

Lehrstuhl für  
Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik  
der Technischen Universität München

**Methodik zur Bewertung standortübergreifender  
Mobilität in der Produktion**

**Wolfgang Sudhoff**

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. Dr.-Ing. G. Reinhart

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. Zäh
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. P. Nyhuis,  
Universität Hannover

Die Dissertation wurde am 24.04.2007 bei der Technischen Universität München  
eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 06.08.2007 ange-  
nommen.



Wolfgang Sudhoff

**Methodik zur Bewertung  
standortübergreifender Mobilität  
in der Produktion**



Herbert Utz Verlag · München

## **Forschungsberichte IWB**

Band 208

Zugl.: Diss., München, Techn. Univ., 2007

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 978-3-8316-0749-5

Printed in Germany

Herbert Utz Verlag GmbH, München  
089-277791-00 · [www.utz.de](http://www.utz.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 und 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 Produktentwicklung über die Planung von Produktionssystemen hin zu 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 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) der Technischen Universität München.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh und Herrn Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart, den Leitern dieses Instituts, gilt mein besonderer Dank für die wohlwollende Förderung und großzügige Unterstützung meiner Arbeit.

Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Nyhuis, dem Leiter des Instituts für Fabrikanlagen (IFA) an der Universität Hannover, möchte ich mich für die Übernahme des Korreferates und die aufmerksame Durchsicht der Arbeit sehr herzlich bedanken. Herrn Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart danke ich für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Mein Dank gilt darüber hinaus allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts sowie allen Studenten, die mich bei der Erstellung meiner Arbeit unterstützt haben. Besonders hervorheben möchte ich dabei Herrn Dipl.-Wi.-Ing. Niklas Möller für die vielen konstruktiven Diskussionen und fachlichen Anregungen. Gleichzeitig möchte ich ihm, Herrn Dipl.-Ing. Christoph Rimpau sowie Herrn Dr.-Ing. Sven Roeren für die kritische Durchsicht meiner Arbeit danken. Ebenso möchte ich Herrn Dipl.-Ing. Patrick Neise meinen Dank aussprechen, der mich während meiner Zeit am Institut stets unterstützt und motiviert hat.

Dank schulde ich auch Herrn Dr.-Ing. Bernd Müssig von der Siemens AG für die fachliche Unterstützung bei der vorliegenden Thematik. Seine vielfältigen Erfahrungen und Anregungen haben maßgeblich dazu beigetragen, dass ich den Bezug zur industriellen Praxis herstellen konnte.

Besonderer Dank gilt meinen Eltern, die mich in meinem Handeln stets unterstützt haben, mir meine Ausbildung ermöglicht haben und somit den Weg für die Promotion ebneten. Auch der Familie meiner Frau möchte ich für ihr Interesse und ihre Unterstützung meinen Dank aussprechen.

Nicht zuletzt und in besonderem Maße danke ich meiner Frau Nina. Nur durch ihre Nachsicht, ihren Rückhalt sowie durch ihre liebevolle und uneingeschränkte Unterstützung war es mir möglich, die Promotion abzuschließen. Ohne sie wäre diese Arbeit nicht entstanden.

München, im Dezember 2007

*Wolfgang Sudhoff*





Für Nina



## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>XIII</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>XIX</b>
<b>Verzeichnis der Formelzeichen.....</b>	<b>XXI</b>
Große lateinische Buchstaben.....	XXI
Kleine lateinische Buchstaben.....	XXIV
Große griechische Buchstaben.....	XXVIII
Kleine griechische Buchstaben.....	XXVIII
<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>XXXI</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangssituation und Motivation.....	1
1.2 Aufgabenstellung und Zielsetzung.....	4
1.3 Einordnung der Arbeit.....	6
1.3.1 Allgemeines.....	6
1.3.2 Einordnung in die Planungsdisziplinen des Unternehmens.....	7
1.3.3 Positionierung innerhalb eines ganzheitlichen Planungs- prozesses.....	8
1.4 Vorgehensweise.....	10
<b>2 Grundlagen der Nutzung von Mobilität in der Produktion.....</b>	<b>13</b>
2.1 Allgemeines.....	13
2.1.1 Zielsetzung und Aufbau des Kapitels.....	13
2.1.2 Begriffsdefinitionen.....	13

2.1.3	Definition von Mobilität .....	14
2.2	Mobilität im Kontext von Wandlungsfähigkeit .....	16
2.2.1	Produktion im turbulenten Umfeld .....	16
2.2.2	Flexibilität, Wandlungsfähigkeit und Mobilität .....	17
2.2.3	Mobilität als Wandlungsbefähiger im Fabrikssystem .....	19
2.2.3.1	Wandlungsobjekte und Wandlungsbefähiger .....	19
2.2.3.2	Beschreibung und Analyse der Wandlungsbefähiger – Schlussfolgerungen für die Mobilität .....	20
2.3	Mobilität im Kontext der Standortstrukturplanung .....	23
2.3.1	Mobilitätsaspekte in der Standortstrukturplanung .....	23
2.3.1.1	Standortstrukturplanung als Teil der Standortplanung	23
2.3.1.2	Erweiterungsbedarf der Standortstrukturplanung .....	23
2.3.2	Ausprägungen der Nutzung von Mobilität in der Produktion ..	25
2.3.2.1	Allgemeines .....	25
2.3.2.2	Formen der Standortmobilität .....	25
2.3.2.3	Bestandteile der Verlagerung .....	26
2.3.2.4	Häufigkeit der Verlagerung im Produktionslebens- zyklus .....	28
2.3.3	Beschreibung von Standortstrukturen .....	29
2.4	Motivation für die Bereitstellung von Mobilität .....	32
2.4.1	Zieldimensionen von Auslandsengagements .....	32
2.4.2	Produktlebenszyklustheorie .....	32
2.4.3	Erklärungsansätze zur Bereitstellung von Mobilität .....	33

<b>3</b>	<b>Grundlagen der Investitionsrechnung .....</b>	<b>35</b>
3.1	Allgemeines .....	35
3.1.1	Zielsetzung und Aufbau des Kapitels.....	35
3.1.2	Begriffsdefinitionen.....	35
3.1.3	Bedeutung der Investitionsentscheidung und resultierende Anforderungen an die Investitionsrechnung .....	37
3.2	Traditionelle Verfahren der Investitionsrechnung .....	38
3.2.1	Statische Verfahren der Investitionsrechnung.....	38
3.2.2	Dynamische Verfahren der Investitionsrechnung .....	38
3.2.2.1	Grundprinzip und Verfahrensüberblick .....	38
3.2.2.2	Kapitalwertmethode .....	40
3.2.2.3	Ergänzende Verfahren zur Kapitalwertmethode.....	42
3.2.2.4	Fazit zur Anwendung des Kapitalwertverfahrens.....	44
3.2.2.5	Entscheidungsbaumverfahren .....	44
3.2.3	Defizite und Grenzen der traditionellen Bewertungs- verfahren.....	46
3.3	Realloptionsansatz.....	48
3.3.1	Struktur des Abschnittes.....	48
3.3.2	Grundlagen .....	48
3.3.2.1	Entwicklung und Zielsetzung des Realloptions- ansatzes .....	48
3.3.2.2	Definitionen von Finanzoptionen.....	49
3.3.2.3	Interpretation und Definition von Realloptionen .....	49
3.3.2.4	Klassifikation von Realloptionen.....	51

3.3.3	Grundzüge der Bewertung von Finanzoptionen .....	52
3.3.3.1	Asymmetrisches Auszahlungsprofil von Finanzoptionen.....	52
3.3.3.2	Äquivalenzprinzip als Grundidee der Bewertung von Finanzoptionen.....	53
3.3.3.3	Beispielhafte Wertermittlung einer Option .....	54
3.3.3.4	Einperiodiges Bewertungsmodell für Optionen .....	56
3.3.4	Verfahren zur Optionspreisbewertung .....	58
3.3.4.1	Überblick und Verfahrensanalyse.....	58
3.3.4.2	Binomialmodell von Cox ET AL.....	61
3.3.5	Kritische Analyse der Analogie von Real- zu Finanzoptionen.	63
3.3.5.1	Grenzen der Übertragbarkeit des Bewertungskonzeptes.....	63
3.3.5.2	Marktwertverzicht-Annahme (Market-Asset-Disclaimer).....	64
3.3.5.3	Fazit der kritischen Analyse .....	64
<b>4</b>	<b>Handlungsbedarf und Stand der Forschung.....</b>	<b>67</b>
4.1	Zielsetzung und Aufbau des Kapitels .....	67
4.2	Synthese der Grundlagen .....	67
4.2.1	Zusammenhang zwischen Mobilität und Realloptionen.....	67
4.2.2	Problemorientierte Auswahl von Investitionsrechenverfahren.	68
4.3	Anforderungen an die Methodik.....	70
4.3.1	Gliederung der Anforderungskriterien.....	70
4.3.2	Grundsätzliche Anforderungen .....	71

4.3.3	Allgemeine Anforderungen.....	71
4.3.4	Spezifische Anforderungen.....	72
4.3.5	Schlussfolgerung.....	73
4.4	Stand der Forschung.....	73
4.4.1	Anforderungskriterien und Gliederung existierender Ansätze .	73
4.4.2	Bewertung von Produktionstechnik.....	74
4.4.2.1	Produktionstechnologien.....	74
4.4.2.2	Flexible und wandlungsfähige Produktionssysteme....	74
4.4.3	Bewertung der Konfiguration globaler Produktionsnetzwerke.	77
4.4.4	Mobilität in der Produktion.....	79
4.4.5	Anwendung des Realloptionsansatzes.....	81
4.4.5.1	Realloptionen in der Produktion.....	81
4.4.5.2	Realloptionen im internationalen Kontext.....	82
4.4.6	Herleitung des Handlungsbedarfs aus dem Stand der Forschung.....	83
4.5	Aufbau der zu konzipierenden Methodik.....	85
4.5.1	Struktur der Methodik.....	85
4.5.2	Eingrenzung der Betrachtung.....	88
<b>5</b>	<b>Methodik zur Bewertung von Mobilität in der Produktion.....</b>	<b>89</b>
5.1	Initiierung der Bewertungsmethodik (Phase I).....	89
5.1.1	Struktur und Zielsetzung der Phase.....	89
5.1.2	Checkliste zur Initiierung der Bewertungsmethodik.....	89
5.1.3	Formulierung des Entscheidungsproblems.....	91

5.1.4	Fazit der Phase I und Ausblick .....	92
5.2	Aufbau des deterministischen Grundmodells (Phase II) .....	92
5.2.1	Struktur und Zielsetzung der Phase .....	92
5.2.2	Aufbau und Zusammenhänge des Grundmodells .....	93
5.2.3	Selbstkostenrechnung als Kalkulationsbasis.....	94
5.2.4	Module des deterministischen Grundmodells.....	95
5.2.4.1	Festlegung der globalen Parameter.....	95
5.2.4.2	Produktspezifikation .....	96
5.2.4.3	Festlegung der lokalen Standortparameter .....	98
5.2.4.4	Festlegung der technologischen Parameter .....	102
5.2.4.5	Festlegung der Gemeinkosten.....	102
5.2.4.6	Erlösberechnung .....	104
5.2.4.7	Kostenberechnung einer Standort-Technologie- Kombination .....	104
5.2.4.8	Investitionsbewertung.....	107
5.2.5	Fazit der Phase II und Ausblick .....	108
5.3	Analyse und Beschreibung des Unternehmens (Phase III) .....	108
5.3.1	Struktur und Zielsetzung der Phase .....	108
5.3.2	Relevanz der Transaktionskostenarten hinsichtlich der Form der Standortmobilität .....	109
5.3.3	Kosten der Strukturveränderung bei Ausübung der Mobilität .....	111
5.3.4	Wirkung der Mobilitätsbefähiger auf die resultierenden Kosten bei einer Verlagerung .....	113



5.3.5	Fazit der Phase III und Ausblick .....	114
5.4	Analyse und Beschreibung der Umwelt (Phase IV) .....	115
5.4.1	Struktur und Zielsetzung der Phase.....	115
5.4.2	Identifikation mobilitätsrelevanter Unsicherheitsfaktoren.....	115
5.4.3	Konzept der stochastischen Bewertung.....	117
5.4.3.1	Allgemeines.....	117
5.4.3.2	Problematik der Integration mehrerer Unsicherheiten in einen Binomialbaum .....	117
5.4.3.3	Konzept zur Integration mehrerer Unsicherheiten.....	119
5.4.4	Einschränkung und Priorisierung von Unsicherheiten.....	122
5.4.5	Modellierung der mobilitätsrelevanten Unsicherheitsfaktoren.....	123
5.4.5.1	Modellierung der primären Unsicherheit.....	123
5.4.5.2	Modellierung der sekundären Unsicherheiten .....	125
5.4.6	Fazit der Phase IV und Ausblick.....	128
5.5	Analyse und Beschreibung der Verlagerung (Phase V) .....	128
5.5.1	Struktur und Zielsetzung der Phase.....	128
5.5.2	Strukturierung des Verlagerungsprozesses .....	129
5.5.3	Definition der Einflussgrößen und Unsicherheiten .....	130
5.5.3.1	Allgemeines.....	130
5.5.3.2	Definition der Phasenlängen .....	130
5.5.3.3	Intensität der Unterstützung am Zielstandort und sonstige Einflussgrößen .....	132
5.5.4	Wirkbeziehungen zum Mobilitätsszenario.....	133

5.5.5	Fazit der Phase V und Ausblick.....	134
5.6	Bewertung von Mobilität mit dem Realloptionsansatz (Phase VI) ....	134
5.6.1	Struktur und Zielsetzung der Phase .....	134
5.6.2	Definition der durch Mobilität geschaffenen Realloption .....	135
5.6.2.1	Beschreibung des Handlungsspielraumes.....	135
5.6.2.2	Anwendungsorientierte Konkretisierung.....	135
5.6.3	Grundprinzip und Aufbau des Optionsmodells .....	136
5.6.3.1	Allgemeines .....	136
5.6.3.2	Standortspezifische Cashflows als Basis der Bewertung.....	137
5.6.3.3	Duplikation aufgrund unterschiedlicher Risiko- strukturen .....	138
5.6.3.4	Erläuterungen zur Notwendigkeit der Duplikation....	141
5.6.3.5	Grundsätzliche Bewertung der Mobilitätsoption.....	143
5.6.3.6	Fazit zum prinzipiellen Aufbau des Modells und Ausblick .....	146
5.6.4	Verknüpfung des Optionsmodells mit der spezifischen Bewertungsaufgabe .....	147
5.6.5	Integration des Verlagerungsprozesses als stochastischer, mehrperiodiger Ausübungspreis .....	150
5.6.5.1	Allgemeines .....	150
5.6.5.2	Formale Definition und schematische Darstellung....	151
5.6.5.3	Beschreibung der zu berücksichtigenden Kosten.....	154
5.6.5.4	Fazit.....	156
5.6.6	Ergebnisdarstellung.....	156

5.6.7	Fazit der Phase VI .....	158
5.6.8	Generalisierung der Modellvereinfachungen .....	159
<b>6</b>	<b>Anwendung der Methodik.....</b>	<b>161</b>
6.1	Allgemeines .....	161
6.1.1	Zielsetzung des Kapitels.....	161
6.1.2	Ausgangssituation und technische Umsetzung der Bewertung .....	161
6.2	Bewertung eines industriellen Fallbeispiels.....	161
6.2.1	Konkretisierung der Bewertungsaufgabe.....	161
6.2.2	Festlegung der wesentlichen Eingangsgrößen .....	162
6.2.3	Analyse der strukturellen Veränderung im Produktions- netzwerk .....	165
6.2.4	Modellierung der Unsicherheiten.....	166
6.2.5	Beschreibung des Verlagerungsprozesses.....	168
6.2.6	Berechnung der Projektwerte .....	169
6.3	Ergebnisse des Anwendungsbeispiels.....	171
6.3.1	Vorgehensweise und Validierung der Ergebnisse.....	171
6.3.2	Investitionsvergleich .....	172
6.4	Bewertung des Vorgehens .....	174
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>177</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>181</b>
<b>9</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>213</b>
9.1	Ergänzungen zu den Grundlagen der Investitionsrechnung .....	213
9.1.1	Prämissen des vollkommenen Kapitalmarktes.....	213

9.1.2	Grundprinzip der dynamischen Programmierung.....	214
9.1.3	Beispielhafte Erläuterung des Entscheidungsbaum- verfahrens.....	215
9.1.3.1	Ausgangssituation.....	215
9.1.3.2	Integration von Handlungsspielräumen.....	216
9.2	Ergänzungen zu den Grundlagen der Optionsbewertung.....	218
9.2.1	Standardannahmen der Optionsbewertung.....	218
9.2.2	Binomialmodell von COX ET AL. (1979).....	221
9.2.2.1	Einperiodige Betrachtung.....	221
9.2.2.2	Zweiperiodige Betrachtung.....	222
9.2.2.3	Mehrperiodige Betrachtung.....	222
9.2.3	Optionsbewertungsmodell von BLACK & SCHOLES (1973) ...	225
9.2.3.1	Optionsbewertung in stetiger Zeit: Das Modell von BLACK & SCHOLES.....	225
9.2.3.2	Modellannahmen (Restriktionen).....	226
9.2.3.3	Diskrete und kontinuierliche Betrachtung.....	226
9.2.3.4	Stochastische Prozesse zur Beschreibung von Aktienkursentwicklungen.....	227
9.2.3.5	Log-normalverteilte Aktienpreise.....	229
9.2.3.6	Modell für das Verhalten von Aktienpreisen.....	231
9.2.3.7	Interpretation der Bewertungsformel.....	232
9.3	Ergänzende Anmerkungen zur Methode.....	234
9.3.1	Das Konzept der stochastischen Dominanz.....	234
9.3.2	Übersicht zu standortspezifischen Kapitalkostensätzen.....	234

9.3.3 Formalisierte Darstellung der Verlagerungskosten.....	235
9.3.3.1 Allgemeines.....	235
9.3.3.2 Planungs- und Vorbereitungsphase ( <i>PP</i> ).....	235
9.3.3.3 Produktionsunterbrechung ( <i>PU</i> ).....	238
9.3.3.4 Produktionsanlauf ( <i>PA</i> ).....	239
9.3.3.5 Produktionskontrolle ( <i>PK</i> ).....	240
<b>Verzeichnis der genannten Unternehmen.....</b>	<b>241</b>



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Veränderung des Charakters und der Intensität des Einflussfaktors Globalisierung auf produzierende Unternehmen.....	2
Abbildung 2:	Zielsetzung der Arbeit.....	5
Abbildung 3:	Einordnung der Aufgabenstellung in die Planungsdisziplinen....	8
Abbildung 4:	Einordnung der Arbeitsschwerpunkte in den Planungsablauf der systematischen Fabrikplanung.....	9
Abbildung 5:	Struktureller Aufbau und Vorgehensweise der Arbeit .....	11
Abbildung 6:	Der Begriff „Mobilität“ bezogen auf die Fabrik (i. A. an HAUZINGER 1996 und WIRTH ET AL. 2001) .....	15
Abbildung 7:	Bausteine der Wandlungsfähigkeit aus fabrikplanerischer Sicht (i. A. an WIENDAHL & HERNÁNDEZ 2000, S. 39).....	18
Abbildung 8:	Wandlungsbefähiger einer Fabrik (i. A. an HERNÁNDEZ 2003, S. 57 u. 66, WIENDAHL ET AL. 2005, S. 26) .....	20
Abbildung 9:	Interdependenzen zwischen den Wandlungsbefähigern .....	22
Abbildung 10:	Formen der Standortmobilität (i. A. an HAGEDORN 1994, S. 18) .....	26
Abbildung 11:	Mögliche Bestandteile bei der Nutzung von Mobilität.....	27
Abbildung 12:	Klassifizierung von Produktionssystemen nach Mobilitätsgraden (i. A. an LANGE-STALINSKI 2003, S. 76 F.).....	29
Abbildung 13:	Grundformen der räumlichen Struktur von Produktionsunternehmen (i. A. an HAGEDORN 1994, S. 16) .....	30
Abbildung 14:	Terminologie der Standortstruktur bei geographischer Ausdehnung (KLEIN 1993, S. 39) .....	31
Abbildung 15:	Erklärungsansätze zur Bereitstellung und Nutzung von Mobilität.....	34
Abbildung 16:	Investitionsplanungsprozess (i. A. an WÖHE 1996, S. 722) .....	36

## Abbildungsverzeichnis

---

Abbildung 17: Überblick über die dynamischen Verfahren der traditionellen Investitionsrechnung (i. A. an BLOHM & LÜDER 1995).....	39
Abbildung 18: Value-at-Risk (VaR) einer Investition.....	43
Abbildung 19: Veränderung des Risikoprofils von Investitionen durch Handlungsspielräume (i. A. an MEISE 1998, S. 18) .....	47
Abbildung 20: Einführung der Optionsterminologie unter Berücksichtigung der Analogie zwischen Finanz- und Realloptionen (i. A. an TRIGEORGIS 1996, S. 125).....	50
Abbildung 21: Klassifikation und Beschreibung verschiedener Typen von Realloptionen (i. A. an HOMMEL & PRITSCH 1999a, S. 14).....	51
Abbildung 22: Auszahlungsstruktur aus einem europäischen <i>Call</i> und <i>Put</i> am Ende der Laufzeit $T$ (i. A. an PERRIDON & STEINER 1999, S. 316).....	52
Abbildung 23: Prinzipdarstellung der Äquivalenz zwischen einem Portfolio aus Aktien und Kreditaufnahme sowie einer Position in Optionen .....	56
Abbildung 24: Überblick der Bewertungsmodelle für Optionen inklusive der Kriterienerfüllung (i. A. an HOMMEL & PRITSCH 1999a)...	59
Abbildung 25: Beispielhaftes Binomialgitter eines rekombinierenden Prozesses.....	62
Abbildung 26: Systematik der Verfahrenswahl von Investitionsrechenverfahren (i. A. an HOMMEL & PRITSCH 1999a, S. 127 F.) .....	69
Abbildung 27: Anforderungen an eine Methodik zur Bewertung von Mobilität .....	70
Abbildung 28: Kriterien der Analyse bestehender Ansätze im Themenumfeld und Gliederung der folgenden Abschnitte nach Bereichen.....	73
Abbildung 29: Überblick zur Anforderungserfüllung bestehender Ansätze .....	84
Abbildung 30: Struktureller Aufbau der Bewertungsmethodik.....	86
Abbildung 31: Das Konzept der stochastischen Dominanz erster Ordnung, illustriert anhand eines beispielhaften Kapitalwertvergleichs...	91



Abbildung 32: Konzeptioneller Aufbau des Grundmodells zur Bewertung der internationalen Allokation von Produktionsaufgaben .....	93
Abbildung 33: Produktspezifikation ausgehend von der Fertigungsstruktur mit Visualisierung der zu bildenden Klassen .....	97
Abbildung 34: Auflistung und Relevanz der Transaktionskosten für die im Rahmen dieser Arbeit betrachteten Formen der Standortmobilität .....	110
Abbildung 35: Mögliche Strukturveränderungen bei einer Aufteilung als Form der Standortmobilität sowie Ableitung daraus eventuell resultierender Kosteneffekte .....	112
Abbildung 36: Herleitung spezifischer Aufwendungen durch die Analyse der Voraussetzungen im dimensional-hierarchischen Spektrum...	114
Abbildung 37: Klassifizierung mobilitätsrelevanter Unsicherheitsfaktoren und Visualisierung möglicher Schwankungen (Daten: PACIFIC EXCHANGE RATE SERVICE 2006, STATISTISCHES TASCHENBUCH 2006) .....	116
Abbildung 38: Bestehende Ansätze und Problematik der Integration mehrerer Unsicherheiten in das binomiale Optionsmodell unter den Gesichtspunkten der Komplexität und Transparenz .....	119
Abbildung 39: Konzept zur Integration mehrerer Unsicherheiten unter Verwendung des <i>lattice</i> -Ansatzes. Die sekundäre Unsicherheit (Marktanteil am Standort $s_1$ ) wird als stochastischer Prozess modelliert, die Zufallspfade werden mit Hilfe einer Monte-Carlo-Simulation $n$ -mal erzeugt und führen zum Risikoprofil des Ergebnisses. ....	121
Abbildung 40: Qualitative Auswahl und Rangbildung von exogenen Unsicherheitsfaktoren anhand von Unsicherheitsprioritätszahlen, basierend auf der Anwendung einer an eine <i>FMEA</i> angelehnten Methodik mit einer Bewertungsskala von 1 bis 10.....	123
Abbildung 41: Beispielhafte Ermittlung eines rekombinierenden Wertebaumes für die primäre Unsicherheit Stückzahlentwicklung ..	125

Abbildung 42: Beispielhafte Modellierung eines Itô-Prozesses am Beispiel der Stückzahlentwicklung aus Abschnitt 5.4.5.1. Die Wertetabelle zeigt eine exemplarische Ziehung der Monte-Carlo-Simulation.....	126
Abbildung 43: Struktur des Verlagerungsprozesses bei einer Mobilitätsausübung im Lebenszyklus vom Entscheidungszeitpunkt bis zum Ende einer intensiven Kontrollphase.....	129
Abbildung 44: Festlegung der Längen der Verlagerungsphasen und beispielhafte Wertermittlung mit Hilfe einer Monte-Carlo-Simulation.....	131
Abbildung 45: Wirkzusammenhang zwischen dem spezifizierten Mobilitätsszenario und den Kosten der Verlagerung .....	133
Abbildung 46: Resultierende standortspezifische Cashflows mit beispielhafter Darstellung des unterschiedlichen Risikoprofils der in Periode $t = 3$ erzeugten Rückflüsse.....	137
Abbildung 47: Berechnung der Projektwerte des Basisobjektes (Standort $s$ )	139
Abbildung 48: Beispielhafte Berechnung der Projektwerte durch Duplikation der Zahlungsströme des Standortes $s'$ einschließlich der Erläuterung des Rechenvorgangs für den Knoten $B$ .....	140
Abbildung 49: Bedeutung einer risikoorientierten Diskontierung beim Vergleich alternativer Investitionsprojekte, visualisiert durch das Aufzeigen von Arbitragemöglichkeiten bei der Wahl geeigneter Linearkombinationen eines Investitionsportfolios unter Verwendung eines einheitlichen Zinssatzes.....	142
Abbildung 50: Beispielhafte Generierung des Binomialbaums, welcher die Produktionsmodi $\Omega_{as}$ und $\Omega_{as'}$ zu $\Omega_a^{mobil}$ vereint. Die Knoten der Periode $t^* = T = 3$ sind weiß unterlegt, da sie aus Bedingung (30) resultieren, die grau unterlegten Felder entsprechen der Bedingung (31) und werden, wie erläutert, dupliziert .....	146
Abbildung 51: Zusammenführung der Konfiguration in das Optionsmodell unter der Annahme, dass das immobile Produktionssystem $a0$ nur am Standort $s0$ produzieren kann.....	149

Abbildung 52: Visualisierung des zustandsabhängigen Ausübungspreises anhand einer exemplarischen Ziehung der Monte-Carlo-Simulation .....	153
Abbildung 53: Darstellung eines beispielhaften Investitionsvergleichs einschließlich des Optionswertes und dessen Verteilung .....	157
Abbildung 54: Beschreibung des zu fertigenden Endproduktes im Fallbeispiel .....	163
Abbildung 55: Transaktionskostenarten des Anwendungsbeispiels .....	165
Abbildung 56: Verkürzte Baumstruktur der Stückzahlentwicklung des Anwendungsbeispiels .....	167
Abbildung 57: Visualisierung des Itô-Prozesses der Lohnkostenentwicklung in der Slowakei .....	168
Abbildung 58: Exemplarische Projektwerte im Zeitraum einer möglichen Verlagerung für den Produktionsmodus $\Omega_{d1}^{\text{mobil}}$ .....	171
Abbildung 59: Durch einen Simulationslauf (10.000 Ziehungen) generierte Projektwerte der Investitionsalternativen des Anwendungsbeispiels .....	173
Abbildung 60: Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Bewertungsmethodik anhand des Erfüllungsgrades bez. der Anforderungen (1 = niedrig; 5 = hoch) .....	176
Abbildung 61: Relevante Schritte zur Bewältigung der Problemstellung .....	178
Abbildung 62: Zustands- und Barwertbäume einer beispielhaften Grund- und Erweiterungsinvestition (i. A. an FISCHER ET AL. 1999)..	215
Abbildung 63: Entscheidungsbaum mit den Cashflows der Grund- und Erweiterungsinvestition (i. A. an FISCHER ET AL. 1999) .....	217
Abbildung 64: Barwertbaum der Gesamtinvestition (i. A. an FISCHER ET AL. 1999) .....	218
Abbildung 65: Länderspezifische Kapitalkostensätze (MEYER 2006b, S. 58)	234



## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1:	Beispielhafte Charakteristika von produktionsbezogener Flexibilität, welche nicht mit dem Konzept der Mobilität vereinbar sind.....	17
Tabelle 2:	Detaillierung der Nutzung von Mobilität in der Produktion .....	25
Tabelle 3:	Beispielparameter zur Erläuterung der Äquivalenz von Optionen, Aktien und Fremdkapital (i. A. an LIEBLER 1996, S. 126 F.).....	54
Tabelle 4:	Vergleich der Auszahlungsmuster einer Option mit einem zugehörigen Duplikationsportfolio (i. A. an LIEBLER 1996, S. 126 F.).....	55
Tabelle 5:	Formulierung der wesentlichen Fragestellungen der Phase I....	89
Tabelle 6:	Von der Ausgangssituation zu erfüllende Anforderungskriterien für eine sinnvolle Anwendung der konzipierten Methodik .....	90
Tabelle 7:	Formulierung der wesentlichen Fragestellungen der Phase II... ..	92
Tabelle 8:	Betrachtungsraum zur Bestimmung des Produktionsmodus .....	94
Tabelle 9:	Globale Parameter des Bewertungsmodells .....	95
Tabelle 10:	Parameter der Produktspezifikation.....	97
Tabelle 11:	Standortspezifische Parameter des Bewertungsmodells zur Bestimmung der resultierenden Arbeitskosten am Standort .....	99
Tabelle 12:	Parameter zur Bestimmung der standortabhängigen Beschaffungskosten .....	100
Tabelle 13:	Sonstige lokale Modellparameter (inkl. des Faktors Kapital) .	101
Tabelle 14:	Parameter zur Beschreibung der Produktionssysteme.....	102
Tabelle 15:	Formulierung der wesentlichen Fragestellungen der Phase III .....	109

## Tabellenverzeichnis

---

Tabelle 16:	Formulierung der wesentlichen Fragestellungen der Phase IV .....	115
Tabelle 17:	Formulierung der wesentlichen Fragestellungen der Phase V .....	129
Tabelle 18:	Parameter zur Beschreibung des Verlagerungsprozesses.....	131
Tabelle 19:	Sonstige Einflussgrößen auf den Verlagerungsprozess.....	132
Tabelle 20:	Formulierung der wesentlichen Fragestellungen der Phase VI.....	134
Tabelle 21:	Weitere zur Kalkulation der Projektwerte notwendige Parameter des Berechnungsbeispiels.....	139
Tabelle 22:	Differenzkosten zur Produktion an $s'$ während der Planungs- und Vorbereitungsphase .....	154
Tabelle 23:	Differenzkosten während der Produktionsunterbrechung .....	155
Tabelle 24:	Differenzkosten während des Produktionsanlaufs .....	155
Tabelle 25:	Differenzkosten während der Kontrollphase.....	156
Tabelle 26:	Standortspezifische Eingangsgrößen des Anwendungsbeispiels .....	163
Tabelle 27:	Investitionssummen und technologische Parameter des Anwendungsbeispiels .....	164
Tabelle 28:	Gemeinkostenstrukturen des Anwendungsbeispiels .....	165
Tabelle 29:	Parameter zur Bestimmung der Verlagerungskosten des Anwendungsbeispiels .....	169
Tabelle 30:	Gegenüberstellung der Ergebnisse des Anwendungsbeispiels aus drei Simulationsläufen mit jeweils 10.000 Ziehungen.....	172
Tabelle 31:	Sensitivität der Ergebnisse des Anwendungsbeispiels bei Variation der Annahmen der Berechnung des Fallbeispiels ...	174

## Verzeichnis der Formelzeichen

### Große lateinische Buchstaben

Symbol	Einheit	Bedeutung
$A$	-	Menge der alternativen Produktionssysteme $A = \{a0, a1\}$
$A_i$	-	Auftretenswahrscheinlichkeit des Unsicherheitsfaktors $i$ in einer Nominalskala
$B$	$GE$	Wert der risikolosen Anleihe
$B_i$	-	Bedeutung des Faktors $i$ für die Unsicherheitsbetrachtung
$B_0$	$GE$	Wert der Kreditaufnahme zum Zeitpunkt $t = 0$
$B[\lambda; T, \rho]$	-	Komplementäre Verteilungsfunktion der Binomialverteilung mit den Parametern $[\lambda; T, \rho]$
$BK_t(\Omega_{as1})$	$GE$	An Standort $s0$ anfallende Betreuungskosten für eine Produktion an $s1$ mit dem Produktionssystem $a$ in Periode $t$
$C_t^{u,d}$	$GE$	Optionswert in $t$ nach relativer Aufwärts- bzw. Abwärtsbewegung ( $u$ bzw. $d$ )
$C_0$	$GE$	Optionswert zum Zeitpunkt $t = 0$
$C(\Gamma(y))$		Summe aller durch die Verlagerung entstehenden Differenzkosten bis zur Erreichung des (stabilen) Referenzzustandes $\Omega_{as}$
$CF_t(\Omega_{as})$	$GE$	Cashflow von Produktionssystem $a$ bei Betrieb an Standort $s$ in Periode $t$
$CF_{z(t^*)}(\Omega_{as})$	$GE$	Cashflow von $a$ bei Betrieb an $s$ im Zustand $z$ von Periode $t^*$
$E$	$GE$	Ausübungspreis der Option bzw. Verlagerungskosten
$E_t$	$GE$	Erlös in Periode $t$
$EP_{tm}$	$GE$	Anzahl benötigter Endprodukte in Periode $t$ für Markt $m$ in der Phase der Produktionsunterbrechung

## Verzeichnis der Formelzeichen

$E_{z^*(t)}(y)$	GE	Verlagerungskosten (Ausübungspreis), bezogen auf einen spezifischen Knoten $z^*$ (in Periode $t$ ) in Abhängigkeit von der Ziehung $y$
$E[\cdot]$	-	Erwartungswert von $[\cdot]$
$F(\cdot), G(\cdot)$	-	Verteilungsfunktion einer reellen Zufallsvariablen
$F_t(z_t)$	-	Funktionswert eines mehrperiodigen Optimierungsmodells im Zustand $z$ von $t$
$FEK_t(\Omega_{as})$	GE	Fertigungseinzelkosten in $t$ bei Produktion an $s$ mit Produktionssystem $a$
$FGK_t(s)$	GE	Fertigungsgemeinkosten in $t$ bei Produktion an $s$
$FK_t(\Omega_{as})$	GE	Fertigungskosten in $t$ bei Produktion an $s$ mit Produktionssystem $a$
$GK_{s1}^{gkb}$	GE	Proportional zur Stückzahl anfallende Gemeinkosten des Gemeinkostenbereichs $gkb$ bei Produktion an $s1$
$GKB$	-	Menge der Gemeinkostenbereiche (Fertigung, Material, Vertrieb, Verwaltung)
$GK_{s0}^{gks(gkb)}$	GE	Am Standort $s0$ anfallende Gemeinkosten einer Gemeinkostenstelle $gks$ eines Gemeinkostenbereiches $gkb \in GKB$
$HK_t(\Omega_{as})$	GE	Herstellungskosten in $t$ bei Produktion an $s$ mit Produktionssystem $a$
$I_0$	GE	Investitionsauszahlung in Periode $t = 0$
$I_{0as}$	GE	Investitionskosten in Periode $t = 0$ für das Produktionssystem $a$ bei Produktion an $s$
$\tilde{I}_0(a1)$	GE	Notwendige Zusatzinvestitionen im Produktionsnetzwerk zur Ermöglichung einer Verlagerung während des Lebenszyklus bei Investition in $a1$
$K0$	-	Menge der durch das Produktionssystem hergestellten Komponenten einschließlich des Endproduktes $EP$ , $K0 = \{k_{01}, \dots, k_{0l}\}$
$K1$	-	Menge der Komponenten, die eine Ortsabhängigkeit des Bezugs aufweisen, $K1 = \{k_{11}, \dots, k_{1m}\}$
$K2$	-	Menge der Komponenten, die keine Ortsabhängigkeit des Bezugs aufweisen, $K2 = \{k_{21}, \dots, k_{2n}\}$
$KW$	GE	Kapitalwert bezogen auf die Periode $t = 0$



$KW_{1-\alpha}$	<i>GE</i>	Wert der Investition, der mit einer Wahrscheinlichkeit von $1-\alpha$ nicht unterschritten wird
$KW(\Omega_{as})$	<i>GE</i>	Kapitalwert von Produktionssystem $a$ bei Betrieb an $s$
$M$	-	Menge der abgebildeten Märkte $M = \{m0, m1\}$
$MEK_t(s)$	<i>GE</i>	Materialeinzelkosten in $t$ bei Produktion an $s$
$MGK_t(s)$	<i>GE</i>	Materialgemeinkosten in $t$ bei Produktion an $s$
$MK_t(s)$	<i>GE</i>	Materialkosten in $t$ bei Produktion an $s$
$N(\cdot)$	<i>GE</i>	Kumulierte Wahrscheinlichkeitsverteilung
$NPV$	<i>GE</i>	Net Present Value (Kapitalwert)
$NPV(\Omega_{as})$	<i>GE</i>	Net Present Value von Produktionssystem $a$ bei Betrieb an $s$
$N^{ob}(t)$	-	Anzahl der Knoten in Periode $t$ oberhalb des Erwartungswertes
$P_i$	-	Prognosefähigkeit des Faktors $i$ bei einer Unsicherheitsbetrachtung
$PV_z$	<i>GE</i>	Present Value (Gegenwartswert, Barwert) im Knoten bzw. Zustand $z$
$PV_{z(t^*)}(\Omega_{as})$	<i>GE</i>	Present Value (Projektwert) von $a$ an $s$ im Zustand $z$ von $t^*$
$S$	-	Menge der im Modell abgebildeten Produktionsstandorte $S = \{s0, s1\}$
$S_t$	<i>GE</i>	Wert eines eine stochastische Bewegung ausführenden Parameters in Periode $t$
$S_t^{u,d}$	<i>GE</i>	Aktienkurs in $t$ nach relativer Aufwärts- bzw. Abwärtsbewegung ( $u$ bzw. $d$ )
$S_0$	<i>GE</i>	Aktienkurs zum Zeitpunkt $t = 0$
$SK_t(\Omega_{as})$	<i>GE</i>	Selbstkosten in Periode $t$ bei Produktion an $s$ mit Produktionssystem $a$
$T$	<i>ZE</i>	Planungszeitraum (Anzahl diskreter Zeitperioden im Betrachtungszeitraum) bzw. Laufzeit der Option
$UPZ_i$	-	Unsicherheitsprioritätszahl des Faktors $i$
$V_{t,s}^{ob}$	-	Wert des Knotens in Periode $t$ , $s$ Stufen oberhalb des Erwartungswertes

## Verzeichnis der Formelzeichen

$V_t^{\max}$	-	Wert des obersten Knotens in Periode $t$
$VEK_t(s)$	GE	Vertriebseinzelkosten in $t$ bei Produktion an $s$
$VGK_t(s)$	GE	Vertriebsgemeinkosten in $t$ bei Produktion an $s$
$VK_t(s)$	GE	Vertriebskosten in Periode $t$
$VwGK_t(s)$	GE	Verwaltungsgemeinkosten in $t$ bei Produktion an $s$
$VwK_t(s)$	GE	Verwaltungskosten in $t$ bei Produktion an $s$
$VP$	-	Menge der Verlagerungsphasen (Planungs- und Vorbereitungsphase ( $PP$ ), Produktionsunterbrechung ( $PU$ ), Produktionsanlauf ( $PA$ ) und Produktionskontrolle ( $PK$ ))
$X_t$	GE	Zahlungsstrom (Cashflow) in Periode $t$
$X_z$	GE	Cashflow in Knoten $z$
$X(\cdot), Y(\cdot)$	-	Reelle Zufallsvariable

## Kleine lateinische Buchstaben

Symbol	Einheit	Bedeutung
$a$	-	Kontrollvariable eines dynamischen Optimierungsverfahrens
$a$	-	Konstante Driftrate eines Wiener-Prozesses
$a0$	-	Immobilien Produktionssystem
$a1$	-	Mobilen Produktionssystem
$ar_{PA}$	-	Ausbringungsrate an qualitätsgerechten Endprodukten beim Produktionsanlauf ( $PA$ )
$b$	-	Konstante Varianzrate eines Wiener-Prozesses
$c_i(\Gamma(y))$	GE	Verlagerungskosten der Art $i$ während des Zeitraumes $\Gamma$ in Abhängigkeit von der Ziehung $y$
$d$	-	Abwärtsbewegung einer Aktie ( <i>downstate</i> ) bzw. im Baum
$dS$	GE	Veränderung des Aktienpreises (Wert des Underlying) im Zeitintervall $dt$

$dz$	-	Standard-Wiener-Prozess
$eNPV$	<i>GE</i>	Erweiterter Kapitalwert (Net Present Value)
$ex_{ph}^{\min}$	-	Minimale Anzahl an Expatriates in der Phase $ph$
$ex_{ph}^{\max}$	-	Maximale Anzahl an Expatriates in der Phase $ph$
$f_i$	-	Fertigungsstufe, $i = 1, \dots, n$
$f(\cdot), g(\cdot)$		Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion
$ga_{0s}$	<i>GE</i>	Durchschnittliche standortspezifische Aufwände für Gehaltsempfänger an $s$ in $t$
$gks(gkb)$		An der Herstellung von $EP$ beteiligte Gemeinkostenstellen eines Gemeinkostenbereichs $gkb$ , $gkb \in GKB$
$i$	-	Diskontierungsfaktor, Kalkulationszinssatz (Renditerwartung bzw. Kapitalkosten)
$i^*$	-	Kapitalkosten des Basisobjektes (Underlying)
$i_s$	-	Länderspezifischer Kapitalkostensatz am Standort $s$
$j$	-	Anzahl der Aufwärtsbewegungen zur Bestimmung der Position eines Knotens im binomialen Baum
$k$	-	Risikoorientierter Kalkulationszinsfuß
$k_{ij}$	-	Komponente $j$ einer Komponentenkategorie $i$
$k_{as}^{\text{fix}}$	-	Fixkostenanteil der Standort-Technologie-Kombination (Produktionssystem $a$ an $s$ )
$lk_s(k_{ij})$	<i>GE</i>	Logistikkosten der Komponente $j$ einer Kategorie $i$ bei Produktion von $EP$ an $s$
$lks$	-	Lagerkostensatz pro Zeiteinheit
$lok_{0s}$	<i>GE</i>	Standortspezifischer Lohnkostensatz in $t = 0$ je Mitarbeiter und Periode $t$
$m$	-	Anzahl an Aktien im Duplikationsportfolio
$m$	-	Anzahl der berücksichtigten sekundären Unsicherheiten bzw. daraus resultierenden Vektoren
$m_0, m_1$	-	Dem Standort $s_0$ bzw. $s_1$ zugeordneter Markt- und Währungsraum
$mep_s(k_{ij})$	<i>GE</i>	Materialeinkaufspreis der Komponente $j$ einer Kategorie $i$ bei Produktion von $EP$ am Standort $s$

## Verzeichnis der Formelzeichen

$n$	-	Anzahl der Optionen, deren Auszahlungen durch $(m \cdot S_0 + B_0)$ dupliziert werden
$n$	-	Gesamtanzahl an Kalkulationsläufen der Monte-Carlo-Simulation
$n$	-	Anzahl der Verzinsungsintervalle in $T$ zur Berechnung unterjähriger Verzinsung
$p_i$	-	Produkt, $i = 1, \dots, m$
$p_m$	<i>GE</i>	Lokalpreis des Endproduktes in Periode $t$ , ausgewiesen in der lokalen Währung des Marktes $m$
$paz_{ts}$	<i>ZE</i>	Standortspezifische Arbeitszeit je Periode an $s$ je Mitarbeiter in $t$
$ph$	-	Verlagerungsphase
$prob[\cdot]$		Wahrscheinlichkeit von $[\cdot]$
$prod_{0s}$	-	Standortspezifische Produktivität an $s$ in $t = 0$
$q$	-	Wahrscheinlichkeit einer Aufwärtsbewegung des Aktienkurses (im Baum)
$q_{XY}$	-	Eintrittswahrscheinlichkeit von Zustand $Y$ nach $X$
$r_f$	-	Risikoloser Zinssatz (diskrete Betrachtung)
$r_k$	-	Risikoloser Zinssatz (stetige Betrachtung)
$\vec{r}$	-	Vektor, der die Dauer der Verlagerungsphasen $ph$ beinhaltet $\vec{r} = (\tau_{PP}, \tau_{PU}, \tau_{PA}, \tau_{PK})$ und aus einer Ziehung der Monte-Carlo-Simulation $y$ resultiert
$s, s_0$	-	Ausgangsstandort (Entsendestandort)
$s', s_1$	-	Zielstandort
$s$	-	Anzahl der Stufen oberhalb des Erwartungswertes
$sp$	<i>GE</i>	Spesensatz pro Mitarbeiter und Periode im Ausland
$\vec{s}$		Vektor, welcher die Anzahl der benötigten Expatriates in den einzelnen Verlagerungsphasen enthält
$t$	-	Perioden $0 \leq t \leq T$
$t^*$	<i>ZE</i>	Periode, in der die Optimierungsüberlegung stattfindet, bzw. Startphase des Verlagerungsprozesses
$\hat{t}$	-	Beliebige Periode im Zeitintervall $\Gamma(y)$

$t^v$	ZE	Restlaufzeit des Verlagerungsprozesses
$t_{ph}^{\min} = t_{ph}^{\text{plan}}$	ZE	Minimale Phasenlänge der Phase $ph$ (Plandauer)
$t_{ph}^{\max}$	ZE	Maximale Phasenlänge der Phase $ph$
$tb_a(k_{0j})$	ZE	Bearbeitungszeit für die Herstellung der Komponenten der Klasse $i = 0$ (Eigenherstellung) mit Produktionssystem $a$
$tkb_s(k_{ij})$	GE	Transaktionskosten für die Rekonfiguration des Beschaffungskonzeptes der Komponente $k_{ij}$ zur Belieferung von $s$
$u$	-	Aufwärtsbewegung einer Aktie ( <i>upstate</i> ) bzw. im Baum
$u_t$	-	Änderungsfaktor eines multiplikativen Aktienpreisprozesses
$u^*$	-	Periodenfester Wert der Unsicherheit bezogen auf eine Ziehung der Monte-Carlo-Simulation
$vk_{sm}$	GE	Direkte Vertriebskosten (Distributionskosten) von Produktionsstandort $s$ in den Zielmarkt $m$
$w_t$		Normalverteilte additive Zuwachsrate
$x_i$	-	Teilmenge, $i = 1, \dots, o$
$x(k_{ij})$	-	Benötigte Menge der Komponenten $k_{ij}$ je hergestelltes Endprodukt $EP$
$y$	-	Eine aus $n$ Ziehungen der Monte-Carlo-Simulation
$\vec{y}$	-	Aus einer Ziehung der Monte-Carlo-Simulation resultierender Vektor einer sekundären Unsicherheit, $\vec{y} = (y_1, \dots, y_t, \dots, y_T)$
$z$	-	Zustand bzw. Knoten
$z(t)$	-	Wert eines Wiener-Prozesses in $t$
$z(t^*)$	-	Betrachteter Zustand (Knoten) in $t^*$
$zf^{\text{expat}}$	-	Zuschlagsfaktor für Lohn bzw. Gehalt bei Entsendung an den Zielstandort der Verlagerung
$zf^{\text{VorPro}}$	-	Zuschlagsfaktor bei der durch die Verlagerung verursachten Vorproduktion (z. B. Sonderschichten)

## Große griechische Buchstaben

Symbol	Einheit	Bedeutung
$\Delta lok_s$	-	Standortspezifische Steigerung der Lohnkosten pro Periode an $s$
$\Delta prod_s$	-	Standortspezifische Steigerung der Produktivität pro Periode an $s$
$\Delta t$	-	Diskretes Zeitintervall
$\Delta x$	-	Änderung einer Variablen $x$ im Zeitraum $\Delta t$
$\Delta t_{ph}(y)$	ZE	Abweichung zwischen realer (bzw. aus der Monte-Carlo-Simulation $y$ ermittelter) zur geplanten Dauer der Verlagerungsphase
$\Delta z$	-	Änderung eines Wiener-Prozesses in $\Delta t$
$\Gamma(\vec{r}), \Gamma(y)$	ZE	Zeitraum in Abhängigkeit von der Ziehung $y$ bzw. des Vektors $\vec{r}$ , in welchem durch den Verlagerungsprozess verursachte zusätzliche Kosten anfallen
$\Omega_{as}$	-	Produktionsmodus einer Standort-Technologie-Kombination $a \in A, s \in S$
$\Omega'_a = \Omega_{as'}$	-	Produktionsmodus am Zielstandort
$\Omega_a^{\text{mobil}}$	-	Produktionsmodus des mobilen Produktionssystems

## Kleine griechische Buchstaben

Symbol	Einheit	Bedeutung
$\alpha$	-	Konfidenzintervall (Vertrauensbereich)
$\alpha$	-	Anzahl an Subintervallen einer Periode $t$
$\delta^{gks(gkb)}$	-	Korrekturfaktor bei Verlagerung der Gemeinkostenstelle $gks$ an den Zielstandort
$\delta(\Gamma(y))$	ZE	Aus der Ziehung $y$ resultierende Dauer des Verlagerungsprozesses (Länge des Intervalls $\Gamma(y)$ )
$\varepsilon$	-	Standardnormalverteilte Zufallsgröße in einem Wiener-Prozess

$\varepsilon_{ph}^{\text{real}}(y)$	-	Aus der Ziehung $y$ resultierende (reale) Anzahl an Expatriates in der Phase $ph$
$\zeta$	<i>GE</i>	Flexibilitäts- bzw. Optionswert
$\zeta_{ai}$	<i>GE</i>	Optionswert der Mobilität zum Bezugsobjekt $ai$
$\eta_m$	-	Marktanteil von Markt $m$ in $t$
$\kappa_{ts}$	<i>GE</i>	Arbeitskosten in Periode $t$ an $s$ (Quotient aus Lohnkosten und Produktivität, normiert durch die Periodenarbeitszeit $paz_s$ an $s$ )
$\lambda$	-	Kleinste nicht negative ganze Zahl an Aktienkurssteigerungen, so dass $S_T > E$
$\mu$	-	Erwartete Rendite der Aktie bzw. erwartete Driftrate eines Wiener-Prozesses (erwartete Steigung der Wertentwicklung eines Parameters)
$\pi_t$	-	Gesamtstückzahl des Endproduktes $EP$ in $t$
$\hat{\pi}$	-	Durchschnittlich anzusetzende Produktionsmenge des $EP$ pro Periode (zur Berechnung der standort-spezifischen Gemeinkosten)
$\rho$	-	Risikoneutrale Wahrscheinlichkeit einer Aufwärtsbewegung (im Baum)
$\rho'$	-	Risikoneutrale Wahrscheinlichkeit einer Abwärtsbewegung (im Baum)
$\rho^*$	-	Um den risikoneutralen Zinssatz korrigierte risikoneutrale Wahrscheinlichkeit einer Aufwärtsbewegung (im Baum)
$\sigma$	-	Volatilität des Basisobjektes
$\sigma$	-	Standardabweichung des logarithmierten Preisprozesses
$\tau_{ph}^{\text{real}}(y)$	<i>ZE</i>	Aus der Ziehung $y$ resultierende (reale) Dauer der Phase $ph$
$\omega_{tom}$	<i>GE</i>	Preis der Währung des Marktes $m$ in Einheiten einer Basiswährung (Index 0) zum Zeitpunkt $t$
$v$	<i>GE</i>	Erwartungswert des logarithmierten Preisprozesses
$\psi$	-	Anzahl der Produktionssysteme $a$ , die am Standort $s'$ betrieben werden





## Abkürzungsverzeichnis

<i>APT</i>	Arbitrage Pricing Theory
<i>AT</i>	Aufteilung
<i>BMBF</i>	Bundesministerium für Bildung und Forschung
<i>Bez.</i>	bezüglich
<i>CAPM</i>	Capital Asset Pricing Model
<i>CF</i>	Cashflow
<i>CZ</i>	Tschechische Republik
<i>CZK</i>	Tschechische Krone
<i>D</i>	Deutschland
<i>DCF</i>	Discounted Cashflow
<i>EBV</i>	Entscheidungsbaumverfahren
<i>EP</i>	Endprodukt
<i>et al.</i>	et alii ( <i>dt.</i> : und andere)
<i>EU</i>	Europäische Union
<i>EUR</i>	Euro
<i>FCF</i>	Free Cashflow
<i>FDI</i>	Foreign Direct Investment
<i>FMEA</i>	Failure Mode and Effects Analysis
<i>GBM</i>	Geometrische Brownsche Bewegung
<i>GE</i>	Geldeinheit
<i>gl</i>	global
<i>H</i>	Häufigkeit
<i>h</i>	Stunde

## Abkürzungsverzeichnis

---

<i>i. e. S.</i>	im engeren Sinne
<i>i. A.</i>	in Anlehnung
<i>i. d. R.</i>	in der Regel
<i>Inkl.</i>	inklusive
<i>IT</i>	Informationstechnologie
<i>JPY</i>	Japanischer Yen
<i>lo</i>	lokal
<i>MA</i>	Mitarbeiter
<i>MAD</i>	Market-Asset-Disclaimer
<i>MC-Sim.</i>	Monte-Carlo-Simulation
<i>Mrd.</i>	Milliarde(n)
<i>Opt.</i>	optimal, -e, -es, -er
<i>Orient.</i>	orientiert, -e
<i>PA</i>	Produktionsanlauf
<i>PDG</i>	Partielle Differentialgleichung
<i>PK</i>	Produktionskontrolle
<i>PP</i>	Planungs- und Vorbereitungsphase
<i>pr</i>	primär
<i>PU</i>	Produktionsunterbrechung
<i>RPZ</i>	Risikoprioritätszahl
<i>s</i>	Sekunde
<i>Se</i>	sekundär
<i>Sen.-Analyse</i>	Sensitivitätsanalyse
<i>SKK</i>	Slowakische Krone

<i>TNI</i>	Transnational Corporation Index
<i>TV</i>	Teilverlagerung
<i>UNCTAD</i>	United Nations Conference on Trade and Development
<i>USD</i>	US-Dollar
<i>VaR</i>	Value-at-Risk
<i>vgl.</i>	vergleiche
<i>W</i>	Wahrscheinlichkeit
<i>WACC</i>	Weighted Average Costs of Capital
<i>ZE</i>	Zeiteinheit



Wenn du dich nicht um die Zukunft kümmerst,  
wirst du die Gegenwart stets bereuen.

*Chinesisches Sprichwort*

# 1 Einleitung

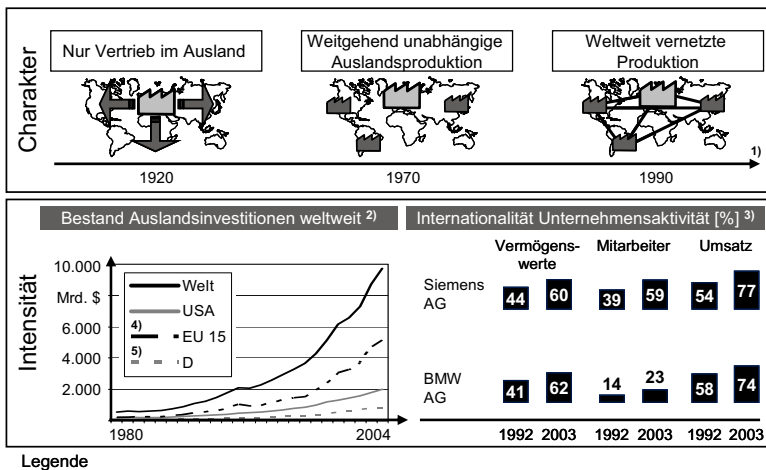
## 1.1 Ausgangssituation und Motivation

Die letzten beiden Jahrzehnte sind von zwei maßgeblichen Herausforderungen an produzierende Unternehmen gekennzeichnet. Dem ökonomischen Prinzip folgend gilt es zum einen, sich nachhaltige Wettbewerbsvorteile in einem immer dynamischer werdenden Marktumfeld zu sichern (MILBERG 2000, S. 324 F., AWK-AUTORENKOLLEKTIV 2002, S. 77, VEIT 2006, S. 145). Zum anderen ist den Chancen und Risiken der Globalisierung durch geeignete Internationalisierungsstrategien proaktiv zu begegnen (REITHOFER 2003, S. 82, HEINRICH 2005, S. 235 F., REINHART ET AL. 2006, S. 179 F.).

