert werden.

Als vierte und letzte Anforderung auf Basis der Risikomanagementsystematik lässt sich eine *kontinuierliche Überwachung* des Risikos formulieren. Nach der Einleitung der Maßnahmen muss die Wirkung der Steuerungsprozesse überwacht und potentielle neu auftretende Risiken in den Analyse- und Steuerungsprozess integriert werden. Ein geeignetes Instrumentarium ist zu erstellen, das einen effizienten Überwachungsprozess gewährleistet.

4.1.2 Anforderungen aus der Systematik der Fabrikplanung

Zusätzlich zu den Anforderungen aus der Systematik des Risikomanagements lassen sich ebensolche auch für die Fabrikplanung ableiten:

Als erste Anforderung aus der Systematik der Fabrikplanung lässt sich die *Integration unsicherer Daten* formulieren. Diese Anforderung beinhaltet zwei Aspekte: Zum einen muss es möglich sein, die Planungsparameter in ihrer Unschärfe in der Planungsbasis hinterlegen zu können, zum anderen, diese Varianz in den Parametern bzgl. ihrer Auswirkung auf das Zielsystem zu analysieren.

Für das integrierte Konzept ist somit eine *systemtechnische Modellierung* des Produktionssystems notwendig. Diese Modellierung muss einerseits die als Risikofaktoren identifizierten Planungsparameter integrieren, andererseits aber auch eine parametrisierte Darstellung von offenen Entscheidungen ermöglichen. Der systemtechnische Aspekt der Modellierung erfordert eine Integration der Wirkzusammenhänge der Faktoren in Bezug auf das Zielsystem sowie eine Funktionalität zur Aufgliederung gemäß den unterschiedlichen Hierarchieebenen des Systems. Bestandteil der Modellierung muss dabei insbesondere eine integrierte Ressourcendimensionierung sein. Die Auswirkungen verschiedener Szenarien müssen mittels des Modells schnell und umfassend bewertet werden können.

Zur *Unterstützung des Planers* muss eine Methode zum Aufzeigen von Gestaltungsalternativen zur Steuerung des Risikos in das Konzept integriert werden.

Die im Risikomanagement vorgegebenen Risikosteuerungsstrategien sollen auf den Fabrikplanungsprozess transferiert werden. Eine Methode zur Auswahl und Bewertung der Risikosteuerungsstrategien muss in dem Konzept vorgesehen werden, um dem Fabrikplaner eine geeignete Unterstützung im Planungseinsatz zu bieten.

Als letzte Anforderung aus der Systematik der Fabrikplanung ist die *Integration in den Planungsablauf* zu nennen. Ein kontinuierlicher Abgleich der Plandaten und der daraus resultierenden Risiken muss im Verlauf der zunehmenden Detaillierung der Planung ermöglicht werden. Das Konzept muss daher so ausgestaltet werden, dass es keinen einmaligen Vorgang darstellt, sondern als Bestandteil in den Planungsprozess integriert wird. Dies erfordert zusätzlich einen Abgleich mit den in den einzelnen Phasen eingesetzten Werkzeugen und/oder Methoden, insbesondere der Simulation, die zur Validierung der Aussagen ab der Grobplanungsphase eingesetzt werden kann.

4.2 Entwurf des integrierten Konzeptes

Auf Basis der genannten Anforderungen kann nun der Entwurf des integrierten Konzeptes erfolgen. Dazu werden in den folgenden Abschnitten zunächst das Grobkonzept erörtert, anschließend die einzelnen Elemente des Konzeptes kurz erläutert und deren Einbindung in den Fabrikplanungsprozess dargelegt. Schließlich werden die Restriktionen bzw. Voraussetzungen für den Einsatz des Projektes ausgeführt.

4.2.1 Darstellung des integrierten Konzeptes

Das Konzept lässt sich in die vier Hauptprozesse Identifikation, Analyse, Steuerung und Überwachung gliedern. Jeder dieser Prozesse beinhaltet spezifische Methoden in den zwei Kernsystematiken, der Risikomanagementsystematik und der Planungssystematik. Abbildung 4-2 verdeutlicht die einzelnen Elemente des Konzeptes, das anschließend in seinen Grobzügen beschrieben wird.

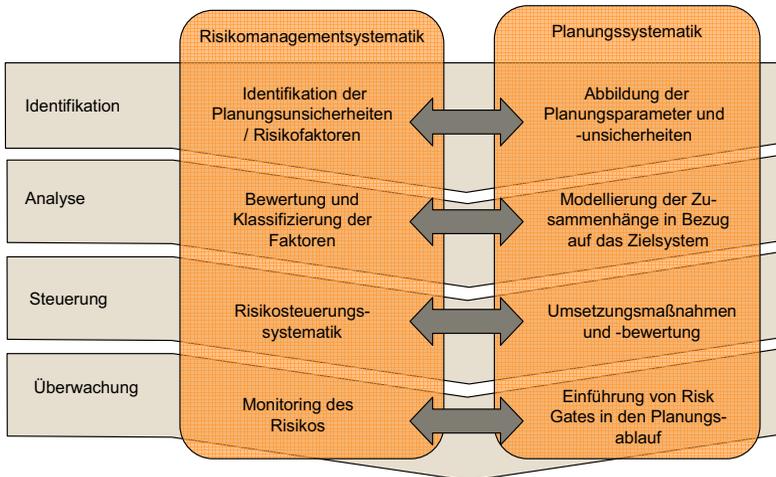


Abbildung 4-2: Konzept zum integrierten Risikomanagement für die Ablauf- und Strukturgestaltung in Fabrikplanungsprojekten

4.2.2 Grobbeschreibung der einzelnen Elemente des Konzeptes

Das Konzept stellt die geforderte Integration des Risikomanagements mit dem Fabrikplanungsprozess dar. Basierend auf den vier Hauptprozessen der Identifikation, Analyse, Steuerung und Überwachung des Risikos können einzelne Schritte des Konzeptes der Risikomanagement- und der Planungssystematik zugeordnet werden, die im Folgenden kurz beschrieben werden:

Im Prozess der *Identifikation* werden gemäß der Risikomanagementsystematik die singulären Unsicherheiten bzw. Risikofaktoren systematisch identifiziert. Hierzu werden in der Planungssystematik eine umfassende Übersicht der Planungsparameter bereitgestellt bzw. die identifizierten Unsicherheiten für die einzelnen Parameter darin abgebildet¹⁹.

¹⁹ In der Risikomanagementliteratur wird der Prozessschritt der (wertmäßigen) Bestimmung der Unsicherheit bzw. der Eintrittswahrscheinlichkeit des Risikos meist als Element der Risikoanalyse aufgeführt. Da die Identifikation der Risikofaktoren im hier ausgeführten Konzept aber auf den Unsicherheiten in den Planungsparametern beruht, wird die Bestimmung der Unsicherheit dem Prozess der Identifikation zugeordnet.

Zur *Analyse* des Risikos werden in der Risikomanagementsystematik die einzelnen Risikofaktoren bewertet und klassifiziert. Die Planungssystematik stellt hierzu eine Methode zur Modellierung der Zusammenhänge der Parameter in Bezug auf das Zielsystem bereit.

Im Prozess der *Steuerung* des Risikos wird aus der Risikomanagementsystematik eine generelle Vorgehensweise zur Steuerung der Risiken abgeleitet. Diese wird in der Planungssystematik auf spezifische Strategien zur Steuerung einzelner Risikoarten/-faktoren in der Fabrikplanung transferiert. Anhand einer Bewertungsmethodik kann die Auswahl geeigneter Steuerungsmaßnahmen getroffen werden.

Als letztes Element der Risikomanagementsystematik wird im Prozess der *Überwachung* ein kontinuierliches Monitoring des Risikos durchgeführt. In der Planungssystematik werden zusätzlich so genannte Risk Gates in den Planungsablauf integriert, die als Kontrollpunkte zur Freigabe der nächsten Planungsphase dienen.

Die einzelnen Elemente des Konzeptes werden in den nachfolgenden Kapiteln 5 bis 7 ausführlich beschrieben und detailliert. Zunächst soll jedoch im nachfolgenden Abschnitt die Einordnung dieser Elemente in ihrer Gesamtheit in den Planungsablauf der Struktur- und Ablaufplanung erläutert werden.

4.2.3 Integration des Konzeptes in den Fabrikplanungsprozess

Die geforderte Integration in den Fabrikplanungsprozess (vgl. Abschnitt 4.1.2) bedingt eine Synchronisation des Fabrikplanungs- mit dem Risikomanagementprozess. Der Prozess der Fabrikplanung ist – wie in Abschnitt 2.1.2 erläutert – i.d.R. durch sein systematisches und iteratives Vorgehen vom Groben ins Feine gekennzeichnet (top-down-Ansatz). Auch der Risikomanagementprozess ist kein einmaliger Prozess, sondern zeichnet sich durch eine fortlaufende Wiederkehr der einzelnen Prozessschritte aus (vgl. hierzu das *Phasenmodell des Risikomanagements* - Abbildung 2-7). Die Synchronisation der zwei Prozessmodelle erfordert daher eine ganzheitliche Integration dieser iterativen Elemente. Hierzu wird in Anlehnung an den von SCHMIDT (2003) entwickelten *Regelkreis der Ablauf- und Strukturplanung* (vgl. Abschnitt 3.2.2) eine Erweiterung des Regelkreises um die Risikomanagementelemente vorgeschlagen. Dieser *erweiterte Regelkreis* ist in Abbildung 4-3 veranschaulicht.

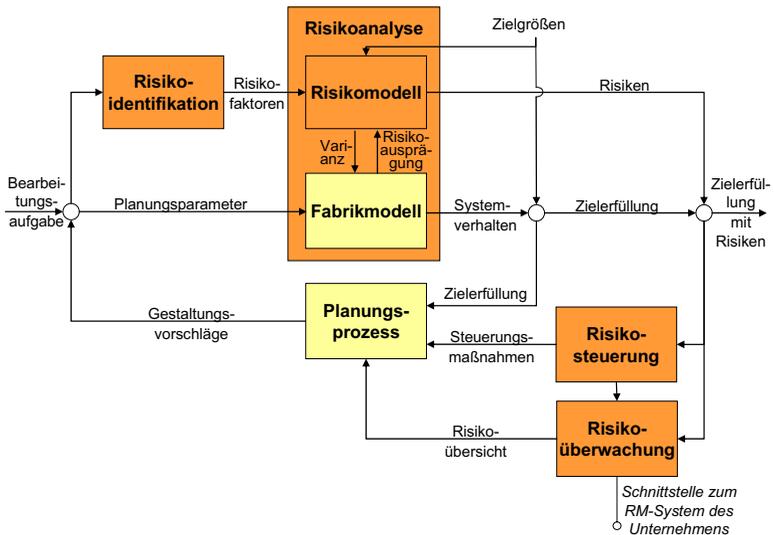


Abbildung 4-3: Integration der Risikomanagementelemente in den Regelkreis der Ablauf- und Strukturplanung

Die Grundelemente des Regelkreises, das *Fabrikmodell* als Regelstrecke sowie der *Planungsprozess* als Regler, bleiben in ihrer Systematik unverändert. Auf Basis der *Bearbeitungsaufgabe*, die als Eingangsgröße dient, werden die Abläufe und Strukturen in einem *Fabrikmodell* abgebildet und das *Systemverhalten* mit den *Zielgrößen* abgeglichen. Eine größtmögliche *Zielerfüllung* kann durch eine entsprechende Gegenregelung im Planungsprozess und eine Ausarbeitung von (*Um-*)*Gestaltungsvorschlägen* erreicht werden. Dieser Regelkreis wird für die Integration des Risikomanagements um folgende Elemente erweitert: Der Prozess der *Risikoidentifikation* dient zur systematischen Analyse der Unsicherheiten in den Planungsannahmen bzw. -parametern und somit zur Bestimmung der *Risikofaktoren*. Diese Risikofaktoren und ihre Abhängigkeiten werden im *Risikomodell* hinterlegt. Im Zuge der *Risikoanalyse* kann im Zusammenspiel des *Risikomodells* und des *Fabrikmodells*²⁰ die Auswirkung des ein-

²⁰ Die *Fabrikmodellierung* kann im erweiterten Sinn auch zum Prozess der *Risikoanalyse* gezählt werden, da sie die Wirkzusammenhänge des Produktionssystems nachbildet. Hierauf wird in der Ausarbeitung der Risikobewertungssystematik (vgl. Kapitel 6) detailliert eingegangen.

zelenen Faktors, d.h. die *Risikoausprägung*, auf Grund der *Varianz* in den Planungsparametern abgeleitet werden. Ein Abgleich mit den Zielgrößen im Risikomodell ergibt die eigentlichen (bewerteten) *Risiken*. Diese werden im Anschluss in den Prozess zur *Risikosteuerung*²¹ eingeleitet. Abhängig von der Auswirkung des Risikos und der Risikoaffinität der Projektleitung werden entsprechende *Steuerungsmaßnahmen* in den Planungsprozess eingesteuert und damit die Gestaltung des Produktionssystems aktiv beeinflusst. Das Element der *Risikoüberwachung* dient zur Kontrolle des Verlaufs der Risikoparameter über der Zeit. Eine Verbindung zum Risikosteuerungselement zeigt die eingesteuerte(n) Maßnahme(n) je Risikofaktor. Diese Kombination kann damit als *Risikoübersicht* im Planungsprozess zur Verfügung gestellt werden. Das Element des Risikomonitor in der Risikoüberwachung dient gleichzeitig auch als Schnittstelle hin zum Risikomanagementsystem des Unternehmens.

Der *erweiterte Regelkreis der Ablauf- und Strukturgestaltung* bildet somit die Integration des Risikomanagements in den Fabrikplanungsablauf und beschreibt die Synchronisation des Konzeptes mit den Prozessen der Fabrikplanung. Das Ergebnis ist ein kontinuierlicher Überblick über die aktuellen Planungsrisiken des Projektes in Bezug auf die Gestaltungsrisiken.

4.2.4 Prämissen für den Einsatz des Konzeptes

Der in dieser Arbeit zu Grunde gelegte Risikobegriff bezieht sich auf das Zielsystem des Fabrikplanungsprojektes. Dieses Zielsystem muss in der Zielplanungsphase ausgearbeitet werden und ist stets auf die Planungsprämissen bzgl. der Projektaufgabe bezogen. Unter Planungsprämissen sollen dabei vorgegebene, von dem Zielnehmer (d.h. von der für die Zielerreichung zuständigen Person) grundsätzlich nicht veränderbare Voraussetzungen, unter denen die Ziele zu erreichen sind, verstanden werden. Ein Ziel oder eine Zielgröße kann als ein erstrebenswerter, vorgegebener und akzeptierter Zustand, der aus der heutigen Situation mit entsprechenden Anstrengungen als grundsätzlich erreichbar angesehen wird, definiert werden.

²¹ Im eigentlichen Sinne der Regelungstechnik stellt das Element der *Risikosteuerung* einen Regler dar, da es eine Rückkopplung im System bildet. Nachdem jedoch der Begriff *Risikosteuerung* in der Risikomanagementliteratur gebräuchlich ist, soll im Folgenden weiterhin von *Steuerung* gesprochen werden.

Als Beispiel für eine Zielgröße kann hier die klassische Planungszielgröße der Herstellkosten angegeben werden, die nach Abschluss der Zielplanung als Kostenziel z.B. über einen Target-Costing-Prozess²² vorgegeben wird. Sollten für die Projektaufgabe und die Planungsprämissen Unsicherheiten vorliegen (z.B. durch eine offene Make-or-Buy-Entscheidung, durch unbekanntes Produktionsvolumen etc.), so müssen diese am Ende der Zielplanung als Risiko in dem Projektauftrag festgehalten werden. In der anschließenden Grobplanung können diese Unsicherheiten dann mit Hilfe von Planungsszenarien berücksichtigt werden. Entscheidend ist, dass für die Szenarien ein valides Zielsystem definiert ist, so dass eine Risikobewertung in Bezug auf dessen Zielgrößen durchgeführt werden kann.

Ein Planungsgrundsatz der Fabrikplanung ist die Bildung von Varianten und Alternativen. Dieser Grundsatz behält weiterhin seine Gültigkeit. Die Risikobetrachtung kann die Alternativenbildung nicht ersetzen und muss somit in Bezug auf die jeweilige Variante und die darin getroffenen Annahmen erfolgen.

Die Risikobetrachtung wird, wie zuvor beschrieben, im Hinblick auf die Gestaltungsrisiken im Planungsprojekt durchgeführt und gibt einen Gesamtüberblick der Risiken. Die Synchronisation dieser Ergebnisse mit dem Risikomanagementsystem des Unternehmens wird im nächsten Abschnitt erläutert.

4.3 Einordnung des Konzeptes in das Risikomanagementsystem des Unternehmens

Die Fabrikplanung als Teil der strategischen Unternehmensplanung muss in ihrer Gesamtheit in die Risikomanagementprozesse des Unternehmens eingliedert werden. Das in dieser Arbeit ausgeführte Konzept beschreibt jedoch, wie in der Spezifizierung des Untersuchungsbereiches (vgl. Abschnitt 2.3) erläutert, nur einen Teilbereich der Risiken in einem Fabrikplanungsprojekt. Die Eingliederung des Konzeptes in das Risikomanagementsystem muss daher in zwei Stufen erfolgen, entsprechende Schnittstellen sind zu definieren:

²² Target Costing (dt.: Zielkostenrechnung) untersucht als Instrument des strategischen Managements die Grundsatzfrage „Was darf ein Produkt kosten?“. Zur weiterführenden Vertiefung sei bspw. auf HEINES (2006), HORVATH (1993) oder LINDEMANN & KIEWERT (2005) verwiesen.

4 Konzept eines integrierten Risikomanagements für die Ablauf- und Strukturgestaltung in Fabrikplanungsprojekten

Die erste Stufe umfasst die unterschiedlichen Gestaltungsfelder der Fabrikplanung. Die Zielsetzung des Risikomanagements auf dieser Ebene ist die Identifikation, das Bewerten, das Steuern und das Überwachen von Risiken, die auf die Projektziele *Zeit*, *Kosten* und *Qualität* Einfluss haben. Die zweite Stufe betrifft das Reporting dieser Projektrisiken in das Risikomanagementsystem des Unternehmens. Eine Abweichung bzgl. der zuvor aufgeführten Ziele kann eine Gefährdung bezüglich der Unternehmensziele bedeuten und muss daher in ein Überwachungssystem integriert werden.

Die Risiken der einzelnen Gestaltungsfelder der Planung können gemäß der Projektorganisation innerhalb des Projektes systematisiert und an die Projektleitung kommuniziert werden. Eine beispielhafte Projektorganisation²³ in einem Fabrikplanungsprojekt und eine Darstellung exemplarischer Risiken der einzelnen Organisationsbereiche ist in Abbildung 4-4 visualisiert.

Für den dieser Arbeit zu Grunde liegenden Betrachtungsbereich, d.h. die Gestaltungsrisiken in der Fabrikstruktur- und Ablaufplanung, erfolgt das Reporting dabei bzgl. der Projektzielgröße *Qualität*, die sich aus der Erreichung der Zielgrößen des Fabriksystems ableitet. Die Schnittstelle bzw. das Reportingelement ist hierbei die in Abbildung 4-2 enthaltene Risikoübersicht des Risikomonitor. Diese Übersicht kann auf verschiedenen Aggregationsebenen, d.h. in Einzelrisiken aufgeteilt oder als Gesamtrisiko kombiniert, dargestellt werden. Insbesondere für die Fachplaner bzw. Spezialisten der weiteren Gestaltungsfelder ist eine Information zu den aktuellen Gestaltungsrisiken unabdingbar. So müssen bspw. Risiken bzgl. der Flächendimensionierung dem Bauplaner bzw. Architekten kommuniziert werden, um diese ggf. in der Bauplanung berücksichtigen zu können. Aus den Risiken der einzelnen Bereiche kann die Projektleitung so die Gesamtprojektrisiken bzgl. *Zeit*, *Kosten* und *Qualität* zusammenfassen.

²³ Die Abbildung zeigt die Organisationsstruktur aus einem Praxisbeispiel einer umfangreichen Neuplanung. Die Struktur und Ausprägung der Organisationsform können je nach Größe, Inhalt und Planungstyp (Neuplanung vs. Umplanung) bzw. Unternehmen stark variieren.

4.3 Einordnung des Konzeptes in das Risikomanagementsystem des Unternehmens

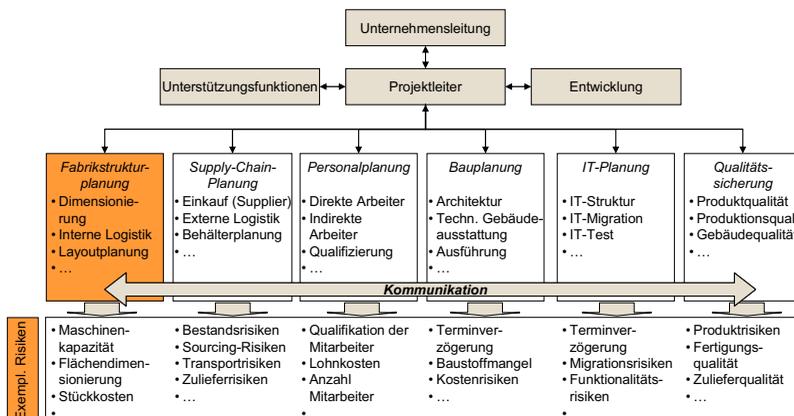


Abbildung 4-4: Beispielhafte Projektorganisation eines Fabrikplanungsprojektes (IFP 2006)

Basierend auf diesen Kenngrößen kann die Integration in das Risikomanagementsystem des Unternehmens erfolgen. Wie in Abschnitt 2.2.3 beschrieben, beinhaltet das System die vier Risikocluster *externe Risiken*, *leistungswirtschaftliche Risiken*, *finanzwirtschaftliche Risiken* sowie *Risiken aus Corporate Governance*. Je nach Bedeutung der Projekte kann (wie in Abbildung 4-5 veranschaulicht) ein zusätzliches Cluster *Risiken aus Projekten* eingeführt werden oder aber es können die einzelnen Projekte in der Säule der *leistungswirtschaftlichen Risiken* in der spezifischen Kategorie (hier: *Produktion*) integriert werden.

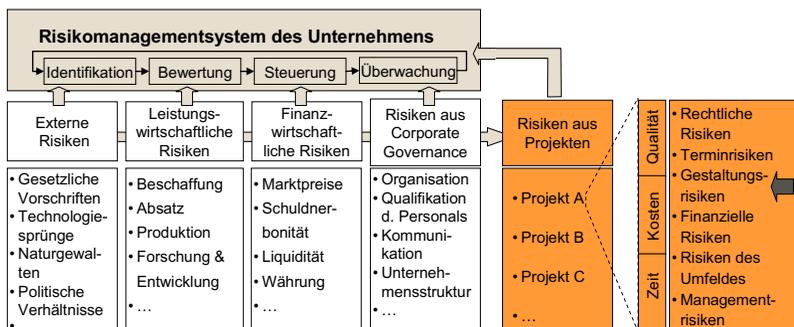


Abbildung 4-5: Integration des Konzeptes in das Risikomanagementsystem des Unternehmens

Die Schnittstelle bzw. das Reportingelement sind somit die drei aggregierten Projektzielgrößen *Zeit*, *Kosten* und *Qualität*. Innerhalb des Risikomanagement-

systems des Unternehmens muss die Analyse der berichteten Risiken aus den Projekten im Hinblick auf die Gefährdung der Unternehmensziele erfolgen.

4.4 Zwischenfazit

Abgeleitet aus dem aufgezeigten Handlungsbedarf und der Zielsetzung der Arbeit wurden mittels der Systematiken des Risikomanagements und der Fabrikplanung verschiedene Anforderungen an die Inhalte des Konzeptes gestellt. Darauf aufbauend wurde ein Konzept zum integrierten Risikomanagement in der Ablauf- und Strukturgestaltung in Fabrikplanungsprojekten entwickelt. Es beinhaltet die vier Hauptprozessschritte der Identifikation, Analyse, Steuerung und Überwachung der Risiken, die durch spezifische Methoden in den zwei Kernsystematiken, der Risikomanagementsystematik und der Planungssystematik, integriert sind. Zur Einordnung des Konzeptes in den Fabrikplanungsablauf wurde ein erweiterter Regelkreis der Ablauf- und Strukturplanung entworfen, der diese vier Prozessschritte in den Kontext der Fabrikmodellierung und des Planungsprozesses setzt. Voraussetzungen für den Einsatz des Konzeptes sind dabei ein in der Zielplanung entwickeltes valides Zielsystem sowie die Volumen-/Variantenszenarien als Planungsprämissen. Die Einbindung des Konzeptes in das Risikomanagementsystem des Unternehmens wurde in zwei Stufen vorgenommen: Die erste Stufe bildet die Schnittstelle zum Projektleiter des Planungsprojektes, der mittels der Risikoübersicht die Erreichung der Zielgrößen der Fabrik und damit seines Projektzieles *Qualität* überwachen kann. In einer zweiten Stufe erfolgt das Reporting der Projektziele in das Risikomanagementsystem des Unternehmens.

In den nachfolgenden Kapiteln werden nun die einzelnen Prozessschritte des Konzeptes detailliert beschrieben und in den Gesamtkontext des Konzeptes integriert.

5 Identifikation der Risikofaktoren im Planungsprozess

„Jede Erkenntnis ist ein Identifizieren des Nichtgleichen.“

FRIEDRICH NIETZSCHE

Die Risikoidentifikation stellt das erste Element des im vorherigen Kapitel vorgestellten integrierten Konzeptes dar. Sie umfasst dabei einen entscheidenden Schritt im Risikomanagement: Nur Risiken, die identifiziert wurden, können in der Planung auch bewertet und berücksichtigt werden.

Zunächst wird in Abschnitt 5.1 der Zusammenhang zwischen den Ursachen und der Wirkung des Risikos im Zielsystem der Fabrikplanung erläutert. Anschließend erfolgt in Abschnitt 5.2 eine Ableitung relevanter Risikofaktoren aus den Planungsparametern und die Erstellung einer Risiko-Checkliste. Darauf aufbauend stellt Abschnitt 5.3 eine Typologisierung der Unsicherheiten in den Planungsparametern vor. In Abschnitt 5.4 werden die Einzelschritte der Risikoidentifikation zusammengeführt und in den Planungsprozess integriert. Das Zwischenfazit in Abschnitt 5.5 fasst die Ergebnisse des Kapitels zusammen und leitet zum nächsten Kapitel über.

5.1 Systematik der Risikoauswirkung im Zielsystem

Gemäß der dieser Arbeit zu Grunde gelegten Definition des Risikos (vgl. S. 23) bezieht sich das Risiko immer auf ein Zielsystem. Dieses Zielsystem wird in der Zielplanungsphase für das Projekt definiert. Entscheidend für die Risikobetrachtung ist dabei die Unterscheidung in die ursachen- und die wirkungsbezogene Komponente. Abbildung 5-1 stellt den Zusammenhang zwischen den Risikoursachen und ihrer Wirkung dar und verdeutlicht die Systematik der Risikoauswirkung im Zielsystem für den betrachteten Fall der Fabrikplanung.

Der Effekt der primären Risikoquellen, der Risikoursachen, kann auf entsprechende Risikofaktoren transferiert und so durch Unsicherheiten in den Planungsparametern abgebildet werden. Diese Risikofaktoren wirken auf die sog. Risikoträger, die Ressourcen der Fabrik, und spiegeln sich in deren Ausprägung wider. Diese Ausprägung resultiert letztendlich in der Risikoauswirkung auf das Zielsystem der geplanten Fabrik.

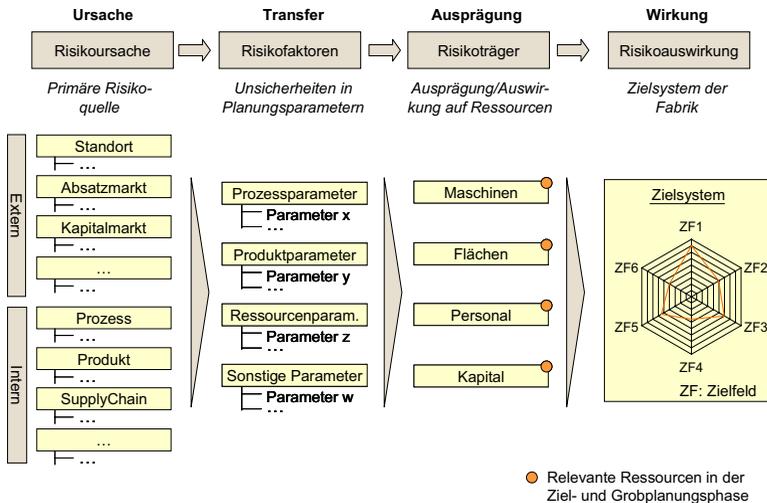


Abbildung 5-1: Systematik der Risikoauswirkung im Zielsystem

Die *Risikoursachen* können sowohl interner als auch externer Natur sein und sind Ereignisse oder Entwicklungen, die einen ursächlichen Einfluss auf eine negative Zielerreichung haben. Auf Grund der in der Realität mannigfaltigen Komplexität und Varietät der Risikoursachen ist eine ganzheitliche bzw. generische Erfassung für alle Planungsprojekte nicht möglich. Deswegen ist es angebracht, einen Transfer der Ursachen hin auf *Risikofaktoren* durchzuführen, um so die Risikoursachen als Unsicherheiten in den Planungsparametern abzubilden. Häufig, insbesondere in der Initialphase der Planung, müssen Annahmen zu Parametern getroffen werden, die im Laufe der Planung detailliert bzw. verifiziert werden. Auch diese Annahmen stellen ein Risiko für das Zielsystem dar. Auf eine systematische Ableitung der Planungsparameter soll im nachfolgenden Abschnitt 5.2 eingegangen werden, um mittels einer Checkliste die Suche nach potentiellen Risikofaktoren zu erleichtern.

Die Planungsparameter bilden die Basis für die Ausplanung, d.h. die Gestaltung und Dimensionierung der Abläufe und Strukturen, des Produktionssystems. In diesem Planungsprozess werden die Ressourcen, die die Grundelemente eines jeden Produktionssystems bilden (vgl. HARTMANN 1993, S. 55), ausgewählt bzw. dimensioniert. Diese Ressourcen können als die *Risikoträger* interpretiert werden. Die Ausprägung des Risikos kann sich hierbei auf die Ressourcenanzahl, aber auch auf die Kosten für die Ressourcennutzung beziehen. Nach

SCHUH (1989) werden die sechs grundlegenden Ressourcen *Maschine*, *Personal*, *Fläche*, *Kapital*, *Material* und *Information* unterschieden²⁴. Mit der Ausgestaltung der Ressourcen und ihrer Schnittstellen wird während des Planungsprozesses eine Optimierung der Zielerfüllung in Bezug auf das Zielsystem der Fabrik durchgeführt. Die Hauptgestaltungsobjekte in der Ziel- und Grobplanungsphase sind die drei Ressourcen *Maschine*, *Personal* und *Fläche*. Zudem ist zur Bestimmung des Finanzierungsbedarfes eine Aussage bzgl. des benötigten *Kapitals*, d.h. insbesondere der Investitionen bzw. des Umlauf- und Lagerbestandes, notwendig. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit soll daher die Risikoausprägung bzw. -auswirkung auf diese vier Ressourcen untersucht werden.

Die letztendliche *Risikoauswirkung* bezieht sich auf ebendieses Zielsystem, welches durch die Zielfelder (vgl. das in Abbildung 5-1 visualisierte Zielprofil mit den Zielfeldern ZF_x) definiert wird. Das Zielsystem des jeweiligen Planungsprojektes, das die Projektzielgröße *Qualität* beschreibt (vgl. auch Abschnitt 2.2.4), wird in diesen Zielfeldern durch einzelne Zielgrößen bestimmt und kann individuell von Fall zu Fall variieren. Klassische Zielgrößen stellen hierbei (vgl. Abschnitt 2.1.1) die Herstellkosten, Investitionen, Bestände, Durchlauf- und Lieferzeiten, Qualität der Produkte etc. dar. Über die Auswirkung auf einzelne Zielgrößen kann das Risiko jedes Faktors bezüglich des Zielsystems ermittelt werden.

Nach der Ausführung der Systematik zur Beurteilung der Risikoauswirkung für die Fabrikplanung werden im nächsten Abschnitt die Ableitung der Risikofaktoren und der Transfer auf die Planungsparameter erörtert.

²⁴ Die Ressource *Betriebsmittel* umfasst dabei alle Maschinen, Anlagen, Vorrichtungen, Werkzeuge und Hilfsmittel für die Fertigung, die Montage, den Transport, die Lagerung etc. (EVERSHEIM 1996, S. 76; HEUMANN 1993). Die Ressource *Fläche* integriert zu der Grundfläche auch die gebäudetechnischen Aspekte. Die Ressource *Personal* schließt sowohl direktes als auch indirektes Personal ein. Die Ressource *Material* beinhaltet alle Umlaufbestände im Prozess, d.h. alle Baugruppen und Einzelteile sowie Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe, die sich in den Puffern und Lagern befinden. Die Ressource *Kapital* besteht aus dem zum Produktionsbetrieb notwendigen Geldmitteleinsatz. Die Ressource *Information* beinhaltet alle für die Durchführung und Steuerung der Prozesse in einem Produktionssystem erforderlichen Informationen und Dokumente.

5.2 Ableitung potentieller Risikofaktoren aus den Planungsprozessschritten

Die Ursache der einzelnen Risiken muss, wie im vorherigen Abschnitt präsentiert, über die Unsicherheiten in den Planungsparametern auf die Risikofaktoren transferiert werden. Diese Planungsparameter bilden – als Planungsdatenbasis – die Grundlage für die Ausgestaltung des Produktionssystems und werden im Laufe der Planung kontinuierlich ergänzt bzw. verfeinert (vgl. KETTNER ET AL. 1984, S. 19).

Die Planungsparameter lassen sich grundsätzlich in drei Gruppen unterteilen:

- *Systemkonfigurierende Parameter*: Anhand dieser konfiguriert und optimiert der Planer das Produktionssystem (d.h. bspw. den Bearbeitungsprozess, die Festlegung des Schichtmodells, das Steuerungsprinzip etc.).
- *Systemimmanente Parameter*: Sie resultieren aus der Konfiguration des Systems (bspw. der Flächenbedarf der Maschine, die Maschinenkosten, die Maschinenkapazität etc.).
- *Externe Parameter*: Sie ergeben sich aus den Randbedingungen des Systems und sind vom Planer nicht beeinflussbar (bspw. die Lohnkosten, das Produkt, das Produktionsvolumen etc.).

Für das Konzept des integrierten Risikomanagements sind alle drei Parameterklassen relevant, jedoch in unterschiedlichen Prozessschritten. Risikofaktoren im Sinne der in Abbildung 5-1 veranschaulichten Systematik stellen dabei die systemimmanenten und externen Parameter dar. Auf Basis dieser konfiguriert und dimensioniert der Planer das System, d.h. er legt die systemkonfigurierenden Parameter fest. Unterschiedliche Planungsvarianten können durch Alternierungen in dieser Parameterklasse erzeugt werden. Unsicherheiten im Sinne eines Risikos liegen somit nur für die systemimmanenten bzw. externen Parameter vor und müssen daher in den Prozessschritten der Risikoidentifikation und Risikobewertung berücksichtigt werden. Der Fokus des Prozessschrittes der Risikosteuerung liegt hingegen auf den systemkonfigurierenden Parametern, da durch sie das Produktionssystem umgestaltet und somit das Risiko vermindert oder eliminiert werden kann.

Wie in Abschnitt 2.1.2 erläutert, sind folgende Prozessschritte Inhalt der Fabrikstruktur- und Ablaufplanung:

- Betriebsmittelplanung: Festlegung der zur Bearbeitung, Montage und ggf. Demontage notwendigen Betriebsmittel und Arbeitsplätze hinsichtlich ihrer Anzahl, ihrer Gestaltung sowie ihres Flächen- und Investitionsbedarfs.
- Transportplanung: Bestimmung aller Transportmittel (inkl. der Fördertechnik) und Festlegung der Prozesse, die zur Realisierung des innerbetrieblichen Transports notwendig sind.
- Lagerplanung: Dimensionierung aller Lager- und Pufferflächen sowie Ermittlung des Investitionsbedarfes für Lagerhilfsmittel.
- Steuerungsplanung: Festlegung der Steuerungsstrategien der Fertigungssteile sowie Definition der Fertigungslosgrößen.
- Personalplanung: Dimensionierung und Strukturierung (Aufbau der Organisation) der erforderlichen direkten und indirekten Mitarbeiter.
- Layout- und Strukturplanung: Anordnung der Maschinen und indirekter Bereiche zu einem Groblayout samt Transportwegen.

Auf Basis dieser Prozessschritte kann nun eine systematische Auflistung der potentiellen Risikofaktoren erfolgen. Die Grundlage für diesen Überblick der Planungsparameter ist eine umfassende Analyse der vom Verfasser im Rahmen seiner Tätigkeit bei einem Unternehmen aus der Beratungsbranche in den letzten Jahren durchgeführten Fabrikplanungsprojekte sowie eine detaillierte Literaturrecherche (u.a. AGGTELEKY 1990A; AGGTELEKY 1990B; FELIX 1998; GRUNDIG 2006; KETTNER ET AL. 1984; SCHMIGALLA 1995; WERNER 2001). Diese Grundlage konnte in Zusammenarbeit mit Fabrikplanungsexperten unterschiedlicher Branchen bestätigt werden. Aus Abbildung 5-2 geht die Zuordnung der Parameter zu den einzelnen Planungsschritten hervor.

5 Identifikation der Risikofaktoren im Planungsprozess

		Betriebsmittelpfplanung	Transportplanung	Lagerplanung	Steuerungsplanung	Personalplanung	Layout-/Strukturplanung	Systemkonfigurierend	Systemimmanent	Extern
Produktparameter	Volumina	x	x	x	x	x	x			x
	Varianten	x	x	x	x	x	x			x
	Abrufvolatilität (Zeit - Menge)	x	x	x	x	x	x			x
	Produktstruktur (Baugruppen/Einzelteile)	x	x	x	x	x	x			x
Prozessparameter	Bearbeitungsprozessschritte	x	x		x	x	x	x		(x)
	Bearbeitungszeiten	x	x		x	x			x	
	Rüstzeiten	x			x					x
Logistikparameter	Losgröße	x	x	x	x	x	x	x	(x)	
	Steuerungsstrategie je Teilenummer				x			x		
	Logistikprozessschritte		x		x		x	x		
	Behältervorschrift und Anzahl je Behälter		x	x	x			(x)		x
Ressourceneigenschaftsparameter	Wiederbeschaffungszeit Roh-/Kaufteile			x	x			(x)		x
	Maschinentyp	x						x		
	Maschinenfläche	x					x		x	
	Techn. Verfügbarkeit	x		x	x		x		x	
	Ausschussrate	x		x	x				x	
	Instandhaltungsrate	x		x	x	x			x	
	Medienverbrauch	x							x	
	Transportmitteltyp		x		x			x		
	Transportmittelkapazität		x		x				x	
	Lagermitteltyp			x					x	
	Lagermittelkapazität				x		x		x	
Lagermittelfläche			x			x		x		
Personalbedarf je Ressource	x				x	x			x	
Personalqualifikation	x				x			(x)	x	
Ressourcenkostenparameter	Maschinenkosten	x							x	
	Transportmittelkosten		x						x	
	Lagermittelkosten			x					x	
	Direkte Personalkosten	x	x			x				x
	Indirekte Personalkosten	x	x			x				x
	Medienkosten	x					x			x
	Gebäudekosten (Fläche, TGA)			x			x	(x)		x
Sonstige Parameter	Kalkulatorischer Zinssatz	x	x	x	x					x
	Arbeitszeitmodell	x	x		x	x	x	x		
	Abschreibungsdauer	x	x	x						x

*) Anmerkung: Es existieren Parameter, die nicht eindeutig einer Klassifizierung zugeordnet werden können (bspw. die Wiederbeschaffungszeit der Roh-/Kaufteile). Hintergrund ist, dass der Parameter ggf. selbst konfiguriert wird, ggf. aber auch als Planungsvorgabe von extern vorgegeben ist. Diese Parameter sind mit (x) und x in den betroffenen Spalten gekennzeichnet.

Abbildung 5-2: Überblick der Planungsparameter als spezifische Risikofaktoren für die Gestaltung der Fabrik

Die Parameter können dabei den sechs Hauptgruppen *Produkt-, Prozess-, Logistik-, Ressourceneigenschafts- und Ressourcenkostenparameter* sowie *sonstige Parameter* zugeordnet werden. Diese Zuordnung wird insbesondere für die Klassifizierung der Risikofaktoren (vgl. Abschnitt 5.4) verwendet.

Die Sammlung der Planungsparameter ergibt einen umfassenden Katalog von potentiellen Risikofaktoren auf Grund von Unsicherheiten bzw. einer Varianz in

ihren Werten. Im nächsten Abschnitt sollen diese Unsicherheiten näher untersucht und über ein Typologisierungsraster gegliedert werden.

5.3 Typologisierung der Planungsunsicherheiten

Der Begriff der *Unsicherheit* wurde in Abschnitt 2.2.1 näher erläutert. In Bezug auf planungsrelevante Informationen bzw. Daten werden häufig auch die *Unvollständigkeit* und die *Unsicherheit* der Information unterschieden (vgl. HÄNGGI 1996, S. 70 ff.). Dies korrespondiert auch mit der von KETTNER ET AL. (1984) postulierten Verfeinerung der Planungsdaten im Laufe des Planungsprozesses. Im Rahmen dieser Arbeit soll jedoch davon ausgegangen werden, dass unvollständige Daten durch Annahmen ergänzt werden, so dass der Begriff der Unsicherheit der Planungsdaten ganzheitlich adaptiert werden kann.

Die Typologisierung der Unsicherheiten soll in zwei Dimensionen erfolgen: Zum einen kann eine Unsicherheit der Information in Bezug auf eine Abweichung im Wert, zum anderen in Bezug auf den Verlauf über die Zeit vorliegen.

Eine Unsicherheit in Bezug auf eine Abweichung im Wert des Parameters bedeutet, dass für den Parameter zu dem betrachteten Zeitpunkt unterschiedliche Werte mit bestimmten Wahrscheinlichkeiten in der Zukunft eintreten können. Diese Werte können – je nach Art des Planungsparameters – *diskrete Werte* sein oder gemäß einer *stetigen Wahrscheinlichkeitsfunktion* verteilt sein (vgl. Abbildung 5-3).²⁵

²⁵ Für die Beschreibung der Unsicherheiten geeignete diskrete Wahrscheinlichkeitsverteilungen sind die Poisson-, die Diskret- oder die Binomial-Verteilung bzw. für den Fall der stetigen Wahrscheinlichkeitsverteilungen die Beta(PERT)-Verteilung, die Dreiecksverteilung, die Normalverteilung oder die Gleichverteilung (BUSCH 2005, S. 162). Bezüglich einer Erläuterung bzw. Illustration der einzelnen Verteilungsfunktionen sei auf BUSCH (2005, S. 164 f), KRENGEL (2005), SACHS (1999) oder www.wikipedia.org verwiesen.

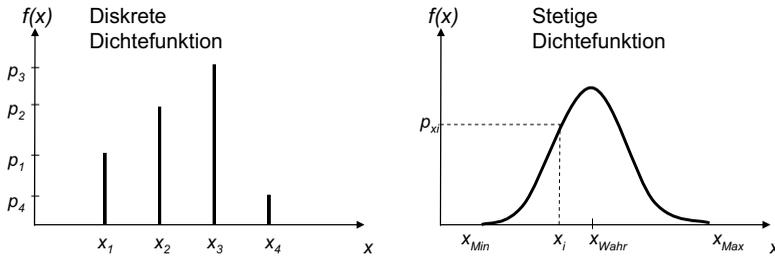


Abbildung 5-3: Diskrete und stetige Dichtefunktionen zur Beschreibung der wertmäßigen Unsicherheiten in den Planungsparametern

Als Beispiel für einen Parameter mit diskreter Verteilung kann ein potentiell zusätzlich erforderlicher Prozessschritt genannt werden, der z.B. auf Grund einer noch nicht endgültig abgeschlossenen Produktentwicklung besteht. D.h. es liegen für die Prozesskette zwei mögliche Alternativen vor. Der Parameter *Bearbeitungszeit* kann als Beispiel für eine stetige Verteilung dienen. In der Grobplanung wird ein bestimmter Wert für die Auslegung des Produktionssystems angenommen, dieser kann jedoch um eine gewisse Bandbreite streuen. Häufig wird diese Streuung über die Angabe eines erwarteten, eines optimistischen und eines pessimistischen Wertes angegeben. Auf die Bestimmung der Unsicherheiten im Planungsprozess wird im nächsten Abschnitt detaillierter eingegangen.

Wie im Anhang (vgl. Abschnitt 11.3.2) beschrieben, existieren verschiedene Kennwerte, um Wahrscheinlichkeitsverteilungen zu beschreiben. Die dabei am häufigsten verwendeten sind der Erwartungswert $E(x)$ des Parameters sowie die Varianz $Var(x)$ bzw. die Standardabweichung $\sigma(x)$. Dabei gilt es zu beachten, dass der Planwert x_{plan} , d.h. der Wert des Parameters, auf dem die aktuelle Planung beruht, nicht zwangsläufig mit dem Erwartungswert des Parameters übereinstimmen muss. Es obliegt dem Planer, je nach Risikopräferenz sein System zu konfigurieren bzw. zu dimensionieren.

Die Varianz als Maß für die Streuung des Wertes ist die Grundlage für die zweite Typologisierung der Unsicherheiten, d.h. die Typologisierung über den Verlauf der Zeit. Hierbei können in der Planung folgende zwei Typen unterschieden werden (vgl. Abbildung 5-4).

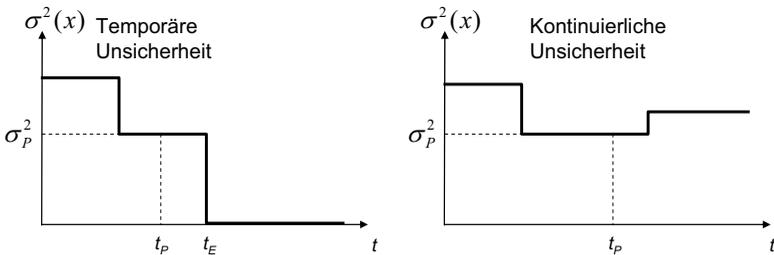


Abbildung 5-4: Typologisierung in temporäre und kontinuierliche Unsicherheiten in den Planungsparametern

Die *temporären Unsicherheiten* sind Unsicherheiten in Parametern, die sich im Laufe der Planung klären. D.h. dass zu einem Zeitpunkt t_E der Wert für den spezifischen Parameter festliegt, die Varianz $\sigma^2(x)$ somit Null ist. Zu einem Planungszeitpunkt t_p hingegen existiert die Varianz σ_p^2 bzgl. des Planungswertes. Diese Varianz kann sich jedoch im Laufe der Planung (bspw. durch erste Testergebnisse etc.) ändern. Die *kontinuierlichen Unsicherheiten* hingegen sind Unsicherheiten, die über den gesamten Planungsablauf (nicht zwangsläufig konstant, d.h. nicht zwangsläufig mit der gleichen Unsicherheitsausprägung) existieren, jedoch erst nach Ablauf der Planung bzw. im Fabrikbetrieb geklärt werden können. D.h. der Betrachtungshorizont für die Attribute *temporär* bzw. *kontinuierlich* bezieht sich auf den Zeitraum der Planungsdurchführung.

Die Unsicherheiten in den Parametern, die sowohl wertmäßig als auch zeitlich typologisiert werden können, stellen Risiken in der Planung dar. Im folgenden Abschnitt soll nun eine Vorgehensweise erläutert werden, um die Identifikation dieser Risiken systematisch in den Planungsprozess einzubinden.

5.4 Einbindung der Risikoidentifikation in den Planungsprozess

In Abbildung 4-3 wurde der Prozessschritt der Risikoidentifikation in den Regelkreis der Ablauf- und Strukturgestaltung als ganzheitliches Element integriert. Dieses Element und die einzelnen Unterschritte sollen im Folgenden genauer erläutert werden, um eine Methodik zur Identifikation der Risikofaktoren sowie zur Bestimmung der Planungsunsicherheiten in einem Planungsprojekt festzulegen.

5.4.1 Ablauf der Identifikation von Risikofaktoren im Projekt

Der Ablauf der Identifikation der Risikofaktoren muss dem Grundsatz der Fabrikplanung gerecht werden, dass eine stetige Verfeinerung der Planungsdaten im Planungsverlauf (analytische Vorgehensweise (top-down)) erfolgt bzw. sich die Planungsparameter während der Planungsdurchführung ändern können. Der Prozess der Risikoidentifikation ist daher kein einmaliger, sondern ein häufig wiederkehrender Vorgang, wie er auch im erweiterten Regelkreis der Ablauf- und Strukturplanung (vgl. Abbildung 4-3) visualisiert ist. Der Auslöser des Prozesses ist stets ein neuer bzw. die Änderung eines bereits erfassten Planungsparameters. Die im vorherigen Abschnitt erstellte Parameterübersicht kann als Initial-Checkliste dienen, um in einem ersten Durchlauf die Initial-Risikofaktoren zu identifizieren (Abbildung 5-5).

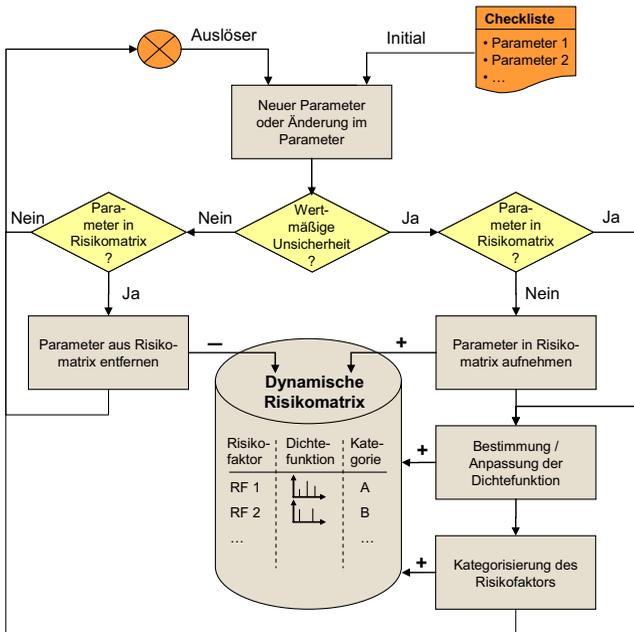


Abbildung 5-5: Ablauf der Risikoidentifikation im Planungsprozess

Das zentrale Element der Risikoidentifikation ist die *dynamische Risikomatrix*. In ihr werden die identifizierten Risikofaktoren hinterlegt und, u.a. auch in den nachfolgenden Risikomanagement-Schritten der Bewertung und Steuerung, genauer bewertet bzw. spezifiziert.

Für jeden neuen Parameter bzw. für jede Änderung in dem Parameterwert muss zunächst untersucht werden, ob der Wert des Parameters feststeht oder mit Unsicherheit behaftet ist. Falls der Wert des Parameters definitiv feststeht und der Parameter vorab bereits in der Risikomatrix gelistet war (dies kann bspw. dadurch geschehen, dass der Parameter zunächst unscharf war, der Wert nun aber feststeht), kann der Risikofaktor aus der Risikomatrix entfernt werden. Liegt jedoch eine wertmäßige Unsicherheit vor, muss der Parameter als Risikofaktor in der Risikomatrix ergänzt und die Unsicherheit im Parameter durch die *Bestimmung bzw. Anpassung der Dichtefunktion* festgelegt werden. Als letzter Schritt der Risikoidentifikation schließlich erfolgt eine *Kategorisierung der Risikofaktoren*. Hintergrund der Kategorisierung, insbesondere bei einer großen Anzahl an Risikofaktoren, ist es, diese sinnvoll gliedern und auswählen zu können, was speziell für die Risikosteuerung und -überwachung nützlich ist. Auf Basis der im Abschnitt 5.2 dargelegten Ableitung der Planungsparameter können die einzelnen Risikofaktoren den Kategorien²⁶ gemäß Abbildung 5-6 zugeordnet werden.

Risikokategorien:	Beispielhafte Risikofaktoren:
Produkt Risiken	Produktstruktur, Anzahl der Einzelteile, ...
Prozessrisiken	Bearbeitungsprozessschritte, -zeiten, ...
Logistikrisiken	WBZ der Rohteile, Anz. Teile pro Behälter, ...
Ressourceneigenschaftsrisiken	Techn. Verfügbarkeit, Ausschussrate, ...
Ressourcenkostenrisiken	Maschinenkosten, Lohnkosten, ...