Das erstgenannte Phänomen der permanenten Veränderung technologischer und marktseitiger Randbedingungen ist multidimensional. Es zwingt produzierende Unternehmen, sich durch Rekonfiguration ihrer Produktionssysteme an neue Anforderungen anzupassen. Die Dynamik wird durch eine Vielzahl von Einflussfaktoren erzeugt und resultiert u. a. aus der Verkürzung der Produktlebenszyklen, einer schwankenden Nachfrage, der Beschleunigung technologischer Innovationen sowie aus einem zunehmend verschärften Wettbewerb (WIENDAHL 2002, S. 122, SCHUH ET AL. 2004b, S. 106). Um den aus diesen geänderten Randbedingungen resultierenden Effekten zu begegnen, wird seit ungefähr einem Jahrzehnt die Wandlungsfähigkeit der Produktion als Lösungsansatz postuliert (REINHART 1997, WESTKÄMPER 1998, SPATH ET AL. 2002, WIENDAHL 2002), welche als die wesentliche Eigenschaft von erfolgreichen Unternehmen im 21. Jahrhundert bezeichnet wird (HERNÁNDEZ 2003, S. 3, KIRCHNER ET AL. 2003, S. 254). Neben diesen wettbewerbsorientierten Herausforderungen ist eine zunehmende Globalisierung der Absatz- und Beschaffungsmärkte zu beobachten (MERATH 1999, S. 1, EVERSHEIM & SCHELLBERG 2000, S. 183). Vom einstigen grenzüberschreitenden Handel über die ersten Entwicklungen zu Beginn des Industriezeitalters bis hin zu ihrer heutigen Form hat sich die Globalisierung aber in Charakter und Intensität stark verändert. Sinkende Barrieren durch Deregulierungen und ein freier Kapitalverkehr, weltweit verfügbares produktionstechnisches Wissen, moderne Logistik- und Verkehrsinfrastrukturen sowie die verbesserten Möglichkeiten der Informationstechnik ermöglichen gegenwärtig – wie die Abbildung 1 im oberen Teil zeigt – eine weltweit vernetzte Produktion (HUMMEL 1997, S. 30, KROLLE & ÖBWARD 2003, S. 177, JACOB & MEYER 2006, S. 4). Damit sind

# 1 Einleitung

Standortentscheidungen in globalem Maßstab nicht mehr wie in der Vergangenheit nur multinationalen Konzernen vorbehalten. Heute sehen sich produzierende Unternehmen über alle Branchen und Größen hinweg mit der Aufgabe konfrontiert, die Leistungserstellung in globale Wertschöpfungsketten und Produktionsverbünde aufzuteilen und für dezentrale Märkte zu optimieren (KOLLER ET AL. 1998, S. 176, VON BEHR 2002, S. 23, KINKEL ET AL. 2004, S. 5).



<sup>1)</sup> In Anlehnung an JACOB & MEYER 2006, S. 4

<sup>2)</sup> Foreign Direct Investment (FDI), UNCTAD 2006

<sup>3)</sup> Transnational Corporation Index (TNI), Entwicklung von 1992 bis 2003 in Prozent, UNCTAD 2003

<sup>4)</sup> EU 15: Belgien, Deutschland, Frankreich, Italien, Luxemburg, Niederlande, Dänemark, Irland, Großbritannien, Griechenland, Portugal, Spanien sowie Finnland, Österreich und Schweden

<sup>5)</sup> D: Deutschland

Abbildung 1: Veränderung des Charakters und der Intensität des Einflussfaktors Globalisierung auf produzierende Unternehmen

Die anwachsende Intensität der Globalisierungsbestrebungen spiegelt sich im Volumen der Direktinvestitionen<sup>1</sup> im Ausland wie auch in steigenden Auslandsanteilen des Umsatzes, bei den beschäftigten Mitarbeitern der Unternehmen so-

<sup>1</sup> Als Direktinvestitionen gelten Finanzbeziehungen zu in- und ausländischen Unternehmen einschl. Zweigniederlassungen und Betriebsstätten, an denen der Investor 10% oder mehr (bis Ende 1989 25% oder mehr, von 1990 bis Ende 1998 mehr als 20%) der Anteile oder Stimmrechte unmittelbar hält. Bis Ende des Jahres 1995 umfassen die Direktinvestitionen Anteile am Kapital einschl. Rücklagen, Gewinn- und Verlustvorträgen und langfristige Kredite. Seit 1996 werden auch kurzfristige Finanz- und Handelskredite einbezogen. Als Direktinvestitionen gelten auch alle Anlagen in Grundbesitz (BUNDESBANK 2006).

wie bei den Vermögenswerten wider (UNCTAD 2003, BERGER 2006b, JACOB & MEYER 2006, S. 8, UNCTAD 2006). Die Veränderungen der Globalisierung in Charakter und Intensität zeigt zusammenfassend Abbildung 1.

Die gravierendste Veränderung hinsichtlich der Globalisierungs Herausforderung sehen jedoch viele Autoren darin, dass die Entwicklungen lokaler Markt- und Standortgegebenheiten mit wachsenden Schwankungen behaftet sind (MACCORMACK ET AL. 1994, BAUMANN 1999, S. 1, BANKHOFER 2001, S. 1, ZÄH & WAGNER 2002, S. 1-1). Die Globalisierung hat damit selbst eine Dynamik entwickelt, die verstärkend auf fast alle anderen Turbulenzfaktoren im Umfeld der Unternehmung wirkt. Die resultierende Komplexitätserhöhung in der Produktion ist als eine der größten Herausforderungen für die Zukunft anzusehen (WIENDAHL 2002, S. 122).

Eine erhöhte Dynamik führt zwangsläufig zu höheren Risiken in der mittel- bis langfristigen Produktionssystemplanung, was die Fähigkeit sich schnell adaptieren zu können zu einem immer wichtigeren Wettbewerbsfaktor werden lässt (SCHUH ET AL., S. 116). Dies verlangt seitens der wesentlichen produktionstechnischen Systemelemente Mensch, Organisation und Technik anpassbare Strukturen (RIEDL 1999, WIENDAHL 2001b, WESTKÄMPER 2005). Jedoch sind gerade produktionsbezogene Allokations- oder gesamtheitliche Standortentscheidungen durch Langfristigkeit und Irreversibilität gekennzeichnet (BREDE 1971, S. 44, BEA 1997, S. 410, WIRTH ET AL. 2001, S. 184, EVERSHEIM ET AL. 2002, S. 169, REINHART ET AL. 2002, S. 337). Gleichzeitig beruhen sie auf einer Vielzahl schwer prognostizierbarer Entwicklungen standortspezifischer Faktoren, woraus ein hoher Unsicherheitsgrad für die Entscheidungsfindung resultiert (KINKEL 2004c, S. 38). Durch das Investitionsvolumen und die entstehenden langfristigen Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit und die Finanzkraft des Unternehmens beinhalten Standort- und Allokationsentscheidungen damit ein hohes unternehmerisches Gesamtrisiko. Andererseits stellt die Globalisierung von Absatz, Beschaffung und Produktion für Unternehmen ein wesentliches Instrumentarium dar, sich Wettbewerbsvorteile zu verschaffen, und trägt zur Risikodiversifizierung und -reduzierung bei (THE BOSTON CONSULTING GROUP INC. 2004, S. 16 F., MEYER 2006b, S. 84). Darüber hinaus bestehende Potenziale, an dynamischen Entwicklungen zu partizipieren, können jedoch aufgrund der evidenten Immobilität von Produktionsressourcen nur unzureichend ausgeschöpft werden (WIENDAHL & WORBS 2000, S. 584 F., WIRTH ET AL. 2000, S. 29, REINHART ET AL. 2002, S. 337, LANGE-STALINSKI 2003, S. 3, MÜLLER ET AL. 2006, S. 198).

Ein Mittel, die Irreversibilität von Standortentscheidungen aufzuheben, ist Mobilität. Diese erlaubt es, die Ressourcenzuteilung kurz- bis mittelfristig standortübergreifend anzupassen und somit zu verbessern (AWK-AUTORENKOLLEKTIV 2002, S. 91, REINHART & CISEK 2003, S. 77 F.). Die vordringliche Aktion „Flexible, temporäre Fabrik“ des BMBF und die darauf folgenden Forschungsprojekte<sup>2</sup> beschäftigten sich daher in den Jahren 2002 bis 2005 mit dieser Thematik. Im Mittelpunkt der Betrachtung stand die Bewältigung temporärer Lebenszyklen von Produkten, Prozessen und Fabrikstrukturen einschließlich der Analyse von Mobilität in der Produktion (WIRTH ET AL. 2001, S. 184). Neben der Entwicklung und Gestaltung von technischen und organisatorischen Mobilitätskonzepten wurde der Handlungsbedarf aufgezeigt, durch geeignete Bewertungssystematiken und -methoden die Wirtschaftlichkeit eines Einsatzes mobiler Produktionskonzepte nachzuweisen (WIRTH ET AL. 2000, S. 30, LANGE-STALINSKI 2003, S. 3).

### 1.2 Aufgabenstellung und Zielsetzung

In der Praxis ist es notwendig, vorgehaltene Freiräume von Produktionssystemen und deren wirtschaftlichen Zusatzaufwand zu beziffern (KOREN ET AL. 1999, S. 539, BORNHÄUSER ET AL. 2003, S. 176). Zudem dürfen Konzepte und Strategien, welche die Zukunftsfähigkeit von Unternehmen gewährleisten, nicht vergangenheitsorientiert sein, sondern müssen die erwarteten Entwicklungen vorausschauend integrieren. Die vorangegangenen Ausführungen haben gezeigt, dass eine Nutzung der globalen Unterschiede und eine Anpassung an deren Veränderung produktionsseitig durch Mobilität erreicht werden kann. Dies schafft Wettbewerbsvorteile und führt zur Aufgabenstellung, Mobilität unter Berücksichtigung der beschriebenen Randbedingungen zu beschreiben, zu planen und unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu bewerten.

Die Aufgabenstellung gliedert sich in drei Teilaspekte, die in Abbildung 2 dargestellt sind. Aus Sicht der Fabrikplanung besteht die Anforderung der Zukunft einerseits darin, den Standort als Element in einem global verteilten Produktionsnetzwerk zu verstehen (WIENDAHL 2001b, S. 723, SCHUH ET AL. 2004a, S. 299, HIRNER 2005). Hierbei reicht es nicht mehr aus, nur Leistungstiefe, Prozesse und Standorte von Fabriken unter statischen Gesichtspunkten optimal aufeinander

---

<sup>2</sup> SCHUH & MERCHERS 2004; WITTE & VIELHABER (2004); MÜLLER & SPANNER-ULMER 2005; WIENDAHL ET AL. 2005; ZÄH & BAYERER 2004



abzustimmen. Die beschriebene Dynamik führt zu temporär-instabilen Zuständen, denen durch Mobilität begegnet werden kann. Die Vorteilhaftigkeit dieses Handlungsspielraums ist jedoch untrennbar mit der Entwicklung des Umfeldes verbunden. Aus diesem Grund gilt es, relevante Einflussfaktoren zu identifizieren und in einer vorausschauenden Planung modellhaft abzubilden.

Des Weiteren besteht ein allgemein anerkanntes Defizit an strukturierten Vorgehensweisen und geeigneten Bewertungsverfahren, um zu bestimmen, welches Maß an Anpassungsfähigkeit sich wirtschaftlich lohnt (KIRCHNER ET AL. 2003, S. 257, SCHUH ET AL. 2004d, S. 117). Auch WIENDAHL & HERNÁNDEZ (2002, S. 136) und NILSSON & NORDAHL (1995, S. 10) sehen die Notwendigkeit einer Kongruenz zwischen der Wandlungsanforderung und dem wünschenswerten (d. h. wirtschaftlich sinnvollen) Veränderungspotenzial. Eine nicht zielgerichtete Analyse und eine unzureichende Berücksichtigung der vorhandenen Unsicherheiten kann leicht zu einer Situation führen, die als „Überwindungsfähigkeit“ zu bezeichnen ist (KIRCHNER ET AL. 2003, S. 254). Andererseits werden häufig die Initialkosten anpassungsfähiger Produktionsanlagen überschätzt, während die hieraus entstehenden Handlungsspielräume wertmäßig unterschätzt werden.

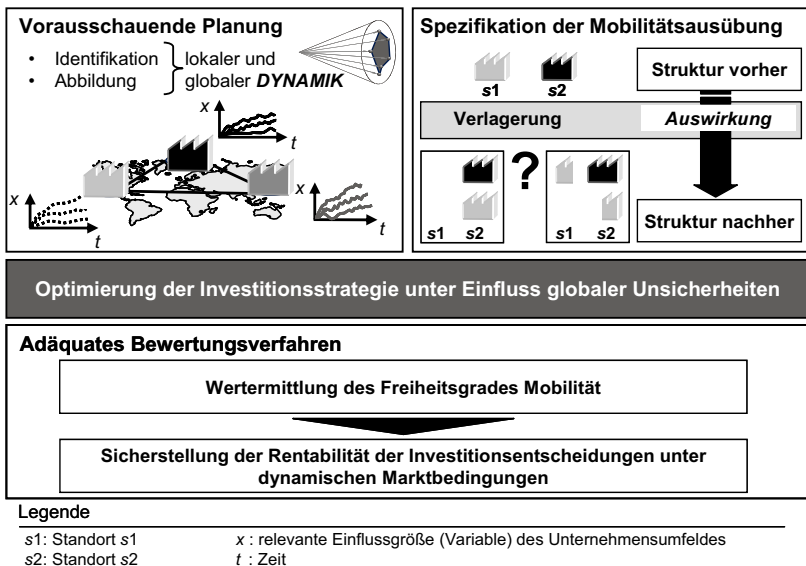


Abbildung 2: Zielsetzung der Arbeit

## **1 Einleitung**

---

Dieser Interpretation ist durch aussagekräftige Planungs- und Bewertungsvorgehensweisen zu begegnen, um eine Sensibilisierung des Managements bezüglich der Implementierung wirtschaftlich vertretbarer Wandlungsfähigkeit zu erreichen (KIRCHNER ET AL. 2003, S. 258 F., MÜSSIG 2005). Um diese Sensibilisierung bezüglich des Veränderungspotenzials der Mobilität zu erwirken, besteht die Aufgabe zudem darin, Situationen zu beschreiben, in denen eine Nutzung von Mobilität in Betracht zu ziehen ist. Darüber hinaus ist es erforderlich, die Auswirkungen zu beschreiben, die eine Nutzung der Mobilität im konkreten Anwendungsfall nach sich zieht.

Aus diesen Teilaspekten lässt sich die allgemeine Zielsetzung der Arbeit ableiten. Sie besteht in der Optimierung der Investitionsstrategie in einem Produktionsnetzwerk unter Einfluss globaler Unsicherheiten. Hierbei ist der Mehrwert von Mobilitätspotenzialen explizit zu berücksichtigen. Das konkrete Ziel der vorliegenden Arbeit ist es daher, eine Bewertungsmethodik zu erarbeiten, welche den Wert von Mobilität als Freiheitsgrad des produktionstechnischen Systems in Abhängigkeit der zugrunde liegenden Unsicherheiten zu bestimmen erlaubt. Die Arbeit soll einen Beitrag dazu leisten, Chancen und Risiken von in unterschiedlichem Maße anpassungsfähigen Produktionskonzepten am Beispiel von Mobilität zu analysieren, zu interpretieren und in einem Bewertungsmodell abzubilden. Es soll eine methodische Grundlage geschaffen werden, um innerhalb der mittel- bis langfristigen Investitionsplanung mobile und immobile Konzepte vergleichend einander gegenüberstellen und eine klare Handlungsempfehlung geben zu können.

### **1.3 Einordnung der Arbeit**

#### **1.3.1 Allgemeines**

Durch die Einordnung der abgeleiteten Aufgabenstellung und Zielsetzung sollen in diesem Abschnitt die folgenden Fragen beantwortet werden:

- Wie ist das Handlungsfeld der Arbeit innerhalb der spezifischen Planungsdisziplinen des Unternehmens einzuordnen?
- Wie ist die zeitliche Positionierung der Planungsaufgabe innerhalb eines ganzheitlichen systematischen Planungsprozesses zu definieren?

### **1.3.2 Einordnung in die Planungsdisziplinen des Unternehmens**

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Optimierung der technischen Ausstattung und der wirtschaftlichen Voraussetzungen von Produktionsstätten zur bestmöglichen Erfüllung der übergeordneten Unternehmensziele. Damit ist sie eindeutig der Planungsdisziplin der Fabrikplanung zuzuordnen, welche die Planung und Auslegung industrieller Produktionsstätten einschließlich der Überwachung der Realisierung bis zum Anlauf zum originären Inhalt hat (WIENDAHL 1996, S. 9-1). Die vielseitigen, komplexen und weitläufigen Aufgaben der Fabrikplanung sind als zusammenfassbares Teilgebiet wiederum der Unternehmensplanung untergeordnet (AGGTELEKY 1980, S. 26, SCHMIGALLA 1995, S. 70).

#### **Unternehmensplanung**

Die Unternehmensplanung beinhaltet alle Planungsaktivitäten, die im Rahmen bestehender Unternehmen oder zum Aufbau neuer Unternehmen erforderlich sind (HAMMER 1992, S. 22). Eine Unterteilung der Planungsaufgaben der Unternehmensplanung kann sowohl zeit- als auch bereichsbezogen stattfinden. Hinsichtlich des betrachteten Zeithorizonts wird zwischen strategischer, taktischer und operativer Planung unterschieden. Unabhängig von diesen zeitlichen Dimensionen kann eine bereichs- und objektbezogene Differenzierung vorgenommen werden (FISCHER 1996, S. 31 F.). Diese richtet sich nach den grundlegenden Unternehmensbereichen. Dabei ist die Finanzplanung als übergreifender Bereich zu verstehen, der die anderen Bereiche unterstützt (siehe Abbildung 3).

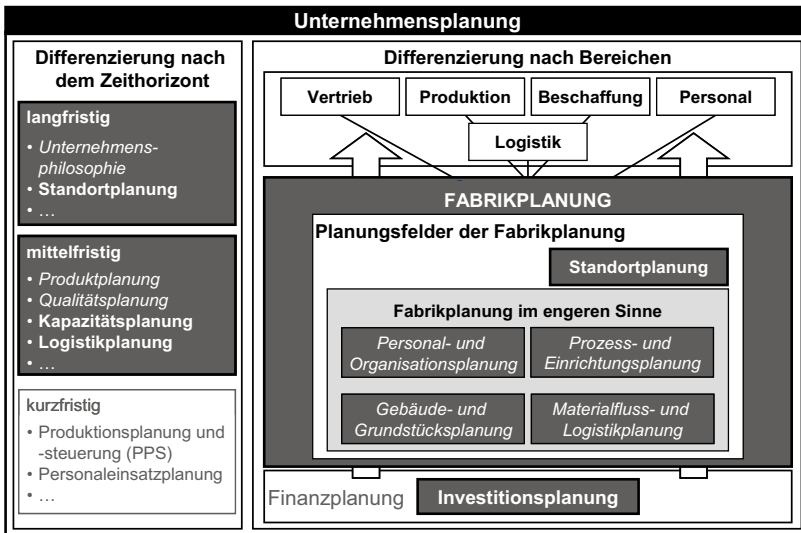
#### **Fabrikplanung**

Die Fabrikplanung findet zwar keine ausdrückliche Erwähnung in der betrachteten betriebswirtschaftlichen Literatur zur Unternehmensplanung, beinhaltet aber Teilaspekte aller dort aufgeführten Bereiche (BERGHOLZ 2005, S. 25 F.). Damit ist eine Definition der Fabrikplanung als Teilbereich der Unternehmensplanung zutreffend (AGGTELEKY 1980, S. 26, SCHMIGALLA 1995, S. 70, BERGHOLZ 2005, S. 25 F.). Für die Fabrikplanung definiert AGGTELEKY (1980) die Auswahl der Produktionsmittel und die Gestaltung von Fertigungsstätten als zentrale übergeordnete Aufgaben. Das weitreichende Aufgabenspektrum der Fabrikplanung lässt sich in verschiedene Planungsfelder strukturieren, wobei sich die Fabrikplanung im engeren Sinne auf die ebenfalls in der Abbildung 3 aufgeführten vier Planungsfelder konzentriert (WIENDAHL 1996, S. 9-4). Hauptsächlicher Gegenstand neben der zielorientierten Gestaltung ist die rationelle Verwirklichung von Investitionsvorhaben (AGGTELEKY 1980, S. 26, SCHMIGALLA 1995, S. 70).

# 1 Einleitung

## Investitionsplanung

Die Investitionsplanung stellt als Querschnittsfunktion der Unternehmensplanung eine essenzielle Unterstützungsaufgabe für die Fabrikplanung dar. Darüber hinaus wird die enge Verknüpfung der Fabrikplanung mit den anderen betrieblichen Planungsaktivitäten aus der Abbildung 3 ersichtlich.



### Legende



Abbildung 3: Einordnung der Aufgabenstellung in die Planungsdisziplinen

Vor dem Hintergrund der Aufgabenstellung (siehe 1.2), eine Bewertungssystematik zur zielgerichteten und rentabilitätsorientierten Bewertung unterschiedlicher Produktionskonzepte zu erarbeiten, liegt der Fokus dieser Arbeit in der anwendungsorientierten Übertragung theoretischer Modelle der Investitionsplanung auf die Fabrikplanung. Die Bewertungssystematik ist somit als Teil der unternehmensplanerischen Aktivität zu verstehen. Sie fokussiert lang- und mittelfristige Fragestellungen.

### 1.3.3 Positionierung innerhalb eines ganzheitlichen Planungsprozesses

Die zugrunde liegende Komplexität von Fabrikplanungsprojekten verlangt einen systematischen Planungsablauf (KETTNER 1984, S. 10 F.), welcher auf den Pro-

blemlösungszyklus von DAENZER & HUBER aufbaut (DAENZER & HUBER 1999, S. 49). Dabei sind die Phasen Vorbereitung, Strukturierung, Gestaltung und Umsetzung zu durchlaufen (KETTNER 1984, S. 10 F., WIENDAHL 1996, S. 9-11) und im oberen Bereich in Abbildung 4 aufgeführt. Die Zielplanung ist dabei als die erste Planungsstufe der Vorbereitung zu verstehen. Ihre Aufgabe ist die Erstellung eines „strategisch abgeleiteten, bewerteten und gegenüber alternativen Planungsmöglichkeiten abgegrenzten Grobkonzeptes, auf dessen Grundlage die Entscheidungsträger die Freigabe der nachfolgenden Planungsstufen und der Realisierung einleiten können“ (BRANKAMP 1996, S. 9-32).

Somit ist der Betrachtungsfokus der Arbeit der Zielplanung als Teil der Vorbereitungsphase zuzuordnen (dunkelgraue Darstellung in Abbildung 4). Dies setzt aber einige Planungsschritte der Strukturierung im Sinne einer Prinzipplanung und Dimensionierung voraus. Diese sind nötig, um ein zu bewertendes Grobkonzept überhaupt vorlegen zu können (BRANKAMP 1996, S. 9-32). Ein rein sequentieller Planungsablauf ist nicht darstellbar, sondern es sind iterative Zyklen zu durchlaufen (NYHUIS ET AL. 2004, S. 95).

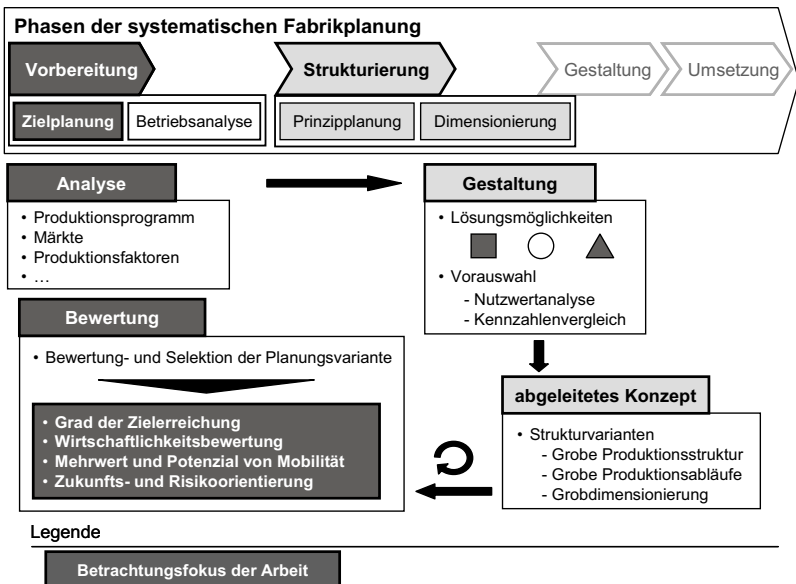


Abbildung 4: Einordnung der Arbeitsschwerpunkte in den Planungsablauf der systematischen Fabrikplanung

Die Arbeit fokussiert Analyse- und Bewertungsaspekte, während die Gestaltung und die Eingrenzung der Lösungsmöglichkeiten als vorgelagerte Aufgaben zu verstehen sind. Technische Machbarkeitsstudien und Auswahlentscheidungen im Sinne der Technologiegestaltung werden als gegeben vorausgesetzt und sind in der Abbildung 4 hellgrau gekennzeichnet. Die Aufgabe der Bewertungssystematik und der Fokus der Arbeit bestehen daher in der Bewertung und der Selektion einer grob geplanten Strukturvariante aus mehreren Alternativen. Abbildung 4 zeigt die Einordnung der Arbeitsschwerpunkte in den systematischen Planungsprozess der Fabrikplanung.

### 1.4 Vorgehensweise

In *Kapitel 1* erfolgte die Einordnung der Aufgabenstellung und der Zielsetzung der vorliegenden Arbeit in die allgemeinen Planungsdisziplinen produzierender Unternehmen. Darüber hinaus wurde die Positionierung der Planungsaufgabe innerhalb eines systematischen Planungsprozesses beschrieben.

Die beiden darauf folgenden *Kapitel 2 und 3* sind als Grundlagenkapitel konzipiert, welche die maßgeblichen Aspekte der Themenfelder Mobilität in der Produktion und Bewertung beleuchten.

In *Kapitel 2* wird der Begriff der standortübergreifenden Mobilität für die Produktion definiert und eine integrative Betrachtung im Rahmen der Standortplanung durchgeführt. Zudem werden Grundformen der Standortstruktur in einem Produktionsnetzwerk vorgestellt, da sich diese durch die Mobilitätsausübung verändern kann. Sowohl die bestehenden Strukturen als auch die Konsequenzen der Nutzung des Freiheitsgrades Mobilität sind als grundlegende Spezifikationsmerkmale der Bewertungsaufgabe zu verstehen. *Kapitel 3* widmet sich aufgrund der investitionstheoretischen Problemformulierung der Aufgabenstellung den Grundlagen der Investitionsrechnung. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der Integration von Unsicherheitsaspekten in die Bewertung. Neben traditionellen Ansätzen wird auch der Realoptionsansatz diskutiert, welcher auf finanztheoretischen Prinzipien zur Preisbestimmung von Finanzoptionen aufbaut.

*Kapitel 4* beinhaltet mehrere Kernbausteine. Zum einen werden in einer Synthese die Grundlagen der *Kapitel 2 und 3* reflektiert und Schlussfolgerungen abgeleitet, welche den Problemlösungsprozess bestimmen. Im Anschluss werden Anforderungen an die Methodik abgeleitet und der Stand der Forschung anhand definier-

ter Kriterien beleuchtet. Abschließend wird der Handlungsbedarf in ein Grobkonzept der Methodik übergeführt.

In *Kapitel 5* wird das Grobkonzept der Methodik ausgestaltet. Nach der Überprüfung, inwieweit die Methodik für eine vorliegende Bewertungssituation geeignet ist, werden die Grundzüge der deterministischen Bewertung von Standortentscheidungen dargestellt. Im Anschluss folgen drei Phasen der Konfiguration der Bewertungsaufgabe. Diese Konfiguration erfolgt, indem die Bereiche *Unternehmen*, *Umwelt* und *Verlagerungsprozess*, welche als Eingangsgrößen in die abschließende Bewertungsphase eingehen, beschrieben werden. Die zu berücksichtigenden Bestandteile für das Bewertungsmodell, welche den Mehrwert der Mobilität beeinflussen, werden festgelegt und modelliert.

*Kapitel 6* beschreibt ein industrielles Anwendungsbeispiel, welches im Rahmen der Forschungsarbeiten durchgeführt wurde. Anhand der gewonnenen Erfahrungen wird die Anwendung der Methodik kritisch diskutiert.

Das abschließende *Kapitel 7* beinhaltet die Zusammenfassung sowie einen Ausblick auf offene Forschungsfragen. Die Gliederung der vorliegenden Arbeit wird aus Abbildung 5 ersichtlich.

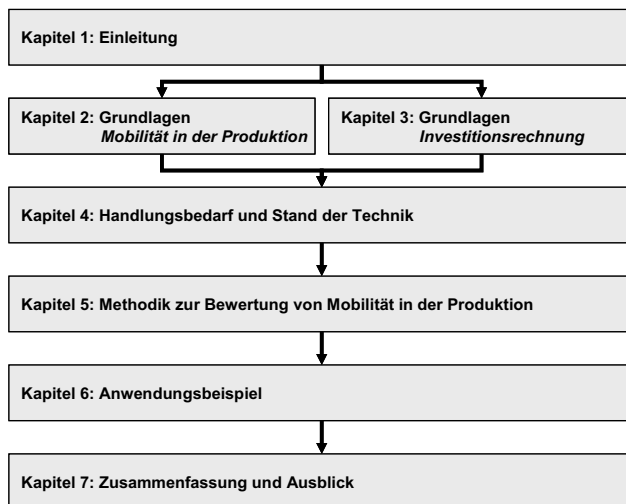


Abbildung 5: Struktureller Aufbau und Vorgehensweise der Arbeit





## 2 Grundlagen der Nutzung von Mobilität in der Produktion

### 2.1 Allgemeines

#### 2.1.1 Zielsetzung und Aufbau des Kapitels

Das Ziel dieses Kapitels besteht darin, den produktionstechnischen Freiheitsgrad der Mobilität in bestehende Konzepte zur Bewältigung eines turbulenten Umfeldes einzuordnen (2.2). Aus dem abgeleiteten Begriffsverständnis und den Eigenschaften des produktionstechnischen Freiheitsgrades ergeben sich Schlussfolgerungen, welche Planungsaufgaben durch die Auswirkungen einer Nutzung von Mobilität berührt werden und anhand welcher Merkmale eine konkretere Beschreibung und Klassifizierung einer spezifischen Bewertungsaufgaben zu erfolgen hat (2.3). Abschließend werden die Motivationsgründe für die Bereitstellung von Mobilität in der Produktion erörtert (2.4).

#### 2.1.2 Begriffsdefinitionen

In diesem Abschnitt werden die wichtigsten Begriffe definiert, welche für das Verständnis der folgenden Ausführungen als relevant erachtet werden.

**Standort:** Unter einem industriellen Standort wird der geographische Ort verstanden, an dem einzelne Funktionen der betrieblichen Leistungserstellung bzw. Teile oder die Gesamtheit der betrieblichen Wertschöpfung erbracht werden (HANSMANN 1974, S. 74, LÜDER & KÜPPER 1983, S. 4 F.).

**Fabrik:** Eine Fabrik bzw. ein Werk wird als ein industrieller Betrieb verstanden, der erwerbs- oder gemeinwirtschaftliche Zwecke verfolgt (SCHMIGALLA 1995, S. 34). Ein Fabrikssystem wird darauf aufbauend definiert als ein Produktionssystem mit Gebäudesystem einschließlich bautechnischer Anlagen. Letzteres ist als Funktionsträger technologischer Prozesse Ort und Raum der Leistungserbringung mit infrastruktureller Anbindung (SCHENK & WIRTH 2004, S. 491).

**Produktion:** Die Produktion ist als System der Konversion von Inputfaktoren in Outputfaktoren bzw. als Ort der Transformation von Ressourcen und Fähigkeiten in Produkte und Dienstleistungen definiert (DYCKHOFF 2000, S. 3).

## 2 Grundlagen der Nutzung von Mobilität in der Produktion

---

**Produktionssystem:** Dem systemorientierten Begriffsverständnis folgend umfasst ein Produktionssystem alle Elemente, die zur vollständigen Erstellung eines Produktes erforderlich sind, einschließlich der existierenden Relationen zwischen den Elementen. Als Elemente sind die Ressourcen Betriebsmittel, Fläche, Personal, Material und Information zu verstehen, während die Relationen die Aufbau- und Ablaufstruktur darstellen (EVERSHEIM 1992, S. 2058).

**Produktionsverbundsystem:** Ein Produktionsverbundsystem ist ein auf reiner Eigenfertigung basierendes Produktionssystem mit räumlich verteilten, arbeitsteilig organisierten Produktionsstufen. Es hat die Aufgabe, in einem mehrstufigen Produktionsprozess (genau) ein Endprodukt zu produzieren. Ein **Produktionsnetzwerk** hingegen ist die Summe aller Produktionsverbundsysteme eines Mehrproduktunternehmens. Werden zusätzlich Lieferanten des Produktionsnetzwerkes berücksichtigt, wird von einem **Wertschöpfungsnetz oder -netzwerk** gesprochen (MERATH 1999, S. 20 F.).

**Verlagerung:** Allgemein wird unter dem Begriff der Verlagerung die Ausgliederung einer oder mehrerer Wertschöpfungsstufen bzw. ihrer Leistungserstellungsfunktion aus der bestehenden unternehmenseigenen Wertschöpfungskette und die Übertragung auf eine andere Wertschöpfungskette oder deren Verselbständigung als institutionale Einheit verstanden (HESCH 1998, S. 9). Die Durchführung einer Verlagerung ist gleichbedeutend mit der Nutzung bzw. Ausübung des produkti- onstechnischen Freiheitsgrades der Mobilität.

### 2.1.3 Definition von Mobilität

Unter Mobilität wird die Fähigkeit von Objekten verstanden, die „beweglich, nicht an einen festen Standort gebunden“ sind (BROCKHAUS 1998, S. 322). In den einzelnen Wissenschaftsdisziplinen herrscht jedoch ein uneinheitliches Begriffsverständnis vor (MÜLLER & SPANNER-ULMER 2005, S. 65). In den Sozial- und Geisteswissenschaften wird so z. B. unter Mobilität die Fähigkeit verstanden, den sozialen Status zu ändern. Ebenso ist der Begriff der geistigen Mobilität in Bezug auf Kreativität und Agilität von Relevanz (BROCKHAUS 1998, S. 322). Allgemein kann zwischen „vertikaler“ (z. B. den sozialen Auf- oder Abstieg betreffenden) und „horizontaler“ (auch geographischer oder physischer) Mobilität differenziert werden, wobei letztere im Bereich der Verkehrswissenschaften hauptsächlich für Individuen und Haushalte durch die sogenannte Wanderungs- und Verkehrsmobilität definiert wird (HAUTZINGER 1996).

Im Kontext der Produktion und der Fabrikplanung besitzt Mobilität eine objektbezogene Bedeutung. Eine erste Einordnung gab LAVINGTON (1921). Er zog eine Verbindung zwischen dem Eintreten unvorhersehbarer Ereignisse und dem Wert von Flexibilitäten und betrachtete *"the risk arising from the immobility of invested resources"* (SETHI & SETHI 1990, S. 290). Allgemein wird unter Mobilität die räumliche Beweglichkeit oder Ortsveränderung der Ressourcen Menschen, Maschinen, Anlagen und Gebäudestrukturen verstanden, welche eine produkt-, prozess- und auftragsbezogene Verlagerung der gesamten oder von Teilen der Produktionsstätte ermöglicht (WIRTH ET AL. 2003, S. 289). Hierbei ist die zurückgelegte Entfernung (große oder geringe Distanzen) ein maßgebliches Kriterium, da hieraus völlig unterschiedliche Aufgabenstellungen, Zielsetzungen und Herausforderungen resultieren. Es wird daher zwischen *innerer Mobilität* und *äußerer Mobilität* unterschieden. Abbildung 6 zeigt eine Übersicht der diskutierten Definitionen und führt zum Begriffverständnis, bezogen auf das Unternehmen und die Fabrik.

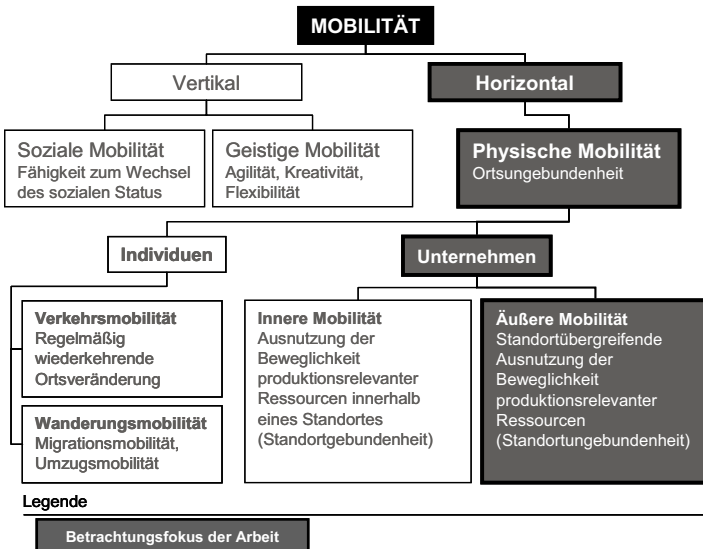


Abbildung 6: Der Begriff „Mobilität“ bezogen auf die Fabrik (i. A. an HAUTZINGER 1996 und WIRTH ET AL. 2001)

*Innere Mobilität* bezeichnet einen Freiheitsgrad zur Restrukturierung der Fertigungsstruktur, der jedoch an der jeweiligen Standort- bzw. Werksgrenze endet.

## 2 Grundlagen der Nutzung von Mobilität in der Produktion

---

Die Aufgabe der Planung und Bewertung innerbetrieblicher Mobilitätspotenziale ist für die Arbeit nicht relevant. Dies wurde von CISEK (2005) behandelt.

*Äußere Mobilität* hingegen bezeichnet die Fähigkeit einer Fabrik und ihrer Ressourcen, welche es erlaubt, einen Standortwechsel durchzuführen (WIRTH ET AL. 2001, S. 184, ZÄH ET AL. 2003a, S. 328). Unabhängig von der Distanz und der Zielsetzung des physischen Standortwechsels steht bei der Gestaltung der Fabrik die Reduzierung des zeitlichen und monetären Aufwandes der Ortsveränderung im Vordergrund (ZÄH ET AL. 2003b, S. 646, MÜLLER & SPANNER-ULMER 2005, S. 65). Durch die Verweildauer an einem Standort besteht daher auch eine Abgrenzung zu dem Begriffsverständnis aus Sicht der Betriebswissenschaften. Diese beschreiben die Mobilität von Industrieunternehmen zwar als Handlungspotenzial, zwischen alternativen Standorten wählen zu können, interpretieren dies jedoch als finalen und langfristigen Leistungstransfer bzw. als Mobilität des Kapitals. Mobilität wird danach als grundsätzliche Charaktereigenschaft von Unternehmen aufgefasst, steht jedoch nicht in unmittelbarem Zusammenhang mit Produktionsressourcen (DEUSTER 1996, S. 45 F., KISKER 1999, S. 70 F.). Dies trifft ebenso für die volkswirtschaftliche Deutung des Begriffes zu, welche das Mobilitätsverhalten von Unternehmen als Marktein- und -austrittshandlung versteht und gesamtwirtschaftliche Erklärungsansätze sucht (POSSELT 1993).

Die hier betrachtete *äußere Mobilität* ist somit nicht nur als Eigenschaft zu verstehen, welche es ermöglicht, auf veränderte markt- bzw. unternehmensseitige Randbedingungen durch einen Standortwechsel reagieren zu können, sondern sie ist vielmehr als proaktives Element und Handlungspotenzial der strategischen Unternehmensplanung in einem turbulenten Umfeld zu begreifen. Die Mobilität einer Fabrik stellt in diesem Sinne einen Baustein der Wandlungsfähigkeit eines Fabriksystems dar (HERNÁNDEZ 2003, S. 71, ZÄH ET AL. 2003b, S. 647, REINHART 2004, SCHENK & WIRTH 2004, S. 10, WIENDAHL & HEGER 2004b).

## 2.2 Mobilität im Kontext von Wandlungsfähigkeit

### 2.2.1 Produktion im turbulenten Umfeld

Das Ursache-Wirkungs-Gefüge produzierender Unternehmen in einem turbulenten Umfeld wird von WARNECKE (1993), CHAKRAVARTHY (1997), CISEK ET AL. (2002) und ELMARAGHY & URBANIC (2004) beschrieben. Es induziert ein wünschenswertes Veränderungspotenzial und mündet in die Zielsetzung, einen

Gleichgewichtszustand zwischen den externen Forderungen des Marktes und den internen Möglichkeiten des Unternehmens herzustellen. Dies erfordert einen permanenten Veränderungsprozess, welcher durch das Produktionssystem zu realisieren ist (WIENDAHL & HERNÁNDEZ 2002, S. 135, WESTKÄMPER 2005, S. 470). Mit dieser Entwicklung einhergehend wurden Flexibilität seit dem Ende der 1970er Jahre und Wandlungsfähigkeit seit Mitte der 1990er Jahre zu zentralen Bewältigungsansätzen im Rahmen der Produktion.

### 2.2.2 Flexibilität, Wandlungsfähigkeit und Mobilität

In der Literatur finden sich unterschiedliche Definitionen der Flexibilität mit zahlreichen Klassifikationsansätzen (BROWNE ET AL. 1984, SETHI & SETHI 1990, GUPTA 1993, SHEWCHUK & MOODIE 1998, NARAIN ET AL. 2000). Einen umfassenden Überblick hierzu geben DE TONI & TONCHIA (1998) in ihrer Studie. Trotz der unterschiedlichen Definitionen und Taxonomien kann übereinstimmend festgestellt werden, dass Flexibilität als Fähigkeit eines Systems zu verstehen ist, im Rahmen eines prinzipiell vorgedachten Umfangs von Merkmalen sowie deren Ausprägungen an veränderte Gegebenheiten im Sinne einer kybernetischen Adaption reversibel anpassbar zu sein (BUTZ 1976, S. 20 F., SLACK 1983, S. 8, WESTKÄMPER ET AL. 2000, S. 24, WEMHÖNER 2006, S. 28). Für diese Arbeit ist es grundlegend, Flexibilität und Mobilität voneinander abzugrenzen. In der folgenden Tabelle 1 werden daher exemplarisch drei Charakteristika der Flexibilität aufgeführt, die keine Vereinbarkeit mit dem Mobilitätskonzept aufweisen.

Aussage: Flexibilität ist ...	Autor
die vorgehaltene Überdimensionierung eines Betriebsmittels bez. Funktion, Leistung und Genauigkeit.	KETTNER 1984, S. 210 F. HALLER 1999, S. 15 F.
dadurch gekennzeichnet, dass die Ausübung keine strukturellen Veränderungen bedingt <sup>3</sup> .	WIENDAHL & HERNÁNDEZ 2000, S. 38
mit einer aufwandsarmen Aktivierung und mit geringem Zeitaufwand verbunden.	UPTON 1995, S. 206

*Tabelle 1: Beispielhafte Charakteristika von produktionsbezogener Flexibilität, welche nicht mit dem Konzept der Mobilität vereinbar sind*

<sup>3</sup> Es findet lediglich eine elastische Anpassung ohne substanzielle Veränderung statt. Das räumliche, organisatorische und logistische Konzept der Produktion bleibt in solchen Fällen unverändert.

## 2 Grundlagen der Nutzung von Mobilität in der Produktion

HERNÁNDEZ (2003) merkt zudem an, dass der Fokus der Flexibilitätsbetrachtung auf Maschinen- und Anlagenebene liegt und fabrikplanerische Dimensionen wie Standorte und Gebäude ausgespart bleiben. So weist REINHART (1997) bereits auf die Wandlungsfähigkeit als neue Dimension der Flexibilität hin. Seither befassen sich im Bereich der Produktionstechnik zahlreiche Publikationen mit Definitionen, Erscheinungsformen, Morphologien sowie Konzepten zur technologischen und organisatorischen Bewältigung und Implementierung der Wandlungsfähigkeit (z. B. WESTKÄMPER 1999, DÜRRSCHMIDT 2001, WIENDAHL 2002, ZÄH ET AL. 2005b). In der vorliegenden Arbeit soll Wandlungsfähigkeit in Anlehnung an ZÄH ET AL. (2005a) verstanden werden als *proaktive Eigenschaft eines Systems bzw. seiner Elemente, die es ermöglicht, die Flexibilitätskorridore durch eine inhärente Veränderungsfähigkeit von Prozessen und Strukturen zu verschieben*.

Aus fabrikplanerischer Sicht wird das Erreichen dieser substantziellen Eigenschaft über die Gestaltung der in folgender Abbildung 7 dargestellten sechs Bausteine ermöglicht (WIENDAHL & HERNÁNDEZ 2000, S. 39), woraus die Bedeutung der Mobilität sowie mobilitätsunterstützende Konzepte ersichtlich werden.

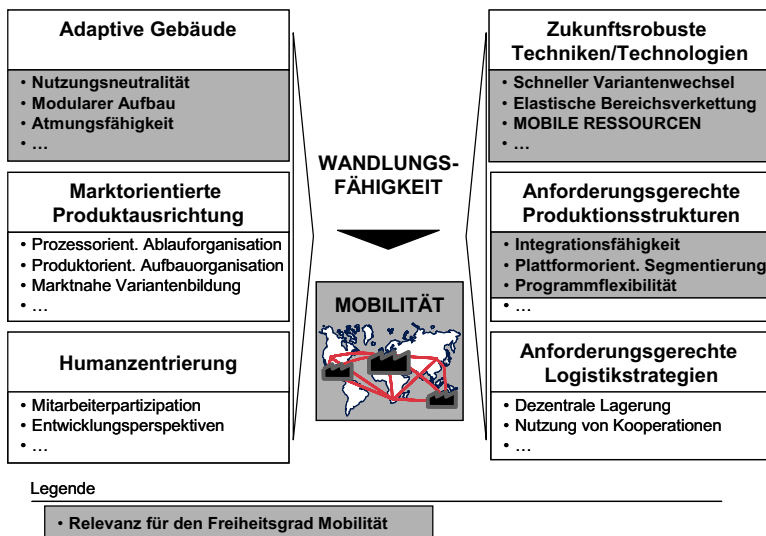


Abbildung 7: Bausteine der Wandlungsfähigkeit aus fabrikplanerischer Sicht (i. A. an WIENDAHL & HERNÁNDEZ 2000, S. 39)

Darauf aufbauend hat HERNÁNDEZ (2003) einen generischen systemorientierten Gestaltungsansatz für wandlungsfähige Fabriken entwickelt, in welchem Wandlungsobjekte und Wandlungsbefähiger definiert werden. Auf diesen Aspekt wird in Abschnitt 2.2.3.1 näher eingegangen.

Als Fazit ist festzuhalten, dass Flexibilität und Wandlungsfähigkeit als Metaeigenschaften zu verstehen sind. Mobilität ist nach den aufgeführten Definitionen klar dem Bereich der Wandlungsfähigkeit zuzuordnen und zeigt die Eigenschaft eines Wandlungsbefähigers (HERNÁNDEZ 2003, S. 54 F.).

### **2.2.3 Mobilität als Wandlungsbefähiger im Fabrikssystem**

#### **2.2.3.1 Wandlungsobjekte und Wandlungsbefähiger**

Mit dem Ziel einer systemorientierten Beschreibung der Fabrik als wandlungsfähiges System erarbeitet HERNÁNDEZ (2003) Gestaltungsanforderungen und definiert im Zuge dessen *Wandlungsobjekte*. Diese sind den Systemebenen Fabrik, Produktions- und Logistikbereich, Fertigungs-, Montage- und Logistiksystem sowie Arbeitsstation zugeordnet und in die Arten Raum, Technik und Organisation eingeteilt (siehe Abbildung 8). Aufgrund der vorliegenden Betrachtung überbetrieblicher Mobilitätspotenziale wurde die oberste Ebene Netzwerk an dieser Stelle zur Originalquelle ergänzt, abweichend von den Ausführungen des Verfassers, der diese Ebene explizit nicht betrachtet (HERNÁNDEZ 2003, S. 42 u. 65).

Die individuellen und ungerichteten Eigenschaften dieser *Wandlungsobjekte*, sich verändern zu können, werden als sogenannte *Wandlungsbefähiger* bezeichnet. Sie sind als abrufbares Veränderungspotenzial zu verstehen und tragen durch ihre Existenz und Wirkungsweise zur effizienten Bewältigung der Anpassungsanforderungen der Fabrik bei. Auf der Basis der Arbeit von HERNÁNDEZ (2003) können die in Abbildung 8 dargestellten fünf Wandlungsbefähiger definiert werden (WIENDAHL ET AL. 2005, S. 26). Sie sind als Attribute eines wandlungsfähigen Systems zu interpretieren, dessen Spektrum bzw. Raum sich hierarchisch und dimensional gliedern lässt (siehe Abbildung 8).

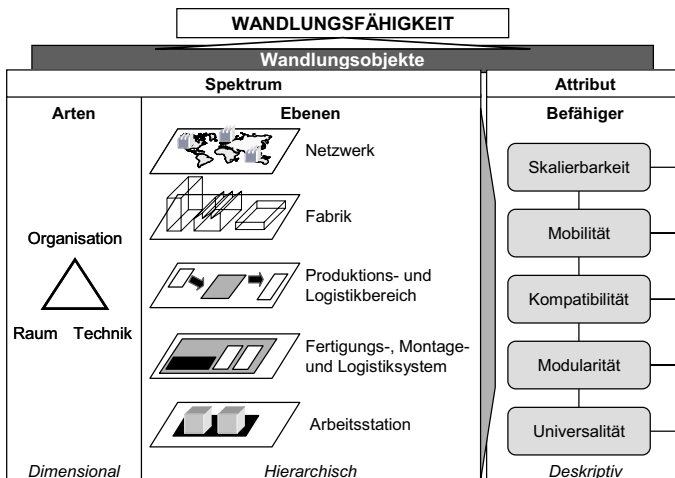


Abbildung 8: Wandlungsbefähiger einer Fabrik (i. A. an HERNÁNDEZ 2003, S. 57 u. 66, WIENDAHL ET AL. 2005, S. 26)

In Abschnitt 2.2.3.2 werden die Wandlungsbefähiger beschrieben und deren Eigenschaften und Interdependenzen analysiert. Im Fokus liegt dabei die Betrachtung des Wandlungsbefähigers Mobilität.

### 2.2.3.2 Beschreibung und Analyse der Wandlungsbefähiger – Schlussfolgerungen für die Mobilität

#### Beschreibung

Hinsichtlich der Gestaltung wandlungsfähiger Fabrikstrukturen ist die *Modularität* als zentraler Ansatz und damit als der grundlegendste Wandlungsbefähiger zu betrachten. Modularität erzeugt einen essenziellen strukturbildenden und ordnungsfördernden Charakter, der sowohl die technischen Einrichtungen der Fabrik (Gebäude, Betriebsmittel sowie Informations- und Versorgungssysteme) als auch die organisatorischen Strukturen umfassen kann. Durch Standardisierung von technischen Modulen und deren Schnittstellen wird das Ziel, vorgeprüfte und autonome Einheiten zu erhalten, maßgeblich unterstützt (WIENDAHL ET AL. 2005, S. 3)<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> Das Prinzip der Modularisierung wurde bereits von WILDEMAN (1988) diskutiert.



Die Beschreibung der anderen Befähiger lautet wie folgt (WIENDAHL ET AL. 2005, S. 3 F.):

- *Universalität* beschreibt die Eigenschaft von Objekten, für verschiedene Aufgaben, Anforderungen und Funktionen hinsichtlich Organisation, Produkt und Technologie verwendbar zu sein.
- Unter *Skalierbarkeit* wird die technische, räumliche, organisatorische und personelle Atmungsfähigkeit verstanden.
- *Kompatibilität* bezeichnet Vernetzungsfähigkeit von Objekten bezüglich Material, Medien und Energie.
- *Mobilität* bedeutet, wie in Abschnitt 2.1.3 erläutert, die örtliche Beweglichkeit physischer Fabrikelemente.

### **Analyse**

Eine eigene Untersuchung in diesem Zusammenhang zeigt jedoch unterschiedliche Eigenschaften der Wandlungsbefähiger. Es ist festzustellen, dass Wirkzusammenhänge zwischen den Wandlungsbefähigern bzw. deren zugrunde liegenden Prinzipien bestehen. So können z. B. alle Wandlungsbefähiger Attribute von Modulen sein, die durch Anwendung des Gestaltungsprinzips der Modularisierung entstehen (universale, skalierbare, mobile und kompatible Module). Darüber hinaus existieren bilaterale Beziehungen der Prinzipien untereinander, die sich gegenseitig *fördern* oder auch *verlangen* können. Bezüglich der Mobilität fällt die Besonderheit auf, dass ausdrücklich jeder der anderen Wandlungsbefähiger die Mobilität der Fabrik fördern kann. Diese Eigenschaft, durch alle anderen Wandlungsbefähiger unterstützt zu werden, besitzt keiner der übrigen Wandlungsbefähiger. Damit sind, bezogen auf die Mobilität, die übrigen Wandlungsbefähiger Grundvoraussetzungen der Mobilität selbst und können als *Mobilitätsbefähiger* interpretiert werden.

Die einzelnen Mobilitätsbefähiger Modularität, Kompatibilität, Skalierbarkeit und Universalität sind über das gesamte hierarchisch und dimensional aufgespannte Spektrum wirksam. So wird Mobilität z. B. durch Modularität und Kompatibilität der Betriebsmittel (Ebene Arbeitsstation) unmittelbar positiv beeinflusst. Des Weiteren können die Skalierbarkeit und Universalität der übrigen Standorte im Produktionsnetzwerk (Ebene Fabrik) entscheidende Grundvoraussetzungen darstellen.

Eine Übersicht der Wirkzusammenhänge gibt die folgende Abbildung 9.

## 2 Grundlagen der Nutzung von Mobilität in der Produktion

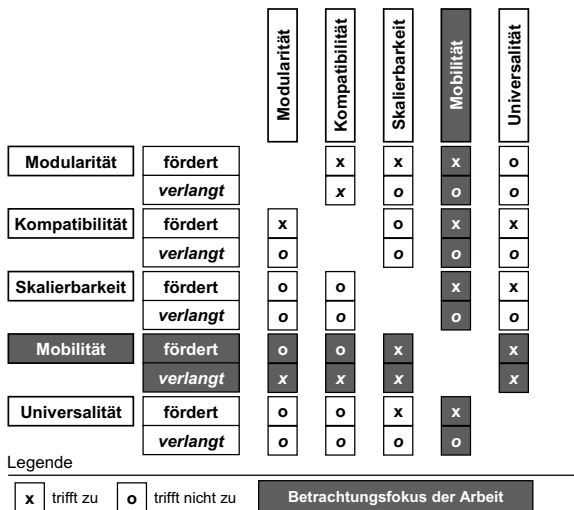


Abbildung 9: Interdependenzen zwischen den Wandlungsbefähigern

### Schlussfolgerung

Aus der Ausübung von Mobilität resultieren Verlagerungsaktivitäten, die stets mit Strukturveränderungen im Produktionsnetzwerk verbunden sind. Die dadurch entstehenden Auswirkungen für das Unternehmen sind als Funktion dieser heterogenen und situationsbezogen induzierten Strukturveränderungen aufzufassen. Diese bestimmen auch die Bedeutung der analysierten Mobilitätsbefähiger. Bezogen auf die Zielsetzung der Arbeit ist es daher erforderlich, die Formen bzw. Ausprägungen der Mobilität sowie der resultierenden Strukturveränderungen in einem Produktionsnetzwerk systematisch zu beschreiben. Dies ermöglicht eine spätere schematische Klassifizierung und Eingrenzung der zu bewertenden Mobilitätsszenarios und eine vereinfachte Identifikation der für eine Bewertung zu berücksichtigenden Faktoren. Zudem sind die Gründe zu beleuchten, warum produzierende Unternehmen die Einrichtung von Mobilität als Fähigkeit der Fabrik und deren Nutzung in Betracht ziehen.

Es ist daher notwendig, die folgenden Schritte durchzuführen:

- o Einordnung von Mobilitätsaspekten im Rahmen der Standortstrukturplanung (2.3.1),
- o Detaillierung möglicher Ausprägungen einer Nutzung von Mobilität in der Produktion (2.3.2),

- Beschreibung der Grundformen der Standortstruktur (2.3.3) und
- Beleuchtung der Motivation für die Bereitstellung von Mobilität (2.4).

## 2.3 Mobilität im Kontext der Standortstrukturplanung

### 2.3.1 Mobilitätsaspekte in der Standortstrukturplanung

#### 2.3.1.1 Standortstrukturplanung als Teil der Standortplanung

Die Standortstruktur stellt die räumliche Verteilung der Standorte eines Produktionsnetzwerkes dar (LÜDER & KÜPPER 1983, S. 5, BANKHOFER 2001, S. 15), welche durch die globale Verteilung von Kosten, Märkten und Know-how maßgeblich beeinflusst wird (REINHART ET AL. 2006, S. 175). Diese räumliche Trennung führt zur Aufteilung der Leistungserstellung nach Art und/oder Menge. Die Standortstrukturplanung ist als Teildisziplin der Standortplanung des Unternehmens aufzufassen (BANKHOFER 2001, S. 16). Die Aufgabe des der Standortplanung übergeordneten Standortmanagements besteht darin, Standortstrategien zur Erfüllung der Unternehmensziele vorzugeben. Die Aufgabe der Standortplanung selbst hingegen ist *„die Bestimmung von optimalen oder zumindest hinreichend guten Standorten für eine oder mehrere Betriebsstätten im Hinblick auf eine oder mehrere Zielgrößen unter Einhaltung bestehender Restriktionen“* (LÜDER 1990, S. 29). Sie ist in zwei Aufgabenebenen zu trennen (MERATH 1999, S. 37). Auf der oberen Ebene steht die Standortstrukturplanung, welche die Bestimmung und Optimierung der Standortstruktur als Summe der Einzelstandorte zur Aufgabe hat. Dies beinhaltet einzelne Standortentscheidungen sowie die geographische Verteilung der Unternehmenskapazitäten. Die Standortstrukturplanung ist damit als strategischer Teil der Standortplanung aufzufassen (LÜDER & KÜPPER 1983, S. 119, GOETTE 1994, S. 42 F., MERATH 1999, S. 37). Von der Standortstrukturplanung zu unterscheiden ist die untere Ebene der Standortplanung, welche die fallspezifische Planung einzelner Standorte zur Aufgabe hat und auch als Standortprojektplanung bezeichnet wird (IHDE 1984, S. 94, MERATH 1999, S. 37).

#### 2.3.1.2 Erweiterungsbedarf der Standortstrukturplanung

Die Optimierungsaufgabe der Standortstrukturplanung besteht in der Maximierung der Differenz zwischen Erlösen und Kosten unterschiedlicher Standortkon-

## 2 Grundlagen der Nutzung von Mobilität in der Produktion

---

figurationen. Letztere lassen sich durch drei charakteristische Merkmale beschreiben (MERATH 1999, S. 38):

- die Anzahl an Standorten im Produktionsnetzwerk,
- deren räumliche Verteilung sowie
- die Aufteilung der Leistungserstellungsprozesse auf die einzelnen Standorte des Produktionsnetzwerkes.

Die Bestimmungsgründe für die räumliche Struktur sind

- die Produktionskosten, die von der Zusammenfassung bzw. Trennung der Leistungserstellung auf die Standorte abhängen,
- die Transferkosten<sup>5</sup>, welche die unterschiedlichen Transport- und Austauschbedingungen zwischen den einzelnen Standorten widerspiegeln und
- die standortbezogenen Kosten und Erlöse, die aus den unterschiedlichen Standortbedingungen resultieren.

Das erreichte Gleichgewicht einer installierten räumlichen Standortstruktur des Produktionsnetzwerkes wird durch die in der Ausgangssituation (siehe 1.1) beschriebene Dynamik der Umwelt ständig verändert. Damit geht die Vorteilhaftigkeit einer bestehenden Konfiguration verloren. Sie erhält hierdurch den temporären Charakter, welcher zur Mobilität als Lösungsansatz führt. NAUER konstatierte bereits im Jahr 1968: „*Was wir heute als Optimum betrachten, kann morgen schon überholt sein*“ (NAUER 1968, S. 167). BREDE (1971) geht noch einen Schritt weiter: „*Denn würden in der ökonomischen Wirklichkeit die Postulate der rechnerisch-rationalen Standorttheorie wörtlich genommen und wäre die Annahme der vollkommenen Mobilität der Produktionsmittel erfüllt, so bildeten Standortverschiebungen nicht die Ausnahme, sondern die Regel, und die kapitalisierte Wirtschaft wäre durch eine dauernde örtliche Verlagerung gekennzeichnet*“ (BREDE 1971, S. 42).

Somit entstehen für die Standortstrukturplanung neue Herausforderungen. Künftig ist diese um Aufgaben zu erweitern, die derzeit auf der Ebene der Fabrik iso-

---

<sup>5</sup> Transferkosten sind gleichbedeutend mit Distanzkosten und beinhalten Transport- und Kommunikationskosten. Die Transportkosten beinhalten die Transportkosten i. e. S. (Raumüberwindung), die von der Transportzeit abhängigen Kapitalbindungskosten sowie die kostenmäßige Wirkung von Transportrisiken (VON WEIZÄCKER 1995, S. 36).

liert im Rahmen der Fabrikstrukturplanung bearbeitet werden. Letztere hat die Aufgabe, technisch, organisatorisch und ökonomisch funktionsfähige Struktureinheiten zu bilden, welche als Basis der Gestaltung von Produktionsprozessen dienen (HENN & KÜHNLE 1996, S. 9-57, WIENDAHL 2001a, S. 197, GRUNDIG 2006, S. 29). Unter der Annahme existierender Mobilität der Produktionsressourcen reicht es nicht mehr aus, die Anzahl der Standorte, deren räumliche Verteilung sowie die langfristige Zuordnung der Leistungserstellung zu optimieren, sondern es sind mittelfristige Verschiebungen innerhalb der Produktlebenszyklen in die Betrachtung zu integrieren. Hierzu ist eine Analyse und Detaillierung möglicher Ausprägungen von Mobilität erforderlich.

### 2.3.2 Ausprägungen der Nutzung von Mobilität in der Produktion

#### 2.3.2.1 Allgemeines

Wandlungsfähige Strukturen und in besonderem Maße die Mobilität der Produktionsressourcen stellen ein Potenzial zur Optimierung der Standortstruktur dar. Das hierdurch erreichte Anpassungspotenzial ist vielseitig und durch die heterogenen Ausprägungen einer Nutzung des produktionstechnischen Freiheitsgrades zu beschreiben. Die Ausprägungen lassen sich durch die in Tabelle 2 aufgeführten Merkmale konkretisieren, welche in den aufgeführten Abschnitten vertieft werden.

	Konkretisierung durch die	Beschreibung	Abschnitt
(1)	Form der Standortmobilität	Welche Veränderung ergibt sich bez. der Anzahl an Standorten?	2.3.2.2
(2)	Bestandteile der Verlagerung	Was wird bewegt?	2.3.2.3
(3)	Häufigkeit der Verlagerungen bezogen auf einen Produktionslebenszyklus	Wie oft wird verlagert?	2.3.2.4

Tabelle 2: *Detaillierung der Nutzung von Mobilität in der Produktion*

#### 2.3.2.2 Formen der Standortmobilität

Durch die Kombination der Veränderungsalternativen Stilllegung und Teilstilllegung sowie (Neu-)Errichtung und Erweiterung ergeben sich, wie in Abbildung

## 2 Grundlagen der Nutzung von Mobilität in der Produktion

---

10 dargestellt, die Formen der sogenannten Standortmobilität (SÄLZER 1985, S. 46, HAGEDORN 1994, S. 18). Hierdurch lassen sich Standortveränderungen danach einteilen, wie sich die Anzahl der Standorte verändert.

	<b>Stilllegung</b>	<b>Teilstillegung</b>
<b>Errichtung</b>	Verlagerung (o)	Aufteilung (+)
<b>Erweiterung</b>	Vereinigung (-)	Teilverlagerung (o)

Legende

- (o) gleich bleibende Anzahl an Standorten
- (+) Erhöhung der Anzahl an Standorten
- (-) Verringerung der Anzahl an Standorten

Abbildung 10: Formen der Standortmobilität (i. A. an HAGEDORN 1994, S. 18)

Der Begriff *Verlagerung* bedeutet, dass ein Standort zum Teil oder ganz stillgelegt und die Leistungserstellung an einem anderen Ort wieder aufgenommen wird. Bei der *Vereinigung* wird der Leistungserstellungsprozess von zwei oder mehreren Einzelstandorten an einem gemeinsamen Standort konzentriert. Unter *Aufteilung* wird eine Dezentralisierung von ursprünglich an einem Standort konzentrierten Produktionsaktivitäten auf verschiedene Standorte bezeichnet. Von einer *Teilverlagerung* wird gesprochen, wenn die Anzahl der Standorte gleich bleibt, aber die Zuordnung von Prozessen zu Standorten verändert wird.

### 2.3.2.3 Bestandteile der Verlagerung

Eine weitere wichtige Spezifikation der Mobilitätsausübung resultiert aus dem gestalterischen Aspekt, welche Bestandteile (Objektbereiche) des Fabriksystems unter der Zielsetzung der Verlagerbarkeit mobil zu gestalten sind (SCHENK & WIRTH 2004, S. 151). Zur Strukturierung lassen sich Betriebsmittel, Organisation sowie Raum- und Gebäudetechnik als Gestaltungsbereiche einer Fabrik von der Hierarchieebene Fabrik abwärts heranziehen (siehe Abbildung 8). Die Betriebsmittel umfassen dabei auch die wichtigen übergeordneten Systeme der produktionsnahen Infrastruktur zur Versorgung sowie Informations- und Kommunikationssysteme (WIRTH ET AL. 2003, S. 289, WIENDAHL ET AL. 2005, S. 20). Dies entspricht einer Unterteilung des Fabriksystems in Produktions- und Gebäudesystem (SCHENK & WIRTH 2004, S. 491), wobei die organisatorischen Aspekte den Relationen des Produktionssystems entsprechen (EVERSHEIM 1992, S. 2058). Auf der obersten Ebene wurden als zusätzliche Elemente die Lieferanten und deren prozessuale Anbindung (Relationen) eingefügt, wodurch die systemtheore-

tische Betrachtung auf das Wertschöpfungsnetz ausgedehnt wird (siehe Abbildung 11).

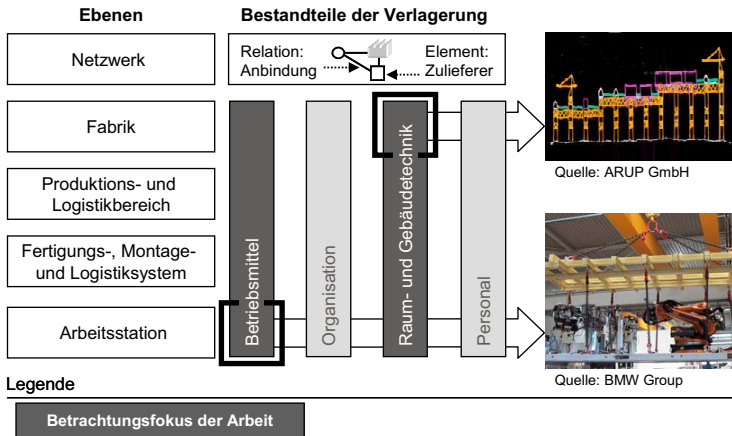


Abbildung 11: Mögliche Bestandteile bei der Nutzung von Mobilität

Allgemein liegt der Fokus der Mobilitätsbetrachtungen auf Anlagen und Betriebsmitteln, da insbesondere diese Ressourcen Defizite hinsichtlich der Mobilität aufweisen (WESTKÄMPER 1999, S. 131). Die diesbezüglichen Lösungsansätze zielen darauf ab, den einmaligen Aufwand für den Transfer zwischen den Standorten zu verringern (MÜLLER ET AL. 2006, S. 198). Dies bedeutet im engeren Sinne eine Vereinfachung von De- und Remontage und eine verbesserte Transportierbarkeit durch Modularität und Kompatibilität der Betriebsmittel. Beispielhaft zeigt Abbildung 11 unten rechts eine mobile Rohbaukarosserieanlage, die sogenannte *MobiCell* der BMW Group. Auf einem wieder verwendbaren Grundrahmen aus Stahl mit den maximale Ausmaßen von 2,9 m und 5,8 m werden Roboter, Vorrichtungsmodule sowie Schalt- und Einspeiseschränke samt Verkabelung zu einem autarken Fertigungsbaustein zusammengesetzt (ZÄH & BAYERER 2004, S. 141, WIENDAHL ET AL. 2005, S. 120).

Die Verlagerung der Gebäude bzw. von Gebäudeteilen im Sinne eines Konzeptes einer „Fabrik am Haken“ (WIENDAHL & WORBS 2000) stellt die Abkehr von der klassischen Trennung von Mobilien und Immobilien dar. Hierzu gibt es verschiedene Anwendungsbeispiele, die sich aber eher auf Produktionshüllen für Anlagen in Containerform als auf das Gebäude selbst beziehen. Beispielhafte Betrachtungen stellen transportable, konfigurierbare Containerprüfstände für Mo-

toren zum Ausgleich von Bedarfsschwankungen (WITTE & VIELHABER, S. 143 F) sowie Containerkonzepte für die Trinkglasproduktion (LANGE-STALINSKI 2003, S. 131, SCHUH ET AL. 2004c, S. 35) dar. Ansonsten wird der Gebäudestruktur eine rein mobilitätsunterstützende Funktion zugewiesen. Aspekte sind hierbei eine flexible Flächengestaltung und optimale Bedingungen für eine schnelle Verlagerung der Anlagen. Dies ist durch die optimale Zugänglichkeit für Lastkraftwagen, standardisierte Medienversorgungen und eine maximale Bekranung des Gebäudes sicherzustellen (ZÄH & BAYERER 2004, S. 144). Ein derartiges Konzept ist beispielhaft oben rechts in Abbildung 11 skizziert. Im Sinne der vollständigen Betrachtung wird zudem auf die Bedeutung der Mobilität von personellen Ressourcen verwiesen (SCHENK & WIRTH 2004, S. 151, MÜLLER & SPANNER-ULMER 2005, S. 66).

### 2.3.2.4 Häufigkeit der Verlagerung im Produktionslebenszyklus

Bei einer vergleichenden Betrachtung von mobilen und konventionellen (immobilen) Produktionssystemen ist der Produktionslebenszyklus als Referenzobjekt zu sehen. Der Produktionslebenszyklus bezeichnet dabei die Zeitdauer der Verwendbarkeit eines Produktionssystems, welche gleichbedeutend ist mit der Gesamtdauer der technischen Funktionsfähigkeit (VDI 2884, VON DER OSTENSACKEN 1999, S. 32). Durch die Ausübung von Mobilität werden durch die räumliche Verlagerung die zusätzlichen Phasen Demontage, Transport und Remontage in den Lebenszyklus integriert. Ausgehend von der abstrakten Betrachtung von Mobilität ist demnach eine Unterscheidung nach der Häufigkeit der Verlagerung für ein Produktionssystem während des Produktlebenszyklus durchzuführen. LANGE-STALINSKI (2003, S. 76 F.) definiert hierfür ein Klassifizierungssystem für unterschiedliche Mobilitätsgrade eines Produktionssystems. Die abgeleiteten Klassen unterteilen sich nach der Anzahl geplanter (im Sinne voraussichtlich stattfindender) Verlagerungen im Lebenszyklus des Produktionssystems. Sie werden in Abbildung 12 dargestellt, charakterisiert und anhand der Bedeutung der Zielgrößen Standortneutralität, Verlagerbarkeit und Rekonfigurierbarkeit unterschieden. Unter Standortneutralität wird dabei die Unabhängigkeit von den Eigenschaften eines Standortes verstanden, während Verlagerbarkeit die Möglichkeit der Positionsveränderung über eine gewisse Distanz beschreibt. Die Rekonfigurierbarkeit wird als Fähigkeit verstanden, vorhandene und neue Aufgaben, Prozesse sowie Ressourcen geeignet kombinieren zu können. Prinzipiell reicht das Spektrum von keiner geplanten Verlagerung (*remontierbares Produktionssystem*) über Zwischenstufen der langfristigen (*verlagerbares Produktions-*



system) sowie kurzfristigen Verlagerung (*temporäres Produktionssystem*) zur Grenzannahme einer kontinuierlichen Verlagerung (*bewegliches Produktionssystem*), die einer Produktion in Bewegung gleichkommt.

Klasse	(1)	Charakteristik	Bedeutung Zielgröße		
			(2)	(3)	(4)
Bewegliches Produktionssystem	$\infty$	Produziert in Bewegung	●	●	⊕
Temporäres Produktionssystem	$>x$	Produziert an kurzfristig wechselnden Standorten	●	⊖	●
Verlagerbares Produktionssystem	$2 \cdot x$	Produziert an langfristig wechselnden Standorten	⊖	⊖	⊖
Remontierbares Produktionssystem	$0-1$	Verlagerung in Ausnahmefällen	⊕	⊖	⊕

Legende

(1) Anzahl geplanter bzw. voraussichtlicher Verlagerungen im Lebenszyklus des Produktionssystems  
 (2) Standortneutralität  
 (3) Verlagerbarkeit  
 (4) Rekonfigurierbarkeit  
 Bedeutung der Zielgrößen : ● hoch ⊖ mittel ⊕ gering  
 x : Maximale Anzahl an Verlagerungen, die einen spezifischen Lebenszyklus so zerteilt, dass die entstehenden Produktionsintervalle noch als langfristig zu bezeichnen sind.

Abbildung 12: Klassifizierung von Produktionssystemen nach Mobilitätsgraden (i. A. an LANGE-STALINSKI 2003, S. 76 F.)

Mögliche Ausprägungen einer Nutzung von Mobilität in der Produktion können durch die Merkmale Veränderung der Anzahl an Standorten, Bestandteile der Verlagerung und Häufigkeit der Verlagerungen im Produktionslebenszyklus (siehe 2.3.2) spezifiziert werden. Ein darüber hinaus gehendes Beschreibungsmerkmal stellt die durch die Ausübung der Mobilität induzierte Veränderung der Standortstruktur des Produktionsnetzwerkes dar. Die Grundlage für die Beschreibung wird durch sogenannte Standortstrukturtypen definiert, welche im nächsten Abschnitt 2.3.3 beschrieben werden.

### 2.3.3 Beschreibung von Standortstrukturen

Im Rahmen der Analyse der Standortstruktur stellt sich die Frage, welche grundsätzlichen Möglichkeiten Industrieunternehmen zur räumlichen Verteilung ihrer Produktionsaktivitäten haben. Als Grundformen lassen sich neben der sogenannten Einstandortunternehmung (*Standorteinheit*) mit den Begriffen *Standortspaltung*, *Standortteilung* und *Standortdiversifikation* drei weitere Formen räumlicher

## 2 Grundlagen der Nutzung von Mobilität in der Produktion

Strukturen unterscheiden. Sie ergeben sich in Abhängigkeit davon, ob eine Art- und/oder Mengenteilung der Leistungserstellung erfolgt. Artteilung beschreibt die Aufteilung des gesamten Produktionsprozesses zur Herstellung des Endproduktes in räumlich verteilte Produktionsstufen. Sie kann produkt- oder fertigungsbezogenen Charakter haben. Mengenteilung dagegen liegt vor, wenn die erforderlichen Mengen einer ausgewählten Güterart bzw. die Produktionskapazitäten auf mehrere dezentrale Produktionsstätten aufgeteilt werden, so dass an jedem Standort eine Teilmenge des Gutes vollständig erstellt wird (SÄTZER 1985, S. 16 F., HARDOCK 2000, S. 31). Die Darstellung alternativer Grundformen mit Hilfe sogenannter Standortstrukturwürfel beschreibt HAGEDORN (1994, S. 16). Ausgehend von einer Standorteinheit werden in Abbildung 13 exemplarische Standortstrukturwürfel für die *Standortspaltung* (Mengenteilung), die produkt- und fertigungsstufenorientierte *Standortteilung* (Artteilung) sowie die *Standortdiversifikation* (Kombination aus Standortspaltung und -teilung) aufgezeigt.

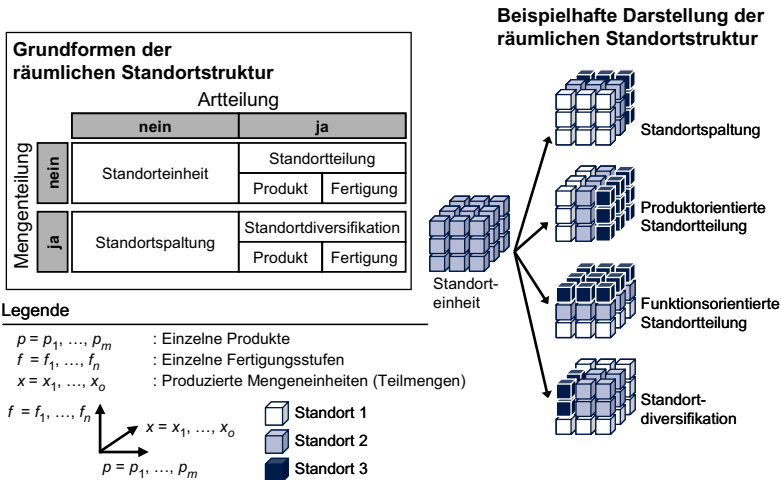


Abbildung 13: Grundformen der räumlichen Struktur von Produktionsunternehmen (i. A. an HAGEDORN 1994, S. 16)

Dabei werden mit  $p = (p_1, \dots, p_m)$  die einzelnen Produkte, mit  $f = (f_1, \dots, f_n)$  die einzelnen Fertigungsstufen und mit  $x = (x_1, \dots, x_o)$  die einzelnen Mengen der hergestellten Produkte bezeichnet (HAGEDORN 1994, S. 16).

Unterliegt der Betrachtung von Standortstrukturen und deren Form eine internationale bzw. zwischenstaatliche Dimension (geographische Dezentralisierung),

so ändern sich die erläuterten Bezeichnungen der räumlichen Struktur (siehe Abbildung 13) in die in Abbildung 14 aufgeführten Begrifflichkeiten *Weltmarktfabrik*, *Parallelproduktion* und *internationale Verbundproduktion* (KLEIN 1993, S. 39, HARDOCK 2000, S. 33).

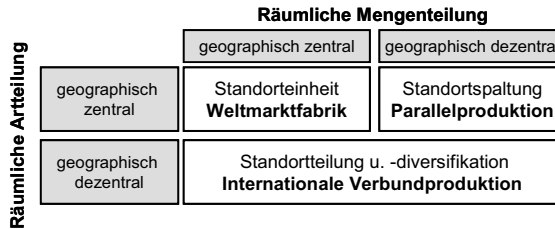


Abbildung 14: Terminologie der Standortstruktur bei geographischer Ausdehnung (KLEIN 1993, S. 39)

Für die Bewertungsmethodik stellt die Beschreibung der induzierten Veränderung der Standortstruktur im Produktionsnetzwerk eine wichtige Eingangsgröße dar. Die Definition der in Abschnitt 2.3.3 erläuterten Standortstrukturtypen erlaubt eine Beschreibung der Zustände vor und nach der Verlagerung und charakterisiert folglich auch den Veränderungsprozess. Letzterer ist für die Bewertungsmethodik als kostenrelevantes Element zu spezifizieren.

Damit wurde in Abschnitt 2.3 der Freiheitsgrad der Mobilität in der Produktion hinsichtlich seiner Bedeutung und seiner Auswirkungen für bzw. auf die Standortstruktur und deren Planung beleuchtet. Die Detaillierung möglicher Ausprägungen einer Nutzung von Mobilität in der Produktion (2.3.2) erlaubt zusammen mit der Beschreibung der Veränderung der Standortstruktur (2.3.3) eine Konkretisierung einer spezifischen Bewertungsaufgabe für die zu erstellende Methodik. Mit dem folgenden Abschnitt 2.4 schließt das Kapitel 2. Es werden bestehende Erklärungsansätze für die Internationalisierung der Produktion dargelegt und bezüglich ihrer Relevanz für die Einrichtung von Mobilität als produktionstechnischer Handlungsspielraum analysiert.

### 2.4 Motivation für die Bereitstellung von Mobilität

#### 2.4.1 Zieldimensionen von Auslandsengagements

Mehrere Studien untersuchen, warum Unternehmen Produktionskapazitäten im Ausland aufbauen bzw. bereits bestehende durch Investitionen erweitern. Die dabei durchweg genannten Gründe für die Initiierung von Auslandsengagements lassen sich in die Kategorien Absatz- und Kostenorientierung einordnen (KINKEL ET AL. 2002, S. 6 F., DIHK 2003, S. 6 F., KINKEL ET AL. 2004, S. 15 F., PA CONSULTING GROUP 2004, THE BOSTON CONSULTING GROUP INC. 2004, S. 16-23, ABELE & KLUGE 2005). Als weiterer Grund für ein verstärktes Auslandsengagement wird die Forderung von Schlüsselkunden aufgeführt, sich im Ausland in der Nähe des Kunden anzusiedeln („Following Customer“). Dieser ist der Kategorie Absatzorientierung zuzuordnen. Außerdem wird die Erschließung von Technologie und Know-how als weitere Zieldimension genannt (KINKEL 2003, S. 44 F., MEYER 2006a, S. 22 F.). Die allen Studien gemeinen Hauptmotive für die internationale Aufteilung (Allokation) der Produktion lassen sich aus existierenden Standortfaktorensystematiken herleiten. KINKEL (2004a) führt eine kritische Betrachtung bestehender Standortfaktorenkataloge (BEHRENS 1971, HANSMANN 1974, TESCH 1980, HUMMEL 1997) durch, die in einer neuen Standortfaktorensystematik unter Berücksichtigung von Performancefaktoren mündet (KINKEL 2004a, S. 53). Die Verknüpfung von länderspezifischen Standortfaktoren mit standortspezifischen operativen Leistungskennzahlen sowie die Berücksichtigung der zugrunde liegenden dynamischen Entwicklung erlaubt es, die Motivation für die Bereitstellung für den Mobilitätsbedarf von Unternehmen zu analysieren und zu beschreiben. Das Potenzial des räumlichen Freiheitsgrades der Mobilität wird dabei umso höher sein, je mehr Veränderungen für den Verlauf des Lebenszyklus des Produktionssystems anzunehmen sind, die eine Verlagerung des Produktionssystems unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit begünstigen (LANGE-STALINSKI 2003, S. 19, ZÄH ET AL. 2003b).

#### 2.4.2 Produktlebenszyklustheorie

Ein theoretischer Ansatz, um räumliche Verlagerungen zu erklären, ist die Produktlebenszyklustheorie. Sie geht auf VERNON (1966) und HIRSCH (1967) zurück und beruht auf der Hypothese, dass Produkte auf ihren Märkten Veränderungen bezüglich der Produktgestaltung, der Produktionsbedingungen und der Absatz-

märkte unterworfen sind (DUNNING 1988, HÖFT 1992, S. 31 FF.). Im Laufe des Produktlebenszyklus vollzieht sich dabei eine Schwerpunktverschiebung von einer humankapital- zu einer sachkapital- oder arbeitsintensiven Produktion (VERNON 1966, HIRSCH 1967). Daraus lässt sich schließen, dass phasenspezifische Standortanforderungen der Güterherstellung bestehen (CAVES ET AL. 1990, S. 183 F., SCHÄTZL 2003, S. 214 F.).

Innovative Produkte erfordern in der Regel zu Beginn des Lebenszyklus einen großen Einsatz an hochqualifiziertem Humankapital. So ist es in der frühen Phase des Anlaufprozesses bei komplexen Fertigungsprozessen häufig der Fall, dass Probleme auftreten, die nur durch ein hohes Maß an Entwicklungskompetenz behoben werden können. Deshalb wird in der Einführungsphase eines innovativen Produktes in der Regel das „Innovationsland“ als Produktionsstandort gewählt. Wichtig erweisen sich in dieser Zeit ein intensiver Austausch zwischen Herstellern, Lieferanten und Abnehmern sowie eine hohe Flexibilität der Fertigung. Sind leistungsfähige Zulieferer in der Nähe, dann ist ein Unternehmen in der Lage, seine Aktivitäten ständig mit diesen zu koordinieren und kann kurze Kommunikationswege nutzen. Dies führt zu einer zeitnahen und effizienten Versorgung (PORTER 1991, S. 109 F., KINKEL 2003, S. 38). Wenn die Herstellung des Produktes aufgrund wachsender Erfahrung in Fertigung und Montage sowie aufgrund der höheren Absatzmengen standardisiert ist, verlagern sich die Erfolgsfaktoren von der innovativen Leistung zum kostenfokussierten Herstellungsprozess. Mit steigenden Stückzahlen in der Wachstumsphase des Produktes nimmt die Bedeutung der Produktionskosten zu, während die Notwendigkeit einer hohen Kompetenz der Komplexitätsbeherrschung in der Fertigung abnimmt (HESCH 1998, S. 38, RUNER 1999, S. 73, HARDOCK 2000, S. 63).

Der Veränderung der Anforderungen an die Produkterstellung innerhalb des Lebenszyklus kann durch mobile Konzepte begegnet werden, indem die räumliche Zuordnung der Produktion an die sich ändernden Randbedingungen angepasst werden kann. Demnach führen die Produktlebenszyklustheorie wie auch die in 2.4.1 aufgeführten Zieldimensionen des Auslandsengagements zu Gründen für die Bereitstellung mobiler Produktionsressourcen.

### **2.4.3 Erklärungsansätze zur Bereitstellung von Mobilität**

Die folgende Abbildung 15 beschreibt die Erklärungsansätze zur Bereitstellung von Mobilität und fasst somit die Abschnitte 2.4.1 und 2.4.2 zusammen.

## 2 Grundlagen der Nutzung von Mobilität in der Produktion

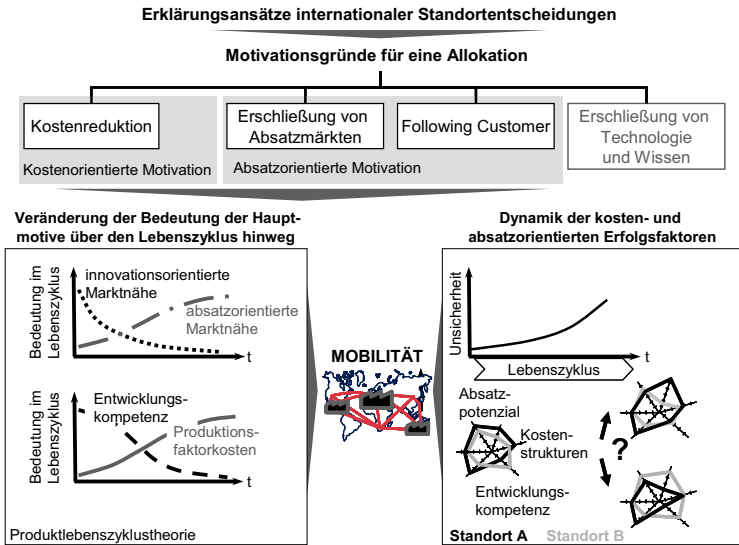


Abbildung 15: Erklärungsansätze zur Bereitstellung und Nutzung von Mobilität

Abbildung 15 zeigt die vier Hauptmotive der Allokation der Produktion, von denen sich die drei für Mobilität relevanten Motivationsgründe unter kosten- und absatzorientierten Gesichtspunkten gliedern lassen. Die Erschließung von Technologie und Wissen wird nicht als Motivation für eine Erhöhung der Mobilität eingestuft. Daraus folgt, dass die Bereitstellung mobiler Produktionsressourcen einerseits aus einer Veränderung der Bedeutung der einzelnen Faktoren Kosten, Absatz und Kompetenz resultiert (Abbildung 15 unten links – Abschnitt 2.4.2), andererseits die Dynamik der Erfolgsfaktoren selbst den Mehrwert von Mobilität steigert (Abbildung 15 unten rechts – Abschnitt 2.4.1).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Beweggründe für herkömmliche Standortentscheidungen als Erklärungsansätze überbetrieblicher Mobilität in der Produktion nicht ausreichend sind, sondern sich der Wert der Mobilität erst durch die Dynamik der standortentscheidenden Einflussgrößen ergibt. Die sich durch den Stand des Produktes im Produktlebenszyklus ändernden Anforderungen an die Herstellung eines Produktes im Lebenszyklus (Produktlebenszyklustheorie) können den Wert von Mobilität in der Produktion weiter erhöhen. Die Wertbestimmung ist Aufgabe der Investitionsrechnung. Deren Grundlagen werden in Kapitel 3 beleuchtet.

## 3 Grundlagen der Investitionsrechnung

### 3.1 Allgemeines

#### 3.1.1 Zielsetzung und Aufbau des Kapitels

Die Zunahme der Unsicherheit des Unternehmensumfeldes zieht grundlegende Auswirkungen auf die Konzepte der strategischen Unternehmensführung nach sich. Hierdurch definiert sich auch ein Anforderungsprofil für die Investitionsrechnung, welches die Berücksichtigung von Unsicherheit und Handlungsspielräumen beinhaltet. Zahlreiche Autoren konstatieren hierzu, dass die fehlende Integration dieses Aspektes durch die traditionellen Investitionsrechenverfahren zu einem Erklärungsnotstand in komplexen Entscheidungsprozessen führt (LAUX 1993, S. 933, MEISE 1998, S. 3, GÖTZE & BLOECH 2002, S. 81). Vor diesem Hintergrund konzentrieren sich die folgenden Abschnitte auf die Beschreibung der traditionellen Verfahren der Investitionsrechnung (3.2) und gehen darüber hinaus auf das Konzept der Bewertung von Realoptionen (Realoptionsansatz) (3.3) ein. Dieser Ansatz ermöglicht es, Defizite der traditionellen Verfahren hinsichtlich der oben genannten Anforderungen zu überwinden.

#### 3.1.2 Begriffsdefinitionen

In diesem Abschnitt werden die wichtigsten Begriffe definiert, welche für das Verständnis der folgenden Ausführungen als relevant erachtet werden.

**Bewertung:** Der Grad der Eignung eines Mittels zur Zweckerfüllung wird als Wert bezeichnet und ist damit die Maßgröße für die Zielerreichung. Der Grad der relativen Präferenz hingegen ordnet die verschiedenen Alternativen. Bewertung umfasst somit sowohl das Ermitteln und Zuordnen von Zielwirksamkeitsgrößen als auch die Herstellung einer Rang- und Präferenzordnung in Bezug auf die Zielsetzung und hat somit immer subjektiven Charakter (MARTINI 1995, S. 22).

**Investition, Investitionsplanung und -rechnung:** Die allgemeine Verwendung finanzieller Mittel wird als **Investition** bezeichnet (WÖHE 1996, S. 737). Sie ist durch einen Zahlungsstrom gekennzeichnet, der mit Auszahlungen beginnt und in späteren Zeitpunkten Ein- und Auszahlungen erwarten lässt (GÖTZE & BLOECH 2002, S. 5). Aufgabe der **Investitionsplanung** als Teil der Unterneh-

### 3 Grundlagen der Investitionsrechnung

---

mensplanung ist die Planung, Realisation und Kontrolle betrieblicher Investitionsprojekte. Der gesamte Planungsprozess lässt sich wie in Abbildung 16 dargestellt beschreiben. Die Investitionsrechnung hat dabei die Aufgabe, den zukünftigen Investitionserfolg zu prognostizieren und zu bewerten. Damit erfüllt sie eine bewertungs- und entscheidungsunterstützende Funktion (EILENBERGER 1994, S. 146 F., HORVÁTH 1996, S. 18-69), welche durch das Hinzuziehen weiterer Verfahren und Kriterien ergänzt werden kann (WÖHE 1996, S. 745).

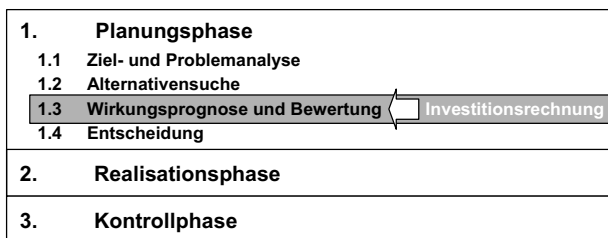


Abbildung 16: Investitionsplanungsprozess (i. A. an WÖHE 1996, S. 722)

**Sicherheit, Risiko und Ungewissheit:** Entscheidungsmodelle lassen sich nach der Vollkommenheit des Kenntnisstandes bezüglich der Umwelt in drei Klassen unterteilen (SALIGER 1993, S. 17, BAMBERG & COENENBERG 1996, S. 66 F.).

- Eine *Sicherheitssituation* liegt vor, wenn das Eintreten zukünftiger Entwicklungen mit absoluter Sicherheit feststeht, d. h. jeder Aktion eines Entscheidungsträgers ist genau ein Ergebnis zugeordnet.
- Eine *Risikosituation* liegt vor, wenn der Entscheidungsträger die Menge zukünftiger Umweltzustände kennt und er dem Eintreten dieser Zustände Wahrscheinlichkeiten objektiver oder subjektiver Art zuordnen kann. Folglich können aus einer Aktion mehrere Ergebnisse resultieren.
- Eine *Ungewissheitssituation* stellt eine Risikosituation ohne Kenntnis der Wahrscheinlichkeiten dar.

Die Begriffe Risiko und Ungewissheit werden in der Literatur häufig unter dem Begriff **Unsicherheit** zusammengefasst, andererseits werden die Begriffe Unsicherheit und Risiko häufig synonym verwendet (SALIGER 1993, S. 17, KILKA 1995, S. 5). Letzterem schließt sich die vorliegende Arbeit an. Während die Berücksichtigung ungewisser Ereignisse in Systemen zur Entscheidungsunterstüt-



zung nur bedingt möglich ist, können Risikosituationen quantitativ erfasst werden. In dieser Arbeit werden daher ausschließlich Risikosituationen betrachtet.

**Modell:** Unter einem Modell wird die abstrahierende Abbildung der Realität verstanden (KRUSCHWITZ 2005, S. 21).

### **3.1.3 Bedeutung der Investitionsentscheidung und resultierende Anforderungen an die Investitionsrechnung**

Investitionen sind für die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen von zentraler Bedeutung, da sie den Bestand an Ressourcen und damit die Kostenposition des Unternehmens aufgrund des hohen Kapitaleinsatzes, der langfristigen Kapitalbindung und der weitreichenden Wirkung auf verschiedene Unternehmensbereiche maßgeblich beeinflussen. Sie stellen die Grundlage erfolgreicher Wettbewerbsstrategien dar und entscheiden über die Fähigkeit des Unternehmens, langfristige Erfolgspotenziale aufzubauen und auszuschöpfen. Die Qualität von Investitionsentscheidungen bestimmt demnach die langfristige Überlebenschance des Unternehmens (KILKA 1995, S. 1, MEISE 1998, S. 1).

Das Ziel ist folglich die ökonomisch vorteilhafte Auswahl und die Steuerung von Investitionen auf der Basis geeigneter Entscheidungsverfahren. Diese lassen sich in quantitative (monetäre) und qualitative (nicht-monetäre) Verfahren untergliedern, wobei innerhalb der monetären Verfahren der Investitionsrechnung eine zentrale Bedeutung zufällt (HALLER 1999, S. 63 F.). Quantitative und qualitative Ansätze können sich hierbei gegenseitig ergänzen, stehen aber gleichzeitig in Konkurrenz zueinander. Dies wird daran deutlich, dass in der Unternehmenspraxis häufig Entscheidungen beobachtet werden können, die aus Sicht der theoretischen Erkenntnisse der Investitionsrechnung als irrational einzustufen sind. Betrachtungen zeigen, dass Unternehmen bzw. Entscheidungsträger häufig bewusst überhöhte Parameter (z. B. Kalkulationszinssätze) für die Investitionsrechnung wählen oder deren Ergebnisse aus strategischen Gesichtspunkten ignorieren (PRIETZE & WALKER 1995, S. 209 F.). Grund hierfür ist, dass die Investitionsrechnung nicht alle relevanten Einflussfaktoren erfassen kann. Andererseits sind die Wirkmechanismen von Investitionen bezüglich der Zukunft des Unternehmens von so hoher Komplexität, dass die Intuition der Entscheidungsträger als alleinige Grundlage für die Entscheidung meist nicht ausreichend ist. Somit kann auf die Verwendung der Investitionsrechnung nicht verzichtet werden (EILENBERGER 1994, S. 134).

## 3.2 Traditionelle Verfahren der Investitionsrechnung

### 3.2.1 Statische Verfahren der Investitionsrechnung

Die Verfahren der traditionellen Investitionsrechnung lassen sich in einem ersten Schritt in *statische* und *dynamische Verfahren* unterteilen. Erstere finden breite Anwendung in der Praxis, sind aber eher als Hilfsverfahren einzustufen. Ihre Beliebtheit ist bedingt durch ihre einfache und aufwandsarme Anwendung. Die Verfahren werden als statisch bezeichnet, weil sie den Zeitbezug von Einzahlungen und Auszahlungen nicht berücksichtigen. Aufgrund dieser konzeptionellen Unterlegenheit (KILKA 1995, S. 9, MEISE 1998, S. 23) sind sie als zukunftsorientierte Entscheidungsverfahren ungeeignet. Daher werden sie an dieser Stelle nicht weiterführend betrachtet. Eine detaillierte Beschreibung der dieser Kategorie zugehörigen Verfahren der Kosten-, Gewinn- und Rentabilitätsvergleichsrechnung sowie der Amortisationsrechnung findet sich in den meisten einschlägigen Lehrbüchern (EILENBERGER 1994, BLOHM & LÜDER 1995., HORVÁTH 1996, GÖTZE & BLOECH 2002, KRUSCHWITZ 2005).

### 3.2.2 Dynamische Verfahren der Investitionsrechnung

#### 3.2.2.1 Grundprinzip und Verfahrensüberblick

Unter Berücksichtigung des Zeitbezugs anfallender Ein- und Auszahlungen ist eine Investition im Wesentlichen gekennzeichnet durch ihre Zahlungsreihe. Diese bildet die Differenz der aus der Investition resultierenden Ein- und Auszahlungen ab. Zur Bewertung der Vorteilhaftigkeit einer Investition werden bei den dynamischen Verfahren die zukünftig anfallenden Zahlungsströme mit einem Diskontierungsfaktor (Kalkulationszinssatz) diskontiert (abgezinst). Hierdurch wird der gewünschten Verzinsung des Investors und dem Zeitbezug der Zahlungen Rechnung getragen (BLOHM & LÜDER 1995, S. 55, HORVÁTH 1996, S. 18-72). Die Verzinsung kann als Belohnung für den heutigen Verzicht auf Konsum zuzüglich einer Risikoprämie für die Unsicherheit des zukünftigen Geldeingangs bezeichnet werden (BAECKER ET AL. 2003, S. 195). Dieses Grundprinzip ist allen dynamischen Verfahren gleich. Die Vielzahl existierender dynamischer Einzelverfahren lässt sich nach BLOHM & LÜDER (1995) in Vermögenswertmethoden und Zinssatzmethoden trennen, was Abbildung 17 zeigt.

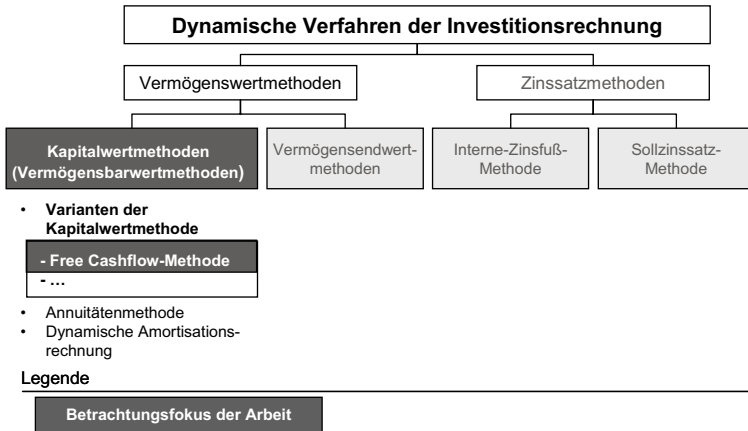


Abbildung 17: Überblick über die dynamischen Verfahren der traditionellen Investitionsrechnung (i. A. an BLOHM & LÜDER 1995, S. 55)

In der Kategorie der Vermögenswertmethoden sind neben dem bekanntesten Verfahren der Kapitalwertmethode (Vermögensbarwertmethode) die Endwertmethode (Vermögensendwertmethode), die Annuitätenmethode und die dynamische Amortisationsrechnung zu nennen. Unter der Kategorie der Zinssatzmethoden sind die Interne-Zinsfuß-Methode (Interne-Zinssatz-Methode) und die Sollzinssatzmethode mit jeweils zusätzlichen speziellen Formen zusammengefasst.

Die Kapitalwertmethode wird als die qualitativ hochwertigste Methode aller dynamischen Verfahren bezeichnet (KILKA 1995, S. 9, MEISE 1998, S. 24, SCHÄFER 1999, S. 170). Hierzu existieren hauptsächlich im angloamerikanischen Bereich verschiedenste Ausprägungen, die aber für die weiteren Betrachtungen irrelevant<sup>6</sup> sind. Es wird in Anlehnung an MEISE (1998) und KILKA (1995) die sogenannte „Free Cashflow“-Methode (*FCF*-Methode) zu Grunde gelegt und im weiteren Verlauf als Kapitalwertmethode bezeichnet. Die freien Cashflows (*FCF*) einer Investition sind die tatsächlichen Zahlungsströme nach Steuern, die durch das Projekt erzeugt werden und sowohl Eigenkapitalgebern (Aktionären) als auch Fremdkapitalgebern (Banken) zur Verfügung stehen. Bezogen auf ein Investitionsprojekt ist zu beachten, dass nicht auszahlungswirksame Größen (Ab-

<sup>6</sup> Zur Erläuterung der verschiedenen Kapitalwertmethoden und deren Unterschiede siehe RUBACK (2000), SCHÄFER (1999) oder DRUKARCZYK (1998).

schreibungen) nicht im *FCF* enthalten sind (COPELAND ET AL. 1994, S. 131 FF., WÖHE 1996, S. 1060).

Zur Erläuterung der übrigen dynamischen Verfahren wird auf die Literatur verwiesen (EILENBERGER 1994, S. 171 FF., BLOHM & LÜDER 1995, S. 54 FF., WÖHE 1996, S. 762, SCHÄFER 1999, S. 67 FF., GÖTZE & BLOECH 2002, S. 66 FF.)

#### 3.2.2.2 Kapitalwertmethode

Das Kapitalwertverfahren ist zur Bewertung von Investitionen in Theorie und Praxis weithin anerkannt. Es wird der Kapitalwert einer Investition ermittelt, indem die Ein- und Auszahlungen auf einen Bewertungszeitpunkt diskontiert werden. Meistens wird der Kapitalwert auf den Beginn des Planungszeitraums bezogen. Die Größe stellt in diesem Falle einen Barwert bzw. *Present Value (PV)* dar, der sich als Geldvermögenszuwachs bezogen auf den Diskontierungszeitpunkt interpretieren lässt. Unter dieser Annahme wird der Begriff Nettobarwert bzw. *Net Present Value (NPV)* verwendet (GÖTZE & BLOECH 2002, S. 71). Die grundlegende Formel für den Kapitalwert lautet

$$KW = NPV = -I_0 + \sum_{t=1}^T \frac{X_t}{(1+i)^t}. \quad (1)$$

$KW$	Kapitalwert bezogen auf die Periode $t = 0$
$NPV$	Net Present Value bezogen auf die Periode $t = 0$
$I_0$	Investitionsauszahlung in Periode $t = 0$
$t$	Periode, $0 \leq t \leq T$
$T$	Planungszeitraum (Anzahl diskreter Zeitperioden)
$X_t$	Zahlungsstrom (Cashflow) in Periode $t$
$i$	Diskontierungsfaktor (Kalkulationszinssatz) bzw. Kapitalkosten

Eine Investition ist dann vorteilhaft, wenn der Kapitalwert positiv ist, denn dann liegt die Verzinsung über der geforderten Mindestrendite des Investors und der Wert des Unternehmens wird durch die Investition erhöht. Diese Sichtweise hat als Shareholder-Value-Ansatz das letzte Jahrzehnt geprägt (MEISE 1998, S. 26).

Die Ermittlung der Kapitalkosten dient der Integration des Investitionsrisikos in die Kapitalwertmethode und entspricht der Bestimmung des Diskontierungsfak-

tors  $i$  in Formel (1). Die Zahlungsströme sind mit den Opportunitätskosten der Kapitalgeber zu diskontieren. Dies stellt einen Vergleich zur Rendite der besten Vergleichsinvestition derselben Risikoklasse dar. Zur Bestimmung des angemessenen Zinssatzes existieren verschiedene Verfahren. Das meistverwendete ermittelt die gewichteten durchschnittlichen Kapitalkosten (Weighted Average Costs of Capital (*WACC*)). Die Fremdkapitalkosten ergeben sich aus aktuellen Markrenditen von Fremdkapital mit vergleichbarem Risiko. Die Ermittlung der Eigenkapitalkosten erweist sich demgegenüber als wesentlich schwieriger, da keine vertraglichen Zahlungsverprechen gegenüber den Eigenkapitalgebern bestehen. Die Herleitung der Eigenkapitalkosten basiert in der Theorie vor allem auf Kapitalmarktmodellen. Hierbei ist vor allem das *Capital Asset Pricing Model (CAPM)*, basierend auf den Arbeiten von SHARPE (1964), zu nennen (PRIETZE & WALKER 1995, S. 200, MEISE 1998, S. 28)<sup>7</sup>. Wegen verschiedenster Annahmen und Schwierigkeiten der theoretischen Modelle wird in der Praxis jedoch zumeist auf die subjektiven Risikoeinschätzungen des Managements zurückgegriffen (KILKA 1995, S. 22). Wenn das Projektrisiko wächst, wird auch der Diskontierungsfaktor größer gewählt werden (HULL 2006, S. 853).

Diesem Prinzip folgend soll auch in dieser Arbeit die Aussage gelten, dass die Kapitalkosten die Renditeerwartung der Investoren widerspiegeln und der Diskontierungsfaktor damit zum Teil als Risikoabschlag einer Investition zu deuten ist. Dies führt im Allgemeinen zu einer Verwendung des langfristigen Kapitalmarktzinses (landesüblicher Zinsfuß risikoloser Kapitalanlagen  $r_f$ ), der durch einen Risiko- und Geldentwertungsfaktor korrigiert wird (PRIETZE & WALKER 1995, S. 200). Eine kritische Diskussion über die Funktion des Diskontierungsfaktors findet sich bei MOXTER (1991) und PERRIDON & STEINER (1999, S. 87). Beide Autoren unterstreichen den vergleichenden Charakter von Investitionsentscheidungen. Bei der Betrachtung der Formel (1) wird deutlich, dass es prinzipiell zwei Möglichkeiten gibt, der Unsicherheit und dem damit verbundenen Risiko des Investitionsvorhabens zu begegnen. Zum einen kann eine Risikoanpassung des Zählers vorgenommen werden, zum anderen eine solche des Nenners. Diese Korrekturverfahren werden als Sicherheitsäquivalenzverfahren und Verfahren risikangepasster Diskontierungsfaktoren bezeichnet und aufgrund ihres stark subjektiven Charakters kritisch bewertet (BLOHM & LÜDER 1995, S. 248 F., KILKA 1995, S. 9 FF.). Zur Überprüfung der Ergebnisse können jedoch auch

---

<sup>7</sup> Alternativ ist das Marktmodell der Arbitrage Pricing Theory (APT) zu nennen (ROSS 1976). Zur Erläuterung der Kapitalmarktmodelle siehe COPELAND ET AL. (2005, S. 147 FF.).

Plausibilitätstests oder Sensitivitätsanalysen durchgeführt werden. Diese ergänzenden Verfahren zur Kapitalwertmethode werden im folgenden Abschnitt 3.2.2.3 beleuchtet.

#### 3.2.2.3 Ergänzende Verfahren zur Kapitalwertmethode

##### Sensitivitätsanalyse

Im Anschluss an die Kapitalwertbestimmung wird in einem zusätzlichen Schritt die Sensitivität des Ergebnisses gegenüber den Veränderungen der einfließenden Modellparameter (Absatzmengen, Zinssätze, Preise etc.) betrachtet (BLOHM & LÜDER 1995, S. 255 FF., TOMASZEWSKI 2000, S. 75 FF.). Grundsätzlich ermöglicht dies die Bestimmung kritischer Werte durch die Bedingung  $KW = 0$ . Bei diesem Vorgehen (*Verfahren kritischer Werte*) wird typischerweise von einer Konstanz der anderen unsicheren Größen ausgegangen (Ceteris-paribus-Betrachtung). Werden jedoch mehr als zwei Unsicherheitsgrößen modelliert, so lassen sich die Ergebnisse nicht mehr zweidimensional darstellen (BLOHM & LÜDER 1995, S. 251, KRUSCHWITZ 2005, S. 331). Sensitivitätsanalysen lösen aber das Problem der Entscheidung bei Unsicherheit nicht, es werden lediglich ein Einblick in die Struktur des Investitionsobjektes vermittelt und Auswirkungen der Unsicherheit auf die Ergebnisgröße aufgezeigt (KRUSCHWITZ 2005, S. 331).

##### Szenariobasierter Kapitalwert

Als Erweiterung der Sensitivitätsanalyse werden bei einer Szenarioanalyse konsistente Szenarios der Veränderung mehrerer Werttreiber abgeleitet. Diese typischerweise optimistisch, pessimistisch oder konservativ gebildeten Szenarios sind mit Eintrittswahrscheinlichkeiten zu gewichten (BAECKER ET AL. 2003, S. 20). Für jedes Szenario wird dann aber ein separater Kapitalwert ermittelt, welcher lediglich dem Wert der Investition unter ganz bestimmten Prämissen (BONDUELLE ET AL. 2003, S. 6) entspricht. Die Möglichkeit des Managements, die Investition szenarioübergreifend anzupassen, wird somit vernachlässigt.

##### Risikoanalyse

Ziel der Risikoanalyse ist es, eine Wahrscheinlichkeitsverteilung für die Outputgröße einer Investitionsrechnung aus sicheren und unsicheren Informationen über die Inputgrößen abzuleiten. Dabei werden mögliche Ausprägungen unsicherer Inputgrößen in Form von Wahrscheinlichkeitsverteilungen angegeben und stochastische Abhängigkeiten zwischen den unsicheren Inputgrößen modelliert (KRUSCHWITZ 2005, S. 332). Diese Abhängigkeiten lassen sich über die Formu-

lierung von Korrelationskoeffizienten definieren, oder es besteht die Möglichkeit, bedingte Verteilungen zwischen zwei Inputgrößen zu definieren. Risikoanalysen können analytisch oder mit Hilfe von nicht-prozessorientierten Simulationen (*Monte-Carlo-Simulation*) durchgeführt werden. Bei einer *Monte-Carlo-Simulation* handelt es sich um ein Verfahren zur numerischen Lösung mathematischer Problemstellungen durch Verwendung von Zufallszahlen (MERTENS 1982, S. 10, KERSTEN 1996, S. 18, MUN 2002, S. 102). In mehreren Simulationsläufen werden die Parameter aus zuvor definierten Wahrscheinlichkeitsverteilungen und gemäß modellierter Zusammenhänge extrahiert und anschließend in eine Häufigkeitsverteilung des Ergebniswertes überführt. Ein wesentlicher Nachteil der Verfahren zur Risikoanalyse ist die Wahl des Diskontierungsfaktors (HOMMEL & PRITSCH 1999b, S. 128), da ein risikoadjustierter Diskontierungsfaktor einer doppelten Erfassung des Risikos gleichkommt und eine Diskontierung mit einem risikolosen Zinssatz  $r_f$  die vollständige Erfassung der projektinhärenten Unsicherheiten impliziert.

### Value-at-Risk (*VaR*)

Der Value-at-Risk (*VaR*) resultiert aus dem Konzept der Risikoanalyse und hat sich seit Ende der 1990er Jahre als Standard bei der Messung und Quantifizierung der Marktpreisrisiken von Handelsbeständen etabliert. Die Kennzahl findet jedoch auch außerhalb von Banken zur Risikomessung von Investitionen auf Zahlungsstromebene immer häufiger Anwendung. Vereinfacht stellt sie den maximal zu erwartenden Verlust (vom gegenwärtigen Wert) dar, der nur mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit  $\alpha$  überschritten wird (siehe Abbildung 18).