Abbildung 5-6: *Kategorisierung der Risikofaktoren*

Neben der aufgeführten parameterorientierten Kategorisierung kann auch zusätzlich eine für das Planungsprojekt individuelle Kategorisierung vorgenommen werden. Geeignet ist beispielsweise eine Anlehnung an die Zuständigkeiten

²⁶ Bezüglich einer detaillierten Erläuterung der Risikokategorien sei auf den Anhang (Abschnitt 11.1) verwiesen.

in der Planung (Produktentwicklung, Logistik, Prozessentwicklung, ...) und/oder eine Kategorisierung nach Fabrik- oder Produktionsbereichen (Bereich X, Bereich Y, ..., übergreifend).

Die Ergebnisse der Kategorisierung sowie der Ermittlung der Dichtefunktion werden gemeinsam mit dem zugehörigen Risikofaktor in die Risikomatrix eingetragen. Die Risikomatrix ist somit ein dynamisches Element, das im Laufe des Planungsprozesses kontinuierlich eingesetzt und verändert wird. Sie dient dem Planer zur systematischen Auflistung der Risikofaktoren und deren Spezifika. Unter anderem enthält sie auch die Beschreibung der Unsicherheiten in den Parametern, deren Bestimmung im Folgenden erläutert werden soll.

5.4.2 Bestimmung der Unsicherheiten in den Planungsparametern

Eine zentrale Aufgabe der Risikoidentifikation ist die Bestimmung der wertmäßigen Unsicherheiten in den Planungsparametern respektive Risikofaktoren, d.h. die Bestimmung der Dichtefunktion der Faktoren. Eine genaue Wahrscheinlichkeitsverteilung aufzustellen, erweist sich in der Praxis häufig als sehr schwierig bzw. nicht durchführbar. Bei Erweiterungs- oder Umplanungen liegen meist detaillierte Planungswerte aus der laufenden Produktion bzw. von Vorgängerprodukten vor. Diese können für den spezifischen Fall verwendet und mit einem Unsicherheitsfaktor versehen werden. Gerade aber bei Neuplanungen oder neuartigen Produkten, bei denen eine integrierte Produkt- und Prozessentwicklung angewendet wird, existieren meist nur erste Schätzwerte der Parameter. In der Praxis kann hier durch die Festlegung eines Unsicherheitskorridors im Sinne einer Best/Worst/Most-likely-Betrachtung eine Dichtefunktion z.B. durch eine Betaverteilung²⁷ angenähert werden oder aber es können die drei Werte als diskrete Verteilungsfunktion abgebildet werden. Anhand der im vorherigen Abschnitt erläuterten Typologisierung der Unsicherheiten kann für jeden Planungsparameter untersucht werden, welcher Unsicherheitstyp vorliegt bzw. wie die wertmäßige Planungsunsicherheit im Planungssystem abgebildet werden kann.

²⁷ Bezüglich einer Erläuterung bzw. einer Illustration der einzelnen Verteilungsfunktionen sei auf die in Fußnote Nr. 25 auf Seite 71 zitierte Literatur verwiesen.

Für die Initialbetrachtung mittels der Risikocheckliste bietet sich hierzu ein Workshop mit Experten aus der Produkt- und Prozessentwicklung, aus der Fabrikplanung sowie der erweiterten Geschäftsführung bzw. der Unternehmensstrategie an. In diesem Workshop sollten, aufbauend auf den für das Planungsprojekt vorgegebenen Volumen/Varianten-Szenarien, potentielle Risiko-ursachen erörtert und auf die Risikofaktoren transferiert werden. Insbesondere für die Betrachtung externer Parameter, wie die Lohnkostenentwicklung oder des Zinssatzes für Fremdkapital, bietet sich die Methode der Prognose, d.h. der Vorhersage einer zukünftigen Entwicklung bzw. eines Zustandes, an. Als quantitative Prognoseverfahren können die Trendprognose, die exponentielle Glättung oder die Zeitreihenanalyse, als qualitative Prognoseverfahren bspw. die Delphi-Methode oder die Analogie-Methode angewendet werden²⁸. Für die systemimmanenten Parameter können über Erfahrungswerte oder Abschätzungen ein erwarteter Wert sowie ein zusätzlicher Unsicherheitskorridor bestimmt werden. Ausgehend von dieser Initialbetrachtung werden die Parameter im Laufe der Zeit detailliert und in der Matrix angepasst. Diese beinhaltet somit zu jedem Zeitpunkt die Risikofaktoren und ihre Dichtefunktionen.

5.5 Zwischenfazit

Die Risikoidentifikation bildet den ersten Hauptprozess des Gesamtkonzeptes und dient zur vollständigen Erfassung der Risikofaktoren im Planungsprozess. Hierzu wurde zunächst eine Systematik vorgestellt, die die Risikoauswirkung im Zielsystem der Fabrikplanung beschreibt. Ausgehend von den eigentlichen Risikoursachen, die aus den primären Risikoquellen resultieren, erfolgt ein Transfer auf die so genannten Risikofaktoren, die als Unsicherheiten in den Planungsparametern abgebildet werden können. Diese Unsicherheiten stellen in der Ausgestaltung bzw. Dimensionierung des Produktionssystems eine Risikoausprägung in Bezug auf dessen Ressourcen dar. Die Ressourcen können somit als Risikoträger interpretiert werden. Die letztendliche Risikoauswirkung ergibt sich schließlich in Bezug auf die Zielgrößen des für das Planungsprojekt vorgegebenen Zielsystems der Fabrik.

²⁸ Bezüglich einer detaillierten Darstellung der einzelnen Methoden sei auf die weiterführende Literatur verwiesen (vgl. bspw. HÜTTNER 1986; MAKRIDAKIS ET AL. 1998; SCHOLL 2001).

Basierend auf dieser Systematik wurde in einem nächsten Schritt eine Übersicht von Planungsparametern als potentielle Risikofaktoren entwickelt. Abgeleitet aus den Prozessschritten bzw. den Inhalten der Grobplanung wurden Parameter identifiziert und den Bereichen *Produkt*, *Prozess*, *Ressourceneigenschaften*, *Ressourcenkosten* und *Sonstige* zugeordnet. Diese Übersicht kann im Planungsprozess als Checkliste verwendet werden, um potentielle Risikofaktoren strukturiert zu identifizieren. Ferner wurde eine Typologisierung der Unsicherheiten in den Planungsparametern in Bezug auf eine Abweichung im Wert bzw. im Verlauf der Unsicherheit über die Zeit vorgestellt. Diese Typologisierung dient im Prozess der Bestimmung der Unsicherheiten zur Auswahl geeigneter Dichtefunktionen bzw. zur Analyse des Parameters.

Schließlich wurde die dynamische Risikomatrix als zentrales Element der Risikoidentifikation erläutert und in den Ablauf des Identifikationsprozesses integriert. In ihr werden die identifizierten Risikofaktoren sowie deren Unsicherheiten aufgelistet. Die Bestimmung dieser Unsicherheiten im Planungsprozess unter Einbindung von Experten wurde beispielhaft ausgeführt.

Im nächsten Kapitel soll nun eine Methodik zur Analyse der Risikofaktoren auf Basis dieser Unsicherheiten entwickelt werden, die auf der vorgestellten Systematik zur Risikoauswirkung im Zielsystem aufbaut.

6 Systematik zur Analyse der Risiken im Planungsprozess

„What you don't measure, you don't manage!“

UNBEKANNT

Die Risikoanalyse bildet den zweiten Prozessschritt des integrierten Konzeptes und fußt auf den im vorherigen Kapitel beschriebenen identifizierten Risikofaktoren. Diese müssen in ihrer Auswirkung auf das Zielsystem – gemäß der ausgeführten Systematik zur Risikoauswirkung – bewertet und geclustert, d.h. nach Auswirkung und Eintrittswahrscheinlichkeit gegliedert werden, um im nachfolgenden Schritt mögliche Steuerungsmaßnahmen ab- bzw. einleiten zu können.

Hierzu wird zunächst der Aufbau und die Konzeption der Analysesystematik mit ihren zwei grundlegenden Elementen, dem Planungs- und dem Risikomodell, vorgestellt (Abschnitt 6.1). Entsprechend diesem Aufbau wird anschließend das Planungsmodell als Grundlage der Ressourcendimensionierung näher erläutert (Abschnitt 6.2). Ausgehend von den Anforderungen werden die einzelnen Elemente und Funktionalitäten des Planungsmodells aufgezeigt und die Schnittstellen zum Risikomodell ausgeführt. Das Risikomodell wird im darauf folgenden Abschnitt 6.3 näher beschrieben. Basierend auf den Anforderungen an das Modell werden die Prozessschritte zur Bewertung eines einzelnen Risikofaktors präsentiert. Anschließend wird eine Methode zur Clusterung der Risiken erläutert sowie ein Verfahren zur Risikoaggregation vorgestellt. Das Zwischenfazit (Abschnitt 6.4) fasst die Ergebnisse des Kapitels zusammen und dient als Überleitung zum nächsten Schritt, der Risikosteuerung bzw. -überwachung.

6.1 Aufbau und Konzeption der Analysesystematik

Aufgabe der Risikoanalyse ist es, die identifizierten Risikofaktoren nach ihrer Auswirkung auf das Zielsystem zu bewerten. In Abschnitt 2.2.2 wurden verschiedene Methoden der Risikobewertung erläutert, die in der Praxis des Risikomanagements häufig eingesetzt werden.

Aufbauend auf die Systematik zur Risikoauswirkung im Zielsystem der Fabrik kann nun eine für die Fabrikplanung spezifische Bewertungssystematik erar-

beitet werden. Grundlagen hierfür sind die Methoden der Modellierung und der Sensitivitätsanalyse, anhand derer die Auswirkung des einzelnen Risikofaktors evaluiert werden kann. Die in den erweiterten Regelkreis der Fabrikplanung integrierten Elemente des *Fabrikmodells* und des *Risikomodells* (vgl. Abbildung 4-3) bilden hierbei die Basis dieser Risikobewertungsmethodik.

Der Begriff *Modell* ist gemäß VDI-RICHTLINIE 3633 (2000) wie folgt definiert:

„Ein Modell ist eine vereinfachte Nachbildung eines geplanten oder real existierenden Systems mit seinen Prozessen in einem anderen begrifflichen oder gegenständlichen System. Es unterscheidet sich hinsichtlich der untersuchungsrelevanten Eigenschaften nur innerhalb eines vom Untersuchungsziel abhängigen Toleranzrahmens vom Vorbild.“

In Bezug auf die in Abschnitt 2.1.1 dargelegte Systemtheorie dient das Modell somit zur Abbildung der Elemente, Relationen und Merkmale des (Produktions-) Systems. Entsprechend der funktionalen Sicht des Systems wird im Modell der Transfer der Eingangsgrößen hin zu den Ausgangsgrößen abgebildet, über die eine Evaluation des Zielerreichungsgrades vorgenommen werden kann.

6.1.1 Systematik zur Risikoanalyse

Der zuvor beschriebene Modellierungsaspekt bildet die Grundlage der Risikoanalyssystematik. Sie beruht auf zwei unterschiedlichen Modellen, dem *Risikomodell* sowie dem *Planungsmodell*, deren Zusammenhang sowie deren Elemente in Abbildung 6-1 illustriert sind.

Das Risikomodell dient zur Verwaltung der Unsicherheiten bzw. gezielten Variation spezifischer Risikofaktoren, um deren Risikoauswirkung zu bewerten. Nach der Bewertung der einzelnen Risikofaktoren werden diese gemäß einem Verfahren zur Clusterung nach ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit bzw. Auswirkung auf das Zielsystem gegliedert. In einem abschließenden Schritt der Risikoaggregation können die einzelnen Risikofaktoren zu einer (systemebenenvariablen) Risikoübersicht zusammengefasst werden. Dazu werden im Risikomodell die Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Risikofaktoren hinterlegt.

censicht die vorliegende Unsicherheit in Bezug auf die Dimensionierung der Ressourcen evaluiert werden. Insbesondere letztere Information kann an die im Planungsprozess beteiligten, aber nicht direkt in der Fabrikstruktur- und Ablaufplanung involvierten Planungspartner, wie z.B. die Personalplanung oder die Bau- bzw. Architekturplanung, kommuniziert werden, um so im Sinne einer ganzheitlichen Synchronisation aller am Prozess beteiligten Fachdisziplinen einen Abgleich der Ergebnisse der Ressourcendimensionierung inklusive der potentiellen Risiken vornehmen zu können.

6.1.2 Detaillierung der Bewertungssystematik

Die Bewertung der Risiken als erster Schritt der Risikoanalyse soll im Folgenden über das Zusammenwirken der beiden zuvor erläuterten Modelle detailliert werden (Abbildung 6-2).

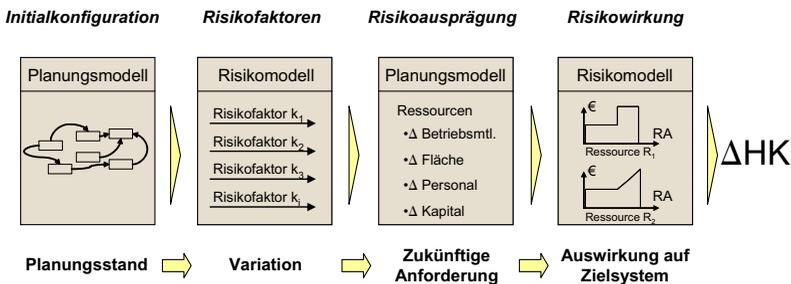


Abbildung 6-2: Das Vorgehen zur Bewertung der Risikofaktoren im Zusammenwirken des Planungs- und des Risikomodells

Die Ausgangsbasis der Bewertung bildet eine Initialkonfiguration des Planungsmodells anhand der aktuellen Planungsparameter, der so genannte Planungsstand. Ein Planungsstand ist dabei eine auf Basis der vorhandenen Planungsdaten bzw. des zugrunde gelegten Szenarios erstellte Konfiguration des Modells, die die Zielvorgaben mit einem geplanten Zielwert Z_{Plan} erfüllt. Um die Auswirkung eines Risikofaktors zu testen, kann dessen spezifische Dichtefunktion (d.h. die Unsicherheit im Parameterwert) im Risikomodel variiert und in das Planungsmodell transferiert werden. Letzteres liefert auf Basis der Konfiguration der Abläufe und Strukturen die Risikoausprägung, d.h. die zukünftigen Anforderungen bzgl. der Ressourcen im Falle des Risikoeintritts. Die Analyse der letztendlichen Auswirkung auf das Zielsystem erfolgt wiederum im Risikomodel mit

Hilfe einer Transferfunktion. Diese Transferfunktionen dienen zur Integration der potentiellen zusätzlichen Risikoschadenskosten und müssen je nach Risikoart bzw. -typ individuell im Modell hinterlegt werden.

6.1.3 Grundannahmen in der Bewertungssystematik

Die beschriebene Bewertungssystematik beruht auf den nachfolgenden zwei grundlegenden Annahmen, deren Plausibilität in Bezug auf eine Verwendung im Planungsprozess in der daran anschließenden Diskussion geprüft wird:

- *Annahme 1:* Die Bewertung des Risikos erfolgt immer auf Basis des aktuellen Planungsstandes unter der Hypothese, dass dieser Planungsstand realisiert würde.
- *Annahme 2:* Die Grundlage für die Risikobewertung ist, dass die vorgegebenen Planungsprämissen (spezifisch: das Volumenszenario) erfüllt werden müssen. Diese sind als zu erreichende Prämissen für die Projektleitung oder den Fabrikplaner festgelegt und dienen als Maßgabe der Ressourcendimensionierung bzw. Auslegung und Optimierung des Systems.

Bereits in der Zielplanungsphase wird eine erste Dimensionierung des Produktionssystems vorgenommen, die im Laufe der Planung verifiziert und detailliert bzw. angepasst wird. Daher kann im Planungsverlauf stets von einem aktuellen Planungsstand ausgegangen werden. Ein Risiko tritt nach der Entscheidungstheorie (vgl. Abschnitt 2.2.1) immer dann auf, wenn eine Entscheidung unter Unsicherheit getroffen werden muss. Da eine Planung stets ein in die Zukunft gerichteter Prozess ist, kann für die Bewertung des Risikos die Realisierung dieses zukünftigen Planungsstandes angenommen werden.

Im Planungsprozess führt der Planer eine Optimierung seines Systems in Bezug auf das definierte Zielsystem unter den gegebenen Voraussetzungen bzw. Planungsprämissen durch. Diese Prämissen bilden die Randbedingungen für das Planungsprojekt und dienen als Grundlage der Gestaltung des Systems. Das zukünftige Produktionsvolumen je Produktvariante, das als vorgegebenes Szenario in dieser Arbeit als Planungsprämisse definiert ist, stellt in fast allen Planungsfällen ebenfalls eine Unsicherheit dar, da die tatsächliche zukünftige Kundennachfrage nur schwer vorhergesagt werden kann. Im Hinblick auf die Projektzielsetzung wird dieses Produktionsprogramm jedoch als Planungsprä-

misse, die erfüllt werden muss, angesehen und soll daher als einheitliche Basis für die Risikobewertung in Bezug auf das Zielsystem verwendet werden.

Aus der Zusammenführung der postulierten Annahmen folgt, dass im Falle eines Risikoeintrittes bspw. die erforderlichen Ressourcen nachträglich in das Produktionssystem integriert werden müssen. Die dafür anfallenden Anpassungskosten sowie die Zusatzkosten der Ressourcen ergeben in Summe die Risikoschadenskosten²⁹.

6.1.4 Einschränkung der Bewertungssystematik auf die Zielgröße Herstellkosten

Die bisher erfolgte Diskussion der Risikoauswirkung bezog sich gemäß Abbildung 5-1 stets auf die Gesamtheit der Zielgrößen des Fabrikplanungsprojektes. Für die nachfolgende Konzipierung des Risikomodells soll dieses Zielsystem für die singuläre Zielgröße der Herstellkosten exemplarisch ausgeführt werden. Grundlage hierfür ist nachfolgende Argumentation:

- Die Herstellkosten werden in der Praxis fast immer als die entscheidende Zielgröße gewertet. Basierend auf der Target-Cost-Vorgabe aus der Unternehmensentwicklung bzw. -strategie wird die Gestaltung und Dimensionierung des Produktionssystems bzw. dessen Optimierung durchgeführt.
- Viele der Einzelzielgrößen einer Fabrik können direkt in Herstellkosten übergeführt werden (bspw. der Bestand, die Durchlaufzeiten, die Rüstzeiten, die Auslastung etc.) bzw. spiegeln ihre Ausprägung in den Herstellkosten wider.
- Bei nicht- oder nur schlecht quantifizierbaren Zielgrößen (z.B. der Attraktivität, der Ökologie, der Flexibilität, ...) wird über subjektive Einschätzungen eine Bewertung bspw. anhand einer Skala von 1-5 vergeben. Auf

²⁹ Die *Risikoschadenskosten* unterscheiden sich dabei von den sog. *Risikokosten*: In der Finanzmathematik wird unter den Risikokosten die Summe aus den Kosten der Schäden / Risikoeintritte sowie der Kosten für die Sicherheitsmaßnahmen verstanden (vgl. bspw. ROMEIKE 2004, S. 113 bzw. Abbildung 7-4 im Kapitel zur Risikosteuerung).

Grund der Subjektivität der Einschätzung erbringt eine weitere Risikobetrachtung kaum zusätzlichen Mehrwert.

Die auf die Herstellkosten angewandte Systematik kann analog auf andere Zielgrößen transferiert werden, da die gleiche Entscheidungslogik zu Grunde gelegt werden kann. Mit Hilfe einer Gewichtung der Zielkriterien kann das Gesamtrisiko in Bezug auf das Zielsystem ermittelt werden. Dieses Gesamtrisiko trägt jedoch (anders als bspw. ein Risiko bzgl. der Herstellkosten) keine eindeutige Einheit. Um das Gesamtrisiko ebenfalls als monetäre Einheit abbilden zu können, muss eine monetäre Quantifizierung des Zielerreichungsgrades der einzelnen Zielgröße, abgeleitet aus den Unternehmenszielen, erfolgen, was sich in der Praxis als schwer durchführbar erweist. Die Fokussierung auf die Zielgröße *Herstellkosten* bietet somit die Möglichkeit, eine monetäre Bewertung des Risikos im Planungsfall durchzuführen.

Nach der Erörterung der Analysesystematik bzw. der Detaillierung des Vorgehens zur Bewertung der Risiken und der darin enthaltenen Annahmen werden nun in den folgenden zwei Abschnitten die Elemente der beiden Modelle im Detail erläutert.

6.2 Konzeption des Planungsmodells

Das Planungsmodell bildet, wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, die Abläufe und Strukturen des geplanten Systems ab und interagiert mit dem Risikomodell mittels der Ausprägung der Risikofaktoren in den Ressourcen. Da diese Ressourcenvariation die Grundlage für die spätere Risikobewertung bildet, wird das Planungsmodell im Kontext der vorliegenden Arbeit vor der Beschreibung des Risikomodells ausgeführt. Im Folgenden werden dazu, abgeleitet aus den Anforderungen an das Modell, dessen Aufbau und die einzelnen Elemente beschrieben.

6.2.1 Anforderungen an das Planungsmodell

Die drei Hauptfunktionalitäten des Planungsmodells bilden das Szenariomanagement, die parametrisierte Konfiguration sowie die integrierte Ressourcendimensionierung. Zusätzlich zu diesen Funktionalitäten lassen sich weitere An-

forderungen an das Planungsmodell aus dem Fabrikplanungsablauf ableiten (Abbildung 6-3).

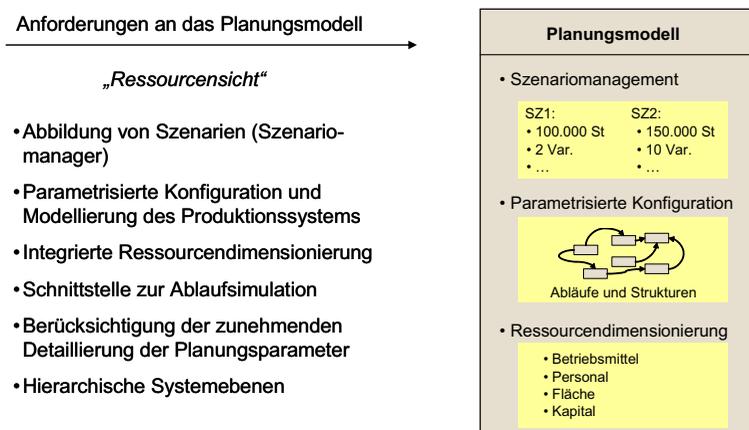


Abbildung 6-3: Anforderungen an das Planungsmodell

Die einzelnen Anforderungen sollen im Folgenden kurz erläutert werden:

Die Bewertung der Risiken erfolgt, wie im vorherigen Abschnitt ausgeführt, in Bezug auf das Zielsystem einer vorgegebenen Projektaufgabe inklusive der Volumen- bzw. Variantenszenarien. Um dieser Anforderung gerecht zu werden, muss das Planungsmodell die Möglichkeit bieten, verschiedene Szenarien schnell und umfassend abzubilden sowie deren parallele Planung, d.h. ein *Szenariomanagement*, durchzuführen.

Das Modell ist gemäß der Definition eine vereinfachte Nachbildung des geplanten Produktionssystems. Die Beschreibung dieser Nachbildung geschieht über die Modellierungs- bzw. Planungsparameter, deren Gesamtheit die potentiellen Risikofaktoren darstellt (vgl. Abbildung 5-2). Somit kann als zweite Anforderung eine *parametrisierte Konfiguration und Modellierung des Produktionssystems* genannt werden, d.h. das Modell muss die Abbildung von Abläufen (d.h. Prozessen) und Strukturen über entsprechende Konfigurationseinstellungen erlauben. Die Grundlage für diese Konfiguration ist eine Planungsparameterbasis, die im Modell integriert werden muss.

Das Ziel der Modellierung ist es, mit Hilfe des Modells eine Angabe über die Eigenschaften und das Verhalten des geplanten (zukünftig zu realisierenden) Systems zu erhalten. Dazu ist insbesondere eine *integrierte Ressourcendimensionierung* nötig, da zum einen die Aussage über die benötigten Ressourcen ein entscheidendes Ergebnis der Grobplanungsphase ist, zum anderen die Variation in der Ausprägung der Ressourcen auf Grund der Risiken die Schnittstelle zum Risikomanagementmodell bildet.

Im Rahmen der Dimensionierung der erforderlichen optimalen Ressourcenanzahl genügt (vor allem bei komplexen Produktionssystemen) eine statische Auslegung des Systems häufig nicht den gewünschten Genauigkeitsanforderungen (vgl. KUDLICH 2000; RALL 1998). Um dieses Defizit auszuräumen, werden im Planungsverlauf Werkzeuge zur Ablaufsimulation verwendet, die das dynamische Verhalten des Zusammenspiels einzelner Systemelemente untersuchen. Zusätzlich werden bereits in der Grobplanungsphase Werkzeuge zur Materialflusssimulation bzw. Layoutplanung eingesetzt (vgl. u.a. KOHLER 2007, LEHMANN 1997). Mittels einer *Schnittstelle zur Simulationssoftware* muss die (bidirektionale) Interaktion des Planungsmodells mit diesen Werkzeugen sichergestellt werden.

Der Planungsgrundsatz „Vom Groben ins Feine“ (top-down) muss mittels einer *Berücksichtigung der kontinuierlichen Detaillierung der Planungsparameter* im Planungsmodell integriert werden. Wird in der Ziel- bzw. Vorplanung meist noch mit Kennzahlen auf Basis vergangener Projekte gearbeitet (vgl. AGGTELEKY 1990B, S293 ff.), so werden in der Grobplanungsphase zunächst grobe Annahmen für einzelne Parameter getroffen und diese im Laufe der Planung mit zunehmendem Informationsgehalt verfeinert. Für das Planungsmodell bedeutet dies, dass eine entsprechende Funktionalität zur Planung über Kennzahlen bzw. zur ganzheitlichen Festlegung von Parametergruppen bzw. -klassen (z.B. der Wiederbeschaffungszeit aller Teile max. 14 Tage) bereitgestellt werden muss und so eine Planung auf unterschiedlichen Detaillierungsstufen durchgeführt werden kann.

Eine Zielsetzung des Konzeptes ist unter anderem, der Projektleitung bzw. dem Fabrikplaner aufzuzeigen, in welchem Bereich des zu planenden Systems welche Risiken bestehen, so dass diese in der Planung mitberücksichtigt werden können. Das Planungsmodell muss daher die Möglichkeit einer Strukturierung über *hierarchische Systemebenen* bieten, so dass Aussagen in Bezug auf ausgewählte Ebenen bzw. Bereiche des Systems getroffen werden können. Eine

Zuordnung der Ressourcen zu diesen Ebenen bzw. eine entsprechende Schnittstelle zum Risikomodell ist vorzusehen.

Nach der Postulierung der Anforderungen bzw. Funktionalitäten soll im folgenden Abschnitt deren Realisierung im Planungsmodell beschrieben werden.

6.2.2 Aufbau und Gestaltung des Planungsmodells

Das Planungsmodell bildet die Abläufe bzw. Strukturen des geplanten Produktionssystems ab und liefert dem Planer eine Aussage bzgl. der Zielerreichung im vorgegebenen Zielsystem. Der Aufbau des Modells (vgl. Abbildung 6-4) ist an die in der Ziel- und Grobplanungsphase durchzuführenden Planungsschritten zur Ausgestaltung bzw. Dimensionierung des Systems angelehnt³⁰ und orientiert sich an dem Modellierungsansatz von KOHLER (2007, S. 63).

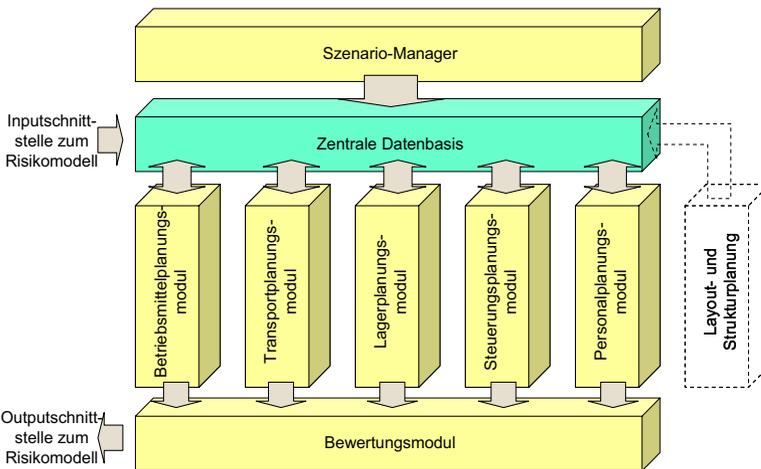


Abbildung 6-4: Aufbau des Planungsmodells und Interaktion der Elemente

Die übergreifenden Elemente des Planungsmodells bilden zum einen das Modul des Szenariomanagers sowie das Modul der zentralen Datenbasis. Anhand dieser Daten bzw. grundlegenden Konfigurationen werden die einzelnen Pla-

³⁰ Die Planungsschritte bzw. die Ausführung der Layout- und Strukturplanung und der detaillierten Materialflusssimulation erfolgen dabei nicht im Planungsmodell, sondern sie sind über die oben erwähnte Schnittstelle zu entsprechenden Werkzeugen abgedeckt.

nungsschritte in den Modulen zur *Betriebsmittelplanung*, *Transportplanung*, *Lagerplanung*, *Steuerungsplanung* sowie *Personalplanung* durchgeführt. Das *Bewertungsmodul* fasst diese Konfigurationen der einzelnen Module zur Gesamtsicht in Bezug auf das Zielsystem zusammen. Die Ergebnisse der *Layout- und Strukturplanung* werden dabei über eine Schnittstelle in das Planungsmodell übertragen (vgl. Abschnitt 6.2.3 später).

Die Funktionalitäten der einzelnen Module sollen im Folgenden detaillierter erläutert werden:

- **Szenariomanager:** Der Szenariomanager bildet die oberste Konfigurationsebene des Planungsmodells. Die Konfiguration erfolgt in der Zielplanungsphase und läuft in drei Schritten ab: Zunächst werden die Volumen- bzw. Variantenszenarien im Modell definiert, d.h. die für die Initialkonfiguration maßgeblichen erwarteten Volumina je Variante festgelegt. Dabei ist auf eine sinnvolle Anzahl der Szenarien zu achten, um den Aufwand im späteren Planungsablauf gering zu halten. Die Durchführung der Szenarienbildung und unterstützende Hilfsmittel wie Prognoseverfahren etc. sind nicht Untersuchungsumfang dieser Arbeit. Diesbezüglich sei auf die weiterführende Literatur verwiesen (vgl. bspw. GAUSEMEIER & FINK 1995; HILLIER & LIEBERMAN 2002, S. 656 ff.; STADTLER & KILGER 2002, S. 379 ff.). In der Szenariendefinition wird als paralleler, zweiter Schritt eine Auswahl der Wertströme, d.h. der Ausprägung der Wertschöpfung des Systems je Szenario, getroffen. Ein Wertstrom bezeichnet dabei grundsätzlich alle Aktivitäten von der Beschaffung des Rohmaterials bis zur Lieferung an den Kunden (VOLLMER & SCHLÖRKE 2004, S. 129). Diese Wertströme definieren damit den Umfang der im Szenario geplanten Bearbeitungsaufgaben des Produktionssystems. Als dritter Schritt wird schließlich, um die in der Vorplanung durchgeführte Planung mittels Kennzahlen zu unterstützen, ein Planungsfall bzw. -typ aus der Vergangenheit (ähnliches Produkt) ausgewählt, auf dessen Grunddaten basierend die weitere Ausplanung des Systems stattfinden soll. Nach der Durchführung der drei Schritte kann im Planungsverlauf mittels des Szenariomanagers eine Auswahl des zu planenden Szenarios vorgenommen werden, so dass die Funktionalität einer aktiven Verwaltung bzw. Parallelplanung der Szenarien gewährleistet ist.
- **Zentrale Datenbasis:** Hauptfunktionalität der zentralen Datenbasis ist die Bereitstellung und Speicherung aller im Planungsprojekt definierten

Parameter bzw. Annahmen. Die Grundlagen der Datenbasis bilden dabei die drei Plandatentypen *Produktstrukturplan*, *Produktionsablaufplan* sowie *Produktionsprogrammplan* (vgl. KOHLER 2007, S. 64 ff.), die im Folgenden kurz vorgestellt werden:

Der *Produktstrukturplan* beschreibt den Aufbau des Erzeugnisses und enthält somit alle Informationen, die zur Festlegung der Struktur notwendig sind. Die Produktstruktur ist im Planungsmodell mit Hilfe einer Baukastenstückliste³¹ hinterlegt. Durch eine so genannte Stücklistenauflösung lassen sich aus den Primärbedarfen, die im Volumenszenario vorgegeben sind, die Sekundärbedarfe erzeugen und für die weiteren Planungsschritte verwenden.

Der *Produktionsablaufplan* beinhaltet alle zur Herstellung eines Erzeugnisses benötigten Informationen und bildet die Schnittstelle zur Prozessplanung. Im Planungsmodell ist er in Form des Arbeitsplanes hinterlegt. Dieser enthält für jedes zu fertigende bzw. zu montierende Fertig- bzw. Halbfertigteile je Arbeitsschritt oder Arbeitsvorgang (AVO) das spezifische Betriebsmittel bzw. die Bearbeitungs- und Rüstzeiten (GÜNTNER ET AL. 2006).

Der *Produktionsprogrammplan* basiert auf den im Szenario festgelegten Primärbedarfen und beschreibt die Kundenabrufe dieser Bedarfe nach Menge und Zeitpunkt. Im Rahmen einer Grobplanung sind diese Daten häufig nicht auf einem absoluten Detaillierungslevel vorhanden. Daher wurden im Planungsmodell die durchschnittlichen Bestellmengen bzw. -zeitpunkte sowie als Parameter deren maximale prozentuale Volatilitäten (d.h. Mengen- bzw. terminliche Schwankungen) hinterlegt.

In der zentralen Datenbasis können auch Vergangenheitswerte der zuvor geschilderten drei Plandatentypen hinterlegt und im Laufe der Planung modifiziert bzw. verfeinert werden, so dass mittels dieser Kennzahlen eine erste Grobdimensionierung vorgenommen werden kann. Zusätzlich sind alle Planungsparameter spezifischen Parametergruppen (wie z.B.

³¹ Die Baukastenstückliste lässt sich in weitere Stücklistentypen wie die Mengenübersichts- oder Strukturstückliste überführen – bezüglich weiterer Informationen vgl. bspw. ZÄPFEL (1991).

Gruppe der Prozesszeiten, Gruppe der Rüstzeiten etc.) zugeordnet, so dass diese global verändert bzw. initial konfiguriert werden können.

Entsprechend der Konfiguration des Szenariomanagers bzw. der anderen Module werden die Planungsdaten in der zentralen Datenbasis abgelegt und zur Verarbeitung in den Modulen bereitgestellt. Die zentrale Datenbasis dient schließlich auch als Input-Schnittstelle zum Risikomodell: Basierend auf den vorher definierten Risikofaktoren kann gezielt eine Parametervariation vorgenommen werden, deren Auswirkung im Risikomodell analysiert wird.

- **Betriebsmittelplanungsmodul:** Im Betriebsmittelplanungsmodul wird die Ressource *Betriebsmittel* genauer spezifiziert. In enger Zusammenarbeit mit der Technologie- bzw. Prozessplanung werden alternative Prozessketten als Bearbeitungsfolgen definiert und in den Arbeitsplänen hinterlegt. Eine Prozesskette ist dabei die Abfolge der einzelnen Bearbeitungsschritte bzw. -prozesse bis zur Fertigstellung des Produktes. Die Betriebsmittel werden dabei durch die Festlegung der Maschinentypen spezifiziert, die die Verfügbarkeit bzw. die Flächenbedarfe sowie (entsprechend des Automatisierungsgrades) die Personalbedarfe der Ressourcen bestimmen. Zusätzlich werden in dem Modul auch die Schichtpläne der Ressourcen hinterlegt, so dass die Jahreskapazitäten und somit die erforderliche Anzahl ermittelt werden können.
- **Transportmittelplanungsmodul:** In diesem Modul werden die für den Materialfluss benötigten Ressourcen definiert und dimensioniert. Auf Basis des im Arbeitsplan hinterlegten Produktionsablaufschemas können für jedes Roh-, Halbfertig- und Fertigteil die Transportrouten sowie die spezifischen Transportmittel definiert werden. Diese Transportrouten umfassen dabei sowohl den Transport zwischen den Betriebsmitteln als auch von und zu (Zwischen-)Lagern. Im Planungsmodell sind sowohl stetige als auch unstetige Standard-Fördermittel hinterlegt, über deren Verfügbarkeit bzw. Leistungsdaten (Transportgeschwindigkeit etc.) die Ressourcen dimensioniert werden.
- **Lagerplanungsmodul:** Die Ausgestaltung und Dimensionierung der benötigten Lager- und Pufferflächen sowie von deren Hilfsmittel (Lagerressourcen) ist Aufgabe des Lagerplanungsmoduls. Auf Basis der teilespezifischen Behältervorschrift und der Anzahl der Teile pro Behälter sowie

der Spezifikation der Lagermittel je Lager oder Puffer können die benötigten Ressourcen (Lagermittel, Lagerfläche sowie Lagerpersonal) unter Berücksichtigung der Wiederbeschaffungszeiten der Bauteile kalkuliert werden. Das Lagermodul weist eine enge Verknüpfung mit dem Steuerungsmodul auf, da die gewählte Steuerungsstrategie einen entscheidenden Einfluss auf die Pufferdimensionierung hat. Für eine statische Dimensionierung der Zwischenpuffer wurde im Planungsmodell auf die statische Warteschlangentheorie³² zurückgegriffen. Diese statische Dimensionierung kann (nach Verfügbarkeit von detaillierteren Daten) mittels Simulationsexperimenten verifiziert werden.

- **Steuerungsplanungsmodul:** Im Steuerungsplanungsmodul werden die (Fertigungs-)Steuerungsstrategien der einzelnen Teile festgelegt. Im Planungsmodell sind die zwei Steuerungsstrategien³³ Push (d.h. bedarfsgesteuerte Disposition) bzw. Pull (d.h. verbrauchsgesteuerte Disposition) hinterlegt. Die Steuerungsstrategie beinhaltet insbesondere die zu produzierenden Losgrößen je Fertigungsteil sowie die Definition von Sicherheitsbeständen und Wiederbeschaffungsmengen. Diese Festlegungen haben einen entscheidenden Einfluss auf die Fabrikleistung und spiegeln sich in der Anzahl bzw. Dimension der benötigten Ressourcen (Betriebsmittel, Pufferflächen, ...) der anderen Module wider.
- **Personalplanungsmodul:** Im Personalplanungsmodul werden die erforderlichen Werker je Qualifikationslevel festgelegt sowie die Aufbauorganisation der einzelnen Bereichsebenen definiert. Mittels dieser Aufbauorganisation kann die Anzahl der indirekten Mitarbeiter des Bereiches ermittelt werden. Zusätzlich müssen weitere indirekte Mitarbeiter aus nicht wertschöpfenden Bereichen wie der Qualitätssicherung, den Laboren, der Instandhaltung etc. in diese Zahl integriert werden. Die Dimensionierung des erforderlichen Personals im Planungsmodell berücksich-

³² Für Grundlagen bzw. eine ausführliche Beschreibung der statischen Warteschlangentheorie vgl. bspw. ASKIN & STANDRIDGE (1993), HILLIER & LIEBERMAN (2002), oder PAPADOPOULOS & HEAVEY (1996).

³³ Bezüglich detaillierter Informationen zu den einzelnen Steuerungsstrategien sowie deren Implementierung insbesondere des Kanban-Prinzips sei auf die weiterführende Literatur verwiesen (vgl. bspw. LÖDDING & WIENDAHL 2005; SCHUH 2006; TAKEDA 2005).

tigt dabei die verfügbaren Arbeitstage je Periode sowie die Krankheitsquote. Es resultiert die erforderliche Anzahl an direkten sowie indirekten Mitarbeitern (Ressource *Personal*) je Bereich.

- **Bewertungsmodul:** Das Bewertungsmodul fasst die Ergebnisse der einzelnen Konfigurationsmodule zusammen und bildet so einen Gesamtüberblick der Ressourcen ab. Zusätzlich liefert das Bewertungsmodul die Ergebnisse einzelner Zielgrößen der Fabrik, insbesondere der wirtschaftlichen Kenngrößen, wie die Investitions-, die Fertigungs- und die Herstellkosten. Eine wichtige Funktionalität des Bewertungsmoduls ist dabei die Aggregation der Ressourcen bzw. Zielgrößen auf unterschiedlichen Systemebenen, so dass diese Werte auch für einzelne Teilbereiche analysiert und bewertet werden können. Letztere Funktionalität ist insbesondere für die Interaktion mit dem Risikomodell notwendig, da die Bewertung der Risiken auf unterschiedlichen Bereichsebenen erfolgen soll. Das Bewertungsmodul bildet somit, wie auch in Abbildung 6-4 veranschaulicht, zusätzlich die Output-Schnittstelle zum Risikomodell.

Das Planungsmodell stellt mittels seiner Elemente und Module sicher, dass die Wirkungslogik der Abläufe und Strukturen des Produktionssystems schnell und umfassend implementiert werden kann. Das Produktionssystem kann somit basierend auf unterschiedlichen Volumen-/Variantenszenarien modelliert und als Grundlage für die Risikobewertung verwendet werden. Zur Unterstützung des Planers bzw. zur Validierung der Ergebnisse der statischen Dimensionierung wurden für das Planungsmodell Schnittstellen zu Simulationswerkzeugen definiert, worauf im folgenden Abschnitt näher eingegangen wird.

6.2.3 Festlegung der Schnittstellen zur Simulationssoftware

In der Planung von Fabriken bzw. von umfangreichen Produktionssystemen kommen im Kontext der so genannten Digitalen Fabrik eine Vielzahl von unterschiedlichen, rechnergestützten Werkzeugen zum Einsatz (vgl. Abschnitt 2.1.3). Insbesondere bei komplexen Produktionssystemen dienen diese zur Validierung bzw. Verfeinerung der Ergebnisse. Eine der in Abschnitt 6.2.1 postulierten Anforderungen für das Planungsmodell war daher, eine bidirektionale Schnittstelle zu ebendiesen Werkzeugen bereitzustellen.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden im Planungsmodell zwei Schnittstellen zur Simulationssoftware konzipiert (Abbildung 6-5).

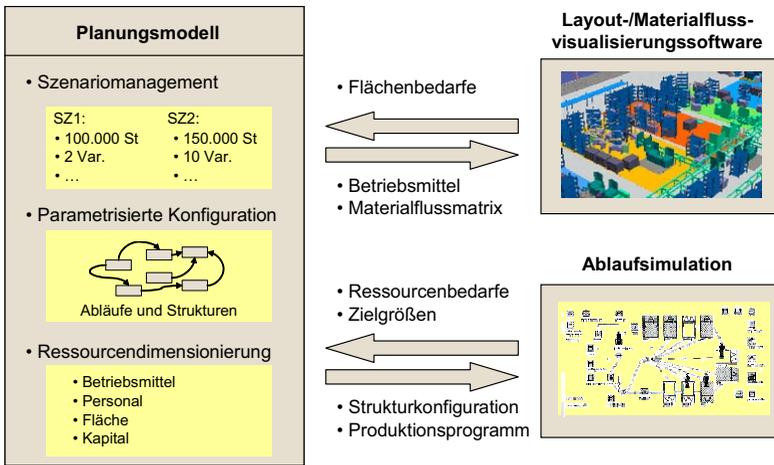


Abbildung 6-5: Schnittstellen des Planungsmodells zur Simulationssoftware (Grobkonzept)

Die zwei dargestellten Schnittstellen, zum einen zur Layout- und Materialflussvisualisierungssoftware, zum anderen zur Ablaufsimulationssoftware, sollen in ihren Input- und Outputeigenschaften im Folgenden beschrieben werden:

- **Schnittstelle zur Layoutplanungs- und Materialflussvisualisierungssoftware:** Zur Unterstützung des Planungsschrittes *Layout- und Strukturplanung* werden im Zuge der rechnergestützten Fabrikplanung häufig Systeme zur Layoutplanung sowie Materialflusssimulation eingesetzt. Die im Planungsmodell vorgesehene Schnittstelle stellt diesen Systemen als Inputparameter die Materialflussmatrix sowie die Spezifikation der Betriebsmittel zur Verfügung. Die Materialflussmatrix enthält dabei den Transportaufwand zwischen den einzelnen Betriebsmitteln bzw. Lagern und Puffern. Mit Hilfe dieser Inputparameter kann die Layoutgestaltung bzw. Strukturierung des Produktionssystems vorgenommen und der detaillierte Flächenbedarf an das Planungsmodell zurückgespielt werden.
- **Schnittstelle zur Ablaufsimulationssoftware:** Um komplexe Produktionssysteme dimensionieren zu können, wird häufig auf Werkzeuge der Ablaufsimulation zurückgegriffen, die die Prozessabläufe in der gewählten Struktur simulieren. Das Produktionsmodell sieht für die Ablaufsimulation die zwei Inputparameter des Produktionsprogramms sowie der Strukturkonfiguration vor. Die Strukturkonfiguration umfasst dabei die Art

und Anzahl der Maschinen, deren spezifische Bearbeitungs- bzw. Rüstzeiten gemäß dem Arbeitsplan sowie den Verfügbarkeiten, die Lager bzw. Puffer und die Steuerungsstrategien der Bauteile. Nach dem Aufbau des Simulationsmodells sowie der Durchführung der Experimente können die neu ermittelten oder verifizierten Ressourcenbedarfe sowie spezifische Zielgrößen (wie z.B. die Auslastungen, die Durchlaufzeiten, die Rüstzeiten etc.) an das Planungsmodell zurückgespielt werden.

Der Einsatz von Simulationssoftware ist je nach dem Detaillierungsstand der Planung sowie dem Planungsfortschritt individuell zu prüfen. Mit Hilfe der beschriebenen Schnittstellen ist jedoch eine Integration des Konzeptes in die Methoden und Hilfsmittel der Digitalen Fabrik gewährleistet. Die exakte Spezifikation der Schnittstellen wurde anhand eines EDV-Softwareprototyps im Detail ausgeführt (vgl. auch Abschnitt 8.1).

Nach der Darlegung der Elemente und Inhalte des Planungsmodells sowie der Schnittstellen zu Simulationswerkzeugen wird im nächsten Abschnitt das Risikomodell beschrieben, das auf die beschriebenen Funktionalitäten (insbesondere die integrierte Ressourcendimensionierung) des Planungsmodells zurückgreift.

6.3 Konzeption des Risikomodells

Das Risikomodell dient zur umfassenden Analyse der einzelnen Risikofaktoren bzw. der Gesamtrisikosituation. Wie in der Systematik zur Risikoanalyse (vgl. Abbildung 6-1) ausgeführt, interagiert es mit dem Planungsmodell über eine Variation in den Parametern respektive Risikofaktoren. Ausgehend von den Ausprägung bzw. den Auswirkungen des Risikos auf die Ressourcen wird die Auswirkung auf die Zielgrößen des Produktionssystems analysiert und bewertet. Im Folgenden sollen zunächst die Anforderungen an das Risikomodell erläutert und anschließend die einzelnen Funktionalitäten bzw. Ablaufschritte im Planungsverlauf diskutiert werden.

6.3.1 Anforderungen an das Risikomodell

Entsprechend der im vorherigen Abschnitt angewendeten Logik zur Herleitung des Planungsmodells sollen auch beim Risikomodell die Anforderungen als

Ausgangsbasis der anschließenden Konzipierung des Modells dienen (Abbildung 6-6).

Anforderungen an das Risikomodell

„Zielauswirkungssicht“

- Abbildung der Unsicherheitsparameter (Integration der dyn. Risikomatrix)
- Bewertungsmethodik für einzelne Risikofaktoren
- Spezifische Konfiguration der Transferfunktionen
- Darstellung der Risiken aus Ressourcen- und Zielsicht
- Methodik zur Risikoclusterung
- Methodik zur Aggregation der Risiken
- Berücksichtigung von Abhängigkeiten zwischen den Risiken

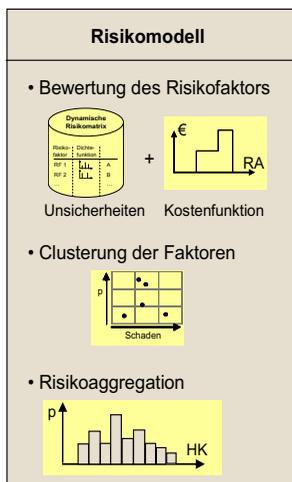


Abbildung 6-6: Anforderungen an das Risikomodell

Die einzelnen Anforderungen sollen im Folgenden kurz dargelegt werden:

Die im Prozessschritt der Risikoidentifikation aufgedeckten Risiken müssen als *Unsicherheitsparameter* abgebildet werden. Dies bedeutet, dass das im vorherigen Kapitel ausgeführte Element der dynamischen Risikomatrix in das Modell integriert werden muss. Die einzelnen Risikofaktoren sowie ihre Dichtefunktionen (d.h. die Ausprägung der Unsicherheit) sind somit im Modell verfügbar und können zur Analyse verwendet werden.

Diese Analyse fußt auf der *Bewertungsmethodik für einzelne Risikofaktoren*, wie sie in Abbildung 6-2 beschrieben ist. Das Modell muss dieses Bewertungsschema abbilden und die geforderten standardisierten Schnittstellen zum Planungsmodell bereitstellen.

Ein Bestandteil der Bewertungssystematik sind die Transferfunktionen, mit Hilfe derer der Transfer der Ressourcenvariation auf das Zielsystem und damit die Integration potentieller zusätzlicher Risikokosten durchgeführt wird. Das Risikomodell muss hierbei die Anforderung zur *spezifischen Konfiguration der Transferfunktionen* erfüllen, d.h. die Transferfunktionen müssen je nach Pla-

nungsprojekt bzw. -fall konfigurierbar sein, da generische Aussagen bzgl. der Risikokosten nicht getroffen werden können.

Als weitere Anforderung lässt sich eine *Darstellung der Risiken aus Ressourcen- und Zielsicht* formulieren. Im Planungsverlauf ist insbesondere für die Kommunikation mit den beteiligten Planungspartnern die Ausprägung des Risikos in Bezug auf die Ressourcen von Relevanz sowie für das Controlling des Projektes die Gesamtsicht auf die Ziele des Planungsprojektes. Das Modell muss die Dichte- bzw. Verteilungsfunktionen somit sowohl für die Ressourcen- als auch die Zielsicht abbilden können.

Um den effizienten Einsatz von Risikosteuerungsmaßnahmen zu unterstützen bzw. die Risiken in Bezug auf ihre Auswirkung und Eintrittswahrscheinlichkeit zu kategorisieren, muss das Risikomodell eine *Methode zur Risikoclusterung*, die ebd. Funktionalitäten aufweist, beinhalten. Diese Clusterung der Risikofaktoren sollte ebenso auf Ressourcen- und Zielsicht darstellbar sein.

Um eine ganzheitliche Sicht bzgl. der Risiken der Ressourcenbedarfe bzw. des Zielstatus zu erreichen, muss eine *Methode zur Aggregation der Risiken* in das Risikomodell integriert werden. Hierbei müssen zwei Aspekte berücksichtigt werden: Die Aggregation der Risiken muss wiederum die zuvor postulierte Anforderung zur Abbildung der Ressourcen- und Zielsicht erfüllen sowie auf den unterschiedlichen Ebenen des Produktionssystems durchführbar sein, um dem Fabrikplaner bzw. der Projektleitung individuell für jeden Bereich eine aggregierte Risikosicht bieten und damit den zielgerichteten Einsatz von Steuerungsmaßnahmen unterstützen zu können.

In der Risikoaggregation gilt es dabei, der Anforderung zur *Berücksichtigung von Abhängigkeiten zwischen den Risiken* gerecht zu werden. Zwar können einzelne Risiken unabhängig voneinander analysiert werden, jedoch müssen bei der Aggregation zur Gesamtsicht ihre Interdependenzen beachtet werden (vgl. METZLER & POHLE 2004; SCHRÖDER 2005). Ein geeignetes Werkzeug zur Hinterlegung der Abhängigkeiten der Risiken sowie dessen Integration im Risikoaggregationsprozess sind im Risikomodell vorzusehen.