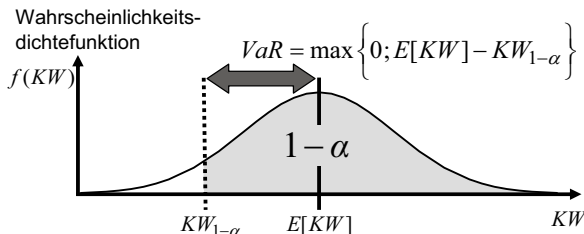


Abbildung 18: Value-at-Risk (*VaR*) einer Investition

Der *VaR* wird definiert (WILKENS & VÖLKER 2001, S. 441 FF., KREMERS 2002b, S. 120 FF.) als die erwartete maximale negative Änderung des Marktwertes einer Position bzw. Investition oder eines Portfolios (in Geldeinheiten) aufgrund der Schwankung spezifizierter Marktfaktoren. Er bezieht sich auf einen festgelegten

Zeitraum und basiert auf einem statistischen Modell mit einem festzulegenden Konfidenzniveau (Vertrauensbereich)  $1 - \alpha$ . In Abbildung 18 beschreibt der Kapitalwert  $KW_{1-\alpha}$  den Wert der Investition, welcher mit einer Wahrscheinlichkeit von  $1 - \alpha$  nicht unterschritten wird. Die Differenz zwischen dem Erwartungswert  $E[KW]$  der Verteilung und dem Kapitalwert  $KW_{1-\alpha}$  wird dann als *VaR* bezeichnet und als positive Zahl angegeben.

Zur Bestimmung des *VaR* werden verschiedene analytische und simulationsgestützte Verfahren benutzt (WILKENS & VÖLKER 2001, S. 441 FF.). Im Gegensatz zur Anwendung auf Wertpapierportfolios sind bei klassischen Investitionsvorhaben analytische Ansätze ungeeignet und es ist auf statistische Verfahren wie die *Monte-Carlo-Simulation* zurückzugreifen (KREMERS 2002a, S. 210 FF.).

#### 3.2.2.4 Fazit zur Anwendung des Kapitalwertverfahrens

Das Kapitalwertverfahren ist das akzeptierte und grundlegende Modell zur Bestimmung der Vorteilhaftigkeit von Investitionsprojekten in Theorie und Praxis (COPELAND & ANTIKAROV 2002, S. 77, GÖTZE & BLOECH 2002, S. 80). Dies zeigt sich u. a. in Studien von PETRY & SPROW (1993), GRAHAM & HARVEY (2001) und VOLLRATH (2001). In Abschnitt 3.2.2.3 wurden Möglichkeiten aufgezeigt, wie unsichere Zahlungsströme und das damit verbundene Risiko mit Hilfe von Ergänzungsverfahren in die Berechnung integriert werden können. Dabei werden Unsicherheiten und deren Auswirkungen über Erwartungswerte und Angaben zu deren Streuung transparent gemacht. Dennoch spielen mit der Investition verbundene strategische Handlungsmöglichkeiten häufig eine ebenso bedeutende Rolle wie zukünftige Zahlungsströme. Deren Integration kann maßgeblichen Einfluss auf die Entscheidungsfindung haben. In Abschnitt 3.2.2.5 wird daher das Entscheidungsbaumverfahren vorgestellt. Als einziges der traditionellen Verfahren integriert es Handlungsmöglichkeiten in die Betrachtung und stellt diese in einer sogenannten Baumstruktur dar.

#### 3.2.2.5 Entscheidungsbaumverfahren

Das Entscheidungsbaumverfahren basiert auf einer Arbeit von MAGEE (1964) und stellt eine Methode zur Bewertung von Projekten dar, in deren Verlauf die Zahlungsströme in Abhängigkeit von der eingetretenen Entwicklung des Umfeldes durch Entscheidungen beeinflusst werden können. Die Durchführung einer Investition wird daher nicht mehr wie bei den bisher vorgestellten Verfahren als



„Jetzt-oder-nie“-Entscheidung getroffen (SCHÄFER 1999, S. 345), sondern es wird zwischen der ursprünglichen Investitionsentscheidung und den nachfolgenden Entscheidungen differenziert (BLOHM & LÜDER 1995, S. 280, KILKA 1995, S. 27). Ein Entscheidungsbaum ist ein gerichteter Baum mit Wurzel, die Knoten jeder Pfeilfolge sind alternierende Elemente von Entscheidungs- und Zufallsknoten. Nach jeder getroffenen Entscheidung tritt ein Umweltzustand mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit ein. Die Ermittlung des Ergebniswertes für einen Entscheidungsbaum erfolgt rekursiv mittels eines „Rollback-Verfahrens“, welches auf dem Prinzip der dynamischen Programmierung beruht<sup>8</sup>. Die optimale Strategie wird anhand der auf den Entscheidungszeitpunkt diskontierten Erwartungswerte der nachfolgenden Knoten ermittelt (HOMMEL & LEHMANN 2001, S. 118, BAECKER ET AL. 2003, S. 21). Jedem Entscheidungsknoten wird dann das Maximum der zum Entscheidungszeitpunkt verfügbaren Handlungsalternativen zugewiesen.

Basierend auf FISCHER ET AL. (1999) wird das Berechnungsvorgehen anhand eines einfachen zweiperiodigen Projektes in Abschnitt 9.1.3 des Anhangs erläutert.

### **Fazit**

Unter Verwendung des Entscheidungsbaumverfahrens ist der Investor in der Lage, Handlungsspielräume, die mit Investitionen verbunden sind, explizit zu modellieren und zu bewerten. Im Gegensatz zur passiven Berechnung des Kapitalwertes ist keine sofortigen Festlegung des Investitionsverhaltens in  $t = 0$  erforderlich. Das Verfahren zwingt damit die Unternehmensführung, mögliche Handlungsalternativen in Abhängigkeit von der Umweltentwicklung explizit darzulegen. Das gravierende Defizit des Entscheidungsbaumverfahrens liegt in der Annahme, dass wie beim Kapitalwertverfahren mit einem für alle Perioden konstanten Diskontierungsfaktor gerechnet wird und dadurch von einem über die Zeit konstanten Projektrisiko ausgegangen wird (MEISE 1998, S. 40, COPELAND & ANTIKAROV 2002, S. 111, BAECKER ET AL. 2003, S. 21). Diese Annahme steht im Konflikt mit der Integration von Handlungsspielräumen, gerade wenn Projekte mit und ohne Handlungsspielräume zu vergleichen sind. Auf diesen Aspekt wird im folgenden Abschnitt 3.2.3 näher eingegangen.

---

<sup>8</sup> Das Grundprinzip der dynamischen Programmierung ist im Anhang (Abschnitt 9.1.2) erläutert.

#### 3.2.3 Defizite und Grenzen der traditionellen Bewertungsverfahren

Bei Anwendung der traditionellen dynamischen Bewertungsverfahren erweist sich nach den bisherigen Ausführungen die Erfüllung der folgenden Anforderungen als problematisch (KILKA 1995, S. 29):

- (1) Bestimmung des Diskontierungsfaktors,
- (2) Schätzung unsicherer zukünftiger Cashflows und
- (3) Integration von unternehmerischen Handlungsspielräumen.

Die *Kapitalwertmethode* behilft sich bezüglich der Anforderungen (1) und (2) mit verschiedenen zusätzlichen Verfahren (siehe 3.2.2.3), scheitert aber maßgeblich an Anforderung (3)<sup>9</sup>. Dies liegt darin begründet, dass das Verfahren aus den Diskontierungsmodellen zur Bewertung festverzinslicher Wertpapiere entwickelt wurde. Charakteristisch für Investoren in derartige Wertpapiere ist, dass sie weitgehend passiv bleiben (KAEN 1995, S. 188 F.). Im Gegensatz hierzu geben Wertpapiere wie z. B. Wandelanleihen und Optionen dem Investor einen gewissen Handlungsspielraum, um auf bestimmte Marktentwicklungen zu reagieren. Den Wert eines solchen Finanztitels mittels des Kapitalwertverfahrens zu bestimmen ist ebenso unmöglich wie die Integration unternehmerischer Handlungsspielräume realer Investitionen (STEINER & BRUNS 1995, S. 329 F. und 429 F.).

Das *Entscheidungsbaumverfahren* missachtet hingegen die Wirkung von Handlungsspielräumen auf das Risikoprofil von Projekten. Wie in Abbildung 19 dargestellt, führen Handlungsspielräume zu einer Veränderung des Verteilungstyps der zu diskontierenden Rückflüsse der Investition. Aus symmetrischen Gewinn-Verlust-Relationen entstehen asymmetrische Zahlungsstrukturen (MEISE 1998, S. 17). Die Handlungsspielräume können hierbei defensiven (Schutz vor Verlusten) oder offensiven Charakter (Eröffnung von Chancen) besitzen (siehe Abbildung 19). Dies verlangt eine Neubestimmung des Diskontierungsfaktors in Abhängigkeit von der Veränderung des systematischen Projektrisikos<sup>10</sup> über der

---

<sup>9</sup> „You could say that DCF does not reflect the value of management.“ (BREALEY & MYERS 1996, S. 591)

<sup>10</sup> In der Kapitalmarkttheorie wird zwischen zwei Arten von Risiko unterschieden. Das systematische Risiko bezeichnet das sogenannte Marktrisiko. Es resultiert aus der Korrelation der Rendite einer Anlage mit den Renditen des gesamten Wertpapiermarktes. Hierfür wird eine Anpassung des Diskontierungsfaktors in Abhängigkeit des Projektes erforderlich. Im Gegensatz hierzu ist das unsystematische Risiko für die Betrachtung nicht relevant, da es mit Hilfe eines gut diversifizierten Portfolios fast vollständig eliminiert werden kann (HULL 2006, S. 159).

Zeit. Aus Vereinfachungsgründen verwendet das Entscheidungsbaumverfahren einen für alle Perioden und Umweltzustände konstanten Diskontierungsfaktor, woraus ein Bewertungsfehler resultiert (TOMASZEWSKI 2000, S. 83, COPELAND & ANTIKAROV 2002, S. 111, GÖTZE & BLOECH 2002, S. 441, BAECKER ET AL. 2003, S. 23).

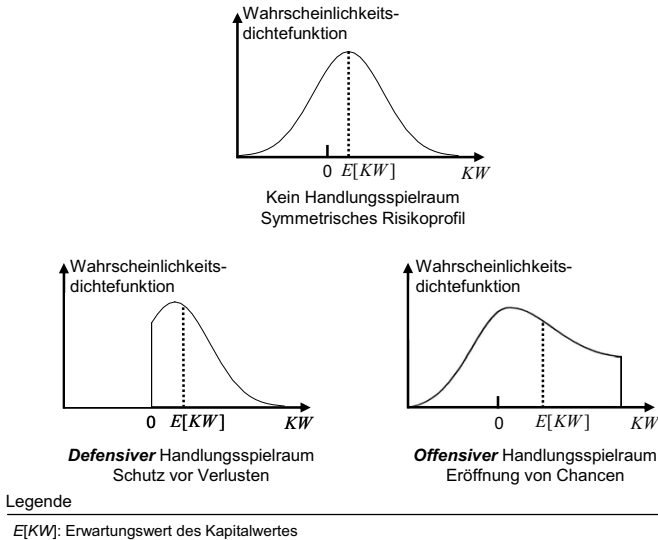


Abbildung 19: Veränderung des Risikoprofils von Investitionen durch Handlungsspielräume (i. A. an MEISE 1998, S. 18)

Eine ähnliche Herausforderung besteht bei der Bewertung derivativer Finanzinstrumente. Auch hier liegt eine asymmetrische Beziehung zwischen dem Optionswert und dem Wert des Basisobjektes (Aktie) vor (MEISE 1998, S. 60), wodurch eine Anpassung des Diskontierungsfaktors zur Optionswertbestimmung erforderlich ist. Jede Änderung des Aktienkurses führt zu einer Veränderung des Optionsrisikos, was die Bewertung durch die Kapitalwertmethode mit einheitlichem Diskontierungsfaktor unmöglich macht (LIEBLER 1996, S. 125). Die in der Finanztheorie entwickelten Bewertungsmodelle zielen daher explizit auf eine adäquate Risikoberücksichtigung.

Aufbauend auf Methoden zur Bestimmung von Optionspreisen können diese Erkenntnisse auf reale Investitionsprojekte übertragen werden. Dies wird in Abschnitt 3.3 erläutert.

### 3.3 Realloptionsansatz

#### 3.3.1 Struktur des Abschnittes

Das Ziel des Abschnittes 3.3 besteht in der Vermittlung eines Grundverständnisses des Realloptionsansatzes und des Bewertungsvorgehens für Optionen. Ausgehend von allgemeinen Grundlagen (3.3.2), welche eine Gegenüberstellung der Definitionen und Charakteristika von Finanz- und Realloptionen enthält, beschreibt Abschnitt 3.3.3 die Annahmen und die formale Ausführung der Bewertung. Im Anschluss werden verschiedene Verfahren zur Optionsbewertung bezüglich ihrer Vor- und Nachteile analysiert (3.3.4). Abschließend erfolgt eine kritische Betrachtung des Realloptionsansatzes (3.3.5).

#### 3.3.2 Grundlagen

##### 3.3.2.1 Entwicklung und Zielsetzung des Realloptionsansatzes

Ausgehend von der Tatsache, dass die Charakteristika realer Investitionsprojekten von Finanzoptionen ähneln, wurde seit etwa Anfang der 1980er Jahre die Theorie der Realloptionen (Realloptionsansatz) entwickelt (TRIGEORGIS 1993, S. 204, PRITSCH 2000, S. 13). Die grundlegende Ähnlichkeit beruht auf drei konstitutiven Eigenschaften, welche Finanzoptionen charakterisieren und gleichzeitig realen Investitionsprojekten zu eigen sind: *Flexibilität*, *Unsicherheit* und *Irreversibilität*. Für den Investor drückt sich die *Flexibilität* dadurch aus, dass er ein Recht, aber keine Verpflichtung erwirbt, eine Handlung in Abhängigkeit eines nicht genau vorhersehbaren Zustandes – also unter *Unsicherheit* – in der Zukunft auszuführen. Zudem sind mit dem Erwerb des Rechtes unwiederbringliche Kosten (*sunk costs*) verbunden (*Irreversibilität*) (PINDYCK 1991, S. 1110, MEISE 1998, S. 7 FF., HOMMEL & PRITSCH 1999b, S. 123).

Beginnend mit der Idee von MYERS (1977), Investitionsmöglichkeiten danach zu unterscheiden, ob sich der Wert des Projektes durch weitere mögliche Folgeinvestitionen vergrößern lässt oder nicht, und diese Wahlmöglichkeiten als Wachstumsoptionen zu charakterisieren, entstanden in der Folge zum Thema Realloptionen zahlreiche Publikationen. Einen guten Überblick geben BENGTSOON (2001) und SCHWARTZ & TRIGEORGIS (2001). Dieser anhaltende Trend wird unterstützt durch die ausnahmslos geäußerte Meinung, dass durch die Nichtbeachtung von

mit der Investition verbundenen Handlungsspielräumen eine systematische Unterbewertung durch die konventionellen Investitionsrechenverfahren einhergeht und ein Vergleich von Investitionen mit und ohne Handlungsmöglichkeiten daher scheitert (HAYES & GARVIN 1982, S. 71, HOMMEL & PRITSCH 1999b, S. 121, COPELAND & ANTIKAROV 2002, S. 22, AMICO ET AL. 2003).

### 3.3.2.2 Definitionen von Finanzoptionen

Mit Finanzoptionen werden Finanzierungsinstrumente bezeichnet, deren Wert von einer oder mehreren Basisvariablen abhängt. Es lassen sich zwei Typen von Optionen unterscheiden: die *Kaufoption (Call)* und die *Verkaufsoption (Put)*. Eine Option stellt eine vertragliche Vereinbarung zwischen einem Käufer und einem Verkäufer (auch: „Stillhalter“) dar. Die Vereinbarung räumt dem Käufer das Recht ein, eine bestimmte Menge eines Vermögensgegenstandes (*underlying, Basisobjekt*) zu oder bis zu einem bestimmten Zeitpunkt (*Verfallstermin, Optionsfrist*) zu einem festgesetzten Preis (*Ausübungspreis, Basispreis*) entweder zu kaufen (*Call*) oder zu verkaufen (*Put*). Kann der Käufer sein Recht jederzeit ausüben, so liegt eine „*amerikanische*“ Option vor. Ist eine Ausübung nur am Ende der Optionsfrist möglich, wird dies als „*europäische*“ Option bezeichnet. Die Verpflichtung des Verkäufers ist dem Recht des Käufers genau entgegengesetzt. Diese Art der Vertragsgestaltung ermöglicht es, Absicherungs-, Arbitrage<sup>11</sup>- und Spekulationsziele zu verfolgen. Unabhängig von der späteren Ausübung erhält der Verkäufer bei Vertragsabschluss als Gegenleistung für das Einräumen des Optionsrechts eine Optionsprämie, die dem Marktwert der Option entspricht (TRIGEORGIS 1996, S. 69, MEISE 1998, S. 47, FRANKE ET AL. 2001, S. 5).

### 3.3.2.3 Interpretation und Definition von Realloptionen

Optionen beinhalten das Recht, aber nicht die Verpflichtung, in der Zukunft eine bestimmte Handlung durchzuführen. Bezogen auf die Investitionsplanung von Unternehmen kann die folgende Definition für Realloptionen abgeleitet werden.

#### **Definition von Realloptionen**

Unter einer Realloption werden „(...) *zukünftige Handlungsspielräume und Investitionsmöglichkeiten eines Unternehmens in Verbindung mit der Fähigkeit des*

---

<sup>11</sup> Arbitrage im engeren Sinne zielt darauf ab, Preisunterschiede an verschiedenen Handelsplätzen auszunutzen (PERRIDON & STEINER 1999, S. 306).

### 3 Grundlagen der Investitionsrechnung

Managements, operative Entscheidungen an veränderte Umweltbedingungen anzupassen [verstanden]“ (HOMMEL & PRITSCH 1999b, S. 123). „Realoptionen stellen demnach ein Bündel von Handlungsoptionen in Bezug auf die Verwendung und Nutzung realer Aktiva dar.“ (HOMMEL & PRITSCH 1999b, S. 123).

Der Wert von Realoptionen steigt daher mit dem Grad der Unsicherheit der zukünftigen Entwicklung. Dies führt dazu, dass sich der erwartete Kapitalwert eines Investitionsprojektes ohne Berücksichtigung von Handlungsmöglichkeiten  $E[NPV]$  (passiver Kapitalwert) durch die Berücksichtigung vorhandener Optionen um einen sogenannten Flexibilitätswert  $\zeta$  erhöht. Daraus resultiert ein erweiterter Kapitalwert, für dessen Erwartungswert  $E[eNPV]$  gilt (TRIGEORGIS 1996, S. 123, BENAROCH 2001, S. 430):

$$E[eNPV] = E[NPV] + \zeta . \quad (2)$$

$E[eNPV]$  Erwartungswert des erweiterten Kapitalwertes

$E[NPV]$  Erwartungswert des passiven Kapitalwertes

$\zeta$  Optionswert

Darüber hinausgehend konkretisiert TRIGEORGIS (1996, S. 125) die konzeptionelle Analogie zwischen Finanz- und Realoptionen (siehe Abbildung 20).

Optionsterminologie und Parameter	Finanzoptionen	Realoptionen
Wert des Basisobjektes (underlying) : $S$	Aktienkurs	Bruttobarwert der erwarteten Cashflows aus dem Projekt
Ausübungspreis (exercise price) : $E$	Ausübungspreis	Investitionssumme zur Ausübung der Option
Laufzeit (time to expiration) : $T$	Optionsfrist	Zeitspanne, in der die Ausübung offensteht.
Volatilität (stock value volatility) : $\sigma$	Standardabweichung des Aktienkurses	Unsicherheit des Projektwertes
Risikoloser Zinssatz (riskless interest rate) : $r_f$	Risikoloser Zinssatz	Risikoloser Zinssatz

Abbildung 20: Einführung der Optionsterminologie unter Berücksichtigung der Analogie zwischen Finanz- und Realoptionen (i. A. an TRIGEORGIS 1996, S. 125)

### 3.3.2.4 Klassifikation von Realloptionen

Investitionen können verschiedene Handlungsmöglichkeiten im Verlauf des Lebenszyklus eröffnen. Folglich lassen sich Realloptionen in verschiedene Klassen einteilen (TRIGEORGIS 1995b, S. 3, HOMMEL & PRITSCH 1999a, S. 14). Je nachdem, in welche Klasse das Optionsrecht einzuordnen ist, resultiert daraus auch die Zuordnung, ob es sich um eine Kaufoption (*Call*) oder ein Verkaufsrecht (*Put*) handelt. Es existieren aber auch Realloptionen, welche als Portfolio, bestehend aus einer Kauf- und Verkaufsoption, zu verstehen sind. Eine „*Option to Switch*“ (Wechseloption) ermöglicht es, eine bestehende Aktivität zu beenden (*Put*) und durch eine zusätzliche Investition (*Call*) eine andere Technologie einzusetzen (COPELAND & ANTIKAROV 2002, S. 197). Dies ist für viele produktionstechnische Veränderungspotenziale charakteristisch. Eine „*Option to Stage Investment*“ hingegen wird als „*compound*“ bezeichnet, da sie sich aus einzelnen Optionsrechten zusammensetzt, die aufeinander aufbauen. Eine Übersicht einer möglichen Klassifizierung von Realloptionen zeigt Abbildung 21.

	Klassifikation	Charakterisierung
CALL	Verzögerungs-/Warteoption <i>Option to Wait</i>	Option, mit der Realisation einer Investition zu warten
COM- POUND	Option, die Investition zu staffeln <i>Option to Stage Investment</i>	Option, ein Investitionsprojekt in verschiedene Phasen zu zerlegen
CALL	Abbruch- und Wiedereröffnungsoption <i>Option to Shut Down and Restart</i>	Option, den laufenden Produktionsbetrieb temporär zu unterbrechen
PUT	Schließungsoption <i>Option to Abandon/Exit</i>	Option, ein Investitionsprojekt vor Ende des Lebenszyklus zu beenden
CALL/ PUT	Erweiterungs-/Einschränkungsoption <i>Option to Expand/Contract</i>	Option, die Produktionskapazität temporär zu verändern
CALL & PUT	Umstellungs-/Wechseloption <i>Option to Switch</i>	Option, zwischen alternativen Technologien zu wechseln
CALL	Innovationsoption <i>Option to Innovate</i>	Option, vorhandenes Know-how in Folgeinvestitionen umzusetzen

#### Legende

CALL/PUT : Kauf- (Erweiterung) oder Verkaufsoption (Einschränkung)

CALL&PUT : Portfolio aus Verkaufs- (Schließung, Einschränkung) und Kaufoption (Warten, Erweiterung)

Abbildung 21: Klassifikation und Beschreibung verschiedener Typen von Realloptionen (i. A. an HOMMEL & PRITSCH 1999a, S. 14)

### 3 Grundlagen der Investitionsrechnung

---

Aufbauend auf den gemeinsamen Charakteristika von Finanz- und Realloptionen wurden in Abschnitt 3.3.2 Möglichkeiten aufgezeigt, Realloptionen durch die Terminologie der Finanzoptionen zu beschreiben. Die aufgezeigten Analogien führen dazu, auch die Systematik zur Bewertung von Finanzoptionen auf Realloptionen zu übertragen. Im Fokus des nächsten Abschnittes 3.3.3 steht daher, das Grundprinzip der Bewertung von Finanzoptionen zu erläutern.

#### 3.3.3 Grundzüge der Bewertung von Finanzoptionen

##### 3.3.3.1 Asymmetrisches Auszahlungsprofil von Finanzoptionen

Sowohl Finanz- als auch Realloptionen verbrieften Rechte, aber keine Verpflichtungen, gewisse Handlungen in Abhängigkeit von der Umfeldentwicklung auszuführen. Daraus resultiert ein asymmetrisches Auszahlungsprofil, welches sich anhand einer vereinfachten Betrachtung für eine europäische Finanzoption am Ende der Laufzeit  $T$  darstellen lässt. Der Wert eines *Call* am Ende der Laufzeit  $T$  ( $C_T$ ) ergibt sich aus der Differenz zwischen dem Wert des *underlying* (hier: Kurs der Aktie, auf welche sich die Option bezieht) zum Zeitpunkt  $T$  ( $S_T$ ) und dem Ausübungspreis  $E$  der Option. Der Besitzer eines *Call* wird die Option folglich nur dann ausüben, wenn  $S_T$  größer ist als  $E$ . Umgekehrt verhält es sich bei einem *Put*. Abbildung 22 visualisiert zusammenfassend die realisierten Gewinne in  $T$  bei Ausübung der Option in Abhängigkeit von  $S_T$ .

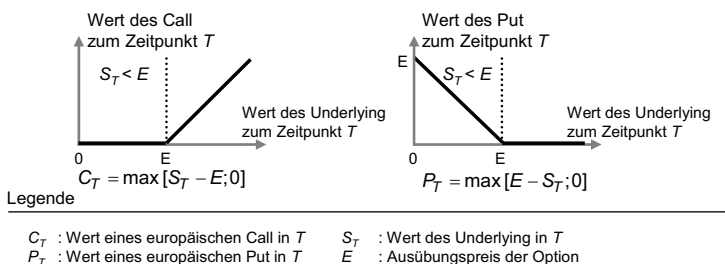


Abbildung 22: Auszahlungsstruktur aus einem europäischen Call und Put am Ende der Laufzeit  $T$  (i. A. an PERRIDON & STEINER 1999, S. 316)

Die Herausforderung der Bewertung besteht nun darin, für diese von der Aktie abweichenden – aber dennoch mit deren Wertentwicklung verbundenen – Auszahlungs- bzw. Risikostrukturen den korrekten Wert zu ermitteln. Da es sich um



eine dynamische Betrachtung handelt, gilt es, die Frage der Diskontierung der zukünftigen Zahlungen zu beantworten, um den heutigen Marktwert bzw. Preis berechnen zu können.

### 3.3.3.2 Äquivalenzprinzip als Grundidee der Bewertung von Finanzoptionen

Mit den Aufsätzen von BLACK & SCHOLES (1973) und MERTON (1973) wurde die Grundlage der modernen Finanztheorie und Optionsbewertung geschaffen (LUENBERGER 1998, S. 351). Die Grundidee der Bewertung basiert auf der Konstruktion eines Portfolios, welches in jedem möglichen Umweltzustand genau die Zahlungen der zu bewertenden Option nachbildet (*Äquivalenzprinzip*). Ist diese Anforderung erfüllt, so müssen in einem arbitragefreien Markt die Option und das Portfolio den gleichen Wert annehmen (LODERER ET AL. 2002, S. 873 F.). Das zu konstruierende Portfolio wird allgemein als „*Duplikationsportfolio*“ bezeichnet und besteht aus dem der Option zugrunde liegenden Basisobjekt (*underlying*), dessen Wertentwicklung perfekt zu dem der Option korreliert ist, sowie aus einer Kreditaufnahme. Andererseits entspricht dann die Zusammenstellung einer Kauf- und einer Verkaufsposition aus der Option und dem zugehörigen Basiswert einem risikolosen *Hedge Portfolio* (KILKA 1995, S. 53). Ein *Hedge Portfolio* bildet eine sichere Anlage, welches sich unter den Bedingungen des vollkommenen Kapitalmarktes mit dem risikolosen Marktzinssatz verzinst (PERRIDON & STEINER 1999, S. 503). Für die Bewertung gelten die folgenden Annahmen (KILKA 1995, S. 51, TRIGEORGIS 1996, S. 83):

- (1) **Frikionsloser Kapitalmarkt:** Es existieren weder Transaktionskosten noch Steuern, alle Wertpapiere sind beliebig teilbar, Kreditaufnahme und Mittelanlage sind zu einem einheitlichen Marktzins möglich.
- (2) **Konstanz des risikolosen Zinssatzes:** Zu diesem Zinssatz können Kapitalmarktteilnehmer beliebig Kapital anlegen und aufnehmen.
- (3) **Homogene Erwartungen bezüglich des Aktienkurses:** Der Aktienkurs folgt einem stochastischen Prozess, der bekannt ist.
- (4) **Dividendenfreiheit:** Während der Optionslaufzeit fallen keine Dividenden an.

Die Äquivalenz von Optionen, Aktien und Fremdkapital soll in Anlehnung an LIEBLER (1996, S. 126) anhand eines einfachen Beispiels verdeutlicht werden.

#### 3.3.3.3 Beispielhafte Wertermittlung einer Option

Es gilt, den Wert (Optionsprämie, Kaufpreis) eines *Call* mit Laufzeit von einem Jahr (*hier*: 1 ZE) und einem Ausübungspreis von  $E = 110 \text{ GE}$  zu ermitteln. Zur Erläuterung des Äquivalenzprinzips (3.3.3.2) wird vereinfachend von folgenden Annahmen ausgegangen:

- Es werden zwei diskrete Zeitpunkte ( $t = 0; t = 1 = T$ ) betrachtet.
- Der (Zukunfts-)Wert der Aktie in  $T$  wird lediglich durch zwei separate Zustände ausgedrückt. Die positive Entwicklung des Aktienpreises (Aufwärtsbewegung  $u$ ) führt zum Preis  $S_1^u$  (in  $T$ ), während die negative Entwicklung im Preis  $S_1^d$  (Abwärtsbewegung  $d$ ) resultiert.

Tabelle 3 zeigt die weiteren notwendigen Parameter zur Berechnung des Barwertes des *Call* in  $t = 0$  ( $C_0$ ).

Heutiger ( $t = 0$ ) Aktienkurs	$S_0 = 100 \text{ GE}$
Mögliche Aktienkurse am Verfalltag der Option unter Annahme eines multiplikativen Binomialprozesses <sup>12</sup>	$S_1^u = 125 \text{ GE} \quad (u = 1,25)$ $S_1^d = 80 \text{ GE} \quad (d = u^{-1} = 0,8)$
Laufzeit der Option	$T = 1 \text{ ZE}$
Ausübungspreis	$E = 110 \text{ GE}$
Kreditaufnahme in $t = 0$	$B_0 = 72,73 \text{ GE}$
Kreditzins	$r_f = 10 \frac{\%}{\text{ZE}}$

Tabelle 3: *Beispielparameter zur Erläuterung der Äquivalenz von Optionen, Aktien und Fremdkapital (i. A. an LIEBLER 1996, S. 126 F.)*

Die Auszahlungsbeträge des *Call* (Zeile [1] in der folgenden Tabelle 4) für  $T = 1$  sind abhängig von der Entwicklung des Aktienpreises (siehe 4. (*down*) und 5.

---

<sup>12</sup> Die Annahme ( $d = u^{-1}$ ) entspricht dem stochastischen Prozesses im Binomialmodell von COX ET AL. (1979). Dieser Zusammenhang ist im Anhang in Abschnitt 9.2.2 näher erläutert.

Spalte (*up*) in der folgenden Tabelle 4). Sie werden mit den Auszahlungen verglichen, welche sich für einen Investor aus dem Besitz einer Aktie ([2]) und der Kreditaufnahme von  $B_0 = 72,73 \text{ GE}$  ([3a]) ergeben. Letzterer Betrag ist zusammen mit den anfallenden Zinsen von  $7,27 \text{ GE}$  in  $T = 1$  ([3b]) zurückzuzahlen.

Nr.	Wertobjekt	Wert (Preis) in $t = 0$	Aktienwert in $T = 1$ : $S_1^d$	Aktienwert in $T = 1$ : $S_1^u$
[1]	1 Call-Option	?	0 GE	15,00 GE
[2]	1 Aktie	-100,00 GE	80,00 GE	125,00 GE
[3a]	Kredit	+72,73 GE	72,73 GE	72,73 GE
[3b]	Zinsen auf [3a]		7,27 GE	7,27 GE
[4]	Resultierende Auszahlung aus [2], [3a] und [3b]	-27,27 GE	0 GE	45,00 GE

Tabelle 4: Vergleich der Auszahlungsmuster einer Option mit einem zugehörigen Duplikationsportfolio (i. A. an LIEBLER 1996, S. 126 F.)

In  $T = 1$  (4. und 5. Spalte der Tabelle 4) entspricht der resultierende Auszahlungsbetrag des *Duplikationsportfolios* (Zeile [4]) aus einer Aktie und Fremdkapital für die beiden angenommenen Zustände (durch das im Beispiel angenommene Kreditvolumen  $B_0$ ) genau dem Wert von drei Call-Optionen ([1]). Die 3. Spalte zeigt den Wert der einzelnen Anlageobjekte in  $t = 0$ . Für den Investor bedeutet die Zusammenstellung des Portfolios und dessen anteilige Finanzierung mit dem Kredit in  $t = 0$  einen resultierenden Auszahlungsbetrag von  $-27,27 \text{ GE}$ , den er selbst aufzubringen hat. Der Wert (Preis) der Optionen muss folglich hierzu identisch sein.

Bezogen auf  $t = 0$  ist daher allgemein die folgende Gleichung (3)

$$n \cdot C_0 = m \cdot S_0 + B_0 \quad (3)$$

$m$  Anzahl an Aktien im Duplikationsportfolio

$n$  Anzahl der Optionen, deren Auszahlungen durch  $(m \cdot S_0 + B_0)$  dupliziert werden

$C_0$  Optionswert zum Zeitpunkt  $t = 0$

zu erfüllen. Daraus lässt sich der Wert (Kaufpreis) einer Option bestimmen. Dieser entspricht für das Zahlenbeispiel 9,09 GE. Das im Beispiel aufgezeigte *Äquivalenzprinzip* wird nun in ein allgemeines Bewertungsmodell überführt.

#### 3.3.3.4 Einperiodiges Bewertungsmodell für Optionen

Die in den Abschnitten 3.3.3.2 und 3.3.3.3 erläuterten Zusammenhänge bilden die Grundlage der bekannten Bewertungsmodelle von BLACK & SCHOLES (1973) und COX ET AL. (1979), welche in Abschnitt 3.3.4.2 beschrieben sind. Die Überlegungen führen in einem ersten Schritt zu einem allgemeinen Bewertungsmodell für Optionen, welchem weiterhin eine einperiodige Betrachtung zugrunde liegt.

Abbildung 23 verdeutlicht das *Äquivalenzprinzip* anhand der Werte aus dem Beispiel und leitet daraus eine allgemeingültige Formulierung ab.

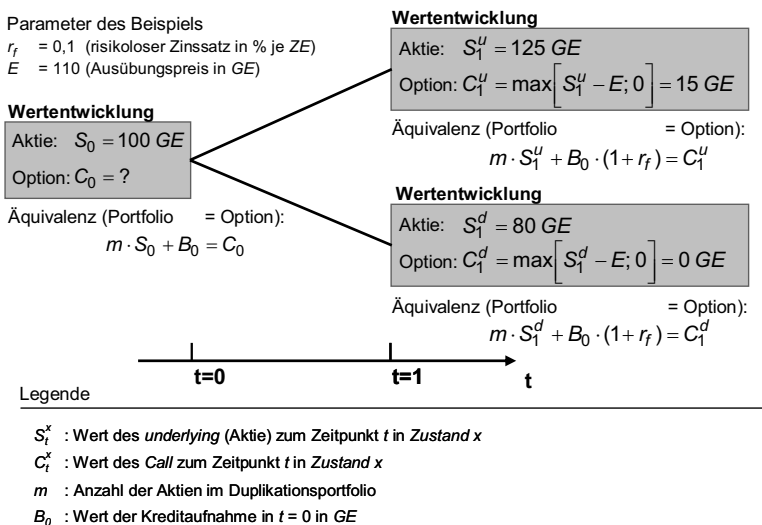


Abbildung 23: Prinzipdarstellung der *Äquivalenz* zwischen einem Portfolio aus Aktien und Kreditaufnahme sowie einer Position in Optionen

Für zwei diskrete und aufeinander folgende Zeitperioden  $t$  und  $t+1$  gilt allgemein für die beiden angenommenen Zustände der Optionspreisentwicklung

$$\begin{aligned} m \cdot S_{t+1}^u + B_t \cdot (1 + r_f) &= C_{t+1}^u \\ m \cdot S_{t+1}^d + B_t \cdot (1 + r_f) &= C_{t+1}^d. \end{aligned} \quad (4)$$

$u$  Aufwärtsbewegung (*upstate*)

$d$  Abwärtsbewegung (*downstate*)

Aus den beiden Bedingungen aus (4) können  $m$  und  $B_0$  berechnet werden:

$$m = \frac{C_1^u - C_1^d}{S_1^u - S_1^d} \quad \text{und} \quad B_0 = \frac{C_1^u - m \cdot S_1^u}{(1 + r_f)} = \frac{C_1^d - m \cdot S_1^d}{(1 + r_f)} = \frac{u \cdot C_1^d - d \cdot C_1^u}{(u - d)(1 + r_f)}. \quad (5)$$

$S_1^{u,d}$  Wert (Preis) der Aktie zum Zeitpunkt ( $t = 1$ ) nach einer Aufwärts- ( $u$ ) bzw. Abwärtsbewegung ( $d$ )

$C_1^{u,d}$  Wert (Preis) der Aktie zum Zeitpunkt ( $t = 1$ ) nach einer Aufwärts- ( $u$ ) bzw. Abwärtsbewegung ( $d$ )

Die beiden Gleichungen in (5) führen darüber hinaus zu einer alternativen Bewertungsmöglichkeit, der sogenannten *risikoneutralen Bewertung*. Hierbei wird unterstellt, dass die erwartete Rendite aus den Aktien gleich dem risikolosen Fremdkapitalzinssatz ist. Anders ausgedrückt geht die *risikoneutrale Bewertung* davon aus, dass sich ein Portfolio aus Aktie und Option bilden lässt, dessen Wert unabhängig von der Umweltentwicklung mit dem risikolosen Zins ansteigt. Die Ergebnisse der risikoneutralen Bewertung entsprechen jedoch exakt denen aus der Duplikation (LIEBLER 1996, S. 129, TRIGEORGIS 1996, S. 74 F.). Beide Denkansätze ermöglichen die Bildung von sogenannten risikoneutralen Wahrscheinlichkeiten  $\rho$  und  $\rho'$ . Die Herleitung ist im Anhang in Abschnitt 9.2.1 erläutert.

$$\rho = \frac{(1 + r_f) - d}{(u - d)} \quad (6)$$

$$\rho' = 1 - \rho = \frac{u - (1 + r_f)}{(u - d)} \quad (7)$$

$\rho$  Risikoneutrale Wahrscheinlichkeit einer Aufwärtsbewegung

$\rho'$  Risikoneutrale Wahrscheinlichkeit einer Abwärtsbewegung

Die ermittelten risikoneutralen Wahrscheinlichkeiten sind diejenigen, mit welchen die zukünftigen Zustände eintreten müssten, um mit dem risikolosen Zins diskontieren zu können. Diese mathematischen Hilfskonstrukte erlauben die Berechnung von Optionspreisen allein auf der Basis der Parameter  $u$ ,  $d$  und  $r_f$ . Die Formel (8) definiert das einperiodige Bewertungsmodell für eine *Call*-Option, welches die Grundlage der im weiteren Verlauf erläuterten analytischen und numerischen Verfahren zur Optionspreisbewertung darstellt.

$$C_0 = \left[ \rho \cdot C_u + (1 - \rho) \cdot C_d \right] \cdot (1 + r_f)^{-1} \quad (8)$$

Der Abschnitt 3.3.4 erläutert existierende Verfahren zur Optionsbewertung und analysiert deren Übertragbarkeit auf produktionstechnische Fragestellungen.

#### 3.3.4 Verfahren zur Optionspreisbewertung

##### 3.3.4.1 Überblick und Verfahrensanalyse

Der erste Schritt nach der Identifizierung von Realoptionen besteht in der Regel in der Auswahl eines geeigneten Bewertungsverfahrens (MEISE 1998, S. 126 F., AMRAM & KULATILAKA 1999b, S. 99, HOMMEL & PRITSCH 1999a, S. 7). In erster Linie wird dabei zwischen *analytischen* und *numerischen* Verfahren zur Optionspreisbestimmung unterschieden (siehe Abbildung 24).

*Analytische Verfahren* zur Bestimmung von Optionspreisen werden als geschlossene Verfahren bezeichnet und lösen das Bewertungsproblem mit einer konkreten Bewertungsformel auf der Basis der strengen Einhaltung der zugrunde liegenden Modellprämissen. Ausgangspunkt ist die Modellierung der Wertveränderung des Basisobjektes als zeitstetiger, stochastischer Prozess. Die bekannteste analytische Methode ist die Formel von BLACK & SCHOLES (1973) für einen europäischen Call (MEISE 1998, S. 96, PRITSCH 2000, S. 155). *Numerische Verfahren* zur Bestimmung von Optionspreisen gliedern sich in zwei verschiedene Verfahrenstypen. Entweder wird die partielle Differentialgleichung zur stetigen Nachbildung der Optionspreisentwicklung numerisch modelliert (Ansatz der finiten Differenzen) (HULL 2006, S. 506 F.) oder es erfolgt die Approximation des stochastischen Prozesses des Basisobjektes. Zur zweiten Gruppe gehören die sogenannten Baumansätze (*lattice*-Ansätze) und die Optionsbewertung mittels Monte-Carlo-Simulation.

Es wird unterstrichen, dass sich die Auswahl bei realen Investitionsprojekten anderer Kriterien bedienen muss als dies bei der Bewertung von Finanzoptionen der Fall ist. Aufgrund einer hohen Datenunschärfe und Problemkomplexität bei realen Investitionsprojekten ist jede Bewertung ohnehin nur als Approximation zu verstehen. Eine gute Bewertung darf nicht im Sinne einer Funktion mathematischer Exaktheit begriffen werden, vielmehr muss ein Verfahren in der Lage sein, vielseitige Problemstellungen und die komplexe Struktur der Projektrisiken und Handlungsspielräume transparent abzubilden (PRITSCH 2000, S. 222). Zudem verliert die exakte zeitstetige Modellierung der analytischen Verfahren bei Investitionsprojekten i. d. R. ihren Mehrwert. Abbildung 24 fasst eine von PRITSCH (2000, S. 221 FF.) durchgeführte kritische Analyse der Bewertungsmodelle unter den Aspekten *Abbildungsadäquanz*, *Vielseitigkeit* und *Komplexität* zusammen.

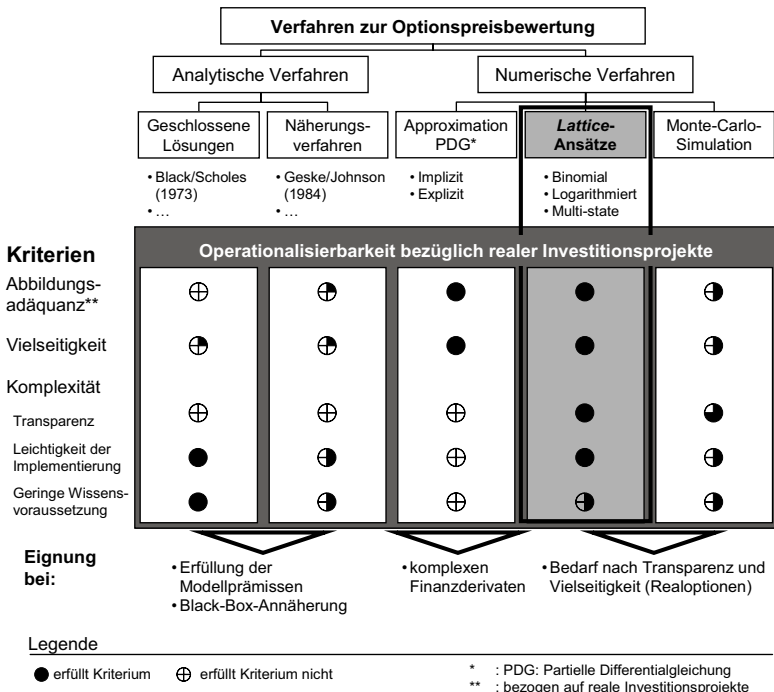


Abbildung 24: Überblick der Bewertungsmodelle für Optionen inklusive der Kriterienerfüllung (i. A. an HOMMEL & PRITSCH 1999a, S. 31)

### 3 Grundlagen der Investitionsrechnung

---

Aus Gründen mangelnder Transparenz, unzureichender Realitätsnähe und Vielseitigkeit aufgrund der Modellprämissen ist die Anwendbarkeit *analytischer Verfahren* für die Bewertung von Realloptionen stark eingeschränkt (AMRAM & KULATILAKA 1999a, S. 99, COPELAND & ANTIKAROV 2002, S. 128). Beispielsweise lässt die Formel von BLACK & SCHOLES (1973) die Wertbestimmung komplexer amerikanischer Optionen mit variablem Ausübungszeitpunkt in Abhängigkeit des Pfades (*path-dependency*) auf ein Dividenden ausschüttendes Basisobjekt nur sehr eingeschränkt zu. Die sehr hohe Abbildungsadäquanz der Formel bei Anwendung auf Standardoptionen geht bei komplexen Strukturen aufgrund der starren Modellannahmen verloren (CHRISS 1997, S. 303). Doch gerade diese genannten Charakteristika kennzeichnen Investitionsprojekte (Realloptionen) und somit die Bewertung von wandlungsfähigen bzw. mobilen Produktionsstrukturen.

*Numerische Verfahren* sind für diese Anwendungen leistungsfähiger (BROADIE & DETEMPLE 1997, S. 43, PRITSCH 2000, S. 159). Durch die vielseitigen Möglichkeiten, die Risikostruktur abzubilden (z. B. stochastische Ausübungspreise), wird die Gesamtabbildungsgenauigkeit erhöht (PRITSCH 2000, S. 223). Dabei dominieren die *lattice*-Ansätze alle übrigen Verfahren dieser Gruppe. Dies liegt an der Flexibilität, komplexe Strukturen und Zusammenhänge auf relativ einfache Art darzustellen. Ein *lattice*-Baum lässt sich als Entscheidungsbaum interpretieren, dem risikoneutrale Wahrscheinlichkeiten zugrunde liegen. Die Gruppe der die partielle Differentialgleichung (*PDG*) approximierenden Verfahren ist dagegen durch übermäßig komplexe Gleichungssysteme charakterisiert. Deren Anwendung beschränkt sich daher auf komplexe Finanzderivate (PRITSCH 2000, S. 231, BAECKER ET AL. 2003, S. 28).

Bei der Bestimmung des Optionswertes über eine *Monte-Carlo-Simulation* wird der stochastische Prozess des Basisobjektes über  $T$  simuliert. Diese nach vorne gerichtete Betrachtung erschwert die Berechnung vorzeitiger pfadabhängiger Auslösung erheblich. Aus diesem Grund ist das Verfahren eigentlich nur für europäische Optionen sinnvoll anwendbar (LUENBERGER 1998, S. 363, PRITSCH 2000, S. 166, HULL 2006, S. 517).

Eine detaillierte Beschreibung und vergleichende Bewertungen der Verfahren finden sich bei verschiedenen Autoren (LUENBERGER 1998, S. 362 FF., HOMMEL & PRITSCH 1999a, S. 31 FF., PRITSCH 2000, S. 154 FF., MILLER & PARK 2002, S. 117 FF., BAECKER ET AL. 2003, S. 26 FF., SCHULMERICH 2003, S. 63 FF.).



**Fazit**

Aufgrund der generellen Eignung der *lattice*-Ansätze für eine Bestimmung des Mehrwertes produktionsseitiger Freiheitsgrade beschreibt Abschnitt 3.3.4.2 das Grundmodell der diskreten Bewertung von COX ET AL. (1979), welches die Basis der *lattice*-Ansätze bildet. Das Modell kann unter bestimmten Bedingungen in das stetige Modell von BLACK & SHOLES (1973) überführt werden. Dieser Zusammenhang ist im Anhang (9.2.3) näher erläutert.

**3.3.4.2 Binomialmodell von Cox ET AL.**

COX ET AL. (1979) entwickeln in ihrem Aufsatz auf wahrscheinlichkeitstheoretischer Basis einen sogenannten risikoneutralen Binomialgitteransatz, welcher das *Äquivalenzprinzip* (siehe 3.3.3.2) auf mehrere Perioden ausdehnt und bei infinitesimal kleinen Zeitperioden die Ergebnisse der stochastischen Differentialgleichung von BLACK & SHOLES (1973) annähert (COPELAND & ANTIKAROV 2002, S. 211). Die Betrachtung von  $T$  Perioden führt zur allgemeinen binomialen Optionspreisformel (9). Die Herleitung und eine vertiefende Darstellung der folgenden Inhalte findet sich im Anhang in Abschnitt 9.2.2.

$$C_0 = \frac{1}{(1+r_f)^T} \sum_{j=0}^T \left( \underbrace{\frac{T!}{j!(T-j)!}}_{[1]} \rho^j (1-\rho)^{T-j} \underbrace{\max \left[ u^j d^{T-j} S_0 - E; 0 \right]}_{[2]} \right) \quad (9)$$

$T$  Anzahl der diskreten Zeitschritte des Betrachtungszeitraumes

$\rho$  Risikoneutrale Wahrscheinlichkeit

$j$  Anzahl der Aufwärtsbewegungen im binomialen Baum

Der Ausdruck [1] der allgemeinen binomialen Optionspreisformel (9) entspricht dem binomialen Koeffizienten, welcher die Anzahl an Pfadmöglichkeiten angibt, die zu einem – durch eine Anzahl  $j$  an Aufwärtsbewegungen – eindeutig definierten Knoten des Binomialbaums führen. Der Ausdruck [2] ermittelt den realisierten Wert der Option im betrachteten Knoten. Die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Kurse am Verfalltag der Option folgt demnach der Binomialverteilung. Wird  $\lambda$  als die minimale Anzahl der Aufwärtsbewegungen  $j$  über  $T$  Perioden bezeichnet, die dazu führen, dass der Wert der Option positiv ist ( $S_T > E$ ), so kann die Optionspreisformel alternativ zu (9) wie folgt geschrieben werden:

### 3 Grundlagen der Investitionsrechnung

$$C_0 = S_0 B[\lambda; T, \rho^*] - \frac{E}{(1+r_f)^T} B[\lambda; T, \rho]. \quad (10)$$

$B[\lambda; T, \rho]$  Komplementäre Verteilungsfunktion der Binomialverteilung mit den Parametern  $[\lambda; T, \rho]$

$\lambda$  Kleinste nicht negative ganze Zahl an Aktienkurssteigerungen, damit in  $T$  gilt:  $S_T > E$  (Bedingung zur Ausübung der Option)

$\rho^*$  Um den risikoneutralen Zinssatz  $r_f$  korrigierte risikoneutrale Wahrscheinlichkeit

Der (erste) Funktionswert  $S_0 B[\lambda; T, \rho^*]$  der Formel (10) entspricht dem erwarteten Barwert des Aktienkurses zum Ausübungstermin  $T$ . Dieser wird multipliziert mit den jeweiligen Eintrittswahrscheinlichkeiten der Optionsausübung (es gilt:  $u^\lambda d^{T-\lambda} S_0 > E$  für alle  $j \geq \lambda \leq T$ ). Diese Werte werden, durch den Faktor  $(1+r_f)$  diskontiert auf  $t=0$ , ausgedrückt durch  $\rho^*$  (siehe 9.2.2). Der (zweite) Funktionswert  $E \cdot (1+r_f)^{-T} B[\lambda; T, \rho]$  entspricht dem Barwert des Ausübungspreises  $E$  der Option, multipliziert mit der Wahrscheinlichkeit einer Ausübung. Dieser Wert wird auf den Zeitpunkt des Optionserwerbs ( $t=0$ ) abgezinst und entspricht damit dem Barwert der Kosten der Optionsausübung am Verfalltag. Der Wert des *Call* in  $t=0$  ( $C_0$ ) entspricht zusammenfassend der mit der Wahrscheinlichkeit gewichteten Summe der positiven Auszahlungen des *Call* in  $T$ .

Die erläuterten Zusammenhänge werden in Abbildung 25 am Beispiel des dem Modell zugrunde liegenden rekombinierenden Binomialgitters dargestellt. In diesem Gitter führt eine sequentielle Auf- und Abwärtsbewegung in allen Zeitpunkten zum selben Knoten wie eine aufeinander folgende Ab- und Aufwärtsbewegung, d. h.  $u \cdot d = d \cdot u$ .

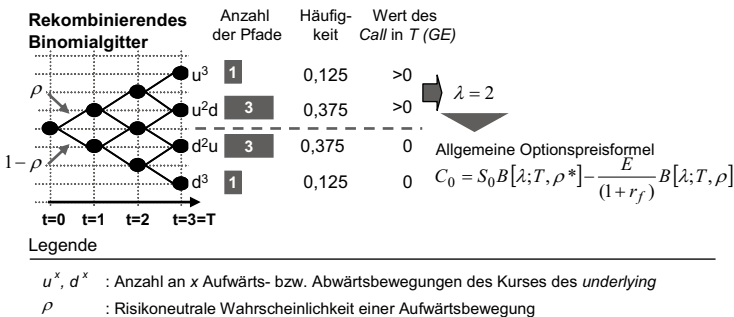


Abbildung 25: Beispielhaftes Binomialgitter eines rekombinierenden Prozesses

Wird die Laufzeit  $T$  der Option in kleine Subintervalle  $m$  unterteilt, konvergiert die binomiale Optionspreisformel für  $m \rightarrow \infty$  bei geeigneter Wahl der Parameter  $u, d, p$  im Grenzbereich der kontinuierlichen Zeit gegen die stetige Bewertungsgleichung von BLACK & SHOLES (1973). Der multiplikative Binomialprozess nähert sich dann an eine *log-Normalverteilung* bzw. einem *Wiener-Prozess* an. Dies entspricht einer elementaren Grundannahme im kontinuierlichen Modell von BLACK & SHOLES (1973) (KESTING & SCHULTE-MATTLER 1992, ZIMMERMANN 2000). Die Hintergründe dieser Zusammenhänge sind in Abschnitt 9.2.3 erläutert.

### 3.3.5 Kritische Analyse der Analogie von Real- zu Finanzoptionen

#### 3.3.5.1 Grenzen der Übertragbarkeit des Bewertungskonzeptes

PRITSCH (2000, S. 174 FF.) benennt die essenziellen Grenzen der Analogie von Real- zu Finanzoptionen mit den Begriffen *Unschärfe*, *Komplexität* und *Marktunvollkommenheit*. Darüber hinaus besteht ein allgemeines Problem darin, dass Realloptionsprobleme meist als exakt spezifizierbare mathematische Gleichungen formuliert werden, wodurch die Übertragbarkeit und Transparenz der entwickelten Ansätze verhindert wird.

Die *Unschärfeproblematik* ist darin verankert, dass kein eindeutig definierter Vertrag über die Optionsrechte zugrunde liegt und die Quelle der Unsicherheit nicht exakt als stochastischer Prozess spezifiziert werden kann. Das *Komplexitätsdilemma* betrifft die Tatsache, dass die durch Investitionen geschaffenen Rechte einen weitaus höheren Komplexitätsgrad als Finanzprodukte besitzen. Dies ist u. a. bedingt durch mehrere zugrunde liegende Unsicherheitsquellen sowie durch die i. d. R. nicht ohne Zeitverzug durchführbare Realisierung (*Ausübung*) der Realloptionen. Die von den Finanzoptionsmodellen übernommene Bedingung *vollkommener Kapitalmärkte* ist der wesentlichste Kritikpunkt an Realloptionsmodellen. Diese Kritik betrifft in erster Linie die Nicht-Existenz des zur Option perfekt korrelierten und gehandelten Basisobjektes (*twin-security*), da die Cashflows eines Investitionsprojektes nicht am Markt gehandelt werden und das Basisobjekt zudem nicht beliebig teilbar ist. Dieser Argumentation entgegen zahlreiche Autoren, dass diese Defizite mit Annahmen entkräftet werden können, welche auch der Kapitalwertmethode zugrunde liegen (MASON & MERTON 1985, S. 39, BREALEY & MYERS 1996, S. 86, MEISE 1998, S. 86, PRITSCH 2000, S. 179). Das im folgenden Abschnitt 3.3.5.2 erläuterte Konzept des „*Market-*

*Asset-Disclaimer*“ (*MAD-Ansatz*) von COPELAND & ANTIKAROV (2002, S. 115) definiert daran anknüpfend ein Vorgehen der Realloptionsbewertung, welches den Verzicht auf einen am Markt gehandelten Referenzwert erlaubt.

#### 3.3.5.2 Marktwertverzicht-Annahme (Market-Asset-Disclaimer)

Die „*Marktwertverzicht-Annahme*“ (*Market-Asset-Disclaimer*) von COPELAND & ANTIKAROV (2002, S. 115 F.) postuliert, dass bei Investitionsprojekten der Barwert des Projektes „ohne Flexibilität“ und dessen Entwicklung in der unsicheren Umwelt als Referenzwert den Anforderungen aus den Finanzmodellen genügt. Diese Annahme ist nachvollziehbar, da das Projekt ohne Handlungsspielraum mit sich selbst am besten korreliert sein sollte. Aus Sicht des Unternehmens wird dieses Projekt mit den (subjektiven) Annahmen zur Bestimmung des Diskontierungsfaktors korrekt bewertet (Annahme des Kapitalwertverfahrens). Zusammen mit dem am Markt verfügbaren risikolosen Zins sind damit zwei Elemente zur Bildung des *Duplikationsportfolios* vorhanden, um das zu vergleichende Investitionsprojekt mit Handlungsspielraum (*hier*: mobile Produktionsressourcen) korrekt (relativ zur Bewertung der immobilien Produktionsressourcen) zu bewerten.

#### 3.3.5.3 Fazit der kritischen Analyse

In Abschnitt 3.3.5.1 wurde erläutert, dass die *Unschärfeproblematik* die Anwendung des Ansatzes zwar erschwert, aber auch zu einer sorgfältigen Auseinandersetzung mit den Unsicherheiten und Optionen des Investitionsprojektes führt. Dem *Komplexitätsdilemma* ist darüber hinaus durch eine geeignete Verfahrenswahl sowie Einschränkungen hinsichtlich der Detaillierung zu begegnen (PRITSCH 2000, S. 174 FF.). Die mangelnde Anwendung aufgrund der hohen Komplexität belegen u. a. Studien von BUSBY & PITTS (1997) und VOLLRATH (2001). Es ist ein Kompromiss zwischen Exaktheit und Realitätsbezug zu finden, um daraus praxisorientierte Lösungen zu entwickeln (MILLER & PARK 2002, S. 129), die den Realloptionsansatz als Instrument zur Entscheidungsunterstützung qualifizieren. Mit der Einschränkung der *Marktunvollkommenheit* müssen sich alle dynamischen Investitionsverfahren auseinander setzen. So scheidet streng genommen auch das Kapitalwertverfahren an der Nicht-Existenz eines gehandelten Basisobjektes. Eine Möglichkeit, dieser Problematik zu begegnen, wird mit der *Marktwertverzicht-Annahme* in 3.3.5.2 aufgezeigt. Diese zentrale Annahme führt dazu, dass eine relative Bewertungsgenauigkeit zwischen den Projektalternativen eines Basisobjektes ohne Handlungsmöglichkeiten und einer Alternative

mit inhärentem Optionscharakter erreicht werden kann. Dies ist die essenzielle Aufgabe einer Bewertung und rechtfertigt den Einsatz des Realloptionsansatzes: „(...), *managers of technological systems* (...) *typically only need to make choices, not precise judgements. In making a choice, one only needs to know the relative value of alternatives, not their precise value.*“ (DE NEUFVILLE 2003, S. 11).

Hierauf aufbauend wird in Kapitel 4 eine Synthese der Aufgabenstellung (Kap. 1) sowie der Grundlagenkapitel (Kap. 2 und 3) durchgeführt. Dies beinhaltet, dass Schlussfolgerungen gezogen und der Stand der Forschung anhand abgeleiteter Anforderungskriterien für eine Methodik zur Bewertung von Mobilität in der Produktion beleuchtet werden.



## 4 Handlungsbedarf und Stand der Forschung

### 4.1 Zielsetzung und Aufbau des Kapitels

Die Erkenntnisse der bislang vorgestellten Grundlagenkapitel hinsichtlich

- möglicher Ausprägungen von Mobilität in der Produktion (Kap. 2) und
- investitionstheoretischer Entscheidungsverfahren (Kap. 3)

werden im folgenden Abschnitt 4.2 reflektiert. Anschließend erfolgt in Abschnitt 4.3 die Definition der Anforderungen, denen eine Bewertungsmethodik zur Bestimmung des Mehrwertes von Mobilität als Freiheitsgrad eines produktionstechnischen Systems entsprechen muss. Der Anforderungskatalog dient zudem als Bezugsrahmen, um bestehende Ansätze zu positionieren. Diese werden in Abschnitt 4.4 aufgeführt, eingeordnet und analysiert. Das Kapitel 4 schließt mit der Ableitung von Defiziten und der Positionierung der eigenen Arbeit einschließlich einer Skizzierung der zu konzipierenden Methodik (4.5).

### 4.2 Synthese der Grundlagen

#### 4.2.1 Zusammenhang zwischen Mobilität und Realloptionen

Die Synthese der Grundlagenkapitel lässt folgende Schlussfolgerungen zu (siehe hierzu auch ZÄH ET AL. (2003b) und ZÄH ET AL. (2005c)).

*Schlussfolgerung 1:*

*Mobilität schafft eine Realloption.*

Durch einen Vergleich der grundlegenden Eigenschaften von Mobilität als Wandlungsbefähiger in der Produktion und den Charakteristika von Realloptionen ist die durch Mobilität induzierte Fähigkeit, Produktionsressourcen an einen anderen Standort aufwandsarm zu verlagern, eindeutig der Schaffung eines Handlungsspielraums (Realloption) für das Unternehmen gleichzusetzen.

*Schlussfolgerung 2:*

*Die Bereitstellung von Mobilität führt zu einer amerikanischen Wechseloption.*

Eine präzisere Auseinandersetzung lässt die folgende Aussage zu: Durch die Investition in Mobilität erwirbt sich das Unternehmen das Recht bzw. die Option,

innerhalb des Betrachtungszeitraums (amerikanische Ausübung), welcher nach Möglichkeit der Nutzungsdauer des Produktionssystems entspricht (Lebenszyklusorientierung), von einer durch die spezifischen Bedingungen eines Standortes definierten Betriebsart (im Folgenden als „Produktionsmodus“ bezeichnet) auf einen anderen Produktionsmodus am Zielstandort umzuschalten. Hierfür wird das Unternehmen in Abhängigkeit der zu erwartenden Umweltbedingungen bereit sein, eine irreversible Optionsprämie in Höhe der Zusatzkosten für die Mobilität zu investieren<sup>13</sup>. Die Ausübung dieses Rechts ist mit Wechselkosten (Ausübungspreis  $E$ ) der Option verbunden. Da es sich bei der Verlagerung um eine Optionsausübung handelt, welche die Beendigung einer bestehenden Aktivität (*Put*) mit der Eröffnung einer neuen Aktivität (*Call*) verknüpft (vgl. 3.3.2.4), ist der durch Mobilität geschaffene Handlungsspielraum als *Wechsel- bzw. Umstellungsoption (Option to Switch)* einzustufen.

### 4.2.2 Problemorientierte Auswahl von Investitionsrechenverfahren

Schafft ein Investitionsprojekt Realloptionen für das Unternehmen, so stellt sich die Frage, welches Investitionsrechenverfahren zur Bewertung geeignet ist. HOMMEL & PRITSCH (1999a, S. 128 F.) formulieren eine Systematik der Verfahrenswahl, welche sich nach der Möglichkeit der Integration der maßgeblichen Kriterien *Unsicherheit* und *Handlungsmöglichkeiten* richtet. Zudem wird dort in Anlehnung an COPELAND & KEENAN (1998, S. 45) das Defizit der traditionellen Verfahren aufgeführt, keine Risikoanpassung des Diskontierungsfaktors vorzunehmen (vgl. 3.2.3). Zusammenfassend lässt sich aus der Systematik von HOMMEL & PRITSCH (1999a, S. 128 F.) die *Schlussfolgerung 3* ziehen.

*Schlussfolgerung 3:*

*Mobilität ist mit Optionspreisverfahren zu bewerten.*

Dies folgt aus der Tatsache, dass ein Mobilitätsbedarf der Produktion in Situationen zu erwägen ist, die durch ein hohes Maß an Unsicherheit gekennzeichnet sind und in denen durch Mobilität eine substantielle Handlungsmöglichkeit (Wechsel des Standortes) zur Verfügung gestellt wird.

Die folgende Abbildung 26 vergleicht die in Kapitel 3 (Grundlagen der Investitionsrechnung) diskutierten Investitionsrechenverfahren anhand ihres Erfüllungs-

---

<sup>13</sup> Eine erhöhte Flexibilität bzw. Wandlungsfähigkeit eines Produktionssystems erfordert höhere Kosten (JORDAN & GRAVES 1995, S. 578, SHI & DANIELS 2003, S. 418, WIENDAHL ET AL. 2005, S. 51).



grades hinsichtlich der genannten Kriterien aus der Systematik von HOMMEL & PRITSCH (1999a, S. 128 F.). Zudem wird eine Einordnung der dieser Arbeit zugrunde liegenden Aufgabenstellung vorgenommen.

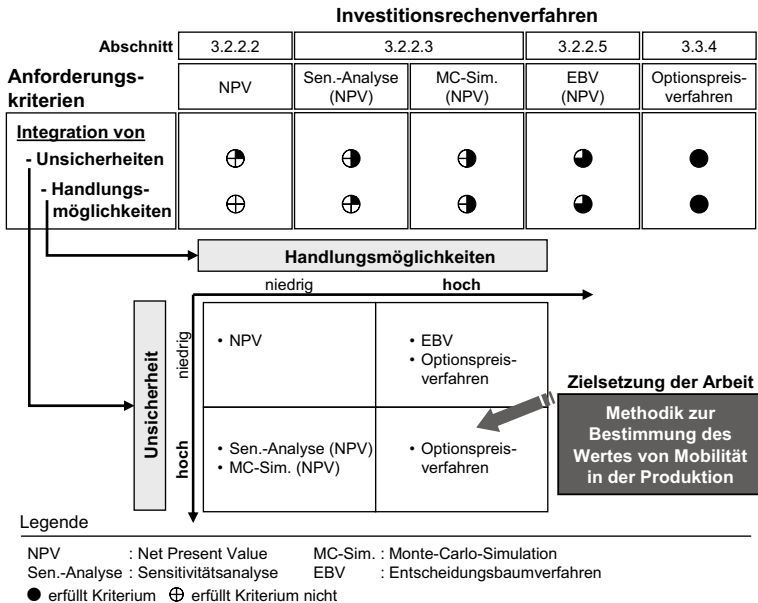


Abbildung 26: Systematik der Verfahrenswahl von Investitionsrechenverfahren (i. A. an HOMMEL & PRITSCH 1999a, S. 127 F.)

Auch KINKEL (2003, S. 74) stuft den Realloptionsansatz als aus theoretischer Sicht überlegenes Verfahren und geeignetes zukünftiges Instrument zur dynamischen Bewertung von Standortentscheidungen ein. Für einen breiten Einsatz gilt dies allerdings unter dem Vorbehalt, dass die inhärente Komplexität des Ansatzes für den Anwender transparent und beherrschbar in Bewertungsmethoden und -werkzeugen umgesetzt ist (KINKEL 2003, S. 76). Dies entspricht den Ausführungen zum *Komplexitätsdilemma* (3.3.5.3).

Aufbauend auf den drei genannten Schlussfolgerungen und unter Berücksichtigung der Kritikpunkte zum – aus theoretischem Blickwinkel bevorzugten – Realloptionsansatz, werden im folgenden Abschnitt 4.3 Anforderungskriterien an die zu konzipierende Methodik definiert, welche die Zielsetzung der Arbeit erfüllen soll.

### 4.3 Anforderungen an die Methodik

#### 4.3.1 Gliederung der Anforderungskriterien

Die Anforderungskriterien, welche die Methodik erfüllen muss, sind in verschiedene Detaillierungsstufen gegliedert. Die *grundsätzlichen Anforderungen* beschreiben hierbei nicht-aufgabenspezifische, unabhängige Anforderungen an wissenschaftlich-theoretische und gleichzeitig anwendungsorientierte Planungsmethoden und -modelle. Sie stellen die Basis für *allgemeine Anforderungen* an das Modell und die Bewertung dar und münden in *spezifische Anforderungen* hinsichtlich der Aufgabenstellung und Zielsetzung der Arbeit (siehe Abbildung 27).

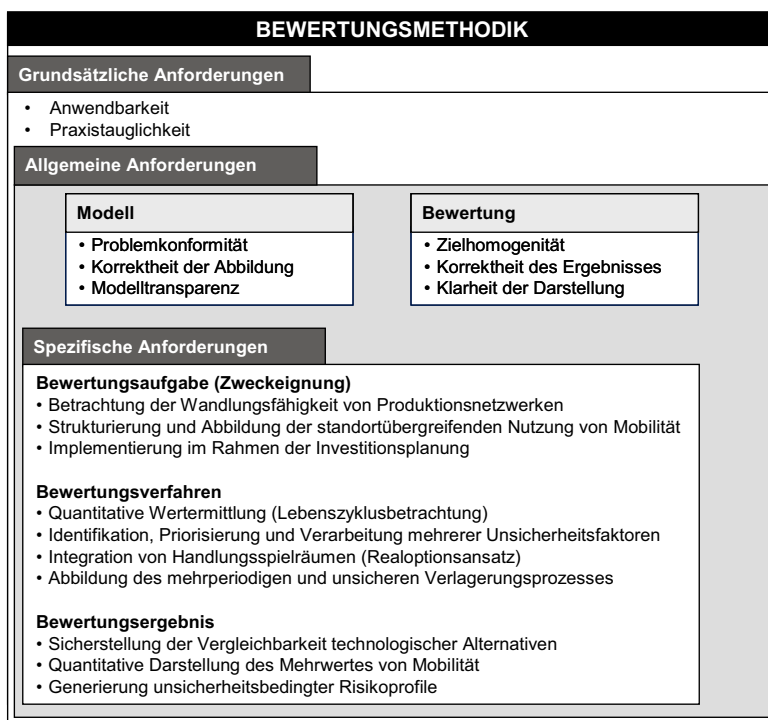


Abbildung 27: Anforderungen an eine Methodik zur Bewertung von Mobilität

Die Anforderungen werden in den folgenden Abschnitten beschrieben, wobei die dort *kursiv* dargestellten Begriffe zur Bewertung der Ansätze in 4.4 dienen.

### 4.3.2 Grundsätzliche Anforderungen

**Anwendbarkeit:** Die *Anwendbarkeit* wird gewährleistet durch einen systematischen Verfahrensablauf, der durch (relativ) einfache Durchführbarkeit (beherrschbares Komplexitätsniveau) und Reproduzierbarkeit des Gesamtvorgehens gekennzeichnet ist. Dies führt zu einem Verständnis der Anwender und einer nachvollziehbaren transparenten Bewertung (MARTINI 1995, S. 42).

**Praxistauglichkeit:** Mit Hilfe geeigneter Maßnahmen ist die *Praxistauglichkeit* zu gewährleisten. Hierzu bedarf es in erster Linie einer erkennbaren Struktur der Arbeitsschritte. Zudem ist deutlich hervorzuheben, inwieweit ein ggf. erhöhter Aufwand bei Anwendung der Methodik durch einen darüber hinausgehenden Zusatznutzen der Ergebnisse zu rechtfertigen ist. Wichtig ist hierbei ein der Planungsphase angemessener Detaillierungsgrad (HALLER 1999, S. 57, SESTERHENN 2003, S. 37). Ebenso erhöht die Übertragbarkeit auf andere Problemstellungen und Branchen die Praxistauglichkeit.

### 4.3.3 Allgemeine Anforderungen

Den Kern der zu erarbeitenden Bewertungsmethodik bildet ein Bewertungsmodell. Daher sind *allgemeine Anforderungen* zu formulieren, welche *Modelle* und *Bewertungen* generell erfüllen sollten. Die Begriffe „Modell“ und „Bewertung“ sind in Abschnitt 3.1.2 definiert.

#### **Modell**

Nach KRALLMANN ET AL. (1999, S. 36) sind die folgenden drei Zielkriterien der Modellbildung zu erfüllen.

**Problemkonformität:** Diese beschreibt die Relevanz (Ergebniswirksamkeit) der aus der Realität abgebildeten Originaleigenschaften. Mit dem Ziel der Komplexitätsreduktion ist eine Priorisierung und Selektion der in das Modell einfließenden Parameter zu gewährleisten (STACHOWIAK 1973, S. 157).

**Korrektheit der Abbildung:** Die Korrektheit bezieht sich auf die Qualität der Modellierung der Daten und deren Implementierung in das Modell.

**Modelltransparenz:** Die Transparenz des Bewertungsmodells mündet in der Nachvollziehbarkeit durch die Anwender. Daher sind Zusammenhänge und Wirkungsweisen klar zu beschreiben.

### Bewertung

**Zielhomogenität:** Sie verlangt, dass für die zu vergleichenden Alternativen die gleichen Ziele, Bewertungskriterien und Bewertungsskalen zur Anwendung kommen (MARTINI 1995, S. 43).

**Korrektheit:** Die Bewertung muss sich so weit als möglich an Marktwerten orientieren (HOMMEL & PRITSCH 1999b, S. 128) und zumindest die korrekte vergleichende Bewertung zweier Alternativen sicherstellen.

**Klarheit:** Das Ergebnis muss klar und dem Ziel der Bewertungsaufgabe entsprechend interpretationsfähig dargestellt werden. Darauf basiert die Eignung als Medium zur Entscheidungsunterstützung (BREHNG & KNOSALA 1997, S. 3).

#### 4.3.4 Spezifische Anforderungen

**Bewertungsaufgabe:** Die inhaltlichen Anforderungskriterien entsprechen der Zweckeignung der Methodik hinsichtlich der Bewertung *standortübergreifender Wandlungsfähigkeit im Produktionsnetzwerk* im Rahmen der *Investitionsplanung*. Außerdem sind mögliche Ausprägungen der Nutzung der *Mobilität* strukturiert in das Bewertungsmodell zu integrieren, um die Anpassbarkeit des Modells an die Spezifikation verschiedener Mobilitätsszenarios zu gewährleisten.

**Bewertungsverfahren:** Der Mehrwert einer Implementierung des Freiheitsgrades Mobilität ist, wie bei flexiblen Fertigungskonzepten allgemein, erst mittel- bis langfristig wirksam. Zielführend erscheint daher eine *quantitative Wertermittlung* bezogen auf den Lebenszyklus des Produktionssystems. Zwei Gesichtspunkte sind bei der Gestaltung des Bewertungsverfahrens essenziell: die Dynamik des turbulenten Umfeldes und der Handlungsspielraum durch den Wandlungsbefähiger Mobilität. Daher muss die Methodik in der Lage sein, *mehrere Unsicherheiten* zu integrieren und diese unter Berücksichtigung von Komplexitätsaspekten effizient zu verarbeiten. Der Handlungsspielraum der Mobilität, deren Ausübung durch einen mehrperiodigen und unsicheren Verlagerungsprozess gekennzeichnet ist, muss abgebildet werden können (*Realloptionsansatz*).

**Bewertungsergebnis:** Das Bewertungsergebnis muss die Vergleichbarkeit der Produktionssystemalternativen mit unterschiedlichem Mobilitätsgrad gewährleisten. Dies impliziert eine quantitative Abbildung des Mehrwertes der Mobilität. Zudem sind aufgrund der Datenunschärfe (Unsicherheit) Risikoprofile für die Ergebnisse zu erstellen.

### 4.3.5 Schlussfolgerung

Die Berücksichtigung der Anforderungen hinsichtlich der *Anwendbarkeit*, *Praxistauglichkeit*, *Modelltransparenz* sowie der vorliegenden *Bewertungsaufgabe* führt zu *Schlussfolgerung 4*.

*Schlussfolgerung 4:*

*Es ist ein lattice-Verfahren zu wählen.*

Die lattice-Ansätze weisen klare Vorteile hinsichtlich der aufgeführten Anforderungen auf (3.3.4). Ein diskretes Modell mit Baumstruktur bietet den Anwendern zahlreiche Möglichkeiten, die komplexe Bewertungsaufgabe realitätsnah abzubilden. Dies bezieht sich u. a. auf die Anforderung, die Verlagerung als mehrperiodigen und mit Unsicherheit behafteten Prozess zu modellieren (stochastischer Ausübungspreis der Option) sowie das Modell als Ganzes anpassbar zu gestalten.

## 4.4 Stand der Forschung

### 4.4.1 Anforderungskriterien und Gliederung existierender Ansätze

Abbildung 28 zeigt die Übersicht der als relevant erachteten Anforderungskriterien aus 4.3 und die vorgenommene Gliederung der untersuchten Ansätze.

Anforderungskriterien											
Fokus der Bewertungsaufgabe	Globales Produktionsnetzwerk	Wandlungsfähigkeit	Standortübergreifende Mobilität	Investitionsplanung	Charakteristika des Bewertungsverfahrens	Quantitative Wertermittlung	Mehrere Unsicherheiten	Realloptionsansatz	Lattice-Ansatz	Stochastischer Ausübungspreis	Grundsätzliche Anforderungen an die Methodik
										Anwendbarkeit	Praxistauglichkeit
4.4.2 Bewertung von Produktionstechnik											
4.4.3 Bewertung der Konfiguration globaler Produktionsnetzwerke											
4.4.4 Mobilität in der Produktion											
4.4.5 Anwendung des Realloptionsansatzes											

Abbildung 28: Kriterien der Analyse bestehender Ansätze im Themenumfeld und Gliederung der folgenden Abschnitte nach Bereichen

Im Folgenden werden bestehende Ansätze mit dem Ziel analysiert, vorhandenes Wissen zu nutzen, Defizite hinsichtlich der Anforderungen an die Aufgabenstellung abzuleiten und den Aufbau der eigenen Methodik zu konzipieren.

### 4.4.2 Bewertung von Produktionstechnik

#### 4.4.2.1 Produktionstechnologien

Im Bereich *Produktionstechnologien* werden Ansätze einer strategieorientierten Technikbewertung beleuchtet. Die dort erarbeiteten Methoden beinhalten Aspekte der Investitionsplanung für innovative Produktionstechnologien.

Die Arbeit von HEITSCH (2000) umfasst eine Bewertungsmethodik, die ökonomische, ökologische sowie qualitäts- und strategiebezogene Aspekte vereint. Die Unsicherheitsbetrachtung erfolgt über die Durchführung von Sensitivitätsanalysen. Das Vorgehen zeigt anschaulich die notwendigen Phasen und Elemente zur multidimensionalen technischen Investitionsbewertung auf. Durch die Verwendung des *Analytic Hierarchy Process (AHP)* wird jedoch keine quantitative Wertbestimmung fokussiert. Die letzte Aussage gilt ebenso für die Methodik von MARTINI (1995), welche eine stärkere Fokussierung strategischer Aspekte beinhaltet. Dort findet sich zudem die Schlussfolgerung, dass weitere Potenzialfaktoren für eine ganzheitliche Bewertung innovativer Technologien als Optionen zu klassifizieren sind (S. 132 F.). Die Anwendung des Optionsansatzes findet jedoch nicht statt, ist aber bei SCHÖNING (2006) zu finden (siehe 4.4.5.1).

#### 4.4.2.2 Flexible und wandlungsfähige Produktionssysteme

Zahlreiche Veröffentlichungen befassen sich mit dem Themenkomplex der Bewertung flexibler und wandlungsfähiger Produktionssysteme und Fabriken. Die wichtigsten sind im Folgenden aufgeführt.

In der Arbeit von HERNÁNDEZ (2003) wird die Wandlungsfähigkeit der Fabrik systematisch erfasst und abgebildet. Erst durch die darin enthaltene Definition von Wandlungsobjekten und -befähigern kann Mobilität als Eigenschaft der Fabrik zielgerichtet analysiert werden. Die Arbeit liefert durch die Charakterisierung von Wandlungsfähigkeit als situationsabhängiges Potenzial sowie durch die Forderung nach einer szenariobasierten Bewertung in der Fabrikplanung die Grundlage für die Übertragung des Optionsgedankens auf das zukunftsorientierte Be-

wertungsdilemma wandlungsfähiger Systeme. Die Festlegung der erforderlichen Wandlungsfähigkeit wird lediglich über semi-quantitative Verfahren unterstützt.

Der Bewertungsaspekt wird von HEGER (2004) fokussiert (siehe hierzu auch WIENDAHL & HEGER 2004a) und in HEGER (2007) detailliert behandelt. Die erarbeitete Methode zur integrativen Wandlungsfähigkeits-Bewertung berücksichtigt dabei besonders nicht-monetäre (qualitative Aspekte), da der primäre Forschungsbedarf bezüglich der Bewertung des Sachziels der Wandlungsfähigkeit von Fabrikobjekten dort gesehen wird (HEGER 2007, S. 56). Die monetäre Analyse stützt sich auf eine Kapitalwertrechnung mit Risikoanalyse. Die von der Methode berücksichtigten Unsicherheiten sind die Häufigkeit und Intensität der relevanten Wandlungsprozesse sowie die Gesamtdauer des Betrachtungszeitraumes. Insgesamt zeigt die Arbeit von HEGER (2007) damit auch für die Methodik zur Bewertung von standortübergreifender Mobilität wichtige Aspekte auf.

Die Arbeiten von DOHMS (2001) und CISEK (2005) zeigen ebenfalls Aspekte der Flexibilitätsplanung zur Steigerung der Wandlungsfähigkeit von Fabrikssystemen auf. Im Fokus beider Arbeiten steht jedoch nicht die initiale Investitionsbewertung, sondern die dauerhafte Erhaltung des optimalen Betriebspunktes eines wandlungsfähigen Produktionssystems. Im Vordergrund der Betrachtung steht somit die Optimierung von Rekonfigurationsprozessen in einem bestehenden System, welche über Controlling- bzw. Monitoring-Systeme gewährleistet wird.

Für die Flexibilitätsbewertung automatisierter Materialflusssysteme wendet HALLER (1999) ein duales Verfahren aus Nutzwertanalyse und Investitionsrechnung an. Die Flexibilitätsbewertung erfolgt jedoch lediglich über semi-quantitative Profile hinsichtlich der Kriterien Anpassbarkeit, Robustheit, Integrierbarkeit und Stabilität. Unsicherheiten fließen über eine Sensitivitätsanalyse in das Gesamtergebnis ein. Eine der ersten Arbeiten, welche das Ziel verfolgt, der steigenden Bedeutung der Flexibilität in der Produktion mit Hilfe der betrieblichen Investitionsplanung gerecht zu werden, liefert WOLF (1989). Das hierarchische Verfahren berücksichtigt die Mehrwertigkeit der Zukunftsentwicklung jedoch lediglich hinsichtlich kapazitiver Unsicherheit. Die Entscheidungsfindung erfolgt über die Ermittlung von Kapitalwertverteilungen und Kapazitätslückendeckungsgraden, die in eine abstrakte Risikonutzenfunktion überführt werden.

SESTERHENN (2003) erarbeitet eine umfassende lebenszyklusorientierte Bewertungssystematik. Mit Hilfe einer um ein Kosten- und Adaptionsregelmodul erweiterten Ablaufsimulation werden diskrete Zukunftsszenarios für die Anwen-

derung im Automobilrohbau simuliert. Konfigurationen unterschiedlicher Variabilität werden unter Berücksichtigung ereignisorientierter Betriebs- und Struktur- anpassungen anhand verschiedener monetärer Kenngrößen verglichen, die dann durch eine Nutzwertanalyse in ein Entscheidungskonzept überführt werden. Eine risikoorientierte Ergebnisdarstellung findet nicht statt, ebenso wenig wird eine Möglichkeit aufgezeigt, die isolierten Szenarios zu verbinden. Der Detaillierungsgrad der Daten erscheint für die frühe Planungsphase der strategischen Entscheidungsfindung als zu hoch gewählt.

Von 2002 bis 2005 wurden innerhalb des von der Europäischen Union (EU) geförderten Verbundprojektes *LicoPro* weitere Arbeiten geleistet, um das Flexibilitätspotenzial von Fabriken zu optimieren (LICOPRO 2005)<sup>14</sup>. WEMHÖNER (2006) entwickelt hierin ebenfalls eine kapazitätsorientierte Optimierungsmethodik für den Automobilrohbau. Daraus lassen sich wertvolle Erkenntnisse zur Strukturierung und Modellierung lebenszyklusorientierter Investitionsentscheidungen ableiten. Die Freiheitsgrade, in welchen sich die Alternativen unterscheiden, betreffen die Zuordnung zu den Rohbaulinien sowie die Materialflussrouten und die Materialflusssteuerung. Zudem werden der übergreifende Freiheitsgrad der Anpassung des Schichtmodells und der zeitversetzte Aufbau von Rohbaulinien integriert. Weitere Handlungsspielräume bzw. Optionen wie der nachträgliche Ausbau der Kapazität oder eine durch mobile Rohbauanlagen (vgl. hierzu HAGMANN ET AL. 2004) erreichte Beweglichkeit zur standortgebundenen oder -übergreifenden Nutzung werden nicht betrachtet. Das Modell simuliert isoliert für die einzelnen Szenarios die Anpassungspfade und berechnet monetäre und produktionsbezogene Kenngrößen. Die Ergebnisdarstellung erfolgt im Rahmen der Lebenszyklusrechnung mit dem Kapitalwert und den Stückkosten sowie der verdichteten Präsentation eines Flexibilitätsfensters aus Lieferbereitschaft und Stückkosten. Insgesamt muss jedoch festgestellt werden, dass die Unsicherheit des Umfeldes in deterministische Einzelpfade aufgelöst wird (vgl. auch WITTE ET AL. (2004)) und die unterschiedlichen Risikoprofile der Investitionen unberücksichtigt bleiben.

Weitere Arbeiten zum Themenkomplex Wandlungsfähigkeit resultieren aus dem SFB 467 „Wandlungsfähige Unternehmensstrukturen“. Die wirtschaftlichen Auswirkungen von Investitionen innerhalb des Lebenszyklus werden vertiefend in den Arbeiten von VON BRIEL (2002) sowie von ZAHN ET AL. (1999) behandelt,

---

<sup>14</sup> Siehe Kapitel 5: Life Cycle Design in ZÄH & REINHART 2005



jedoch sind jeweils nur Teilaspekte relevant, welche an die vorliegende Fragestellung der Mobilität angepasst werden müssen.

#### **4.4.3 Bewertung der Konfiguration globaler Produktionsnetzwerke**

Ein wesentlicher Aspekt, um die Verteilung von Produktionsaufgaben in Netzwerken zu optimieren, besteht in der zielorientierten *Kapazitäts- und Investitionsplanung*. Aus existierenden Arbeiten dieses Themenfeldes können Wirkzusammenhänge und Modellierungsansätze für ein Produktionsnetzwerk entnommen werden, welche für die Bewertung von Mobilität bedeutsam sind.

Die Arbeit von FERBER (2006) beschäftigt sich mit der strategischen Kapazitäts- und Investitionsplanung in der globalen Supply Chain eines Automobilherstellers. In einem linearen Optimierungsmodell werden die grundlegenden Aspekte wie Währungen, Produktivitäten, Lohnkosten und Zölle betrachtet, wodurch das Modell wichtige Anhaltspunkte zur Modellierung eines internationalen Produktionsnetzwerkes liefert. Es werden verschiedene Belegungsstrategien und deren Vorteilhaftigkeit in separaten Szenarios verglichen, welche jedoch für sich betrachtet vollkommen deterministisch sind. Die Prüfung der Robustheit erfolgt ausschließlich über Sensitivitätsanalysen. Der Mobilitätsaspekt des Rohbaus wird gänzlich außer Acht gelassen.

Die Methodik von SCHELLBERG (2002) unterstützt die Kapazitäts- und Investitionsplanung auf unterschiedlichen Planungsebenen und basiert auf der Modularisierung der Produktion. Die Methodik fokussiert nicht die Initialplanung, sondern die Konfigurationsphase. In Abhängigkeit von einer eingrenzenden Standortvorauswahl wird eine detaillierte Prozess-Ressourcen-Zuordnung durchgeführt. Ebenso liegt bei WIENDAHL ET AL. (1999) der Fokus auf der Optimierung des Produktionsbetriebs. In dieser Arbeit findet eine Verknüpfung mit dem Konzept der Betriebskennlinie statt. In beiden Ansätzen wird Mobilität allerdings nicht berücksichtigt.

Das Planungsvorgehen von DÜRRSCHMIDT (2001) beinhaltet ebenfalls Aspekte der Flexibilitätsplanung zur Steigerung der Wandlungsfähigkeit von Logistiksystemen. Dennoch liegt die primäre Zielsetzung der Arbeit nicht in der initialen Investitionsbewertung, sondern in der dauerhaften Erhaltung des wirtschaftlichsten Betriebspunktes eines wandlungsfähigen Produktionssystems.

FLEISCHER & HERM (2005) verfolgen mit ihrer Methodik die Zielsetzung, eine flexible und kostenoptimale Verteilung der Leistungserstellung auf der Grundlage der Fähigkeiten der einzelnen Standorte abzuleiten. Das Zielsystem besteht aus Zeit, Qualität, Kosten und Logistik. Der Flexibilitäts- und Unsicherheitsaspekt wird allerdings nicht quantitativ dargestellt, eine Neuverteilung von Produktionsressourcen im Netzwerk ist nicht Gegenstand der Betrachtung.

Die Analyse der gestiegenen Anforderungen und die darauf aufbauende Entwicklung neuer Ansätze zur strategischen und effizienten Gestaltung globaler Wertschöpfungsnetze war Inhalt des Forschungsprojektes *ProNet* (ABELE & KLUGE 2005, ABELE ET AL. 2006a). Hieraus leitet MEYER (2006a) den Kern seiner Arbeit ab und entwickelt ein quantitatives Modell zur kostenorientierten Standortwahl. Dabei werden die wesentlichen Herausforderungen der Dynamik im globalen Kontext beleuchtet. Dennoch beruht das von MEYER (2006a) entwickelte komplexe lineare Optimierungsmodell auf deterministischen Annahmen. Unsicherheiten wie z. B. die Entwicklung von Standortfaktoren werden jedoch nur über Sensitivitätsanalysen betrachtet. Als Ausblick dieser Arbeit wird die Integration der Flexibilitätsnutzung im Netzwerk in das Modell aufgeführt. Eine umfassende Methodik zur Standortbewertung stellt KINKEL (2003) vor. Der Autor postuliert die Notwendigkeit einer dynamischen Bewertung internationaler Produktionsstandorte und stellt den Realloptionsansatz als tendenziell geeignetes Verfahren hierfür vor (S. 76 F.). Er unterstreicht die wertvolle Eigenschaft des Ansatzes für ein verbessertes Problemverständnis komplexer Standortentscheidungen. Er selbst wählt aus Gründen der Transparenz jedoch die *Balanced Scorecard* als integrativen Rahmen der dynamischen Standortbewertung. Hierbei werden quantitative und qualitative Kennzahlen über Ursache-Wirkungs-Beziehungen miteinander verknüpft. Die empirisch belegten Hauptmotive für Standortentscheidungen (Internationalisierungsstrategien), die Erarbeitung einer Systematik kritischer Standortfaktoren und deren systematische Identifikation sowie die zu berücksichtigenden kostenwirksamen Größen und deren Strukturierung stellen wertvolle Elemente für die Modellierung einer Methodik zur Bewertung von Mobilität dar, welche bei KINKEL (2003) aber nicht betrachtet wird.

Es existieren zahlreiche weitere Arbeiten zur Gestaltung kosteneffizienter Wertschöpfungsnetzwerke. Hauptsächlich sind dies komplexe Optimierungsmodelle aus dem Bereich des *Operations Research*. Eine ausführliche Übersicht und eine Klassifizierung nach unterschiedlichen Zielkriterien (Maximierungsbedingungen und Betrachtungselemente) findet sich bei VIDAL & GOETSCHALCKX (1997) sowie MEIXELL & GARGEYA (2005). Stochastische Optimierungsansätze, welche in

der Lage sind, für eine unsichere Zukunft eine Flexibilitätsoptimierung herzuleiten, existieren jedoch nur wenige. Sie greifen die Nutzung des Netzwerkes, wie von KOGUT (1985) postuliert, als Option auf und werden in 4.4.5.2 behandelt.

#### **4.4.4 Mobilität in der Produktion**

Die Betrachtung der Nutzung von Mobilität als Freiheitsgrad in der Produktion ist maßgeblich von den Ergebnissen geprägt, welche innerhalb der Forschungsvorhaben entwickelt wurden, welche auf die vordringliche Aktion „Flexible, temporäre Fabrik“ folgten (WIRTH ET AL. 2000). Diese Arbeiten werden im Folgenden diskutiert.

Der im Verbundprojekt „*MobiFak - Geschäftskonzepte für mobile Fabriken*“ (SCHUH & MERCHERS 2004) entwickelte Lösungsansatz basiert darauf, Fabriken als Kombination aus verlagerungsfähigen Produktionsmodulen und standortbezogenen Dienstleistungen zu verwirklichen. Neben der mobilitätsgerechten Gestaltung von Betriebsmitteln und Gebäuden sowie deren Verbindung über ein Infrastruktur-IT-Tool lag ein Schwerpunkt auf der Bereitstellung notwendiger Informationen mit Hilfe eines sogenannten Wissenscontainers. Ein wesentlicher Teil der Ergebnisse des Projektes findet sich in LANGE-STALINSKI (2003). Die Methodik zur Gestaltung und Bewertung mobiler Produktionssysteme behandelt den Mobilitätsaspekt in der Produktion in einem ganzheitlichen Kontext. Ausgehend von der Spezifizierung des Mobilitätsbedarfs und der Identifikation von Referenzszenarios wird eine Methodik entwickelt, die aus einem Analyse-, Potenzial-, Gestaltungs- und Bewertungsmodul besteht. Für die vorliegende Arbeit sind insbesondere die Aspekte relevant, welche zur Ableitung des erforderlichen Mobilitätsgrades und damit zur Konfiguration der anschließenden Bewertungsaufgabe beitragen. Das Bewertungsmodul vereint qualitative wie quantitative Aspekte und vergleicht die Konzeptalternativen über eine Nutzwertanalyse. Eine Betrachtung von Unsicherheiten findet nicht statt, die Bewertung der Flexibilität und des Risikos erfolgt ausschließlich über nicht-monetäre Kriterien.

Das Projekt PLUG+PRODUCE (MÜLLER & SPANNER-ULMER 2005) adressierte die praxisnahe technische Gestaltung eines integrativen Modulkonzeptes. Der Fokus bei der Betrachtung der Mobilität als Potenzial zum Standortwechsel liegt auf der Gestaltung und der Realisierung technischer und organisatorischer Schnittstellen. Der Bewertungsaspekt spielt eine untergeordnete Rolle und besteht aus einer Gegenüberstellung des Mobilitätspotenzials mit den vorhandenen Betriebseigenschaften in einem einfachen Aufwand-Nutzen-Vergleich.

#### 4 Handlungsbedarf und Stand der Forschung

---

Zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit wandlungsfähiger Produktionssysteme wurde im Rahmen des Projektes „*Wandlungsfähigkeit durch modulare Fabrikstrukturen - WdmF*“ (WIENDAHL ET AL. 2005) eine Methode entwickelt, welche die Wandlungskosten eines Objektes über den Lebenszyklus kumuliert. Wandlungsträge und wandlungsfähige Alternativen werden verglichen, indem die Anzahl an Wandlungsvorgängen als Break-even-Point errechnet wird. Eine Anwendung auf Mobilität findet sich nicht, Unsicherheiten werden über das Aufstellen von Szenarios in Anlehnung an GAUSEMEIER ET AL. (1997) verarbeitet.

Im Forschungsprojekt „*Entwicklung neuer Konzepte für wandlungsfähige Satellitenfabriken und Fabrikparks – SATFAB*“ (WITTE & VIELHABER 2004) wird eine Wirtschaftlichkeitsbewertung auf der Basis definierter Zukunftsszenarios erarbeitet. Für jedes Szenario werden Veränderungszeitpunkte bestimmt sowie die Kosten und die Zeit für den Systemumbau zu einem gewichteten Index vereint. Die Aussagekraft des Index ist, bedingt durch die erforderliche subjektive Gewichtung von Zeit und Kosten, eingeschränkt. Des Weiteren wurde ein Werkzeug zur monetären Bewertung unterschiedlicher Netzwerkkonfigurationen in der Automobilindustrie entwickelt (*Lifecycle Adaptation Planner*) (BÜRKNER ET AL. 2005). Das Potenzial jeder Konfiguration wird durch die Anzahl der Fabriken sowie die Stückzahl-, die Produkt- und die Variantenflexibilität der Fabrik definiert (WITTE ET AL. 2004, S. 164). Die Flexibilitätsstrategien hinsichtlich der Kapazitätsoptimierung werden über spezifische Algorithmen modelliert. Dies erfordert eine Komplexitätsreduktion, die dadurch erreicht wird, dass die Dynamik des unsicheren Umfeldes in eine Vielzahl separater, für sich deterministischer Marktszenarios aufgelöst wird. Daraus folgt, dass für jedes Marktszenario isoliert eine Empfehlung abgegeben wird. Das Vorgehen impliziert gleichzeitig, dass dem Entscheidungsträger zu jedem Entscheidungszeitpunkt die zukünftige Entwicklung mit Sicherheit bekannt ist, was jedoch nicht der Realität entspricht. Zur Darstellung des Risikos werden die einzelnen Ergebniswerte (*NPV* je Marktszenario) nachträglich in Form einer Häufigkeitsverteilung gewichtet dargestellt. Damit entspricht das Vorgehen streng genommen einer Sensitivitätsanalyse, die eine Struktur der Ergebniswerte vor dem Hintergrund verschiedener Datenkonstellationen liefert, das Unsicherheitsproblem aber nicht in Gänze löst. Die Problemlösung ist als sehr branchenspezifisch einzuordnen und fokussiert die Kapazitätsoptimierung, liefert aber wichtige Erkenntnisse für die Modellierung von Mobilität im Netzwerk.

## 4.4.5 Anwendung des Realloptionsansatzes

### 4.4.5.1 Realoptionen in der Produktion

SCHÖNING (2006) integriert in sein quantitativ ausgerichtetes Modell zur potenzialbasierten Technologiebewertung Optionen des Entwicklungsprozesses (Fortsetzungs-, Ausstiegs-, Änderungs- und Verzögerungsoptionen). Die Methodik benutzt eine Kombination von Entscheidungsbaum- und Optionsbewertungsverfahren von SMITH & NAU (1995), um technologische Risiken und Marktrisiken zu unterscheiden. Die Arbeit folgt dem Ansatz, F&E-Projekte unter dem Gesichtspunkt darin enthaltener Optionen zu bewerten (REINHARDT 1996, PRITSCH 2000). Die Anwendung des Optionsansatzes bleibt in den Fallbeispielen verborgen.

AMICO ET AL. (2003) entwickeln ein Realloptionsmodell für ein rekonfigurierbares Produktionssystem. Dabei wird auf zwei wesentliche Aspekte eingegangen, welche für die Mobilitätsbetrachtung relevant sind. Zum einen wird der Ausübungspreis als eine stochastische Funktion des Zukunftsraumes (bezogen auf den Ausübungszeitpunkt) dargestellt. Zum anderen wird die realitätsferne Annahme einer unmittelbaren Rekonfiguration als Schwachpunkt der Optionsmodelle aufgeführt und eine Unterbrechungs- und Anlaufphase bei einer Rekonfiguration modelliert. Die Autoren zeigen damit viele wichtige Aspekte auf, welche an die vorliegende Arbeit adaptiert werden können. Andererseits ist die Transparenz des Modells durch Annahmen zu den stochastischen Prozessen (Geometrische Brownsche Bewegung) einschränkt. JUN ET AL. (2006) und WAHAB ET AL. (2005) wählen für ähnliche kapazitätsorientierte Problemstellungen noch komplexere Modelle. Diese werden aufgrund des hohen Abstraktions- und Komplexitätsgrades für die industrielle Anwendung aber als ungeeignet eingestuft.

SCHÄFER & SOCHOR (2005) wählen als Bewertungsobjekt eine Ölmühle, für welche zwei verschiedene Inputfaktoren (Soja oder Raps) verwendet werden können. Sie klassifizieren sehr anschaulich die Möglichkeit, den Produktionsmodus wechseln zu können, als Wechseloption und entwickeln ein zeitdiskretes Bewertungsmodell. Im Gegensatz zu KULATILAKA (1993), welcher die gleiche Fragestellung der Inputflexibilität für einen Dampfkessel beleuchtet, werden die stochastischen Bewegungen in Binomialbäumen abgebildet. Die Vorgehensweise, von einem Baum in den anderen wechseln zu können, wird aufgrund der dadurch erreichten Transparenz in der vorliegenden Arbeit übernommen. Ein sto-

chastischer Ausübungspreis, wie für die Verlagerung vorgesehen, wird nicht betrachtet.

Der Ansatz von ABELE ET AL. (2006b) zeigt die Aktualität des Optionsgedankens für die Produktion, bleibt aber in seinen Ausführungen noch zu unscharf, um daraus Aspekte auf die Bewertung von Mobilität zu übertragen.

### 4.4.5.2 Realloptionen im internationalen Kontext

KOGUT & KULATILAKA (1994) bezeichnen die zusätzliche Flexibilität, welche ein global verteiltes Produktionsnetzwerk generiert, als Wechseloption, die Verteilung der Produktionskapazitäten in Abhängigkeit von der Umfeldentwicklung anzupassen. Der berechnete Optionswert entspricht dem Mehrwert von zwei Standorten gegenüber einem. Das Modell beschränkt sich auf einen Unsicherheitsfaktor (Wechselkursentwicklung), und es wird gezeigt, wie sich der Wert der Flexibilität in Abhängigkeit von der Volatilität des Wechselkurses verhält. Eine Detaillierung der Produktionskosten findet nicht statt, ebenso wird die Ausübung der Verlagerung mit einem fixen Preis und als ohne Zeitverzug stattfindend angenommen. DASU & LI (1997) erweitern das Modell, indem sie die bisher angenommene lineare Kostenfunktion konkav bzw. konvex gestalten. Hierdurch wird die Komplexität des Modells jedoch noch weiter erhöht.

Weitere Arbeiten, welche globale Unternehmensnetzwerke als Realloptionen aufzufassen, stammen von HUCHZERMEIER & COHEN (1996) und HUCHZERMEIER (2003). Auch sie fokussieren die Abbildung des Wechselkurses. Es wird die grundlegende Fragestellung beantwortet, welche Konfiguration des Netzwerkes den höchsten Nutzen unter Berücksichtigung der Wechselkursvolatilitäten hat. Über eine Approximationsfunktion ist das Modell in der Lage, für mehr als zwei Währungsräume die korrelierten Wechselkurse in ein multinomiales Optionsmodell zu überführen. Zudem können Schwankungen der Nachfrage integriert werden. Die möglichen Konfigurationen des Netzwerkes werden durch Knoten und Verbindungen abgebildet. Ausgehend von einer Basisstruktur ohne Möglichkeit der Rekonfiguration lassen sich nun andere Veränderungsfähigkeiten der Netzwerkstruktur modellieren, deren Nutzung spezifische Wechselkosten nach sich zieht. Diese entsprechen dem Ausübungspreis und werden als deterministisch angenommen. Eine Übertragung auf die vorliegende Problemstellung ist nicht möglich, da die Unsicherheit des Verlagerungsprozesses nicht berücksichtigt ist. Es wird nicht von einer Verlagerung der Ressourcen, sondern von einer Allokation der Aufträge ausgegangen. Die Arbeiten liefern wichtige Erkenntnisse, wie

ein Optionsmodell für Mobilität zu strukturieren ist, und bestätigen, dass die Möglichkeit der Allokation von Kapazitäten einer Option entspricht. Darüber hinaus wird gezeigt, dass der Wert der Option von der stochastischen Bewegung eines Basiswertes abhängt.

YEO & QIU (2003) zeigen in einem Anwendungsbeispiel, dass der Markteintritt im Ausland (China) einer *Call*-Option gleicht, welche es zu einem Zeitpunkt  $T$  erlaubt, die Produktionskapazitäten auszubauen. Hierzu benutzen sie die analytische Formel von BLACK & SHOLES (1973), was die Betrachtung erheblich einschränkt. In der Habilitationsschrift von FISCH (2006) wird die Anwendung des Realloptionsansatzes beim Aufbau von Auslandsgesellschaften unter Unsicherheit behandelt. Dabei wird der Aufbauprozess als zeitlich gestaffelte Investitionsentscheidung modelliert und das Investitionsverhalten deutscher Unternehmen im Ausland überprüft. Für die vorliegende Arbeit zeigen die Ausführungen mögliche Erweiterungsaspekte für die Mobilitätsbetrachtung auf (z. B. mit der Verlagerung verbundene Wachstumsoptionen), die über eine Wechseloption (Schlussfolgerung 3 in Abschnitt 4.2.1) hinausgehen.

Innerhalb des Forschungsprojektes *BESTAND* wurden Standortentscheidungen hinsichtlich ihres Optionscharakters untersucht und Fallbeispiele zur Anwendung des Realloptionsansatzes aufgeführt (BUHMANN & SCHÖN 2004). Dabei wird ein guter Überblick über die wichtigsten Umfeld- und Performancefaktoren gegeben. In zwei Fallbeispielen werden strategische Handlungsoptionen für die Standorte China und Indien abgeleitet, diese jedoch nicht mit dem Optionsansatz bewertet. In einem dritten Fallbeispiel werden zwei alternative Standortentscheidungen im NAFTA-Raum gegenübergestellt und in einem einfachen Beispiel mit dem Optionsansatz bewertet. Der Produktionsaufbau in Mexiko wird um eine Ausstiegsoption (Mietvertrag des Gebäudes) erweitert, die sich darauf bezieht, die Standortentscheidung in Abhängigkeit von der Entwicklung nach einer Periode rückgängig machen zu können. Eine Modellierung des Verlagerungsprozesses findet nicht statt, die Verdichtung auf eine Unsicherheitsgröße und die Wahl des Basisobjektes wird nicht erläutert.

#### 4.4.6 Herleitung des Handlungsbedarfs aus dem Stand der Forschung

Abbildung 29 zeigt einen Überblick über wesentliche Arbeiten aus den Themenbereichen *Bewertung von Produktionstechnik* und der *Konfiguration globaler Produktionsnetzwerke* sowie *Mobilität in der Produktion*. Diese werden produktionsnahen *Anwendungen des Realloptionsansatzes* gegenübergestellt.

## 4 Handlungsbedarf und Stand der Forschung

Legende	Anforderungskriterien													
	Fokus der Bewertungsaufgabe	Globales Produktionsnetzwerk	Wandlungsfähigkeit	Standortübergreifende Mobilität	Investitionsplanung	Charakteristika des Bewertungsverfahrens	Quantitative Wertermittlung	Mehrere Unsicherheiten	Realloptionsansatz	Latifce-Ansatz	Stochastischer Ausübungspreis	Grundsätzliche Anforderungen an die Methodik	Anwendbarkeit	Praxistauglichkeit
<b>Legende</b> ● erfüllt Kriterium ⊕ erfüllt Kriterium teilweise ⊖ erfüllt Kriterium nicht														
<b>4.4.2 Bewertung von Produktionstechnik</b>														
<b>4.4.2.1 Bewertung von Produktionstechnologien</b>														
HEITSCH (2000); MARTINI (1995)		⊕	⊕	⊕	●		⊕	●	⊕	⊕	⊕		●	⊕
<b>4.4.2.2 Bewertung flexibler und wandlungsfähiger Produktionssysteme</b>														
HEGER (2007)		⊕	●	⊕	●				⊕	⊕	⊕			⊕
LICOPRO (2005); WEMHÖNER (2006)		⊕	●	⊕	●				⊕	●	⊕	⊕		⊕
CISEK (2005); DOHMS (2001)		⊕	●	⊕	⊕				⊕	⊕	⊕	⊕		⊕
HALLER (2003)		⊕	⊕	⊕	●				⊕	⊕	⊕	⊕		⊕
HERNANDEZ MORALES (2003)		⊕	●	⊕	⊕				⊕	●	⊕	⊕		⊕
SESTERHENN (2003)		⊕	●	⊕	⊕				⊕	⊕	⊕	⊕		⊕
WOLF (1989)		⊕	⊕	⊕	●				⊕	⊕	⊕	⊕		⊕
<b>4.4.3 Bewertung der Konfiguration globaler Produktionsnetzwerke</b>														
FERBER (2006)		●	⊕	⊕	⊕				⊕	⊕	⊕	⊕		⊕
PRONET (2005); MAYER (2006)		●	⊕	⊕	●				⊕	⊕	⊕	⊕		⊕
FLEISCHER&HERM (2005)		●	⊕	⊕	⊕				⊕	⊕	⊕	⊕		⊕
KINKEL (2003)		●	⊕	⊕	⊕				⊕	●	⊕	⊕		⊕
SCHELLBERG (2002)		●	⊕	⊕	⊕				⊕	⊕	⊕	⊕		⊕
DÜRRSCHMIDT (2001)		⊕	●	⊕	⊕				⊕	⊕	⊕	⊕		⊕
<b>4.4.4 Mobilität in der Produktion</b>														
MOBIFAK (2004); LANGE-STALINSKI (2003)		⊕	●	●	⊕				⊕	⊕	⊕	⊕		●
PLUG&PRODUCE (2004)		⊕	●	●	⊕				⊕	⊕	⊕	⊕		●
WdmF (2004)		⊕	●	⊕	⊕				⊕	⊕	⊕	⊕		●
SATFAB (2004); BÜRKNER (2005)		●	●	⊕	●				⊕	⊕	⊕	⊕		⊕
<b>4.4.5 Anwendung des Realoptionsansatzes</b>														
<b>4.4.5.1 Realoptionen in der Produktion</b>														
SCHÖNING (2006)		⊕	⊕	⊕	●				●	●	⊕	⊕		⊕
JUN (2006); WAHAB (2005)		⊕	●	⊕	●				●	●	●	⊕		⊕
SCHÄFER&SOCHOR (2005)		⊕	●	⊕	●				●	●	●	⊕		⊕
AMICO et al. (2003)		⊕	●	⊕	●				●	⊕	●	●		⊕
<b>4.4.5.2 Realoptionen im internationalen Kontext</b>														
BESTAND (2005)		●	⊕	⊕	⊕				●	⊕	●	●		⊕
YEO&QIU (2003)		●	⊕	⊕	⊕				●	⊕	●	⊕		●
DASU&LI (1997); KOGUT&KULATILAKA (1994)		●	●	⊕	⊕				●	⊕	●	⊕		⊕
HUCHZERMEIER (2003); HUCHZERMEIER&COHEN (1996)		●	●	⊕	⊕				●	⊕	●	⊕		⊕

Abbildung 29: Überblick zur Anforderungserfüllung bestehender Ansätze

Der folgende Handlungsbedarf lässt sich aus Abbildung 29 ableiten.

Zur Optimierung der Investitionsstrategie in einem globalen Produktionsnetzwerk unter Einfluss von Unsicherheiten fehlt es an quantitativen Methoden, welche in der Lage sind, die Handlungsmöglichkeiten, welche durch die Beschaf-



fung unterschiedlicher Produktionsressourcen entstehen, in die Bewertung zu integrieren. Die Aktualität dieser Problemstellung wird bestätigt durch eine Vielzahl an wissenschaftlichen Aktivitäten, die sich mit der quantitativen Bestimmung eines wirtschaftlichen Grades der Wandlungsfähigkeit in der Produktionstechnik beschäftigen. Durch die Analyse der bestehenden Ansätze ist diese Fragestellung als noch nicht gelöst zu betrachten. Dies trifft in noch höherem Maße auf die Arbeiten zu, die Mobilität als Wandlungsbefähiger der Fabrik betrachten.

Einerseits ist der Realloptionsansatz als methodisches Instrument zu betrachten, welches die genannten Defizite der Integration von Unsicherheiten und Handlungsspielräumen zu überwinden vermag. Andererseits ist in der Praxis eine Zurückhaltung gegenüber quantitativen Realloptionsmodellen zu beobachten. Aus diesem Bereich existieren viele Publikationen, welche in abstrakter Form produktionstechnische Fragestellungen beinhalten. Die theoretischen Modelle sind jedoch durch eine extrem hohe mathematische Komplexität, viele Restriktionen und eine daraus resultierende eingeschränkte Anwendbarkeit charakterisiert (z. B. HE & PINDYCK 1992, TRIGEORGIS 1995a, TULUCA & STALINSKI 2004). Daher ist eine Methodik zu entwickeln, welche den intuitiven Charakter des Optionsansatzes auf die Mobilität überträgt und durch ein angemessenes Komplexitätsniveau das Verständnis des Anwenders unterstützt. Zudem ist zu gewährleisten, dass eine Anpassung der Bewertungssituation ermöglicht wird, mehrere Unsicherheiten relativ einfach integriert werden können und die realitätsferne Annahme der unmittelbaren Ausübung der Verlagerung entfällt.

## **4.5 Aufbau der zu konzipierenden Methodik**

### **4.5.1 Struktur der Methodik**

Eine Methodik zur Bewertung von Mobilität sollte die abgeleiteten Schlussfolgerungen (4.2) aus den Grundlagenkapiteln, die formulierten Anforderungen an die Methodik (4.3) sowie die aus dem Stand der Forschung extrahierten Defizite bzw. der Ergänzungsbedarf (4.4.6) existierender Arbeiten berücksichtigen.

Abbildung 30 veranschaulicht den daraus abgeleiteten strukturellen Aufbau der zu entwickelnden Methodik. Die einzelnen Phasen werden in einzelnen Abschnitten des folgenden Kapitels 5 (5.1 - 5.6) detailliert umgesetzt und erläutert.