Basierend auf diesen Anforderungen sollen in den folgenden Abschnitten die drei Hauptfunktionalitäten des Modells, d.h. die Bewertung der singulären Risikofaktoren, die Risikoclusterung sowie die Aggregation der Risiken, im Detail erörtert werden.

6.3.2 Methode zur Bewertung der singulären Risikofaktoren

Die Grundlage der Risikoanalyse ist die in Abbildung 6-2 vorgestellte Systematik zur Bewertung der Risikofaktoren. Unter Bewertung soll in diesem Zusammenhang die Ermittlung der *Tragweite* des Risikos verstanden werden. Dabei kann sich die Tragweite gemäß der zuvor aufgeführten Anforderungen sowohl auf die Ressourcenausprägung als auch auf die Wirkung im Zielsystem beziehen.

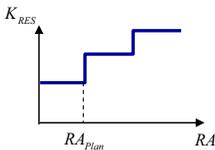
Um die Tragweite des einzelnen Risikofaktors zu ermitteln, werden gemäß der vorgestellten Bewertungssystematik die Varianz des durch das Risiko betroffenen Parameters vom Risikomodell in das Planungsmodell transferiert, um anhand der Ausprägung der Ressourcenvariation die Risikowirkung im Zielsystem analysieren zu können. In der Praxis zeigt sich, dass die Verwendung von stetigen Verteilungsfunktionen in der Bewertungssystematik sehr aufwändig ist, da zu einer wahrheitsgetreuen Ermittlung eine Vielzahl an Werten ins Planungsmodell eingesteuert und dann mittels des Risikomodells analysiert werden müssen. Daher wurde im Risikomodell ein Algorithmus zur Diskretisierung der Funktionen hinterlegt (vgl. Anhang 11.5), mit dessen Hilfe die stetigen Verteilungsfunktionen angenähert werden können. Da die Dichtefunktionen zur Beschreibung der Unsicherheiten in der Praxis meist anhand subjektiver Meinungen gebildet werden, bieten diese diskreten Funktionen eine Näherung in hinreichender Genauigkeit. Die in Abschnitt 5.4.2 angesprochene, in der Praxis am häufigsten verwendete, Best/Worst/Most-likely-Verteilung kann in diesem Sinne als eine Diskretisierung auf drei (diskrete) Werte interpretiert werden.

Die Bewertung der Tragweite in Bezug auf die Ressourcen wird in dem im vorherigen Abschnitt beschriebenen Planungsmodell durchgeführt. So kann bspw. eine Aussage für einen spezifischen Risikofaktor bzgl. des Flächenrisikos, des Risikos in Bezug auf die Betriebsmittelanzahl (und damit die erforderliche Investition) sowie des Risikos in Bezug auf das benötigte Personal getroffen werden. Um die Auswirkung auf das Zielsystem unter den in Abschnitt 6.1.3 getroffenen Annahmen zu bewerten, wurden die Transferfunktionen entwickelt, die mittels einer Variation der Ressourcenkosten die potentiellen (zusätzlichen) Risikoschadenskosten abbilden. Die Begründung für den Einsatz der Transferfunktionen liefert die Annahme, dass eine nachträgliche Adaption der Produktions-

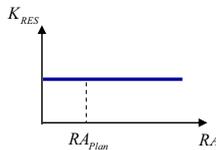
struktur in Bezug auf zusätzliche Ressourcen kostenintensiver ist³⁴. Diese Transferfunktionen müssen spezifisch für das jeweilige Projekt sowie die Ressourcenart ausgelegt werden (bzgl. Beispielen vgl. anschließende Diskussion). Die nachfolgende Abbildung visualisiert mögliche Funktionsverläufe der Transferfunktionen respektive Ressourcenkosten. Diese funktionalen Verläufe sind im Risikomodell hinterlegt und können vom Anwender entsprechend ausgewählt werden.

Typologisierung der Transferfunktionsverläufe:

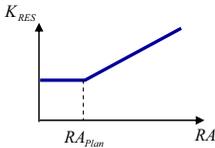
Zielsetzung:



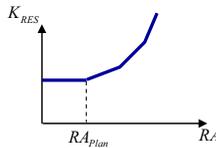
> Stufenfunktion <



> Konstant <



> Linear <



> Exponentiell <

Die Transferfunktionen beschreiben die (potentiellen) zusätzlichen Risikokosten auf Grund einer nachträglichen Adaptierung an die Produktionsstruktur.

Diese Zusatzkosten werden mit Hilfe der Variation der Ressourcenkosten in der Risikobetrachtung berücksichtigt.

Abszisse: RA - Anzahl/Ausprägung der spezifischen Ressource

RA_{Plan} - geplante Anzahl/Ausprägung der Ressource

Ordinate: K_{RES} - Kosten der Ressource in Euro

Abbildung 6-7: Zielsetzung und Typologisierung der Transferfunktionen zur Ermittlung der Adaptionkosten im Risikomodell

Die Transferfunktionen sind so konzipiert, dass sie bis zu einem spezifischen Wert RA_{Plan} konstante Werte für die einzelnen Ressourcen aufweisen. Dieser Wert entspricht dem aktuell geplanten Wert bzw. der geplanten Ressourcenausprägung. Die Kosten für die nachträgliche Adaptierung und damit zusätzliche Risikokosten können über den jeweiligen Funktionsverlauf individuell konfi-

³⁴ Eine ähnliche Logik verfolgt die in der Produktentwicklung geläufige *Rule-of-Ten* oder *Zehnerregel*. Sie besagt, dass der notwendige Aufwand und die entstehenden Kosten zur Fehlerbehebung mit dem Fortschreiten des Entwicklungsprozesses stark ansteigen (LINDEMANN 2006, S. 196 f.).

guriert werden. Da die Ressourcenkosten als Parameter selbst einen Risikofaktor darstellen, ist der Transfer anhand der Funktion in der singulären Bewertung immer relativ zu dem Erwartungswert dieser Ressourcenkosten, in der Aggregation der Risiken hingegen gemäß der für den spezifischen Simulationslauf aktuellen Ausprägung des Parameters durchzuführen.

Die Wahl der Transferfunktion muss, wie erwähnt, für den spezifischen Risikofall individuell erfolgen. Um die Auswahl einer geeigneten Ressourcenfunktion in der Planung zu unterstützen, sollen im Folgenden mögliche Auswirkungen der nachträglichen Ressourcenbeschaffung bzw. -integration diskutiert werden:

- *Transferfunktion für Betriebsmittel:* Im Rahmen der Betriebsmittelplanung wird die Anzahl der einzelnen Betriebsmittel bestimmt. Hier spielt insbesondere die Strategie der *economy of scales* eine Rolle, d.h. vor Vertragsabschluss mit dem Maschinenlieferant kann über die Anzahl der bestellten Betriebsmittel eine deutliche Preisreduzierung verhandelt werden. Bei einer nachträglichen Beschaffung einer oder mehrerer Betriebsmittel kann dieser Kostenvorteil u.U. nicht mehr ausgenützt werden. Zudem kann (bspw. auf Grund des Zeitdruckes und der Beschaffungszeiträumen für die Maschinen) ggf. nicht mehr der günstigste Anbieter am Markt, sondern nur der aktuell lieferfähige ausgewählt werden. Dies kann in Bezug auf die Kosten der Ressource zu einer erheblichen Steigerung führen und somit ein quantitatives Risiko bedeuten. Geeignete Funktionen zur Modellierung dieses Sachverhaltes sind somit zum einen der Typ *Linear*, zum anderen der Typ *Stufenfunktion*.
- *Transferfunktion für die Fläche:* Die Kosten eines nachträglichen Anbaus bzw. eines Zusatzgebäudes sind abhängig von der erforderlichen technischen Gebäudeausstattung (TGA) sowie vom Aufwand zur Adaptierung bzw. Integration. Letzterer kann beispielsweise bei einer vorgesehenen modularen Bauweise (vgl. WIENDAHL 2005) deutlich geringer ausfallen als bei einer konventionell geplanten Gebäudestruktur. Zudem kann die tatsächlich erweiterbare Fläche durch die verfügbare Grundstücksfläche beschränkt sein, so dass Zusatzkosten durch den Kauf, die Erschließung bzw. die Anbindung weiterer Flächen verursacht werden können. Eine geeignete Funktion zur Abbildung dieser Zusatzkosten für die Ressource *Fläche* ist daher der Typ *Stufenfunktion*, im Falle einer modularen Bauweise der Typ *Linear*.

- *Transferfunktion für Personal:* Die Ressource Personal ist nicht unbegrenzt am Markt verfügbar. Besonders die Rekrutierung und die hinreichende Qualifizierung der Werker können einen längeren Zeitraum beanspruchen. Eine nachträgliche Integration zusätzlicher Werker (bspw. durch einen Transfer aus anderen Werken oder durch eine Verpflichtung hoch qualifizierter Werker etc.) kann so zu deutlichen Mehrkosten (ausgedrückt in den Ressourcenkosten für direkte bzw. indirekte Mitarbeiter) führen. Unter der Annahme einer (in gewissen Grenzen) sehr großen Anzahl an verfügbaren qualifizierten Mitarbeitern kann der Funktionstyp *Konstant* gewählt werden. Ggf. ist auch der Typ *Stufenfunktion* geeignet.
- *Transferfunktion für Kapital:* Große Fabrikplanungsprojekte (sowohl Neuplanungen als auch Umplanungen) sind meist mit erheblichen Investitionen verbunden. Diese müssen über Eigen- oder Fremdkapital finanziert werden. Stehen im Rahmen eines Finanzierungskonzeptes der Finanzierungsumfang bzw. dessen Konditionen fest, so sind nachträgliche finanzielle (externe) Mittel meist nur zu schlechteren Konditionen am Markt erhältlich. Häufig wird jedoch im Rahmen der Kostenrechnung für einen bestimmten Zeitraum mit einem einheitlichen, unternehmensspezifisch festgelegten Zinssatz kalkuliert (vgl. WARNECKE ET AL. 2003, S. 148 f.), so dass der Typ *Konstant* für diesen Fall geeignet ist.

Zur Einbindung bzw. Auswahl der Ressourcenfunktion im Prozess der Risikobewertung ist die Zusammenarbeit mit den zuständigen Experten (bspw. dem Einkauf sowie der Prozessplanung für die Betriebsmittel oder dem Architekten und dem Gebäudeplaner für die Fläche, etc.) notwendig. Die Transferfunktionen für die Ressourcen *Fläche*, *Personal* sowie *Kapital* können, bspw. in einem Initialworkshop, einheitlich für das Planungsprojekt festgelegt werden. Die Transferfunktion für die Ressource *Betriebsmittel* ist jedoch abhängig vom jeweiligen Betriebsmitteltyp und sollte daher nach einer groben Festlegung im Planungsverlauf individuell angepasst werden.

Mit Hilfe der durchgeführten Analyse sowie des Einsatzes der Transferfunktion kann eine Aussage für jeden Risikofaktor im Hinblick auf die Ressourcenausprägung sowie die Auswirkung im Zielsystem getroffen werden. Dabei muss ein Risikofaktor nicht zwangsläufig immer eine Ausprägung hinsichtlich jeder Ressource aufweisen. Eine beispielhafte Analyse eines Risikofaktors mit Hilfe der zuvor beschriebenen Systematik ist in der folgenden Abbildung 6-8 visualisiert.

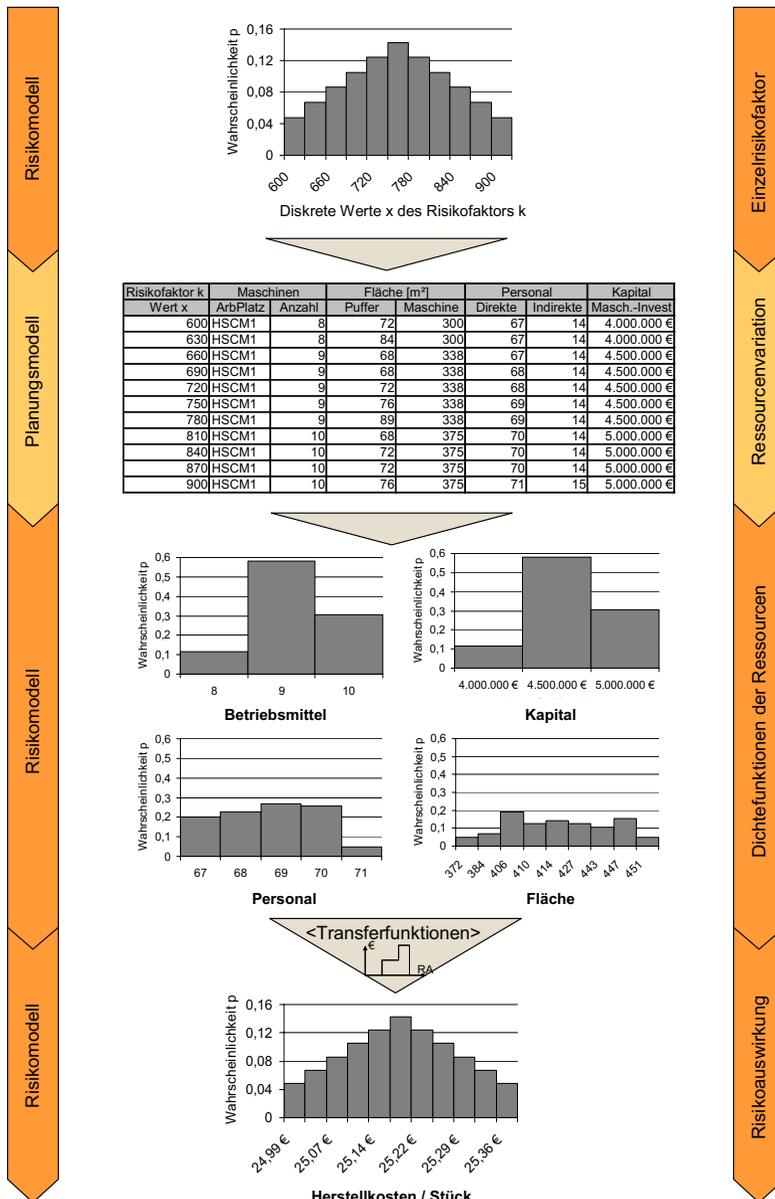


Abbildung 6-8: Beispiel zur Analyse eines singulären Risikofaktors

Aus den Dichtfunktionen bzgl. der Risikoausprägung hinsichtlich der Ressourcen bzw. aus den Dichtfunktionen der Herstellkosten kann das spezifische Risiko des Unsicherheitsparameters respektive Risikofaktors ermittelt werden. Gemäß der Risikodefinition aus Abschnitt 2.2.1 bezieht sich das Risiko immer auf den aktuellen Planwert (Abbildung 6-9).

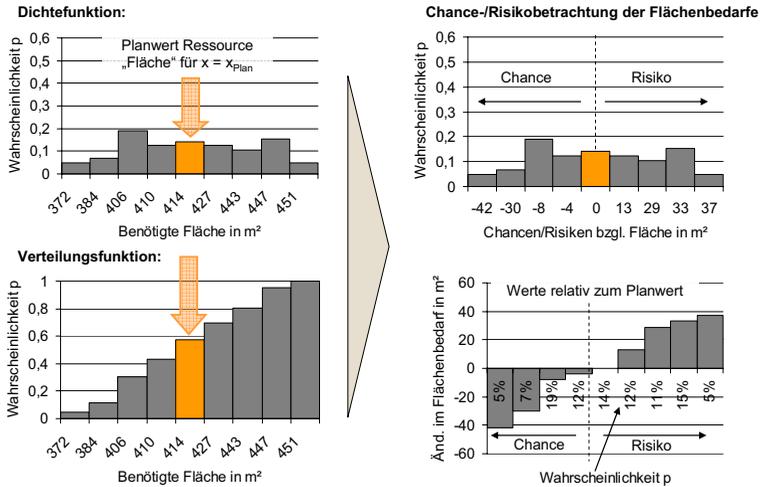


Abbildung 6-9: Chance-/Risikobetrachtung am Beispiel des Flächenbedarfs

Aus der Gegenüberstellung kann das jeweilige Einzelrisiko dafür abgelesen werden, dass bspw. der Flächenbedarf größer als der in der Planung vorgesehene Wert ist. Entsprechend kann auch für andere Ressourcen bzw. für die Herstellkosten verfahren werden. Insbesondere die Visualisierung der Verteilungsfunktion ist hilfreich, um eine ganzheitliche Aussage zu treffen, mit welcher Wahrscheinlichkeit der Planungswert hinreichend ist. Zusätzlich zu den Dichte- und Verteilungsfunktionen dienen auch die im Anhang (vgl. Abschnitt 11.3.2) definierten Kennwerte des Erwartungswertes, der Varianz und der Standardabweichung zur Beschreibung des Einflusses des Risikofaktors.

Mittels der Dichte- bzw. Verteilungsfunktion(en) können somit folgende elementaren Kennwerte³⁵ bzgl. der *Risikotragweite* des spezifischen Faktors im Sinne einer quantitativen Risikobewertung definiert werden:

a) Die Betrachtung des gemittelten Risikos:

$$RT_{k;Mid}^{HK} = \frac{\sum_{j=m}^n p_j \cdot (HK_j - HK_{Plan})}{P_{k;Risk}} \quad (6-1)$$

$$RT_{k;Mid}^{Res} = \frac{\sum_{j=m}^n p_j \cdot (RA_j^{Res} - RA_{Plan}^{Res})}{P_{k;Risk}} \quad (6-2)$$

$$P_{k;Risk} = \sum_{j=m}^n p_j \quad (6-3)$$

mit

$RT_{k;Mid}^{HK}$	gewichtete mittlere Risikotragweite in Bezug auf die Herstellkosten für den Risikofaktor k,
$RT_{k;Mid}^{Res}$	gewichtete mittlere Risikotragweite in Bezug auf die spezifische Ressource für den Risikofaktor k,
HK_j	Herstellkosten bei diskretem Wert j des Risikofaktors k
HK_{Plan}	Herstellkosten bei Planwert des Risikofaktors k,
RA_j^{Res}	Ressourcenausprägung der spezifischen Ressource bei diskretem Wert j des Risikofaktors k,
RA_{Plan}^{Res}	Ressourcenausprägung der spezifischen Ressource bei Planwert des Risikofaktors k,
$P_{k;Risk}$	(Gesamt-)Wahrscheinlichkeit des Eintretens des Risikos für den Risikofaktor k,
p_j	Wahrscheinlichkeit des Eintretens des diskreten Wert j des Risikofaktors k,
m	diskreter Wert des Risikofaktors k, ab dem die Herstellkosten größer als die geplanten Herstellkosten sind und
n	Anzahl der Diskretisierungsstufen für den Risikofaktor k.

³⁵ In den nachfolgenden Definitionen wird aus Gründen der Lesbarkeit auf die Indexierung der Herstellkosten HK bezüglich des Produktes (bspw. HK_{Prod}) verzichtet.

b) Die Worst-Case-Betrachtung:

$$RT_{k;Worst}^{HK} = \text{Max}(HK_j - HK_{Plan}) \quad (6-4)$$

$$RT_{k;Worst}^{Res} = \text{Max}(RA_j^{Res} - RA_{Plan}^{Res}) \quad (6-5)$$

$$P_{k;Worst} = P(RT_{k;j}^{HK} = RT_{k;Worst}^{HK}) \quad (6-6)$$

mit

$RT_{k;Worst}^{HK}$	Worst-Case der Risikotragweite in Bezug auf die Herstellkosten für den Risikofaktor k,
$RT_{k;Worst}^{Res}$	Worst-Case der Risikotragweite in Bezug auf die spezifische Ressource für den Risikofaktor k,
HK_j	Herstellkosten bei diskretem Wert j des Risikofaktors k
HK_{Plan}	Herstellkosten bei Planwert des Risikofaktors k,
RA_j^{Res}	Ressourcenausprägung der spezifischen Ressource bei diskretem Wert j des Risikofaktors k,
RA_{Plan}^{Res}	Ressourcenausprägung der spezifischen Ressource bei Planwert des Risikofaktors k und
$P_{k;Worst}$	Wahrscheinlichkeit für Worst-Case ³⁶ des Risikofaktors k.

Die beiden Kennzahlen $RT_{k;Mid}^{HK}$ sowie $RT_{k;Mid}^{Res}$ können gemäß der im Anhang beschriebenen Definition als *Erwartungswert der Risikotragweite* interpretiert werden. Zusätzlich zu der Visualisierung des Risikos als Dichte- und Verteilungsfunktion kann das Risiko somit über die zuvor aufgeführten Kennzahlen (quantitativ) beziffert werden.

Ein weiterer wichtiger Aspekt in der Analyse des singulären Risikofaktors ist die Evaluation der zeitlichen Implikation des Risikos. Aus der Ausprägung des Risikofaktors in Bezug auf die Ressourcen kann beurteilt werden, welche Ressourcenart(en) betroffen ist / sind. Mit Hilfe des Projektzeitplans kann dadurch der Zeitpunkt identifiziert werden, an dem die genaue Anzahl der Ressourcen dimensioniert sein sollte, ohne dass das Projekt in Bezug auf den Zielfaktor *Zeit* in Verzug gerät. Dieser Zeitpunkt ist maßgeblich für die Entscheidung bzgl. der Risikosteuerungsmaßnahmen – d.h. zu diesem Zeitpunkt muss bzw. müssen,

³⁶ Für eine Diskretisierung auf drei Stufen (d.h. Best/Worst/Most-likely-Case) sind der Wert $P_{k;Risk}$ und der Wert $P_{k;Worst}$ identisch.

sofern das Risiko noch besteht, eine oder mehrere Risikosteuerungsmaßnahmen eingeleitet werden, um das Risiko zu verringern. Hierauf wird im Abschnitt 7.1 zur Ableitung der Risikosteuerungsmaßnahmen detaillierter eingegangen. Im Schritt der Risikoanalyse ist somit nur die Bestimmung des Entscheidungszeitpunktes von Bedeutung.

6.3.3 Clusterung der bewerteten Risikofaktoren

Eine der im Abschnitt 1.2 aufgeführten Zielsetzungen des Konzeptes ist es, die Hauptrisikofaktoren zu identifizieren, um gezielte (Gegen-)Steuerungsmaßnahmen einzuleiten. Die Aufgabe der Clusterung³⁷ der Risikofaktoren ist es daher, die umfangreiche Menge der bewerteten Risikofaktoren so zu gliedern, dass diese Hauptrisiken übersichtlich präsentiert werden. Gemäß den Anforderungen an das Risikomodell muss die Clusterung ebenfalls wieder bereichs- bzw. kategorieabhängig (im Sinne der im vorherigen Kapitel vorgestellten Risikokategorien) durchführbar sein.

Eine Methode zur Clusterung bzw. übersichtlichen Gliederung der Risiken stellt die sog. *Risk Map*, häufig auch als Risikoportfolio bezeichnet, dar (DIEDERICHS 2004, S. 143 ff.; ROMEIKE 2004, S. 113). In ihr werden die Tragweite sowie die Eintrittswahrscheinlichkeit der Risikofaktoren des zu analysierenden Systems oder Bereiches aufgetragen, um einen Gesamtüberblick der Einzelrisiken für den Betrachtungsbereich zu bieten. Mittels der Positionierung des Risikos innerhalb der Risk Map kann dann eine Aussage über die *Bedrohlichkeit* bzw. das *Ausmaß* jedes einzelnen Faktors getroffen werden. Entsprechend der Definition der Risikotragweite in Bezug auf die Ressourcen sowie die Herstellkosten können unterschiedliche Typen von Risk Maps (Herstellkosten-Risk-Map, Flächen-Risk-Map, ...) erstellt werden.

Gemäß der im vorherigen Abschnitt ausgeführten Kennzahldefinition erfolgt die Ausgestaltung der Risk Map bzgl. einer Worst-Case- sowie einer Erwartungswertbetrachtung. Ferner kann die Darstellung absolut bzw. relativ zum Planwert RA_{Plan}^{Res} bzw. HK_{Plan} des analysierten Bereiches durchgeführt werden.

³⁷ In diesem Zusammenhang wurde der Begriff der Clusterung (engl. für Kategorisierung) gewählt, da der Begriff der *Kategorisierung der Risiken* bereits in der Phase der Risikoidentifikation (vgl. Kapitel 5) in Bezug auf die Risikoart bzw. den Risikotyp eingeführt wurde.

Die folgende Abbildung 6-10 listet die verschiedenen Gliederungsmöglichkeiten der Risk Map auf und visualisiert ein Beispiel.

Kategorisierung der Risk Maps:

Level	Typ	Bezug	Risikowert
Bereich / Ebene	Ressource oder HK	Absolut / relativ	Worst Case / erwartet

Beispielhafte Darstellung der Risk Map:

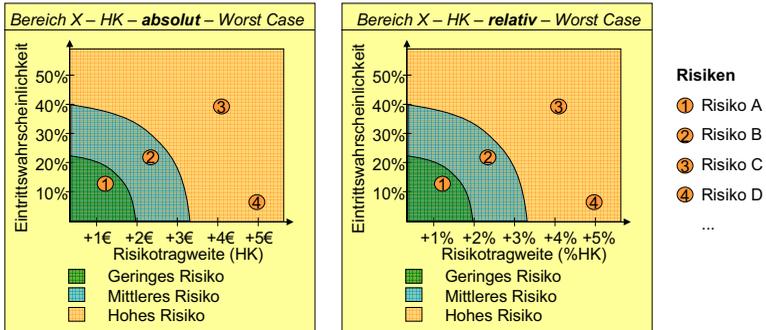


Abbildung 6-10: Die Methode der Risk Map zur Clusterung der Risikofaktoren

Die Skalierung der einzelnen Achsen sowie die Festlegung der Cluster bzgl. des Ausmaßes sind individuell für den spezifischen Planungsfall zu gestalten. Für eine Beurteilung des Risikos bzw. eine Festlegung der Cluster (d.h. die Einteilung in geringes, mittleres oder hohes Risiko) bietet sich die Absolut / Relativ-Darstellung der Herstellkosten-Risk-Map an, da diese die letztendliche Risikoauswirkung im Zielsystem abbildet. Dennoch sind auch die anderen Risk Maps im Planungsverlauf von Bedeutung, um bspw. aufzeigen zu können, welche Risikofaktoren im Moment den größten (Risiko-)Einfluss auf die Flächendimensionierung etc. haben.

Die Ergebnisse der Bewertung sowie der Clusterung der Risikofaktoren können abschließend in die dynamische Risikomatrix integriert werden. Diese wird im Abschnitt 7.1 als Hilfsmittel zur Überwachung des Risikos weiter detailliert.

6.3.4 Aggregation der Risiken zur Gesamtrisikosicht

Die bisherige Betrachtung der Risiken war auf die Sichtweise eines einzelnen Risikofaktors beschränkt. Um die Gesamtheit der Auswirkung aller Risikofaktoren

ren bestimmen zu können, müssen diese Risiken (auf-)aggregiert werden. Die Zielsetzung der Risikoaggregation ist somit eine auf die Risikoanalyse aufbauende Bestimmung des Gesamtrisikoumfanges (GLEIBNER 2004, S. 31).

Der Ausgangspunkt der Risikoaggregation ist die Sammlung der Dichte- bzw. Verteilungsfunktionen bzgl. der Tragweite der Einzelrisiken. Bei der Aggregation der Risiken im Fabrikplanungsprozess gilt es zwei Aspekte zu berücksichtigen: Zum einen muss die Aggregation nicht nur auf dem Zielauswirkungslevel (hier: Herstellkosten), sondern auch für die Risikoausprägung bezüglich der Ressourcen erfolgen, zum anderen muss die Aggregation auf unterschiedlichen Systemebenen des Produktionssystems möglich sein. So können die Projektleitung bzw. der Fabrikplaner die Unsicherheit in den Ressourcenbedarfen dieser Bereiche analysieren und an beteiligte Partner (wie z.B. den Flächenbedarf an den Architekten) kommunizieren sowie die Gesamtsicht in Bezug auf die Zielgrößen des Planungsprojektes analysieren.

Die nachfolgende Abbildung 6-11 visualisiert das Prinzip der Risikoaggregation sowie die relevanten Aggregationsstufen in der Gestaltung von Produktionssystemen.

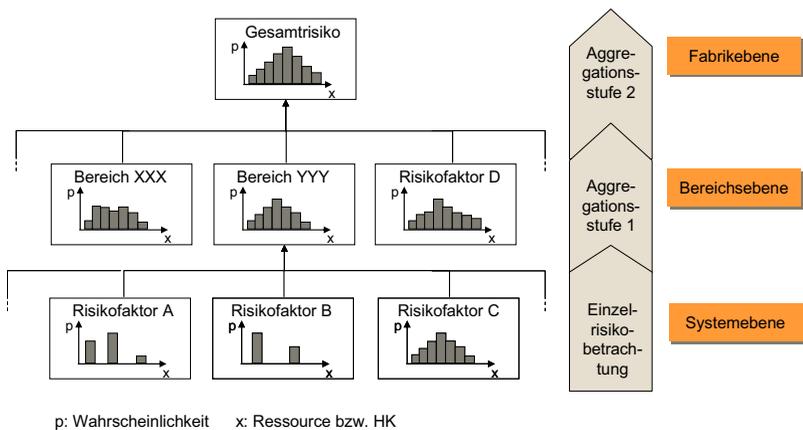


Abbildung 6-11: Die Aggregationsstufen zur Bereichs- oder Gesamtrisikosicht

Auf Systemebene werden die Einzelrisikofaktoren, wie in den vorherigen Abschnitten ausgeführt, analysiert. Aggregationsstufe 1 bezieht sich auf die Produktions- oder Logistikbereiche, Aggregationsstufe 2 auf die gesamte Fabrik. Letztere dient somit zur Analyse der Gesamtrisikosituation, welche insbe-

sondere für die Risikoüberwachung im Planungsprozess eine entscheidende Rolle spielt (vgl. hierzu Abschnitt 7.2).

Die Aggregation der Risiken zu den Verteilungsfunktionen der Risikotragweite je Ebene kann mittels folgender zwei Verfahren durchgeführt werden (vgl. BUSCH 2005, S. 163; SCHREIBER 1994, S. 90 f.):

- a) Methoden der Wahrscheinlichkeitsrechnung
- b) Simulationsmethoden

Die Berechnung der Dichte- bzw. Verteilungsfunktionen der aggregierten Risiken mittels Methoden der Wahrscheinlichkeitsrechnung (Punkt a) ist mit vertretbarem Aufwand nur für stochastisch unabhängige Einzelrisiken durchführbar (BUSCH 2005, S. 163). Da dies in der Praxis nicht immer der Fall ist (siehe auch das Beispiel zur Korrelationsmatrix in diesem Abschnitt auf S. 110) und zudem mit Hilfe des Planungs- bzw. Risikomodells bereits eine Modellierungsgrundlage für die Simulationsmethoden geschaffen wurde, soll im Rahmen der vorliegenden Arbeit das zweite Verfahren, die Simulationsmethoden (Punkt b), weiter verfolgt werden.

Das in der Praxis zur Risikobewertung bzw. Risikoaggregation wichtigste Simulationsverfahren ist die Monte-Carlo-Simulation (GLEIBNER 2004, S. 31). Die Monte-Carlo-Simulation (MCS) stellt ein Verfahren zur numerischen Lösung mathematischer Problemstellungen durch die Verwendung von Zufallszahlen, mit denen Zufallsereignisse erzeugt werden, dar (FISHMAN 2004; FREY & NIEßEN 2005; KOHLAS 1972; MERTENS 1982, S. 10). Sie wird eingesetzt, wenn auf Grund der hohen Komplexität eine analytische Lösung des Problems nicht oder nur mit sehr großem Aufwand möglich ist. Die Grundlage der MCS ist dabei die Durchführung einer großen Anzahl von Simulationsläufen, wobei jeder Simulationslauf einer Kombination möglicher Zufallsereignisse entspricht. Die Basis für diese Simulationsläufe ist ein (mathematisches) Modell, das die Verknüpfung der Einflussgrößen mit den Zielgrößen abbildet. Die Auswahl der Einflussgröße x_i über eine Zufallszahl erfolgt anhand der Umkehrfunktion der Verteilungsfunktion $F^{-1}(X_i) = x_i$, d.h. durch Ziehung der Zufallszahl wird der Wert der Einflussgröße bestimmt. Insbesondere bei einer hohen Anzahl von Faktoren bzw. wenn einige dieser Faktoren stetig verteilt sind, muss die Anzahl der in der MCS durchzuführenden Simulationsläufe sehr groß gewählt werden, um einen

der Wirklichkeit hinreichend³⁸ genau angenäherten Verlauf der aggregierten Dichte- bzw. Verteilungsfunktion zu erhalten. Eine Diskretisierung der stetigen Dichtefunktionen, wie in Abschnitt 6.2.2 angesprochen, kann die erforderliche Anzahl daher deutlich reduzieren.

Bei der Aggregation der Risikofaktoren muss, wie zuvor erwähnt, deren Abhängigkeit voneinander, d.h. ihre Korrelation (vgl. Anhang 11.3.2), überprüft werden. Diese Korrelation bzw. die zugehörigen Korrelationskoeffizienten ρ_{xy} können in eine sog. *Korrelationsmatrix* übertragen werden (Abbildung 6-12).

Nr.	...	34	35	36	37	38	...
...
34	Prozesszeit OP10 - R4000-Base	1	1	1	0	0	...
35	Prozesszeit OP10 - R4000-VarA	1	1	1	0	0	...
36	Prozesszeit OP10 - R4000-VarB	1	1	1	0	0	...
37	Verfügbarkeit BAZ-Cases (OP10)	0	0	0	1	0	...
38	Flächenbedarf BAZ-Cases (OP10)	0	0	0	0	1	...
...

Abbildung 6-12: Die Korrelationsmatrix als Methode zur Abbildung von Abhängigkeiten zwischen Risiken

Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass die Faktoren Nr. 34, 35 und 36 positiv mit Korrelationskoeffizient 1 korrelieren. Dies bedeutet, dass im Eintretensfall von Nr. 34 auch Nr. 35 und Nr. 36 eintreten werden und umgekehrt. Zu den Faktoren Nr. 37 und Nr. 38 hingegen besteht keinerlei Korrelation. Um die Bestimmung der Korrelationskoeffizienten in der Praxis einfach zu gestalten, kann nur von jeweils vollständiger positiver bzw. negativer Korrelation ausgegangen werden (d.h. die Korrelationskoeffizienten sind gleich +/-1). Die Korrelations-

³⁸ „Hinreichend genau“ bedeutet in diesem Fall, dass bspw. der Fehler bzw. die Abweichung bei der Bestimmung des Mittelwertes bzw. der Varianz bei mehrmaliger Durchführung der MCS innerhalb eines bestimmten, vom Anwender festzulegenden Toleranzbereiches liegt.

analyse muss mit Hilfe der für die jeweiligen Faktoren zuständigen Experten durchgeführt werden. Hierbei sollten zunächst alle unabhängigen Risikofaktoren und anschließend alle Risikofaktoren, die aus der gleichen Risikoursache resultieren (vgl. die Systematik zur Risikoauswirkung in Abbildung 5-1), bestimmt werden. Die Ergebnisse der Analyse können schließlich in der Korrelationsmatrix hinterlegt und deren Konsistenz überprüft werden³⁹.

Der Gesamtablauf der Risikoaggregation ist in Abbildung 6-13 dargestellt.

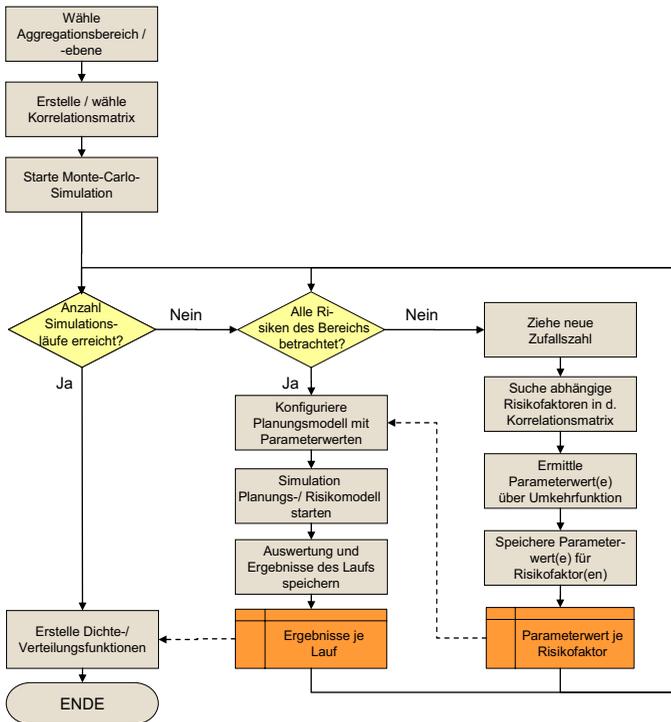


Abbildung 6-13: Der Ablauf der Monte-Carlo-Simulation zur Risikoaggregation auf Bereichs- / Gesamtebene

³⁹ Um die Konsistenz bzw. Gültigkeit der Korrelationsmatrix zu überprüfen, empfiehlt es sich, eine Eigenwertanalyse durchzuführen. Eine Matrix ist dann konsistent, wenn sie mindestens semidefinit ist, d.h. ihre Eigenwerte λ_i müssen alle größer oder gleich null sein, und mindestens ein Eigenwert muss größer als null sein (vgl. MEYBERG & VACHENAUER 1995, S. 351 f.).

Basierend auf der Auswahl der Aggregationsebene und der Festlegung der Korrelationen der Einzelrisiken werden für die einzelnen MCS-Läufe über die Zufallszahlziehung die Parameterwerte der Risikofaktoren bestimmt und im Planungsmodell hinterlegt. Nach der Simulation der Ressourcenausprägung bzw. der Risikoauswirkung im Planungsmodell respektive Risikomodell werden die Ergebnisse für jeden einzelnen MCS-Lauf abgespeichert. Zum Abschluss können mittels der gespeicherten Ergebnisse die Dichte- bzw. Verteilungsfunktionen der aggregierten Ressourcenbedarfe oder der Herstellkosten erstellt und für die weitere Analyse verwendet werden.

Auf Grund der Anzahl der Einzelrisiken und ihrer Wertevarianz kann es bzgl. der Wahrscheinlichkeitsverteilung zu einer hohen Streuung in den aggregierten Werten der Ressourcen bzw. Herstellkosten kommen. Die grafische Darstellung der Dichtefunktion ähnelt dann nur noch einer Punktwolke und nicht mehr einem Histogramm. Ihre Aussagekraft ist somit stark begrenzt. In der Praxis empfiehlt es sich daher, Wertebereiche festzulegen, in denen die Wahrscheinlichkeiten der einzelnen Werte aufaddiert werden. Somit kann eine Aussage bzgl. des Eintritts des jeweiligen Wertebereichs getroffen werden. Ein Beispiel einer aggregierten Risikosicht mit Wertebereichen ist in der nachfolgenden Abbildung 6-14 illustriert.

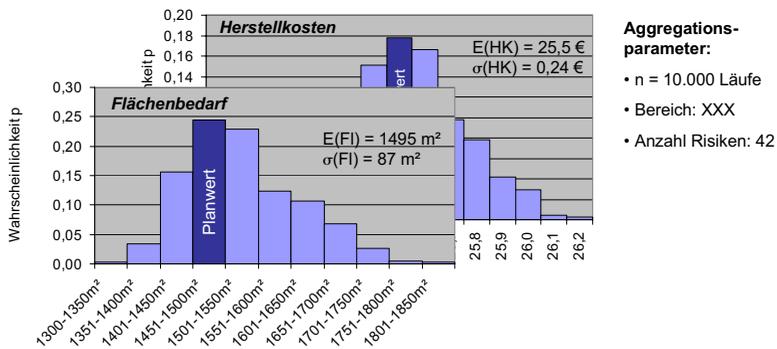


Abbildung 6-14: Beispielhaftes Ergebnis der Risikoaggregation

Die in Abschnitt 6.3.2 definierten Kennzahlen zur Risikobewertung können ebenso auf die aggregierte Risikoverteilung angewendet werden: Dabei bedeuten die Kennzahlen $RT_{Agg;Worst}^{HK}$ bzw. $RT_{Agg;Worst}^{Res}$ die Risikotragweite für die Worst-Case-Betrachtung und $RT_{Agg;Mid}^{HK}$ bzw. $RT_{Agg;Mid}^{Res}$ die gemittelte Risikotragweite des spezifischen Aggregationslevels.

Mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitsverteilung können nun geeignete Quantile (zur Definition des Quantils vgl. Anhang 11.3.2) gewählt werden, um eine Aussage bzgl. der erforderlichen Ressourcenbedarfe bzw. der Herstellkosten auf einem bestimmten Konfidenzniveau zu treffen. Eine in der Finanzmathematik häufig verwendete Quantilitätsaussage ist dabei der sog. Value-at-Risk (VaR). Der VaR bezeichnet dabei die auf einem gegebenem Wahrscheinlichkeitsniveau (oder Konfidenzniveau) maximale negative Abweichung vom Erwartungswert⁴⁰ der jeweiligen Zielgröße (vgl. BURGER & BUCHHART 2002, S. 121 f.) und wird meist auf das Konfidenzniveau von 95% bezogen. Wird dieser Sachverhalt auf den im vorliegenden Konzept fokussierten Zielwert der Herstellkosten transferiert, so kann die Kennzahl $RT_{Agg,Konfid}^{HK}$ definiert werden, die (gemäß der Risikodefinition) die maximale negative Abweichung vom Planwert der Herstellkosten auf einem vorgegebenen Konfidenzniveau angibt (beispielsweise für Konfidenzniveau von 95%: $RT_{Agg,95\%}^{HK}$). Mittels einer Multiplikation des Wertes mit der Stückzahl des betrachteten Szenarios kann damit das Gesamtrisiko kalkuliert werden. Entsprechende Kennzahlen können auch für die einzelnen Ressourcen gebildet werden ($RT_{Agg,Konfid}^{Res}$).

Mit der aggregierten Darstellung der Risiken zur Gesamtrisikosicht steht dem Fabrikplaner bzw. der Projektleitung ein Hilfsmittel zur Verfügung, um die aktuelle Zielerreichung sowie die enthaltenen Risiken beurteilen zu können. Dies wird insbesondere im folgenden Kapitel zur Risikoüberwachung angewendet.

6.4 Zwischenfazit

Die Risikoanalyse bildet den zweiten Hauptprozess des Gesamtkonzeptes und dient zur vollständigen Bewertung und Clusterung der identifizierten Risikofaktoren sowie einer Aggregation hin zur Gesamtrisikosicht.

Die vorgestellte Systematik zur Bewertung der Risiken beruht dabei auf der Methode der (System-)Modellierung. Hierzu wurde zum einen das Planungs-

⁴⁰ Eine weit verbreitete, alternative Definition des VaR bezieht sich nicht auf den Erwartungswert, sondern gibt allgemein die bei gegebenem Konfidenzniveau mindestens erzielbare Ausprägung der betrachteten Zielgröße an (vgl. bspw. DIEDERICHS 2004, S. 166 ff.; ROMEIKE 2004, S. 145).

modell vorgestellt, das die Funktionalität des Szenariomanagements, der parametrisierten Konfiguration der Abläufe und Strukturen sowie der Ressourcendimensionierung bietet. Zum anderen wurde das Risikomodell entwickelt, in dem die Bewertung der Einzelrisiken sowie deren Clusterung, die Abbildung der Interdependenzen zwischen den Risiken und die Aggregation zum Gesamtrisiko mittels Monte-Carlo-Simulation erfolgt. Die Grundlage der Bewertungssystematik ist dabei die Interaktion der Modelle über eine Variation der spezifischen Parameter resp. Risikofaktoren und der daraus resultierenden Ressourcenausprägung. Dieser Bewertungssystematik liegt die Annahme zu Grunde, dass der aktuelle Planungsstand realisiert wird und nachträglich die benötigten zusätzlichen Ressourcen adaptiert werden müssen. Die Kosten für diese Adaption werden über die im Risikomodell hinterlegten, ressourcenspezifischen Transferfunktionen abgebildet.

Das Ergebnis der Risikoanalyse sind die Dichte- und Verteilungsfunktionen der Ressourcen bzw. Herstellkosten für ein Einzelrisiko oder auf einem spezifischen Level aggregiert, anhand derer die Aussagen bzgl. der Risikotragweite getroffen werden können.

Nach der Analyse der Risiken müssen nun als nächster Schritt geeignete Steuerungsmaßnahmen ausgearbeitet bzw. für die Anwendung im Fabrikplanungsbereich spezifiziert werden. Auf Basis der in der Analyse durchgeführten Clusterung der Risiken können die Hauptrisikofaktoren identifiziert und die Steuerungsmaßnahmen somit priorisiert werden. Das nächste Kapitel beschreibt ebendiese Steuerung der Risiken sowie deren Überwachung im Planungsverlauf.

7 Steuerung und Überwachung des Risikos im Planungsprozess

„We cannot direct the wind, but we can adjust the sails.“

KIYOSHI SUZAKI

Aufbauend auf den in den vorherigen beiden Kapiteln 5 und 6 ausgeführten Schritten der Risikoidentifikation sowie der Risikoanalyse sollen im Folgenden nun die abschließenden Schritte zur Komplettierung des integrierten Risikomanagementansatzes beschrieben werden. Diese zwei letzten Hauptprozesse des Konzeptes, die Risikosteuerung sowie die Risikoüberwachung, werden in diesem Kapitel gemeinsam behandelt, da die Einleitung der Steuerungsmaßnahmen stets vom Status des Projektablaufes abhängt. Diese Synchronisation zwischen dem zeitlichen Projektfortschritt und dem Gesamtrisiko erfolgt in der Risikoüberwachung. Zudem muss mittels der Risikoüberwachung die Wirkung der eingesteuerten Maßnahmen überprüft werden. Eine ganzheitliche Betrachtung des Steuerungs- und Überwachungsprozesses ist somit unabdingbar.

Der Prozess der Risikosteuerung wird in Abschnitt 7.1 beschrieben. Zunächst werden auf Basis der allgemeinen Risikosteuerungsstrategien geeignete Maßnahmen in Bezug auf die Ablauf- und Strukturplanung abgeleitet und systematisiert. Anschließend wird ein Ansatz erörtert, um den Einsatz der spezifischen Maßnahmen zu bewerten, sowie die projektzeitplanspezifische Einsteuerung der identifizierten Maßnahmen diskutiert. Die Synchronisation der Risikosteuerung mit dem Projektverlauf wird in dem in Abschnitt 7.2 beschriebenen Prozess der Risikoüberwachung vorgestellt. Hierzu wird zunächst der Risikomonitor als Werkzeug zur kontinuierlichen Überwachung der Gesamtrisikosituation sowie der einzelnen Risiken erläutert. Darauf aufbauend werden so genannte Risk Gates für die Fabrikplanung konzipiert, die Kontrollpunkte in Bezug auf die Risikosituation im Phasenverlauf der Fabrikplanung darstellen. Das Zwischenfazit in Abschnitt 7.3 fasst die Ergebnisse des Kapitels zusammen.

7.1 Risikosteuerung im Planungsprozess

Die Risikosteuerung bildet den dritten Hauptprozess des integrierten Konzeptes. Ihre Aufgabe ist die proaktive Beeinflussung der im Rahmen der Risiko-

identifikation und -analyse ermittelten Risiken unter Berücksichtigung der individuellen Unternehmensstrategie (DIEDERICHS 2004, S. 188). Übertragen auf den Fabrikplanungsprozess umfasst der Schritt der Risikosteuerung somit die Einleitung entsprechender Maßnahmen zur Beeinflussung der identifizierten Risikofaktoren unter Berücksichtigung der spezifischen Projektziele des (Fabrik-)Planungsprojektes.

Wie im erweiterten Regelkreis der Ablauf- und Strukturgestaltung (vgl. Abbildung 4-3 auf Seite 59) ersichtlich, werden im Prozess der Risikosteuerung Maßnahmen für die Risiken ausgewählt, die dann in der Planung umgesetzt werden. Die Risikosteuerung umfasst dabei die folgenden drei Aspekte:

- Ableitung geeigneter Steuerungsmaßnahmen im Hinblick auf die Ablauf- und Strukturgestaltung in Fabrikplanungsprojekten
- Bewertung der Steuerungsmaßnahmen in Bezug auf Kosten-Nutzen-Verhältnis
- Ermittlung des optimalen Zeitpunktes zur Ausführung der Steuerungsmaßnahmen

Diese Aspekte sollen in den folgenden Abschnitten im Detail ausgeführt bzw. diskutiert werden.

7.1.1 Ableitung geeigneter Steuerungsmaßnahmen für die Ablauf- und Strukturplanung

Im Fokus der vorliegenden Arbeit stehen die Risiken in der Ausgestaltung bzw. Dimensionierung der Abläufe und Strukturen von Produktionssystemen im Rahmen der Fabrikplanung. In diesem Abschnitt werden daher Steuerungsmaßnahmen vorgestellt, anhand derer diese Risiken im Planungsablauf aktiv beeinflusst werden können. Die Steuerungsmaßnahmen müssen dabei individuell für jeden Risikofaktor festgelegt und umgesetzt werden. Einzelne Maßnahmen, bspw. die Integration von *Expansionsfläche*, können aber die Auswirkung mehrerer Risiken adressieren.

In der Literatur werden generell zwei Vorgehensweisen unterschieden: die ursachen- und die wirkungsbezogenen Maßnahmen (vgl. u.a. DIEDERICHS 2004, S. 188 f.; ROGLER 2002, S. 22 ff.; ROHRSCHEIDER 2006, S. 67 f.). Die ursachenbezogenen Maßnahmen fokussieren sich darauf, die Eintrittswahrscheinlichkeit

der Risiken zu minimieren, um im Risikoentstehungsprozess die Wurzel des Risikos zu beeinflussen. Die Intention wirkungsbezogener Maßnahmen zielt hingegen auf eine Reduzierung des Schadensausmaßes ab und richtet sich somit gegen die materielle Dimension des Risikos. Abbildung 7-1 veranschaulicht diese zwei grundlegenden Arten der Risikosteuerung.

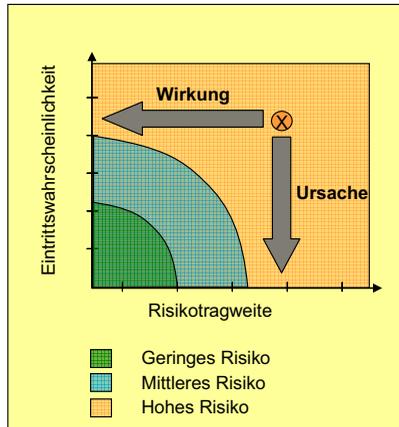


Abbildung 7-1: Grundsätzliche Typologisierung der Risikosteuerungsmaßnahmen in „ursachen- vs. wirkungsbezogen“

Auf den Planungsprozess bezogen bedeuten die ursachenbezogenen Maßnahmen daher, eine Verbesserung des Informationsstandes⁴¹ zu erreichen und somit die Unsicherheit zu reduzieren (vgl. auch die Typologisierung der Unsicherheiten in Abschnitt 5.3). Gemäß SCHOLL (2003, S. 1) kann dies durch eine Detaillierung von Grobinformationen, eine Falsifizierung oder Bestätigung bisheriger Annahmen, eine Verbesserung von Wahrscheinlichkeitsaussagen oder einen endgültigen Eintritt bestimmter Ereignisse geschehen. Die wirkungsbezogenen Maßnahmen bedeuten im Kontext der Fabrikplanung hingegen eine Umplanung oder Änderung der aktuell geplanten Prozesse bzw. Strukturen, um so die Wirkung der Risiken zu reduzieren bzw. zu eliminieren.

⁴¹ Die Zunahme des Informationsstandes im Projektverlauf ist ein Charakteristikum von Fabrikplanungsprojekten. Die ursachenbezogenen Risikosteuerungsmaßnahmen (d.h. die Erarbeitung detaillierterer Informationen) sind somit teilweise bereits Bestandteil der ursprünglichen Projektplanung. Da insbesondere eine frühzeitigere Informationsbeschaffung zur Risikovermeidung beitragen kann, sollen sie dennoch als Maßnahmen in den Katalog aufgenommen werden.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurde ein Katalog an Maßnahmen erstellt, der exemplarisch sowohl ursachen- als auch wirkungsbezogene Steuerungsmaßnahmen für die Gestaltung der Abläufe und Strukturen in Fabrikplanungsprojekten beinhaltet. Er soll dem Planer im konkreten Planungsfall als Leitfaden dienen. Der Aufbau des Kataloges wurde dabei durch eine Synthese der in Abbildung 7-2 verdeutlichten Systematiken vorgenommen.