## 4 Handlungsbedarf und Stand der Forschung

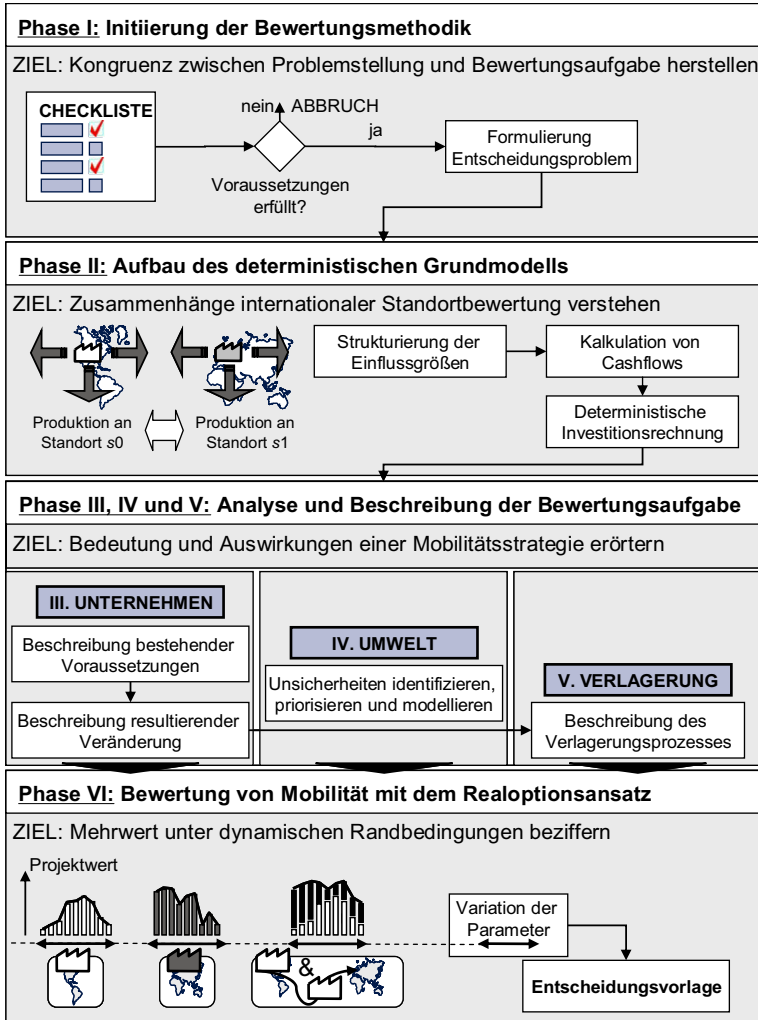


Abbildung 30: Struktureller Aufbau der Bewertungsmethodik

**Phase I (Initiierung der Bewertungsmethodik)** dient dazu, die Notwendigkeit der Betrachtung von Mobilität als Element der Produktionsstrategie zu verifizieren. Hierfür ist in einer Voranalyse die Ausgangssituation zu charakterisieren, und grundlegende Voraussetzungen, welche für den Einsatz der Methodik gegeben sein müssen, sind zu untersuchen. Im Falle der Erfüllung notwendiger Krite-

rien wird das Entscheidungsproblem klar formuliert, um ein einheitliches Verständnis hinsichtlich der Bewertungssituation zu schaffen. Als Ergebnis der Phase I steht demnach entweder der Abbruch der Bewertungsmethodik oder die klare Formulierung der Problemstellung als die Basis für das weitere Vorgehen.

In **Phase II (*Aufbau des deterministischen Grundmodells*)** werden anhand eines deterministischen Grundmodells<sup>15</sup> die Einflussgrößen und deren Zusammenhänge in globalen Produktionsnetzwerken identifiziert und strukturiert. Damit können allgemein für an verschiedenen Standorten betriebene Produktionssysteme resultierende Kosten und die Erlöse hergeleitet werden. Zudem ist dies für die Integration von Unsicherheiten in das Modell notwendig, die in Phase IV erfolgt.

Die daran anschließende Durchführung der **Phasen III, IV und V** erlaubt die genaue Beschreibung einer vorliegenden Bewertungssituation. Diese Schritte dienen der Konfiguration des Modells hinsichtlich der Bewertungsaufgabe und legen die Einflussparameter für das in Phase VI aufgebaute Optionsmodell fest.

Die **Analyse und Beschreibung** der Bewertungsaufgabe umfasst die drei Bereiche **Unternehmen (Phase III)**, **Umwelt (Phase IV)** und **Verlagerung (Phase V)**.

Die **Analyse und Beschreibung des Unternehmens (Phase III)** umfasst vorhandene Voraussetzungen im Produktionsnetzwerk und die induzierten Veränderungen durch die Ausübung der Mobilität. Die betrachteten Aspekte bauen auf den in Kapitel 2 vermittelten Grundlagen auf, die mögliche Strukturen sowie Strukturveränderungen im Produktionsnetzwerk aufzeigen. In **Phase IV** erfolgt die **Analyse und Beschreibung der Umwelt**. Dadurch wird das turbulente Umfeld der Unternehmung charakterisiert, relevante Unsicherheiten werden gefiltert und in stochastische Prozesse überführt. Die **Analyse und Beschreibung der Verlagerung (Phase V)** ist als das die Wirkung der Mobilitätsausübung beschreibende Element zu verstehen. Im Optionsmodell entsprechen die Kosten des Verlagerungsprozesses dem Ausübungspreis der Mobilitätsoption, welcher Wirkzusammenhänge zu den vorhergehenden beiden Phasen (IV und V) aufweist.

Die **Bewertung von Mobilität mit dem Realloptionsansatz (Phase VI)** baut auf dem in Kapitel 3 vorgestellten Realloptionsansatz auf und ermöglicht es, den Wert mobiler Produktionsressourcen in Abhängigkeit der in den vorausgehenden

---

<sup>15</sup> Deterministische Modelle dienen der Entscheidungsfindung bei Sicherheit, stochastische Modelle zur Entscheidungsfindung unter Unsicherheit (DOMSCHKE ET AL. 1997).

Phasen definierten Randbedingungen zu berechnen. Im Anschluss an die Berechnung des Optionswertes erfolgt die Überführung in eine interpretationsfähige Ergebnisdarstellung.

### 4.5.2 Eingrenzung der Betrachtung

Die Eingrenzungen der Bewertungsmethodik betreffen folgende Aspekte:

(1) *Anzahl der Produktionsstandorte und Märkte*

Die Anzahl der Produktionsstandorte, zwischen denen die Verlagerung im Produktlebenszyklus erfolgen kann, ist so weit zu reduzieren, dass es sich um ein Zwei-Standort-Modell handelt. Den Standorten ist je ein Absatzmarkt mit einem zugehörigen Währungsraum zugeordnet. Dies resultiert aus der erforderlichen Komplexitätsreduktion des Realoptionsmodells.

(2) *Anzahl unterschiedlicher Endprodukte*

Bei der Formulierung und den zugehörigen Erläuterungen des Modells wird von einem Ein-Produkt-Fall ausgegangen. Das bedeutet, dass die Produktionskonzepte endproduktspezifisch gestaltet sind und keine Varianten betrachtet werden.

(3) *Häufigkeit der Verlagerung im Produktlebenszyklus*

Sie wird im Gegensatz zu LANGE-STALINSKI (2003, S. 71) nicht als Gestaltungsparameter angesehen. Unter Mobilität wird die Fähigkeit verstanden, während des Produktlebenszyklus aufwandsarm den Standort zu wechseln. Trotz mobiler Gestaltung der Produktionsressourcen wird angenommen, dass der Standort nur einmal während des Lebenszyklus gewechselt wird.

(4) *Bestandteile der Verlagerung*

Es wird vereinfachend davon ausgegangen, dass die Gebäude nicht mobil sind und deshalb bei Ausübung der Mobilität nur die Produktionsressourcen verlagert werden.

(5) *Verlagerungsintensität*

Die Fokussierung auf Mobilität führt zur Restriktion, dass es sich um einen umgehend und vollständig durchgeführten (diskreten, nicht inkrementellen) Verlagerungsprozess handelt. Dieser kann partiellen oder vollständigen Charakter bezogen auf die zu verlagernde Wertschöpfungsstufe haben (HESCH 1998, S. 174 F.).

## 5 Methodik zur Bewertung von Mobilität in der Produktion

### 5.1 Initiierung der Bewertungsmethodik (Phase I)

#### 5.1.1 Struktur und Zielsetzung der Phase

Die Initiierungsphase dient der Überprüfung der erforderlichen Grundvoraussetzungen für die zielgerichtete Anwendung der Bewertungsmethodik (siehe Abbildung 30 auf S. 86). Ziel ist die Beantwortung der in Tabelle 5 aufgeführten zentralen Fragestellung (bezogen auf Abschnitt 5.1) sowie der untergeordneten Fragestellungen der Abschnitte 5.1.2 und 5.1.3.

5.1	Sollte Mobilität grundsätzlich in Erwägung gezogen werden?
5.1.2	Ist eine Anwendung der Methodik sinnvoll, erforderlich und möglich?
5.1.3	Herrscht ein grundsätzliches und einheitliches Verständnis bezüglich der Entscheidungssituation?

Tabelle 5: Formulierung der wesentlichen Fragestellungen der Phase I

#### 5.1.2 Checkliste zur Initiierung der Bewertungsmethodik

Der Initiierungsphase und damit auch der eigentlichen Methodik zur Bewertung des Freiheitsgrades Mobilität liegt eine Ausgangssituation zugrunde. Diese beinhaltet die im Vorfeld durchgeführten Planungs- und Gestaltungsschritte im Unternehmen. Ein grob strukturiertes und dimensioniertes immobiles Produktionskonzept (im Folgenden:  $a_0$ ) wurde dabei in einem ersten Bewertungsschritt mit Hilfe des Kapitalwertkonzeptes beurteilt. Ebenso erfolgte gemäß der Einschränkungen (4.5.2) eine Reduzierung auf zwei unterschiedliche Markt- bzw. Wirtschaftsräume.

Die folgenden charakteristischen Eigenschaften eines Investitionsprojektes bilden ein Anforderungsprofil für eine sinnvolle Anwendung der konzipierten Bewertungsmethodik (Tabelle 6). Sie sind als Ausschlusskriterien zu verstehen. Folglich führt nur die Erfüllung aller Anforderungen aus Tabelle 6 zur Durchführung der Methodik.

## 5 Methodik zur Bewertung von Mobilität in der Produktion

---

[1]	Es handelt sich um ein hohes Investitionsvolumen des zu errichtenden Produktionssystems.	X
[2]	Das Investitionsvorhaben ist strategisch relevant.	X
[3]	Es liegt ein mittel- bis langfristiger Planungszeitraum vor.	X
[4]	Verschiedene potenzielle Produktionsstandorte sind grundsätzlich denkbar.	X
[5]	Ein alternatives mobiles Produktionskonzept ist technisch realisierbar.	X
[6]	Die zugrunde liegenden Eingangsdaten zur Ermittlung der Erlöse und Kosten unterliegen einer hohen Unsicherheit.	X
[7]	Die Bildung unterschiedlicher Szenarios führt zu einer hohen Varianz des Ergebnisses, lässt aber keine eindeutige Präferenzbildung hinsichtlich eines Produktionsstandortes zu.	X

Tabelle 6: *Von der Ausgangssituation zu erfüllende Anforderungskriterien für eine sinnvolle Anwendung der konzipierten Methodik*

Die Kriterien [1] und [2] beschreiben generelle Eigenschaften, welche eine Einordnung der Bedeutung des Investitionsvorhabens zulassen, um den mit der Durchführung der anschließenden Methodik verbundenen erhöhten Planungs- und Bewertungsaufwand zu rechtfertigen. Ein mittel- bis langfristiger Planungshorizont [3] ist als Voraussetzung zu verstehen, damit Handlungsspielräume ihren Wert unter Unsicherheit entfalten können. Kriterium [4] bildet die Grundvoraussetzung für eine standortübergreifende Durchführung der Produktion bzw. für eine Verlagerung während des Lebenszyklus. Das folgende Kriterium [5] ermöglicht eine generelle Realisierbarkeit eines mobilen Produktionskonzeptes (im Folgenden:  $a_1$ ). Die beiden abschließenden Kriterien beziehen sich auf die Bedeutung zumindest eines vorherrschenden Unsicherheitsfaktors [6], wohingegen Kriterium [7] ausschließt, dass trotz des Unsicherheitsprofils des Unternehmensumfeldes eine Standortalternative in allen vorgedachten Szenarios bessere Ergebnisse liefert als alle anderen Standortalternativen. In diesem Falle würde dieser Standort im Sinne der stochastischen Dominanz erster Ordnung (BRAND 1987, S. 157 F.) dominieren, da dessen Verteilungsfunktion der Gewinne stets oberhalb derer der Alternativen liegt<sup>16</sup>. Diesen Zusammenhang verdeutlicht die Abbildung 31. Im oberen Bereich des Bildes sind zwei beispielhafte Gegenüberstellungen von Dichtefunktionen aufgezeigt ( $f(\cdot)$  und  $g(\cdot)$  sowie  $f'(\cdot)$  und  $g'(\cdot)$ ).

---

<sup>16</sup> Die formale Definition stochastischer Dominanz ist im Anhang aufgeführt (9.3.1).

Die Dichtefunktionen zeigen die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten verschiedener Umweltszenarios und die dazugehörigen Kapitalwerte zweier unterschiedlicher Standorte. Daraus lassen sich die dazugehörigen kumulierten Wahrscheinlichkeiten in Verteilungsfunktionen ableiten. Der Vergleich der Verteilungsfunktionen in Abbildung 31 stellt entsprechend der Definition rechts eine stochastische Dominanz erster Ordnung dar. Liegt diese nicht vor, resultiert daraus, dass Mobilität als Wandlungsbefähiger von Fabriken Potenzial besitzt.

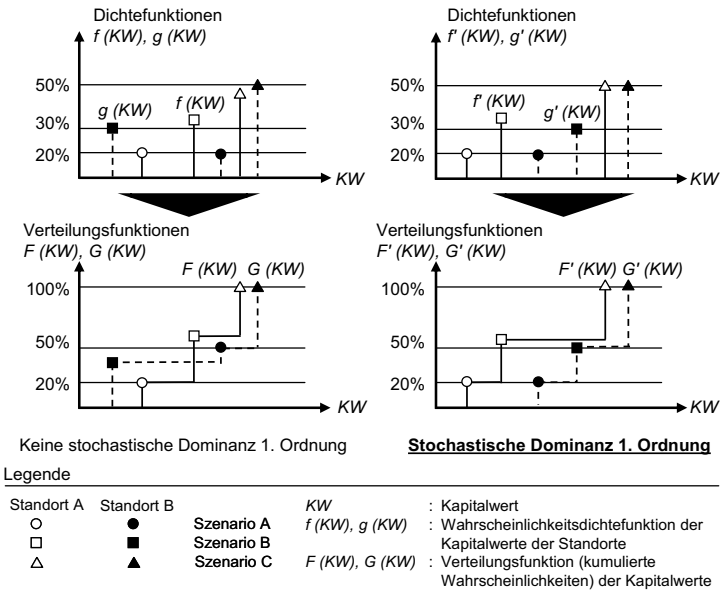


Abbildung 31: Das Konzept der stochastischen Dominanz erster Ordnung, illustriert anhand eines beispielhaften Kapitalwertvergleichs

### 5.1.3 Formulierung des Entscheidungsproblems

Die Initiierungsphase schließt mit der Beschreibung des Entscheidungsproblems, welches wie folgt zu formulieren ist:

*Ein Wechsel des Produktionsstandortes während des Produktionslebenszyklus könnte einen nicht vernachlässigbaren Mehrwert für das Unternehmen erzeugen. Das Vorhalten dieser Möglichkeit entspricht einer Option in der Produktion, deren Wert es zu bestimmen gilt.*

Der Wert der Option Mobilität ist abhängig von

- den existierenden strukturellen Voraussetzungen des Unternehmens und den durch die Verlagerung induzierten Strukturveränderungen (siehe 5.3),
- der zukünftigen Entwicklung des Unternehmensumfeldes (5.4) und
- den Charakteristika des Verlagerungsprozesses einschließlich der darin enthaltenen Unsicherheiten (5.5).

### 5.1.4 Fazit der Phase I und Ausblick

Abschnitt 5.1 beinhaltet eine Checkliste. Diese dient dazu, festzustellen, ob es sinnvoll ist, die im Folgenden beschriebene Methodik zur Bewertung von Mobilität anzuwenden.

In den Phasen III, IV und V der Methodik werden die Parameter für das Bewertungsmodell festgelegt. Die Grundlage hierfür bildet ein deterministisches Grundmodell zur Bewertung internationaler Standortentscheidungen. Die Struktur und die Zusammenhänge dieses Grundmodells werden anhand der folgenden Phase II (Abschnitt 5.2) erläutert. Darauf setzt die Analyse und Beschreibung der Elemente Unternehmen, Umwelt und Verlagerung auf (5.3 bis 5.5).

## 5.2 Aufbau des deterministischen Grundmodells (Phase II)

### 5.2.1 Struktur und Zielsetzung der Phase

Ziel des Abschnittes 5.2 ist die Entwicklung eines deterministischen Grundmodells zur Bewertung internationaler Standortentscheidungen. Die wesentlichen Fragestellungen, die in dieser Phase zu beantworten sind, zeigt die Tabelle 7.

5.2	Wie ist eine internationale Standortentscheidung grundsätzlich zu bewerten?
5.2.2	Welchen Aufbau hat das Grundmodell?
5.2.3	Welches Verfahren der Kostenrechnung wird gewählt, um die Cashflows zu ermitteln?
5.2.4	Was steht hinter den verschiedenen Modulen des Grundmodells?

Tabelle 7: Formulierung der wesentlichen Fragestellungen der Phase II



### 5.2.2 Aufbau und Zusammenhänge des Grundmodells

Die Strukturierung des internationalen Investitionsproblems führt zu einem Grundmodell, dessen Aufbau in Abbildung 32 veranschaulicht ist.

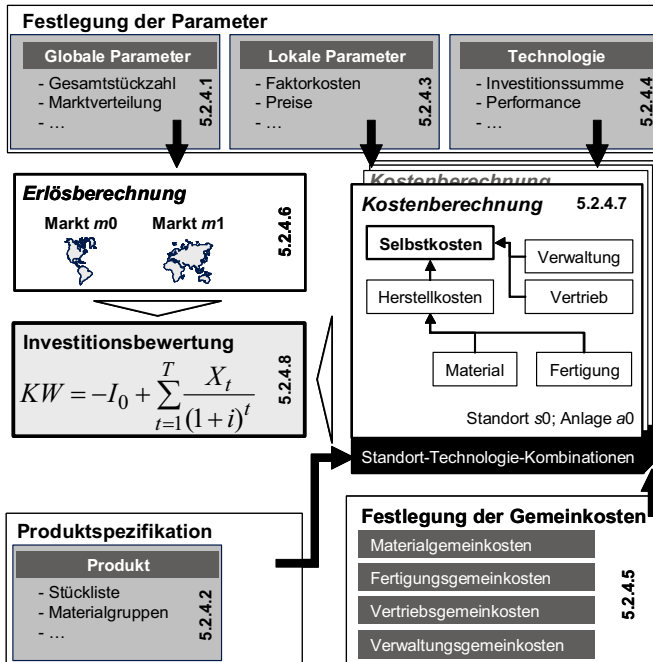


Abbildung 32: Konzeptioneller Aufbau des Grundmodells zur Bewertung der internationalen Allokation von Produktionsaufgaben

Das Modell enthält fünf Beschreibungsmodule, in denen alle Eingangsgrößen definiert werden, die zur Ermittlung der Kosten und Erlöse erforderlich sind (Abschnitte 5.2.4.1 - 5.2.4.5). Hierfür sind zwei getrennte Berechnungsmodule vorhanden, da es sich bei der Erlösberechnung um eine auf das Gesamtnetzwerk bezogene Kalkulation handelt, während die Ermittlung der Kosten spezifisch für einzelne Standort-Technologie-Kombinationen erfolgt. Mit Hilfe der Berechnungsmodule werden die Kapitalwerte der Investitionsalternativen bestimmt.

#### Standort-Technologie-Kombinationen

Die Standort-Technologie-Kombinationen bestehen aus der Zuordnung der zu vergleichenden technologischen Konzepte zu den möglichen – nach einer Vor-

## 5 Methodik zur Bewertung von Mobilität in der Produktion

---

auswahl – verbliebenen Produktionsstandorten<sup>17</sup>. Durch die Zuordnung von Anlage zu Produktionsstandort definiert sich entsprechend der Interpretation in 4.2.1 ein sogenannter Produktionsmodus  $\Omega_{as}$ , der die Betriebskosten determiniert. Die Option des mobilen Produktionssystems  $a1$  besteht darin, zwischen unterschiedlichen Produktionsmodi wechseln zu können.

Aus Tabelle 8 wird ersichtlich, dass in der vorliegenden Planungsphase nur noch zwei alternative Produktionskonzepte miteinander verglichen werden, wobei  $a0$  das immobile Produktionssystem darstellt, während  $a1$  durch die Eigenschaft der Mobilität charakterisiert wird. Die Reduzierung des Entscheidungsproblems auf zwei Märkte ist durch die spätere Konstruktion des Realloptionsmodells bedingt<sup>18</sup>. Die beiden Produktionsstandorte  $s0$  und  $s1$  sind damit den Märkten  $m0$  bzw.  $m1$  zugeordnet.

Parameter	Beschreibung
$A$	Menge der alternativen Produktionssysteme, $A = \{a0, a1\}$
$S$	Menge abgebildeter Produktionsstandorte, $S = \{s0, s1\}$
$M$	Menge abgebildeter Märkte, $M = \{m0, m1\}$
$\Omega_{as}$	Produktionsmodus einer Standort-Technologie-Kombination, $a \in A, s \in S$

Tabelle 8: Betrachtungsraum zur Bestimmung des Produktionsmodus

### 5.2.3 Selbstkostenrechnung als Kalkulationsbasis

Die Selbstkostenrechnung ist eine grundlegende Anwendung der Kosten- und Leistungsrechnung und basiert auf der Kostenarten- und Kostenstellenrechnung. Sie führt die Zurechnung der Kosten auf einzelne Leistungsbestandteile (Kostenträger) durch und wird im vorliegenden Zusammenhang in ihrer Funktion als Vorkalkulation verwendet. Damit ist sie als Plankostenrechnung zu verstehen,

---

<sup>17</sup> Die Vorauswahl ist nicht als zentrale Fragestellung der Arbeit zu sehen. Hierzu existieren methodische Konzepte (EVERSHEIM 1996, HESCH 1998, S. 158 FF., BANKHOFER 2001, S. 115 FF.).

<sup>18</sup> Zur transparenten Abbildung des komplexen Mobilitätsproblems wird ein auf dem Binomialansatz aufbauendes Bewertungsmodell erstellt (*Lattice*-Ansatz), in welchem die Erhöhung der Anzahl weiterer Standorte die Komplexität der Modellierung maßgeblich ansteigen lassen würde (siehe 5.4.3.2).

welche den Zweck einer entscheidungsorientierten Zukunftsrechnung erfüllt (KILGER 1987, S. 279 F., WÖHE 1996, S. 1252). Hierdurch wird ihre Eignung zur Ermittlung der prognostizierten Cashflows deutlich.

## 5.2.4 Module des deterministischen Grundmodells

### 5.2.4.1 Festlegung der globalen Parameter

Der zentrale Speicher der relevanten Eingangparameter für die Bewertung ist das Modul *Festlegung der Parameter*. Hier wird der Großteil der Berechnungsgrößen definiert, die für die spätere Ermittlung der Kosten- und Erlösstruktur erforderlich sind. Die Parameter werden in globale (5.2.4.1), lokale (standortspezifische) (5.2.4.3) und technologische Größen (5.2.4.4) unterteilt. In den beiden erstgenannten Kategorien sind alle Größen enthalten, welche in der späteren Berechnung als Schwankungsparameter eine stochastische Eigenschaft aufweisen können (siehe 5.4.2). Diese werden zur Verdeutlichung dieser Eigenschaft mit griechischen Buchstaben bezeichnet. Tabelle 9 zeigt eine Auflistung der globalen Parameter des Bewertungsmodells.

#### Globale Parameter

Parameter	Beschreibung
$T$	Betrachtungszeitraum
$\pi_t$	Gesamtstückzahl des Endproduktes $EP$ in $t$ , für $1 \leq t \leq T$
$\eta_{tm}$	Marktanteil von Markt $m$ in $t$ , $m \in M$ , $1 \leq t \leq T$
$\omega_{t0m}$	Preis der Währung (Wechselkurs) des Marktes $m$ in Einheiten einer Basiswährung (Index 0) zum Zeitpunkt $t$ , $m = m1$ , $1 \leq t \leq T$

Tabelle 9: Globale Parameter des Bewertungsmodells

Die Länge des Betrachtungszeitraumes  $T$  entspricht in der Regel der des Lebenszyklus der zu vergleichenden Produktionskonzepte. Er wird für die Alternativen als identisch angenommen, d. h. kein Produktionskonzept erzeugt einen Vorteil aufgrund einer längeren Nutzungsdauer. Der Betrachtungszeitraum  $T$  wird in diskrete Zeitperioden geeigneter Länge unterteilt. Die Länge dieser Perioden richtet sich danach, inwieweit sich die Prognosedaten (z. B. Absatzzahlen,

Marktverteilungen, etc.) sinnvoll aggregieren lassen. Die Dauer  $T$  sollte ausreichend lang genug gewählt werden, um Abweichungen, die innerhalb der damit festgelegten Zeitspanne auftreten, abbilden zu können.

Die Standort-Markt-Kombinationen  $s_0$  und  $m_0$  sowie  $s_1$  und  $m_1$  stellen jeweils einen einheitlichen Währungsraum dar. Der Index 0 bezeichnet hierbei die für die Bewertung zu wählende Basis. Sie entspricht in der Regel dem Stammland des Unternehmens und legt die Währung des Bewertungsergebnisses fest. Ist der Kapitalwert der Investitionsrechnung in Euro auszuweisen, ist demzufolge der Euro als Basiswährung zu verstehen. Für jedes  $t \in \{1, 2, T\}$  wird die Gesamtstückzahl der Periode  $t$  durch  $\pi_t$  beschrieben und anhand des periodenbezogenen Marktanteils  $\eta_{t,m}$  den Märkten zugeordnet.

### 5.2.4.2 Produktspezifikation

Das zweite zentrale Element der Analyse ist die Spezifikation des herzustellenden Produktes. Durch die Darstellung der Fertigungsstruktur wird die Stückliste des Endproduktes abgeleitet. Letztere ermöglicht eine programm- bzw. absatzgebundene Bedarfsermittlung. Da der konkrete Bedarf der erforderlichen Komponenten für die Bewertungsaufgabe ausreichend ist, wird hierfür eine sogenannte Mengenübersichtsstückliste (WÖHE 1996, S. 544) verwendet.

Für die spätere Mobilitätsbetrachtung ist die Bildung verschiedener Komponentenklassen erforderlich, in welche sich die einzelnen Komponenten (und Bezugsmaterialien) einteilen lassen. Es ist zu differenzieren, ob der Bezugsort der Komponente bei einer Verlagerung der Produktion des Endproduktes unverändert bleibt (Ortsabhängigkeit des Bezugs) oder nicht. Eine Ortsabhängigkeit führt zu veränderten Logistikkosten nach einer Verlagerung, während die Ortsunabhängigkeit mit einem Einmalaufwand zur Neukonfiguration des Beschaffungskonzeptes und, daraus resultierend, mit geänderten Beschaffungskosten verbunden ist.

Das Ergebnis der Produktspezifikation ist eine Auflistung der Komponenten in einer Mengenstückliste. Sie enthält eine Zuordnung der Komponenten zu den zwei resultierenden Klassen  $K_1$  (Ortsabhängigkeit des Bezugs) und  $K_2$  (Ortsunabhängigkeit des Bezugs). Das Endprodukt und eventuell weitere durch das zu bewertende Produktionssystem hergestellte Vorprodukte werden in der Klasse  $K_0$  zusammengefasst (siehe Tabelle 10).

**Parameter der Produktspezifikation**

Parameter	Beschreibung
$K0$	Menge der durch das Produktionssystem hergestellten Komponenten einschließlich des Endproduktes $EP$ , $K0 = \{k_{01}, \dots, k_{0l}\}$ , wobei $k_{01} = EP$
$K1$	Menge der Komponenten, die eine Ortsabhängigkeit des Bezugs aufweisen, $K1 = \{k_{11}, \dots, k_{1m}\}$
$K2$	Menge der Komponenten, die keine Ortsabhängigkeit (Ortsunabhängigkeit) des Bezugs aufweisen, $K2 = \{k_{21}, \dots, k_{2n}\}$
$x(k_{ij})$	Benötigte Menge der Komponente $k_{ij}$ je hergestelltes Endprodukt $EP$ , $\forall ij \in \{j   (i, j) \in \{(0, o), (1, p), (2, q)\}\}$ , wobei gilt $1 \leq o \leq l, 1 \leq p \leq m, 1 \leq q \leq n$

Tabelle 10: Parameter der Produktspezifikation

Die Komponentengruppen  $K1$  und  $K2$  bilden die Grundlage für die standortspezifische Bestimmung der Materialeinzelkosten (5.2.4.3). Die Gruppe  $K0$  hingegen bildet die Basis für die Festlegung der technologiespezifischen Leistungsparameter der zu bewertenden Produktionskonzepte (5.2.4.4).

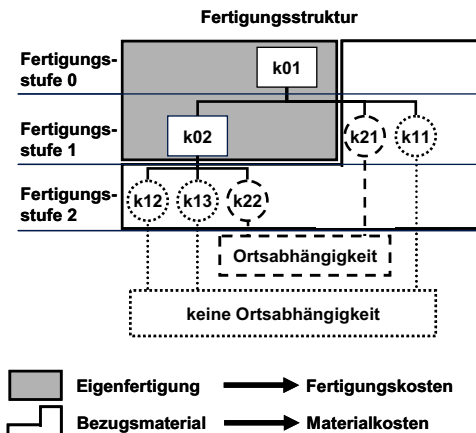


Abbildung 33: Produktspezifikation ausgehend von der Fertigungsstruktur mit Visualisierung der zu bildenden Klassen

### 5.2.4.3 Festlegung der lokalen Standortparameter

Die Beschreibung der Standortbedingungen fokussiert die lokalen Kosten für die Produktionsfaktoren *Arbeit*, *Material* und *Kapital*. Alle Größen haben entscheidenden Einfluss auf die Herstellungskosten eines Produktes und damit auch auf die Vorteilhaftigkeit der standortdeterminierenden Investitionsentscheidung. Die Bedeutung der Faktorpreise nimmt mit wachsendem Wertschöpfungsinhalt des zu betrachtenden Produktionsprozesses zu (MEYER 2006a, S. 33 FF.). Hinsichtlich der Mobilitätsbetrachtung ist die Dynamik der Faktoren von zentralem Interesse, welche von den nicht dynamischen Standortentscheidungsverfahren vernachlässigt wird (KINKEL 2004b, S. 6).

#### **Faktorkosten Arbeit**

Die Arbeitskostenunterschiede werden als relevantestes Auswahlkriterium bei langfristig orientierten Standortentscheidungen angesehen, was sich anhand der Ergebnisse einer Vielzahl von Studien zeigen lässt (KINKEL ET AL. 2004, SCHUH & GEISSBAUER 2004, THE BOSTON CONSULTING GROUP INC. 2004, ABELE & KLUGE 2005). Neben den Lohnkosten (inklusive der Lohnnebenkosten) gehen in die Bestimmung der Arbeitskosten auch die unterschiedlichen länderspezifischen Arbeitszeiten sowie das Produktivitätsniveau ein (JWD 2006). Da Vorteile eines Standortwechsels davon abhängig sind, inwieweit eine hinreichende Effektivität und Effizienz am Zielstandort erzielt werden kann, sind dynamische Skaleneffekte durch Lernkurven in die Bewertung zu integrieren. Ebenfalls von hoher Bedeutung sind die Kosten für hochqualifizierte Arbeitskräfte und Gehaltsempfänger an den jeweiligen Standorten (MEYER 2006a, S. 35 FF.). Die Veränderung der Größen führt dann zu einer periodenabhängigen Notierung.

Für einen objektiven Vergleich der Standortalternativen ist es zudem erforderlich, die Kosten, welche dem Entsendestandort  $s_0$  durch die Betreuung, Koordination und Kontrolle der Produktion an  $s_1$  entstehen, dem Zielstandort zuzurechnen (KINKEL 2004a, S. 62). Diese permanent anfallenden Kosten umfassen sämtliche Kontroll- und Betreuungstätigkeiten, deren Höhe von den Fähigkeiten des Zielstandortes und der Komplexität der zu verlagernden Fertigungsprozesse abhängig ist. Enthalten sind Kommunikations- und Koordinationskosten, Reisekosten für die langfristige Entsendung von *Expatriates* sowie sonstige Kosten (Speisen etc.). Als *Expatriates* werden Mitarbeiter aus dem Entsendestandort bezeichnet, welche den Anlauf und die Produktion am Zielstandort der Verlagerung unterstützen (MEYER 2006b, S. 97). Vereinfachend wird bei den Betreuungskosten  $BK_i(\Omega_{as1})$  von einer periodenbezogenen Kostendefinition ausgegangen. Die

zusätzliche und sich direkt an den Verlagerungsprozess anschließende personelle Unterstützung des Anlaufes vor Ort (KINKEL 2004b, S. 6, SIMON ET AL. 2006, S. 239 FF.) wird separat in den Verlagerungskosten (siehe 5.5) erfasst. Die lokalen Standortparameter zeigt zusammenfassend die folgende Tabelle 11.

**Lokale Standortparameter (Faktor Arbeit)**

Parameter	Beschreibung
$lok_{0s}$	Standortspezifischer Lohnkostensatz je Mitarbeiter und Periode am Standort $s$ , $s \in S$ , in $t = 0$
$\Delta lok_s$	Standortspezifische Steigerung der Lohnkosten (Lohnkostentwicklung) pro Periode am Standort $s$ , $s \in S$
$prod_{0s}$	Standortspezifische Produktivität am Standort $s$ , $s \in S$ , in $t = 0$
$\Delta prod_s$	Standortspezifische Steigerung der Produktivität pro Periode am Standort $s$ , $s \in S$
$paz_{ts}$	Standortspezifische Arbeitszeit pro Periode am Standort $s$ , $s \in S$ , je Mitarbeiter in $t$
$ga_{0s}$	Durchschnittliche standortspezifische Aufwände für Gehaltsempfänger pro Periode am Standort $s$ , $s \in S$ , in $t = 0$
$\kappa_{ts}$	Arbeitskosten in Periode $t$ am Standort $s$ , $1 \leq t \leq T$ , $s \in S$ als Quotient aus Lohnkosten und Produktivität, normiert durch die Periodenarbeitszeit $paz_s$
$BK_t(\Omega_{as1})$	Betreuungskosten im Modus $\Omega_{as1}$ , die in Periode $t$ anfallen, $0 \leq t \leq T$

Tabelle 11: *Standortspezifische Parameter des Bewertungsmodells zur Bestimmung der resultierenden Arbeitskosten am Standort*

**Faktorkosten Material**

Ein erheblicher Teil der Herstellungskosten eines Produktes wird von den Materialkosten gebildet. Der Anteil reicht von ungefähr 60% im Bereich des Maschinenbaus bis zu circa 75% in der Computer- und Automobilindustrie (STOLLE ET AL. 2006, S. 325). Daher kann eine hohe Abhängigkeit zwischen dem Optimum der Allokation der Produktion und diesen Kosten bestehen. Den Ausgangspunkt

## 5 Methodik zur Bewertung von Mobilität in der Produktion

zur Ermittlung der die Material- und Logistikkosten beinhaltenden Beschaffungskosten stellt die Mengienstückliste dar (siehe 5.2.4.2).

Für jede zu beschaffende Komponente  $k_{1i}$  der Komponentenklassen  $K1$  (Ortsabhängigkeit des Bezuges) sind neben dem Materialeinkaufspreis die Logistikkosten zu definieren. Die Logistikkosten beinhalten die Steuerungs- und Systemkosten, die Lager- und Transportkosten, die von der Transportzeit abhängigen Kapitalbindungskosten (Bestandskosten) sowie die kostenmäßige Wirkung von Transportrisiken. Zusätzlich beinhalten die Logistikkosten die Handlingskosten und die Kosten der tarifären Handelshemmnisse (Zölle). Im Gegensatz zu  $K1$  ist der Bezugsort für die Komponenten  $k_{2j}$  der Komponentenklassen  $K2$  anpassbar an den Standort der Produktion des Endproduktes (Ortsunabhängigkeit des Bezugs). Daher ändern sich der Materialeinkaufspreis und die Logistikkosten bei einer Verlagerung des Produktionsstandortes gegebenenfalls im Zuge der Umstellung des Beschaffungskonzeptes. Hierbei sind zudem Transaktionskosten (z. B. Verlagerungsaufwand des Lieferanten, Suche nach einem neuen Lieferanten etc.) einzubeziehen. Die lokalen Standortparameter (Faktor Material) zeigt Tabelle 12.

### Lokale Standortparameter (Faktor Material)

Parameter	Beschreibung
$mep(k_{1i})$	Materialeinkaufspreis der Komponente $k_{1i}$ , $\forall i \in \{1, \dots, m\}$ , (unabhängig vom Standort der Produktion von $EP$ )
$lk_s(k_{1i})$	Logistikkosten der Komponente $k_{1i}$ bei einer Produktion von $EP$ am Standort $s$ , $s \in S$ , $\forall i \in \{1, \dots, m\}$
$mep_s(k_{2j})$	Materialeinkaufspreis der Komponente $k_{2j}$ bei einer Produktion von $EP$ am Standort $s$ , $s \in S$ , $\forall j \in \{1, \dots, n\}$
$lk_s(k_{2j})$	Logistikkosten der Komponente $k_{2j}$ bei einer Produktion von $EP$ am Standort $s$ , $s \in S$ , $\forall j \in \{1, \dots, n\}$
$tkb_s(k_{2j})$	Transaktionskosten für die Rekonfiguration des Beschaffungskonzeptes der Komponente $k_{2j}$ zur Belieferung der Produktion am Standort $s$ , $s \in S$ , $\forall j \in \{1, \dots, n\}$

Tabelle 12: Parameter zur Bestimmung der standortabhängigen Beschaffungskosten



### Faktorkosten Kapital und sonstige standortspezifische Parameter

Die kostenorientierte Beschreibung der Standorte wird durch länderspezifische Kapitalkostensätze vervollständigt. Investitionen in verschiedenen Ländern unterliegen einem unterschiedlichen Ausfallrisiko durch politische und gesellschaftliche Rahmenbedingungen. Daraus resultierende Differenzen zwischen länderspezifischen Risiken werden daher häufig durch eine Anpassung der Kapitalkostensätze mit einem Risikoaufschlag erfasst. Durch die Verwendung eines länderspezifischen Kapitalkostensatzes kann die Einschätzung des Ausfallrisikos zumindest teilweise in die Kalkulation integriert werden (BERGER 2006a, MEYER 2006b, S. 59)<sup>19</sup>.

Als weitere standortspezifische Kosten fallen Sondereinzelkosten des Vertriebs an. Grundlage für deren Berechnung sind die direkt zuordenbaren Kosten für die Distribution des Endproduktes. Entsprechend der Definition der Logistikkosten (Beschaffung) enthalten sie neben den Transferkosten die direkt zuordenbaren Aufwendungen für Handling, Verpackung und Zölle. Zudem gehören zu den lokalen Parametern, sofern kein einheitlicher Weltmarkt existiert, die lokalen Preise je verkaufte Einheit des Endproduktes in einem Markt. Sie sind in der lokalen Währung ausgewiesen. Für den in Fremdwährung notierten Markt  $m$  ergibt sich dann der resultierende erzielte Preis in der Basiswährung in Abhängigkeit des Währungskursverhältnisses  $\omega_{t0m}$  in Periode  $t$ . Dieser Fall wird als Lokalpreismodell bezeichnet (HUCHZERMEIER 2005, S. 620). Tabelle 13 vervollständigt die Auflistung der im Modell berücksichtigten lokalen Einflussgrößen.

#### Lokale Standortparameter (Faktor Kapital und sonstige)

Parameter	Beschreibung
$i_s$	Länderspezifischer Kapitalkostensatz des Standortes $s$ , $s \in S$
$vk_{sm}$	Direkte Vertriebskosten (Distributionskosten) von Produktionsstandort $s$ , $s \in S$ , in den Zielmarkt $m$ , $m \in M$
$p_{tm}$	Lokalpreis des Endproduktes in Periode $t$ , ausgewiesen in der lokalen Währung des Marktes $m$ , $m \in M$ , $0 \leq t \leq T$

Tabelle 13: Sonstige lokale Modellparameter (inkl. des Faktors Kapital)

<sup>19</sup> Eine Tabelle mit Richtwerten länderspezifischer Kapitalkostensätze findet sich im Anhang (9.3.2).

### 5.2.4.4 Festlegung der technologischen Parameter

Die Beschreibung der Technologien mündet in drei verschiedene Parameter, durch welche sich die zu bewertenden Produktionssysteme charakterisieren lassen (siehe Tabelle 14). Hierzu sind die Investitionskosten, die Leistungsfähigkeit und der Fixkostenanteil des Betriebs an einem Standort zu ermitteln.

#### Technologische Parameter

Parameter	Beschreibung
$I_{0as}$	Investitionskosten zum Zeitpunkt $t = 0$ für das Produktionssystem $a$ , $a \in A$ , bei Produktion am Standort $s$ , $s \in S$
$tb_a(k_{0j})$	Bearbeitungszeit für die Herstellung der Komponente $k_{0j}$ mit dem Produktionssystem $a$ , $a \in A$ , $\forall j \in \{1, \dots, l\}$
$k_{as}^{fix}$	Fixkostenanteil der Standort-Technologie-Kombination, $a \in A$ , $s \in S$

Tabelle 14: Parameter zur Beschreibung der Produktionssysteme

Die Investitionskosten beinhalten alle notwendigen Aufwendungen für den Betrieb eines Produktionssystems. Die Leistungsfähigkeit wird über die notwendige Bearbeitungszeit bestimmt, ebenso ergibt sich durch eine bestimmte Standort-Technologie-Kombination ein spezifischer Fixkostenanteil der Herstellungskosten.

### 5.2.4.5 Festlegung der Gemeinkosten

Aufgrund der Bedeutung der Gemeinkosten bei Verlagerungsentscheidungen ist deren Analyse und Beschreibung ein wichtiger Bestandteil der Konfiguration des Bewertungsmodells. Ziel ist eine möglichst genaue Zuordnung der anfallenden Gemeinkosten zu den Standortalternativen. Dies ist gleichbedeutend mit einer verursachungsgerechten Verteilung der nach einer Verlagerung entstehenden Kostenstruktur und stellt eine unabdingbare Anforderung an eine Bewertung von Standortentscheidungen dar (KINKEL 2004b, S. 6). Die Ermittlung der Kosten hat im Zuge einer durchzuführenden Plankosten-Rechnung für alternative Produktionsstandorte zu erfolgen. Dabei ist so weit als möglich auf vorhandene Daten zurückzugreifen (Normal- und Ist-Kosten). So wird die dem Standort zugrunde liegende Overheadstruktur (unterstützende Bereiche) angemessen berücksichtigt

und es wird erfasst, welche Tätigkeiten nach einer Verlagerung an welchem Standort anfallen. Eine genaue Prognose der zukünftigen Gemeinkostenstruktur ist unter den gegebenen Unsicherheiten nicht möglich, zumal Gemeinkostenzuschläge von der Höhe der jeweiligen Einzelkosten abhängen und auslastungsbedingt stark schwanken. Für die Vorkalkulation ist daher eine Approximation der Gemeinkostensätze für die in Betracht kommenden Produktionsstandorte erforderlich.

Zur Ermittlung der Gemeinkostenstruktur an Standort  $s_1$  werden im Modell in einem ersten Schritt die Kosten der Gemeinkostenbereiche  $gkb$  (*Material, Fertigung, Vertrieb* sowie *Verwaltung*) an  $s_0$  als Summe der Kosten der jeweils involvierten Kostenstellen  $gks(gkb)$  gebildet. In einem zweiten Schritt erfolgt eine stückzahlbezogene Proportionalisierung der Gemeinkosten mit Hilfe einer für den Lebenszyklus repräsentativen und auf eine Periode bezogenen Stückzahl  $\hat{\pi}$  des Endproduktes  $EP$ . In einem abschließenden dritten Schritt werden die resultierenden Gemeinkosten der einzelnen Kostenstellen bei einer Verlagerung an den Zielstandort  $s_1$  ermittelt. Die Einführung kostenstellenspezifischer Korrekturfaktoren  $\delta(gks)$  für  $s_1$  gewährleistet dabei eine verursachungsgerechte Zuordnung remanenter Kostenbestandteile. Weiterhin am Ausgangsstandort  $s_0$  ausgeführte Tätigkeiten (z. B. strategischer Einkauf) können durch eine entsprechende Definition von  $\delta(gks)$  dem Zielstandort  $s_1$  angelastet werden. Für die Gemeinkosten am Zielstandort  $s_1$  gilt zusammenfassend

$$GK_{s_1}^{gkb} = \frac{1}{\hat{\pi}} \sum_{gks(gkb)} GK_{s_0}^{gks(gkb)} \cdot \delta^{gks(gkb)} \quad (11)$$

$$\forall gkb \in GKB .$$

$GK_{s_1}^{gkb}$	Proportional zur Stückzahl anfallende Gemeinkosten des Gemeinkostenbereichs $gkb$ bei Produktion am Standort $s_1$ , $gkb \in GKB$
$GKB$	Menge der Gemeinkostenbereiche, $GKB = \{Fertigung, Material, Vertrieb, Verwaltung\}$
$gks(gkb)$	An der Herstellung von $EP$ beteiligte Gemeinkostenstellen eines Gemeinkostenbereichs $gkb$ , $gkb \in GKB$
$\hat{\pi}$	Durchschnittliche Produktionsmenge von $EP$
$GK_{s_0}^{gks(gkb)}$	Am Standort $s_0$ anfallende Gemeinkosten einer Gemeinkostenstelle $gks$
$\delta^{gks(gkb)}$	Korrekturfaktor (Verlagerung) einer Gemeinkostenstelle $gks$

Generell ist bei dem Vorgehen darauf zu achten, dass die Fertigungsgemeinkosten um die Abschreibungen und sonstigen kalkulatorischen Kosten zu bereinigen

sind. Sie dürfen nicht in die Berechnung einfließen, da es sich hierbei um nicht auszahlungswirksame Positionen handelt.

### 5.2.4.6 Erlösberechnung

Die Berechnung der Erlöse stellt eine zentrale Kalkulation dar, welche sich unabhängig von der getroffenen Standortwahl durchführen lässt. Es gilt

$$E_t = \pi_t \cdot \eta_{tm0} \cdot p_{tm0} + \pi_t \cdot (1 - \eta_{tm0}) \cdot p_{tm1} \cdot \omega_{t0m1} \quad (12)$$

$$\forall t \in \{0, 1, \dots, T\}.$$

$E_t$  Erlös der Periode  $t$

Der erste Teil der Summe bezeichnet die Erlösberechnung für den Markt  $m0$ , der zweite Teil dementsprechend die von der Währungskursentwicklung abhängigen Erlöse des Marktes  $m1$ .

### 5.2.4.7 Kostenberechnung einer Standort-Technologie-Kombination

Die Berechnung der Kosten einer jeweiligen Standort-Technologie-Kombination erfolgt für die Einzelelemente der Selbstkostenrechnung (Material-, Fertigungs-, Vertriebs- und Verwaltungskosten).

#### Materialkosten

Die Materialkosten setzen sich aus den Materialeinzelkosten ( $MEK$ ) und den Materialgemeinkosten ( $MGK$ ) zusammen und berechnen sich für die Periode  $t$  wie folgt:

$$MEK_t(s) = \pi_t \left[ \sum_{i=1}^m (mep(k_{1i}) + lk_s(k_{1i})) \cdot x(k_{1i}) + \sum_{j=1}^n (mep_s(k_{2j}) + lk_s(k_{2j})) \cdot x(k_{2j}) \right] \quad (13)$$

$$\forall t \in \{1, 2, \dots, T\}, s \in S.$$

$MEK_t(s)$  Materialeinzelkosten in Periode  $t$  bei Produktion am Standort  $s$

Die Materialgemeinkosten ( $MGK$ ) für eine Periode  $t$  berechnen sich über die standortspezifischen Gemeinkosten je Stück. Die Herleitung dieser Stückgemeinkosten erfolgt nach dem in 5.2.4.5 vorgestellten Vorgehen.

$$MGK_t(s) = \pi_t \cdot GK_s^{Material} \quad (14)$$

$$\forall t \in \{1, 2, \dots, T\}, s \in S$$

$MGK_t(s)$  Materialgemeinkosten in Periode  $t$  bei Produktion am Standort  $s$

Die Summe aus den Materialeinzelkosten und den Materialgemeinkosten ergibt die Materialkosten

$$MK_t(s) = MEK_t(s) + MGK_t(s) \quad (15)$$

$$\forall t \in \{1, 2, \dots, T\}, s \in S.$$

$MK_t(s)$  Materialkosten in Periode  $t$  bei Produktion am Standort  $s$

### Fertigungskosten

Die Fertigungseinzelkosten ( $FEK$ ) und die Fertigungsgemeinkosten ( $FGK$ ) bilden zusammen die Fertigungskosten. Sie sind abhängig von der betrachteten Standort-Technologie-Kombination und berechnen sich für die Periode  $t$  durch

$$FEK_t(\Omega_{as}) = \kappa_{ts} \cdot \pi_t \sum_{j=1}^I tb_a(k_{0j}) \cdot x(k_{0j}) \quad (16)$$

$$\forall t \in \{1, 2, \dots, T\}, s \in S, a \in A.$$

$FEK_t(\Omega_{as})$  Fertigungseinzelkosten in Periode  $t$  bei Produktionsmodus  $\Omega_{as}$

Für die mit Hilfe der standortbezogenen Produktivität und Arbeitszeit normierten Arbeitskosten  $\kappa_{ts}$  (siehe Tabelle 11) gilt

$$\kappa_{ts} = \frac{lok_{0s}}{prod_{0s} \cdot paz_{0s}} \cdot \left( \frac{(1 + \Delta lok_s)}{(1 + \Delta prod_s)} \right)^{t-1} \quad (17)$$

$$\forall t \in \{1, 2, \dots, T\}, s \in S, a \in A.$$

Die Arbeitskosten  $\kappa_{ts}$  enthalten somit eine zeitliche Veränderung durch die Berücksichtigung der Dynamik der Lohnkostensteigerung sowie der Produktivität.

Die Fertigungsgemeinkosten ( $FGK$ ) für eine Periode  $t$  berechnen sich analog zum Vorgehen zur Bestimmung der Gemeinkosten des Materials (siehe (14)). Die Kalkulation der Fertigungskosten hingegen zeigt die folgende Formel. Dem Zielstandort  $s1$  sind dort noch die permanenten Betreuungskosten zuzurechnen,

## 5 Methodik zur Bewertung von Mobilität in der Produktion

---

welche eventuell für Tätigkeiten am Entsendestandort  $s_0$  anfallen (siehe 5.2.4.3).  
Für die Fertigungskosten gilt allgemein

$$FK_t(\Omega_{as}) = FEK_t(\Omega_{as}) + FGK_t(\Omega_{as}) + BK_t(\Omega_{as}) \quad (18)$$

$$\forall t \in \{1, 2, \dots, T\}, s \in S, a \in A.$$

$FK_t(\Omega_{as})$  Fertigungskosten in Periode  $t$  bei Produktionsmodus  $\Omega_{as}$

$FGK_t(\Omega_{as})$  Fertigungsgemeinkosten in Periode  $t$  bei Produktionsmodus  $\Omega_{as}$

$BK_t(\Omega_{as})$  Am Entsendestandort anfallende Betreuungskosten

Erfolgt die Produktion am Entsendestandort  $s_0$ , so gilt folglich  $BK_t(\Omega_{as}) = 0$ .

### Herstellungskosten

Aus den Material- und Fertigungskosten ergeben sich die Herstellungskosten

$$HK_t(\Omega_{as}) = MK_t(s) + FK_t(\Omega_{as}) \quad (19)$$

$$\forall t \in \{1, 2, \dots, T\}, s \in S, a \in A.$$

$HK_t(\Omega_{as})$  Herstellungskosten in Periode  $t$  bei Produktionsmodus  $\Omega_{as}$

### Vertriebs- und Verwaltungskosten

Zusätzlich fallen Vertriebskosten an, welche sich aus den Sondereinzelkosten des Vertriebs (Distributionskosten) und den Vertriebsgemeinkosten zusammensetzen. Für einen Produktionsstandort  $s$  gilt

$$VEK_t(s) = \pi_t \cdot \sum_{m \in M} (\eta_m \cdot vk_{sm}) \quad (20)$$

$$\forall t \in \{1, 2, \dots, T\}, s \in S$$

$VEK_t(s)$  Vertriebseinzelkosten in Periode  $t$  bei Produktion am Standort  $s$

$vk_{sm}$  Direkte Vertriebskosten (Distributionskosten) von Produktionsstandort  $s$  in den Zielmarkt  $m$

Die Vertriebsgemeinkosten für eine Periode  $t$  werden analog zu den Material- und Fertigungsgemeinkosten berechnet. Ebenso verhält es sich mit den Verwaltungsgemeinkosten, welche jedoch sämtliche Kosten für die Verwaltungstätigkeit widerspiegeln.

Somit lassen sich die Vertriebs- und Verwaltungskosten wie folgt definieren:

$$VK_t(s) = VEK_t(s) + VGK_t(s) \quad (21)$$

$$\forall t \in \{1, 2, \dots, T\}, s \in S$$

$VK_t(s)$  Vertriebskosten in Periode  $t$  bei Produktion am Standort  $s$

sowie

$$VwK_t(s) = \pi_t \cdot GK_s^{Verwaltung} \quad (22)$$

$$\forall t \in \{1, 2, \dots, T\}, s \in S.$$

$VwK_t(s)$  Verwaltungskosten in Periode  $t$  bei Produktion am Standort  $s$

$GK_s^{Verwaltung}$  Verwaltungsgemeinkosten pro Stück bei Produktion am Standort  $s$

### Selbstkosten

Die Selbstkosten eines Endprodukts  $EP$  für eine Periode  $t$  unter Annahme eines Produktionsmodus  $\Omega_{as}$  setzen sich aus den berechneten Herstell-, Vertriebs- und Verwaltungskosten zusammen.

$$SK_t(\Omega_{as}) = HK_t(\Omega_{as}) + VK_t(s) + VwK_t(s) \quad (23)$$

$$\forall t \in \{1, 2, \dots, T\}, s \in S, a \in A$$

$VK_t(s)$  Vertriebskosten in Periode  $t$  aus:  $VEK_t(s) + VGK_t(s)$

$SK_t(\Omega_{as})$  Selbstkosten in Periode  $t$  bei Produktionsmodus  $\Omega_{as}$

#### 5.2.4.8 Investitionsbewertung

Die deterministische Investitionsbewertung der Standortalternativen erfolgt über den passiven Kapitalwert. Für eine Standort-Technologie-Kombination berechnet sich diese Kenngröße über die abgezinste Werte der zukünftigen Zahlungsströme unter Berücksichtigung einer länderspezifischen Korrektur. Die Cashflows  $CF_t(\Omega_{as})$  ergeben sich als Differenz zwischen den in 5.2.4.6 ermittelten Erlösen  $E_t$  und den in 5.2.4.7 abgeleiteten spezifischen Selbstkosten  $SK_t(\Omega_{as})$ .

$$KW(\Omega_{as}) = -I_{0as} + \sum_{t=0}^T \frac{(E_t - SK_t(\Omega_{as}))}{(1+i_s)^t}. \quad (24)$$

$KW(\Omega_{as})$  Kapitalwert bei Produktion am Standort  $s$  mit Produktionssystem  $a$

Bei einer Produktion an  $s_1$  enthalten die Investitionskosten  $I_{0as}$  auch die Verlagerungskosten sowie jegliche Kosten, welche im Zuge der Vorbereitung und Durchführung von dieser anfallen. Die detaillierte Bestimmung der Verlagerungskosten wird in Abschnitt 5.5 beschrieben.

### 5.2.5 Fazit der Phase II und Ausblick

In Abschnitt 5.2 wurde ein deterministisches Grundmodell zur Bewertung internationaler Standortentscheidungen formuliert. Auf der Basis einer Selbstkostenrechnung lassen sich mit Hilfe des Grundmodells die Cashflows ableiten, aus welchen sich der Kapitalwert einer Kombination eines Produktionsstandortes mit einer gewählten Technologie (Standort-Technologie-Kombination) berechnet. Aufgrund der deterministischen Modellannahmen ist eine Berücksichtigung von Mobilität an dieser Stelle jedoch noch nicht sinnvoll. Dies folgt aus der Tatsache, dass der Wert des Freiheitsgrades entscheidend von Unsicherheiten bestimmt wird, welche nicht abgebildet wurden. Der bisherige Vergleich der Investitionsalternativen geht von einem starren Zukunftsraum aus und berücksichtigt einen festgelegten Verlagerungszeitpunkt. Erfolgt die Verlagerung vor dem Produktionsbeginn (in  $t = 0$ ), so entspricht dies einer reinen Standortbewertung.

In den folgenden drei Abschnitten erfolgt die Analyse und Beschreibung der Bewertungsaufgabe hinsichtlich der Elemente *Unternehmen* (5.2), *Umwelt* (5.3) und *Verlagerung* (5.4) sowie deren gegenseitiger Abhängigkeiten. Dies erlaubt die Konfiguration des Bewertungsmodells, die einen zusammenhängenden Sachverhalt aus Elementen und Wirkbeziehungen darstellt (BROCKHAUS 1990, S. 68).

## 5.3 Analyse und Beschreibung des Unternehmens (Phase III)

### 5.3.1 Struktur und Zielsetzung der Phase

Das Ziel des Abschnittes 5.3 besteht darin, die strukturellen Konsequenzen einer Mobilitätsausübung zu analysieren und zu beschreiben. Hierzu müssen die Rah-



menbedingungen, welche im Unternehmen bzw. im Produktionsnetzwerk herrschen, beleuchtet werden. Unter diesem Fokus werden die Merkmale *Veränderung der Anzahl an Standorten* (2.3.2.2) und *Veränderung der Standortstruktur* (2.3.3) mit relevanten Kostenarten belegt, um die spezifische Umgestaltung des Wertschöpfungsnetzwerkes bewertbar zu machen. In einem ersten Schritt erfolgt eine Kategorisierung der durch die Verlagerung verursachten Transaktionskosten. Darauf aufbauend werden die Produktionsstruktur des Unternehmens jeweils vor und nach der Verlagerung sowie die induzierte Strukturveränderung beschrieben. Im Anschluss daran wird die spezifische Kostenstruktur der Mobilitätsausübung in Abhängigkeit von der vorliegenden Unternehmenssituation abgeleitet. Dies schließt die Analyse der Wirkung der Wandlungsbefähiger ein, die in Abschnitt 2.2.3 erläutert wurden. Die wesentlichen Fragestellungen, die in dieser Phase zu beantworten sind, zeigt die Tabelle 15.

5.3	Was bedeutet Mobilität für das Unternehmen?
5.3.2	Welcher Zusammenhang besteht zwischen anfallenden Transaktionskosten und der Veränderung der Anzahl an Standorten?
5.3.3	Welche Standortstrukturveränderung induziert welche Kosten?
5.3.4	Welchen Einfluss haben die Rahmenbedingungen im Netzwerk?

Tabelle 15: Formulierung der wesentlichen Fragestellungen der Phase III

### 5.3.2 Relevanz der Transaktionskostenarten hinsichtlich der Form der Standortmobilität

Die Form der Standortmobilität wird durch die Veränderung der Anzahl an Standorten charakterisiert. HAGEDORN (1994, S. 18) nennt, wie in Abschnitt 2.3.2.2 beschrieben, die Ausprägungen *Verlagerung*, *Vereinigung*, *Aufteilung* sowie *Teilverlagerung*. Für jede dieser Ausprägungen fallen unterschiedliche Transaktionskosten an. Ausgehend von einer allgemeinen Systematisierung von Transaktionskostenarten bei Standortentscheidungen wird im Folgenden eine Überprüfung der Relevanz dieser Kostenarten in Abhängigkeit von der Form der Standortmobilität vorgenommen. Die Systematisierung der Kosten basiert hierbei auf DEUSTER (1996, S. 97). Sie trennt in eine räumliche und eine zeitliche Dimension der anfallenden Kosten.

Die räumliche Dimension unterscheidet, ob die Kosten für Leistungen Dritter (*extern*) anfallen oder *intern* verursacht werden. Die zeitliche Sicht differenziert hingegen danach, ob die Kosten *vor* oder *nach* der Verlagerung auftreten. Die

## 5 Methodik zur Bewertung von Mobilität in der Produktion

von DEUSTER (1996, S. 97) genannten Transaktionskosten werden in der folgenden Abbildung 34 durch zusätzliche in der Literatur genannte Faktoren ergänzt, deren Herkunft in der Spalte „Autor“ aufgeführt ist. Darüber hinaus wurden der Auflistung weitere relevante Kostenfaktoren hinzugefügt.

Formen der Standortmobilität				
Vereinigung	Verlagerung	Teilverlagerung	Aufteilung	
Form der Standortmobilität			TV	AT
Veränderung der Anzahl an Standorten			0	+1
Relevanz von Transaktionskosten		Autor		
Vor der Verlagerung anfallende Kosten (extern)				
Informationskosten	DEU			x
Vertragsanbahnungskosten	DEU			x
Verhandlungs- und Vertragsabschlusskosten	DEU			x
Vor der Verlagerung anfallende Kosten (intern)				
Informationskosten	DEU			x
Kosten Standortvorauswahl	DEU			x
Planungs- und Koordinationskosten	SIM, KIN	x		x
Recruitingkosten	SIM	(x)		x
Schulungs- und Trainingskosten	SIM, MEY	(x)		x
Abfindungskosten	MEY	(x)		(x)
Bindungskosten (Motivationszahlungen)	MEY	(x)		(x)
Restrukturierungskosten				
Organisation	DEU		x	x
Raum			x	(x)
Technik	LIE		(x)	(x)
Aufbau eines Zuliefernetzwerkes vor Ort	KIN		(x)	x
Nach der Verlagerung anfallende Kosten (extern)				
Kontrolle und Anpassung von Verträgen mit Dritten	DEU		(x)	x
Nach der Verlagerung anfallende Kosten (intern)				
Koordinations- und Betreuungskosten	KIN		x	x
Reisekosten			x	x
Spesen			x	x
Fluktuation (in Folge: Rekrutierung, Training, ...)	KIN		(x)	x
Resultierende Leerkosten (Kapazitätsauslastung)	KIN		(x)	(x)

**Legende**

x	: Relevanz	DEU	: DEUSTER (1996)	SIM	: SIMON (2006)
(x)	: fallabhängige Relevanz	KIN	: KINKEL (2004a)		
TV	: Teilverlagerung	LIE	: LIEBECK (2006)		
AT	: Aufteilung der Leistungserstellung	MEY	: MEYER (2006a)		

Abbildung 34: Auflistung und Relevanz der Transaktionskosten für die im Rahmen dieser Arbeit betrachteten Formen der Standortmobilität

Die in der vorliegenden Arbeit vorgenommene Betrachtung beschränkt sich auf die beiden Ausprägungen „Teilverlagerung“ und „Aufteilung“ aus der Gesamtheit der Formen der Standortmobilität. Aus Sicht des Autors wird sich die Zielsetzung der strukturellen dynamischen Veränderungsfähigkeit durch Mobilität in der Realität maßgeblich auf produkt- oder funktionsorientierte Teilbereiche der Produktion beschränken. Die mit einer *Vereinigung* oder *Verlagerung* verbunde-

ne ganzheitliche Schließung eines Standortes bzw. die daraus resultierende komplette Auslegung der Fabrik auf Mobilität wird daher vernachlässigt.

Die Relevanz der einzelnen Transaktionskostenarten lässt sich nicht in allen Fällen eindeutig bestimmen, was eine fallspezifische Prüfung erfordert. Einmalig anfallende Kosten gehen in den Verlagerungsaufwand ein (5.5), ständig wiederkehrende (wie z. B. aus der Fluktuation des Personals resultierende) Kosten sind hingegen der Kostenstruktur des Produktionsmodus zuzuordnen (siehe 5.2.4.3).

#### 5.3.3 Kosten der Strukturveränderung bei Ausübung der Mobilität

Nach der Beurteilung der Relevanz der unterschiedlichen Transaktionskostenarten ist zu analysieren, welche Standortstrukturveränderung mit der Mobilitätsausübung einhergeht. Dies wird im Folgenden beleuchtet und mit Hilfe von Standortstrukturwürfeln (siehe 2.3.3) visualisiert. Als Ausgangspunkt der Betrachtung dient die Herstellung zweier Produkte  $p_1$  und  $p_2$  mit zwei Fertigungsstufen  $f_1$  und  $f_2$ . Zusätzlich erfolgt eine beispielhafte Unterteilung der herzustellenden Stückzahlen in die Teilmengen  $x_1$  und  $x_2$ . Es werden die folgenden drei alternativen Strukturveränderungen betrachtet:

- i. Verlagerung sämtlicher produktspezifischen Ressourcen zur Herstellung der Gesamtmenge eines Produktes ( $x_1(p_1)$  und  $x_2(p_1)$ ),
- ii. Verlagerung eines Teils (z. B. einer Linie) der produktspezifischen Ressourcen zur Herstellung eines Produktes ( $x_1(p_1)$  oder  $x_2(p_1)$ ) sowie
- iii. Verlagerung sämtlicher funktions- bzw. prozessspezifischen Ressourcen (z. B. der Vormontage) ( $x_1(f_1)$  und  $x_2(f_1)$ ).

Die Art der Strukturveränderung, welche sich durch die mobile Gestaltung und die Verlagerung eines Teils der Ressourcen einer Funktion bzw. eines produktionstechnischen Prozesses ( $x_1(f_1)$  oder  $x_2(f_1)$ ) beschreiben lässt, wird als Ausnahme einer Mobilitätsstrategie eingestuft und daher nicht in die Betrachtung eingeschlossen. Die durchgeführte Analyse erfolgt für die genannten Strukturveränderungen i.-iii. getrennt nach der Form der Standortmobilität.

#### Kosten der Strukturveränderung bei einer Aufteilung

Die Produktion erfolgt zunächst an einem Standort. Analysiert werden die Standortstrukturveränderungen, welche eine *Aufteilung* der Produktion zur Folge haben kann. Diese Form ist für die Betrachtung nur bedingt repräsentativ, da ein

## 5 Methodik zur Bewertung von Mobilität in der Produktion

Neuaufbau eines Standortes mit einer langen Vorlaufzeit verbunden ist, wodurch der Flexibilitätsaspekt der Mobilität nur begrenzt genutzt werden kann. Studien beziffern die Dauer einer Standortgründung mit einem Zeitraum von 14 bis 37 Monaten (SIMON ET AL. 2006, S. 240). Dennoch stellt die Analyse der *Aufteilung* der Produktion eine gute Grundlage zur Herleitung eventuell auftretender Kosteneffekte in Abhängigkeit der Verlagerungsinhalte dar, was Abbildung 35 zeigt.

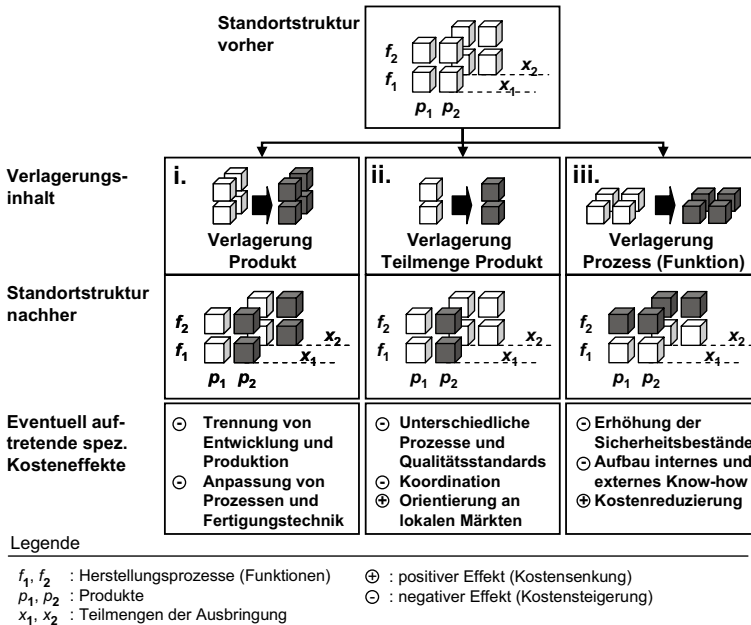


Abbildung 35: Mögliche Strukturveränderungen bei einer Aufteilung als Form der Standortmobilität (Neugründung eines Standortes) sowie Ableitung daraus eventuell resultierender Kosteneffekte

### Kosten der Strukturveränderung bei einer Teilverlagerung

Auch bei einer *Teilverlagerung* resultieren aus der Integration der Verlagerungsinhalte am bereits bestehenden Zielstandort Zusatzkosten durch Strukturveränderungen. Es kann hierbei differenziert werden, ob die zu integrierende Wertschöpfung (Produkt oder Funktion) am Zielstandort

- als neuartig einzustufen ist und spezifisches Know-how erfordert oder
- die Integration bekannter Wertschöpfungsprozesse stattfindet.

Die resultierenden Kosteneffekte im erstgenannten Fall entsprechen jenen, die zuvor in Abbildung 35 aufgeführt wurden. Abgesehen von den externen Vertragsanbahnungskosten werden Kosten anfallen, welche denen einer Neugründung eines Standortes entsprechen. Kapazitäten und Know-how sind zu erweitern oder die Fähigkeiten zur Beherrschung der neuartigen Wertschöpfungsprozesse müssen durch Schulungen intensiv aufgebaut werden. Im zweiten Fall der Verlagerung bekannter Inhalte wird der Integrationsaufwand weitaus geringer ausfallen.

Das Ausmaß der Kosten wird jedoch generell von der bestehenden Integrationsfähigkeit des Zielstandortes und von den zu verlagernden Prozessen abhängen. Dieser Aspekt wird im folgenden Abschnitt 5.3.4 diskutiert.

#### **5.3.4 Wirkung der Mobilitätsbefähiger auf die resultierenden Kosten bei einer Verlagerung**

Den Investitionsaufwand zwischen einem mobilen und immobilen Produktionssystem zu vergleichen, ist nicht zwangsläufig auf die Gegenüberstellung der divergierenden Anfangsinvestition für die Anlagen beschränkt. Es ist zudem zu beachten, welche mobilitätsunterstützenden Investitionen zu tätigen sind, um den Standortwechsel im Lebenszyklus zu ermöglichen. Der Investitionsbedarf lässt sich im dimensionalen (Raum, Organisation und Technik) und hierarchischen Spektrum (vom Netzwerk zur Arbeitsstation) schematisch ableiten (siehe auch 2.2.3). Durch die Prüfung, welche der Mobilitätsbefähiger (*Skalierbarkeit, Kompatibilität, Modularität und Universalität*) im Produktionsnetzwerk vorhanden sind, können die Defizite abgeleitet und die daraus resultierenden Kosten abgeschätzt werden. Die notwendigen Investitionen, um den Freiheitsgrad Mobilität zu realisieren, können dabei als Initialaufwand oder im Zuge der Verlagerung selbst anfallen. Abbildung 36 verdeutlicht die beschriebenen Zusammenhänge.

In Anlehnung an HERNÁNDEZ (2003, S. 72) sind dort beispielhafte Wandlungsobjekte erster Ordnung aufgezeigt, von denen Verbindungslinien zu den für die jeweiligen Objekte relevanten Mobilitätsbefähigern führen. Eine Integration bekannter Wertschöpfungsprozesse, wie zuvor beschrieben, kann neben dem modularen Aufbau von Betriebsmitteln z. B. ein gewisses Maß an Atmungsfähigkeit (Skalierbarkeit) in räumlicher (z. B. Fertigungsfläche) und eventuell organisatorischer (z. B. Auftragsabwicklung) Hinsicht verlangen. Diese Verbindungslinien sind in Abbildung 36 daher fett markiert. Andererseits kann die Integration neu-

## 5 Methodik zur Bewertung von Mobilität in der Produktion

artiger Prozesse dazu führen, dass die resultierende Kostenstruktur von der Universalität der Anlagen und Prozesse abhängt.

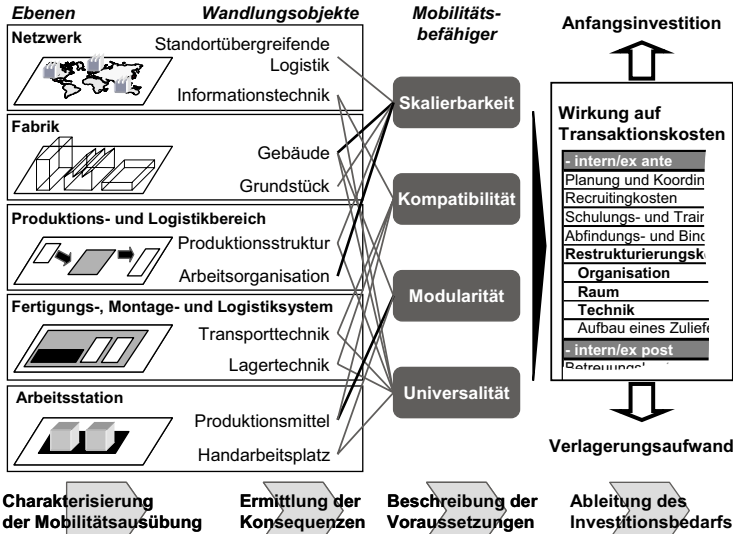


Abbildung 36: Herleitung spezifischer Aufwendungen durch die Analyse der Voraussetzungen im dimensional-hierarchischen Spektrum

### 5.3.5 Fazit der Phase III und Ausblick

In Abschnitt 5.3 wurde gezeigt, dass die Kosteneffekte, welche durch die Nutzung von Mobilität entstehen, nicht allgemeingültig und exakt über Regeln bestimmt werden können. Dies liegt daran, dass die mit einem Verlagerungsprozess verbundenen Kosten davon abhängen, ob sich die Anzahl der Standorte verändert (5.3.2) und welche Strukturveränderungen aus den zu verlagernden Prozessen sowie deren Eigenschaften resultieren (5.3.3). Weitere Einflussfaktoren auf die Kosten sind die existierenden Strukturen im Produktionsnetzwerk und deren Anpassungsfähigkeit (5.3.4).

Im nächsten Abschnitt 5.4 wird die Beschreibung der spezifischen vorliegenden Bewertungssituation auf die *Umwelt* des Unternehmens ausgeweitet. Die Analyse und systematische Erfassung der Turbulenzen stellt einen weiteren Schritt für die Festlegung der relevanten Eingangsgrößen für die Bewertungsphase dar.

## 5.4 Analyse und Beschreibung der Umwelt (Phase IV)

### 5.4.1 Struktur und Zielsetzung der Phase

Die Identifikation und Spezifikation der Unsicherheiten des Unternehmensumfeldes sowie deren anschließende Modellierung werden in diesem Abschnitt beleuchtet. Dies entspricht der Beschreibung der Risikosituation des Unternehmens und gibt Aufschluss über die Motivation für die Bereitstellung von Mobilität in der Produktion (siehe 2.4). Daraus leiten sich die zentralen Fragestellungen des Abschnittes 5.4 ab, die in Tabelle 16 formuliert sind.

	Welche Risiken beschreiben das Umfeld des Unternehmens?
5.4.2	Welche Unsicherheiten sind durch Mobilität zu moderieren?
5.4.3	Wie werden die Unsicherheiten in das Modell integriert?
5.4.4	Wie erfolgt die Auswahl der essenziellen Unsicherheiten?
5.4.5	Welche Möglichkeiten der Modellierung existieren?

Tabelle 16: Formulierung der wesentlichen Fragestellungen der Phase IV

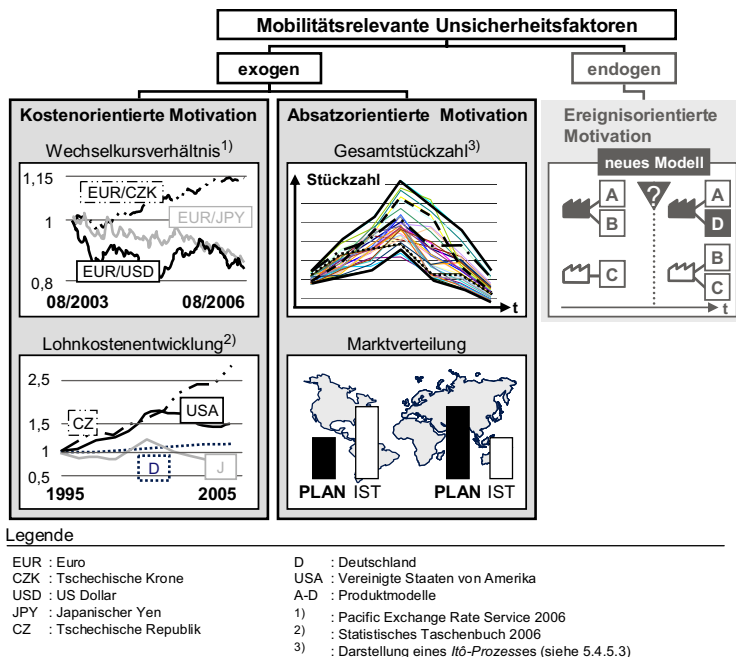
### 5.4.2 Identifikation mobilitätsrelevanter Unsicherheitsfaktoren

Mobilität als produktionstechnische Option bietet die Möglichkeit, auf unterschiedliche Turbulenzen reagieren zu können. Grundsätzlich ist dabei zwischen *exogenen* und *endogenen* Unsicherheitsfaktoren zu unterscheiden.

Die folgende Abbildung 37 zeigt die mobilitätsrelevanten Unsicherheitsfaktoren. Die *exogenen* Faktoren lassen sich anhand der Erklärungsansätze des Auslandsengagements (siehe 2.4.1) eindeutig auf die vorliegende dynamische Problemstellung übertragen. Dabei kann Mobilität eine Option darstellen, deren Ausübung durch Veränderungen von kosten- oder marktbezogenen Parametern ausgelöst wird. Die unsichere Kostenentwicklung drückt sich für das international produzierende Unternehmen hauptsächlich in der Variation der Wechselkurse (COOPER & BLUMENSTEIN 1996, LOWE ET AL. 2002, HUCHZERMEIER 2003, S. 319) und die schwer prognostizierbare Entwicklung lokaler Faktorkosten, insbesondere der standortbezogenen Lohnkosten (DRUCKER 1990, S. 99, BRUGGER & KENNEDY 2004, S. 3, KINKEL 2004a, S. 61 F.) aus. Die absatzorientierten Schwankungen beziehen sich zum einen auf die Stückzahlentwicklung selbst, die bei sämtlichen produktionsbezogenen Investitionsentscheidungen eine maßgebliche Rolle spielt (REINHART & DÜRRSCHMIDT 1998, S. 135, SESTERHENN 2003,

## 5 Methodik zur Bewertung von Mobilität in der Produktion

S. 61, WEMHÖNER 2006, S. 114 F.). Des Weiteren ist die Marktverteilung, d. h. die Aufteilung der Gesamtstückzahl auf die Hauptabsatzmärkte bzw. auf verschiedene Währungsräume, eine wichtige Determinante, welche häufig mit Unsicherheit behaftet ist (SHUCHMAN 1998, FERBER 2006, S. 146).



### Legende

EUR : Euro  
CZK : Tschechische Krone  
USD : US Dollar  
JPY : Japanischer Yen  
CZ : Tschechische Republik

D : Deutschland  
USA : Vereinigte Staaten von Amerika  
A-D : Produktmodelle  
1) : Pacific Exchange Rate Service 2006  
2) : Statistisches Taschenbuch 2006  
3) : Darstellung eines *Itô*-Prozesses (siehe 5.4.5.3)

Abbildung 37: Klassifizierung mobilitätsrelevanter Unsicherheitsfaktoren und Visualisierung möglicher Schwankungen (Daten: PACIFIC EXCHANGE RATE SERVICE 2006, STATISTISCHES TASCHENBUCH 2006)

Unter *endogenen* Veränderungstreibern werden zum Investitionszeitpunkt noch nicht feststehende Planungen sowie Ereignisse verstanden, welche Auswirkungen auf die Zuordnung von Produktionseinrichtung (bzw. zugehörigem Produkt) zur Produktionsstätte haben. Diese lassen sich unter kapazitätsorientierten Gesichtspunkten zusammenfassen (HAGMANN ET AL. 2004, S. 114). Mobilität ist in diesem Kontext eine Option zur Kapazitätsverschiebung innerhalb des Produkti-



onsverbundes<sup>20</sup> und dadurch ein Element einer integrierten Flexibilitätsstrategie, deren Bedeutung in Zukunft weiter zunehmen wird (AUTOMOTIVE INTELLIGENCE 2000, FERBER 2006, S. 24). Ein Beispiel einer solchen als Turbulenz bezeichneten Situation ist die zum Entscheidungszeitpunkt noch nicht feststehende spätere Integration eines zusätzlichen Produktes bzw. Modells bei gleichzeitiger Schwankung der Stückzahlen der auf die Standorte verteilten Produkte. Bei endogenen Unsicherheitsreibern ist eine separate Analyse über die Unsicherheitsfaktoren (Integrationszeitpunkt, technologische oder organisatorische Veränderungen) durchzuführen, bevor diese in eine Modellierung der Kapazitätsstrukturen überführt werden. Dies wird in dieser Arbeit jedoch nicht weiter vertieft (siehe hellgraue Darstellung in der vorigen Abbildung 37).

Nach der Identifikation der für die Nutzung von Mobilität allgemein relevanten Unsicherheitsfaktoren wird im folgenden Abschnitt 5.4.3 erörtert, wie diese in ein stochastisches Bewertungsmodell integriert werden können.

### **5.4.3 Konzept der stochastischen Bewertung**

#### **5.4.3.1 Allgemeines**

Aufbauend auf den zuvor in Abschnitt 5.2 vermittelten Inhalten wird das deterministische Modell in Abschnitt 5.6 in ein stochastisches Optionsbewertungsmodell überführt. Im Folgenden wird erläutert, wie die Integration von Unsicherheiten in das Modell grundsätzlich erfolgt. Der Optionsgedanke wird dabei weiterhin vernachlässigt. Die Erläuterungen des Abschnittes 5.4.3 konzentrieren sich ausschließlich auf die Integration der Unsicherheitsgrößen.

#### **5.4.3.2 Problematik der Integration mehrerer Unsicherheiten in einen Binomialbaum**

Wie in Kapitel 3 gezeigt wurde, existieren verschiedene Verfahren zur Optionsbewertung (siehe 3.3.4). Den Verfahren ist gemein, dass die Bewertung der Option auf dem stochastischen Verhalten eines sogenannten Basiswertes beruht. Grundlage der Optionsbewertung sind damit Unsicherheiten, deren Eigenschaften den Wert der Option beeinflussen. Zudem führte der Vergleich der Charakte-

---

<sup>20</sup> Streng genommen ist dies wieder ein kostenorientiertes Motiv.

ristika der zugrunde liegenden Bewertungsaufgabe mit den Optionsverfahren dazu, die Verwendung eines *lattice*-Ansatzes zu bevorzugen (siehe 4.3.5).

Die *lattice*-Ansätze basieren auf dem Binomialmodell von COX ET AL. (1979). Dabei stellt das binomiale Gitter die unsichere Entwicklung des zugrunde liegenden Basiswertes dar. Das Verhalten weiterer Unsicherheitsgrößen bleibt dem Investor verborgen, da die einzelnen Unsicherheitsfaktoren in der Volatilität des Basisobjektes aggregiert werden. Mehrere Unsicherheiten transparent abbilden zu können, ist jedoch für die vorliegende Bewertungssituation unverzichtbar.

Im Folgenden werden bestehende Ansätze der Modellierung mehrerer Unsicherheitsgrößen diskutiert, deren Defizite analysiert und ein eigenes Konzept zur Integration mehrerer Unsicherheiten in einen Binomialbaum vorgestellt (5.4.3.3).

### **Quadranomialer Ansatz**

Es besteht die Möglichkeit auf multinomiale Baumansätze zurückzugreifen, welche die parallele Berücksichtigung mehrerer Unsicherheitsfaktoren ermöglichen. COPELAND & ANTIKAROV (2002, S. 298) zeigen die Anwendung des sogenannten *quadranomialen* Ansatzes und kombinieren technologische und marktbezogene Risiken. Der Nachteil der Verwendung multinomialer Bäume ist der Anstieg der Verästelung und damit der Komplexität sowie die Einschränkung der Lesbarkeit des Baumes (im Gegensatz zu rekombinierenden Bäumen (3.3.4.2)).

### **Verdichtung mehrerer Unsicherheiten durch eine Monte-Carlo-Simulation**

COPELAND & ANTIKAROV (2002, S. 264) zeigen eine weitere Möglichkeit des Umgangs mit mehreren Unsicherheitsfaktoren. Dabei werden mehrere mit Unsicherheit behaftete Eingangsgrößen, modelliert mit Hilfe einer *Monte-Carlo-Simulation*, in eine Verteilung des Kapitalwertes des Projekts überführt. Gleichzeitig erfolgt die Ermittlung der Volatilität der Rendite des Gesamtprojektes (Projektvolatilität). Diese wird anschließend zur Ermittlung der Auf- und Abwärtsbewegungen innerhalb des Baumes herangezogen (siehe Anhang 9.2.2, Formel (60) und (61)). Damit entspricht der resultierende Baum der Formulierung des Modells von COX ET AL. (1979). Der Nachteil dieser Vorgehensweise liegt in der Verdichtung der Unsicherheit in einem einzigen Faktor. Die Bündelung geht mit einem Verlust der Transparenz einher, der Entscheidungsträger verliert den Bezug zu den für ihn relevanten Unsicherheiten.

Abbildung 38 visualisiert die beiden beschriebenen Vorgehensweisen und führt deren maßgebliche Defizite hinsichtlich der Erfüllung der Anforderungskriterien an die zu konzipierende Methodik auf.

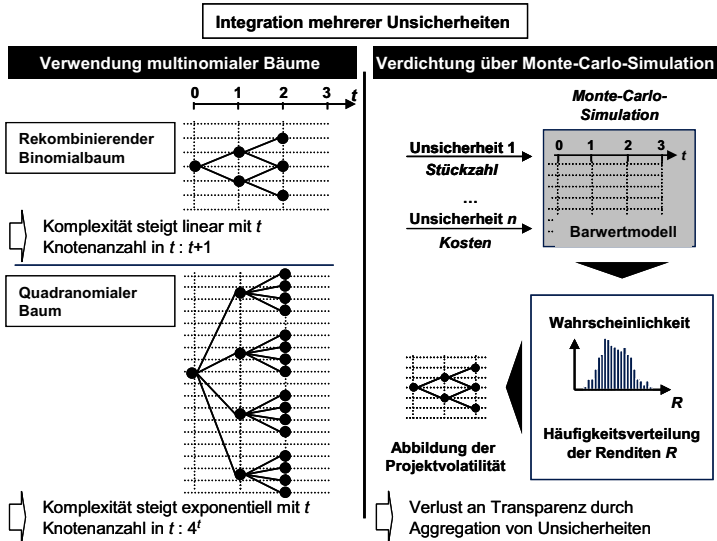


Abbildung 38: Bestehende Ansätze und Problematik der Integration mehrerer Unsicherheiten in das binomiale Optionsmodell unter den Gesichtspunkten der Komplexität und Transparenz

### 5.4.3.3 Konzept zur Integration mehrerer Unsicherheiten

Aufbauend auf dem Ansatz, Unsicherheiten über eine *Monte-Carlo-Simulation* in Bewertungsmodelle einfließen zu lassen (MUN 2002, S. 94, RAZGAITIS 2003, S. 77 ff.), wurde ein Vorgehen entwickelt, welches sich gemäß den Anforderungen an die Methodik durch eine einfache Anwendung und einen geringen Komplexitätssanstieg auszeichnet. Es beruht auf der Trennung in sogenannte *primäre* und *sekundäre* Unsicherheiten (ZÄH ET AL. 2005a, ZÄH ET AL. 2005c).

#### Ausgangssituation

Mehrere der aus Produktionssicht mobilitätsrelevanten Unsicherheiten (5.4.2) wurden identifiziert und für die Bewertung als wesentlich eingestuft.

#### Schritt 1:

Ein Unsicherheitsfaktor ist zu priorisieren. Dieser geht als sogenannte *primäre* (*entscheidungsbestimmende*) Unsicherheit in das Bewertungsmodell ein und legt die Struktur des binomialen Gitters fest. *Entscheidungsbestimmend* bedeutet in diesem Zusammenhang, dass diese Größe die Volatilität der resultierenden Cash-

flows und damit auch die Struktur der Knoten des Baums (Entwicklung des Projektwertes über die Zeit) bestimmt. Die *primäre* Unsicherheit legt damit die Zustände fest, in welchen der Entscheidungsträger die Ausübung der Option prüft.

### Schritt 2:

Die übrigen Unsicherheiten, welche berücksichtigt werden sollen, werden als *sekundär* eingestuft und in Form sogenannter stochastischer Pfade nachgebildet. Die Anforderung an eine anwendungsorientierte Modellierung produktionstechnischer Unsicherheitsgrößen wie z. B. der Stückzahl verlangt, dass die Steigung und die Varianz des betrachteten Parameters in Abhängigkeit von der Zeit (Position im Lebenszyklus) definierbar sein müssen. Dieser Anforderung werden sogenannte *Itô-Prozesse* gerecht, welche die Modellierung von Unsicherheiten als Funktion der Zeit sehr gut zulassen. Ein *Itô-Prozess* ist ein stochastischer Prozess, bei dem die Steigung (Drift) und die Varianz (Abweichung) der zu beschreibenden Größe  $x$  Funktionen von  $x$  sowie der Zeit  $t$  selbst sind (HULL 2006, S. 331). Für einen *Itô-Prozess*<sup>21</sup> gilt allgemein:

$$\Delta x = a(x, t)\Delta t + b(x, t)\varepsilon\sqrt{\Delta t}. \quad (25)$$

$\Delta x$	Änderung der Variablen $x$ im Zeitraum $\Delta t$
$a$	Konstante Driftrate (erwartete Änderung in Höhe von $a$ je Zeitintervall)
$b$	Konstante Varianzrate ( $b$ -fache Interferenz eines Wiener-Prozesses $\Delta z$ je Zeitintervall)
$\Delta t$	Zeitintervall
$\varepsilon$	Standardnormalverteilte Zufallsgröße

Eine detaillierte Beschreibung des Vorgehens zur Modellierung von Unsicherheitsfaktoren in Form von *Itô-Prozessen* ist Inhalt des Abschnittes 5.4.5.2.

### Durchführung der Integration

Die Anwendung des Konzeptes führt zu einer Menge  $N = \{1, \dots, n\}$  an Ziehungen, die mit Hilfe einer *Monte-Carlo-Simulation* erzeugt werden. Dies entspricht der  $n$ -maligen Kalkulation des Baumgitters und folglich auch einer  $n$ -fachen Berechnung der Kapitalwerte (später: des Optionswertes), bezogen auf die *primäre* Unsicherheit. Jede der  $n$  Gesamtkalkulationen des Baums integriert simultan jede der zusätzlich integrierten *sekundären* Unsicherheitsfaktoren. Jede *sekundäre*

---

<sup>21</sup> Zu den Grundlagen stochastischer Prozesse siehe Abschnitt 9.2.3.4 im Anhang.

Unsicherheit geht mit einem ihrer  $n$  stochastischen Pfade über den Betrachtungszeitraum  $T$  in die Kalkulation ein. Dies entspricht bei  $m$  zu berücksichtigenden sekundären Unsicherheiten der gleichzeitigen Integration von  $m$  Vektoren  $\bar{y} = (y_1, \dots, y_t, \dots, y_T)$ .

**Vorteile des Konzeptes gegenüber bestehenden Ansätzen**

Die Priorisierung von Unsicherheiten sowie die Trennung in primäre und sekundäre Unsicherheiten ist mit einer aktiven Auseinandersetzung hinsichtlich der Bedeutung der einzelnen Einflussgrößen verbunden. Zudem kann der Entscheidungsträger für einen Kalkulationslauf den Knoten des resultierenden Baumes Zustände der für ihn wesentlichen Unsicherheit zuordnen. Ebenso wird das aus dem Zustand resultierende Verhalten (Optionsausübung) transparent. Des Weiteren wird durch die  $n$ -malige Kalkulation das Ergebnis unter geänderten Bedingungen ermittelt und dessen Risikoprofil abgeleitet. Das Vorgehen ist in Abbildung 39 zusammenfassend dargestellt.

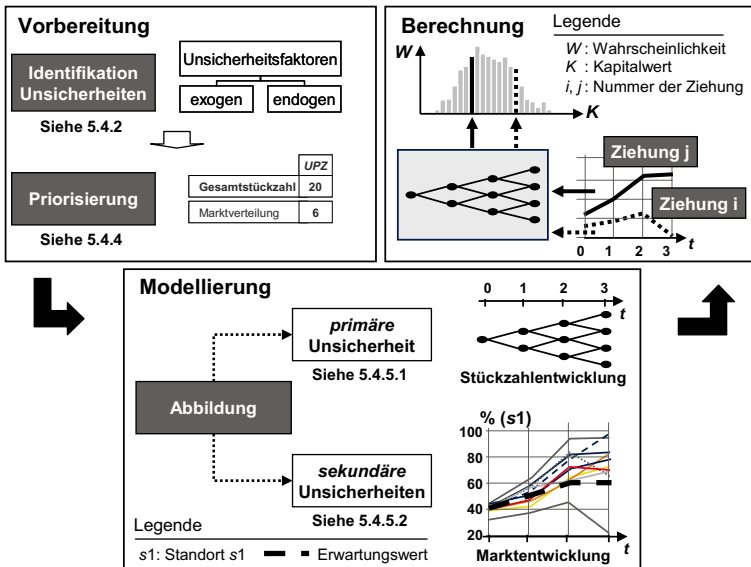


Abbildung 39: Konzept zur Integration mehrerer Unsicherheiten unter Verwendung des lattice-Ansatzes. Die sekundäre Unsicherheit (Marktanteil am Standort  $s_1$ ) wird als stochastischer Prozess modelliert, die Zufallspfade werden mit Hilfe einer Monte-Carlo-Simulation  $n$ -mal erzeugt und führen zum Risikoprofil des Ergebnisses.

Es wurde gezeigt, dass für eine Anwendung des Konzeptes die Unsicherheitsfaktoren im Sinne der Komplexitätsreduzierung zu priorisieren sind. Der folgende Abschnitt 5.4.4 zeigt hierfür ein qualitatives Vorgehen auf.

### 5.4.4 Einschränkung und Priorisierung von Unsicherheiten

Die qualitative Priorisierung der in Kapitel 5.4.2 genannten mobilitätsrelevanten Unsicherheitsfaktoren kann über eine abgewandelte *Fehler-Möglichkeiten- und -Einfluss-Analyse (FMEA)*<sup>22</sup> bzw. *Ausfalleffekt-Analyse* erfolgen. Bei der *FMEA* handelt es sich um eine systematische und halbquantitative Risikoanalysemethode, welche vor allem im Rahmen von Qualitätsmanagementsystemen angewendet wird. Die Risikobewertung erfolgt anhand der Eintrittswahrscheinlichkeit, des Schadensausmaßes und der Entdeckungswahrscheinlichkeit. Das Produkt dieser Größen stellt eine sogenannte Risikoprioritätszahl *RPZ* dar (REINHART ET AL. 1996, S. 86 FF., DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR QUALITÄT E. V. 2004, S. 17 F.).

Übertragen auf die Aufgabe, vorhandene Unsicherheitsfaktoren des Unternehmensumfeldes für das zu erstellende Bewertungsmodell auszuwählen und zumindest in eine Rangskala zu überführen, wird eine Unsicherheitsprioritätszahl *UPZ* definiert. Diese berechnet sich für eine spezifische Unsicherheit *i* in Anlehnung an die *RPZ* der *FMEA* durch

$$UPZ_i = B_i \cdot A_i \cdot P_i. \quad (26)$$

*UPZ<sub>i</sub>* Unsicherheitsprioritätszahl des Unsicherheitsfaktors *i*

*B<sub>i</sub>* Bedeutung von *i* (Auswirkung auf das Ergebnis (Kapitalwert))

*A<sub>i</sub>* Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer Schwankung von *i*

*P<sub>i</sub>* Prognosefähigkeit von *i*

Der für die vorliegende Betrachtung irrelevante Faktor Entdeckungswahrscheinlichkeit der *FMEA* wird durch den wichtigen Faktor *Prognosefähigkeit* des jeweiligen Unsicherheitsfaktors *P<sub>i</sub>* ersetzt. Dieser schließt neben der *Bedeutung B<sub>i</sub>* des Faktors die Priorisierung ein, ob ein Unternehmen sich in der Lage sieht, Aussagen über die zukünftige Entwicklung des Faktors treffen zu können. Die *Auftretenswahrscheinlichkeit A<sub>i</sub>* sagt aus, ob die Wahrscheinlichkeit, dass die

---

<sup>22</sup> Failure Mode and Effects Analysis (*FMEA*)

prognostizierbare Schwankung des Faktors  $i$  eintritt, als hoch oder niedrig eingestuft wird. Die Beurteilungen werden wie bei der *FMEA* für alle Faktoren der *UPZ* in Werten von 1 (niedrig) bis 10 (hoch) angegeben. Durch die Festlegung eines individuellen Bedeutungsniveaus wird über die weitere Berücksichtigung der Unsicherheit entschieden. Dies verdeutlicht Abbildung 40 unter Annahme einer rein von exogenen Unsicherheitsfaktoren geprägten Entscheidungssituation.

Exogene Unsicherheitsfaktoren	B	A	P	UPZ		Rang	
Wechselkursverhältnis	2	10	1	20	}	Gesamtstückzahl	1
Lohnkosten	3	2	1	6		Marktverteilung	2
Gesamtstückzahl	10	8	2	160		Wechselkursverhältnis	3
Marktverteilung	5	3	6	90		Lohnkosten	4

- - Individuelles Bedeutungsniveau  
 UPZ : Unsicherheitsprioritätszahl  
 B : Bedeutung des Unsicherheitsfaktors  
 A : Auftretenswahrscheinlichkeit  
 P : Prognosefähigkeit

Abbildung 40: Qualitative Auswahl und Rangbildung von exogenen Unsicherheitsfaktoren anhand von Unsicherheitsprioritätszahlen, basierend auf der Anwendung einer an eine *FMEA* angelehnten Methodik mit einer Bewertungsskala von 1 bis 10

Mit der Methodik kann eine einfache Priorisierung der Unsicherheiten hinsichtlich ihrer Wichtigkeit für eine Integration in das Bewertungsmodell erfolgen.

Der folgende Abschnitt 5.4.5 beschreibt die Möglichkeiten der Modellierung der primären und sekundären Unsicherheiten.

### 5.4.5 Modellierung der mobilitätsrelevanten Unsicherheitsfaktoren

#### 5.4.5.1 Modellierung der primären Unsicherheit

Aus Komplexitätsgründen wird in den folgenden Erläuterungen von einem *rekombinierenden* Baum ausgegangen. Dessen Aufbau ist generell sehr flexibel und muss nicht die Eigenschaft konstanter Auf- und Abwärtsbewegungen zeigen, wie das Modell von COX ET AL. (1979) oder die meisten in der Literatur verfügbaren Beispiele, die eine Brownsche Bewegung nachbilden (CHRISS 1997, S. 221 F. und 320). Dennoch ist die Struktur des Baumes mit der Anforderung

## 5 Methodik zur Bewertung von Mobilität in der Produktion

---

verbunden, einen trichterförmigen Korridor aufzubauen, in welchem die Anzahl der Knoten linear ansteigt. Der Korridor repräsentiert das Konfidenzintervall, welches der Entscheidungsträger wählt. Dieses Intervall muss nicht zwingend in proportionalem Verhältnis zum Erwartungswert stehen und symmetrisch sein, sondern es sollte die erwartete Entwicklung möglichst genau nachbilden. Ebenso muss der Baum nicht zwangsläufig an einer Wurzel beginnen. Sie kann jederzeit durch den Wert Null in  $t = 0$  eingefügt werden, so dass der Baum auf unterschiedlichen Niveaus startet. Entsprechend der Eigenschaft, dass die Abweichung bzw. die Unsicherheit mit der Zeit zunimmt, ist aber darauf zu achten, dass sich der Abstand zwischen der oberen und unteren Begrenzung nicht zu sehr verengt. Die Anforderung besteht darin, dass die absoluten Abstände zwischen den Werten der einzelnen Knoten so groß sind, dass diese zwei diskrete Folgezustände des vorigen Knotens darstellen. Es ist daher zu beachten, dass der Baum durchaus verkürzt werden kann. Dies kann beispielsweise bei der Modellierung der Stückzahlentwicklung über den Lebenszyklus relevant sein, da sich durch sinkende Stückzahlen der Korridor bei Verwendung relativer Abweichung zum Ende hin verengt.

In jeder Periode  $t$  bilden die äußersten Knoten die Intervallgrenze. Eine grundsätzliche Möglichkeit die Knoten des Baumes zu ermitteln, besteht darin, den Bereich zwischen den Intervallgrenzen und dem Erwartungswert gleichmäßig auszufüllen. In Perioden mit ungerader Anzahl an Knoten repräsentiert der Erwartungswert selbst einen Knoten. Die Knoten oberhalb des Erwartungswertes berechnen sich dann wie folgt:

$$V_{t,s}^{ob}(t) = E_t[x] + s \cdot \frac{[V_t^{\max} - E_t[x]]}{N^{ob}(t)}. \quad (27)$$

$V_{t,s}^{ob}$  Wert des Knotens in Periode  $t$ ,  $s$  Stufen oberhalb des Erwartungswertes

$E_t[x]$  Erwartungswert eines Parameters  $x$  in Periode  $t$

$V_t^{\max}$  Wert des obersten Knotens in Periode  $t$

$N^{ob}(t)$  Anzahl der Knoten in Periode  $t$  oberhalb des Erwartungswertes

$s$  Anzahl der Stufen oberhalb des Erwartungswertes

Analog berechnen sich die Werte der Knoten unterhalb des Erwartungswertes. Eine beispielhafte Wertermittlung zeigt die folgende Abbildung 41. Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist der Baum lediglich bis zur fünften Periode aufgebaut.



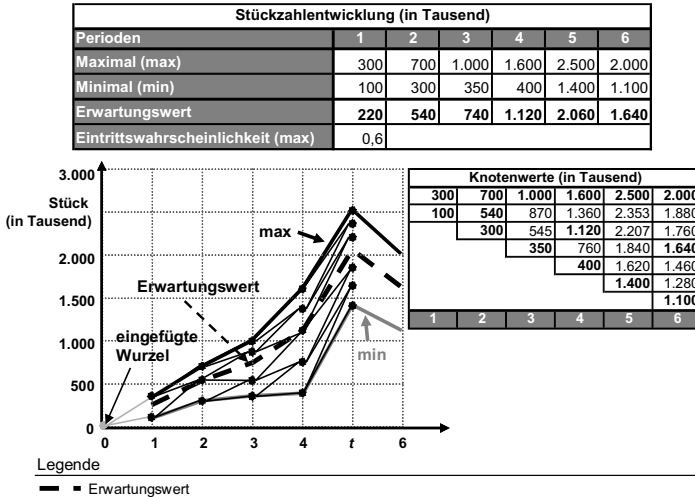


Abbildung 41: Beispielhafte Ermittlung eines rekombinierenden Wertebaumes für die primäre Unsicherheit Stückzahlentwicklung

### 5.4.5.2 Modellierung der sekundären Unsicherheiten

Auch das Vorgehen zur Modellierung der sekundären Unsicherheiten ist flexibel in der Anwendung. Allgemeine Voraussetzung für eine anwendungsorientierte Modellierung produktionstechnischer Unsicherheitsgrößen ist, dass die Steigung und die Varianz des betrachteten Parameters in Abhängigkeit von der Zeit (Position im Lebenszyklus) definierbar sein sollten. Im Folgenden wird daher die Vorgehensweise zur Modellierung der sekundären Unsicherheiten als *Itô-Prozess* (siehe 5.4.3.3) am Beispiel der Stückzahlentwicklung aus Abschnitt 5.4.5.1 vorgestellt und zusammenfassend in der Abbildung 42 visualisiert.

Grundlage dieser Modellierung ist die erwartete Entwicklung des zu beschreibenden Parameters (Stückzahl) über die Zeit (siehe Zeile [1] in Abbildung 42). Eine erste Möglichkeit der Anpassung ist dadurch gegeben, dass die Unsicherheit der Stückzahl in der ersten Periode definiert werden kann. Dies geschieht durch die Angabe der maximalen erwarteten Abweichung ([2]) und der dazugehörigen Irrtumswahrscheinlichkeit ([3]). Daraus lassen sich der Vertrauensbereich ([4]) und die zugehörige Wertgrenze der Verteilungsfunktion ([5]) berechnen. Aus der zugehörigen Wertetabelle der Verteilungsfunktion (hier: Standardnormalverteilung) lässt sich dann der Abstandwert  $z$  ([6]) ablesen, der die Anzahl an benötig-

## 5 Methodik zur Bewertung von Mobilität in der Produktion

ten Vielfachen der Standardabweichung angibt. Daraus lässt sich die Standardabweichung ermitteln ([7]). Damit ist die Definition der Verteilung der Stückzahl für  $t = 1$  (in [8]) abgeschlossen.

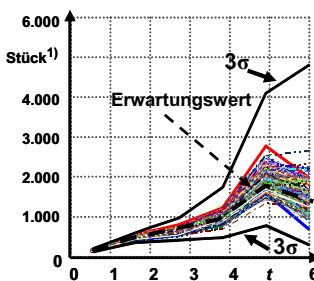
Stückzahlentwicklung (in Tausend)						
Perioden	1	2	3	4	5	6
[1] Erwartungswert (aus 5.4.5.1)	220	540	740	1.120	2.060	1.640
[8] Stückzahlentwicklung	197	491	721	976	2.053	1.409
[9] Erwartete Steigung $\mu$ (von $t-1$ nach $t$ )		1,45	0,37	0,51	0,84	-0,20
[10] Veränderungsrate 1		286,5	181,9	370,2	819,1	-418,6
[11] Maximal erwartete Abweichung der Steigung (in %)*		15%	15%	20%	25%	25%
[12] Standardabweichung $\sigma$ (in %)		7,5%	7,5%	10,0%	12,5%	12,5%
[13] $\sigma S$		14,78	36,83	72,10	122,00	256,63
[14] Standard-Wiener-Prozess $dz$ **		-0,13	1,56	-1,28	1,23	-0,87
[15] Veränderungsrate 2		-1,9	57,4	-92,3	150,1	-223,3

[2] Maximal erwartete Abweichung*	10%
[3] Irrtumswahrscheinlichkeit*	4,50%
[4] Konfidenzniveau	95,50%
[5] Wertgrenze Verteilungsfunktion	97,75%
[6] z-Wert der Verteilungsfunktion	2,00
[7] Standardabweichung $\sigma$ (in Stück)	11,00

Kontrolle der Stückzahlentwicklung						
Perioden	1	2	3	4	5	6
[16] Korridor oben ( $3\sigma$ )	253	678	1.082	1.961	4.343	5.086
[17] Korridor unten ( $3\sigma$ )	187	417	478	579	849	357



### Legende

<sup>1)</sup> In Tausend

\* Durch den Entscheidungsträger anzugeben

\*\* Durch eine Monte-Carlo-Simulation erzeugt (zur Definition von  $dz$  siehe Abschnitt 9.2.3.4)

Abbildung 42: Beispielhafte Modellierung eines Itô-Prozesses am Beispiel der Stückzahlentwicklung aus Abschnitt 5.4.5.1. Die Wertetabelle zeigt eine exemplarische Ziehung der Monte-Carlo-Simulation.

Die Wertentwicklung der Stückzahlen in Zeile [8] für  $t > 1$  wird durch einen Itô-Prozess, basierend auf der grundlegenden Formel zur Beschreibung von Aktienkursen, modelliert. Diese allgemeine Formel lautet (siehe auch 9.2.3.6):

$$dS = \mu S dt + \sigma S dz \quad (28)$$

$dS$  Veränderung des Aktienpreises im Zeitintervall  $dt$

$\mu$  Erwartete Rendite der Aktie

$\sigma$  Volatilität des Aktienpreises

$dz$  Standard-Wiener-Prozess

Der Wert der Veränderung setzt sich dabei aus zwei Bestandteilen zusammen. Der erste Summand in Formel (28) zeigt, dass das Ausmaß der Veränderung von der erwarteten Rendite abhängt. Durch die Übertragung auf allgemeine bzw. produktionstechnische Parameter (z. B. Stückzahlen) entspricht dieser Zuwachs der geplanten (positiven oder negativen) Steigung, welche in Zeile [9] abgebildet ist. Sie berechnet sich mit Hilfe des Quotienten von zwei zeitlich aufeinander folgenden Erwartungswerten (aus [1]). Durch die Multiplikation des Wertes aus Zeile [9] mit dem Wert der vorhergehenden Periode ( $S_{t-1}$ ) ([8]) ergibt sich ein Anteil der Veränderung, welcher in Abbildung 42 mit  $dS_1$  bezeichnet ist ([10]).

Der zweite Summand der Gleichung (28) entspricht der zusätzlichen zufälligen Abweichung, die durch einen Wiener-Prozess  $dz$  beschrieben wird. Dies ist der zweite Gestaltungsfreiraum des Entscheidungsträgers, welcher die maximal zu erwartende Abweichung der Steigung für jede Periode selbst definieren kann ([11]). Unter der Annahme einer identischen Irrtumswahrscheinlichkeit, wie zuvor ([3]), lässt sich die einer Periode  $t$  zugehörige Standardabweichung  $\sigma$  ([12]) berechnen und daraus  $\sigma S$  ([13]) ableiten. Die Werte aus Zeile [13] führen dann durch Multiplikation mit dem aus der Ziehung der *Monte-Carlo-Simulation* erhaltenen Wiener-Prozess  $dz$  ([14]) zum zweiten Bestandteil der Veränderungsrate  $dS_2$  ([15]). Somit folgt die Wertentwicklung (8) einem auf einem *Itô-Prozess* basierenden stochastischen Pfad, der sich durch

$$S_t = S_{t-1} + \mu S_{t-1} + \sigma S_{t-1} dz \quad (29)$$

- $dS$  Wert des Parameters (Stückzahl) in Periode  $t$
- $\mu$  Erwartete Steigung der Entwicklung des Parameters von  $t-1$  nach  $t$
- $\sigma$  Abweichung der Entwicklung des Parameters vom erwarteten Pfad von  $t-1$  nach  $t$
- $dz$  Standard-Wiener-Prozess

beschreiben lässt.

Die abgebildeten Zufallspfade der Graphik unten rechts in Abbildung 42 entsprechen 250 Ziehungen, welche mit Hilfe einer *Monte-Carlo-Simulation* erzeugt wurden. Die obere und untere Begrenzung des Korridors entspricht der maximalen bzw. minimalen Entwicklung unter der Annahme eines Konfidenzintervalles von 99,87% ( $3\sigma$ ). Die Berechnung dieser Werte (Zeile [16] und [17]) schafft die Möglichkeit, dem Entscheidungsträger das Verhalten des von ihm definierten Prozesses aufzuzeigen und so Wertentwicklungen außerhalb zulässiger Bereiche (z. B. negative Stückzahlen etc.) zu vermeiden.

### 5.4.6 Fazit der Phase IV und Ausblick

In Abschnitt 5.4 wurde gezeigt, welche mobilitätsrelevanten Unsicherheitsfaktoren existieren (5.4.2). Darauf aufbauend wurde ein Konzept entwickelt, welches es bei relativ geringem Komplexitätsanstieg ermöglicht, ohne Verlust an Transparenz und Anpassungsfähigkeit des Modells mehrere Unsicherheitsfaktoren in einer binomialen Baumstruktur abzubilden (5.4.3). Zudem wurde mit Hilfe einer adaptierten *FMEA* eine Unsicherheitsprioritätszahl *UPZ* eingeführt, welche die Priorisierung der Unsicherheiten gestattet (5.4.4). Abschließend wurden in Abschnitt 5.4.5 Möglichkeiten ausgearbeitet, um die selektierten Unsicherheiten und deren stochastisches Verhalten in Bäumen (*primäre Unsicherheit*) und Zufallspfaden (*sekundäre Unsicherheit*) zu modellieren. Die Ausführungen haben zudem gezeigt, dass *Itô-Prozesse* ein hohes Maß an Anpassungsfähigkeit besitzen, so dass sie sich für die Abbildung der sekundären Unsicherheiten sehr gut eignen. Damit sind die Grundlagen für das Optionsmodell gelegt, da die Unsicherheiten den Wert der Mobilitätsoption maßgeblich bestimmen.

Eine weitere stochastische Größe stellt der Verlagerungsprozess selbst dar. Dieser kann in seiner Dauer und seiner Intensität stark schwanken und ist aus diesem Grund ebenfalls als Unsicherheit zu modellieren. Für jede der  $n$  Ziehungen der sekundären Unsicherheiten wird auch ein spezifisches Verlagerungsszenario ermittelt. Diese Betrachtungen werden in Abschnitt 5.5 vertieft.