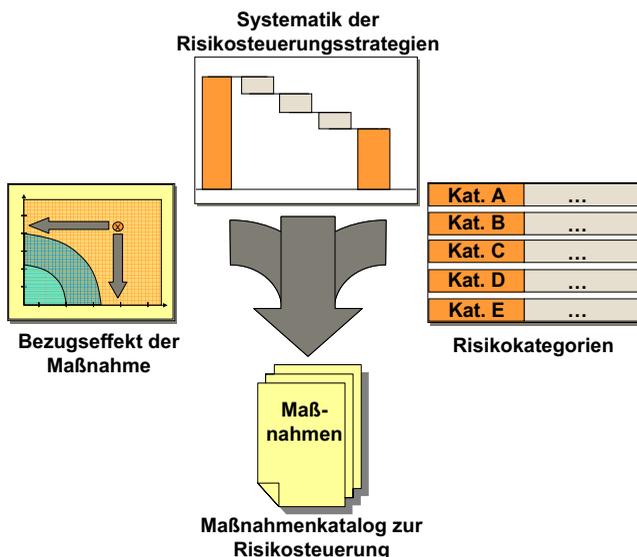


Abbildung 7-2: Systematik zur Ableitung des Maßnahmenkatalogs für die Risikosteuerung in der Ablauf- und Strukturgestaltung

Die *Risikosteuerungsstrategien* werden dabei in die vier grundlegenden Arten der Vermeidung, der Verminderung, des Transfers und des Selbsttragens unterschieden (vgl. Abbildung 2-8 auf Seite 26). Zusätzlich zu dem *Bezugseffekt der Maßnahme* (wirkungs- vs. ursachenbezogen) muss ferner eine Eignung bzgl. der *Risikokategorien* (Produktisiko, Prozessrisiko, ...) integriert werden. Das Ergebnis, der Maßnahmenkatalog⁴², ist in Abbildung 7-3 illustriert.

⁴² Bezüglich einer detaillierten Erläuterung bzw. Definition der einzelnen Maßnahmen sei auf den Anhang (Abschnitt 11.2) verwiesen.

Strategie	Maßnahme	Beispiel	Bezug		Risikokategorie					
			Wirkung	Ursache	Produktisiko	Prozessrisiko	Logistikrisiko	Ressourceneigen-schaftsrisiko	Ressourcen-kostenrisiko	
Vermeidung	M1.1	Abbruch des (Teil-)Projektes	Abbruch des Projektes, da Risiken zu hoch erscheinen	√		●	●	●	●	●
	M1.2	Eliminierung der Unsicherheit	Designfreieze des Bauteiles; Validierung der Prozessparameter, etc.		√	◐	●	●	●	●
	M1.3	Max. Ressourceninvest	Integration der zusätzlich erforderlichen Ressourcen in den Planungsstand	√		●	●	●	●	
	M1.4	Bauteil / Prozess eliminieren	Produktgestaltung so, dass risikobehafteter Prozess nicht mehr benötigt wird	√		◐	●	●	●	●
Verminderung	M2.1	Reduzierung der Unsicherheit	Einschränken von Unsicherheiten durch Tests, Simulationen, Festlegungen, etc.		√	◐	●	●	●	●
	M2.2	Abänderung Bauteil / -gruppe	Umgestaltung des Bauteiles oder der Baugruppe, so dass Risiko reduziert wird		√	◐	●	●	●	◐
	M2.3	Investition in Flexibilität	Investition in Flexibilitätsreserven (bspw. Varianten- oder Volumenflexibilität)	√		●	●	●	◐	
	M2.4	Investition in Wandlungsfähigkeit	Investition in modulare Strukturen oder Betriebsmittel für einfache Erweiterungsfähigkeit	√		●	●	●	◐	
	M2.5	Zusatzressourcen vorsehen	Investition in Zusatzressourcen (bspw. Expansionsflächen) - kein Maximalinvest	√		●	●	●	●	
	M2.6	Alternative Ressource	Ersatz durch alternatives Betriebsmittel (weniger risikobehaftet) in Planung		√	◐	◐	◐	●	●
	M2.7	Alternativer Prozess(schritt)	Auswahl einer alternativen Technologie / eines alternativen Prozesses		√	◐	●	◐	●	●
Transfer	M3.1	Outsourcen des Bauteiles	Outsourcen des Komplett-Bauteils an externen Zulieferer (Risikotransfer)	√		●	●	●	●	●
	M3.2	Outsourcen des Prozesses	Outsourcen des risikobehafteten Prozessschrittes an Zulieferer	√		●	●	●	●	●
	M3.3	Vertragliche Absicherung	Vertragliche Absicherung von Maschineneigenschaften incl. Schadensersatzzahlungen etc.	√		◐	◐	●	●	◐
Selbsttragen	M4.1	Akzeptanz des Risikos	Keine Einleitung von Maßnahmen: potentieller Risikoschaden wird akzeptiert	n/a	n/a	●	●	●	●	●

● geeignet ◐ teilweise geeignet

Abbildung 7-3: Maßnahmenkatalog zur Risikosteuerung für die Ablauf- und Strukturgestaltung in Fabrikplanungsprojekten

Mit Hilfe des Kataloges können verschiedene geeignete, potentielle Maßnahmen für die einzelnen Risikofaktoren ausgewählt werden. Dabei gilt es zu beachten, dass nicht jedes Risiko vermindert oder eliminiert werden kann bzw. dass bewusst Risiken eingegangen werden (Steuerungsstrategie *Selbsttragen* oder *Risikoakzeptanz*). Die verbleibenden Risiken werden als das sog. *Restrisiko*

ko bezeichnet. Die Reaktion auf dieses Restrisiko kann unterschiedlich sein. Im schlimmsten Fall muss das Projekt abgebrochen werden, da die Risiken in Bezug auf den geplanten Zielwert zu groß erscheinen (vgl. auch später das Konzept der Risk Gates, Abschnitt 7.2.2). Zudem kann der (vorgegebene) Zielwert angepasst werden, so dass der geplante Zielwert mitsamt den enthaltenen Risiken diesen Wert nicht überschreitet. Die Auswirkung auf die Profitabilität des Projektes muss dabei jedoch berücksichtigt werden. Schließlich kann das verbleibende Restrisiko akzeptiert und der Planungsprozess fortgesetzt werden.

Bei der Auswahl der Steuerungsmaßnahmen kommt der aggregierten Darstellung der Ressourcen bzw. der Zielgröße eine besondere Bedeutung zu. Insbesondere bei den Flächenbedarfen kann der Planer über eine Integration von Expansionsflächen die Auswirkung mehrerer Risiken (zumindest in Bezug auf einen nachträglichen Anbau) reduzieren. Anhand der aggregierten Darstellung der Ressource *Fläche* für die einzelnen Bereiche kann dabei eine Entscheidung in Bezug auf die zu planende Dimension auf einem bestimmten Konfidenzniveau getroffen werden.

Nicht alle Maßnahmen liegen in der Hand des Fabrikplaners. Deswegen ist bei der Erarbeitung konkreter Risikosteuerungsmaßnahmen die Festlegung von Verantwortlichkeiten bzgl. der Durchführung wichtig. Dazu müssen innerhalb der Projektorganisation die verantwortliche(n) Person(en) (engl. Risk Owner) benannt werden, der/die für die Umsetzung der Maßnahmen verantwortlich ist/sind. In der Risikoüberwachung (vgl. Abschnitt 7.2) kann der Erfolg dieser Umsetzung kontrolliert werden.

Nach der Sammlung geeigneter Maßnahmen muss eine Auswahl der auszuführenden Maßnahme(n) bzw. die Festlegung von deren Dimension getroffen werden, was im folgenden Abschnitt erläutert wird.

7.1.2 Auswahl und Bewertung der Auswirkung der Steuerungsmaßnahmen

Bei der Auswahl einer oder mehrerer geeigneter Risikosteuerungsmaßnahmen muss auf ein ausgewogenes Kosten-Nutzen-Verhältnis geachtet werden. D.h. es muss ein Abgleich zwischen der Risikotragweite (d.h. der Bedrohlichkeit bzw. des Ausmaßes des Risikos) und der Eintrittswahrscheinlichkeit sowie den Kosten bzw. dem Aufwand für die geplanten Steuerungsmaßnahmen vorge-

nommen werden. Die Zielsetzung der Steuerungsinstrumentarien muss es sein, die Gesamtrisikokosten zu minimieren und so eine Maximierung der Zielerreichung zu garantieren (vgl. Abbildung 7-4).

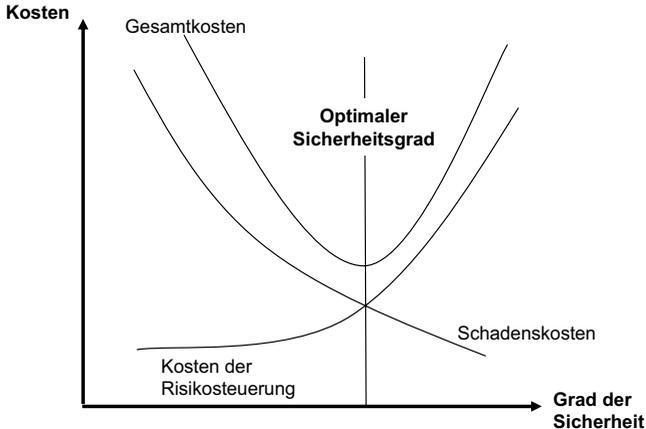


Abbildung 7-4: Fixierung des optimalen Sicherheitsgrades (in Anlehnung an DIEDERICHS 2004, S. 199)

Die Kosten der Risikosteuerung können sich dabei aus einer oder mehreren der im vorherigen Abschnitt angesprochenen Steuerungsmaßnahmen zusammensetzen. Die Auswahl bzw. Umsetzung der spezifischen Maßnahme hängt dabei grundsätzlich sehr stark von der Risikoaffinität der Projektleitung ab. Die Risikoaffinität bezeichnet dabei die Präferenz des Entscheidungsträgers im Umgang mit Risiken (BURGER & BUCHHART 2002, S. 10 f.). Risiken können daher bewusst in Kauf genommen werden, um die Erreichung der gesetzten Ziele (hier: der Zielgröße Herstellkosten) zu gewährleisten. Die folgende Beschreibung zur Bewertung der Steuerungsmaßnahmen dient somit als Anhaltspunkt einer fundierten Entscheidung, die jedoch projekt- und risikofaktor-spezifisch erarbeitet werden muss.

Bei der Bewertung der Steuerungsmaßnahmen muss eine Optimierung im Gesamtzielsystem des Projektes, d.h. in Bezug auf die Zielfaktoren *Zeit*, *Kosten* und *Qualität* durchgeführt werden. Lag bei der Identifikation und Analyse der Risiken die Betrachtung ausschließlich auf der Zielgröße *Qualität* (d.h. dem Zielsystem der Fabrik), so darf bei der Evaluierung der Steuerungsmaßnahmen der potentielle Einfluss auf eine Projektverlängerung oder zusätzliche Planungskosten nicht vernachlässigt werden. Entsprechend der Gliederung der

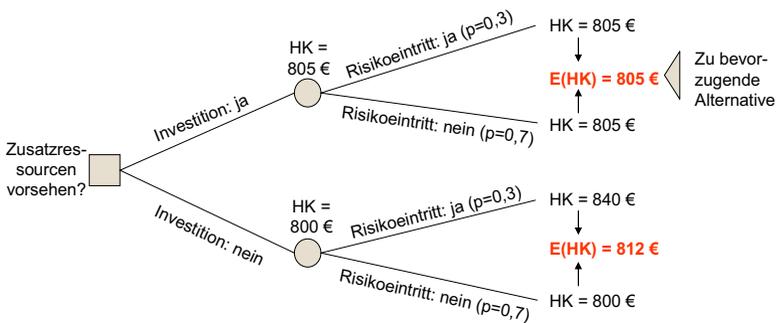
Steuerungsmaßnahmen in ursachen- und wirkungsbezogene kann auch die Bewertung der Maßnahmen dieser Systematik folgen. Dies wird im Folgenden erörtert.

Bei den ursachenbezogenen Maßnahmen gilt es zwei Fälle, abhängig von der Dauer der Risikomaßnahme, zu unterscheiden: Im ersten Fall führt die Durchführung weiterer Planungsschritte zur Verminderung bzw. Eliminierung der Unsicherheiten nicht zu einer Verlängerung des Gesamtprojektes. Dies bedeutet, dass die Planungsvorgänge nicht auf dem kritischen Pfad⁴³ des Projektes liegen. Die Kosten für die Steuerungsmaßnahme setzen sich daher nur aus dem zusätzlichen Planungsaufwand (d.h. den Kosten für die Planungsressourcen $K_{PlanRes}$) zusammen. Im zweiten Fall führt die Durchführung der Steuerungsmaßnahme(n) zu einer Verzögerung des Gesamtprojektes. Dies ist der Fall, wenn die Planungsvorgänge selbst auf dem kritischen Pfad liegen oder dieser sich durch die Verlängerung dorthin verschiebt. In diesem Fall setzen sich die Kosten der Steuerungsmaßnahmen aus den Kosten für die Planungsressourcen $K_{PlanRes}$, den Opportunitätskosten K_{Opp} für die entgangenen Deckungsbeiträge sowie den potentiellen Kosten aus Konventionalstrafen K_{Konv} , die sich bspw. aus der Verletzung / der Überschreitung vertraglich zugesicherter Lieferzeitpunkte ergeben, zusammen. Durch den gezielten Einsatz von zusätzlichen Planungsressourcen kann so eine Optimierung im Zieldreieck des Projektes durchgeführt werden. Diese Optimierung der eingesetzten Ressourcen bzw. des zeitlichen Ablaufes innerhalb eines Projektes zur Maximierung der Zielfunktion liegt nicht im Fokus der vorliegenden Arbeit. Hierzu sei auf die weiterführende Literatur (vgl. bspw. SCHOLL & WEIMERSKIRCH 1999; ZIMMERMANN ET AL. 2006) verwiesen. Durch eine kontinuierliche bzw. stufenweise Anpassung der Dichte- oder Verteilungsfunktion des Risikofaktors in der dynamischen Risikomatrix können der Einfluss der ursachenbezogenen Steuerungsmaßnahmen im Projektverlauf überwacht und das Risikoausmaß im Risikomodell reduziert bzw. eliminiert werden.

Die Bewertung der wirkungsbezogenen Maßnahmen bzw. deren Ausprägung ist stark abhängig von der jeweiligen Maßnahme. Sie muss daher individuell in

⁴³ Der *kritische Pfad* bezeichnet hierbei die Abfolge aller Vorgänge in einem Projekt, die sich nicht verzögern dürfen, damit der geplante Projektendtermin eingehalten werden kann (FIEDLER 2005, S. 99 f.).

der praktischen Anwendung des Konzepts adaptiert bzw. umgesetzt werden. Generell gilt es, wie in Abbildung 7-4 veranschaulicht, ein Optimum zwischen Risikovermeidungskosten und Risikoschadenskosten zu ermitteln. Dies kann in einem praktikablen Ansatz im Projekt bspw. über die Methode des Entscheidungsbaumverfahrens erfolgen. Der *Entscheidungsbaum* ist dabei ein konzeptionelles Hilfsmittel, um alle möglichen Entscheidungen, die getroffen werden können, sowie die möglichen Umweltzustände und ihre Eintrittswahrscheinlichkeit aufzulisten (NEUFVILLE 1990, S. 309 f.). Basierend auf diesen Alternativen kann anschließend die beste Handlungsoption abgeleitet werden (Abbildung 7-5).



*) Anmerkung: Die in der Abbildung angegebenen Zahlen stellen ein fiktives Beispiel dar.

Abbildung 7-5: Beispiel eines (einstufigen) Entscheidungsbaumes

Die wirkungsbezogenen Maßnahmen müssen in das Planungsmodell integriert werden. Hier können bspw. zusätzliche Ressourcen oder Kapazitäten hinterlegt oder neu gestaltete Prozesse abgebildet werden, so dass diese im aktuellen Planungsstand berücksichtigt sind. Das Risikoausmaß im Risikomodell, das sich stets auf ebd. Planungsstand bezieht, wird somit reduziert bzw. eliminiert. Gleichzeitig kann aber, abhängig von der Maßnahme, eine Steigerung des geplanten Zielwertes resultieren, d.h. die Kosten für die Risikosteuerung bilden sich in den geplanten Herstellkosten ab. Auf Basis des Vergleichs der Erwartungswerte der Herstellkosten (d.h. der Bewertung der Alternativen entsprechend der oben visualisierten Entscheidungsbaumlogik) kann so die Entscheidung für die bevorzugte Maßnahme getroffen werden. Um die Erreichung des vorgegebenen Zielwertes zu ermöglichen, kann jedoch bewusst ein Risiko

eingegangen werden. Die Entscheidung für die Einleitung bzw. Ausprägung der einzelnen Steuerungsmaßnahmen ist daher von der Risikoaffinität der jeweiligen Projektleitung oder des Fabrikplaners abhängig. Dabei spielt der aktuelle Projektstatus bzw. Projektfortschritt eine entscheidende Rolle. Neben der Bewertung ist daher im Planungsprozess zusätzlich die Festlegung des Zeitpunkts der Einsteuerung der jeweiligen Maßnahme von Bedeutung. Dieser Aspekt der Risikosteuerung wird im Folgenden weiter vertieft.

7.1.3 Projektzeitplanspezifische Einleitung der Steuerungsmaßnahmen

Der Zeitpunkt der Einleitung der Steuerungsmaßnahmen ist von dem spezifischen Projektzeitplan abhängig. Die fortschreitende Parallelisierung der Produkt- und Prozessentwicklung sowie der Ablauf- und Strukturplanung in Synchronisation mit der Gebäudeplanung resultiert in einer deutlichen Verkürzung der Planungsdauer. In der Praxis zeigt sich daher oft, dass im Planungsverlauf Entscheidungen unter Unsicherheit, d.h. nicht vollständiger Information, getroffen werden müssen. Im Projektzeitplan, der in der Zielplanungsphase erstellt wird, müssen diese relevanten Entscheidungspunkte abgebildet werden. Dies kann bspw. bei einer Neuplanung der Baubeginn sein, bis zu dem der Flächenbedarf feststehen muss, oder der Bestellzeitpunkt von bestimmten Maschinen, deren genaue Anzahl ermittelt werden muss (Abbildung 7-6).

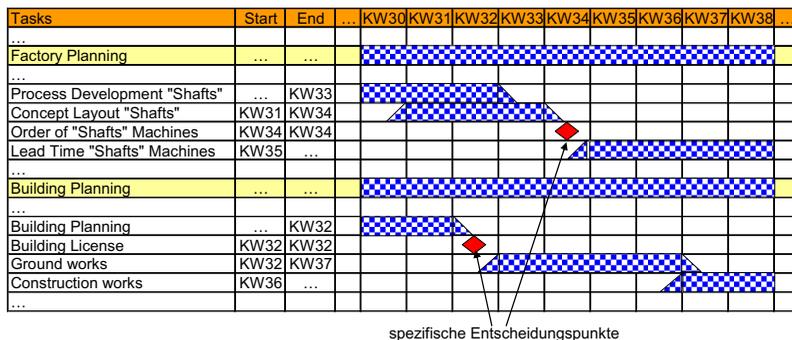


Abbildung 7-6: Beispielhafter Ausschnitt eines Projektzeitplanes mit spezifischen Entscheidungspunkten

Der Zeitpunkt der Entscheidung ist maßgebend für die Fälligkeit bzw. Einleitung der Steuerungsmaßnahmen. Ist für die Umsetzung bzw. Durchführung der Steuerungsmaßnahme ein längerer Zeitraum (i.d.R. die Dauer für eine Planungsaktivität) erforderlich, so muss diese vor dem Entscheidungszeitpunkt abgeschlossen sein. In der Ausarbeitung der Steuerungsmaßnahmen muss daher neben der Benennung der Maßnahme und der verantwortlichen Personen deren Fälligkeit⁴⁴ analysiert bzw. ausgearbeitet werden. Somit kann zusätzlich zu der Clusterung (vgl. die Darstellung der Risk Map in Abbildung 6-10) anhand der Fälligkeit der Maßnahme eine weitere Priorisierung in Bezug auf die zu adressierenden Risiken getroffen werden.

Im Kontext der projektzeitplanspezifischen Einsteuerung der Risikomaßnahmen gilt es anzumerken, dass die ursachenbezogenen Maßnahmen, d.h. Maßnahmen zur Verbesserung des Informationsstandes, so bald als möglich eingesteuert werden sollten. Dies ist jedoch häufig auf Grund begrenzter Planungsressourcen nicht uneingeschränkt möglich. Zudem liegen vielfältige Planungsinformationen nicht in der Hand des Fabrikplaners bzw. der Projektleitung, sondern bspw. in der Zuständigkeit der Produktentwicklung, der Logistik oder des Einkaufs. Mit Hilfe der Clusterung der Risiken bzw. ihrer zeitlichen Dringlichkeit (abgeleitet aus der Fälligkeit der Maßnahmen) kann hier eine Priorisierung mit Bezug auf den Einsatz der Planungsressourcen durchgeführt werden.

Ergebnis des Prozessschrittes der Risikosteuerung ist damit eine Liste an (bewerteten) Steuerungsmaßnahmen und Verantwortlichkeiten sowie eine Terminierung der Fälligkeit der Maßnahmen für jedes identifizierte Risiko. Nach der Ableitung und Bewertung geeigneter Steuerungsmaßnahmen sowie der Diskussion ihrer projektzeitplanspezifischen Einsteuerung gilt es, deren Umsetzung bzw. Auswirkung zu überwachen. Hierauf wird im folgenden Abschnitt näher eingegangen.

⁴⁴ Die *Fälligkeit* bezeichnet hierbei den richtigen Zeitpunkt zum Einsteuern der Maßnahme.

7.2 Kontinuierliche Überwachung des Risikos im Planungsprozess

Die Risikoüberwachung bildet den letzten Prozess des integrierten Konzeptes. Um die Umsetzung der Steuerungsmaßnahmen und deren Effizienz kontrollieren bzw. bei Eintritt des Risikos umgehend reagieren zu können, müssen die einzelnen Risikofaktoren im Planungsverlauf kontinuierlich überwacht werden. Diese Überwachung wird in dem hier vorliegenden Konzept in zwei Stufen umgesetzt: Zum einen werden Elemente zur Überwachung eines einzelnen Risikofaktors sowie des Gesamtrisikos vorgestellt (Abschnitt 7.2.1), zum anderen werden Kontrollpunkte in den Fabrikplanungsablauf integriert, die die Freigabe der nächsten Phase vom Erreichen eines maximalen Risikowertes abhängig machen (Abschnitt 7.2.2).

7.2.1 Elemente zur Überwachung der Risikofaktoren

Die *dynamische Risikomatrix* wurde im Rahmen der Risikoidentifikation als Element zur Speicherung bzw. Auflistung der identifizierten Risikofaktoren bereits in Abschnitt 5.4 vorgestellt. Sie soll als Hilfsmittel zur Überwachung der einzelnen Risikofaktoren nun näher beschrieben werden. Dazu werden die Ergebnisse der anschließenden Projektschritte, d.h. der Risikoanalyse sowie der -steuerung, in die Matrix integriert. Die Zielsetzung der dynamischen Risikomatrix ist, die für den Planungsprozess notwendige Information bzgl. der einzelnen Risikofaktoren zu sammeln und bereitzustellen. Diese Information umfasst die Ergebnisse der vorherigen Prozessschritte und gewährleistet somit die kontinuierliche Überwachung der Einzelrisiken. Die *Dynamik* der Matrix resultiert aus folgenden zwei Eigenschaften: Zum einen können im Verlauf der Planung neue Risikofaktoren identifiziert und in die Matrix integriert bzw. eliminierte Risiken entfernt werden. Zum anderen müssen im Planungsprozess die Auswirkungen der Risiken, ihre Eintrittswahrscheinlichkeit oder die geplanten Steuerungsmaßnahmen laufend modifiziert bzw. ergänzt werden. Diese Dynamik verdeutlicht das im erweiterten Regelkreis der Ablauf- und Strukturplanung (vgl. Abbildung 4-3) abgebildete kontinuierliche (*Gegen-Regeln*) zur Minimierung des Risikos.

Ein Beispiel der Matrix in der Übersichtsdarstellung sowie eines Risikofaktors in Einzelblattdarstellung ist in nachfolgender Abbildung 7-7 bzw. Abbildung 7-8 illustriert.

7.2 Kontinuierliche Überwachung des Risikos im Planungsprozess

Dynamische Risikomatrix - Übersicht											
Projekt: Projektname			Verantwortlich: Name (Abteilung)				Datum: Tag/Monat/Jahr				
Risikoidentifikation					Risikobewertung			Risikosteuerung			
Nr.	Risikofaktor	$P_{k;Risk}$	Kategorie	Bereich	Cluster	$RT_{k;Mid}^{HK}$	$RT_{k;Worst}^{HK}$	Maßnahme	Verantw.	Start	Ende
1	Bearbeitungszeit OP10	20%	Prozess	Gehäuse	Schwer	+1,50€	+3,10€	Detaillierte Spezifikation Kundenanf.	PE	01/06	03/06
2	Zusatzprozessschritt OP35	20%	Prozess	Wellen Hart	Mittel	+1,00€	+1,00€	Qualitätsanforderung verifizieren	PE	01/06	03/06
3	Verfügbarkeit Wäscher	10%	Ressource	Gehäuse	Leicht	+0,10€	+0,15€	Verhandlung mit Lieferant	Cases	01/06	05/06
4	...										

Abbildung 7-7: Die dynamische Risikomatrix als Element zur Überwachung der Risikofaktoren (Übersichtsdarstellung)

Dynamische Risikomatrix - Einzelblatt											
Projekt: Projektname			Verantwortlich: Name (Abteilung)				Datum: Tag/Monat/Jahr				
Nr. Risikofaktor											
1 Bearbeitungszeit OP10 - Getriebegehäuse											
Risikoidentifikation						Risikosteuerung					
Risikoursache Kein Design-freeze Gehäuse Kundenspezifikation unbekannt	Dichtefunktion				Kategorie	Nr.	Maßnahmen	Verantw.	Start	Ende	
	Verteilung:		Dreieck								Prozess
	p_{max} :		0%	X_{max} :	5:00min	Bereich	1 Detaillierte Spezifikation - Verifikation Prozesszeit	PE / Cases	01/06	03/06	
	p_{wahr} :		60%	X_{wahr} :	4:00min	Gehäuse					
p_{min} :		0%	X_{min} :	3:00min							
Risikobewertung											
Cluster		Gemittelt			Worst						
Schwer		$RT_{k;Mid}^{HK}$	+1,50€	$RT_{k;Worst}^{HK}$	+3,10€						
		$RT_{k;Mid}^{Fläche}$	+27m ²	$RT_{k;Worst}^{Fläche}$	+51m ²						
		$RT_{k;Mid}^{Person}$	+2	$RT_{k;Worst}^{Person}$	+3						
		$RT_{k;Mid}^{Masch}$	+1	$RT_{k;Worst}^{Masch}$	+2						
		$RT_{k;Mid}^{Kapital}$	+0,5M€	$RT_{k;Worst}^{Kapital}$	+1,0M€						
								2 Integration von Zusatzflächen in Layout	Layout Team	03/06	04/06
								3 Zusätzliche Beschaffung der (Risiko-)Maschinen	Cases Team	tdb.	
								4 Aufbau ext. Lieferant für Gehäuse - zusätzliche Pufferflächen	Cases Team / Einkauf	tdb.	
								5 <offen>			

Abbildung 7-8: Die dynamische Risikomatrix als Element zur Überwachung der Risikofaktoren (Einzelblattdarstellung)

Die Übersichtsdarstellung zeigt alle identifizierten Risikofaktoren sowie die Hauptergebnisse des Bewertungs- bzw. Steuerungsschrittes. Über die Kategorisierung, die Bereichszuordnung bzw. die Clustering kann gezielt nach spezifischen Risikofaktoren gefiltert werden, um die Ansicht auf ebd. Kriterien zu beschränken. Diese Darstellung ermöglicht somit einen Überblick bzgl. aller im Planungsprozess identifizierten Risiken hinsichtlich der Gestaltung der Strukturen und Abläufe. Zusätzlich zur Gesamtübersicht der Faktoren können die detaillierten Ergebnisse der Risikoidentifikation, -bewertung und -steuerung auf einen ausgewählten Risikofaktor beschränkt werden (Einzelblattdarstellung). Dies ist insbesondere für die Ableitung bzw. Einsteuerung geeigneter Maßnahmen

men erforderlich, da die Risikoausprägung auf die Ressourcen bzw. die Risikoauswirkung im Detail abgebildet wird.

Das zweite Element, das zur Überwachung des Risikos im Projekt dient, ist der so genannte *Risikomonitor*. In ihm werden die aktuelle Zielerfüllung sowie das enthaltene Gesamtrisiko, das mit Hilfe der Risikoaggregation ermittelt wurde, dargestellt. Die Zielsetzung des Risikomonitor ist somit zum einen die Visualisierung des Gesamtrisikos, zum anderen dient er als Schnittstelle hin zum Risikomanagementsystem des Unternehmens (vgl. Abbildung 4-3 bzw. die Erläuterungen in Abschnitt 4.3). Die nachfolgende Abbildung 7-9 verdeutlicht das Prinzip des Risikomonitor⁴⁵:

Risikomonitor			
Projekt: Projektname		Szenario: Sz XXX	
Datum: Tag/Monat/Jahr			
Zielsicht			
Bezeichnung	HK_{Plan}	$RT_{Agg, Mid}^{HK}$	$RT_{Agg, 95\%}^{HK}$
Herstellkosten (Stück)	750 €	25 €	35 €
mit $p_{Agg, Risk} =$		28%	
Ressourcensicht			
Bezeichnung	RA_{Plan}	$RT_{Agg, Mid}^{Res}$	$RT_{Agg, 95\%}^{Res}$
Fläche (Gesamt)	25.000m ²	1.800m ²	3.000m ²
Personal (Gesamt)	800	830	850
Maschinen (Gesamt)	65	6	10
Kapital (Gesamt)	120 Mio€	4 Mio €	6 Mio €

Abbildung 7-9: Der Risikomonitor als Element zur Darstellung der Gesamtrisikosituation im Planungsprozess

Der Risikomonitor enthält in der Zielsicht den aktuellen Planungsstand der Herstellkosten sowie die mittlere Risikotragweite (bezogen auf die Eintrittswahrscheinlichkeit $p_{Agg, Risk}$ des Risikos) und die Risikotragweite auf Konfidenzniveau von 95% in Bezug auf die Herstellkosten. In der Ressourcensicht werden ebd. Planungsstände bzw. die Risikotragweiten in Bezug auf die Ressourcen *Fläche*, *Personal*, *Maschinen* und *Kapital* abgebildet.

Im Risikomonitor wurde explizit auf die Darstellung des Worst-Case verzichtet und stattdessen die Risikotragweite auf einem Konfidenzniveau von 95% integ-

⁴⁵ In der Abbildung sind beispielhafte Werte eines fiktiven Planungsfalles eingefügt.

riert. In der Praxis zeigt sich häufig, dass die Worst-Case-Betrachtungen extreme Spitzen aufweisen, die mit sehr geringen Wahrscheinlichkeiten auftreten. Eine Betrachtung auf einem Konfidenzniveau von 95% ist daher im Entscheidungsprozess zumeist hilfreicher. Im Einzelfall kann mittels der Ergebnisse der Risikoaggregation der Worst-Case für eine weitere Analyse hinzugezogen werden, um so ein umfassenderes Bild der Risikosituation zu erlangen.

Mit Hilfe des Risikomonitorers kann somit auf einer aggregierten Gesamtsicht die aktuelle Risikosituation im Bezug auf die Gestaltung der Abläufe und Strukturen im Fabrikplanungsprojekt visualisiert werden.

7.2.2 Einführung von Risk Gates in den Planungsablauf

Die zuvor erläuterten Elemente der dynamischen Risikomatrix bzw. des Risikomonitorers stellen Instrumentarien zur kontinuierlichen Überwachung der Risiken im Planungsverlauf dar. Zusätzlich zu diesem kontinuierlichen Prozess ist entsprechend der Aufgliederung des Fabrikplanungsprozesses in unterschiedliche Phasen (vgl. Abbildung 2-3 auf Seite 15) eine phasenspezifische Beurteilung der Risikosituation notwendig. Hierzu werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit Kontrollpunkte vorgestellt, die in Anlehnung an die aus der Produktentwicklung bekannten Quality Gates zur Überprüfung der Planungsergebnisse in Bezug auf die vorliegenden Risiken dienen.

Unter einem *Quality Gate* wird allgemein ein Messpunkt verstanden, an dem Entwicklungsergebnisse bezüglich der Forderungen interner und externer Kunden beurteilt werden (EVERSHEIM & SCHUH 2005, S. 34). Sie sind als ergebnisorientierte Entscheidungspunkte konzipiert, an denen technische, betriebswirtschaftliche und managementorientierte Leistungsvereinbarungen im Hinblick auf ihre Zielerreichung abgeprüft werden (SCHARER 2003, S. 36). Ihr Einsatzfeld liegt insbesondere im Produktentwicklungsprozess. Wie in diesem Prozess sind auch an der Fabrikplanung verschiedene Fachdisziplinen beteiligt, deren Ergebnisse im Planungsverlauf synchronisiert und in das Fabrikkonzept integriert werden müssen. Eine Übertragung des Quality-Gate-Ansatzes mit Fokussierung auf die Zielgrößen der Fabrik ist somit möglich.

In Anlehnung an die Quality Gates sollen daher mit Bezug auf die in der vorliegenden Arbeit adressierte Risikobetrachtung so genannte *Risk Gates* in den Fabrikplanungsablauf eingeführt werden. Ein Risk Gate stellt dabei einen (im Projektzeitplan fest terminierten) Kontrollpunkt dar, an dem die aktuelle Risiko-

situation analysiert und über die Freigabe der nächsten Phase entschieden wird. Die Freigabe erfolgt nur dann, wenn das Gesamtrisiko⁴⁶ unterhalb eines vorher – für jeden Planungsfall spezifisch – definierten Risikogrenzwertes liegt. Die Grenzwerte müssen initial in der Zielplanung gemeinsam mit allen Projektbeteiligten vereinbart werden und sollten sich auf die quantifizierten Zielgrößen und eine maximal erlaubte, prozentuale Abweichung bezüglich dieser beziehen. Die Festlegung der Grenzwerte ist dabei in Abhängigkeit von der Unternehmensstrategie sowie der Signifikanz des Projektes in dieser Strategie zu treffen. Abbildung 7-10 veranschaulicht den Zusammenhang dieser Risikogrenzwerte am Beispiel der Zielgröße *Herstellkosten*.

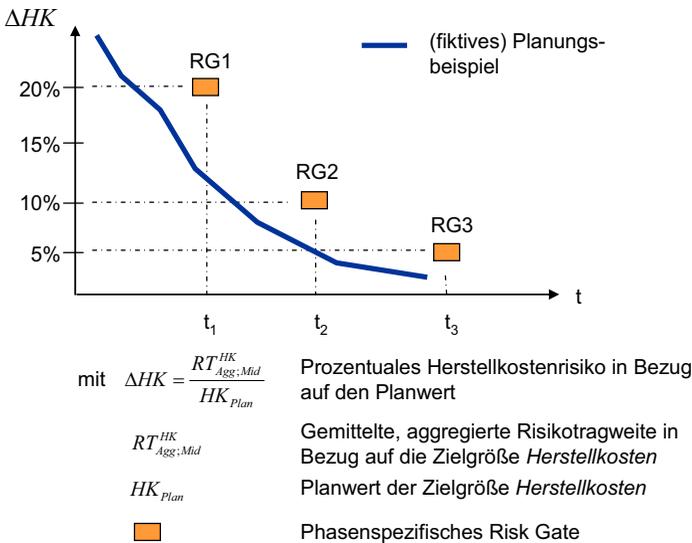


Abbildung 7-10: *Risk Gates als Maximalgrenze der Risikotragweite über der jeweiligen Zielgröße zu spezifischen Kontrollpunkten*

Die Zielsetzung, die mit der Integration der Risk Gates in den Fabrikplanungsprozess erreicht werden soll, lässt sich wie folgt formulieren:

⁴⁶ Im Rahmen dieser Arbeit werden gemäß den Ausführungen in Kapitel 4 die Risiken in Bezug auf die Zielgrößen der Fabrik untersucht. Jedoch kann der Ansatz der Risk Gates auch ganzheitlich auf die gesamten Risiken im Planungsprojekt und alle beteiligten Disziplinen ausgedehnt werden.

- *Sicherstellen der Erfüllung der Projektziele* durch einen spezifizierten und standardisierten Abgleich der Zielgrößen und Risiken sowie die Einleitung entsprechender Steuerungsmaßnahmen
- *Kontrolle zur Freigabe der nächsten Phase* in Abhängigkeit der Risikosituation als Unterstützungsfunktion für das Projektmanagement
- *Synchronisation der Planungsbeteiligten in Bezug auf die Risikosituation* an definierten und vereinbarten Zeitpunkten im Planungsverlauf mittels einer standardisierten Vorgehensweise

Die Risk Gates dienen letztendlich dazu, die Einhaltung der Projektzielgrößen sicherzustellen und somit der Forderung nach einer Reduzierung der Planungskosten, einer Erhöhung der Planungsgeschwindigkeit sowie einer Verbesserung der Planungsqualität gerecht zu werden.

In Anlehnung an die Systematik der Technology Gates von FIEBIG (2004) werden im Folgenden zunächst die durchzuführenden Prozessschritte an den Risk Gates (Abbildung 7-11) festgelegt und anschließend deren zeitliche Einordnung in den Planungsprozess definiert.

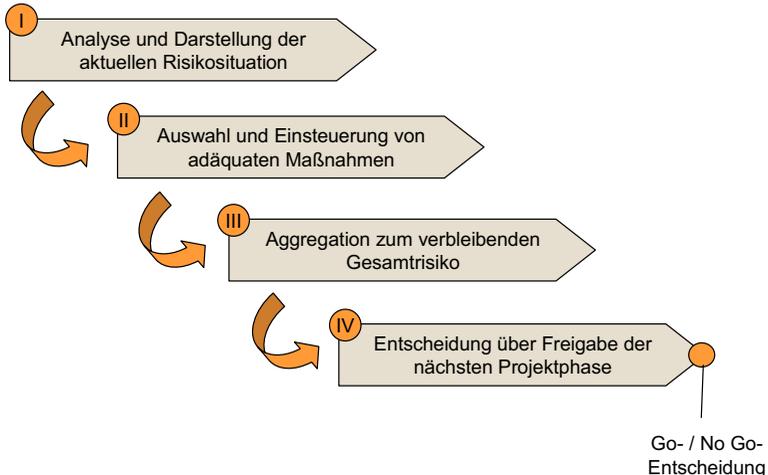


Abbildung 7-11: *Prinzipieller Ablauf der Risikobeurteilung an den Risk Gates*

Die Prozessschritte sollen nachfolgend kurz erläutert werden: Als erster Schritt erfolgt eine Analyse bzw. Darstellung der Risikosituation. Hierbei werden sowohl die Einzelrisiken mit Hilfe der dynamischen Risikomatrix als auch das

Gesamtrisiko über den Risikomonitor analysiert. Sofern nicht bereits geschehen, müssen adäquate Steuerungsmaßnahmen eingeleitet werden, um das Gesamtrisiko unterhalb des definierten Grenzwertes für das jeweilige Risk Gate zu reduzieren. Nach der Einleitung dieser Maßnahmen kann in einem dritten Schritt das verbleibende Restrisiko mit Hilfe einer erneuten Risikoaggregation ermittelt werden. Schließlich wird über die Freigabe⁴⁷ der nächsten Projektphase entschieden. Diese sollte nur geschehen, wenn der Risikogrenzwert des Risk Gates tatsächlich unterschritten ist. Zur Durchführung der Prozessschritte bietet sich ein Workshop mit den beteiligten Fachdisziplinen an. Darin können Verantwortlichkeiten für die Steuerungsmaßnahmen festgelegt und terminiert werden.

Gemäß der Gliederung der in der vorliegenden Arbeit fokussierten Ziel- und Grobplanungsphase lassen sich drei Zeitpunkte im Planungsverlauf identifizieren, die für eine Integration eines Risk Gates geeignet erscheinen. Die Gates sowie ein Überblick der betrachteten Inhalte sind in der nachfolgenden Abbildung 7-12 visualisiert.

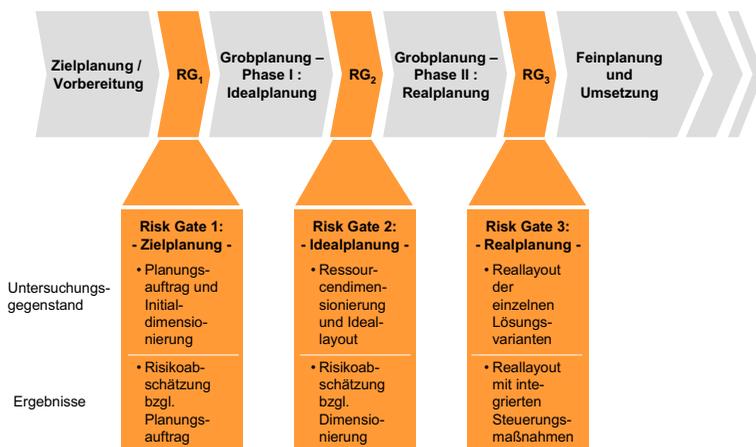


Abbildung 7-12: Integration der Risk Gates in den Fabrikplanungsablauf

⁴⁷ Für die Freigabe der nächsten Projektphase ist hierbei die Erfüllung der einzelnen Aufgaben bzw. Ziele der Planungsphase vorausgesetzt.

Entsprechend der fortschreitenden Planung sind die betrachteten Inhalte der Gates unterschiedlich. Diese Inhalte sollen im Folgenden näher beschrieben werden:

- *Risk Gate 1* (Positionierung nach der Zielplanung bzw. der Vorbereitung): Die Untersuchungsgegenstände sind dabei der Projektauftrag sowie die (in der Vorbereitung durchgeführte) Initialdimensionierung des Produktionssystems. Die Beurteilung der Risikosituation für die Initialdimensionierung wird anhand von Kennzahlen bzw. globaler Parameter (vgl. Abschnitt 6.2.1) durchgeführt. Der Hauptfokus der Risikosteuerungsmaßnahmen sollte hierbei auf der ursachenbezogenen Komponente liegen, d.h. einer Verbesserung der Planungsinformation. Zusätzlich zum Projektauftrag muss zu diesem Gate auch eine Liste mit Risiken in Bezug auf ebd. Projektauftrag erarbeitet werden. Die Unsicherheiten in Bezug auf die Planungsprämissen werden über die Vorgabe von Planungsszenarien erarbeitet, auf deren Basis die Grobplanung durchgeführt werden kann.
- *Risk Gate 2* (Positionierung nach der Idealplanung): Die Untersuchungsgegenstände an diesem Risk Gate sind die Dimensionierung der Ressourcen sowie das erstellte Ideallayout bzw. die Funktionsstrukturschemata. Der Schwerpunkt der Risikoanalyse liegt auf der Dimensionierung der Ressourcen. Das Ergebnis dieses Gates ist die Analyse des Ideallayouts sowie die Risiken in den Ressourcen für die einzelnen Funktionsbereiche. Die Steuerungsmaßnahmen zu diesem Gate müssen sowohl den ursachen- als auch den wirkungsbezogenen Aspekt berücksichtigen, um eine Entscheidung für das umzusetzende Blocklayout zu unterstützen.
- *Risk Gate 3* (Positionierung nach der Realplanung): Die Untersuchungsgegenstände an diesem letzten Risk Gate sind die entwickelten Reallayoutvarianten. Der Fokus der Betrachtung sollte dabei die Erarbeitung und Umsetzung der Steuerungsmaßnahmen auf Basis der Ressourcenvariation sein. Ergebnis des letzten Risk Gates sind die entwickelten Reallayoutvarianten mitsamt den eingeplanten Steuerungsmaßnahmen. Über diese Varianten kann im Anschluss die Auswahl sowie Umsetzung der favorisierten Variante erfolgen. Die verbleibenden Risiken bzw. Unsicherheiten können für eine weiterführende Integration in der Feinplanung als Risikoliste übergeben werden.

Die drei erläuterten Risk Gates sind als Kontrollpunkte im Anschluss an die einzelnen Planungsphasen konzipiert. Sie dienen zur Analyse bzw. Synchronisation der Risikosituation für die beteiligten Fachdisziplinen und sind damit Entscheidungsmeilensteine für die Freigabe der nächsten Phase in Abhängigkeit vom Gesamtrisiko. Ihre Einführung in die Fabrikplanungssystematik gewährleistet das Erreichen eines abgesicherten Grobkonzeptes unter Berücksichtigung der in den Planungsparametern enthaltenen Unsicherheiten bzw. Annahmen.

7.3 Zwischenfazit

Die Risikosteuerung sowie die Risikoüberwachung sind der dritte bzw. vierte Hauptprozessschritt des integrierten Konzeptes und komplettieren dieses. Da die Einleitung der Steuerungsmaßnahmen stets vom Status des Projektverlaufes abhängt und somit eine Synchronisation zwischen Risikosteuerung und -überwachung erforderlich ist, wurden die beiden Schritte in diesem Kapitel gemeinsam beschrieben.

Das Ziel der Risikosteuerung ist die Einleitung adäquater Maßnahmen zur Beeinflussung der identifizierten Risikofaktoren unter Berücksichtigung der spezifischen Projektziele des (Fabrik-)Planungsprojektes. Hierzu wurde in einem ersten Schritt anhand der allgemeinen Risikosteuerungsstrategien ein fabrikplanungsspezifischer Maßnahmenkatalog erarbeitet, mit dessen Hilfe der Planer die Risiken in der Ausgestaltung der Abläufe und Strukturen des Produktionssystems aktiv beeinflussen kann. In einem nächsten Schritt wurden die Kriterien zur Auswahl bzw. Bewertung der Maßnahmen diskutiert. Schließlich wurde der Aspekt der zeitlichen Terminierung der Steuerungsmaßnahmen im Kontext des Projektverlaufes bzw. des spezifischen Projektzeitplanes erörtert.

Die Risikoüberwachung dient zur kontinuierlichen Überwachung der Risikofaktoren bzw. der Effizienz der eingesteuerten Maßnahmen. Im Rahmen der Risikomanagementsystematik wurde hierzu zum einen das Element der dynamischen Risikomatrix konzipiert, die die Ergebnisse des Identifikations-, Bewertungs- sowie Steuerungsschrittes für jeden Risikofaktor enthält. Zum anderen wurde das Element des Risikomonitor erörtert, mit dessen Hilfe im Projektverlauf ein kontinuierlicher Überblick über die Gesamtrisikosituation aufgezeigt werden kann. Im Rahmen der Fabrikplanungssystematik wurden schließlich mit den Risk Gates Kontrollpunkte in den Planungsablauf integriert, die zur Beur-

teilung dieser Risikosituation bzw. der Freigabe der nächsten Projektphase dienen.

Nach der Komplettierung der vier Hauptprozessschritte des Konzeptes soll nun im folgenden Kapitel dessen systemtechnische Unterstützung bzw. die Anwendung in einem konkreten Planungsfall zur Validierung erläutert werden.

8 Validierung des Konzeptes

„Die Theorie wird als grau bezeichnet. Der Praxis eine Farbe zu geben, hat man sich bisher noch nicht getraut.“

GÜNTER MÜLLER

In den vorangegangenen Kapiteln wurde ein Konzept zum integrierten Risikomanagement für die Ablauf- und die Strukturgestaltung in Fabrikplanungsprojekten entwickelt und die einzelnen Elemente der Risikoidentifikation, -bewertung, -steuerung und -überwachung im Detail dargelegt. Dieses Konzept soll in diesem Kapitel in zwei Schritten validiert werden.

Zunächst wird die prototypische Umsetzung des Konzeptes in einem EDV-Tool beschrieben (Abschnitt 8.1). Ausgehend von dem Grundaufbau des Tools werden die Realisierung der einzelnen Elemente des Planungsmodells sowie des Risikomodells erläutert sowie die Schnittstellen zwischen den Modellen bzw. zur Simulationssoftware detailliert. Als zweiter Schritt der Validierung wird in Abschnitt 8.2 der exemplarische Einsatz des Konzeptes mit Hilfe des implementierten EDV-Tools im Rahmen eines konkreten Fallbeispiels, der Neuplanung einer Getriebefabrik, beschrieben. Mittels eines ausgewählten Bereiches wird die Anwendung des Konzeptes bzw. dessen einzelner Elemente im Planungsfall detailliert erörtert.

Das Kapitel schließt mit der kritischen Würdigung des vorgestellten Ansatzes (Abschnitt 8.3), in deren Rahmen das Konzept zum einen anhand der vorgegebenen Anforderungen, zum anderen anhand des exemplarischen Einsatzes und der daraus abgeleiteten Anwendungserfahrung evaluiert wird.

8.1 Entwicklung eines prototypischen Softwaretools

Zur Validierung des ausgeführten Konzeptes soll als erster Schritt dessen Integration im Kontext der rechnergestützten Fabrikplanung ausgeführt und die praktische Umsetzung mittels eines Software-Tools verifiziert werden. Hierzu wurde das EDV-Tool *FPR-SYS* (*Factory-Planning-Riskmanagement-System*) als Prototyp entwickelt. Die Zielsetzung für die Implementierung des EDV-Tools war es, eine effiziente Unterstützung des Fabrikplaners bei der Anwendung des Konzeptes im praktischen Einsatz zu gewährleisten. Der Schwerpunkt des

Software-Tools war dabei der in Kapitel 6 detaillierte Schritt der Risikoanalyse, die Elemente der Risikoidentifikation, -steuerung und -überwachung werden in ihren Funktionalitäten, soweit EDV-technisch möglich, unterstützt.

Das Softwaretool wurde in MS Access™ sowie MS Visual Basic™ umgesetzt. Der Hintergrund für diese Entscheidung war, dass die in Abschnitt 6.2.2 beschriebenen zentralen Planungsdaten (Produktstrukturplan, Produktionsablaufplan sowie Produktionsprogrammplan) in Industrieunternehmen in entsprechenden PPS-Programmen, ERP-Systemen bzw. BDE-Systemen, die auf Datenbanken aufsetzen, verfügbar sind, so dass eine datenbankgestützte Entwicklungsumgebung unter dem Aspekt des effizienten Datentransfers am besten geeignet erschien. Auf Grund des weiten Verbreitungsgrades von Microsoft Office™ und seinen Anwendungen fiel die Wahl daher auf MS Access™ und MS Visual Basic™. Im Folgenden sollen zunächst der Grundaufbau des Softwaretools erläutert und anschließend die EDV-technische Umsetzung des Planungsmodells bzw. des Risikomodells detailliert werden.

8.1.1 Grundaufbau des Software-Tools

Der Aufbau des Software-Tools orientiert sich an der in Kapitel 6 beschriebenen Gliederung in das *Planungs-* und das *Risikomodell* und bildet diese in zwei zentralen Datenbanken ab (Abbildung 8-1).

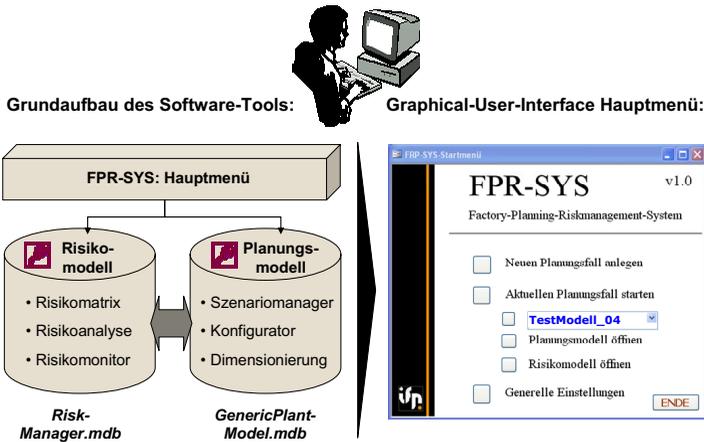


Abbildung 8-1: Grundaufbau des implementierten EDV-Softwaretools und Übersicht des Hauptmenüs

Die Funktionalitäten der beiden zentralen Datenbanken können über das Hauptmenü aufgerufen werden. Dort können neue Planungsfälle erstellt oder bestehende Planungsfälle im Planungs- oder Risikomodell bearbeitet und analysiert werden. Die Datenbank *GenericPlantModel.mdb* dient zur parametergestützten Konfiguration der Abläufe bzw. Strukturen des Produktionssystems und bietet die Funktionalitäten zum Szenariomanagement, zur Konfiguration des Systems sowie zur integrierten Ressourcendimensionierung. Die Datenbank *RiskManager.mdb* verwaltet die dynamische Risikomatrix und stellt die Funktionalitäten zur Risikoanalyse bzw. Risikoüberwachung bereit.

8.1.2 Softwaretechnische Umsetzung des Planungsmodells

Die Konfiguration der Abläufe und Strukturen im Planungsmodell erfolgt über die Integration der planungsrelevanten Informationen in die spezifischen Tabellen bzw. über eine Modifikation entsprechender Parameter in der Datenbank *GenericPlantModel.mdb*. Diese Planungsinformationen können über die Hauptmenüoberfläche des Planungsmodells (Abbildung 8-2) modifiziert werden.

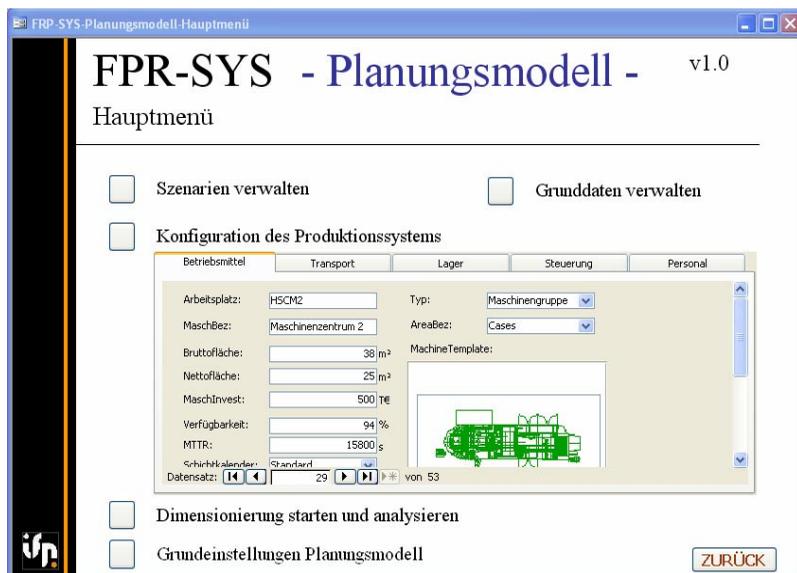


Abbildung 8-2: Hauptmenü des Planungsmodells in FPR-SYS

Im Unterpunkt <*Szenarios verwalten*> können verschiedene Szenarien je Planungsfall angelegt und verwaltet werden. In diesen Szenarien werden die Volumina sowie die Varianten für die Kammlinie (d.h. die Initialkonfiguration des Produktionssystems) definiert sowie eine Festlegung bzgl. der Fertigungstiefe auf Bereichsebene⁴⁸ getroffen. Im Unterpunkt <*Grunddaten verwalten*> kann der zuvor angesprochene Import der zentralen Planungsdaten (Produktstrukturplan und Produktionsablaufplan) durchgeführt werden. Dieser Import kann dabei manuell mittels *.txt-Files bzw. automatisiert über einen SQL-Server und entsprechend implementierte Schnittstellen in der Planungsdatenbank *GenericPlantModel.mdb* vorgenommen werden. Die Erstellung des Produktionsprogramms geschieht mittels der Auswahl der durchschnittlichen Lieferlosgröße sowie der prozentualen Schwankungsbreite in Bezug auf die Menge und den Abrufzeitpunkt anhand des definierten Volumen- bzw. Variantenszenarios. Nach dem Import können die Grunddaten in diesem Menü weiter detailliert bzw. modifiziert werden. Das Produktionssystem wird im Untermenü <*Konfiguration*> über die abgebildeten Registerkarten konfiguriert. Hierfür sind die im Planungsmodell beschriebenen Funktionalitäten (vgl. Abschnitt 6.2.2) der Planungsmodule *Betriebsmittel-, Transport-, Lager-, Steuerungs- und Personalplanung* hinterlegt. Die Ausgestaltung der Abläufe und Strukturen kann wie erwähnt über eine Konfiguration der entsprechenden Parameter bzw. die Auswahl von im Modell hinterlegten Eigenschaften und Funktionalitäten (bspw. Push vs. Pull-Steuerung für die Steuerungsstrategien, Schichtpläne der spezifischen Maschinen, Auswahl der Lagerhilfsmittel etc.) vorgenommen werden.

Nach der Konfiguration, die in verschiedenen Detaillierungsstufen erfolgen kann und bspw. für eine Grobkonfiguration auf Basis von Kennwerten vergangener Projekte durchgeführt wird, kann im Untermenü <*Dimensionierung*> die Bewertung bzw. Analyse hinsichtlich der Ressourcenbedarfe des Produktionssystems gestartet werden. Abbildung 8-3 zeigt das Ablaufdiagramm des implementierten Dimensionierungsalgorithmus.

⁴⁸ Diese Bereiche müssen initial für das jeweilige Unternehmen definiert werden. Über die Zuordnung von Fertigungsteilen zu den Bereichen können die Wertströme des Produktionssystems und damit die Fertigungstiefe festgelegt werden.

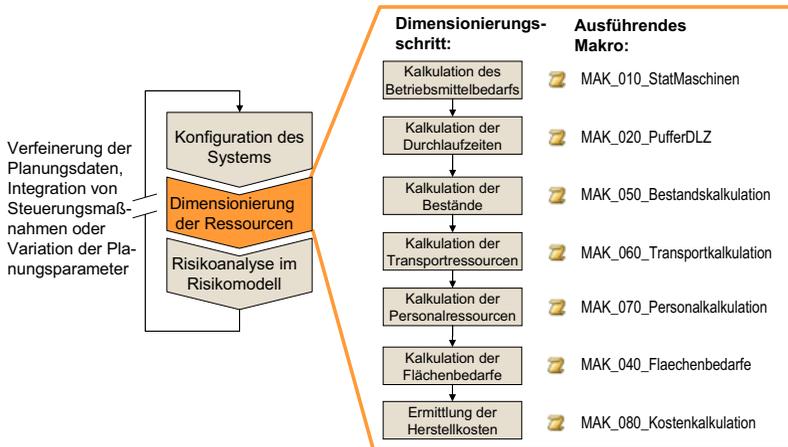


Abbildung 8-3: Ablauf des Dimensionierungsalgorithmus im Planungsmodell

Ergebnisse eines Dimensionierungslaufes des Planungsmodells sind die erforderlichen Ressourcen sowie die Herstellkosten für die konfigurierte Fabrikstruktur bzw. die Prozesse. Der Transfer der Herstellkosten mittels der Transferfunktionen hin auf die Risikokosten geschieht im Risikomodell.

Wie in den Anforderungen an das Planungsmodell (vgl. Abschnitt 6.2.1) gefordert, wurden zwei Schnittstellen zur Anbindung des EDV-Tools an Werkzeuge zur Materialfluss- bzw. Ablaufsimulation erstellt. Als Simulationswerkzeug zur Ablaufsimulation wurde *eM-Plant*TM von der Firma *Tecnomatix* gewählt, da dieses das in der Praxis am häufigsten eingesetzte System ist (IFF 2005, S. 8). Als Layoutplanungs- bzw. Materialfluss-Visualisierungssoftware wurde das in dem Unternehmen, in dem der Verfasser tätig ist, auf Basis von AutoCAD entwickelte System *MATFLOW* (vgl. LEHMANN 1997) gewählt. In der nachstehenden Abbildung 8-4 ist beispielhaft die Schnittstelle zu *eM-Plant* als Ablaufsimulationssoftware dargestellt.

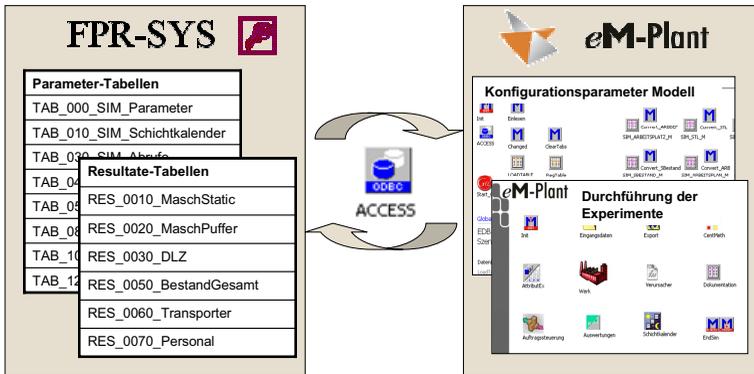


Abbildung 8-4: Schnittstellen von FPR-SYS zur Ablaufsimulationssoftware

Der Datenaustausch mit eM-Plant wurde dabei über eine ODBC⁴⁹-Schnittstelle realisiert. Nach deren initialer Definition können die Daten zwischen dem Planungsmodell und der Simulationssoftware für unterschiedliche Konfigurationen des Produktionssystems automatisiert transferiert werden. Die Generierung des Simulationsmodells in eM-Plant bzw. dessen Konfiguration erfolgt ebenso automatisiert anhand eines Standardmodells, das in dem Unternehmen, in dem der Verfasser tätig ist, entwickelt wurde (vgl. GEHLING 2007), mit Hilfe der verknüpften Input-Tabellen aus FPR-SYS. Die Ergebnisse der Simulationsexperimente (Durchlaufzeiten, Pufferdimensionierung, etc.) werden über die angesprochene Schnittstelle im Planungsmodell für weitere Auswertungen bzw. die Risikoanalyse bereitgestellt.

Der Datenaustausch zu MATFLOW geschieht über die in FPR-SYS erstellte Materialflussmatrix. Diese kann als Textfile aus dem Planungsmodell exportiert und in MATFLOW eingelesen werden. Nach der Struktur- bzw. Layoutplanung im System können die ermittelten Flächenbedarfe manuell in das Planungsmodell übertragen bzw. dort angepasst werden.

Im Anschluss an die Konfiguration des Produktionssystems und die Festlegung des Planungsstandes kann nun die Risikoanalyse im Risikomodell durchgeführt werden. Der folgende Abschnitt erläutert die softwaretechnische Umsetzung dieser Funktionalitäten.

⁴⁹ ODBC – Open Database Connectivity – ist eine standardisierte Datenschnittstelle, die SQL als Datenbanksprache verwendet.

8.1.3 Softwaretechnische Umsetzung des Risikomodells

Die Funktionalitäten des Risikomodells sind in der Datenbank *RiskManager.mdb* implementiert. Durch das Risikomodell unterstützt werden dabei die Festlegung der Risikofaktoren in Bezug auf die Planungsparameter (Risikoidentifikation), die Risikoanalyse mit der Analyse eines einzelnen Faktors, die Risikoclusterung und die Risikoaggregation sowie die Risikoüberwachung durch die Visualisierung der Risikomatrix und des Risikomonitor. Die nachfolgende Abbildung 8-5 zeigt das Hauptmenü des Risikomodells.

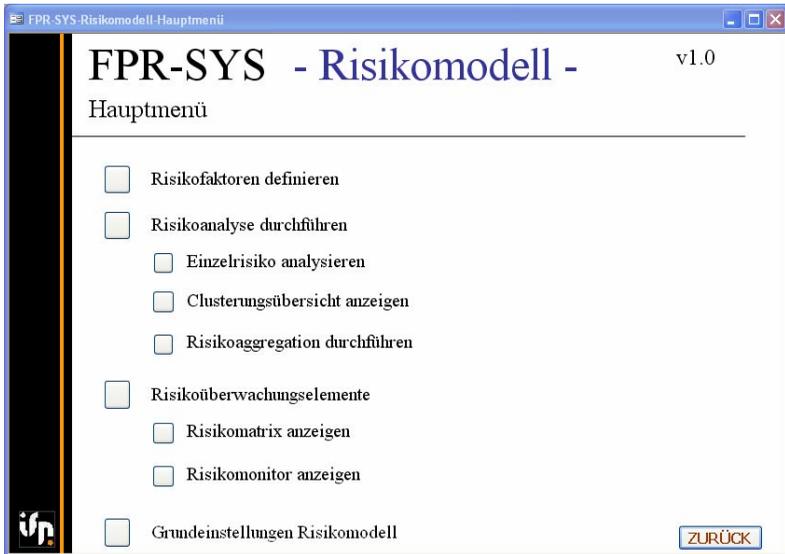


Abbildung 8-5: Hauptmenü des Risikomodells in FPR-SYS

Die Hinterlegung der identifizierten Risikofaktoren im Risikomodell geschieht über die Auswahl des zugehörigen Planungsparameters im Menüpunkt *<Risikofaktoren definieren>*. Diese Parameter sind im Planungsmodell eindeutig indiziert, so dass die Parameter in der Risikomatrix über diese Indices verknüpft werden können. Für die Analyse bzw. Aggregation werden nur diejenigen Planungsparameter berücksichtigt, die als Risikofaktoren identifiziert wurden, d.h. mit Unsicherheit behaftet sind. Diese Unsicherheiten werden über die Dichtefunktion des Planungsparameters mittels vorgegebener Standardverlaufsfunktionen implementiert (Abbildung 8-6).

Abbildung 8-6: Festlegung der Risikofaktoren und Auswahl der Dichtfunktionen im Risikomodell von FPR-SYS

Als Standardverläufe⁵⁰ sind die Normalverteilung (Parameter: Erwartungswert $E(x)$, Standardabweichung $\sigma(x)$), die Dreiecksverteilung (Parameter: x_{Min} , x_{Wahr} , x_{Max} sowie p_{Min} , p_{Wahr} , p_{Max}), die BetaPERTverteilung (Parameter: x_{Min} , x_{Wahr} , x_{Max} sowie p_{Min} , p_{Wahr} , p_{Max}) und die diskrete Verteilung (Parameter: x_1 , x_2 , x_3 , ... sowie p_1 , p_2 , p_3 , ...) hinterlegt. Der in der Praxis wohl am häufigsten auftretende Fall der Best/Worst/Most-likely-Verteilung lässt sich im Modell über die diskrete Verteilung (durch Integration der drei Werte), die BetaPERT- oder die Dreiecksverteilung abbilden.

Zusätzlich zu der Festlegung der einzelnen Risikofaktoren besteht im Menü der Risikoidentifikation die Möglichkeit, Verteilungen für ganze Parameterklassen (z.B. die Prozesszeiten, die Rüstzeiten, die Verfügbarkeiten, etc.) zu hinterlegen. Somit kann beispielsweise in der Ziel- bzw. der Vorplanungsphase eine

⁵⁰ Bezüglich einer Erläuterung bzw. einer Illustration der einzelnen Verteilungsfunktionen sei auf die in Fußnote Nr. 25 auf Seite 71 zitierte Literatur verwiesen.

Planung auf Basis von Kennwerten aus vergangenen Projekten durchgeführt (z.B. mit der Annahme „Prozesszeiten sind gegenüber vergangenem Projekt um 20% reduziert“) und dazu Risikoszenarien erstellt werden. Im Planungsmo- dell (Menüpunkt <Grundeinstellungen>) können die einzelnen Parameter zu den Parameterklassen zugeordnet werden. Für die Risikountersuchung auf Parameterklassenlevel wurde eine diskrete Verteilung mit Best/Worst-Case- Alternativen hinterlegt, die sich prozentual auf den jeweiligen Planwert beziehen (d.h. es können je zwei Prozentangaben je Parameterklasse und die dazugehö- rigen Wahrscheinlichkeiten eingestellt werden). Mit zunehmender Detaillierung der Planung bzw. der Verifikation einzelner Planwerte wird diese Funktionalität obsolet.

Nach der Festlegung der Risikofaktoren bzw. deren Dichtefunktionen kann die Bewertung der Risiken im Menüpunkt <Risikoanalyse durchführen> gestartet werden. Diese Bewertung gliedert sich gemäß den Funktionalitäten des Risi- komodells in die Analyse der singulären Risikofaktoren, in die Clusterung der Faktoren sowie in die Aggregation der Risiken zum Gesamtrisiko. Abbildung 8-7 zeigt beispielhaft die Funktionalität zur Analyse der Einzelrisiken.

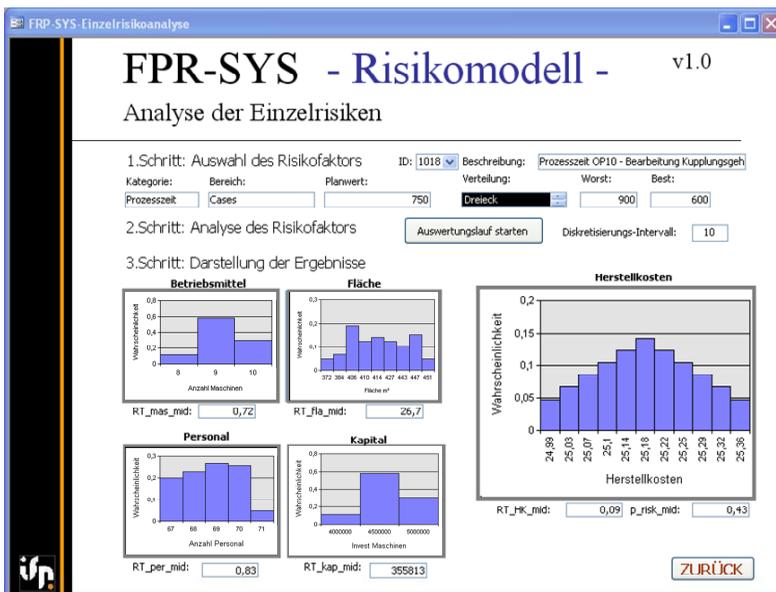


Abbildung 8-7: Die Menüoberfläche zur Analyse eines singulären Risiko- faktors im Softwaretool FPR-SYS

Nach der Auswahl des zu analysierenden Risikofaktors mit Hilfe der ID des Risikofaktors bzw. Parameters kann der Auswertungslauf gestartet werden. Über die Interaktion mit dem Planungsmodell werden die Risikotragweite in Bezug auf die Ressourcenbedarfe bzw. die Herstellkosten ermittelt und über Histogramme visualisiert. Im Untermenü *<Clusterungsübersicht anzeigen>* können diese Ergebnisse auf der Risk Map für alle bisher analysierten Faktoren angezeigt werden. Im Untermenü der Risikoaggregation kann über eine Auswahl eines der (im Planungsmodell definierten) Bereiche der gewünschte Aggregationslevel gewählt werden. Bei der erstmaligen Ausführung der Aggregation müssen die Abhängigkeiten zwischen den Risiken in der Korrelationsmatrix festgelegt werden. Die Matrix wird im Modell in Abhängigkeit von den definierten Risikofaktoren automatisch erstellt und muss dann vom Bediener ausgefüllt werden. Nach der Festlegung der Anzahl von Monte-Carlo-Läufen können die Aggregation durchgeführt und die Ergebnisse dargestellt werden. Dies erfolgt zum einen anhand der vorgestellten Kennzahlen, zum anderen mittels einer Visualisierung der Verteilungsfunktionen der Ressourcen bzw. der Herstellkosten.

Im Menü *<Risikoüberwachungselemente>* schließlich können einerseits die dynamische Risikomatrix in Überblicks- wie auch in Einzeldarstellung aufgerufen sowie der Risikomonitor als Gesamtrisikoubersicht gezeigt werden. Um diese Sichten vollständig gewährleisten zu können, muss die Analyse der Einzelrisiken (für die Risikomatrix) sowie die Aggregation der Risiken (für den Risikomonitor) durchgeführt worden sein. Insbesondere sollte nach einer Änderung spezifischer Parameter im Planungsmodell (z.B. durch verschiedene Steuerungsmaßnahmen) die Risikosituation aktualisiert werden.

Die prototypische Implementierung der Funktionalitäten des Konzeptes im Softwaretool *FPR-SYS* zeigt dessen praktische Umsetzung im Kontext der rechnergestützten Fabrikplanung.

8.2 Einsatz des Konzeptes mit Hilfe des Softwaretools in einem konkreten Planungsfall

Nach der Beschreibung der systemseitigen Umsetzung des Konzeptes anhand des beschriebenen Software-Prototyps *FPR-SYS* soll im folgenden Abschnitt die das Konzept durch den Einsatz in einem konkreten Planungsfall validiert

werden. Aufbauend auf der Spezifikation des Fabrikplanungsprojektes wird die Durchführung der einzelnen Konzeptschritte im Planungsverlauf für einen Teilbereich erörtert und im Detail beschrieben.

8.2.1 Spezifikation des Planungsfalles

Das betrachtete Unternehmen ist als international tätiger PKW-Getriebehersteller der Branche der Automobilzulieferer zuzuordnen. Diese sieht sich einem vermehrten Druck zur Preisreduzierung bei gleichzeitiger Forderung nach verbesserter Qualität und stetiger Innovation durch die OEMs ausgesetzt (ROLAND BERGER 2006). Im Rahmen der Entwicklung und Einführung einer grundlegend neuen Getriebebaureihe wurde in der strategischen Geschäftsplanung der Aufbau eines neuen Produktionsstandortes in einem osteuropäischen Land beschlossen. Der Hintergrund für diese Entscheidung waren insbesondere die Kostenvorteile auf Grund der niedrigen Lohnkosten bei gleichzeitig guter logistischer Anbindung an die Hauptmärkte in Westeuropa. Am neu zu konzipierenden Standort sollen die Fertigung ausgewählter Getriebebauteile sowie die Montage des Gesamtgetriebes erfolgen.

Die folgenden Planungsprämissen bzw. Planungsvorgaben waren im Rahmen der Zielplanung erarbeitet worden:

- Die Produktionsvolumina sowie die Anzahl der Varianten / Derivate in einem Best/Worst/Most-likely-Szenario
- Die Anzahl der Arbeitstage pro Jahr sowie das zugehörige Schichtmodell (Zusatzschichten sollten als Flexibilitätspuffer für evtl. weitere Volumensteigerungen vorgehalten werden.)
- Der Standort und das Layout des ausgewählten Grundstückes
- Die Eigenfertigungstiefe bzw. die Festlegung der Wertschöpfungstiefe (Wertströme) der Fabrik inklusive Szenariobetrachtung
- Die Entscheidung zur Verlagerung des Roh- und Fertigwarenlagers sowie zugehöriger In- und Outbound-Logistikprozesse in ein benachbartes Logistik-Service-Center

Die Zielsetzung des durch den Verfasser begleiteten Projektes war die Ausgestaltung eines materialfluss- und kostenoptimalen Gesamtkonzeptes der Fabrik unter Berücksichtigung der genannten Planungsprämissen.

Aus Gründen der Geheimhaltungsvereinbarungen sind die dem Beispiel zu Grunde liegenden Daten im folgenden Abschnitt 8.2.2 anonymisiert bzw. größtenteils modifiziert dargestellt.

8.2.2 Anwendung des Konzeptes im Planungsfall

Der Einsatz des integrierten Risikomanagementkonzeptes soll im Folgenden anhand des Teilbereiches *Gehäusefertigung* des Gesamtprojektes geschildert werden. Im Rahmen dieses Praxisbeispiels soll die Anwendung des Konzeptes zu einem exemplarischen Zeitpunkt in der Grobplanungsphase dargelegt werden. Nachfolgend werden zunächst die Ausgangssituation kurz vorgestellt und anschließend die Prozessschritte des Konzeptes ausgeführt.

In der Zielplanung war im Rahmen der Vorplanung eine Festlegung des Produktionsumfanges (die Eigenfertigungstiefe insbesondere für den Gehäusebereich) durchgeführt und eine erste Grobabschätzung bzgl. der Dimensionierung auf Basis von Kennwerten getroffen worden. In dieser Zielplanung waren zudem initial die Transferfunktionen für die Risikobewertung ganzheitlich für alle Fertigungsbereiche festgelegt (vgl. Abbildung 8-8) und in den Parametern des Risikomodells von *FPR-SYS* hinterlegt worden.

Ressource	Funktion	Begründung
Betriebsmittel	<p>K_{RES} vs RA graph showing a step function. The function is constant until RA_{plan}, then jumps up by 20%.</p>	Der Einkauf schätzt die zusätzlichen Kosten für einen nachträglichen Kauf auf 20%. Diese sollten im Lauf der Planung individuell für verschiedene Maschinentypen angepasst werden.
Fläche	<p>K_{RES} vs RA graph showing a step function. The function is constant until RA_{plan}, then jumps up by 50%.</p>	Laut Aussage des Architekten muss für einen nachträglichen Anbau (incl. Planung) mit ca. 1,5-fachen Kosten für das Gebäude gerechnet werden.
Personal	<p>K_{RES} vs RA graph showing a constant function.</p>	Am Standort ist laut dem Personalwesen eine mehr als ausreichende Anzahl an Facharbeitern vorhanden.
Kapital	<p>K_{RES} vs RA graph showing a constant function.</p>	Die Wirtschaftlichkeitsrechnung erfolgt in dem Unternehmen mit einem einheitlich festgelegten Zinssatz.

Abbildung 8-8: Festlegung der Transferfunktionen für den Planungsfall

Aufbauend auf der Initialdimensionierung wurde die Ausgestaltung bzw. Strukturierung des Fertigungsbereiches durchgeführt. Die Ausgangsbasis hierfür war eine detaillierte Prozessanalyse: Der Wertstrom *Gehäusefertigung* besteht aus den drei Bauteilen *Kupplungsgehäuse*, *Getriebegehäuse* und *Getriebedeckel*. Diese werden als Gussrohteile vom Lieferanten angeliefert, im Bereich der Gehäusefertigung u.a. spanend bearbeitet und anschließend für die Getriebemontage bereitgestellt. Nachfolgende Abbildung 8-9 visualisiert den (zu dem betrachteten Zeitpunkt aktuellen) Prozessablauf des Wertstroms für die drei Bauteile.

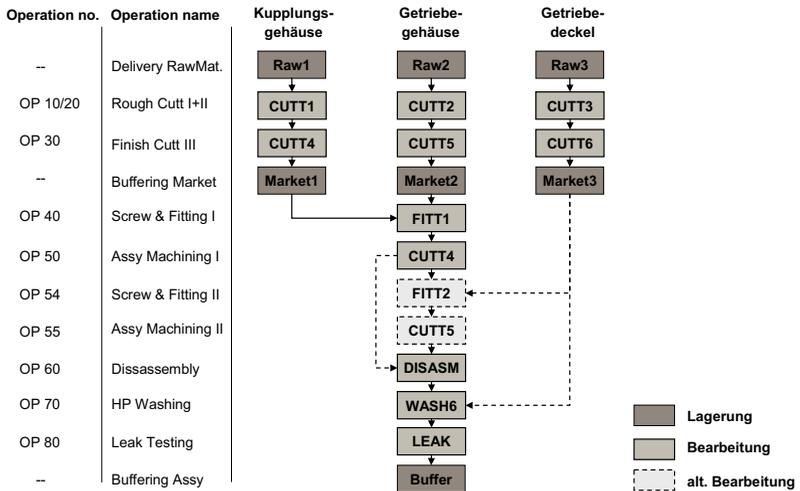


Abbildung 8-9: Der Prozessablauf bzw. die Bearbeitungsschritte des betrachteten Produktionsumfangs in der Gehäusefertigung

Wie in Abbildung 8-9 erkennbar ist, waren die Bearbeitungsprozesse weitgehend definiert, jedoch bestanden auf Grund der noch nicht abgeschlossenen, parallel stattfindenden Produktentwicklung zum einen Unsicherheiten bzgl. der Prozesszeiten, zum anderen bzgl. eines potentiell erforderlichen Zusatzprozesses für eine Bearbeitung des Getriebegehäuses samt Deckel im (temporär) montierten Zustand. Diese zusätzlichen Bearbeitungsschritte sind in der Abbildung hervorgehoben.

In einem umfassenden Workshop unter Einbindung der Experten aus der Prozessentwicklung für das Gehäuse, der Produktentwicklung, dem Industrial Engineering, dem Einkauf und der Logistik wurden nachfolgend aufgeführte Risi-

kofaktoren für den Bereich *Gehäusefertigung* identifiziert, klassifiziert und anschließend in der dynamische Risikomatrix von *FPR-SYS* aufgelistet (vgl. Abbildung 8-10).

LISTE DER RISIKEN UND RISIKOFAKTOREN					Bereich: GEHAUSE		
Nr.	Risiko bzw. Risikoursache	Bauteile			Risikofaktoren	Verteilungsfunktion	Klassifizierung
		KG	GG	GD			
1)	Prozesszeit OP10/20 für Basis-Applikation und Varianten unscharf - DesignFreeze nicht erfolgt - genaue Kundenspezifikation offen	x	x		Parameter Prozesszeit OP10/20 jeweils für Kupplungs- und Getriebegehäuse je Variante	Dreiecksverteilung (Best/Worst/Most-likely)	Prozessrisiko
2)	Zusätzlicher Prozessschritt für Zus.-Bearbeitung mit Deckel offen (Basis-Appl. und Varianten) - DesignFreeze nicht erfolgt - Qualitätsanforderung		x	x	Parameter Prozesszeit OP 54 und 55 jeweils für mont. Getriebegehäuse und Deckel je Variante	Diskrete Verteilung (ja/nein) -	Prozessrisiko
3)	Rüstzeit CUTT-Maschinen OP10 unscharf - Keine Herstellerangabe vorhanden	x	x	x	Parameter Rüstzeit OP10 jeweils für Kupplungs- und Getriebegehäuse je Variante	Dreiecksverteilung (Best/Worst/Most-likely)	Prozessrisiko
4)	Maschineninvest für CUTT-Maschinen unsicher - Schätzpreise - keine Bestätigung durch Einkauf	x	x	x	Parameter Maschineninvest für CUTT-Maschinen	Dreiecksverteilung (Best/Worst/Most-likely)	Ressourcenkostenrisiko
5)	Techn. Verfügbarkeit CUTT-Maschinen unsicher - Keine Erfahrungswerte bzgl. des Maschinentyps	x	x	x	Parameter Verfügbarkeit für CUTT-Maschinen	Dreiecksverteilung (Best/Worst/Most-likely)	Ressourceneigenchaftsrisiko
6)	Techn. Verfügbarkeit Hochdruckwäscher unsicher - unbekannt Technologie - keine Erfahrungswerte	x	x	x	Parameter Verfügbarkeit für HD-WASH-Maschine	Dreiecksverteilung (Best/Worst/Most-likely)	Ressourceneigenchaftsrisiko
7)	Erforderlicher Flächenbedarf Hochdruckwäscher - unbekannt Technologie - keine Erfahrungswerte	x	x	x	Parameter Maschinenfläche für HD-WASH-Maschine	Dreiecksverteilung (Best/Worst/Most-likely)	Ressourceneigenchaftsrisiko
8)	Maschineninvest für Hochdruckwäscher - Schätzpreise - keine Bestätigung durch Einkauf	x	x	x	Parameter Maschineninvest für HD-WASH-Maschinen	Dreiecksverteilung (Best/Worst/Most-likely)	Ressourcenkostenrisiko
9)	Anzahl Teile pro Behälter nach OP10/20 unklar - Design-Freeze nicht erfolgt - keine Aussage von PE bzgl. Auflageflächen	x	x		Parameter Anzahl Teile pro Behälter jeweils für Kupplungs- und Getriebegehäuse je Variante	Diskrete Verteilung (10 oder 12 oder 14 Stück je Behälter)	Logistikrisiko

KG: Kupplungshäuse GG: Getriebegehäuse GD: Getriebedeckel

Abbildung 8-10: Die Liste der Risikofaktoren im Bereich der Gehäusefertigung als Ergebnis der Risikoidentifikation

Neben der Auflistung der Risikofaktoren wurden die zu Grunde liegenden Risikoursachen aufgeführt und die betroffenen Bauteile identifiziert. Zur Vereinfachung der Risikobewertung wurden für den Großteil der Risikofaktoren Best/Worst/Most-likely-Werte angenommen und diese mit Hilfe einer Dreiecksverteilung angenähert. Eine Ausnahme stellt dabei bspw. das Risiko Nr. 2 – die zusätzliche Prozessfolge – dar. Hier wurde eine diskrete Verteilung mit zwei Werten zur Abbildung des Ereignisses „Risikoeintritt ja / nein“ verwendet.

Auf Basis der ermittelten Risikofaktoren konnte im nächsten Prozessschritt die Risikobewertung durchgeführt werden. Im Folgenden soll hier exemplarisch die Bewertung des Risikofaktors Prozesszeit *OP10/20 Basis-Applikation* erörtert werden. Die ausgewählte Dreiecksverteilung (siehe oben) wurde mit den Eckpunkten der Best/Worst/Most-likely-Werte bzw. den zugehörigen Wahrscheinlichkeiten im Modell implementiert und mittels eines Diskretisierungsintervalls von 10 angenähert. Die folgende Abbildung 8-11 zeigt die Ergebnisse der Analyse des ausgewählten Risikofaktors mit Hilfe eines Ausschnitts aus *FPR-SYS*.

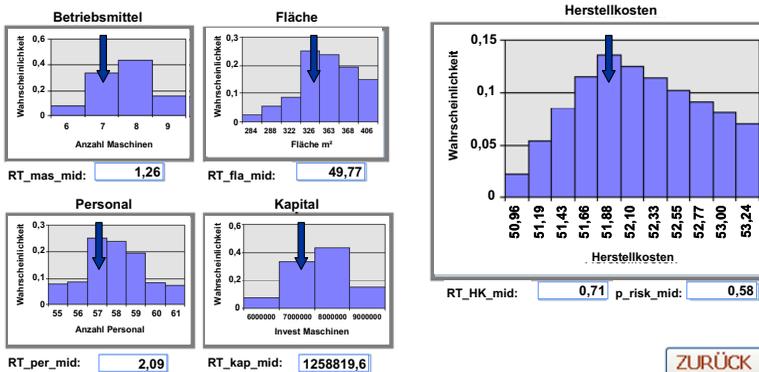


Abbildung 8-11: Exemplarische Darstellung der Analyseergebnisse eines Risikofaktors im Planungsfall

Über die abgebildeten Histogramme kann die Ausprägung der Unsicherheit des spezifischen Planungsparameters auf die Ressourcen bzw. die Auswirkung auf die Zielgröße *Herstellkosten* beurteilt werden. Die Ergebnisse für die Planungswerte, d.h. den aktuellen Planungsstand, sind in den Diagrammen (nachträglich) durch Pfeile markiert. Wie aus der Abbildung ersichtlich, sind gemäß dem Planwert sieben Maschinen, im Worst-Case (Eintrittswahrscheinlichkeit <20%) hingegen neun Maschinen notwendig. Mit Hilfe der vorgestellten Risikokennzahlen ist zusätzlich zu der visuellen Beurteilung eine Quantifizierung der Risikotragweite des Risikofaktors möglich.

Diese Risikokennzahlen aus der Bewertung der einzelnen Risikofaktoren dienen im nächsten Teilschritt der Risikoanalyse zur Clusterung der Risiken mit Hilfe einer Risk Map (Abbildung 8-12).

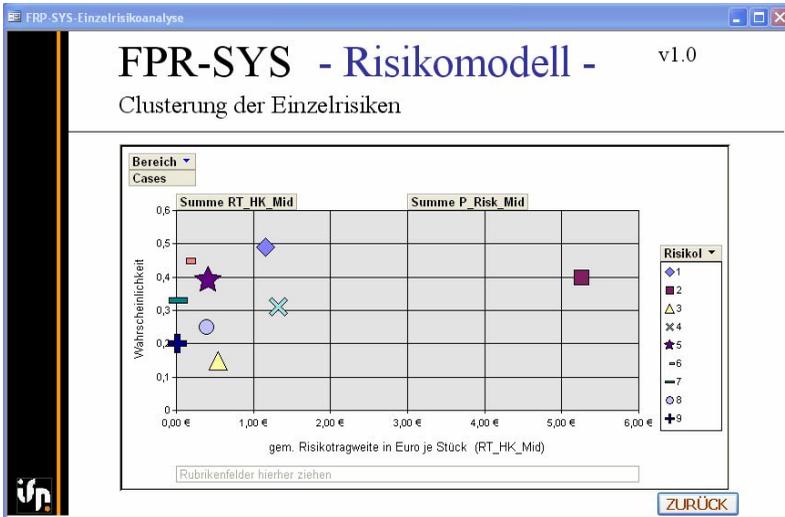


Abbildung 8-12: Clustering der untersuchten Risiken in der Gehäusefertigung mit Hilfe der Risk Map

Die Abbildung zeigt die Clustering der Risiken in der Risk Map anhand der Kennzahlen $RT_{k;Mid}^{HK}$, d.h. der gemittelten Risikotragweite in Bezug auf die Herstellkosten, bzw. $P_{k;Risk}$, d.h. der Wahrscheinlichkeit des Eintritts des Risikofalles, in der Absolutdarstellung. Mittels der Risk Map konnten so die drei Hauptrisiken (für den betrachteten Bereich der Gehäusefertigung), nämlich Nummer 1, 2 und 4 (vgl. Abbildung 8-10 auf Seite 150), identifiziert werden. Ebenso wurden die Risk Maps für die Ressourcen analysiert und die maßgeblichen Hauptrisiken herausgefunden.

Um den Überblick über die Gesamtrisikosituation in der Gehäusefertigung darzustellen, wurde als letzter Schritt der Risikoanalyse die Risikoaggregation durchgeführt. Hierzu mussten zunächst die Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Faktoren in der Korrelationsmatrix hinterlegt werden. Ein Ausschnitt aus der spezifischen Korrelationsmatrix für den betrachteten Bereich der Gehäusefertigung in FPR-SYS ist in der nachfolgenden Abbildung 8-13 dargestellt.

8.2 Einsatz des Konzeptes mit Hilfe des Softwaretools in einem konkreten Planungsfall

Auswahl des Bereiches:

Festlegung der Korrelationen zwischen den Faktoren

Kategorie	Bereich	Beschreibung	ID	841	865	871
Rüstzeit	Cases	JTT Maschinen GG - Base, VarA, VarB	841	1	1	1
Rüstzeit	Cases	UTT Maschinen KG - Base, VarA, VarB	865	1	1	1
Rüstzeit	Cases	JTT Maschinen GD - Base, VarA, VarB	871	1	1	1
Prozesszeit	Cases	JTT Maschinen GG - Base, VarA, VarB	1717			
Prozesszeit	Cases	ichtung GD+KG OP54- Base, VarA, VarB	1722			
Prozesszeit	Cases	JTT Maschinen GG - Base, VarA, VarB	1741			
Maschinenflache	Cases	innenfläche Hochdruckwäscher - DP70	1731			

Datensatz: von 21

*) Anmerkung: nur direkte Korrelationen ausführbar - d.h. Wert 1 (vollst. positiv korrelierend) oder Wert -1 (vollst. negativ korrelierend) wählbar. Leere Felder werden als 0 interpretiert, d.h. Faktoren absolut unabhängig

ZURÜCK

Abbildung 8-13: Ausschnitt aus der Korrelationsmatrix für die Risikofaktoren im Bereich Gehäusefertigung

Korrelationen bestanden in dem betrachteten Fall insbesondere für die einzelnen Risikofaktoren, die aus derselben Risikoursache resultieren. So bedeutet beispielsweise das Risiko Nr. 1 „Prozesszeit OP10/20 unscharf“ eine Unschärfe in den betroffenen Prozessparametern sowohl für die drei geplanten Varianten als auch für die betroffenen Bauteile, das *Getriebegehäuse* und das *Kupplungsgehäuse*. Im simulierten Risikoeintritt konnte so über die Korrelationsmatrix die gesamte Risikoausprägung bzw. -wirkung ermittelt werden.

Aufbauend auf diesen Korrelationen wurde anschließend die Risikoaggregation durchgeführt. Die Ergebnisse der aggregierten Ressourcenbedarfe sowie der Herstellkosten sind in folgender Abbildung 8-14 veranschaulicht.

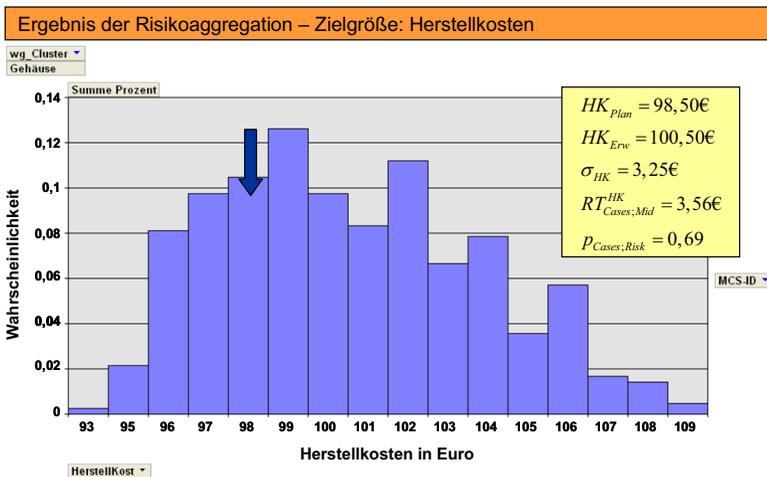
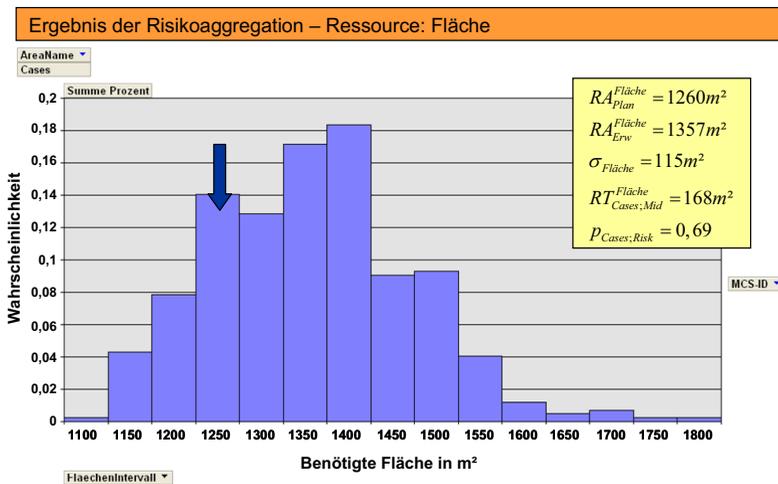


Abbildung 8-14: Ergebnis der Risikoaggregation am Beispiel der Ressource „Fläche“ bzw. der Zielgröße „Herstellkosten“ im Planungsfall

Die Abbildung zeigt Auszüge aus der Risikoaggregationsanalyse mit Hilfe von FPR-SYS. Die Planwerte des Bereiches sind nachträglich mit Pfeilen markiert sowie die Übersicht der Kennzahlen ergänzt worden.

Die Analyse der Kennzahlen bzw. der aggregierten Darstellungen ergab, dass in Bezug auf den aktuellen Planwert der Herstellkosten HK_{Plan} für den Bereich

ein gemitteltes Risiko von 3,6%, im Worst-Case sogar von 11,7% bestand. In Bezug auf den aktuellen Planwert des Flächenbedarfs (Ressourcenausprägung $RA_{Plan}^{Fläche}$) bestand sogar ein mittleres Risiko von 13,3% bzw. im Worst-Case von 42,9%. Bei einer angestrebten Jahresstückzahl von 150.000 Einheiten pro Jahr bedeutete das gemittelte Herstellkostenrisiko (nur aus dem Bereich der Gehäusefertigung!) daher ein Risiko für das Geschäftsergebnis von ca. 550.000 Euro per annum. Bezogen auf den Investitionsbedarf stellten die Unsicherheiten daher ein mittleres Investitionsrisiko von über 3 Mio. Euro bzw. zusätzlich benötigter Fläche von knapp 200 m² dar. Für die Ausgestaltung bzw. Dimensionierung des Fabrikbereiches mussten diese Unsicherheiten daher in der Planung berücksichtigt werden.

Mit Hilfe der Darstellung konnte nachgewiesen werden, dass der betrachtete bzw. aktuelle Planungsstand nicht mit dem Erwartungswert übereinstimmt. Dies bedeutet, dass mehr Risiken als Chancen für den betrachteten Bereich existieren bzw. der Planungsstand als *risiko-affin* bezeichnet werden kann. Die Hauptrisiken waren hierbei in der Risikobewertung identifiziert und analysiert worden. Insbesondere das Risiko Nummer 2, die zusätzlichen Prozessschritte, stellte dabei den entscheidenden Stellhebel dar.

Aufbauend auf den Analysen der einzelnen Risikofaktoren bzw. des aggregierten Gesamtrisikos konnten nun geeignete Risikosteuerungsmaßnahmen unter Verwendung des Maßnahmenkatalogs für die Risiken abgeleitet werden (Abbildung 8-15).

8 Validierung des Konzeptes

LISTE DER RISIKEN UND RISIKOFAKTOREN				Bereich: GEHÄUSE		
Nr.	Risiko bzw. Risikoursache	Bauteile		pot. Maßnahmen		Zuständigkeit
		KG	GG/GD			
1)	Prozesszeit OP10/20 für Basis-Applikation und Varianten unscharf	x	x	Design Freeze für Gehäuse forcieren (Unsicherheit red.)	M2.1	Produktentw.
				Reservefläche und eine Zusatzmaschine einplanen	M2.5	Fabrikplng.
				Worst-Case-Invest - alle Zusatzmaschinen einplanen	M1.3	Fabrikplng.
2)	Zusätzlicher Prozessschritt für Zus.-Bearbeitung mit Deckel offen		x	Design Freeze für Gehäuse forcieren (Unsicherheit red.)	M2.1	Produktentw.
				Entwicklung Alternativ-Prozess für Dichtigkeitsanford.	M2.7	Prozessplng.
				Reserveflächen vorhalten	M2.5	Fabrikplng.
3)	Rüstzeit CUTT-Maschinen OP10 unscharf - keine Herstellerangabe	x	x	Validierung incl. SMED-Analyse gemeinsam mit Herst.	M1.2	Prozessplng.
				Pufferflächen vor den Maschinen ausweiten	M2.5	Fabrikplng.
				--	M4.1	
4)	Maschineninvest für CUTT-Maschinen unsicher - Schätzpreise - keine Bestätigung	x	x	Ausschreibungsunterlagen + Verhandlung mit Hersteller	M3.3	Einkauf
				Alternative Maschinen analysieren und einplanen	M2.6	Prozessplng.
				--	M4.1	
5)	Techn. Verfügbarkeit CUTT-Maschinen unsicher - keine Erfahrungswerte	x	x	Validierung (Testläufe) zusammen mit Hersteller	M1.2	Prozessplng.
				Vertragliche Fixierung auf 97% - incl. Schadensersatz	M3.3	Einkauf
				Reservefläche für Zwischenpuffer erhöhen	M2.5	Fabrikplng.
...

Abbildung 8-15: Ausschnitt aus der Sammlung geeigneter Risikosteuerungsmaßnahmen für die identifizierten Risiken

Nach der Bewertung der einzelnen Alternativen wurde die Umsetzung und Integration folgender Maßnahmen in dem geplanten Fabrikkonzept beschlossen:

- Elimination der Unsicherheit bzgl. der zusätzlichen Prozessschritte (Risiko Nr. 2) durch endgültige Festlegung der Kundenspezifikation. Hierzu waren zusätzliche Planungsressourcen in der Produkt- und Prozessentwicklung erforderlich.
- Reduzierung der Unsicherheit bzgl. Prozesszeiten OP10/20 (Risiko Nr. 1) durch Abklärung der genauen Kundenspezifikation für die Basisapplikation durch die Produktentwicklung. Die Unsicherheit bzgl. Variante A und B kann erst nach Abschluss der Grobkonzeptphase geklärt werden (Restrisiko).
- *Integration von Expansionsfläche* zur Absicherung der Risiken Nr. 5, Nr. 6, Nr. 7 und Nr. 9. Die Ausprägung dieser Risiken war in Bezug auf die Ressource *Fläche* am größten. Durch das Vorhalten von zusätzlichen Flächenreserven konnte die Auswirkung der Risiken reduziert werden.
- *Vertragliche Absicherung* der technischen Verfügbarkeit des Hochdruckwäschers sowie der CUTT-Maschinen (Risiko Nr. 5 und Nr. 6) mit den Lieferanten durch den Einkauf. Die zuvor erwähnte Expansionsfläche

8.2 Einsatz des Konzeptes mit Hilfe des Softwaretools in einem konkreten Planungsfall

kann als zusätzlicher Sicherheitspuffer im Schadensfall betrachtet werden.

Die Überwachung der Risiken bzw. der eingesteuerten Maßnahmen zu deren Reduzierung bzw. Eliminierung erfolgte im weiteren Planungsverlauf mit Hilfe der dynamischen Risikomatrix. Abbildung 8-16 zeigt die Risikomatrix aus FPR-SYS inklusive der eingeleiteten Steuerungsmaßnahmen und Zuständigkeiten je Risikofaktor (Stand vor Umsetzung der Maßnahmen).

Risiko	ID	Beschreibung	Kategorie	Bereich	P_Risk	RT_HK	Maßnahme	Vera	
					Mid	Mid	Worst		
	1	1717 Prozesszeit OP10/20 CUTT Maschinen GG - Base, VarA,	Prozessrisik	Cases	0,49	0,710	1,36	Reduzierung der Unsicherheit für Basis-Applikation durch	PE
	1	1741 Prozesszeit OP10/20 CUTT Maschinen GG - Base, VarA,	Prozessrisik	Cases	0,49	0,452	0,86	Reduzierung der Unsicherheit für Basis-Applikation durch	PE
	2	1722 Zusatzprozess.ZUS-Bearbeitung GD+KG OP54-	Prozessrisik	Cases	0,4	5,070	5,070	Elimination der Unsicherheit durch Festlegung der Kunden-	PE
	3	865 Rüstzeit OP10 CUTT Maschinen KG - Base, VarA,	Prozessrisik	Cases	0,15	0,256	0,520	Kontakt mit Lieferant und gemeinsamer SMED-	ProcsPla
	3	871 Rüstzeit OP10 CUTT Maschinen GG - Base, VarA,	Prozessrisik	Cases	0,15	0,032	0,070	Kontakt mit Lieferant und gemeinsamer SMED-	ProcsPla
	3	841 Rüstzeit OP10 CUTT Maschinen GG - Base, VarA,	Prozessrisik	Cases	0,15	0,254	0,5	Kontakt mit Lieferant und gemeinsamer SMED-	ProcsPla
	4	1838 Maschininvest - CUTT-Maschine - Gruppe CUTT3	Res.Koster	Cases	0,31	0,337	0,7	Initialverhandlungen mit Zulieferer - Detaillierte Aus-	Purclase
	4	1837 Maschininvest - CUTT-Maschine - Gruppe CUTT2	Res.Koster	Cases	0,31	0,329	0,69	Initialverhandlungen mit Zulieferer - Detaillierte Aus-	Purclase
	4	1862 Maschininvest - CUTT-	Res.Koster	Cases	0,31	0,328	0,68	Initialverhandlungen mit	Purcl

Abbildung 8-16: Darstellung der dynamischen Risikomatrix für das Planungsbeispiel

Im weiteren Verlauf des Projektes konnten so die entscheidenden Risiken für den Bereich *Gehäusefertigung* reduziert bzw. eliminiert werden, so dass am Ende der Grobplanungsphase ein abgesichertes Grobkonzept vorlag. Die Risiken aus den Unsicherheiten in den Planungsparametern waren dabei nicht gänzlich eliminiert, aber soweit reduziert worden, dass die Freigabe am dritten Risk Gate (Ende der Grobplanungsphase) erfolgen konnte.

8.3 Kritische Würdigung des Konzeptes

Nach der theoretischen Ausführung des integrierten Risikomanagementansatzes in der Ablauf- und Strukturplanung und dessen Validierung in der Praxis soll zum Schluss nun eine kritische Würdigung des Konzeptes erfolgen.

Eine monetäre Bewertung des Konzeptes kann nur über einen direkten Vergleich desselben Fabrikplanungsprojektes geschehen, das (parallel zueinander) einmal ohne und einmal unter Einsatz des Konzeptes durchgeführt wird. Dies gestaltet sich in der Realität als nicht durchführbar, zumal sich insbesondere der Zufall in Bezug auf das Eintreten bestimmter Risiken auf die potentiellen monetären Einsparungen durch das Konzept auswirkt. Zusätzlich ist eine solche Bewertung stark von dem spezifischen Planungsfall (charakterisiert bspw. durch die Branche, die Unternehmensgröße, die Komplexität der Fertigung etc.) abhängig und somit nicht allgemein ausführbar.

Die Bewertung soll daher mittels zweier alternativer Vorgehensweisen durchgeführt werden: Zum einen soll – als theoretische Abhandlung – eine Überprüfung anhand der gestellten Anforderungen (vgl. Abschnitt 4.1) und ihres Erfüllungsgrades vorgenommen werden. Zum anderen soll das Konzept in Bezug auf die Anwendungserfahrung des im vorherigen Abschnitt erläuterten Praxisbeispiels beurteilt und mittels der Kriterien *Aufwand*, *Nutzen* sowie *Qualität der Aussage* überprüft werden.

8.3.1 Bewertung des Konzeptes anhand der gestellten Anforderungen

Basierend auf dem aus dem Stand der Forschung identifizierten Handlungsbedarf und der Zielsetzung der Arbeit wurden in Abschnitt 4.1 die Anforderungen an das Konzept mit Bezug auf die Risikomanagement- sowie die Fabrikplanungssystematik ausgearbeitet. Die Bewertung des Konzeptes kann über die Zielerfüllung dieser Anforderungen durchgeführt werden (vgl. Abbildung 8-17).

Anforderungen aus der Risikomanagementsystematik	
Identifikation der Risikofaktoren	✓
Analyse und Bewertung der Risikofaktoren	✓
Systematik zur Risikosteuerung	✓
Kontinuierliche Überwachung der Risikofaktoren	✓
Anforderungen aus der Fabrikplanungssystematik	
Integration unsicherer Daten	✓
Systemtechnische Modellierung	✓
Unterstützung des Planers	✓
Integration in den Planungsablauf	✓

Abbildung 8-17: *Bewertung des Konzeptes anhand der Zielerfüllung bzgl. der gestellten Anforderungen*

Die vier Prozessschritte der Identifikation, Analyse, Steuerung sowie Überwachung der Risiken wurden im Konzept umgesetzt. Die Realisierungselemente dieser Prozessschritte sind die dynamische Risikomatrix, das Planungs- bzw. Risikomodell, der Maßnahmenkatalog für die Risikosteuerung sowie der Risikomonitor. Die Integration unsicherer Daten wurde über das Risikomodell bzw. die dynamische Risikomatrix umgesetzt. Die systemtechnische Modellierung des Produktionssystems erfolgt in dem entwickelten Planungsmodell. Die Unterstützung des Planers kann durch den Steuerungsmaßnahmenkatalog als erfüllt angesehen werden. Schließlich wurde die Integration des Konzeptes in den Planungsablauf im erweiterten Regelkreis der Ablauf- und der Strukturplanung ausgeführt.

Die Zielerfüllung seitens der gestellten Anforderungen kann somit als gegeben betrachtet werden. Die Analyse des Einsatzes mit Hilfe des Praxisbeispiels im nächsten Abschnitt rundet die Bewertung des Konzeptes ab.

8.3.2 Bewertung des Konzeptes anhand des Einsatzes in der Praxis

Neben der zuvor aufgeführten theoretischen Beurteilung anhand der gestellten Anforderungen soll eine weitere qualitative Beurteilung auf Basis der Anwendungserfahrungen aus dem geschilderten Planungsfall geschehen. Als Beurtei-

lungskriterien dienen hierbei der Aufwand und der Nutzen in der Anwendung sowie die Risiken in Bezug auf die Qualität der Ergebnisse.

Aufwand in der Anwendung des Konzeptes

Die Abschätzung des durch den Einsatz des Konzeptes verursachten Aufwands soll anhand der vier Hauptprozessschritte des Konzeptes durchgeführt werden:

Als nicht unerheblicher Aufwand in der Anwendung des Konzeptes muss die Identifikation der Risikofaktoren betrachtet werden. Diese besteht zum einen aus einem initialen Workshop, in dem in Zusammenarbeit mit allen am Planungsprozess beteiligten Disziplinen der Transfer der Risiken auf die Risikofaktoren durchgeführt und die Unsicherheiten quantifiziert werden. Zusätzlich zu diesem einmaligen Aufwand muss der laufende Aufwand zur Anpassung der Dichtefunktionen der Risikofaktoren und der zugehörige Bedarf zur Abstimmung sowie zum Einpflegen weiterer Risikofaktoren mit zunehmender Planungsinformation einbezogen werden.

Der Aufwand zur Risikoanalyse kann durch die Verwendung eines rechnergestützten Hilfsmittels, wie mit dem Softwareprototyp demonstriert, gering gehalten werden. Zwar erfordert insbesondere die Aggregation der Risiken u.U. einen erheblichen Zeitaufwand (dieser ist abhängig von der Anzahl der betrachteten Risikofaktoren), durch die Rechnerunterstützung ist der personelle Aufwand jedoch auf die Konfiguration des Modells sowie die Interpretation der Ergebnisse beschränkt. Ferner ist für die Abbildung der Strukturen und Abläufe im Planungsmodell Expertenwissen erforderlich und somit eine Schulung der betroffenen Mitarbeiter vorauszusetzen.

Der Aufwand zur Risikosteuerung ist abhängig von der spezifischen Maßnahme und kann nicht allgemein quantifiziert werden. Da jedoch ein Großteil der Maßnahmen erneute Abstimmungen, Um- oder Neuplanungen von Teilen der Struktur oder der Abläufe erfordert, bedeutet dieser Prozessschritt den größten Aufwand in der Konzeptdurchführung. Dieser muss jedoch in der Bewertung der Maßnahmen dem potentiellen Risikoschaden gegenübergestellt werden (vgl. auch Abschnitt 7.1.2). Durch den vorgestellten Katalog der Risikosteuerungsmaßnahmen kann der Aufwand für die Erarbeitung der Maßnahmen gering gehalten werden.

Die Überwachung der Risikofaktoren bzw. der eingesteuerten Maßnahmen schließlich kann durch die automatisierte Visualisierung der Risikomatrix bzw.

des Risikomonitor mit wenig Aufwand durchgeführt werden. Lediglich die Abstimmung an den Quality Gates – bspw. in Workshops – kann hier einen nennenswerten Aufwand verursachen.

Nutzen durch die Anwendung des Konzeptes

Die Bewertung des Nutzens des Konzeptes soll im Hinblick auf die Zielgrößen *Zeit*, *Kosten* und *Qualität* des Planungsprojektes durchgeführt werden:

Als Hauptnutzen des Konzeptes kann die Vermeidung von Änderungsschleifen durch pro-aktive Berücksichtigung von Planungsrisiken im Grobkonzept genannt werden. Durch die systematische Integration des Risikomanagementprozesses in den Fabrikplanungsprozess können so die Planungsgeschwindigkeit erhöht und die nachträglichen Änderungskosten reduziert werden. Die frühzeitige Identifikation und Bewertung von Risiken in der Gestaltung der Abläufe und Strukturen führt dazu, dass diese in den relevanten Entscheidungen miteinbezogen bzw. im Konzept berücksichtigt werden können.

Mit Hilfe der Risikoclusterungsdarstellung werden zudem die maßgeblichen Risiken und somit die entscheidenden Stellhebel zur Reduzierung bzw. Eliminierung dieser Risiken aufgezeigt. Durch den zielgerichteten Einsatz von Planungsressourcen können so das Planungsergebnis und die Planungsqualität entscheidend gesteigert werden. Mittels der Risikoanalyse wird der Einfluss des jeweiligen Risikofaktors auf die Zielgrößen der Fabrik bzw. auf die Ressourcendimensionierung bestimmt. Diese Information kann genutzt werden, um in Abstimmungsgesprächen mit bspw. der Produktentwicklung oder externen Partnern die Relevanz des Einflusses zu demonstrieren bzw. diesen Einfluss gemeinsam zu eliminieren.

Mit der Einführung der Risk Gates in den Planungsablauf wird zudem sichergestellt, dass die Freigabe der anschließenden Projektphase nur bei geringerem als dem maximal zulässigen Risiko erfolgt. Durch den Gating-orientierten Entscheidungsprozess wird somit die Planungsgüte und -qualität gewährleistet bzw. die Einleitung und Umsetzung der Risikosteuerungsmaßnahmen überwacht. Insbesondere den aggregierten Darstellungen der Dichtefunktionen der Ressourcenbedarfe bzw. der Zielgröße *Herstellkosten* kommt bei den Entscheidungsfreigaben eine tragende Rolle zu.

Ein weiterer Nutzen besteht in der kontinuierlichen Verfügbarkeit der Unsicherheiten in der Planungsinformation bzw. den Planungsparametern. Die in der

Risikoidentifikation aufgedeckten Unsicherheiten bzw. deren Quantifizierung bilden über das Element der dynamischen Risikomatrix eine Ergänzung der in der Digitalen Fabrik geforderten zentralen Datenbasis. Diese Zusatzinformationen stehen somit allen im Planungsprozess beteiligten Disziplinen zur Verfügung und können entsprechend in den spezifischen Planungsprozessen berücksichtigt werden. Die Transparenz bezüglich dieser Parameter und ihres Einflusses unterstützt den Prozess der Kommunikation zwischen den Beteiligten, was zu einer mittelbaren Erhöhung der Planungsqualität führt. Im Rahmen einer fortschreitenden Parallelisierung der Planungsprozesse sowie einer stärkeren Synchronisation der am Planungsprozess beteiligten Fachdisziplinen gewinnt diese Transparenz zusätzlich an Stellenwert.

Schließlich wird durch den Prozess eines systematischen Managements der Risiken in der Planung ein *Risikobewusstsein* bei allen Planungsbeteiligten geschaffen. Insbesondere das kritische Hinterfragen von Annahmen bzgl. Planungsparametern und das systematische Eruiere des Einflusses dieser Annahmen auf die Auslegung des Produktionssystems sorgen dafür, dass die Planung risikobewusster durchgeführt und der Faktor *Risiko* bei den Entscheidungen im Planungsprozess mitberücksichtigt wird.

Risiken in der Qualität der Aussagen bzw. der Ergebnisse

Kritisch muss an dieser Stelle angemerkt werden, dass die Subjektivität der Schätzung in Bezug auf das Eintreten bestimmter Risiken einen signifikanten Einfluss auf die Bewertung der Risiken hat. Deshalb sollte über das Einholen von Meinungen weiterer Fachleute bzw. Experten die Einschätzung auf eine fundierte Basis gestellt werden. Dennoch kann auf Grund der Subjektivität der Einschätzungen ein Einfluss auf die Qualität der Risikobewertung nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Über gezielte Sensitivitätsanalysen kann eine Bewertung dieses Einflusses vorgenommen werden.

Zudem können trotz der Involvierung von Experten verschiedenster Fachrichtungen bestimmte Risiken in der Planung nicht identifiziert werden bzw. unentdeckt bleiben. Diese unidentifizierten Risiken können bspw. über einen prozentualen Sicherheitszuschlag insbesondere in der aggregierten Darstellung der Risikotragweiten hinzugefügt und so im Konzept berücksichtigt werden. Auf Grund der vorgestellten Methodik zur detaillierten Analyse aller Planungsparameter respektive Risikofaktoren kann dieses Risiko, das aus nicht identifizierten Faktoren resultiert, jedoch als sehr gering eingestuft werden.

Schließlich darf der Einfluss der Güte des Planungsmodells nicht vernachlässigt werden. Fehler in der Abbildung der Abläufe und Strukturen bzw. der Algorithmen des Wirkmodells führen zu Ungenauigkeiten in der Dimensionierung der Ressourcen. Diese Fehler wirken sich somit auch auf die Bewertung der Risiken aus. Die Schnittstelle zur Simulationssoftware bietet hier die Möglichkeit, die Planungsgenauigkeit deutlich zu steigern.

8.3.3 Zusammenfassung der Bewertung und abschließende Empfehlung

Die Bewertung des Konzeptes anhand der gestellten Anforderungen sowie dessen Einsatz in der Praxis zeigten, dass die Anwendung im Fabrikplanungsprojekt dazu beiträgt, die Planungsgeschwindigkeit zu erhöhen bzw. die Planungsqualität zu verbessern. Der Hauptnutzen des Konzeptes für den Planer bzw. die Projektleitung ist dabei, frühzeitig die größten Risiken identifizieren und diese im Planungsverlauf im Fabrikkonzept berücksichtigen bzw. über den zielgerichteten Einsatz von Planungsressourcen eliminieren zu können.

Dem Konzept liegen dabei, wie in den vorherigen Kapiteln ausgeführt, folgende zwei Annahmen zu Grunde:

Zum einen wird die Vorgabe von Planungsprämissen und insbesondere des zukünftigen Produktionsprogramms (die Volumina und die Varianten) vorausgesetzt. Auf Basis dieser Planungsprämissen wird das Produktionssystem in einer Initialkonfiguration ausgestaltet bzw. dimensioniert. Eine Unsicherheit bzw. Unschärfe im Produktionsprogramm kann nur über Szenarien im Konzept berücksichtigt werden.

Die zweite Annahme betrifft die Risikobewertung: In dieser Bewertung wird für den Fall eines Risikoeintritts davon ausgegangen, dass nachträglich die zusätzlich erforderlichen Ressourcen in das Produktionssystem integriert werden, um die zuvor genannten Planungsprämissen zu erfüllen. Im Einzelfall können aber, insbesondere bei einer deutlichen Veränderung des Produktionsprogrammes gegenüber dem Plan, Alternativen zur nachträglichen Anpassung zielführender sein. In der Praxis bzw. im konkreten Planungsfall zeigen sich diese Annahmen jedoch als adäquat, so dass dennoch von einer validen Aussage bzgl. der aktuellen Risikosituation gesprochen werden kann.

Das entwickelte Konzept kann innerhalb des festgelegten Untersuchungsbereiches (vgl. Abschnitt 2.3 auf Seite 31 ff.) als allgemein gültig und übertragbar angesehen werden. D.h. die Anwendbarkeit für Fabrikplanungsprojekte in Unternehmen unterschiedlichster Branchen ist gewährleistet. Im Rahmen der Validierung wurde ein rechnergestütztes Hilfsmittel als Prototyp zur Unterstützung des Planers während des Planungsprozess entwickelt. Dessen Schnittstellen zum BDE- bzw. PPS-System des Unternehmens bzw. zu Simulationswerkzeugen unterstützen eine durchgängige, rechnergestützte Fabrikplanung. Die Anbindung des Konzeptes an die Methoden bzw. Werkzeuge der Digitalen Fabrik ist somit sichergestellt.

Die Zielsetzung des Konzeptes zur Integration eines Risikomanagements in die Ablauf- und Strukturplanung in Fabrikplanungsprojekten ist somit erreicht. Dem Fabrikplaner bzw. der Projektleitung steht damit ein umfassendes Konzept zur Verfügung, mit dessen Hilfe die Risiken im Planungsprojekt insbesondere in den frühen Phasen identifiziert, bewertet und aktiv beeinflusst werden können.

9 Zusammenfassung und Ausblick

„Le risque est l'onde de proue du succès.“

CARL AMERY

Unternehmen sehen sich auf Grund des turbulenten Umfeldes und der fortschreitenden Globalisierung der Märkte zunehmend einer Verschärfung des Wettbewerbs ausgesetzt. Die steigende Marktdynamik und der erhöhte Kostendruck stellen die produzierenden Unternehmen vor große Herausforderungen und erfordern eine fortwährende Anpassung ihrer Wertschöpfungsnetzwerke und Produktionsstrukturen an die veränderten Rahmenbedingungen. Die schnelle und qualitativ hochwertige Planung der Prozesse, Abläufe und Strukturen erhält in diesem sich stetig wandelnden Umfeld daher eine wettbewerbsentscheidende Bedeutung.

Die fortschreitende Parallelisierung der Planungsprozesse zusammen mit der Forderung nach einer deutlichen Verkürzung der Produktentwicklungszeiten führten insbesondere in den frühen Phasen eines Fabrikplanungsprojektes dazu, dass mit unsicheren bzw. unscharfen Daten z.B. zu dem Produkt, dem Produktionsprogramm und den Prozessen geplant werden muss bzw. diese Daten sich in dem dynamischen Umfeld des Planungsprozesses ändern können. Dennoch werden insbesondere in diesen frühen Phasen weit reichende Entscheidungen zur Gestaltung bzw. Auslegung des Produktionssystems getroffen und damit dessen Eigenschaften in Bezug auf die Erfüllung der Fabrikzielgrößen mittel- bis langfristig determiniert. Dieser Konflikt, das Treffen weit reichender Entscheidungen unter hoher Unsicherheit, bildet das Ausgangsproblem der vorliegenden Arbeit. In einem immer komplexer werdenden Planungsprozess, der die Synchronisation unterschiedlichster Planungsdisziplinen erfordert, arbeitet der Planer bzw. Projektleiter mit Annahmen, bewertet diese jedoch häufig nicht bzw. ist sich der Einflüsse dieser Annahmen auf das Ergebnis nicht bewusst.

Die Analyse bestehender Ansätze in der Fachliteratur hat gezeigt, dass vielfache Lösungsvorschläge zu dieser Problematik existieren, die jedoch nur Teilbereiche der Problemstellung erfassen. Zielsetzung der vorliegenden Arbeit war es daher, ein durchgängiges Konzept zum integrierten Risikomanagement in der Gestaltung der Abläufe und Strukturen in Fabrikplanungsprojekten zu entwickeln. Anhand dieses Konzepts sollen die Risikofaktoren sowie die Haupt-

stellhebel zur Reduzierung des Risikos identifiziert, das Risiko durch die im Planungsverlauf getroffenen Annahmen bzw. die Unsicherheiten in den Planungsparametern analysiert sowie ein kontinuierlicher Überblick der Planungsrisiken im Projektverlauf gegeben werden.

Zur Erreichung dieser Zielsetzung wurden zunächst die Anforderungen an das Konzept aus der Systematik des Risikomanagements sowie der Fabrikplanung abgeleitet. Aufbauend auf diesen Anforderungen wurde ein ganzheitliches Konzept zum Risikomanagement in der Ablauf- und Strukturgestaltung in der Fabrikplanung entwickelt, dessen vier Prozessschritte zur Risikoidentifikation, -analyse, -steuerung und -überwachung im Rahmen der Arbeit detailliert erörtert wurden. Zur Integration des Konzeptes in den Fabrikplanungsablauf wurden die vier Elemente in einen erweiterten Regelkreis der Struktur- und der Ablaufplanung integriert und die Schnittstelle zu dem Risikomanagementsystem des Unternehmens prinzipiell dargelegt.

Im ersten Prozessschritt, der Identifikation der Risiken, wurde zunächst die grundlegende Systematik zur Risikoauswirkung im Zielsystem der Fabrikplanung beschrieben. Abgeleitet aus einer Übersicht der Planungsparameter sowie einer Typologisierung der Unsicherheiten wurde ein Vorgehen zur systematischen Identifikation der Risikofaktoren im Planungsprozess erläutert. Das zentrale Element war hierbei die dynamische Risikomatrix, die zur Auflistung der identifizierten Risiken und ihrer Dichtefunktionen bzw. Verteilungen dient. Der zweite Prozessschritt, die Analyse der Risiken, erfolgt mittels einer Modellierung im Zusammenwirken des Planungs- und Risikomodells. Mit Hilfe des Planungsmodells kann das Produktionssystem parametergestützt modelliert und die Dimensionierung der Ressourcen durchgeführt werden. Mit Hilfe des Risikomodells können die Varianzen in den Planungsparametern hin zur Risikotragweite bezüglich der Ressourcen bzw. der Herstellkosten transferiert werden. Die Funktionalität zur Aggregation der Risiken unter der Berücksichtigung ihrer Interdependenzen ermöglicht eine Darstellung der Risikotragweite auf Bereichs- bzw. Gesamtebene. Für den dritten Prozessschritt, die Risikosteuerung, wurde ein Katalog ursachen- bzw. wirkungsbezogener Maßnahmen entwickelt, mit dessen Hilfe der Fabrikplaner für den spezifischen Risikofaktor geeignete Steuerungsmaßnahmen auswählen kann. Zusätzlich wurden die Implikationen der Bewertung dieser Maßnahmen im Hinblick auf die Optimierung der Projektzielgrößen diskutiert und die projektzeitplanspezifische Einsteuerung der Maßnahmen erörtert. Im vierten und letzten Prozessschritt, der Risikoüberwachung, wurde das Element der dynamischen Risikomatrix zur ganzheitlichen Über-

sichtsdarstellung der Ergebnisse der Identifikation, Bewertung und Steuerung erweitert. Schließlich wurden sog. Risk Gates in den Fabrikplanungsablauf integriert, die phasenspezifische Kontrollpunkte zur Risikominimierung darstellen.

Die abschließende Validierung des Konzeptes erfolgte durch die systemseitige Umsetzung im Software-Prototyp *FPR-SYS* und die anschließende Anwendung des Konzeptes in einem konkreten Planungsfall. Als wesentlicher Nutzen des Konzeptes konnte dabei die Identifikation der Hauptstellhebel für die Risikoreduzierung bzw. -elimination aufgezeigt werden, was zu einer Erhöhung der Planungsgeschwindigkeit durch Vermeidung von Änderungsschleifen sowie zu einer gesteigerten Planungsqualität führt.

Der Fokus der Arbeit lag dabei – unter der zuvor angesprochenen Zielsetzung – auf den Gestaltungsrisiken in der Ablauf- und der Strukturplanung in den frühen Phasen der Fabrikplanung, d.h. der Ziel- und Grobplanungsphase. Um dem Anspruch eines ganzheitlichen Risikomanagementkonzeptes für die Fabrikplanung gerecht zu werden, müsste das Konzept in drei Dimensionen erweitert werden (Abbildung 9-1).

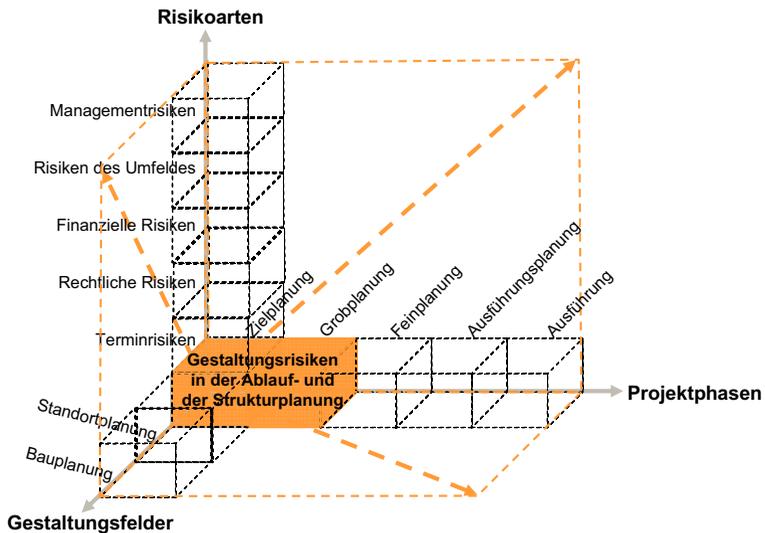


Abbildung 9-1: *Holistisches, integriertes Risikomanagementsystem in der Fabrikplanung (Ausblick)*

Erstens müsste der Umfang der betrachteten Risikoarten um die Terminrisiken, die rechtlichen Risiken, die finanziellen Risiken, die Risiken des Umfeldes sowie die Managementrisiken erweitert werden. Zweitens wäre eine Integration über alle Gestaltungsfelder der Fabrikplanung, d.h. auch der Bau- und Standortplanung, erforderlich. Drittens müsste die zeitliche Dimension alle Projektphasen der Fabrikplanung umfassen und somit die Fein- und die Ausführungsplanung sowie die Ausführung selbst in das Risikomanagementkonzept integriert werden. Die Integration dieser Dimensionen bzw. Sichtweisen würde der im KonTraG gestellten Anforderung an ein Überwachungssystem für alle Geschäftsprozesse im Hinblick auf den Prozess der Fabrikplanung hinreichend genügen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden im Prozessschritt der Risikoüberwachung so genannte Risk Gates als Kontrollpunkte in den Fabrikplanungsablauf integriert. Diese sind an die aus der Produktentwicklung bekannten Quality Gates angelehnt, beschränken sich jedoch auf die Kontrolle des maximalen Risikos. Eine ganzheitliche Übertragung des Quality-Gate-Ansatzes auf den Fabrikplanungsablauf würde den Abgleich der Ergebnisse sowie die Zusammenarbeit der einzelnen Planungsdisziplinen zusätzlich unterstützen. Insbesondere durch eine Synchronisation mit den Quality Gates aus der Produkt- und der Prozessentwicklung könnte der Forderung nach einer Verkürzung der Planungszeit und qualitativ hochwertigeren Ergebnissen weiter Genüge geleistet werden.

Schließlich könnte das Konzept in die Systemlandschaft der Digitalen Fabrik integriert werden, um dessen Funktionalitäten im Rahmen einer durchgängigen rechnergestützten Fabrikplanung bereitzustellen. Die Implementierung des EDV-Prototyps sowie die konzipierten Schnittstellen zur Simulationssoftware bilden eine erste Grundlage für diese Integration. Dennoch sind Werkzeuge oder Methoden zum Projektmanagement im Kontext der Digitalen Fabrik bisher nur in Ansätzen ausgeführt bzw. ist die Synchronisation zu existierenden und in der Praxis eingesetzten Projektmanagementsystemen nicht beschrieben. Das vorliegende Konzept kann hierbei als Bindeglied zwischen der Planungs- und der Projektmanagementsoftware dienen und erhält vor diesem Hintergrund eine zusätzliche Bedeutung.

10 Literaturverzeichnis

ABELE ET AL. 2006A

Abele, E.; Derviopoulos, M.; Liebeck, T.: Herausforderungen globaler Produktionsnetzwerke. In: wt Werkstattstechnik online 96 (2006) Nr. 4, S. 219-225.

ABELE ET AL. 2006B

Abele, E.; Näher, U.; Kluge, J.: Handbuch globale Produktion. München [u.a.]: Hanser, 2006.

ACTANO 2007

Actano: ACTANO Projektmanagement & Projektmanagementsoftware : Projektmanagement Software RPlan. <http://www.actano.de/15144_DE-Actano-RPlan-Portfolio.5CDD31e831cc5853e32b03c0ba9026a0bf69270> (20.01.2007).

AGGTELEKY 1990A

Aggteleky, B.: Fabrikplanung - Werksentwicklung und Betriebsrationalisierung. Band 1: Grundlagen - Zielplanung - Vorarbeiten. 2. Aufl., München: Carl Hanser, 1990.

AGGTELEKY 1990B

Aggteleky, B.: Fabrikplanung - Werksentwicklung und Betriebsrationalisierung. Band 2: Betriebsanalyse und Feasibility-Studie. München: Carl Hanser, 1990.

AHUJA 2005

Ahuja, A.: Projektrisikomanagement mit Hilfe probabilistischer Wissensverarbeitung. 1. Aufl., Berlin: Logos, 2005.

AIRBUS 2006

Airbus: Airbus confirms further A380 delay and launches company restructuring plan. <http://www.airbus.com/en/presscentre/pressreleases/pressreleases_items/06_10_03_a380_delays_company_restructuring_plan.html> (30.7.2007).

ALEXOPOULOS ET AL. 2005

Alexopoulos, K.; Bürkner, S.; Milinois, I. et al.: DESYMA - An integrated method to aid the design and the evaluation of reconfigurable manufacturing systems. CARV 05 - International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production. München, 2005.

ASKIN & STANDRIDGE 1993

Askin, R. G.; Standridge, C. R.: Modeling and analysis of manufacturing systems. New York [u.a.]: Wiley, 1993.

BAMBERG & COENENBERG 1989

Bamberg, G.; Coenenberg, A. G.: Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre. 5., überarb. Aufl., München: Vahlen, 1989.

BARTH 2005

Barth, H.: Produktionssysteme im Fokus. In: wt Werkstattstechnik online 95 (2005) Nr. 4, S. 269-274.

BAUMEISTER 2003

Baumeister, M.: Fabrikplanung im turbulenten Umfeld - Methodik zur Zielplanung einer Fabrik unter Berücksichtigung eines turbulenten Unternehmensumfeldes und der übergeordneten Unternehmensziele. Diss. Universität Karlsruhe (2002). Karlsruhe: Heinz W. Holler, 2003.

BERGHOLZ 2005

Bergholz, M.: Objektorientierte Fabrikplanung. Diss. RWTH Aachen (2005). <<http://darwin.bth.rwth-aachen.de/opus/volltexte/2006/1324>> (21.09.2006).

BLEY & FRANKE 2001

Bley, H.; Franke, C.: Integration von Produkt- und Produktionsmodell mit Hilfe der Digitalen Fabrik. In: wt Werkstattstechnik online 91 (2001) Nr. 4, S. 214-220.

BLEY ET AL. 2006

Bley, H.; Fritz, J.; Zenner, C.: Die zwei Seiten der Digitalen Fabrik. In: ZWF 101 (2006) Nr. 1-2, S. 19-23.

BRACHT ET AL. 2005

Bracht, U.; Schlange, C.; Eckert, C. et al.: Datenmanagement für die Digitale Fabrik. In: wt Werkstattstechnik online 95 (2005) Nr. 4, S. 197-204.

BRAUCHLIN & HEENE 1995

Brauchlin, E.; Heene, R.: Problemlösungs- und Entscheidungsmethodik. 4. Aufl., Bern [u.a.]: Haupt, 1995.

BROCKHAUS 1992

Brockhaus-Enzyklopädie. Band 18, 19. Aufl., Mannheim: Brockhaus GmbH, 1992.

BRÜHWILER 1994

Brühwiler, B.: Internationale Industrieversicherung: Risk Management, Unternehmensführung, Erfolgsstrategien. Karlsruhe: Verlag Versicherungswirtschaft, 1994.

BRÜHWILER 2003

Brühwiler, B.: Risk Management als Führungsaufgabe. Bern [u.a.]: Haupt, 2003.

BUHMANN ET AL. 2004

Buhmann, M.; Schön, M.; Kinkel, S.: Dynamische Standortbewertung und Standortcontrolling. In: Controlling (2004) Nr. 1, S. 19-26.

BURGER & BUCHHART 2002

Burger, A.; Buchhart, A.: Risiko-Controlling. München [u.a.]: Oldenbourg, 2002.

BUSCH 2005

Busch, T. A.: Holistisches und probabilistisches Risikomanagement-Prozessmodell für projektorientierte Unternehmen der Bauwirtschaft. Diss. ETH Zürich (2005). <<http://e-collection.ethbib.ethz.ch/cgi-bin/show.pl?type=diss&nr=16298>> (10.09.2006).

CHAPMAN & WARD 1997

Chapman, C.; Ward, S.: Project Risk Management: Processes, Techniques and Insights. Chichester [u.a.]: Wiley, 1997.

CISEK 2004

Cisek, R.: Planung und Bewertung von Rekonfigurationsprozessen in Produktionssystemen. Diss. TU München (2004). München: Herbert Utz (2004). (iwb-Forschungsbericht 191).

DAHMEN 2002

Dahmen, J. W.: Prozessorientiertes Risikomanagement zur Handhabung von Produktrisiken. Diss. RWTH Aachen (2002). Aachen: Shaker (2002). (Berichte aus der Produktionstechnik; Bd. 2002, 20).

DELMIA 2006

DELMIA: Auf dem Weg zur digitalen Fabrik. <<http://www.delmia.de>> (28.12.2006).

DIEDERICHS 2004

Diederichs, M.: Risikomanagement und Risikocontrolling. München: Vahlen, 2004.

DIN 69901 1987

DIN 69901: Projektwirtschaft; Projektmanagement; Begriffe. Berlin [u.a.]: Beuth, 1987.

DOMBROWSKI & TIEDEMANN 2004

Dombrowski, U.; Tiedemann, H.: Wissensmanagement in der Fabrikplanung. In: wt Werkstattstechnik online 94 (2004) Nr. 4, S. 137-140.

DOMBROWSKI & TIEDEMANN 2005

Dombrowski, U.; Tiedemann, H.: Die richtigen Fabrikplanungswerkzeuge auswählen. In: ZWF 100 (2005) Nr. 3, S. 136-140.

DOMBROWSKI ET AL. 2002

Dombrowski, U.; Tiedemann, H.; Bothe, T.: Systemunterstütztes Projektmanagement für die Fabrikplanung. In: ZWF 97 (2002) Nr. 1-2

DOMBROWSKI ET AL. 2005

Dombrowski, U.; Palluck, M.; Schmidt, S.: Ganzheitliche Produktionssysteme im Fokus der Fabrikplanung. Vortrag auf der 6. Deutschen Fachkonferenz Fabrikplanung; Ludwigsburg, 2005.

DOMBROWSKI ET AL. 2006

Dombrowski, U.; Palluck, M.; Schmidt, S.: Typologisierung Ganzheitlicher Produktionssysteme. In: ZWF 101 (2006) Nr. 10, S. 553-556.

DOMBROWSKI ET AL. 2007

Dombrowski, U.; Hennersdorf, S.; Palluck, M.: Die wirtschaftliche Bedeutung der Fabrikplanung am Standort Deutschland. In: ZWF 102 (2007) Nr. 1-2, S. 14-18.

DÖRNER 2000

Dörner, D.: Praxis des Risikomanagements. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2000.

EHRENSPIEL 2007

Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung. 3., aktualisierte Aufl., München [u.a.]: Hanser, 2007.

ENGLBRECHT 2001

Engelbrecht, A.: Biokybernetische Modellierung adaptiver Unternehmensnetzwerke. Diss. Universität Hannover. VDI (2001). (Fortschritt-Berichte VDI, Nr.137).

EVERSHEIM & LUCZAK 2000

Eversheim, W.; Luczak, H.: Industrielle Logistik. Aachen: Wissenschaftsverlag Mainz in Aachen, 2000.

EVERSHEIM & SCHMIDT 2001

Eversheim, W.; Schmidt, K.: Integrierte Ablauf- und Strukturplanung. In: Arbeits- und Ergebnisbericht 1999-2001 des SFB 361 "Modelle und Methoden zur integrierten Produkt- und Prozessgestaltung". RWTH Aachen, 2001, S. 830-845.

EVERSHEIM & SCHUH 1999

Eversheim, W.; Schuh, G.: Gestaltung von Produktionssystemen. Band 3. Berlin [u.a.]: Springer, 1999.

EVERSHEIM & SCHUH 2005

Eversheim, W.; Schuh, G.: Integrierte Produkt- und Prozessgestaltung. Berlin [u.a.]: Springer, 2005.

EVERSHEIM ET AL. 2002

Eversheim, W.; Schmidt, K.; Weber, P.: Virtualität in der Wertschöpfungskette. In: wt Werkstattstechnik online 92 (2002) Nr. 4, S. 149-153.

EVERSHEIM 1992

Eversheim, W.: Flexible Produktionssysteme. In: Frese, E. (Hrsg.): Handwörterbuch der Organisation. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1992, S. 2058 ff..

EVERSHEIM 1996

Eversheim, W.: Prozessorientierte Unternehmensorganisation. Berlin [u.a.]: Springer, 1996.

FASSE 2007

Fasse, M.: "Airbus bekommt Kabelsalat in den Griff - Flugzeughersteller bestätigt die revidierten Lieferpläne für die A 380 - Rivale Boeing beginnt mit der Fertigung des "Dreamliners" ". Handelsblatt vom 24.05.07, S. 23.

FELIX 1998

Felix, H.: Unternehmens- und Fabrikplanung. München [u.a.]: Hanser, 1998.

FIEBIG 2004

Fiebig, C.: Synchronisation von Fabrik- und Technologieplanung. Diss. Universität Hannover (2004). Düsseldorf: VDI-Verlag 2004. (Fortschritts-Bericht VDI Reihe 16, Nr.165).

FIEDLER 2005

Fiedler, R.: Controlling von Projekten. 3., überarbeitete und erweiterte Aufl., Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn, 2005.

FISHMAN 2004

Fishman, G. S.: Monte Carlo - Concepts, Algorithms and Applications. 6. Aufl., New York [u.a.]: Springer, 2004.

FLEISCHER ET AL. 2005

Fleischer, J.; Stepping, A.; Plaggemeier, J.: Fabrikplanung zur Umsetzung Ganzheitlicher Produktionssysteme im Wertschöpfungsnetz. In: ZWF 100 (2005) Nr. 5, S. 279-284.

FRANKE 1990

Franke, A.: Risiko-Management von Projekten. Köln: Verl. TÜV Rheinland, 1990.

FREY & NIEßEN 2005

Frey, H. C.; Nießen, G.: Monte-Carlo-Simulation. München: Gerling, Akad.-Verl., 2005.

FÜSER & GLEIßNER 2005

Füser, K.; Gleißner, W.: Risikomanagement - was ist das? In: Gleißner, W. (Hrsg.): Risikomanagement im Unternehmen - Praxisratgeber für die Einführung und Umsetzung. Bd. 1, Nr. 4. Augsburg: Kognos, 2005, S. 1-86.

FUSCH & KRESS 2001

Fusch, T.; Kress, M.: Strategien und Nutzen der Virtuellen Produktion. In: Maschinenmarkt 42 (2001), S. 54-58.

GAUSEMEIER & FINK 1995

Gausemeier, J.; Fink, A.: Szenario-Management. München [u.a.]: Hanser, 1995.

GAUSEMEIER & FINK 1999

Gausemeier, J.; Fink, A.: Führung im Wandel - ein ganzheitliches Modell zur zukunftsorientierten Unternehmensgestaltung. München [u.a.]: Hanser, 1999.

GAUSEMEIER & STOLLT 2006

Gausemeier, J.; Stollt, G.: Eine Systematik zur Gestaltung der Produktion von morgen. In: ZWF 101 (2006) Nr. 1-2, S. 28-34.

GEHLING 2007

Gehling, A.: Aufbau eines datenbankgesteuerten Simulationsmodells in eM-Plant für die werkstatorientierte Fertigung. Unveröffentlichte Dipl. Arbeit FH Rosenheim (2007). ifp - Institut für Produktionstechnik GmbH, Haar b. München, 2007.

GIRMSCHIED 2006

Girmscheid, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. Berlin [u.a.]: Springer, 2006.

GLEIßNER & ROMEIKE 2005

Gleißner, W.; Romeike, F.: Risikomanagement. 1. Aufl., Freiburg im Breisgau [u.a.]: Haufe, 2005.

GLEIßNER 2004

Gleißner, W.: Simulationsverfahren zur Risiko-Aggregation. In: RISKNEWS (2004) Nr. 1, S. 30-37.

GOMEZ & PROBST 1997

Gomez, P.; Probst, G. J. B.: Die Praxis des ganzheitlichen Problemlösens. 2. Aufl., Bern [u.a.]: Haupt, 1997.

GRONAU ET AL. 2006

Gronau, N.; Wildemann, H.; Zäh, M. et al.: Tools zur Ermittlung der Wandlungsfähigkeit. In: ERP Management 2 (2006) Nr. 1, S. 23-26.

GRUNDIG 2006

Grundig, C.: Fabrikplanung. 2., aktualisierte Aufl., München [u.a.]: Hanser, 2006.

GÜNTHNER ET AL. 2004

Günthner, W.; Schedlbauer, M.; Wulz, J.: Augmented Reality in der innerbetrieblichen Logistik – Einsatz von AR zur Planung und Prozessunterstützung in der Logistik. In: wt Werkstatttechnik online 94 (2004) Nr. 7-8, S. 363-366.

GÜNTHNER 2005

Günthner, W. A.: Planung technischer Logistiksysteme. Vorlesungsskriptum Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) TU München. München: 2005.

GÜNTHNER ET AL. 2006

Günthner, W. A.; Wilke, M.; Zäh, M. F.; Rudolf, H.: Planung von Produktionsprozessen und Materialflusssteuerung. In: Lindemann, U. et al. (Hrsg.): Individualisierte Produkte - Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion. Berlin: Springer 2006, S. 151-161.

HABERFELLNER & DAENZER 1994

Haberfellner, R.; Daenzer, W. F.: Systems Engineering. 8., verb. Aufl., Zürich: Verlag Industrielle Organisation, 1994.

HÄNGGI 1996

Hänggi, R.: Risikomanagement und Simultaneous Engineering. Diss. Universität St. Gallen (1996). Wil: Druckerei Zehnder AG, 1996.

HÄRTERICH 1987

Härterich, S.: Risk Management von industriellen Produktions- und Produkt-risiken. Karlsruhe: VVW, 1987.

HÄRTTER 1987

Härtter, E.: Wahrscheinlichkeitsrechnung, Statistik und mathematische Grundlagen. Göttingen: Vandenhoeck und Ruprecht, 1987.

HALLER 1991

Haller, M.: Risiko-Management - zwischen Risikobeherrschung und Dialog. In: Organisationsforum Wirtschaftskongress e.V. OFW (Hrsg.): Umweltmanagement im Spannungsfeld zwischen Ökologie und Ökonomie. Wiesbaden: Gabler, 1991.

HARMS 2004

Harms, T.: Agentenbasierte Fabrikstrukturplanung. Diss. Universität Hannover (2004). PZH Produktionstechnisches Zentrum GmbH 2004. (Berichte aus dem IFA, Band 02/2004).

HARRANT & HEMMRICH 2004

Harrant, H.; Hemmrich, A.: Risikomanagement in Projekten. München [u.a.]: Hanser, 2004.

HARTMANN 1993

Hartmann, M.: Entwicklung eines Kostenmodells für die Montage. Diss. RWTH Aachen (1993). Aachen: Shaker (1993).

HEINES 2006

Heines, F.: Target Costing – ein hoch wirksames Instrument zur Produktivitätssteigerung. <http://www.mom.ch/download/htm/4083/de/onlineblatt_targetcosting_060123.pdf> (10.12.2006).

HENN & KÜHNLE 1999

Henn, G.; Kühnle, H.: Strukturplanung. In: Eversheim, W. et al. (Hrsg.): Betriebshütte - Produktion und Management 3 - Gestaltung von Produktionssystemen. Berlin [u.a.]: Springer, 1999, S. 9-57 - 9-52.

HERNÁNDEZ 2003

Hernández Morales, R.: Systematik der Wandlungsfähigkeit in der Fabrikplanung. Diss. Universität Hannover (2002). Düsseldorf: VDI-Verlag. (Fort-schritts-Bericht VDI Reihe 16, Nr.149).

HEUMANN 1993

Heumann, D.: Objektorientierte Simulation teilautonomer Fertigungsstruktu-ren - Ein Beitrag zur Modellierung von Produktionssystemen. Diss. Ruhr-Uni-versität Bochum (1993).

HILLIER & LIEBERMAN 2002

Hillier, F. S.; Lieberman, G. J.: Operations Research. 5. Aufl. (unveränd. Nachdr. der 4. Aufl.), München [u.a.]: Oldenbourg, 2002.

HINKEL 2006

Hinkel, D.: Risikoorientierte Standortstrukturgestaltung mit einem Ansatz zur Modellierung von Risiken. Diss. Technische Universität Chemnitz. Chemnitz: GUC (2006).

HORNUNG ET AL. 1999

Hornung, K.; Reichmann, T.; Diederichs, M.: Risikomanagement. Teil I: Konzeptionelle Ansätze zur pragmatischen Realisierung gesetzlicher Anforderungen. In: ZFC 11 (1999) Nr. 7, S. 317-325.

HORVATH 1993

Horvath, P.: Target costing. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1993.

HÜTTNER 1986

Hüttner, M.: Prognoseverfahren und ihre Anwendung. Berlin [u.a.]: de Gruyter, 1986.

IFF 2005

IFF: "Anforderung an IT-Werkzeuge in der Fabrikplanung - Ergebnisbericht einer Onlinebefragung". Fraunhofer IFF Studie »IT-Werkzeuge in der Fabrikplanung 2005«. Magdeburg, 2005.

IFP 2006

ifp: Institut für Produktionstechnik GmbH: Projektdokumentation eines Fabrikplanungsprojektes. Haar b. München: ifp, 2006.

IMBODEN 1983

Imboden, C.: Risikohandhabung - ein entscheidbezogenes Verfahren. Bern [u.a.]: Haupt, 1983.

JOOSTEN ET AL. 2001

Joosten, H.; Mersinger, M.; Runde, C. et al.: Integrieren mit Virtueller Realität. In: wt Werkstattstechnik online 91 (2001) Nr. 6, S. 315-319.

KAMPKER ET AL. 2005

Kampker, A.; Klotzbach, C.; Harre, J.: "Global Footprint"-Design. In: ZWF 100 (2005) Nr. 5, S. 236-239.

KETTNER ET AL. 1984

Kettner, H.; Schmidt, J.; Greim, H.: Leitfaden der systematischen Fabrikplanung. München [u.a.]: Hanser, 1984.

KOHLAS 1972

Kohlas, J.: Monte Carlo Simulation im Operations Research. 63. Berlin [u.a.]: Springer, 1972.

KOHLER 2007

Kohler, U.: Methodik zur kontinuierlichen kostenorientierten Planung und Optimierung produktionstechnischer Systeme. Diss. TU München (2007). München: Herbert Utz 2007. (iwb-Forschungsbericht xxx).

KOLAKOWSKI ET AL. 2005

Kolakowski, M.; Reh, D.; Sallaba, G.: Erweiterte Wirtschaftlichkeitsrechnung (EWR). In: wt Werkstattstechnik online 95 (2005) Nr. 4, S. 210-215.

KRENGEL 2005

Krengel, U.: Einführung in die Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik. 8., erw. Aufl., Wiesbaden: Vieweg, 2005.

KUDLICH 2000

Kudlich, T.: Optimierung von Materialflusssystemen mit Hilfe der Ablaufsimulation. Diss. Technische Universität München (2000).
<<http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=962119660>> (21.09.2006).

KUHN ET AL. 2002

Kuhn, A.; Wiendahl, H. P.; Winkler, H. et al.: Schneller Produktionsanlauf von Serienprodukten. Ergebnisbericht der Untersuchung "fast ramp-up". Dortmund: Praxiswissen, 2002.

LEHMANN 1997

Lehmann, H.: Integrierte Materialfluss- und Layoutplanung durch Kopplung von CAD- und Ablaufsimulationssystemen. Diss. TU München (1997). Berlin [u.a.]: Springer 1997. (iwb Forschungsbericht 105).

LINDEMANN ET AL. 2006

Lindemann, U.; Reichwald, R.; Zäh, M. F.: Individualisierte Produkte. Berlin [u.a.]: Springer, 2006.

LINDEMANN & KIEWERT 2005

Lindemann, U.; Kiewert, A.: Kostenmanagement im Entwicklungsprozess - marktgerechte Kosten durch Target Costing. In: Schäppi, B.; Andreasen, M.M.; Kirchgeorg, M. et al. (Hrsg.): Handbuch Produktentwicklung. München [u.a.]: Hanser, 2005, S. 397-417.

LINDEMANN 1996

Lindemann, U.: Produktentwicklung. In: Reinhart, G.; Lindemann, U.; Heinzl, J. (Hrsg.): Qualitätsmanagement - Ein Kurs für Studium und Praxis. Berlin [u.a.]: Springer, 1996, S. 71-97.

LINDEMANN 2006

Lindemann, U.: Methodische Entwicklung technischer Produkte. 2., bearb. Aufl., Berlin [u.a.]: Springer, 2006.

LITKE 2005

Litke, H.: Projektmanagement. München [u.a.]: Hanser, 2005.

LÖDDING & WIENDAHL 2005

Lödding, H.; Wiendahl, H.: Verfahren der Fertigungssteuerung. Berlin [u.a.]: Springer, 2005.

LUNZE 2006

Lunze, J.: Regelungstechnik 1 - Systemtheoretische Grundlagen, Analyse und Entwurf einschleifiger Regelungen. Band 1. 5., neu bearb. und erw. Aufl., Berlin [u.a.]: Springer, 2006.

MAKRIDAKIS ET AL. 1998

Makridakis, S. G.; Wheelwright, S. C.; Hyndman, R. J.: Forecasting - Methods and Applications. 3. Aufl., New York [u.a.]: Wiley, 1998.

MEIERLOHR 2003

Meierlohr, C.: Konzept zur rechnergestützten Integration von Produktions- und Gebäudeplanung in der Fabrikgestaltung. Diss. Technische Universität München (2003). München: Herbert Utz, 2003. (iwb Forschungsbericht 182).

MEIER 2003

Meier, K. J.: Wandlungsfähigkeit von Unternehmen - Stand der Diskussion. In: ZWF 98 (2003) Nr. 4, S. 153-159.

MERBECKS ET AL. 2004

Merbecks, A.; Stegemann, U.; Frommeyer, J.: Intelligentes Risikomanagement. Frankfurt am Main [u.a.]: Redline Wirtschaft, 2004.

MERTENS 1982

Mertens, P.: Simulation. 2. Aufl., Stuttgart: Poeschel, 1982.

MERTINS ET AL. 1994

Mertins, K.; Süssenguth, W.; Jochem, R.: Modellierungsmethoden für rechnerintegrierte Produktionsprozesse. München [u.a.]: Hanser, 1994.

METZLER & POHLE 2004

Metzler, L. v.; Pohle, K.: Risikoaggregation im industriellen Controlling. 1. Aufl., Lohmar: Eul, 2004.

MEYBERG & VACHENAUER 1995

Meyberg, K.; Vachenaue, P.: Differential- und Integralrechnung, Vektor- und Matrizenrechnung. Band 1. 3., korr. Aufl., Berlin [u.a.]: Springer, 1995.

MICROSOFT 2007A

Microsoft: Microsoft Project 2007. <<http://office.microsoft.com/de-de/project/FX100487771031.aspx>> (20.01.2007).

MICROSOFT 2007B

Microsoft: Microsoft Office Excel 2007. <<http://office.microsoft.com/de-de/excel/default.aspx>> (20.01.2007).

MIKUS 2001

Mikus, B.: Make-or-buy-Entscheidungen - Führungsprozesse, Risikomanagement und Modellanalysen. 2. Aufl., Chemnitz: GUC, 2001.

MILBERG 2000

Milberg, J.: Unternehmenspolitik im Wandel. In: Reinhart, G.; Hoffmann, H. (Hrsg.): Münchener Kolloquium: ...nur der Wandel bleibt. 16./17. März 2000. München: Herbert Utz, 2000, S. 311-331.

MILBERG 2003

Milberg, J.: Grenzen überwinden - Wachstum durch Innovation. In: Zäh, M.F.; Reinhart, G.; Hoffmann, H. et al. (Hrsg.): Münchener Kolloquium: Grenzen überwinden. 27./28. Februar 2003. München: Herbert Utz, 2003, S. 305-320.

NEMUTH 2006

Nemuth, T.: Risikomanagement bei internationalen Bauprojekten. Reninggen: Expert-Verlag, 2006.

NEUBÜRGER 1989

Neubürger, K. W.: Chancen- und Risikobeurteilung im strategischen Management: die informatorische Lücke. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1989.

NEUFVILLE 1990

Neufville, R. d.: Applied Systems Analysis - Engineering Planning and Technology Management. New York [u.a.]: McGraw-Hill, 1990.

NÖSTLTHALLER 2004

Nöstlthaller, R.: Risikomanagement in der Bauwirtschaft. Graz: Verlag der Techn. Univ., 2004.

NYHUIS ET AL. 2004

Nyhuis, P.; Elscher, A.; Kolakowski, M.: Prozessmodell der Synergetischen Fabrikplanung. In: wt Werkstattstechnik online 94 (2004) Nr. 4, S. 95-99.

NYHUIS ET AL. 2005

Nyhuis, P.; Reichardt, J.; Elscher, A.: Synergetische Fabrikplanung. Vortrag auf der 6. Deutschen Fachkonferenz Fabrikplanung; Ludwigsburg, 2005.

NYHUIS 2006

Nyhuis, P.: Zukunft möglich machen. In: wt Werkstattstechnik online 96 (2006) Nr. 4, S. 143.

PALMER & MAROUS 2001

Palmer, U.; Marous, P.: Kontrolliertes Risiko: Softwaregestütztes Risikomanagement - heute und morgen. In: IT Management 8 (2001) Nr. 7, S. 12-19.

PAPADOPOULOS & HEAVEY 1996

Papadopoulos, H.; Heavey, C.: Queuing theory in manufacturing system analysis and design: A classification of models for production and transfer lines. In: European Journal of Operational Research 92 (1996) Nr. 1, S. 1-27.

PFEIFER 2001

Pfeifer, T.: Qualitätsmanagement. 3., völlig überarb. und erw. Aufl., München [u.a.]: Hanser, 2001.

PORTER 1992

Porter, M. E.: Wettbewerbsstrategie (Competitive Strategy). 7. Aufl., Frankfurt/Main: Campus, 1992.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE 2003

Project Management Institute: A guide to the project management body of knowledge. Ausg. 2000, dt. Übersetzung, Newtown Square, Pa: PMI, 2003.

RALL 1998

Rall, B.: Analyse und Dimensionierung von Materialflusssystemen mittels geschlossener Warteschlangennetze. Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme, Universität Karlsruhe 1998.

REFA 1985

REFA: Methodenlehre der Planung und Steuerung - Teil 5: Netzplantechnik, Projektmanagement, Betriebsstättenplanung. München: 1985.

REICHARDT & GOTTSWINTER 2003

Reichardt, J.; Gottswinter, C.: Synergetische Fabrikplanung. In: Werkstattstechnik online 93 (2003) Nr. 4, S. 275-281.

REICHARDT ET AL. 2006

Reichardt, J.; Pfeifer, I.; Elscher, A. et al.: Wandlungsfähigkeit moderner Industriebauten. In: wt Werkstattstechnik online 96 (2006) Nr. 4, S. 144-149.

REINHART & HOFFMANN 2000

Reinhart, G.; Hoffmann, H. (Hrsg.): Münchener Kolloquium: ...nur der Wandel bleibt. Wege jenseits der Flexibilität. 16./17.März 2000. München: Herbert Utz, 2000.

REINHART & VON BREDOW 2006

Reinhart, G.; von Bredow, M.: Methode zur Gestaltung und Optimierung von Wertschöpfungsnetzen. In: wt Werkstattstechnik online 96 (2006) Nr. 7/8, S. 561-565.

REINHART ET AL. 2003

Reinhart, G.; Krüger, A.; Prash, M.: Stückzahl- und variantenflexible Montage. In: Wiendahl, H.-P. (Hrsg.): Die wandlungsfähige Fabrik. Hannover: IFA, 2003, S. 183-215.

REINHART 2000

Reinhart, G.: Im Denken und im Handeln wandeln. In: Reinhart, G.; Hoffmann, H. (Hrsg.): Münchener Kolloquium: ...nur der Wandel bleibt. 16./17.März 2000. München: Herbert Utz, 2000, S. 17-40.

REINSCH 2003

Reinsch, S.: Kennzahlenbasierte Positionierung der Logistik von Lieferketten. Diss. Universität Hannover. <<http://deposit.ddb.de/ep/dissonline/frontpool/971220999.htm>> (10.09.2006).

ROCKSTROH 1985

Rockstroh, W.: Die technologische Betriebsprojektierung. Band 1: Grundlagen und Methoden der Projektierung. 2. Aufl., Berlin: VEB Verlag Technik, 1985.

ROGLER 2002

Rogler, S.: Risikomanagement im Produktionsbetrieb. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl., 2002.

ROHRSCHEIDER 2006

Rohrschneider, U.: Risikomanagement in Projekten. Freiburg im Breisgau: Haufe, 2006.

ROLAND BERGER 2006

Roland Berger: Roland Berger Strategy Consultants - Further increasing pressure on suppliers' margins. <http://www.rolandberger.com/pdf/rb_press_public/RB_Article_supplier_survey_20061201.pdf> (07.08.2007).

ROMEIKE 2002

Romeike, F.: Risiko-Management als Grundlage einer wertorientierten Unternehmenssteuerung. In: RATINGaktuell (2002) Nr. 02, S. 12-17.

ROMEIKE 2004

Romeike, F.: Lexikon Risiko-Management. Weinheim: WILEY-VCH, 2004.

ROPOHL 1999

Ropohl, G.: Allgemeine Technologie - Eine Systemtheorie der Technik. 2. Aufl., München [u.a.]: Hanser, 1999.

SACHS 1999

Sachs, L.: Angewandte Statistik. 9., überarb. Aufl., Berlin [u.a.]: Springer, 1999.

SAUER 2004

Sauer, O.: Einfluss der Digitalen Fabrik auf die Fabrikplanung. In: wt Werkstattstechnik online 94 (2004) Nr. 1/2, S. 31-34.

SCHARER 2003

Scharer, M.: Quality Gate-Ansatz mit integriertem Risikomanagement - Methodik und Leitfaden zur zielorientierten Planung und Durchführung von Produktentstehungsprozessen. Diss. Universität Karlsruhe (2001). Karlsruhe: wk-Verlag 2003. (Forschungsberichte aus dem wbk, Institut für Produktionstechnik, Universität Karlsruhe (TH), Band 108).

SCHMIDT 1994

Schmidt, G.: Grundlagen der Regelungstechnik. 2. Aufl., Berlin [u.a.]: Springer, 1994.

SCHMIDT 2003

Schmidt, K.: Methodik zur integrierten Grobplanung von Abläufen und Strukturen mit digitalen Fabrikmodellen. Diss. RWTH Aachen (2003). <<http://darwin.bth.rwth-aachen.de/opus/volltexte/2003/638>> (21.09.2006).

SCHMIGALLA 1995

Schmigalla, H.: Fabrikplanung - Begriffe und Zusammenhänge. München [u.a.]: Hanser, 1995.

SCHNORRENBURG ET AL. 1997

Schnorrenberg, U.; Goebels, G.; Rassenberg, S.: Risikomanagement in Projekten - Methoden und ihre praktische Anwendung. Braunschweig [u.a.]: Vieweg, 1997.

SCHOLL & WEIMERSKIRCH 1999

Scholl, A.; Weimerskirch, A.: Robuste Projektplanung auf der Grundlage des Linear Time-Cost Tradeoff-Problems. Darmstadt: Institut für Betriebswirtschaftslehre, 1999.

SCHOLL ET AL. 2003

Scholl, A.; Klein, R.; Häselbarth, L.: Planung im Spannungsfeld zwischen Informationsdynamik und zeitlichen Interdependenzen. Arbeits- und Diskussionspapiere der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität Jena, 14/2003, 2003.

SCHOLL 2001

Scholl, A.: Robuste Planung und Optimierung. Heidelberg: Physica-Verlag, 2001.

SCHRAFT & KUHLMANN 2006

Schraft, R.; Kuhlmann, T.: Systematische Einführung der Digitalen Fabrik. In: ZWF 101 (2006) Nr. 1-2, S. 15-18.

SCHREIBER 1994

Schreiber, M.: Wirtschaftliche Investitionsbewertung komplexer Produktionssysteme unter Berücksichtigung von Unsicherheit. Diss. Universität Karlsruhe (1994). Karlsruhe: Schnelldruck Ernst Grässer (1994). (Forschungsberichte aus dem wbk, Institut für Produktionstechnik, Universität Karlsruhe (TH), Band 59).

SCHRÖDER 2005

Schröder, R. W.: Risikoaggregation unter Beachtung der Abhängigkeiten zwischen Risiken. Baden-Baden: Nomos, 2005.

SCHUH & GOTTSCHALK 2004

Schuh, G.; Gottschalk, S.: Skalierbare Produktionslinien in der Automobilindustrie. In: ZWF Zeitschrift den für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 99 (2004) Nr. 7-8, S. 376-380.

SCHUH ET AL. 2004

Schuh, G.; Harre, J.; Gottschalk, S. et al.: Design for Changeability (DFC) – Das richtige Maß an Wandlungsfähigkeit finden. In: wt Werkstattstechnik online 94 (2004) Nr. 4, S. 100-106.

SCHUH ET AL. 2006

Schuh, G.; Gulden, A.; Gottschalk, S. et al.: Komplexitätswissenschaft in der Fabrikplanung. In: wt Werkstattstechnik online 96 (2006) Nr. 4, S. 167-170.

- SCHUH 1989
Schuh, G.: Gestaltung und Bewertung von Produktvarianten. Diss. RWTH Aachen (1989). Düsseldorf: VDI-Verlag (1989). (Fortschritt-Berichte / VDI : Reihe 2, Fertigungstechnik ; Nr. 177).
- SCHUH 2005
Schuh, G.: Fabrikplanung in Zeiten der Globalisierung. In: wt Werkstattstechnik online 95 (2005) Nr. 4, S. 174.
- SCHUH 2006
Schuh, G.: Produktionsplanung und -steuerung. 3., völlig neu bearb. Aufl., Berlin [u.a.]: Springer, 2006.
- SEILER 1995
Seiler, H.: Rechtsfragen technischer Risiken - Aufsätze zum Thema Risikorecht. Zürich: vdf, 1995.
- SITT 2003
Sitt, A.: Dynamisches Risiko-Management. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl, 2003.
- SPATH 2003
Spath, D.: Ganzheitlich produzieren. Stuttgart: LOG_X, 2003.
- SPUR 1994
Spur, G.: Fabrikbetrieb. 2. Aufl., München [u.a.]: Hanser, 1994.
- STADTLER & KILGER 2002
Stadtler, H.; Kilger, C.: Supply chain management and advanced planning. 2. Aufl., Berlin [u.a.]: Springer, 2002.
- TAKEDA 2005
Takeda, H.: Das synchrone Produktionssystem - Just-in-time (JIT) für das ganze Unternehmen. 5 Aufl., Landsberg: Moderne Industrie, 2005.
- TECNOMATIX 2006
TECNOMATIX: Unigraphics Solutions GmbH: Transforming the process of manufacturing. <<http://www.tecnomatix.de>> (28.12.2006).
- VDI-RICHTLINIE 3633 2000
VDI – Gesellschaft Fördertechnik Materialfluss Logistik: Simulation von Logistik-, Materialabfluss und Produktionssystemen - Grundlagen. VDI-RICHTLINIE 3633. Düsseldorf: VDI-Verlag 2000.
- VESTER 2001
Vester, F.: Die Kunst vernetzt zu denken - Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität. 7. Aufl., Stuttgart: DVA, 2001.
- VOLLMER & SCHLÖRKE 2004
Vollmer, L.; Schlörke, S.: Variantenwertströme als Navigator für die Fabrikplanung. In: wt Werkstattstechnik online 94 (2004) Nr. 4, S. 128-131.

WALLMÜLLER 2004

Wallmüller, E.: Risikomanagement für IT- und Software-Projekte. München [u.a.]: Hanser, 2004.

WALL 2003

Wall, F.: Stichwort "Risiko". In: Horváth, P.; Reichmann, T. (Hrsg.): Vahlens Großes Controllinglexikon. München: Vahlen, 2003, S. 665-666.

WALPOLE ET AL. 1998

Walpole, R. E.; Myers, R. H.; Myers, S. L.: Probability and Statistics for Engineers and Scientists. New Jersey: Prentice-Hall, 1998.

WARNECKE ET AL. 1996

Warnecke, H.-J.; Bullinger, H.-J.; Hichert, R. et al.: Kostenrechnung für Ingenieure. 5. Aufl., München [u.a.]: Hanser, 1996.

WARNECKE ET AL. 2003

Warnecke, H.-J.; Bullinger, H.-J.; Hichert, R. et al.: Wirtschaftlichkeitsrechnung für Ingenieure. 3. Aufl., München [u.a.]: Hanser, 2003.

WECK ET AL. 2002

Weck, M.; Eversheim, W.; Klocke, F. et al.: AWK'02: Wettbewerbsfaktor Produktionstechnik. In: ZWF 97 (2002) Nr. 5, S. 246-250.

WERNER 2001

Werner, M.: Simulationsgestützte Reorganisation von Produktions- und Logistikprozessen. Diss. TU München (2001). München: Herbert Utz, 2001 (iwb-Forschungsbericht 157).

WERNER 2003

Werner, A.: Datenbankgestützte Risikoanalyse von Bauprojekten - Eine Methode zur rechnergestützten Monte-Carlo-Simulation des Bauablaufs für die Risikoanalyse im Bauunternehmen. Diss. Universität Rostock (2003). <http://www.auf.uni-rostock.de/UIW/download/Monte_Carlo_im_RM.pdf> (10.10.2006).

WESTKÄMPER ET AL. 2000

Westkämper, E.; Zahn, E.; Balve, P. et al.: Ansätze zur Wandlungsfähigkeit von Produktionsunternehmen. In: wt Werkstattstechnik online 90 (2000) Nr. 1-2, S. 22-26.

WESTKÄMPER 2001

Westkämper, E.: Die Zukunft der Fabrik ist digital und virtuell. In: technologie & management (2001) Nr. 5-6, S. 11-14.

WESTKÄMPER 2004

Westkämper, E.: Schneller und häufiger planen. In: wt Werkstattstechnik online 94 (2004) Nr. 3, S. 42.

WESTKÄMPER 2007

Westkämper, E.: Anpassungsfähige Fabriken für traditionelle und neue Produkte. Vortrag auf der 7. Deutschen Fachkonferenz Fabrikplanung. Esslingen, 2007.

WIENDAHL & HERNÁNDEZ 2002

Wiendahl, H.-P.; Hernández, R.: Fabrikplanung im Blickpunkt. In: wt Werkstattstechnik online 92 (2002) Nr. 4, S. 133-138.

WIENDAHL ET AL. 2001

Wiendahl, H.-P.; Reichhardt, J.; Hernández, R.: Kooperative Fabrikplanung. In: wt Werkstattstechnik online 91 (2001) Nr. 4, S. 186-191.

WIENDAHL ET AL. 2002A

Wiendahl, H.-P.; Hernández, R.; Grienitz, V.: Planung wandlungsfähiger Fabriken. In: ZWF 97 (2002) Nr. 1-2, S. 12-17.

WIENDAHL ET AL. 2002B

Wiendahl, H.-P.; Hegenscheidt, M.; Winkler, H.: Anlaufrobuste Produktionssysteme. In: wt Werkstattstechnik online 92 (2002) Nr. 11/12, S. 650-655.

WIENDAHL ET AL. 2003

Wiendahl, H.-P.; Harms, T.; Heger, C. L.: Die Fabrik als strategisches Wettbewerbsinstrument. In: Reinhart, G.; Zäh, M. F. (Hrsg.): Marktchance Individualisierung. Berlin, Heidelberg: Springer, 2003, S. 144-152.

WIENDAHL ET AL. 2004

Wiendahl, H.-P.; Gerst, D.; Keunecke, L.: Variantenbeherrschung in der Montage. Berlin [u.a.]: Springer, 2004.

WIENDAHL 1999

Wiendahl, H.-P.: Grundlagen der Fabrikplanung. In: Eversheim, W. et. al. (Hrsg.): Betriebshütte - Produktion und Management - Gestaltung von Produktionssystemen. Berlin [u.a.]: Springer, 1999, S. 9-1 - 9-31.

WIENDAHL 2002A

Wiendahl, H.-P.: Auf dem Weg zur "Digitalen Fabrik". In: wt Werkstattstechnik online 92 (2002) Nr. 4, S. 121.

WIENDAHL 2002B

Wiendahl, H.-P.: Wandlungsfähigkeit. In: wt Werkstattstechnik online 92 (2002) Nr. 4, S. 122-127.

WIENDAHL 2003

Wiendahl, H.-P.: Wandel auch in der Fabrikplanung. In: wt Werkstattstechnik online 93 (2003) Nr. 4, S. 226.

WIENDAHL 2005

Wiendahl, H.-P.: Planung modularer Fabriken. München [u.a.]: Hanser, 2005.

WILDEMANN & BAUMGÄRTNER 2006

Wildemann, H.; Baumgärtner, G.: Suche nach dem eigenen Weg: Individuelle Einführungskonzepte für schlanke Produktionssysteme. In: ZWF 101 (2006) Nr. 10, S. 546-552.

WILDEMANN 2000

Wildemann, H.: Standortplanung in Produktionsnetzwerken. 7. Aufl., München: TCW, 2000.

WILDEMANN 2006

Wildemann, H.: Risikomanagement. 5. Aufl., München: TCW, 2006.

WILLIAMS 2003

Williams, T.: Management von komplexen Projekten. 1. Aufl., Weinheim [u.a.]: Wiley, 2003.

WIRTH ET AL. 2000

Wirth, S.; Enderlein, H.; Hildebrand, T.: Visionen zur wandlungsfähigen Fabrik. In: ZWF 95 (2000) Nr. 10, S. 456-462.

WIßLER 2006

Wißler, F.: Ein Verfahren zur Bewertung technischer Risiken in der Phase der Entwicklung komplexer Serienprodukte. Diss. Universität Stuttgart. Heimsheim: Jost Jetter (2006). (IPA-IAO Forschung und Praxis Nr. 437).

WITTMANN 2000

Wittmann, E.: Risikomanagement im internationalen Konzern. In: Dörner, D.; Horváth, P.; Kagermann, H. (Hrsg.): Praxis des Risikomanagements - Grundlagen, Kategorien, branchenspezifische und strukturelle Aspekte. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2000, S. 789-820.

WÖHE & DÖRING 2000

Wöhe, G.; Döring, U.: Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre. 20., Neubearb. Aufl., München: Vahlen, 2000.

ZÄH & MÖLLER 2004

Zäh, M. F.; Möller, N.: Risikomanagement bei Produktionsanläufen. In: Industrie Management 20 (2004) Nr. 4, S. 13-16.

ZÄH & SCHACK 2006

Zäh, M. F.; Schack, R.: Methodik zur Skalierung der Digitalen Fabrik. In: ZWF 101 (2006) Nr. 1-2, S. 11-14.

ZÄH & WÜNSCH 2005

Zäh, M. F.; Wunsch, G.: Schnelle Inbetriebnahme von Produktionssystemen. In: wt Werkstattstechnik online 95 (2005) Nr. 9, S. 699-704.

ZÄH ET AL. 2003A

Zäh, M. F.; Sudhoff, W.; Rosenberger, H.: Bewertung mobiler Produktionsszenarien mit Hilfe des Realoptionsansatzes. In: ZWF 98 (2003) Nr. 12, S. 646-651.

ZÄH ET AL. 2003B

Zäh, M. F.; Cisek, R.; Sudhoff, W. et al.: Mit Mobilität zu mehr Strukturvariabilität. In: wt Werkstattstechnik online 93 (2003) Nr. 4, S. 327-331.

ZÄH ET AL. 2003c

Zäh, M. F.; Patron, C.; Fusch, T.: Die Digitale Fabrik - Definition und Handlungsfelder. In: ZWF 98 (2003) Nr. 3, S. 75-77.

ZÄH ET AL. 2004A

Zäh, M. F.; Wagner, W.; Ulrich, C. et al.: Demografischer Wandel und Produktion. In: ZWF 99 (2004) Nr. 11, S. 604-608.

ZÄH ET AL. 2004B

Zäh, M. F.; Müller, N.; Prasch, M. et al.: Methodik zur Erhöhung der Wandlungsfähigkeit von Produktionssystemen. In: ZWF 99 (2004) Nr. 4, S. 173-177.

ZÄH ET AL. 2005A

Zäh, M. F.; Möller, N.; Vogl, W.: Symbiosis of Changeable and Virtual Production - the Emperor's New Clothes or Key Factor for Future Success? CARV 05 - International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production. München, 2005. S. 3-10.

ZÄH ET AL. 2005B

Zäh, M. F.; Müller, N.; Aull, F. et al.: Digitale Planungswerkzeuge. In: wt Werkstattstechnik online 95 (2005) Nr. 4, S. 175-180.

ZÄH ET AL. 2005c

Zäh, M. F.; Rimpau, C.; Wiesbeck, M.: Produktion im Globalen Umfeld. In: ZWF 100 (2005) Nr. 5, S. 246-249.

ZÄH ET AL. 2005D

Zäh, M. F.; Möller, N.; Neise, P. et al.: Wandlungsfähigkeit in Forschung und Industrie. Produktionsmanagement und Logistik. iwv Seminarberichte. Bd.79, München: Utz, 2005, S. 5-1 - 5-21.

ZÄH ET AL. 2005E

Zäh, M. F.; Müller, N.; Rimpau, C.: A Holistic Framework for Enhancing the Changeability of Production Systems. CARV 05 - International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production. München, 2005. S. 77-84.

ZÄH ET AL. 2005 F

Zäh, M. F.; Schack, R.; Carnevale, M. et al.: Ansatz zur Projektierung der Digitalen Fabrik. In: ZWF 100 (2005) Nr. 5, S. 286-290.

ZÄPFEL 1991

Zäpfel, G.: Stücklisten, Verwendungsnachweise, Arbeitspläne und Produktionsfunktionen. In: Wirtschaftswissenschaftliches Studium (WiSt) 20 (1991) Nr. 7, S. 340-346.

ZIMMERMANN ET AL. 2006

Zimmermann, J.; Stark, C.; Rieck, J.: Projektplanung. Berlin [u.a.]: Springer, 2006.

11 Anhang

11.1 Erläuterung der Risikokategorien

Tabelle 1: Erläuterung der Risikokategorien

Risikokategorie	Erläuterung der Risikoart	Zugeordnete Planungsparameter
Produkttrisiken	Produkttrisiken sind diejenigen Risiken, die auf Grund von Unsicherheiten in den Produktparametern bestehen. Sie beziehen sich zum einen auf das Produktionsprogramm (das Volumen und die Varianten sowie das dynamische Abrufverhalten), zum anderen auf die Gestaltung bzw. Struktur des Produktes. Für den Fabrikplaner sind diese als Randbedingungen vorgegeben, d.h. er kann sie nur mittelbar über Gestaltungsvorschläge etc. beeinflussen.	Volumina, Varianten, Abrufvolatilität (bzgl. Zeit und bzgl. Menge), Produktstruktur (Baugruppen/Einzelteile)
Prozessrisiken	Prozessrisiken sind Risiken, die auf Grund von Unsicherheiten in den Bearbeitungsprozessschritten bestehen. Sie werden mittelbar von den Produkttrisiken beeinflusst, da insbesondere die Produktgestaltung einen entscheidenden Einfluss auf die potentiellen Bearbeitungsprozesse hat. Über die Auswahl alternativer Prozesse resp. Technologien können diese direkt vom Fabrikplaner gelenkt werden.	Bearbeitungsprozessschritte, Bearbeitungszeiten, Rüstzeiten

Risikokategorie	Erläuterung der Risikoart	Zugeordnete Planungsparameter
Logistikrisiken	Logistikrisiken sind diejenigen Risiken, die auf Grund von Unsicherheiten in den Logistikparametern bestehen. Sie werden teilweise mittelbar von den Produkttrisiken beeinflusst (bspw. hat die Produktgröße einen Einfluss auf die Anzahl je Behälter). Sie können u.U. vom Fabrikplaner gesteuert werden (Prozessschritte, Steuerungsstrategie, ...), sind aber oft auch als Randbedingungen (z.B. WBZ) vorgegeben.	Losgröße, Steuerungsstrategie je Teilenummer, Logistikprozessschritte, Behältervorschrift und Anzahl je Behälter, Wiederbeschaffungszeit der Roh-/Kaufteile
Ressourceneigenschaftsrisiken	Ressourceneigenschaftsrisiken sind Risiken, die auf Grund von Unsicherheiten in den angenommenen Eigenschaften bzw. Funktionen der eingeplanten Ressourcen bestehen. Der Fabrikplaner wählt den spezifischen Ressourcentyp gemäß den angenommenen Eigenschaften aus. Die Ressourceneigenschaftsrisiken beeinflussen unmittelbar auch die Prozess- und Logistikrisiken über die Kapazitätsparameter.	Maschinentyp, Maschinenfläche, techn. Verfügbarkeit, Ausschussrate, Instandhaltungsrate, Medienverbrauch, Transportmitteltyp, Transportmittelkapazität, Lagermitteltyp, Lagermittelkapazität, Lagermittelfläche, Personalbedarf je Ressource, Personalqualifikation
Ressourcenkostenrisiken	Ressourcenkostenrisiken sind Risiken, die auf Grund von Unsicherheiten in den geplanten Kosten für die einzelnen Ressourcen bestehen. Diese Kosten sind zum einen unmittelbar vom Fabrikplaner über die Auswahl des spezifischen Ressourcentyps bestimmbar, zum anderen von externen Randbedingungen abhängig (z.B. Lohnkosten) und damit nicht vom Fabrikplaner zu beeinflussen.	Maschinenkosten, Transportmittelkosten, Lagermittelkosten, direkte Personalkosten, indirekte Personalkosten, Medienkosten, Gebäudekosten (Fläche, TGA)

11.2 Erläuterung der Risikosteuerungsmaßnahmen

Tabelle 2: Erläuterung der Risikosteuerungsmaßnahmen

Strategie	Maßnahme		Erläuterung der Steuerungsmaßnahme
Vermeidung	M1.1	Abbruch des (Teil-) Projektes	Entscheidung über Abbruch des Gesamt- bzw. Teilprojektes (d.h. des Bereiches), da die Risiken der Realisierung zu hoch erscheinen. Im Gegenzug muss der Verzicht auf das Geschäft in Kauf genommen werden.
	M1.2	Eliminierung der Unsicherheit	Ganzheitliche Beseitigung der Unsicherheit bzw. Varianz in den Parametern, bspw. durch Entscheidungen, Festlegungen oder Validierung. Dies ist nicht für alle Parameter möglich. Diese Maßnahmen erfordern u.U. die Beteiligung externer Partner.
	M1.3	Maximaler Ressourceninvest	Berücksichtigung des Worst-Case-Risikoeintritts im Planungsstand durch die Integration aller zusätzlich benötigten Ressourcen für den Risikofall. Diese Maßnahme führt zu einem Transfer der Risikoschadenskosten hin auf die (geplanten) Herstellkosten.
	M1.4	Bauteil / Prozess eliminieren	Gestaltung des Produktes oder der zugehörigen Prozesskette, so dass das risikoverursachende Bauteil bzw. der risikoverursachende Prozess ganzheitlich entfernt werden kann. Die Maßnahme muss insbesondere mit der Produktentwicklung bzw. dem Marketing erarbeitet werden.

Strategie	Maßnahme		Erläuterung der Steuerungsmaßnahme
Verminderung	M2.1	Reduzierung der Unsicherheit	Partielle Verringerung der Unsicherheit bzw. Varianz in den Planungsparametern. Dies kann durch eine Verifizierung von Annahmen, durch Test- bzw. Simulationsläufe oder durch detailliertere Planungen geschehen. Bei dieser Maßnahme bleibt eine Restvarianz im Parameter bestehen.
	M2.2	Abänderung am Bauteil / -gruppe	Umgestaltung des Bauteiles oder der Baugruppe, so dass das aus dem Bauteil oder der Baugruppe resultierende Risiko vermindert wird. Dies kann insbesondere auf Prozessrisiken angewendet werden.
	M2.3	Investition in Flexibilität	Flexibilitätsreserven insbesondere in Bezug auf eine Volumen- bzw. Variantenflexibilität vorsehen. Die Maßnahmen zielen insbesondere auf Unsicherheiten im Produktionsprogramm. Dies ist ggf. in der Zielsetzung über eine Szenarienbetrachtung bereits vorgegeben.
	M2.4	Investition in Wandlungsfähigkeit	Investition in wandlungsfähige Strukturen bzw. Anlagen. Dies betrifft insbesondere die Wandlungsbefähiger "Modularität" (Standardisierung), "Erweiter- und Reduzierbarkeit" (Erweiterung) sowie "Funktions- und Nutzungsneutralität" (Überdimensionierung).
	M2.5	Zusatzressourcen vorsehen	Verminderung des Schadens im Eintretensfall durch Integration von Teilen der im Risikofall benötigten Zusatzressourcen. Im Gegensatz zum max. Ressourceninvestition wird das Risiko nicht vollständig eliminiert, kann aber je nach Ausprägung deutlich reduziert werden (vgl. auch Wandlungsfähigkeit)

Strategie	Maßnahme		Erläuterung der Steuerungsmaßnahme
	M2.6	Alternative Ressource	Ersatz der geplanten Ressource durch alternative, weniger risikobehaftete Ressource. Eine Veränderung in der Prozesskette (und damit des Zielerreichungsgrades) muss ggf. in Kauf genommen werden.
	M2.7	Alternativer Prozess(schritt)	Auswahl eines alternativen, weniger risikobehafteten Prozessschrittes bzw. entsprechender Technologie(n). Dies betrifft sowohl Bearbeitungs- als auch Logistikprozesse.
Transfer	M3.1	Outsourcen des Bauteiles	Ganzheitliche oder partielle Vergabe des Bauteiles an einen Zulieferer oder einen externen Partner. Damit werden potentielle Risiken aus der Produkt- oder Prozessentwicklung an Dritte verlagert. Eine vertragliche Absicherung zur Leistungsfähigkeit des Lieferanten ist notwendig.
	M3.2	Outsourcen des Prozesses	Ganzheitliche oder partielle Leistungsvergabe des (Teil-)Prozesses an Zulieferer oder externen Partner. Dies betrifft sowohl Bearbeitungs- als auch Logistikprozesse. Insbesondere ist dies dann sinnvoll, wenn der Zulieferer den Prozess bspw. sicherer beherrscht.
	M3.3	Vertragliche Absicherung	Juristische Gestaltung der Verträge mit Lieferanten / Zulieferern / Kunden, so dass im Falle eines Schadenseintritts durch Nichterfüllung von Eigenschaften oder Anforderungen der Schaden über Straf- oder Schadensersatzzahlungen gedeckt oder gemindert wird.
Selbsttragen	M3.4	Akzeptanz des Risikos	Akzeptanz des Risikos und somit kein Einleiten von Maßnahmen. Dies kann daraus resultieren, dass keine geeignete Maßnahme durchführbar ist oder das Risiko als vernachlässigbar eingeschätzt wird.

11.3 Grundlagen der Wahrscheinlichkeitstheorie

Im Folgenden sollen die wichtigsten Grundlagen der Wahrscheinlichkeitstheorie erörtert werden, da diese insbesondere für das Verständnis der Risikobewertungsmethodik in Kapitel 6 benötigt werden. Für eine Vertiefung bzw. weiterführende Ausführungen sei auf gängige Lehrbücher der Statistik (vgl. bspw. KRENGEL 2005; SACHS 1999; WALPOLE ET AL. 1998) verwiesen.

11.3.1 Wahrscheinlichkeitsräume und Wahrscheinlichkeit

Einem *Zufallsexperiment* mit endlich vielen möglichen Ausgängen kann eine endliche nichtleere Menge Ω zugeordnet werden, deren Elemente ω die Versuchsausgänge bezeichnen. Ω wird als *Ereignismenge* oder *Stichprobenraum* und ω werden als *Stichproben* oder *Ergebnisse* bezeichnet.

Ein *Wahrscheinlichkeitsraum* ist ein Tripel $(\Omega, A(\Omega), P)$, wobei Ω die Ereignismenge, $A(\Omega)$ eine Teilmenge aus Ω und P ein Maß auf $A(\Omega)$ ist, so dass gilt:

$$P(A) \geq 0 \text{ für alle } A \in A(\Omega) \quad (11-1)$$

$$\text{für } A_i \text{ mit } i = 1, 2, 3, \dots \text{ mit } A_i \cap A_j = \emptyset \text{ für } i \neq j \text{ gilt: } P\left(\bigcup_{i=1}^{\infty} A_i\right) = \sum_{i=1}^{\infty} P(A_i) \quad (11-2)$$

$$P(\Omega) = 1 \quad (11-3)$$

P heißt dann Wahrscheinlichkeitsmaß oder kurz *Wahrscheinlichkeit*.

Zwei Ereignisse A und B heißen *unabhängig* voneinander, wenn die Information, dass das eine Ereignis eintritt, keinen Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit des Auftretens des anderen Ereignisses hat. Dann gilt:

$$P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B) \quad (11-4)$$

Sind die beiden Ereignisse nicht unabhängig, so wird von einer *bedingten* Wahrscheinlichkeit gesprochen, die formal wie folgt beschrieben wird:

$$P(B | A) = \frac{P(A \cap B)}{P(A)} \quad (11-5)$$

Für den Fall der Abhängigkeit der Ereignisse A und B gilt (Satz von Bayes):

$$P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B | A) = P(B) \cdot P(A | B) \quad (11-6)$$

11.3.2 Zufallsvariablen und ihre Verteilung

Unter einer *Zufallsvariable* wird eine messbare Funktion verstanden, die Ergebnissen eines Zufallsexperiments Zahlen zuordnet. Die formale Definition einer Zufallsvariablen $X: \Omega \rightarrow R$ aus dem Wahrscheinlichkeitsraum (Ω, F, P) ist:

$$\{\omega \in \Omega: X(\omega) \leq a\} \in F \quad (11-7)$$

d.h. für alle $a \in R$ liegt die Menge $X^{-1}([a, \infty])$ in F .

Als *Verteilungsfunktion* wird diejenige Funktion bezeichnet, die die Wahrscheinlichkeit dafür angibt, dass die Zufallsvariable X einen Wert kleiner oder gleich einer Zahl α annimmt. Diese Funktion $F_X(\alpha): R \rightarrow [0, 1]$ ist definiert als

$$F_X(\alpha) = P_X([-\infty, \alpha]) = P(X \leq \alpha) \quad (11-8)$$

Durch die Verteilungsfunktion $F_X(\alpha)$ ist die Wahrscheinlichkeitsverteilung von X eindeutig festgelegt.

Sei $X: (\Omega, A(\Omega), P) \rightarrow R$ eine Zufallsvariable. X heißt *diskret*, wenn es Zahlen $\alpha_1, \alpha_2, \dots \in R$ gibt mit

$$X(\omega) \in \{\alpha_i \mid i = 1, 2, 3\} \text{ für alle } \omega \in \Omega \quad (11-9)$$

Eine diskrete Zufallsvariable X kann endlich viele oder abzählbar unendlich viele Werte x_i annehmen. Dies bedeutet, dass eine Zufallsvariable dann diskret ist, wenn jedem der Elementarereignisse $\omega \in \Omega$ eine Wahrscheinlichkeit p_i zugeordnet werden kann. Die Wahrscheinlichkeitsverteilung ist im diskreten Fall durch

$$P(X = \alpha_i) = p_i \text{ für } i = 1, 2, 3, \dots \quad (11-10)$$

gegeben, wobei $p_i \geq 0$ und $\sum_{i=1}^{\infty} p_i = 1$ gilt.

Die Wahrscheinlichkeitsfunktion lässt sich im diskreten Fall durch ein sog. Histogramm visualisieren.

Sei $X: (\Omega, A(\Omega), P) \rightarrow R$ eine Zufallsvariable mit der Verteilungsfunktion $F_X: R \rightarrow [0, 1]$. X heißt *stetig*, wenn es eine Funktion $f_X: R \rightarrow R$ gibt mit

$$F_X(\alpha) = \int_{-\infty}^{\alpha} f(x) dx \text{ für alle } \alpha \in \mathbb{R} \quad (11-11)$$

$f(x)$ wird als *Dichtefunktion* von X bezeichnet. Abbildung 11-1 visualisiert den Zusammenhang zwischen der Verteilungs- und der Dichtefunktion.

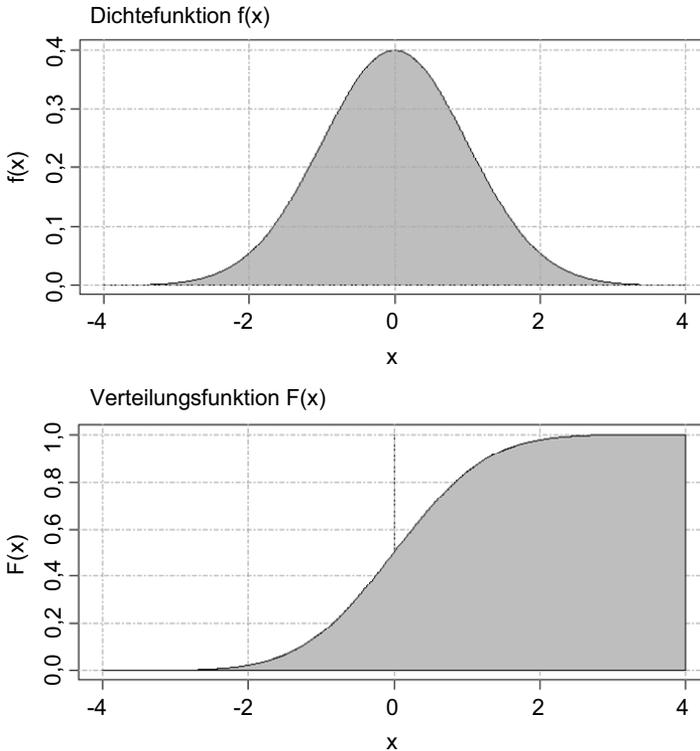


Abbildung 11-1: Beispielhafte Darstellung einer Verteilungs- und einer Dichtefunktion (hier: Normalverteilung um Mittelwert 0 mit Standardabweichung 1)

Sei X eine diskrete Zufallsvariable X mit den Werten $\alpha_i, i=1,2,3,\dots$ und $\alpha_i \neq \alpha_j$ für $i \neq j$. Der *Erwartungswert* von X ist definiert als die Summe der möglichen Werte, gewichtet mit ihrer jeweiligen Wahrscheinlichkeit:

$$E(X) = \sum_{i=1}^{\infty} \alpha_i \cdot P(X = \alpha_i) \quad (11-12)$$

Ist X eine stetige Zufallsvariable mit Dichte f , so ist der Erwartungswert definiert als

$$E(X) = \mu_X = \int_{-\infty}^{+\infty} x \cdot f(x) dx \quad (11-13)$$

mit $f(x)$ als Dichtefunktion von X .

Sei X eine diskrete Zufallsvariable X mit den Werten $\alpha_i, i=1,2,3,\dots$ und $\alpha_i \neq \alpha_j$ für $i \neq j$ und dem Erwartungswert $E(X)$. Die *Varianz* von X ist dann definiert als

$$\text{Var}(X) = \sigma_X^2 = \sum_{i=1}^{\infty} (\alpha_i - E(X))^2 \cdot P(X = \alpha_i) \quad (11-14)$$

Ist X eine stetige Zufallsvariable mit Dichte f und Erwartungswert $E(X)$, dann errechnet sich die Varianz von X als

$$\text{Var}(X) = \int_{-\infty}^{\infty} (x - E(X))^2 \cdot f(x) dx \quad (11-15)$$

Die Varianz bezeichnet somit den Durchschnitt der Abweichungsquadrate vom Durchschnitt einer Zufallsvariablen X .

Die *Standardabweichung* ist als Wurzel der Varianz definiert:

$$\sigma_X = \sqrt{\text{Var}(X)} \quad (11-16)$$

Ist Y eine weitere reellwertige Zufallsvariable mit dem Erwartungswert $E(Y)$, so heißt

$$\text{Cov}(X, Y) = E((X - E(X)) \cdot (Y - E(Y))) \quad (11-17)$$

die *Kovarianz*. Der *Korrelationskoeffizient* von X und Y wird dann wie folgt definiert:

$$\rho_{xy} = \frac{\text{Cov}(X, Y)}{\sigma_X \cdot \sigma_Y} \quad (11-18)$$

Die *Schiefe* einer Zufallsvariablen X mit Erwartungswert μ_X und Varianz σ_X^2 ist ein Maß für die Symmetrie der Verteilung von X zum Mittelwert und ist definiert als

$$S(X) = \frac{E((X - \mu_x)^3)}{\sigma_x^3} \quad (11-19)$$

Das α -Quantil q_α (manchmal auch als *Perzentil* bezeichnet) einer Verteilungsfunktion $F(X)$ gibt den Wert an, der die unteren α % der Wahrscheinlichkeitsmasse von den oberen $1-\alpha$ % der Wahrscheinlichkeitsmasse trennt. Die Zufallsvariable X nimmt dann mit der Wahrscheinlichkeit α einen Wert kleiner oder gleich q_α an. Die formale Definition des α -Quantil lautet:

$$q_\alpha = F^{-1}(\alpha), \quad (11-20)$$

wobei $F^{-1}(X)$ die Umkehrfunktion der Verteilungsfunktion ist. Das 50%-Quantil heißt *Median*.

11.3.3 Der zentrale Grenzwertsatz

Der zentrale Grenzwertsatz stellt eines der wichtigsten Wahrscheinlichkeitstheoreme dar und ist insbesondere für die in Abschnitt 6.3.4 beschriebene Aggregation der Risiken von Bedeutung. Er besagt, dass die Summe von unabhängigen, identisch verteilten Zufallsvariablen, deren Erwartungswert und Varianz endlich sind, annähernd (standard-)normalverteilt ist (vgl. SACHS 1999, S. 109; WALPOLE ET AL. 1998, S. 160).

Seien X_1, X_2, X_3, \dots unabhängige Zufallsgrößen, alle mit derselben Verteilung und mit endlichem Erwartungswert $E(X_i) = \mu$ und endlicher Varianz

$Var(X_i) = \sigma^2$. Sei $S_n = \sum_{i=1}^n X_i$. Wird $S_n^* = \frac{S_n - n\mu}{\sqrt{n}\sigma}$ gesetzt, so gilt für $n \rightarrow \infty$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P(S_n^* < z) = \Phi(z) \text{ mit } \Phi(z) = N(0,1) \quad (11-21)$$

Dieser zentrale Grenzwertsatz besagt, dass für große n S_n annähernd normalverteilt ist. Es gilt: $E(S_n^*) = 0$ und $Var(S_n^*) = 1$.

11.4 Berechnungsverfahren der Herstellkosten im Planungsmodell

Das in der vorliegenden Arbeit im Planungsmodell implementierte Berechnungsverfahren der Herstellkosten im Rahmen einer Kostenträgerrechnung basiert auf dem Prinzip der differenzierten Zuschlagskalkulation (vgl. bspw. WARNECKE ET AL. 1996, S. 120 ff.). Die Kalkulationsgrundlage für die Herstellkosten ist in nachfolgender Abbildung dargestellt.

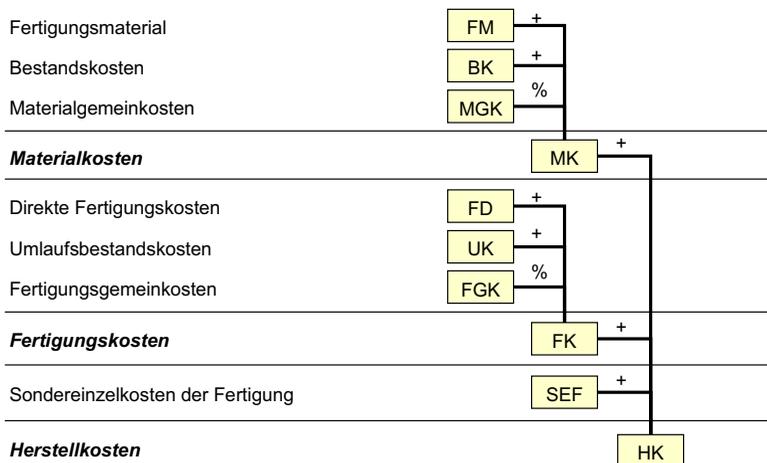


Abbildung 11-2: Kalkulation der Herstellkosten im Planungsmodell

Die Berechnung bezieht sich dabei auf die gesamten anfallenden Herstellkosten für ein Produkt⁵¹ in der betrachteten Bezugsperiode. Die Kalkulation sieht explizit eine Verrechnung der Bestands- bzw. Umlaufkosten auf das jeweilige Produkt, sprich den Kostenträger vor. Häufig wird diese Verrechnung über den Gemeinkostenzuschlag indifferent vorgenommen – d.h. die Bestandskosten werden als Summe den Materialgemeinkosten (für Roh- oder Fertigwarenbestand) bzw. den Fertigungsgemeinkosten (für Umlaufbestand) zugeschlagen.

⁵¹ Unter *Produkt* sollen hierbei nicht nur das eigentliche Fertigungsprodukt, sondern auch die Halbfertigwaren verstanden werden – deren Herstellkosten können aber nach dem selben Kalkulationsverfahren errechnet werden.

Im Sinne einer prozesskostengerechten Kalkulation der Herstellkosten sollen in der vorliegenden Arbeit aber diese Kosten dem jeweiligen Kostenträger direkt zugeordnet werden. Zur Kalkulation wird dabei der mittlere Bestandwert des Fertigungsmaterials $FBW_{Prod;Mid}$ für die Bestandskosten BK_{Prod} bzw. der mittlere Wert des Umlaufbestandes $UBW_{Prod;Mid}$ für die Umlaufbestandskosten UK_{Prod} mit dem kalkulatorischen Zinssatz ZS_{Kalk} verrechnet.

$$BK_{Prod} = FBW_{Prod;Mid} \cdot ZS_{Kalk} \quad (11-21)$$

$$UK_{Prod} = UBW_{Prod;Mid} \cdot ZS_{Kalk} \quad (11-22)$$

Die Verrechnung der Gemeinkosten (Materialgemeinkosten, Fertigungsgemeinkosten, ...) erfolgt auf Basis einer differenzierten Zuschlagskalkulation – d.h. z.B. für die Materialkosten als Prozentsatz MGK bezogen auf die Summe aus den Kosten für Fertigungsmaterial und Bestandskosten. Die Materialkosten je Produkt MK_{Prod} errechnen sich damit zu

$$MK_{Prod} = \frac{(FM_{Prod} + BK_{Prod}) \cdot (MGK + 100\%)}{100\%} \quad (11-23)$$

Die direkten Fertigungskosten je Produkt FD_{Prod} setzen sich aus der Summe der direkten Fertigungslöhne und der Maschinenstundensätze über alle Fertigungsschritte zusammen und werden mit folgender Formel berechnet:

$$FD_{Prod} = \sum_{M=1}^{M_{Ges}} (PSS_M + MSS_M) \cdot T_{Prod;M;Beleg} \quad (11-24)$$

Dabei sind PSS_M der Personalstundensatz des an der Maschine eingesetzten Werkers (inkl. Personalzusatzkosten), MSS_M der Maschinenstundensatz, $T_{Prod;M;Beleg}$ die Belegungszeit des Produktes an der spezifischen Maschine sowie M_{Ges} die Anzahl aller zur Herstellung des Produktes benötigten Maschinen.

Der Maschinenstundensatz MSS_M je Maschine errechnet sich in Anlehnung an WARNECKE ET AL. (1996, S. 100 f.) wie folgt:

$$MSS_M = \frac{K_A + K_Z + K_R + K_E + K_I}{T_N} \quad (11-25)$$

Hierbei stellen K_A die Kosten für kalkulatorische Abschreibung, K_Z die Zinskosten, K_R die Raumkosten (beinhalten Abschreibungen und Zinsen auf Gebäude und Werksanlagen, Instandhaltungskosten für Gebäude, Kosten für Licht, Heizung, Versicherung und Reinigung), K_E die Energiekosten und K_I die Instandhaltungskosten der Maschine jeweils je Betrachtungsperiode dar. Die

Nutzungszeit T_N ergibt sich dabei aus der gesamten (theoretisch verfügbaren) Maschinenzeit abzüglich der Ruhe- und Instandhaltungszeit für die betrachtete Periode.

Die Fertigungskosten je Produkt FK_{Prod} werden analog zu den Materialkosten nach folgender Formel berechnet:

$$FK_{Prod} = \frac{(FD_{Prod} + UK_{Prod}) \cdot (FGK + 100\%)}{100\%} \quad (11-26)$$

Dabei sind FD_{Prod} die direkten Fertigungskosten und UK_{Prod} die Umlaufbestandskosten des Produktes sowie FGK der prozentuale Fertigungsgemeinkostenzuschlag.

Die Herstellkosten je Produkt HK_{Prod} errechnen sich letztendlich zu

$$HK_{Prod} = MK_{Prod} + FK_{Prod} + SEF_{Prod}, \quad (11-27)$$

wobei SEF_{Prod} Sondereinzelkosten der Fertigung, die einem spezifischen Produkt zugeschlagen werden können, sind.

Um die Herstellkosten eines Einzelteiles $HK_{Prod;Stück}$ zu errechnen, müssen die Herstellkosten des Produktes durch die hergestellte Stückzahl des Produktes ST_{Prod} für die Betrachtungsperiode dividiert werden:

$$HK_{Prod;Stück} = \frac{HK_{Prod}}{ST_{Prod}} \quad (11-28)$$

11.5 Darstellung des Algorithmus zur Diskretisierung von stetigen Dichte- bzw. Verteilungsfunktionen

Wie in der Risikobewertung ausgeführt (vgl. Kapitel 6), sollten zur Reduzierung des Bewertungsaufwands stetige Dichte- bzw. Verteilungsfunktionen in diskrete Funktionen umgewandelt werden. Je nach Auswahl des Diskretisierungsintervalls bilden diese diskreten Funktionen Näherungen der ursprünglichen Verteilungen. Im Praxisfall, in dem Eintrittswahrscheinlichkeiten für Risiken bzw. deren Dichtefunktionen meist über (subjektive) Expertenmeinungen ermittelt werden, stellen diese diskreten Funktionen eine Näherung in hinreichender Genauigkeit dar.

Der im Risikomodell angewendete Algorithmus zur Diskretisierung der stetigen Dichtefunktionen ist in folgender Abbildung visualisiert.

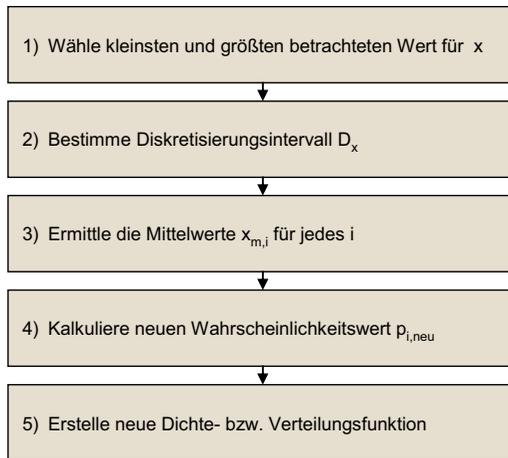


Abbildung 11-3: Im Risikomodell implementierter Algorithmus zur Diskretisierung stetiger Dichtefunktionen

Zunächst werden der unterste x_{\min} und oberste x_{\max} Wert für x gewählt. Anschließend erfolgt die Auswahl des Diskretisierungsintervalls D_x , d.h. die Festlegung, in wie viele gleichgroße Intervalle der Wertebereich zwischen x_{\min} und x_{\max} aufgeteilt wird. Hierbei ist darauf zu achten, dass $D_x > 2$ gilt, so dass mindestens eine Best/Worst/Most-likely-Betrachtung erfolgen kann.

Nun kann der neue Wahrscheinlichkeitswert $p_{i,neu}$ für $i=1,2,\dots,D_x$ wie folgt berechnet werden:

$$p_{i,neu} = F(x_{m,i}) - F(x_{m,i-1}) \quad (11-29)$$

$$x_{m,i} = \frac{x_{i+1} - x_i}{2} \quad (11-30)$$

mit

$p_{i,neu}$	neue Wahrscheinlichkeit für Wert x_i
$F(x)$	Verteilungsfunktion von x
$x_{m,i}$	Mittelwert zwischen x_{i+1} und x_i

Dabei ist zu beachten, dass für $i=1$ bzw. $i=D_x$ die Werte $x_{m,i-1}$ bzw. $x_{m,i}$ minus bzw. plus unendlich sind und somit $F(x_{m,i-1})=0$ bzw. $F(x_{m,i})=1$ gilt. Nach der Berechnung der einzelnen neuen Wahrscheinlichkeitswerte für x_i kann die neu erstellte diskrete Dichtefunktion aufgestellt werden.

Die folgende Abbildung 11-4 veranschaulicht das Ergebnis der Diskretisierung mit $D_x = 5$ anhand der in Abbildung 11-1 dargestellten normalverteilten Dichtefunktion.

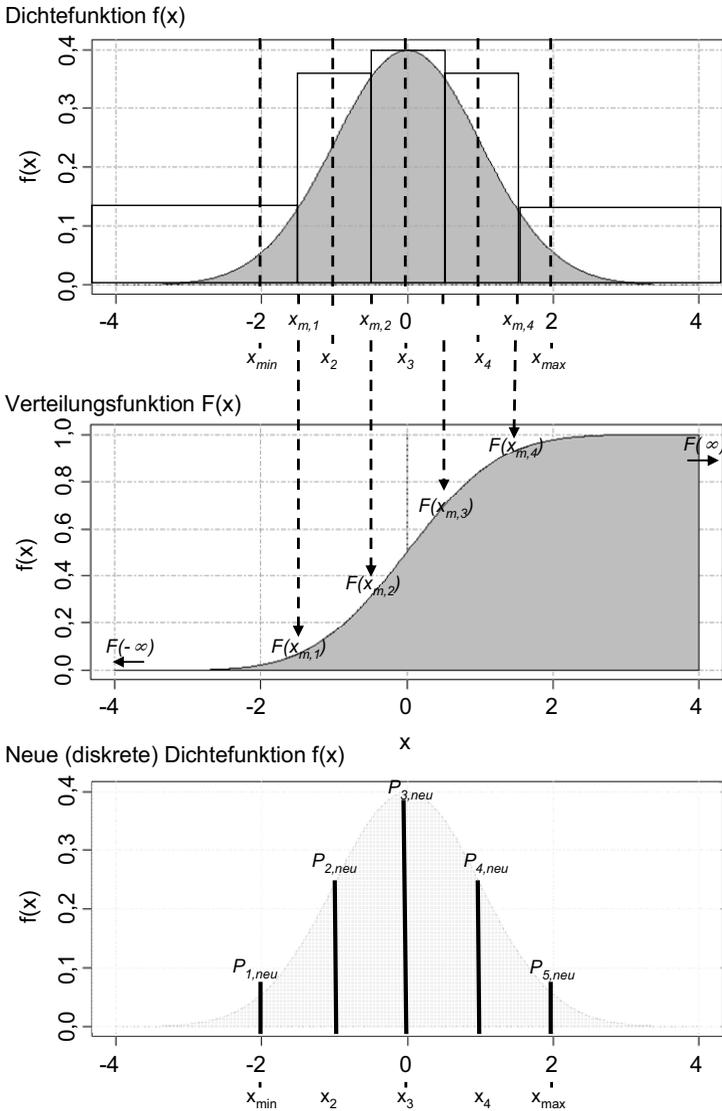


Abbildung 11-4: Beispiel für eine diskretisierte Dichtefunktion mit Diskretisierungsintervall $D_x=5$

11.6 Genutzte Softwareprodukte

Plant Simulation® (vormals eM-Plant)

Planungswerkzeug zur Simulation von Logistik- und Produktionsprozessen
Siemens Product Lifecycle
Management Software (DE) GmbH (früher UGS Corporation)
Hohenstaufenring 48-54
D-50674 Köln, Germany
<<http://www.ugsplm.de>>

Matflow®

Materialflussplanungs- und Optimierungssoftware
ifp – Prof. Dr.-Ing. Joachim Milberg
Institut für Produktion und Logistik GmbH & Co. KG
Richard-Reitzner-Allee 8
D-85540 Haar, Germany
<<http://www.ifpconsulting.de>>

Microsoft Office Access®

Datenbankmanagementsystem
Microsoft, Corp.
One Microsoft Way
Redmond, WA 98052
USA
<<http://www.microsoft.com>>

Deutsche Niederlassung:
Microsoft Deutschland GmbH
Konrad-Zuse-Straße 1
D-85716 Unterschleißheim

iwb Forschungsberichte Band 1–121

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. J. Milberg und Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart, Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München

Band 1–121 erschienen im Springer Verlag, Berlin, Heidelberg und sind im Erscheinungsjahr und den folgenden drei Kalenderjahren erhältlich im Buchhandel oder durch Lange & Springer, Otto-Suhr-Allee 26–28, 10585 Berlin

- 1 *Streifinger, E.*
Beitrag zur Sicherung der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit moderner Fertigungsmittel
1986 · 72 Abb. · 167 Seiten · ISBN 3-540-16391-3
- 2 *Fuchsberger, A.*
Untersuchung der spanenden Bearbeitung von Knochen
1986 · 90 Abb. · 175 Seiten · ISBN 3-540-16392-1
- 3 *Maier, C.*
Montageautomatisierung am Beispiel des Schraubens mit Industrierobotern
1986 · 77 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-16393-X
- 4 *Summer, H.*
Modell zur Berechnung verzweigter Antriebsstrukturen
1986 · 74 Abb. · 197 Seiten · ISBN 3-540-16394-8
- 5 *Simon, W.*
Elektrische Vorschubantriebe an NC-Systemen
1986 · 141 Abb. · 198 Seiten · ISBN 3-540-16693-9
- 6 *Büchs, S.*
Analytische Untersuchungen zur Technologie der Kugelbearbeitung
1986 · 74 Abb. · 173 Seiten · ISBN 3-540-16694-7
- 7 *Hunzinger, J.*
Schneiderdierte Oberflächen
1986 · 79 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-16695-5
- 8 *Pilland, U.*
Echtzeit-Kollisionsschutz an NC-Drehmaschinen
1986 · 54 Abb. · 127 Seiten · ISBN 3-540-17274-2
- 9 *Barthelmeß, P.*
Montagegerechtes Konstruieren durch die Integration von Produkt- und Montageprozeßgestaltung
1987 · 70 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-18120-2
- 10 *Reithofer, N.*
Nutzungssicherung von flexibel automatisierten Produktionsanlagen
1987 · 84 Abb. · 176 Seiten · ISBN 3-540-18440-6
- 11 *Diess, H.*
Rechnerunterstützte Entwicklung flexibel automatisierter Montageprozesse
1988 · 56 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-18799-5
- 12 *Reinhart, G.*
Flexible Automatisierung der Konstruktion und Fertigung elektrischer Leitungssätze
1988 · 112 Abb. · 197 Seiten · ISBN 3-540-19003-1
- 13 *Bürstner, H.*
Investitionsentscheidung in der rechnerintegrierten Produktion
1988 · 74 Abb. · 190 Seiten · ISBN 3-540-19099-6
- 14 *Grohe, A.*
Universelles Zellenrechnerkonzept für flexible Fertigungssysteme
1988 · 74 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-19182-8
- 15 *Riese, K.*
Klipsmontage mit Industrierobotern
1988 · 92 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-19183-6
- 16 *Lutz, P.*
Leitsysteme für rechnerintegrierte Auftragsabwicklung
1988 · 44 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-19260-3
- 17 *Klippel, C.*
Mobiler Roboter im Materialfluß eines flexiblen Fertigungssystems
1988 · 86 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-50468-0
- 18 *Rascher, R.*
Experimentelle Untersuchungen zur Technologie der Kugelherstellung
1989 · 110 Abb. · 200 Seiten · ISBN 3-540-51301-9
- 19 *Heusler, H.-J.*
Rechnerunterstützte Planung flexibler Montagesysteme
1989 · 43 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-51723-5
- 20 *Kirchknopf, P.*
Ermittlung modaler Parameter aus Übertragungsfrequenzgängen
1989 · 57 Abb. · 157 Seiten · ISBN 3-540-51724-3
- 21 *Sauerer, Ch.*
Beitrag für ein Zerspanprozeßmodell Metallbandsägen
1990 · 89 Abb. · 166 Seiten · ISBN 3-540-51868-1
- 22 *Karstedt, K.*
Positionsbestimmung von Objekten in der Montage- und Fertigungsautomatisierung
1990 · 92 Abb. · 157 Seiten · ISBN 3-540-51879-7
- 23 *Peiker, St.*
Entwicklung eines integrierten NC-Planungssystems
1990 · 66 Abb. · 180 Seiten · ISBN 3-540-51880-0
- 24 *Schugmann, R.*
Nachgiebige Werkzeugaufhängungen für die automatische Montage
1990 · 71 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-52138-0
- 25 *Witba, P.*
Simulation als Werkzeug in der Handhabungstechnik
1990 · 125 Abb. · 178 Seiten · ISBN 3-540-52231-X
- 26 *Eibelshäuser, P.*
Rechnerunterstützte experimentelle Modalanalyse mittels gestufter Sinusanregung
1990 · 79 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-52451-7
- 27 *Prasch, J.*
Computerunterstützte Planung von chirurgischen Eingriffen in der Orthopädie
1990 · 113 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-52543-2

- 28 *Teich, K.*
Prozeßkommunikation und Rechnerverbund in der Produktion
1990 · 52 Abb. · 158 Seiten · ISBN 3-540-52764-8
- 29 *Pfrang, W.*
Rechnergestützte und graphische Planung manueller und teilautomatisierter Arbeitsplätze
1990 · 59 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-52829-6
- 30 *Tauber, A.*
Modellbildung kinematischer Strukturen als Komponente der Montageplanung
1990 · 93 Abb. · 190 Seiten · ISBN 3-540-52911-X
- 31 *Jäger, A.*
Systematische Planung komplexer Produktionssysteme
1991 · 75 Abb. · 148 Seiten · ISBN 3-540-53021-5
- 32 *Hartberger, H.*
Wissensbasierte Simulation komplexer Produktionssysteme
1991 · 58 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-53326-5
- 33 *Tuczek, H.*
Inspektion von Karosseriepreßteilen auf Risse und Einschränkungen mittels Methoden der Bildverarbeitung
1992 · 125 Abb. · 179 Seiten · ISBN 3-540-53965-4
- 34 *Fischbacher, J.*
Planungsstrategien zur störungstechnischen Optimierung von Reinraum-Fertigungsgeräten
1991 · 60 Abb. · 166 Seiten · ISBN 3-540-54027-X
- 35 *Moser, O.*
3D-Echtzeitkollisionsschutz für Drehmaschinen
1991 · 66 Abb. · 177 Seiten · ISBN 3-540-54076-8
- 36 *Naber, H.*
Aufbau und Einsatz eines mobilen Roboters mit unabhängiger Lokomotions- und Manipulationskomponente
1991 · 85 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-54216-7
- 37 *Kupec, Th.*
Wissensbasiertes Leitsystem zur Steuerung flexibler Fertigungsanlagen
1991 · 68 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-54260-4
- 38 *Maulhardt, U.*
Dynamisches Verhalten von Kreissägen
1991 · 109 Abb. · 159 Seiten · ISBN 3-540-54365-1
- 39 *Götz, R.*
Strukturierte Planung flexibel automatisierter Montagesysteme für flächige Bauteile
1991 · 86 Abb. · 201 Seiten · ISBN 3-540-54401-1
- 40 *Koepfer, Th.*
3D-grafisch-interaktive Arbeitsplanung - ein Ansatz zur Aufhebung der Arbeitsteilung
1991 · 74 Abb. · 126 Seiten · ISBN 3-540-54436-4
- 41 *Schmidt, M.*
Konzeption und Einsatzplanung flexibel automatisierter Montagesysteme
1992 · 108 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-55025-9
- 42 *Burger, C.*
Produktionsregelung mit entscheidungsunterstützenden Informationssystemen
1992 · 94 Abb. · 186 Seiten · ISBN 3-540-55187-5
- 43 *Hoßmann, J.*
Methodik zur Planung der automatischen Montage von nicht formstabilen Bauteilen
1992 · 73 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-5520-0
- 44 *Petry, M.*
Systematik zur Entwicklung eines modularen Programmabaukastens für robotergeführte Klebprozesse
1992 · 106 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-55374-6
- 45 *Schönecker, W.*
Integrierte Diagnose in Produktionszellen
1992 · 87 Abb. · 159 Seiten · ISBN 3-540-55375-4
- 46 *Bick, W.*
Systematische Planung hybrider Montagesysteme unter Berücksichtigung der Ermittlung des optimalen Automatisierungsgrades
1992 · 70 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-55377-0
- 47 *Gebauer, L.*
Prozeßuntersuchungen zur automatisierten Montage von optischen Linsen
1992 · 84 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-55378-9
- 48 *Schräfer, N.*
Erstellung eines 3D-Simulationssystems zur Reduzierung von Rüstzeiten bei der NC-Bearbeitung
1992 · 103 Abb. · 161 Seiten · ISBN 3-540-55431-9
- 49 *Wisbacher, J.*
Methoden zur rationellen Automatisierung der Montage von Schnellbefestigungselementen
1992 · 77 Abb. · 176 Seiten · ISBN 3-540-55512-9
- 50 *Garnich, F.*
Laserbearbeitung mit Robotern
1992 · 110 Abb. · 184 Seiten · ISBN 3-540-55513-7
- 51 *Eubert, P.*
Digitale Zustandsregelung elektrischer Vorschubantriebe
1992 · 89 Abb. · 159 Seiten · ISBN 3-540-44441-2
- 52 *Glaas, W.*
Rechnerintegrierte Kabelsatzfertigung
1992 · 67 Abb. · 140 Seiten · ISBN 3-540-55749-0
- 53 *Helm, H.J.*
Ein Verfahren zur On-Line Fehlererkennung und Diagnose
1992 · 60 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-55750-4
- 54 *Lang, Ch.*
Wissensbasierte Unterstützung der Verfügbarkeitsplanung
1992 · 75 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-55751-2
- 55 *Schuster, G.*
Rechnergestütztes Planungssystem für die flexibel automatisierte Montage
1992 · 67 Abb. · 135 Seiten · ISBN 3-540-55830-6
- 56 *Bomm, H.*
Ein Ziel- und Kennzahlensystem zum Investitionscontrolling komplexer Produktionssysteme
1992 · 87 Abb. · 195 Seiten · ISBN 3-540-55964-7
- 57 *Wendt, A.*
Qualitätssicherung in flexibel automatisierten Montagesystemen
1992 · 74 Abb. · 179 Seiten · ISBN 3-540-56044-0
- 58 *Hansmaier, H.*
Rechnergestütztes Verfahren zur Geräuschminderung
1993 · 67 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-56053-2
- 59 *Dilling, U.*
Planung von Fertigungssystemen unterstützt durch Wirtschaftssimulationen
1993 · 72 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-56307-5

- 60 *Strohmayr, R.*
**Rechnergestützte Auswahl und Konfiguration von
Zubringeinrichtungen**
1993 · 80 Abb. · 152 Seiten · ISBN 3-540-56652-X
- 61 *Glas, J.*
**Standardisierter Aufbau anwendungsspezifischer
Zellenrechnersoftware**
1993 · 80 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3-540-56889-5
- 62 *Stetter, R.*
**Rechnergestützte Simulationswerkzeuge zur
Effizienzsteigerung des Industrierobereinsatzes**
1994 · 91 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-56889-1
- 63 *Dindorfer, A.*
Robotersysteme zur förderbandsynchronen Montage
1993 · 76 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-57031-4
- 64 *Wiedemann, M.*
**Simulation des Schwingungsverhaltens spanender
Werkzeugmaschinen**
1993 · 81 Abb. · 137 Seiten · ISBN 3-540-57177-9
- 65 *Woenckhaus, Ch.*
**Rechnergestütztes System zur automatisierten 3D-
Layoutoptimierung**
1994 · 81 Abb. · 140 Seiten · ISBN 3-540-57284-8
- 66 *Kummelsteiner, G.*
**3D-Bewegungssimulation als integratives Hilfsmittel zur
Planung manueller Montagesysteme**
1994 · 62 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-57535-9
- 67 *Kugelmann, F.*
**Einsatz nachgiebiger Elemente zur wirtschaftlichen
Automatisierung von Produktionssystemen**
1993 · 76 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-57549-9
- 68 *Schwarz, H.*
**Simulationsgestützte CAD/CAM-Kopplung für die 3D-
Laserbearbeitung mit integrierter Sensorik**
1994 · 96 Abb. · 148 Seiten · ISBN 3-540-57577-4
- 69 *Viethen, U.*
Systematik zum Prüfen in flexiblen Fertigungssystemen
1994 · 70 Abb. · 142 Seiten · ISBN 3-540-57794-7
- 70 *Seehuber, M.*
**Automatische Inbetriebnahme
geschwindigkeitsadaptiver Zustandsregler**
1994 · 72 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-57896-X
- 71 *Amann, W.*
**Eine Simulationsumgebung für Planung und Betrieb von
Produktionssystemen**
1994 · 71 Abb. · 129 Seiten · ISBN 3-540-57924-9
- 72 *Schöpf, M.*
**Rechnergestütztes Projektinformations- und
Koordinationssystem für das Fertigungsvorfeld**
1997 · 63 Abb. · 130 Seiten · ISBN 3-540-58052-2
- 73 *Welling, A.*
**Effizienter Einsatz bildgebender Sensoren zur
Flexibilisierung automatisierter Handhabungsvorgänge**
1994 · 66 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-580-0
- 74 *Zetlmayer, H.*
**Verfahren zur simulationsgestützten
Produktionsregelung in der Einzel- und
Kleinserienproduktion**
1994 · 62 Abb. · 143 Seiten · ISBN 3-540-58134-0
- 75 *Lindl, M.*
Auftragsleittechnik für Konstruktion und Arbeitsplanung
1994 · 66 Abb. · 147 Seiten · ISBN 3-540-58221-5
- 76 *Zipper, B.*
**Das integrierte Betriebsmittelwesen · Baustein einer
flexiblen Fertigung**
1994 · 64 Abb. · 147 Seiten · ISBN 3-540-58222-3
- 77 *Rath, P.*
**Programmierung und Simulation von Zellenabläufen in
der Arbeitsvorbereitung**
1995 · 51 Abb. · 130 Seiten · ISBN 3-540-58223-1
- 78 *Engel, A.*
**Strömungstechnische Optimierung von
Produktionssystemen durch Simulation**
1994 · 69 Abb. · 160 Seiten · ISBN 3-540-58258-4
- 79 *Zäh, M. F.*
Dynamisches Prozeßmodell Kreissägen
1995 · 95 Abb. · 186 Seiten · ISBN 3-540-58624-5
- 80 *Zwanzer, N.*
**Technologisches Prozeßmodell für die
Kugelschleifbearbeitung**
1995 · 65 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-58634-2
- 81 *Romanov, P.*
**Konstruktionsbegleitende Kalkulation von
Werkzeugmaschinen**
1995 · 66 Abb. · 151 Seiten · ISBN 3-540-58771-3
- 82 *Kahlenberg, R.*
**Integrierte Qualitätssicherung in flexiblen
Fertigungszellen**
1995 · 71 Abb. · 136 Seiten · ISBN 3-540-58772-1
- 83 *Huber, A.*
**Arbeitsfolgenplanung mehrstufiger Prozesse in der
Hartbearbeitung**
1995 · 87 Abb. · 152 Seiten · ISBN 3-540-58773-X
- 84 *Birkel, G.*
**Aufwandsminimierter Wissenserwerb für die Diagnose in
flexiblen Produktionszellen**
1995 · 64 Abb. · 137 Seiten · ISBN 3-540-58869-8
- 85 *Simon, D.*
**Fertigungsregelung durch zielgrößenorientierte Planung
und logistisches Störungsmanagement**
1995 · 77 Abb. · 132 Seiten · ISBN 3-540-58942-2
- 86 *Nedeljkovic-Groha, V.*
**Systematische Planung anwendungsspezifischer
Materialflußsteuerungen**
1995 · 94 Abb. · 188 Seiten · ISBN 3-540-58953-8
- 87 *Rockland, M.*
**Flexibilisierung der automatischen Teilbereitstellung in
Montageanlagen**
1995 · 83 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-58999-6
- 88 *Limmer, St.*
Konzept einer integrierten Produktentwicklung
1995 · 67 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-59016-1
- 89 *Eder, Th.*
**Integrierte Planung von Informationssystemen für
rechnergestützte Produktionssysteme**
1995 · 62 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-59084-6
- 90 *Deutsche, U.*
**Prozeßorientierte Organisation der Auftragsentwicklung in
mittelständischen Unternehmen**
1995 · 80 Abb. · 188 Seiten · ISBN 3-540-59337-3
- 91 *Dieterle, A.*
Recyclingintegrierte Produktentwicklung
1995 · 68 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-60120-1

- 92 *Hechl, Chr.*
Personalorientierte Montageplanung für komplexe und variantenreiche Produkte
 1995 · 73 Abb. · 158 Seiten · ISBN 3-540-60325-5
- 93 *Albertz, F.*
Dynamikgerechter Entwurf von Werkzeugmaschinen - Gestellstrukturen
 1995 · 83 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-60608-8
- 94 *Trunzer, W.*
Strategien zur On-Line Bahnplanung bei Robotern mit 3D-Konturfolgesensoren
 1996 · 101 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-60961-X
- 95 *Fichtmüller, N.*
Rationalisierung durch flexible, hybride Montagesysteme
 1996 · 83 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3-540-60960-1
- 96 *Trucks, V.*
Rechnergestützte Beurteilung von Getriebestrukturen in Werkzeugmaschinen
 1996 · 64 Abb. · 141 Seiten · ISBN 3-540-60599-8
- 97 *Schäffer, G.*
Systematische Integration adaptiver Produktionssysteme
 1996 · 71 Abb. · 170 Seiten · ISBN 3-540-60958-X
- 98 *Koch, M. R.*
Autonome Fertigungszellen - Gestaltung, Steuerung und integrierte Störungsbehandlung
 1996 · 67 Abb. · 138 Seiten · ISBN 3-540-61104-5
- 99 *Moctezuma de la Barrera, J.L.*
Ein durchgängiges System zur computer- und rechnergestützten Chirurgie
 1996 · 99 Abb. · 175 Seiten · ISBN 3-540-61145-2
- 100 *Geuer, A.*
Einsatzpotential des Rapid Prototyping in der Produktentwicklung
 1996 · 84 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-61495-8
- 101 *Ebner, C.*
Ganzheitliches Verfügbarkeits- und Qualitätsmanagement unter Verwendung von Felddaten
 1996 · 67 Abb. · 132 Seiten · ISBN 3-540-61678-0
- 102 *Pischelsrieder, K.*
Steuerung autonomer mobiler Roboter in der Produktion
 1996 · 74 Abb. · 171 Seiten · ISBN 3-540-61714-0
- 103 *Köhler, R.*
Disposition und Materialbereitstellung bei komplexen variantenreichen Kleinprodukten
 1997 · 62 Abb. · 177 Seiten · ISBN 3-540-62024-9
- 104 *Feldmann, Ch.*
Eine Methode für die integrierte rechnergestützte Montageplanung
 1997 · 71 Abb. · 163 Seiten · ISBN 3-540-62059-1
- 105 *Lehmann, H.*
Integrierte Materialfluß- und Layoutplanung durch Kopplung von CAD- und Ablaufsimulationssystem
 1997 · 96 Abb. · 191 Seiten · ISBN 3-540-62202-0
- 106 *Wagner, M.*
Steuerungintegrierte Fehlerbehandlung für maschinennahe Abläufe
 1997 · 94 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-62656-5
- 107 *Lorenzen, J.*
Simulationsgestützte Kostenanalyse in produktorientierten Fertigungsstrukturen
 1997 · 63 Abb. · 129 Seiten · ISBN 3-540-62794-4
- 108 *Krämer, U.*
Systematik für die rechnergestützte Ähnlichkeitsuche und Standardisierung
 1997 · 53 Abb. · 127 Seiten · ISBN 3-540-63338-3
- 109 *Pfersdorf, I.*
Entwicklung eines systematischen Vorgehens zur Organisation des industriellen Service
 1997 · 74 Abb. · 172 Seiten · ISBN 3-540-63615-3
- 110 *Kuba, R.*
Informations- und kommunikationstechnische Integration von Menschen in der Produktion
 1997 · 77 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-63642-0
- 111 *Kaiser, J.*
Vernetztes Gestalten von Produkt und Produktionsprozeß mit Produktmodellen
 1997 · 67 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-63999-3
- 112 *Geyer, M.*
Flexibles Planungssystem zur Berücksichtigung ergonomischer Aspekte bei der Produkt- und Arbeitssystemgestaltung
 1997 · 85 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-64195-5
- 113 *Martin, C.*
Produktionsregelung - ein modularer, modellbasierter Ansatz
 1998 · 73 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-64401-6
- 114 *Löffler, Th.*
Akustische Überwachung automatisierter Fügeprozesse
 1998 · 85 Abb. · 136 Seiten · ISBN 3-540-64511-X
- 115 *Lindermeier, R.*
Qualitätsorientierte Entwicklung von Montagesystemen
 1998 · 84 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-64686-8
- 116 *Koehler, J.*
Prozeßorientierte Teamstrukturen in Betrieben mit Großserienfertigung
 1998 · 75 Abb. · 185 Seiten · ISBN 3-540-65037-7
- 117 *Schuller, R. W.*
Leitfaden zum automatisierten Auftrag von hochviskosen Dichtmassen
 1999 · 76 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-65320-1
- 118 *Debuschewitz, M.*
Integrierte Methodik und Werkzeuge zur herstellungsorientierten Produktentwicklung
 1999 · 104 Abb. · 169 Seiten · ISBN 3-540-65350-3
- 119 *Bauer, L.*
Strategien zur rechnergestützten Offline-Programmierung von 3D-Laseranlagen
 1999 · 98 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3-540-65382-1
- 120 *Pfob, E.*
Modellgestützte Arbeitsplanung bei Fertigungsmaschinen
 1999 · 69 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-65525-5
- 121 *Spitznagel, J.*
Erfahrungsgleitete Planung von Laseranlagen
 1999 · 63 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-65896-3

Seminarberichte iwb

herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart und Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh,
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften
der Technischen Universität München

Seminarberichte iwb sind erhältlich im Buchhandel oder beim
Herbert Utz Verlag, München, Fax 089-277791-01, info@utz.de

- 1 **Innovative Montagesysteme - Anlagengestaltung, -bewertung und -überwachung**
115 Seiten · ISBN 3-931327-01-9
- 2 **Integriertes Produktmodell - Von der Idee zum fertigen Produkt**
82 Seiten · ISBN 3-931327-02-7
- 3 **Konstruktion von Werkzeugmaschinen - Berechnung, Simulation und Optimierung**
110 Seiten · ISBN 3-931327-03-5
- 4 **Simulation - Einsatzmöglichkeiten und Erfahrungsberichte**
134 Seiten · ISBN 3-931327-04-3
- 5 **Optimierung der Kooperation in der Produktentwicklung**
95 Seiten · ISBN 3-931327-05-1
- 6 **Materialbearbeitung mit Laser - von der Planung zur Anwendung**
86 Seiten · ISBN 3-931327-06-0
- 7 **Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen**
80 Seiten · ISBN 3-931327-77-9
- 8 **Qualitätsmanagement - der Weg ins Ziel**
130 Seiten · ISBN 3-931327-78-7
- 9 **Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Analysen und Konzepte**
120 Seiten · ISBN 3-931327-79-5
- 10 **3D-Simulation - Schneller, sicherer und kostengünstiger zum Ziel**
90 Seiten · ISBN 3-931327-10-8
- 11 **Unternehmensorganisation - Schlüssel für eine effiziente Produktion**
110 Seiten · ISBN 3-931327-11-6
- 12 **Autonome Produktionssysteme**
100 Seiten · ISBN 3-931327-12-4
- 13 **Planung von Montageanlagen**
130 Seiten · ISBN 3-931327-13-2
- 14 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 15 **Flexible fluide Kleb/Dichtstoffe - Dosierung und Prozeßgestaltung**
80 Seiten · ISBN 3-931327-15-9
- 16 **Time to Market - Von der Idee zum Produktionsstart**
80 Seiten · ISBN 3-931327-16-7
- 17 **Industriekeramik in Forschung und Praxis - Probleme, Analysen und Lösungen**
80 Seiten · ISBN 3-931327-17-5
- 18 **Das Unternehmen im Internet - Chancen für produzierende Unternehmen**
165 Seiten · ISBN 3-931327-18-3
- 19 **Leittechnik und Informationslogistik - mehr Transparenz in der Fertigung**
85 Seiten · ISBN 3-931327-19-1
- 20 **Dezentrale Steuerungen in Produktionsanlagen - Plug & Play - Vereinfachung von Entwicklung und Inbetriebnahme**
105 Seiten · ISBN 3-931327-20-5
- 21 **Rapid Prototyping - Rapid Tooling - Schnell zu funktionalen Prototypen**
95 Seiten · ISBN 3-931327-21-3
- 22 **Mikrotechnik für die Produktion - Greifbare Produkte und Anwendungspotentiale**
95 Seiten · ISBN 3-931327-22-1
- 24 **EDM Engineering Data Management**
195 Seiten · ISBN 3-931327-24-8
- 25 **Rationelle Nutzung der Simulationstechnik - Entwicklungstrends und Praxisbeispiele**
152 Seiten · ISBN 3-931327-25-6
- 26 **Alternative Dichtungssysteme - Konzepte zur Dichtungs montage und zum Dichtmittelauftrag**
110 Seiten · ISBN 3-931327-26-4
- 27 **Rapid Prototyping - Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt**
111 Seiten · ISBN 3-931327-27-2
- 28 **Rapid Tooling - Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt**
154 Seiten · ISBN 3-931327-28-0
- 29 **Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Abschlußseminar**
156 Seiten · ISBN 3-931327-29-9
- 30 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 31 **Engineering Data Management (EDM) - Erfahrungsberichte und Trends**
183 Seiten · ISBN 3-931327-31-0
- 32 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 33 **3D-CAD - Mehr als nur eine dritte Dimension**
181 Seiten · ISBN 3-931327-33-7
- 34 **Laser in der Produktion - Technologische Randbedingungen für den wirtschaftlichen Einsatz**
102 Seiten · ISBN 3-931327-34-5
- 35 **Ablaufsimulation - Anlagen effizient und sicher planen und betreiben**
129 Seiten · ISBN 3-931327-35-3
- 36 **Moderne Methoden zur Montageplanung - Schlüssel für eine effiziente Produktion**
124 Seiten · ISBN 3-931327-36-1
- 37 **Wettbewerbsfaktor Verfügbarkeit - Produktivitätssteigerung durch technische und organisatorische Ansätze**
95 Seiten · ISBN 3-931327-37-X
- 38 **Rapid Prototyping - Effizienter Einsatz von Modellen in der Produktentwicklung**
128 Seiten · ISBN 3-931327-38-8
- 39 **Rapid Tooling - Neue Strategien für den Werkzeug- und Formenbau**
130 Seiten · ISBN 3-931327-39-6
- 40 **Erfolgreich kooperieren in der produzierenden Industrie - Flexibel und schneller mit modernen Kooperationen**
160 Seiten · ISBN 3-931327-40-X
- 41 **Innovative Entwicklung von Produktionsmaschinen**
146 Seiten · ISBN 3-89675-041-0
- 42 **Stückzahlflexible Montagesysteme**
139 Seiten · ISBN 3-89675-042-9
- 43 **Produktivität und Verfügbarkeit - ...durch Kooperation steigern**
120 Seiten · ISBN 3-89675-043-7
- 44 **Automatisierte Mikromontage - Handhaben und Positionieren von Mikrobautteilen**
125 Seiten · ISBN 3-89675-044-5
- 45 **Produzieren in Netzwerken - Lösungsansätze, Methoden, Praxisbeispiele**
173 Seiten · ISBN 3-89675-045-3
- 46 **Virtuelle Produktion - Ablaufsimulation**
108 Seiten · ISBN 3-89675-046-1

- 47 **Virtuelle Produktion · Prozeß- und Produktsimulation**
131 Seiten · ISBN 3-89675-047-X
- 48 **Sicherheitstechnik an Werkzeugmaschinen**
106 Seiten · ISBN 3-89675-048-8
- 49 **Rapid Prototyping · Methoden für die reaktionsfähige Produktentwicklung**
150 Seiten · ISBN 3-89675-049-6
- 50 **Rapid Manufacturing · Methoden für die reaktionsfähige Produktion**
121 Seiten · ISBN 3-89675-050-X
- 51 **Flexibles Kleben und Dichten · Produkt- & Prozeßgestaltung, Mischverbindungen, Qualitätskontrolle**
137 Seiten · ISBN 3-89675-051-8
- 52 **Rapid Manufacturing · Schnelle Herstellung von Klein- und Prototypenserien**
124 Seiten · ISBN 3-89675-052-6
- 53 **Mischverbindungen · Werkstoffauswahl, Verfahrensauswahl, Umsetzung**
107 Seiten · ISBN 3-89675-054-2
- 54 **Virtuelle Produktion · Integrierte Prozess- und Produktsimulation**
133 Seiten · ISBN 3-89675-054-2
- 55 **e-Business in der Produktion · Organisationskonzepte, IT-Lösungen, Praxisbeispiele**
150 Seiten · ISBN 3-89675-055-0
- 56 **Virtuelle Produktion – Ablaufsimulation als planungsbegleitendes Werkzeug**
150 Seiten · ISBN 3-89675-056-9
- 57 **Virtuelle Produktion – Datenintegration und Benutzerschnittstellen**
150 Seiten · ISBN 3-89675-057-7
- 58 **Rapid Manufacturing · Schnelle Herstellung qualitativ hochwertiger Bauteile oder Kleinserien**
169 Seiten · ISBN 3-89675-058-7
- 59 **Automatisierte Mikromontage · Werkzeuge und Fügetechnologien für die Mikrosystemtechnik**
114 Seiten · ISBN 3-89675-059-3
- 60 **Mechatronische Produktionssysteme · Genauigkeit gezielt entwickeln**
131 Seiten · ISBN 3-89675-060-7
- 61 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 62 **Rapid Technologien · Anspruch – Realität – Technologien**
100 Seiten · ISBN 3-89675-062-3
- 63 **Fabrikplanung 2002 · Visionen – Umsetzung – Werkzeuge**
124 Seiten · ISBN 3-89675-063-1
- 64 **Mischverbindungen · Einsatz und Innovationspotenzial**
143 Seiten · ISBN 3-89675-064-X
- 65 **Fabrikplanung 2003 – Basis für Wachstum · Erfahrungen Werkzeuge Visionen**
136 Seiten · ISBN 3-89675-065-8
- 66 **Mit Rapid Technologien zum Aufschwung · Neue Rapid Technologien und Verfahren, Neue Qualitäten, Neue Möglichkeiten, Neue Anwendungsfelder**
185 Seiten · ISBN 3-89675-066-6
- 67 **Mechatronische Produktionssysteme · Die Virtuelle Werkzeugmaschine: Mechatronisches Entwicklungsvorgehen, Integrierte Modellbildung, Applikationsfelder**
148 Seiten · ISBN 3-89675-067-4
- 68 **Virtuelle Produktion · Nutzenpotenziale im Lebenszyklus der Fabrik**
139 Seiten · ISBN 3-89675-068-2
- 69 **Kooperationsmanagement in der Produktion · Visionen und Methoden zur Kooperation – Geschäftsmodelle und Rechtsformen für die Kooperation – Kooperation entlang der Wertschöpfungskette**
134 Seiten · ISBN 3-89675-069-0
- 70 **Mechatronik · Strukturndynamik von Werkzeugmaschinen**
161 Seiten · ISBN 3-89675-070-4
- 71 **Klebtechnik · Zerstörungsfreie Qualitätssicherung beim flexibel automatisierten Kleben und Dichten**
ISBN 3-89675-071-2 · vergriffen
- 72 **Fabrikplanung 2004 · Erfolgsfaktor im Wettbewerb · Erfahrungen – Werkzeuge – Visionen**
ISBN 3-89675-072-0 · vergriffen
- 73 **Rapid Manufacturing Vom Prototyp zur Produktion · Erwartungen – Erfahrungen – Entwicklungen**
179 Seiten · ISBN 3-89675-073-9
- 74 **Virtuelle Produktionssystemplanung · Virtuelle Inbetriebnahme und Digitale Fabrik**
133 Seiten · ISBN 3-89675-074-7
- 75 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 76 **Berührungslose Handhabung · Vom Wafer zur Glaslinse, von der Kapselfur zur aseptischen Ampulle**
95 Seiten · ISBN 3-89675-076-3
- 77 **ERP-Systeme · Einführung in die betriebliche Praxis · Erfahrungen, Best Practices, Visionen**
153 Seiten · ISBN 3-89675-077-7
- 78 **Mechatronik · Trends in der interdisziplinären Entwicklung von Werkzeugmaschinen**
155 Seiten · ISBN 3-89675-078-X
- 79 **Produktionsmanagement**
267 Seiten · ISBN 3-89675-079-8
- 80 **Rapid Manufacturing · Fertigungsverfahren für alle Ansprüche**
154 Seiten · ISBN 3-89675-080-1
- 81 **Rapid Manufacturing · Heutige Trends – Zukünftige Anwendungsfelder**
172 Seiten · ISBN 3-89675-081-X
- 82 **Produktionsmanagement · Herausforderung Variantenmanagement**
100 Seiten · ISBN 3-89675-082-8
- 83 **Mechatronik · Optimierungspotenzial der Werkzeugmaschine nutzen**
160 Seiten · ISBN 3-89675-083-6
- 84 **Virtuelle Inbetriebnahme · Von der Kür zur Pflicht?**
104 Seiten · ISBN 978-3-89675-084-6
- 85 **3D-Erfahrungsforum · Innovation im Werkzeug- und Formenbau**
375 Seiten · ISBN 978-3-89675-085-3
- 86 **Rapid Manufacturing · Erfolgreich produzieren durch innovative Fertigung**
162 Seiten · ISBN 978-3-89675-086-0
- 87 **Produktionsmanagement · Schlank im Mittelstand**
102 Seiten · ISBN 978-3-89675-087-7
- 88 **Mechatronik · Vorsprung durch Simulation**
134 Seiten · ISBN 978-3-89675-088-4
- 89 **RFID in der Produktion · Wertschöpfung effizient gestalten**
122 Seiten · ISBN 978-3-89675-089-1

Forschungsberichte iw b

herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart und Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh,
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften
der Technischen Universität München

Forschungsberichte iw b ab Band 122 sind erhältlich im Buchhandel oder beim
Herbert Utz Verlag, München, Fax 089-277791-01, info@utz.de

- 122 Schneider, Burghard
Prozesskettenorientierte Bereitstellung nicht formstabiler Bauteile
1999 · 183 Seiten · 98 Abb. · 14 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-559-5
- 123 Goldstein, Bernd
Modellgestützte Geschäftsprozeßgestaltung in der Produktentwicklung
1999 · 170 Seiten · 65 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-546-3
- 124 Mößner, Helmut E.
Methode zur simulationsbasierten Regelung zeitvarianter Produktionssysteme
1999 · 164 Seiten · 67 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-585-4
- 125 Gräser, Ralf-Gunter
Ein Verfahren zur Kompensation temperaturinduzierter Verformungen an Industrierobotern
1999 · 167 Seiten · 63 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-603-6
- 126 Trossin, Hans-Jürgen
Nutzung der Ähnlichkeitstheorie zur Modellbildung in der Produktionstechnik
1999 · 162 Seiten · 75 Abb. · 11 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-614-1
- 127 Kugelmann, Doris
Aufgabenorientierte Offline-Programmierung von Industrierobotern
1999 · 168 Seiten · 68 Abb. · 2 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-615-X
- 128 Diesch, Rolf
Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit von Fertigungszellen
1999 · 160 Seiten · 69 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-618-4
- 129 Lulay, Werner E.
Hybrid-hierarchische Simulationsmodelle zur Koordination teilautonomer Produktionsstrukturen
1999 · 182 Seiten · 51 Abb. · 14 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-620-6
- 130 Murr, Otto
Adaptive Planung und Steuerung von integrierten Entwicklungs- und Planungsprozessen
1999 · 178 Seiten · 85 Abb. · 3 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-636-2
- 131 Macht, Michael
Ein Vorgehensmodell für den Einsatz von Rapid Prototyping
1999 · 170 Seiten · 87 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-638-9
- 132 Mehler, Bruno H.
Aufbau virtueller Fabriken aus dezentralen Partnernverbänden
1999 · 152 Seiten · 44 Abb. · 27 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-645-1
- 133 Heitmann, Knut
Sichere Prognosen für die Produktionsoptimierung mittels stochastischer Modelle
1999 · 146 Seiten · 60 Abb. · 13 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-675-3
- 134 Blessing, Stefan
Gestaltung der Materialflußsteuerung in dynamischen Produktionsstrukturen
1999 · 160 Seiten · 67 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-690-7
- 135 Abay, Can
Numerische Optimierung multivariater mehrstufiger Prozesse am Beispiel der Hartbearbeitung von Industriekeramik
2000 · 159 Seiten · 46 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-697-4

- 136 Brandner, Stefan
Integriertes Produktdaten- und Prozeßmanagement in virtuellen Fabriken
 2000 · 172 Seiten · 61 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-715-6
- 137 Hirschberg, Arnd G.
Verbindung der Produkt- und Funktionsorientierung in der Fertigung
 2000 · 165 Seiten · 49 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-729-6
- 138 Reek, Alexandra
Strategien zur Fokuspositionierung beim Laserstrahlschweißen
 2000 · 193 Seiten · 103 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-730-X
- 139 Sabbah, Khalid-Alexander
Methodische Entwicklung störungstoleranter Steuerungen
 2000 · 148 Seiten · 75 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-739-3
- 140 Schliffenbacher, Klaus U.
Konfiguration virtueller Wertschöpfungsketten in dynamischen, heterarchischen Kompetenznetzwerken
 2000 · 187 Seiten · 70 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-754-7
- 141 Sprengel, Andreas
Integrierte Kostenkalkulationsverfahren für die Werkzeugmaschinenentwicklung
 2000 · 144 Seiten · 55 Abb. · 6 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-757-1
- 142 Gallasch, Andreas
Informationstechnische Architektur zur Unterstützung des Wandels in der Produktion
 2000 · 150 Seiten · 69 Abb. · 6 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-781-4
- 143 Cuiper, Ralf
Durchgängige rechnergestützte Planung und Steuerung von automatisierten Montagevorgängen
 2000 · 168 Seiten · 75 Abb. · 3 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-783-0
- 144 Schneider, Christian
Strukturmechanische Berechnungen in der Werkzeugmaschinenkonstruktion
 2000 · 180 Seiten · 66 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-789-X
- 145 Jonas, Christian
Konzept einer durchgängigen, rechnergestützten Planung von Montageanlagen
 2000 · 183 Seiten · 82 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-870-5
- 146 Willnecker, Ulrich
Gestaltung und Planung leistungsorientierter manueller Fließmontagen
 2001 · 175 Seiten · 67 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-891-8
- 147 Lehner, Christof
Beschreibung des Nd:Yag-Laserstrahlschweißprozesses von Magnesiumdruckguss
 2001 · 205 Seiten · 94 Abb. · 24 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0004-X
- 148 Rick, Frank
Simulationsgestützte Gestaltung von Produkt und Prozess am Beispiel Laserstrahlschweißen
 2001 · 145 Seiten · 57 Abb. · 2 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0008-2
- 149 Hohn, Michael
Sensorgeführte Montage hybrider Mikrosysteme
 2001 · 171 Seiten · 74 Abb. · 7 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0012-0
- 150 Böhl, Jörn
Wissensmanagement im Klein- und mittelständischen Unternehmen der Einzel- und Kleinserienfertigung
 2001 · 179 Seiten · 88 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0020-1
- 151 Bürgel, Robert
Prozessanalyse an spanenden Werkzeugmaschinen mit digital geregelten Antrieben
 2001 · 185 Seiten · 60 Abb. · 10 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0021-X
- 152 Stephan Dürrschmidt
Planung und Betrieb wandlungsfähiger Logistiksysteme in der variantenreichen Serienproduktion
 2001 · 914 Seiten · 61 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0023-6
- 153 Bernhard Eich
Methode zur prozesskettenorientierten Planung der Teilebereitstellung
 2001 · 132 Seiten · 48 Abb. · 6 Tabellen · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0028-7

- 154 Wolfgang Rudorfer
Eine Methode zur Qualifizierung von produzierenden Unternehmen für Kompetenznetzwerke
 2001 · 207 Seiten · 89 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0037-6
- 155 Hans Meier
Verteilte kooperative Steuerung maschinennaher Abläufe
 2001 · 162 Seiten · 85 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0044-9
- 156 Gerhard Nowak
Informationstechnische Integration des industriellen Service in das Unternehmen
 2001 · 203 Seiten · 95 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0055-4
- 157 Martin Werner
Simulationsgestützte Reorganisation von Produktions- und Logistikprozessen
 2001 · 191 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0058-9
- 158 Bernhard Lenz
Finite Elemente-Modellierung des Laserstrahlschweißens für den Einsatz in der Fertigungsplanung
 2001 · 150 Seiten · 47 Abb. · 5 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0094-5
- 159 Stefan Grunwald
Methode zur Anwendung der flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung
 2002 · 206 Seiten · 80 Abb. · 25 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0095-3
- 160 Josef Gartner
Qualitätssicherung bei der automatisierten Applikation hochviskoser Dichtungen
 2002 · 165 Seiten · 74 Abb. · 21 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0096-1
- 161 Wolfgang Zeller
Gesamtheitliches Sicherheitskonzept für die Antriebs- und Steuerungstechnik bei Werkzeugmaschinen
 2002 · 192 Seiten · 54 Abb. · 15 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0100-3
- 162 Michael Loferer
Rechnergestützte Gestaltung von Montagesystemen
 2002 · 178 Seiten · 80 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0118-6
- 163 Jörg Fahrer
Ganzeitliche Optimierung des indirekten Metall-Lasersinterprozesses
 2002 · 176 Seiten · 69 Abb. · 13 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0124-0
- 164 Jürgen Höppner
Verfahren zur berührungslosen Handhabung mittels leistungsstarker Schallwandler
 2002 · 132 Seiten · 24 Abb. · 3 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0125-9
- 165 Hubert Götte
Entwicklung eines Assistenzrobotersystems für die Knieendoprothetik
 2002 · 258 Seiten · 123 Abb. · 5 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0126-7
- 166 Martin Weißberger
Optimierung der Bewegungsdynamik von Werkzeugmaschinen im rechnergestützten Entwicklungsprozess
 2002 · 210 Seiten · 86 Abb. · 2 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0138-0
- 167 Dirk Jacob
Verfahren zur Positionierung unterseitenstrukturierter Bauelemente in der Mikrosystemtechnik
 2002 · 200 Seiten · 82 Abb. · 24 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0142-9
- 168 Ulrich Roßgoderer
System zur effizienten Layout- und Prozessplanung von hybriden Montageanlagen
 2002 · 175 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0154-2
- 169 Robert Klingel
Anziehverfahren für hochfeste Schraubenverbindungen auf Basis akustischer Emissionen
 2002 · 164 Seiten · 89 Abb. · 27 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0174-7
- 170 Paul Jens Peter Ross
Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades von Montageprozessen in der frühen Phase der Montageplanung
 2002 · 144 Seiten · 38 Abb. · 38 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0191-7
- 171 Stefan von Praun
Toleranzanalyse nachgiebiger Baugruppen im Produktentstehungsprozess
 2002 · 250 Seiten · 62 Abb. · 7 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0202-6

- 172 Florian von der Hagen
Gestaltung kurzfristiger und unternehmensübergreifender Engineering-Kooperationen
 2002 · 220 Seiten · 104 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0208-5
- 173 Oliver Kramer
Methode zur Optimierung der Wertschöpfungskette mittelständischer Betriebe
 2002 · 212 Seiten · 84 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0211-5
- 174 Winfried Dohmen
Interdisziplinäre Methoden für die integrierte Entwicklung komplexer mechatronischer Systeme
 2002 · 200 Seiten · 67 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0214-X
- 175 Oliver Anton
Ein Beitrag zur Entwicklung telepräseneter Montagesysteme
 2002 · 158 Seiten · 85 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0215-8
- 176 Welf Broser
Methode zur Definition und Bewertung von Anwendungsfeldern für Kompetenznetzwerke
 2002 · 224 Seiten · 122 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0217-4
- 177 Frank Breitinge
Ein ganzheitliches Konzept zum Einsatz des indirekten Metall-Lasersinterns für das Druckgießen
 2003 · 156 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0227-1
- 178 Johann von Pieverling
Ein Vorgehensmodell zur Auswahl von Konturfertigungsverfahren für das Rapid Tooling
 2003 · 163 Seiten · 88 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0230-1
- 179 Thomas Baudisch
Simulationsumgebung zur Auslegung der Bewegungsdynamik des mechatronischen Systems Werkzeugmaschine
 2003 · 190 Seiten · 67 Abb. · 8 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0249-2
- 180 Heinrich Schieferstein
Experimentelle Analyse des menschlichen Kausystems
 2003 · 132 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0251-4
- 181 Joachim Berlak
Methodik zur strukturierten Auswahl von Auftragsabwicklungssystemen
 2003 · 244 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0258-1
- 182 Christian Meierlohr
Konzept zur rechnergestützten Integration von Produktions- und Gebäudeplanung in der Fabrikgestaltung
 2003 · 181 Seiten · 84 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0292-1
- 183 Volker Weber
Dynamisches Kostenmanagement in kompetenzzentrierten Unternehmensnetzwerken
 2004 · 210 Seiten · 64 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0330-8
- 184 Thomas Bongardt
Methode zur Kompensation betriebsabhängiger Einflüsse auf die Absolutgenauigkeit von Industrierobotern
 2004 · 170 Seiten · 40 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0332-4
- 185 Tim Angerer
Effizienzsteigerung in der automatisierten Montage durch aktive Nutzung mechatronischer Produktkomponenten
 2004 · 180 Seiten · 67 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0336-7
- 186 Alexander Krüger
Planung und Kapazitätsabstimmung stückzahlflexibler Montagesysteme
 2004 · 197 Seiten · 83 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0371-5
- 187 Matthias Meindl
Beitrag zur Entwicklung generativer Fertigungsverfahren für das Rapid Manufacturing
 2005 · 222 Seiten · 97 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0465-7
- 188 Thomas Fusch
Betriebsbegleitende Prozessplanung in der Montage mit Hilfe der Virtuellen Produktion am Beispiel der Automobilindustrie
 2005 · 190 Seiten · 99 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0467-3

- 189 Thomas Mosandl
Qualitätssteigerung bei automatisiertem Klebstoffauftrag durch den Einsatz optischer Konturfolgesysteme
 2005 · 182 Seiten · 58 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0471-1
- 190 Christian Patron
Konzept für den Einsatz von Augmented Reality in der Montageplanung
 2005 · 150 Seiten · 61 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0474-6
- 191 Robert Cisek
Planung und Bewertung von Rekonfigurationsprozessen in Produktionssystemen
 2005 · 200 Seiten · 64 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0475-4
- 192 Florian Auer
Methode zur Simulation des Laserstrahlschweißens unter Berücksichtigung der Ergebnisse vorangegangener Umformsimulationen
 2005 · 160 Seiten · 65 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0485-1
- 193 Carsten Selke
Entwicklung von Methoden zur automatischen Simulationsmodellgenerierung
 2005 · 137 Seiten · 53 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0495-9
- 194 Markus Seefried
Simulation des Prozessschrittes der Wärmebehandlung beim Indirekten-Metall-Lasersintern
 2005 · 216 Seiten · 82 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0503-3
- 195 Wolfgang Wagner
Fabrikplanung für die standortübergreifende Kostensenkung bei marktnaher Produktion
 2006 · 208 Seiten · 43 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0586-6
- 196 Christopher Ulrich
Erhöhung des Nutzungsgrades von Laserstrahlquellen durch Mehrfach-Anwendungen
 2006 · 178 Seiten · 74 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0590-4
- 197 Johann Härtl
Prozessgaseinfluss beim Schweißen mit Hochleistungsdiodenlasern
 2006 · 140 Seiten · 55 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0611-0
- 198 Bernd Hartmann
Die Bestimmung des Personalbedarfs für den Materialfluss in Abhängigkeit von Produktionsfläche und -menge
 2006 · 208 Seiten · 105 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0615-3
- 199 Michael Schilp
Auslegung und Gestaltung von Werkzeugen zum berührungslosen Greifen kleiner Bauteile in der Mikromontage
 2006 · 130 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0631-5
- 200 Florian Manfred Grätz
Teilautomatische Generierung von Stromlauf- und Fluidplänen für mechatronische Systeme
 2006 · 192 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0643-9
- 201 Dieter Eireiner
Prozessmodelle zur statischen Auslegung von Anlagen für das Friction Stir Welding
 2006 · 214 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0650-1
- 202 Gerhard Volkwein
Konzept zur effizienten Bereitstellung von Steuerungsfunktionalität für die NC-Simulation
 2007 · 192 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0668-9
- 203 Sven Roeren
Komplexitätsvariable Einflussgrößen für die bauteilbezogene Struktursimulation thermischer Fertigungsprozesse
 2007 · 224 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0680-1
- 204 Henning Rudolf
Wissensbasierte Montageplanung in der Digitalen Fabrik am Beispiel der Automobilindustrie
 2007 · 200 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0697-9
- 205 Stella Clarke-Griebsch
Overcoming the Network Problem in Telepresence Systems with Prediction and Inertia
 2007 · 150 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0701-3
- 206 Michael Ehrenstraßer
Sensoreinsatz in der telepräsenten Mikromontage
 2008 · 160 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0743-3

- 207 Rainer Schack
Methodik zur bewertungsorientierten Skalierung der Digitalen Fabrik
2008 · 248 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0748-8
- 208 Wolfgang Sudhoff
Methodik zur Bewertung standortübergreifender Mobilität in der Produktion
2008 · 276 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0749-5
- 209 Stefan Müller
Methodik für die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen
2008 · 240 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0750-1
- 210 Ulrich Kohler
Methodik zur kontinuierlichen und kostenorientierten Planung produktionstechnischer Systeme
2008 · 232 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0753-2
- 211 Klaus Schlickerieder
Methodik zur Prozessoptimierung beim automatisierten elastischen Kleben großflächiger Bauteile
2008 · 204 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0776-1
- 212 Niklas Möller
Bestimmung der Wirtschaftlichkeit wandlungsfähiger Produktionssysteme
2008 · 260 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0778-5
- 213 Daniel Siedl
Simulation des dynamischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen während Verfahrbewegungen
2008 · 200 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0779-2
- 214 Dirk Ansorge
Auftragsabwicklung in heterogenen Produktionsstrukturen mit spezifischen Planungsfreiräumen
2008 · 146 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0785-3
- 215 Georg Wunsch
Methoden für die virtuelle Inbetriebnahme automatisierter Produktionssysteme
2008 · 224 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0795-2
- 216 Thomas Oertli
Strukturmechanische Berechnung und Regelungssimulation von Werkzeugmaschinen mit elektromechanischen Vorschubantrieben
2008 · 194 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0798-3
- 217 Bernd Petzold
Entwicklung eines Operatorarbeitsplatzes für die telepräsenste Mikromontage
2008 · 234 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0805-8
- 218 Loucas Papadakis
Simulation of the Structural Effects of Welded Frame Assemblies in Manufacturing Process Chains
2008 · 260 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0813-3
- 219 Mathias Mörtl
Ressourcenplanung in der variantenreichen Fertigung
2008 · 210 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0820-1
- 220 Sebastian Weig
Konzept eines integrierten Risikomanagements für die Ablauf- und Strukturgestaltung in Fabrikplanungsprojekten
2008 · 232 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0823-2