## 5.5 Analyse und Beschreibung der Verlagerung (Phase V)

### 5.5.1 Struktur und Zielsetzung der Phase

Die Verlagerung ist das zentrale Element eines mobilen Produktionsszenarios und deren Dauer – vom Beginn der ersten Planung bis zum Erreichen des vollen Ausstoßes qualitätsgerechter Produkte am Zielstandort – determiniert die Verlagerungskosten. Diesen Zeitraum zu verringern, ist das Ziel der Gestaltung mobiler Fabriken (MÜLLER & SPANNER-ULMER 2005, S. 75). Aufgrund der schwer zu prognostizierenden Effekte und der hohen Komplexität des Verlagerungsprozesses werden dessen Risiken und die Kosten häufig unterschätzt (THIEME & DÜRR 1998, S. 75). Daher besteht das Ziel des Abschnittes 5.5 darin, die Auswirkungen der Mobilitätsausübung detailliert zu analysieren. Daraus leiten sich die zentralen Fragestellungen des Abschnittes 5.5 ab, die in Tabelle 17 formuliert sind.

5.5	Welche Auswirkungen hat die Ausübung der Mobilitätsoption?
5.5.2	Wie ist eine Verlagerung zu strukturieren und abzubilden?
5.5.3	Welche Unsicherheiten liegen einer Verlagerung zu Grunde und wie sind diese Größen zu modellieren?
5.5.4	Wie wird der Zusammenhang zwischen einem spezifischem Mobilitätsszenario (5.3) und der Verlagerung hergestellt?

Tabelle 17: Formulierung der wesentlichen Fragestellungen der Phase V

### 5.5.2 Strukturierung des Verlagerungsprozesses

Die Zielsetzung von Mobilität besteht darin, einen effizienten Verlagerungsprozess zu ermöglichen. Dieser beinhaltet verschiedene Phasen, welche in Abbildung 43 visualisiert sind.

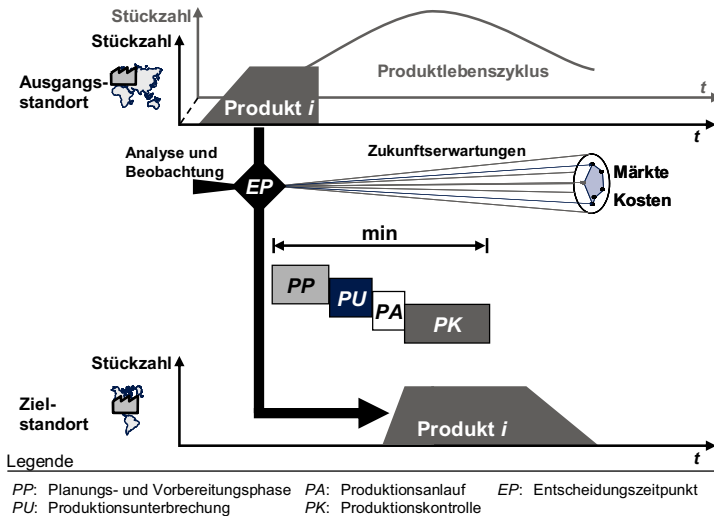


Abbildung 43: Struktur des Verlagerungsprozesses bei einer Mobilitätsausübung im Lebenszyklus vom Entscheidungszeitpunkt bis zum Ende einer intensiven Kontrollphase

Die Mobilitätsüberlegungen werden durch die wahrgenommene Veränderung des Unternehmensumfeldes ausgelöst oder es liegen ihnen strategische Überlegungen zugrunde. Der daraufhin angestoßene Entscheidungsprozess mündet in einen Entscheidungszeitpunkt hinsichtlich der Mobilitätsausübung. Die Grundlage hierfür

bildet die Bestimmung der zu diesem Zeitpunkt existierenden Ausprägungen der maßgeblichen Unsicherheiten des Umfeldes. Diese „Koordinaten“ können als gegenwärtige Position des Unternehmens im stochastischen Raum und damit als Knoten im binomialen Gitter der primären Unsicherheit aufgefasst werden. Von dieser Position ausgehend wird ein – im Vergleich zur Ausgangssituation begrenzter – Raum an Zukunftserwartungen bestehen.

Strukturell ist die Verlagerung in die vier in Abbildung 43 aufgeführten Phasen gegliedert. Nach Abschluss der vierten Phase wird die Produktion am Zielstandort weiter betreut. Die dafür eventuell notwendigen Kosten sind den Kosten des Produktionsmodus am Zielstandort ( $BK, (\Omega_{ast})$ ) zugeordnet (siehe 5.2.4.3).

### 5.5.3 Definition der Einflussgrößen und Unsicherheiten

#### 5.5.3.1 Allgemeines

Die Definition der verlagerungsspezifischen Unsicherheiten beinhaltet Erwartungswerte (Planwerte) und zugehörige Abweichungen, die zusammen als Wahrscheinlichkeitsverteilungen darstellbar sind. Im Bewertungsmodell werden die Unsicherheiten dann unter Zuhilfenahme geeigneter Softwareinstrumente (*Monte-Carlo-Simulation*) berücksichtigt und in den  $n$  Ziehungen der *sekundären* Unsicherheiten repräsentativ verarbeitet. Eine Verteilung von  $n$  verschiedenen Kostenstrukturen des Verlagerungsprozesses ist das Ergebnis, welches das Risikoprofil des Verlagerungsprozesses aufzeigt.

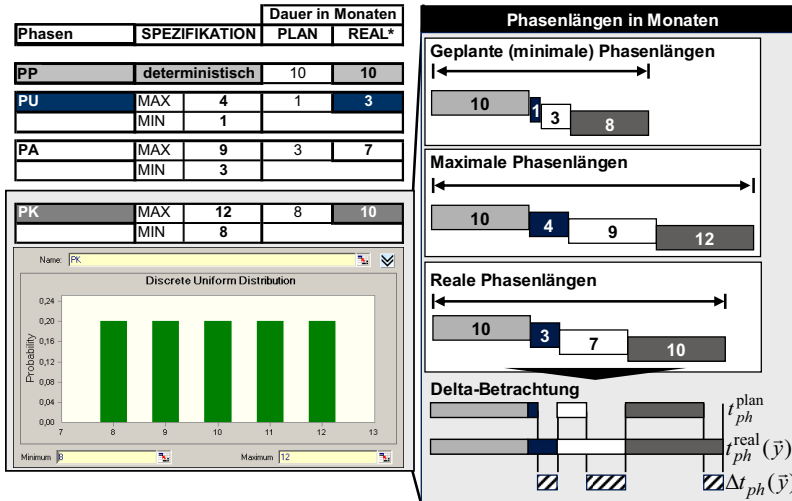
#### 5.5.3.2 Definition der Phasenlängen

Im Zuge der Entscheidungsfindung wird ein Planablauf des Verlagerungsprozesses prognostiziert. Der Planablauf beinhaltet die Dauer und den Umfang der einzelnen Phasen. Doch gerade diese beiden Aspekte sind mit einer hohen Unsicherheit behaftet (HESCH 1998, S. 120, THIEME & DÜRR 1998, S. 75). Gravierende Planabweichungen durch verlängerten Produktionsausfall, Hochlaufverzögerung oder Produktionsstillstände sind häufig zu beobachten (SIMON ET AL. 2006, S. 266). Das Bewertungsmodell berücksichtigt diese Tatsache, indem die Zeiträume der genannten Phasen definiert werden. Vereinfachend wird dabei die erste Phase (*PP*) als deterministisch angenommen. Für die folgenden Phasen hingegen werden Minimal- und Maximalwerte einschließlich der Eintrittswahrscheinlichkeiten für die möglichen Werte des Intervalls definiert, wobei die Mi-

nimalwerte den Planvorgaben entsprechen. Die Parameterbezeichnungen sind der Tabelle 18 zu entnehmen, Abbildung 44 fasst das Vorgehen zusammen.

Parameter	Beschreibung
$VP$	Menge der Verlagerungsphasen $VP = \{PP, PU, PA, PK\}$
$t_{ph}^{\min} = t_{ph}^{\text{plan}}$	Minimale Phasenlänge der Phase $ph$ , $ph \in VP$
$t_{ph}^{\max}$	Maximale Phasenlänge der Phase $ph$ , $ph \in VP \setminus PP$
$\tau_{ph}^{\text{real}}(\bar{y})$	Reale Phasenlänge $\tau_{ph}^{\text{real}}(\bar{y}) \in [t_{ph}^{\min}, t_{ph}^{\max}]$ von $ph$ , $ph \in VP \setminus PP$ aus einer Ziehung $\bar{y}$ der MC-Simulation
$\Delta t_{ph}(\bar{y})$	Abweichung von realer zu geplanter Dauer $\Delta t_{ph}(\bar{y}) = \tau_{ph}^{\text{real}}(\bar{y}) - t_{ph}^{\text{plan}}$ der Phase $ph$ , $ph \in VP \setminus PP$ bei einer Ziehung $\bar{y}$ der MC-Simulation

Tabelle 18: Parameter zur Beschreibung des Verlagerungsprozesses



**Legende**

- PP: Planungs- und Vorbereitungsphase
- PU: Produktionsunterbrechung
- PA: Produktionsanlauf
- PK: Produktionskontrolle
- $\bar{y}$ : Ziehung einer MC-Simulation
- \*: Durch eine Monte-Carlo-Simulation erzeugt

Abbildung 44: Festlegung der Längen der Verlagerungsphasen und beispielhafte Wertermittlung mit Hilfe einer Monte-Carlo-Simulation

### 5.5.3.3 Intensität der Unterstützung am Zielstandort und sonstige Einflussgrößen

Weitere im Modell berücksichtigte Einflussgrößen, welche zur Ermittlung der Kosten in den einzelnen Phasen Verwendung finden, sind Tabelle 19 zu entnehmen. Sie betreffen die Kalkulation zusätzlicher Lagerbestände zur Überbrückung der Produktionsunterbrechung, Sonderaufwendungen zur Erzeugung dieser Lagerbestände durch Zusatzschichten sowie die anfallenden Kosten für an den Zielstandort zu entsendende Mitarbeiter (*Expatriates*).

Parameter	Beschreibung
$zf^{VorPro}$	Zuschlagsfaktor für die Vorproduktion bei Sonderschichten
$lks$	Lagerkostensatz pro Periode
$ar_{PA}$	Ausbringungsrate an qualitätsgerechten Endprodukten in der Anlaufphase ( <i>PA</i> )
$sp$	Spesensatz pro Mitarbeiter und Periode am Zielstandort
$ex_{ph}^{\min}$	Minimale Anzahl an <i>Expatriates</i> in der Phase $ph$ , $ph \in VP$
$ex_{ph}^{\max}$	Maximale Anzahl an <i>Expatriates</i> in der Phase $ph$ , $ph \in VP$
$\varepsilon_{ph}^{\text{real}}(\bar{y})$	Reale Anzahl an <i>Expatriates</i> in der Phase $ph$ , $ph \in VP$ , $\varepsilon_{ph}^{\text{real}}(\bar{y}) \in [ex_{ph}^{\min}, ex_{ph}^{\max}]$ bei einer Ziehung $\bar{y}$ der MC-Simulation
$zf^{\text{expat}}$	Zuschlagsfaktor für Lohn bzw. Gehalt bei Entsendung

Tabelle 19: Sonstige Einflussgrößen auf den Verlagerungsprozess

Neben der Phasenlänge kann die Intensität der Unterstützung am Zielstandort einen maßgeblichen Unsicherheitsfaktor darstellen. Daher werden analog zur Definition der Phasenlänge Eintrittswahrscheinlichkeiten bezüglich der notwendigen Anzahl zu entsendender *Expatriates* angenommen. Für jeden der  $n$  Berechnungsläufe wird diese Anzahl ebenfalls durch Ziehung aus der zugrunde liegenden Verteilung realisiert. Die zugehörigen Kosten fließen dann in Abhängigkeit von der simultan gezogenen Phasenlänge in die Berechnung des Aufwandes ein.



### 5.5.4 Wirkbeziehungen zum Mobilitätsszenario

Im Sinne der Definition einer Konfiguration (BROCKHAUS 1990, S. 68) existieren zwischen den einzelnen Elementen und deren Anordnung Wirkbeziehungen. Im vorliegenden Fall besteht – bezogen auf die Konfiguration der Bewertungsaufgabe – ein Zusammenhang zwischen dem spezifischen Mobilitätsszenario und dem Verlagerungsaufwand. Ausgehend von der Vielzahl anfallender Transaktionskosten (5.3.2) werden über die Analyse und Beschreibung der strukturellen Ausgangssituation im Produktionsnetzwerk und den durch die Mobilitätsausübung induzierten Veränderungen die Kosten des Verlagerungsprozesses determiniert. Diese Kosten werden den Phasen zugeordnet. Die zuvor festgelegten Ausprägungen wirken zudem auf die Dauer und die Intensität des Verlagerungsprozesses, welche als stochastische Größen die Kosten der Phasen zusätzlich beeinflussen. Diesen Zusammenhang visualisiert Abbildung 45.

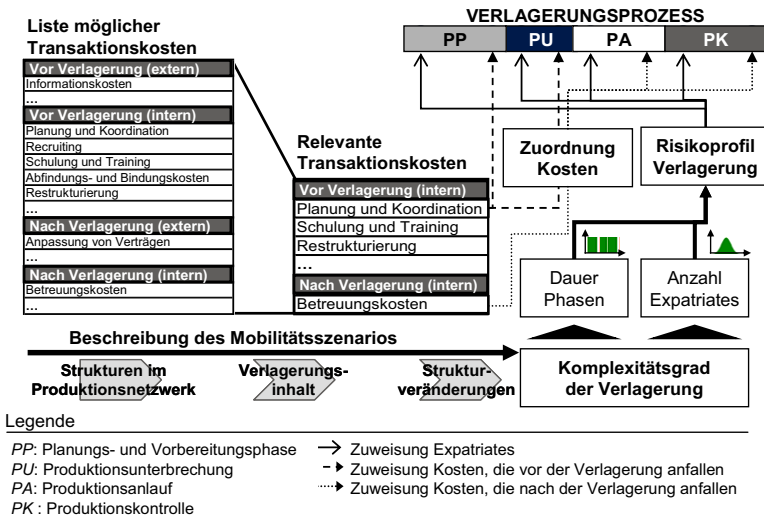


Abbildung 45: Wirkzusammenhang zwischen dem spezifizierten Mobilitätsszenario und den Kosten der Verlagerung

Neben den bereits diskutierten und hier abgebildeten Elementen wird der Komplexitätsgrad des Mobilitätsszenarios zusätzlich durch die Komplexitätstreiber „zu fertigendes Produkt“ und „verwendete Technologie“ maßgeblich bestimmt (MÜLLER ET AL. 2006, SIMON ET AL. 2006, S. 243).

### 5.5.5 Fazit der Phase V und Ausblick

In Abschnitt 5.5 wurde die Struktur des Verlagerungsprozesses beschrieben und es wurde erläutert, dass die Dauer des Verlagerungsprozesses sowie die Intensität der erforderlichen Unterstützungsleistung am Zielstandort mit Unsicherheit behaftete Größen sind. Durch deren Modellierung (5.5.3.2 und 5.5.3.3) wurde die Grundlage für die Integration des Verlagerungsaufwandes als stochastische Größe in das Bewertungsmodell geschaffen. Zudem wurde gezeigt, welche Wirkbeziehungen zwischen der Phase III und der Phase V der Methodik bestehen.

Lediglich die Wirkbeziehungen zwischen der Phase IV (Umwelt) und der Verlagerung sind noch zu beschreiben. Im Sinne der Betrachtung von Mobilität unter optionstheoretischen Gesichtspunkten spiegeln die Verlagerungskosten den Ausübungspreis  $E$  der Option wider (ZÄH ET AL. 2003b, S. 647). Die genaue Erläuterung der Berechnung der stochastischen Größe  $E$  kann erst bei der Beschreibung des Optionsmodells erfolgen, da die Herleitung der anfallenden Kostenpositionen auf dem Prinzip des Optionsmodells aufbaut. Die Anwendung des Realoptionsansatzes bedingt somit die zu ermittelnden Kostenpositionen der Verlagerung.

## 5.6 Bewertung von Mobilität mit dem Realoptionsansatz (Phase VI)

### 5.6.1 Struktur und Zielsetzung der Phase

In Abschnitt 5.6 wird das Optionsmodell erläutert, mit welchem der Wert von Mobilität in der Produktion bzw. der daraus resultierenden Realoption (Verlagerungsfähigkeit) quantitativ bestimmt werden kann. Wie zuvor sind in der folgenden Tabelle 20 die Kernfragestellungen des Abschnittes aufgeführt.

5.6	Wie erfolgt die Bewertung mit dem Realoptionsansatz?
5.6.2	Wie lautet die exakte Definition der Realoption?
5.6.3	Welchem Grundprinzip folgt das Bewertungsmodell?
5.6.4	Wie werden die Phasen II bis V im Modell verarbeitet?
5.6.5	Welche Auswirkungen folgen aus den stochastischen Eigenschaften des Verlagerungsprozesses als Ausübungspreis?
5.6.6	Welche Form und welche Aussagekraft haben die Ergebnisse?

Tabelle 20: Formulierung der wesentlichen Fragestellungen der Phase VI

## 5.6.2 Definition der durch Mobilität geschaffenen Realloption

### 5.6.2.1 Beschreibung des Handlungsspielraumes

Entsprechend der *Schlussfolgerung 2* (4.2.1) wird der durch Mobilität geschaffene Handlungsspielraum wie folgt definiert:

*Durch die Investition in ein mobiles Produktionssystem  $a \in A$  erwirbt sich das Unternehmen das Recht bzw. die Möglichkeit, innerhalb eines bestimmten Betrachtungszeitraumes dessen Fähigkeit zu nutzen, unter bestimmten Rahmenbedingungen von einem durch die spezifischen Bedingungen eines Standortes definierten Produktionsmodus  $\Omega_a = \Omega_{as}$  ( $a \in A$  und  $s \in S$ ) auf einen alternativen Produktionsmodus  $\Omega'_a = \Omega_{as'}$  an einem Zielstandort  $s' \in S$  umzuschalten ( $s' \neq s$ ). Die mit der Ausübung dieses Rechts bzw. dieser Möglichkeit verbundenen Kosten (Ausübungspreis  $E$ ) entsprechen jeglichen aus dem Verlagerungsprozess resultierenden Aufwendungen.*

Hierfür wird das Unternehmen in Abhängigkeit der Umweltbedingungen bereit sein, eine irreversible Optionsprämie zu investieren. Diese Kosten wird der Entscheidungsträger als maximalen Zusatzaufwand für diese Form der Wandlungsfähigkeit akzeptieren. Da aus der Mobilität eine Optionsausübung resultiert, die während des gesamten Lebenszyklus ausgelöst werden kann und welche die Beendigung einer bestehenden Aktivität (*Put*) mit der Eröffnung einer neuen Aktivität (*Call*) verknüpft (3.3.2.4), ist die durch Mobilität geschaffene Realloption als *Wechsel- bzw. Umstellungsoption (Switch-Option)* einzustufen.

### 5.6.2.2 Anwendungsorientierte Konkretisierung

Realloptionen, die der Klasse der *Umstellungs- und Wechseloptionen* zugeordnet sind, ermöglichen es dem Inhaber, den Produktionsmodus wahlweise zu verändern. Charakteristisch hierbei ist, dass der Wechsel (das Umschalten) bei Bedarf beliebig oft während der Laufzeit durchgeführt werden kann (TRIGEORGIS 1996, S. 13, COPELAND & ANTIKAROV 2002, S. 181). Dies bedingt, dass für ein wirtschaftliches Aufwand-Nutzen-Verhältnis der Rekonfigurationsaufwand und/oder der benötigte Zeitraum für die Umstellung i. d. R. sehr gering sein müssen. Daher gehen die meisten in der Literatur aufgeführten Beispiele – in Anlehnung an die unmittelbare Auslösung einer Finanzoption – davon aus, theoretisch ohne Zeitverlust bzw. unendlich schnell zwischen den Betriebsarten variieren zu können.

Unter Berücksichtigung der beschriebenen Eigenschaften der Mobilität ist diese Annahme nicht tragbar und auch nicht zweckmäßig. Aufgrund dessen werden zwei anwendungsorientierte Anpassungen vorgenommen:

Zum einen wird die Option so formuliert, dass **nur ein Wechsel im Lebenszyklus** erlaubt ist. Derartige Optionen werden als *Austauschoptionen* (*exchange options*) bezeichnet. Von dieser Einschränkung abgesehen besitzen *Austauschoptionen* die Eigenschaften von Wechseloptionen (Portfolio bestehend aus einer Verkaufs- und einer Kaufoption) und sind daher dieser Klasse zuzuordnen. Sie verbriefen das Recht, ein risikobehaftetes Gut in ein anderes (risikobehaftetes Gut) zu tauschen (TRIGEORGIS 1996, S. 210, SCHÄFER & SOCHOR 2005, S. 493, HULL 2006, S. 647). Das eine risikobehaftete Gut entspricht im betrachteten Fall der Produktion am Standort  $s$ , welche gegen die Produktion am Standort  $s'$  getauscht werden kann. Der Zeitraum, in welchem dieses Recht ausgeübt werden kann, bzw. der früheste mögliche Zeitpunkt der Ausübung kann durch diese Optionsform (einschränkend) definiert werden. So können auch Anwendungsfälle wie die Verlagerung aus einem Anlaufwerk in ein Produktionswerk abgebildet werden, bei dem der Prozess einen bestimmten Reifegrad vor der Verlagerung erreicht haben muss (HAGMANN ET AL. 2004, S. 113), oder es können Restriktionen einer Belegungsstrategie integriert werden (FERBER 2006, S. 144).

Zum zweiten wird in Abschnitt 5.6.5 gezeigt, wie die Kosten des mehrperiodigen Verlagerungsprozesses als Ausübungspreis in die Bewertung integriert werden.

### 5.6.3 Grundprinzip und Aufbau des Optionsmodells

#### 5.6.3.1 Allgemeines

In diesem Abschnitt wird die Anwendung der Optionsbewertung erläutert. Dabei werden anhand eines einfachen Beispiels die folgenden Punkte betrachtet:

- die Abbildung standortspezifischer Produktionsmodi in Bäumen,
- die Duplikation der Zahlungsströme als Notwendigkeit einer risikoadäquaten Bewertung (*Äquivalenzprinzip*),
- der Unterschied zum Entscheidungsbaumverfahren und
- die Optimierungsbedingung der Mobilitätsoption (Standortwechsoption) als Grundlage des rekursiven Berechnungsvorgehens.

### 5.6.3.2 Standortspezifische Cashflows als Basis der Bewertung

In Phase II der Methodik wurden anhand eines deterministischen Modells die Cashflows  $CF_t(\Omega_{as})$  als Differenz zwischen Erlösen  $E_t$  und standortspezifischen Selbstkosten  $SK_t(\Omega_{as})$  einer Periode  $t$  berechnet (5.2.4.8). Somit ist die standortspezifische Struktur der Cashflows  $CF_t(\Omega_{as})$  das Charakteristikum eines Produktionsmodus  $\Omega_{as}$ . Diese Struktur wird für die Bewertung in einem binomialen Baum abgebildet. Im Folgenden wird vereinfachend noch davon ausgegangen, dass die Schwankungen der Cashflows unmittelbar von der Turbulenz des Umfeldes ausgelöst werden. Erst im späteren Verlauf (5.6.4) werden die Zustände der primären Unsicherheit die Cashflows in den Knoten determinieren.

Ausgangspunkte der jetzigen Betrachtungen sind drei Zeitperioden  $T = 1, 2, 3$  sowie die Cashflowstrukturen der verschiedenen Betriebsarten der Anlage  $a \in A$  am Standort  $s \in S$  ( $\Omega_a = \Omega_{as}$ ) sowie am Standort  $s' \in S$  ( $\Omega'_a = \Omega_{as'}$ ).

Abbildung 46 zeigt die Struktur der standortspezifischen Cashflows als Ausgangsbasis der Bewertung sowie das daraus resultierende Risikoprofil.

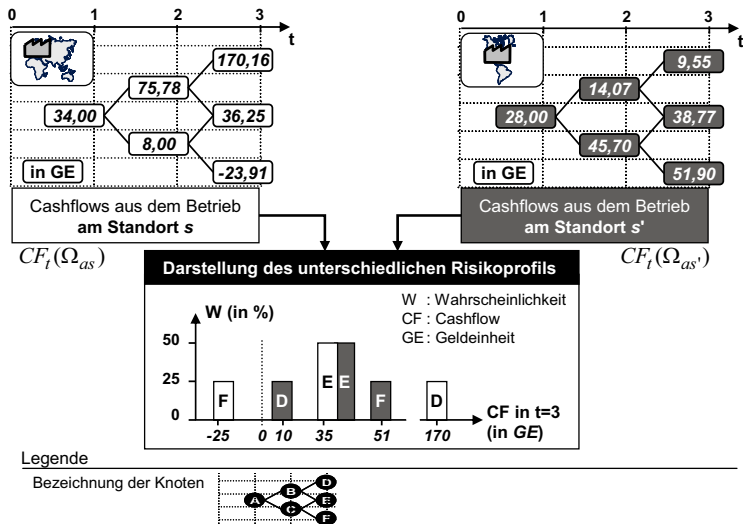


Abbildung 46: Resultierende standortspezifische Cashflows mit beispielhafter Darstellung des unterschiedlichen Risikoprofils der in Periode  $t = 3$  erzeugten Rückflüsse

Die Produktion am Standort  $s$  erzeugt im oberen Bereich des Baumes bessere Werte, während in den unten angeordneten Zuständen Standort  $s'$  höhere Auszahlungen generiert. Aus produktionstechnischer Sicht kann dies aus vielfältigen Gründen wie z. B. aus unterschiedlichen Fixkostenanteilen bei der Herstellung oder aus der Entwicklung von Wechselkursen und/oder von Absatzmärkten resultieren.

### 5.6.3.3 Duplikation aufgrund unterschiedlicher Risikostrukturen

Für die Ermittlung der Projektwerte (Kapitalwerte) sind die in Abbildung 46 dargestellten Cashflows zu diskontieren. Dies geschieht durch rekursives Durchschreiten des Baumes. Wie in Kapitel 3.2.2 erläutert, ist der Diskontierungsfaktor so zu wählen, dass er der erwarteten Rendite (bzw. Verzinsung) entspricht, welche die Kapitalgeber für ein Projekt, das ein vergleichbares Risiko aufweist, fordern. Aufgrund der Tatsache, dass sich die Projekte in ihrem Auszahlungsprofil unterscheiden, ist es im Sinne einer vergleichenden Bewertung nicht möglich, identische Renditeerwartungen bzw. Kapitalkostensätze anzusetzen.

Eine Möglichkeit besteht darin, das (standort-)spezifische Risiko subjektiv zu schätzen und länderspezifische Diskontierungsfaktoren zu verwenden (siehe 5.2.4.3). Dies hat den Nachteil, dass die Anpassung bezüglich marktbezogener (Kosten, Währungskurse etc.) und technologisch-gesellschaftlicher Risiken (z. B. höheres Streikrisiko) pauschalisiert erfolgt, was neben dem subjektiven Charakter die Ungenauigkeit des Vergleichs zusätzlich erhöht. Zudem wird die Möglichkeit der Nutzung von Mobilität, die bisher noch nicht abgebildet ist, das Risikoprofil noch weiter verändern (siehe 5.6.3.5).

#### **Schlussfolgerung:**

Für eine relativ zueinander gesehen korrekte Bewertung des Betriebs der Anlage  $a \in A$  an zwei Standorten ist einer der beiden Produktionsmodi als Bezugspunkt (Basisobjekt) zu definieren. Dafür ist eine dem Risiko dieser Standort-Technologie-Kombination angemessene Rendite zu bestimmen, die dem Kapitalkostensatz  $i^*$  entspricht. Das unterschiedliche Risikoprofil der Cashflows des Betriebs am anderen Standort muss dadurch berücksichtigt werden, dass für diesen Produktionsmodus der Kapitalkostensatz in jedem der Knoten an das zugrunde liegende Risikoverhältnis anzupassen ist. Die daraus folgende Interpretation lautet: Wenn die mit  $i^*$  berechneten Projektwerte für das Basisobjekt (z. B.  $\Omega_a = \Omega_{as}$ ) als korrekt diskontiert angenommen werden, dann sind (nur) die mit Hilfe der Duplikation ermittelten Projektwerte des Betriebsmodus

$\Omega'_a = \Omega_{as}$ , als marktkonform zu betrachten. Die Bedingung der *Arbitragefreiheit* (siehe 3.3.2.3) ist erfüllt und ein objektiver Vergleich unterschiedlicher Risikostrukturen ist möglich.

**Weiteres Vorgehen:**

Die folgende Tabelle 21 enthält die für die weiteren Erläuterungen angenommenen Parameter. Standort  $s$  wird dabei als Basisobjekt definiert.

Parameter	Beschreibung
$q = 0,5$	Wahrscheinlichkeit einer Aufwärtsbewegung im Baum
$r_f = 0,04$	Risikoloser Zinssatz
$i^* = 0,1$	Kapitalkosten des Basisobjektes ( <i>Underlying</i> )

Tabelle 21: Weitere zur Kalkulation der Projektwerte notwendige Parameter des Berechnungsbeispiels

Abbildung 47 zeigt die Berechnung der Projektwerte des Basisobjektes. Die Kalkulation erfolgt rekursiv, beginnend bei den Knoten der letzten Periode  $T$ . Hier gilt:  $CF_T(\Omega_{as}) = PV_T(\Omega_{as})$ . Die Werte der zeitlich davor liegenden Knoten entsprechen den diskontierten und mit den jeweiligen Eintrittswahrscheinlichkeiten gewichteten Zahlungsströmen der Folgeknoten, zuzüglich der in der Periode selbst anfallenden Cashflows.

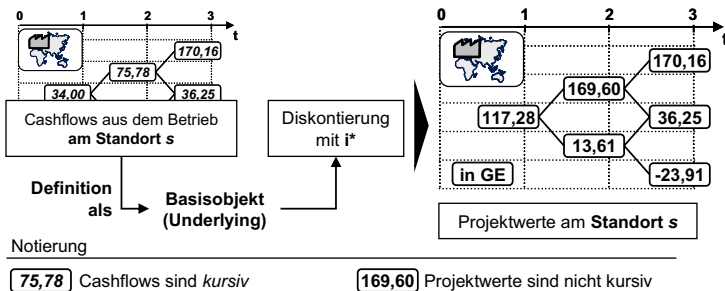


Abbildung 47: Berechnung der Projektwerte des Basisobjektes (Standort  $s$ )

Abbildung 48 illustriert die Berechnung der Projektwerte für den alternativen Standort  $s'$ . Sie erfolgt basierend auf dem Äquivalenzprinzip mit Hilfe eines dynamischen Portfolios, welches die Auszahlungsstruktur des Betriebsmodus  $\Omega'_a = \Omega_{as}$  exakt nachbildet und aus  $m$  Teilen des Basisobjektes und  $B$  Einheiten

## 5 Methodik zur Bewertung von Mobilität in der Produktion

der festverzinslichen Anleihe besteht. Wie zuvor werden die Werte rekursiv berechnet. Auch hier gilt:  $CF_T(\Omega_{as'}) = PV_T(\Omega_{as'})$ . Dies ist am rechten Rand der Graphik dargestellt (Schritt 1 in Abbildung 48). Für die zeitlich vor  $T$  liegenden Knoten sind die Zahlungsströme, wie in 3.3.3.2 beschrieben, mit dem zuvor definierten Underlying (in diesem Fall die Projektwerte von Standort  $s$ ) und der risikolosen Anleihe nachzubilden.

Exemplarisch zeigt Abbildung 48 den Rechengang für den oberen Knoten in  $t = 1$  (Schritt 2). Durch Gleichsetzen der Zustände in  $T$  werden  $m$  und  $B$  berechnet (Schritt 3). Da die Werte der Knoten in den Projektwertbäumen bereits die Cashflows des Standorts enthalten, muss bei der Duplikation des Projektwertes in  $T-1$  auf die Bereinigung (Subtraktion) dieser Cashflows geachtet werden (Schritt 4). Im vorliegenden Fall sind dies  $75,78 \text{ GE}$ , welche subtrahiert werden müssen (Cashflows von  $s$  in Knoten  $B$ ).

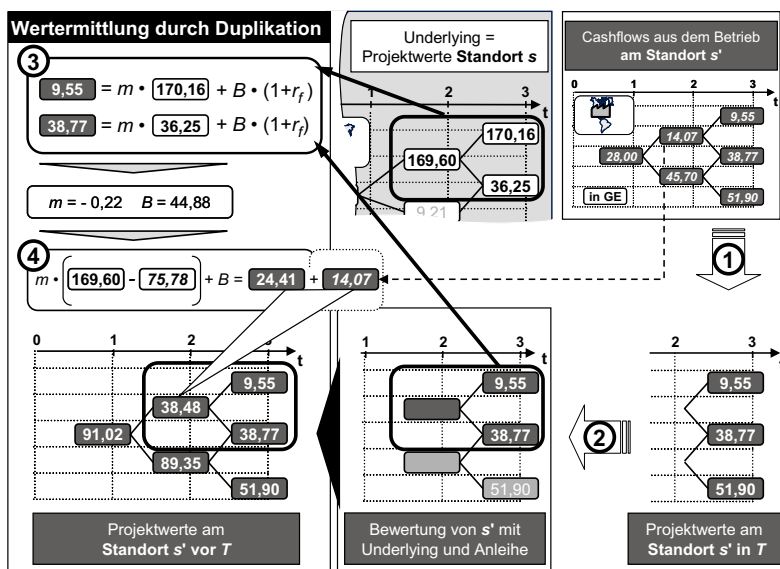


Abbildung 48: Beispielhafte Berechnung der Projektwerte durch Duplikation der Zahlungsströme des Standortes  $s'$  einschließlich der Erläuterung des Rechengangs für den Knoten  $B$



### 5.6.3.4 Erläuterungen zur Notwendigkeit der Duplikation

Die Verwendung eines identischen Diskontierungsfaktors für die beiden Standorte würde zu einem falschen Ergebnis führen. Die Bedingung der *Arbitragefreiheit* würde verletzt werden, da die Projekte unterschiedliche Risikostrukturen aufweisen. Dies wird durch die folgenden Ausführungen belegt.

Ein Investor kauft in Periode 1 die Anlage  $a$ , welche (bereits) am Standort  $s$  produziert. Der Wert dieser Anlage im Produktionsmodus  $\Omega_{as}$  beträgt, wie zuvor berechnet,  $117,28 - 34,00^{23} = 83,28$  GE (siehe Abbildung 47). Zusätzlich ergänzt er zur gleichen Zeit sein Investitionsportfolio mit Anlagen, die am Standort  $s'$  ( $\Omega_{as'}$ ) betrieben werden. Der nach dem Duplikationsprinzip ermittelte Preis hierfür beläuft sich auf  $91,02 - 28,00 = 63,02$  GE (siehe Abbildung 48). Wird das Duplikationsprinzip für die Bestimmung der Projektwerte von  $\Omega_{as'}$  nicht angewendet, berechnet sich der Wert der Anlage am Standort  $s'$  (wie zuvor für Standort  $s$ ) durch das Diskontieren der Cashflows mit dem Kapitalkostensatz  $i^{*24}$ . Die Mittel zum Kauf der Anlagen nimmt der Investor zum risikolosen Zins von 4% am Kapitalmarkt auf. Nach einer Periode werden die Anlagen wieder verkauft und der Kredit verzinst zurückgezahlt. Bei der Betrachtung wird unterstellt, dass für beide Anlagen ein Markt existiert, an dem sie (in beliebigen Teilen) gekauft und wieder verkauft werden können.

Die folgende Abbildung 49 zeigt die Bedeutung einer risikoorientierten Diskontierung durch die Gegenüberstellung der resultierenden Auszahlungen für ein Portfolio in den rechts angeordneten Diagrammen. Beide Schaubilder visualisieren die Entwicklung der Zahlungsdifferenz in  $t = 1$ , die der Investor durch Verkauf des Portfolios und verzinsten Rückzahlung des Finanzierungskredites realisiert. Von links nach rechts gelesen wird die Anzahl an gekauften ( $t = 0$ ) und verkauften ( $t = 1$ ) Anlagen des Typs  $\Omega_{as'}$  schrittweise erhöht.

Es wird deutlich, dass bei Verwendung des Duplikationsansatzes keine Linearkombination existiert, bei welcher der Investor risikolos (d. h. sowohl bei Eintreten des positiven (*upstate*) als auch bei Eintreten des negativen (*downstate*) Folgezustandes) höhere Renditen erzielen kann als durch eine risikolose (festver-

<sup>23</sup> Es wird angenommen, dass die Cashflows der Periode 1 (34 GE) bereits realisiert wurden. Die 83,28 GE stellen somit lediglich den Wert der (von  $t = 1$  aus gesehen) zukünftigen Rückflüsse dar.

<sup>24</sup> Der nach diesem Vorgehen resultierende Preis beträgt 55,89 GE (nach der Bereinigung um die bereits realisierten Cashflows).

## 5 Methodik zur Bewertung von Mobilität in der Produktion

zinsliche) Anleihe. Der Schnittpunkt der beiden Linien liegt auf der Abszisse, die Renditeforderungen sind risikoorientiert. Anders verhält es sich im unteren Schaubild. Durch das Ignorieren der unterschiedlichen Risikoprofile von  $\Omega_{as}$  und  $\Omega_{as'}$  erhält der Investor immer (unabhängig vom Folgezustand) eine höhere Verzinsung als der risikolose Zins, wenn er in seinem Portfolio zu einer Anlage  $\Omega_{as}$  zwischen 2,54 und 3,76 Anlagen von  $\Omega_{as'}$  hinzufügt (Arbitragefenster). Dies führt zur Schlussfolgerung, dass die Projekte relativ zueinander nicht korrekt bewertet sein können.

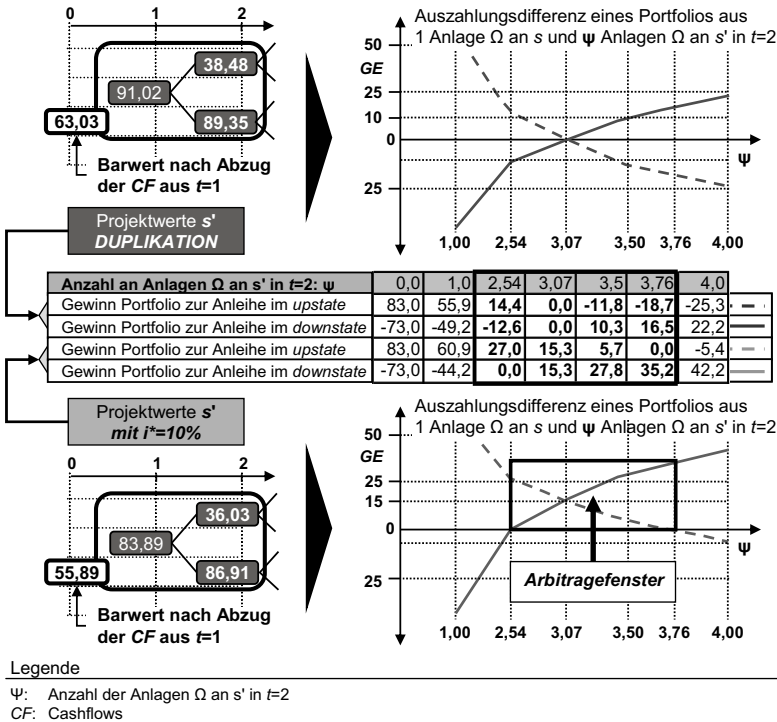


Abbildung 49: Bedeutung einer risikoorientierten Diskontierung beim Vergleich alternativer Investitionsprojekte, visualisiert durch das Aufzeigen von Arbitragemöglichkeiten bei der Wahl geeigneter Linearkombinationen eines Investitionsportfolios unter Verwendung eines einheitlichen Zinssatzes

### 5.6.3.5 Grundsätzliche Bewertung der Mobilitätsoption

In Abschnitt 5.6.3 wurde bisher erläutert,

- wie der Projektwert der Nutzung einer Anlage an unterschiedlichen Standorten mit unsicherer Umweltentwicklung als Produktionsmodus  $\Omega_{as}$  und  $\Omega_{as'}$  abgebildet werden kann und
- warum ein Basiswert bestimmt werden muss, zu welchem eine korrekte Relativbewertung des alternativen Produktionsmodus nur unter Berücksichtigung des Äquivalenzprinzips durch Duplikation erfolgen kann.

Hier erfolgt nun die **Einführung der Mobilitätsoption**. Sie gibt dem Investor bildlich gesehen das Recht bzw. die Möglichkeit, von einem Baum „in den anderen zu springen“ bzw. von  $\Omega_{as}$  nach  $\Omega_{as'}$  zu wechseln. Durch das Zusammenführen der beiden den jeweiligen Produktionsmodus der Standorte repräsentierenden Bäume entsteht ein davon abweichender dritter Wertebaum des mobilen Produktionsmodus  $\Omega_a^{mobil}$ . In den weiteren Erläuterungen wird davon ausgegangen, dass  $s$  als Anlaufstandort gewählt wurde.

Unter der Voraussetzung, in  $t = 0$  in mobile Produktionsressourcen investiert zu haben, kann sich der Investor in jedem beliebigen Umweltzustand (Knoten des Baums) entscheiden, ob er

- weiterhin am Standort  $s$  produziert (Verbleib in  $\Omega_{as}$ ) oder
- den Barwert der zukünftigen Zahlungen am Standort  $\Omega_{as'}$  zum Ausübungspreis  $E$  erwirbt (Umschalten auf Produktionsmodus  $\Omega_{as'}$  zum Preis der Verlagerungskosten).

Da es sich um eine Option amerikanischen Typs handelt, wird die Optimierung wie beim Entscheidungsbaumverfahren über einen rekursiven Berechnungsalgorithmus entsprechend dem Prinzip der dynamischen Programmierung erfolgen (siehe 3.2.2.5 und 9.1.2). Hierdurch werden die Projektwerte der mobilen Anlage in die Baumstruktur überführt. Aufgrund der Klassifizierung von Mobilität als *Austauschoption (exchange option)* besitzt der Investor damit in jeder Periode  $t$ ,  $1 \leq t \leq T$ , eine europäische Kaufoption auf den Erwerb des Barwertes des Betriebsmodus am Zielstandort  $s'$  ( $PV_{t*}(\Omega_{as'})$ ). Dies entspricht  $T$  Optionen (eine in jeder Periode), wobei alle späteren Optionen verfallen, wenn eine vorhergehende ausgeübt wurde.

## 5 Methodik zur Bewertung von Mobilität in der Produktion

---

Zur Herleitung der Optimierungsbedingung und für die weiteren Betrachtungen gilt folgende Konvention:

- Das Recht der Ausübung besteht zu Beginn jeder Zeitperiode  $t$  und
- der Verlagerungszeitraum ist unendlich klein bzw. gleich  $0^{25}$ .

Wenn  $t^*$  die Periode bezeichnet, in welcher die Optimierungsüberlegung stattfindet, dann gilt für die letzte Periode des Baumes:  $t^* = T$  und

$$PV_{z(t^*)}(\Omega_a^{mobil}) = \max \left[ PV_{z(t^*)}(\Omega_{as}); PV_{z(t^*)}(\Omega_{as'}) - E \right]. \quad (30)$$

$PV_{z(t^*)}(\Omega_a^{mobil})$  Projektwert des mobilen Produktionssystems für den Zustand  $z(t^*)$

$z(t^*)$  Bezeichnung des betrachteten Zustandes (Knotens) in  $t^*$

$E$  Ausübungspreis (Verlagerungskosten)

Für die übrigen Knoten sind die Strategien „Verbleib“ (Ausdruck [1] der Bedingung in (31)) oder „Wechsel“ ([2]) zu vergleichen. Für die Knoten  $1 \leq t^* \leq T-1$  gilt:

$$PV_{z(t^*)}(\Omega_a^{mobil}) = \max \left[ \underbrace{CF_{z(t^*)}(\Omega_{as}) + E_{t^*} \left[ PV_{z(t^*+1)}(\Omega_{as}) \right]}_{[1]}; \underbrace{PV_{z(t^*)}(\Omega_{as'}) - E}_{[2]} \right] \quad (31)$$

$CF_{z(t^*)}(\Omega_{as})$  Cashflow im Zustand  $z(t^*)$ , realisiert durch Verbleib an  $s$  in  $t^*$

$E_{t^*} [PV_{z(t^*+1)}(\Omega_{as'})]$  Erwarteter und unter Berücksichtigung der durch Duplikation vorgenommenen Diskontierung ermittelter Barwert der Nachfolgeknoten von  $z(t^*)$  unter der Annahme, dass alle in der Zukunft von  $z(t^*)$  liegenden Entscheidungen optimal gefällt werden

$E$  Ausübungspreis (Verlagerungskosten)

Der erste Teil der Maximierungsbedingung (Ausdruck [1]) drückt den Wert der Strategie des Abwartens aus, der sich aus zwei Bestandteilen zusammensetzt:  $CF_{t^*}(\Omega_{as})$  bezeichnet die am Ausgangsstandort  $s$  in  $t^*$  realisierten Cashflows (Verbleib), zu welchem der erwartete Barwert der Folgeknoten hinzuaddiert wird. Durch das rekursive Generieren der Baumstruktur von  $\Omega_a^{mobil}$  repräsentie-

---

<sup>25</sup> Diese Annahme wird erst in 5.6.5 aufgehoben.

ren die Folgeknoten die Annahme, dass alle zukünftigen Entscheidungen optimal gefällt werden. Durch das Einfügen der Maximierungsbedingung ergibt sich eine Risikostruktur für das mobile Produktionssystem, die von den beiden stationären Produktionsmodi  $\Omega_{as}$  und  $\Omega_{as'}$  abweicht, da das Unternehmen nun in der Lage ist, den Unsicherheiten des Umfeldes zu begegnen. Dies wird als *operatives Hedging*<sup>26</sup> bezeichnet (HUCHZERMEIER 2003, S. 319, TRIANTIS 2005, S. 599 F.). Wie bei Finanzoptionen (*finanzielles Hedging*) resultiert hieraus die Notwendigkeit einer Duplikation der Folgeknoten.

Zum Verständnis wird das Vorgehen anhand des in 5.6.3.2 erläuterten Beispiels wertmäßig fortgeführt. Mit der Technologie  $a$  ist nun die Möglichkeit verbunden, in  $1 \leq t \leq T$  einen Standortwechsel von  $s$  nach  $s'$  zu realisieren. Die Verlagerungskosten werden beispielhaft mit 20 GE veranschlagt.

Die folgende Abbildung 50 zeigt schematisch die Vereinigung der beiden Wertebäume der standortspezifischen Produktionsmodi. Der Algorithmus startet mit Bedingung (30) in  $t^* = T = 3$  (weiße Felder) und führt rekursiv mit der Bedingung (31) zum Projektwert des Betriebs des mobilen Systems in  $t = 0$  von 145,80 GE. Die fett umrandeten Knoten symbolisieren, dass in diesen Zuständen eine Verlagerung unter den aufgeführten Konditionen erfolgen würde. Die Auslösung im unteren der beiden Knoten in  $t = 2$  führt aufgrund des einmaligen Austauschcharakters der Option dazu, dass die Option im untersten Knoten von  $t = 3$  verfällt (siehe vorige Ausführung). Dies wird durch die Maximierungsbedingungen berücksichtigt, indem die Optionsauslösung in  $t = 3$  nur in die Berechnung der Strategie „Verbleib“ einfließt. Der hier resultierende Wert von 69,36 GE (Wechselstrategie) wird davon losgelöst berechnet.

Unter der Annahme, dass keine Mehrkosten für die mobile Gestaltung des Systems anfallen, ergibt sich der Mehrwert der Mobilitätsoption gegenüber den stationären Strategien

- an Standort  $s$  : 145,80 GE - 117,28 GE = 28,52 GE
- an Standort  $s'$  : 145,80 GE - 91,02 GE = 54,78 GE

Um die Vorteilhaftigkeit zu überprüfen, sind dann in einem abschließenden Schritt von auf diese Weise ermittelten Werten noch die zusätzlichen Investitionskosten für die Bereitstellung der Mobilität zu subtrahieren.

---

<sup>26</sup> Aus dem Englischen: (to) hedge: absichern

## 5 Methodik zur Bewertung von Mobilität in der Produktion

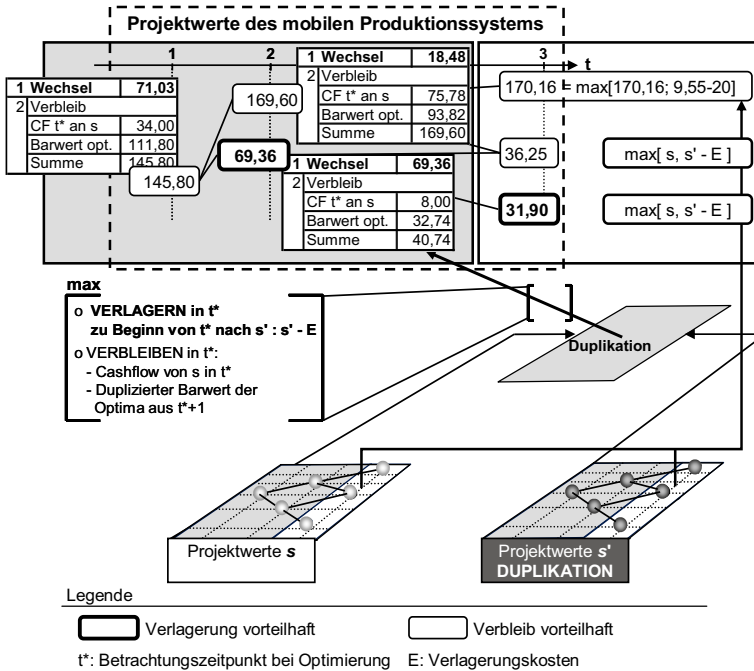


Abbildung 50: Beispielhafte Generierung des Binomialbaums, welcher die Produktionsmodi  $\Omega_{as}$  und  $\Omega_{as'}$  zu  $\Omega_a^{mobil}$  vereint. Die Knoten der Periode  $t^* = T = 3$  sind weiß unterlegt, da sie aus Bedingung (30) resultieren, die grau unterlegten Felder entsprechen der Bedingung (31) und werden, wie erläutert, dupliziert.

### 5.6.3.6 Fazit zum prinzipiellen Aufbau des Modells und Ausblick

In Abschnitt 5.6.3 wurde der prinzipielle Aufbau des Optionsmodells zur Berechnung des Mehrwertes von Mobilität erläutert. Dies beinhaltet die Begründung der Notwendigkeit der Duplikation der an unterschiedlichen Standorten realisierten Cashflows. Zudem wurde das Optimierungsvorgehen mittels einer Maximierungsbedingung bei Integration der Standortwechsellmöglichkeit beispielhaft aufgezeigt.

Darauf aufbauend wird im nächsten Abschnitt 5.6.4 beschrieben, wie die Phasen III bis V der Methodik in das Optionsmodell integriert werden. Anschließend

liegt der Schwerpunkt in Abschnitt 5.6.5 in der Berücksichtigung des stochastischen und mehrperiodigen Verlagerungsprozesses und der Umsetzung in das Modell. Dies ist erforderlich, da in den bisherigen Ausführungen von der in der Realität nicht zutreffenden Einschränkung ausgegangen wurde, dass die Verlagerung ohne Zeitverlust erfolgen kann.

#### **5.6.4 Verknüpfung des Optionsmodells mit der spezifischen Bewertungsaufgabe**

In diesem Abschnitt wird die Verknüpfung zwischen dem Optionsmodell und den in

- Phase II (*Aufbau des deterministischen Grundmodells*),
- Phase III (*Analyse und Beschreibung des Unternehmens*) sowie
- Phase IV (*Analyse und Beschreibung der Umwelt*)

festlegten Eingangsgrößen hergestellt. Dies entspricht der Verbindung der durch diese Parameter beschriebenen spezifischen Bewertungssituation (5.2 bis 5.4) mit dem Bewertungsmodell. Die Parameter fließen als zusammenwirkende Eingangsgröße (Konfiguration der Bewertungsaufgabe) in das im vorigen Abschnitt 5.6.3 beschriebene stochastische Optionsmodell ein. Die Basis zur Berechnung der Cashflow- und Projektwertbäume wird durch die um die Dynamik der Umfeldfaktoren erweiterte Berechnungssystematik des deterministischen Grundmodells aus Phase II gebildet. Beispielhaft wird davon ausgegangen, dass zwei technologische Alternativen  $a_0$  (*immobil*) und  $a_1$  (*mobil*) sowie zwei Standortalternativen  $s_0$  und  $s_1$  (Standort-Technologie-Kombinationen) als Bewertungsobjekte vorliegen.

In den folgenden Ausführungen werden die Zusammenhänge zwischen der Festlegung der Eingangsgrößen und dem Optionsmodell verdeutlicht, bevor die Abbildung 51 die Integration der Eingangsgrößen sowie die Durchführung des ganzheitlichen Bewertungsvorgehens visualisiert.

Die Aufgabe der Phase III der Methodik besteht unter anderem darin, die Festlegung der Technologieparameter aus dem Grundmodell zu vervollständigen. Dies beinhaltet, den initialen Investitionsaufwand ( $t = 0$ ) für die alternativen Produktionssysteme  $I_0(a_0)$  und  $I_0(a_1)$  zu bestimmen. Zudem sind aus der Analyse und Beschreibung des Unternehmens, der Rahmenbedingungen im Produktionsnetz-

## 5 Methodik zur Bewertung von Mobilität in der Produktion

---

werk sowie aus dem resultierenden Komplexitätsgrad im Falle einer Verlagerung die notwendigen Zusatzinvestitionen auf Netzwerkebene  $\tilde{I}_0(a1)$  zu ermitteln, die als Vorleistungen zur Schaffung der Verlagerungsfähigkeit aufzufassen sind (siehe Abbildung 51 oben).

Das Gerüst der Kalkulation wird durch die Modellierung der stochastischen Einflussparameter gebildet, die, wie in Abbildung 39 auf Seite 121 dargestellt, erfolgt. Die entscheidungsrelevante Größe (*primäre Unsicherheit*) wird durch den Binomialbaum abgebildet, während die *sekundären Unsicherheiten* in Form von *Itô-Prozessen* einfließen (5.4.3.3). Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die vier (in Abschnitt 5.4.2 aufgeführten) mobilitätsrelevanten Unsicherheitsfaktoren eine *globale (gl)* oder *lokale (lo)* Eigenschaft besitzen. Es gilt die folgende Einteilung:

- *global*: Gesamtstückzahl ( $\pi_t$ ), Marktanteil ( $\eta_{tm}$ ), Wechselkurs ( $\omega_{t0m}$ )
- *lokal*: Arbeitskostenentwicklung  $\kappa_{ts}$

Diese Trennung ist in Abbildung 51 im zentralen Bereich *Festlegung der stochastischen Parameter* abgebildet. Zur Erhöhung der Transparenz und der Anpassungsfähigkeit des Vorgehens werden neben den *primären (pr)* auch die *sekundären Unsicherheiten (se)* in eine Baumform überführt. Dies führt zu einer für alle Standort-Technologie-Kombinationen gültigen Baumstruktur. Bezogen auf eine Ziehung der *Monte-Carlo-Simulation* liefern die *Itô-Prozesse* für jede Zeitperiode  $t$  einen fixen Wert, der dann sowohl in der Auf- als auch in der Abwärtsbewegung (der *primären Unsicherheit*) gilt. In Abbildung 51 sind diese periodenfixen Werte mit \* gekennzeichnet. Ist die lokale Unsicherheit der Lohnkostenentwicklung  $\kappa_{ts}$  Teil der zu integrierenden Einflussparameter, dann werden in einem zusätzlichen Schritt aus der global gültigen Baumstruktur zwei standortspezifische Binomialbäume erzeugt.

Aus diesen Zustandsbäumen, welche die Unsicherheiten des Unternehmensumfeldes abbilden, werden die resultierenden Cashflow-Bäume generiert. Wie in Abschnitt 5.6.3 erläutert, lassen sich daraus die Projektwerte der einzelnen Standort-Technologie-Kombinationen ermitteln. Maximal können dabei die folgenden Produktionsmodi entstehen (siehe Abbildung 51):

- standortgebunden (stationär):  $\Omega_{a0s0}$ ,  $\Omega_{a0s1}$ ,  $\Omega_{a1s0}$  und  $\Omega_{a1s1}$  sowie
- mobil:  $\Omega_{a1}^{mobil}$  aus rekursiver Optimierung von  $\Omega_{a1s0}$  und  $\Omega_{a1s1}$ .



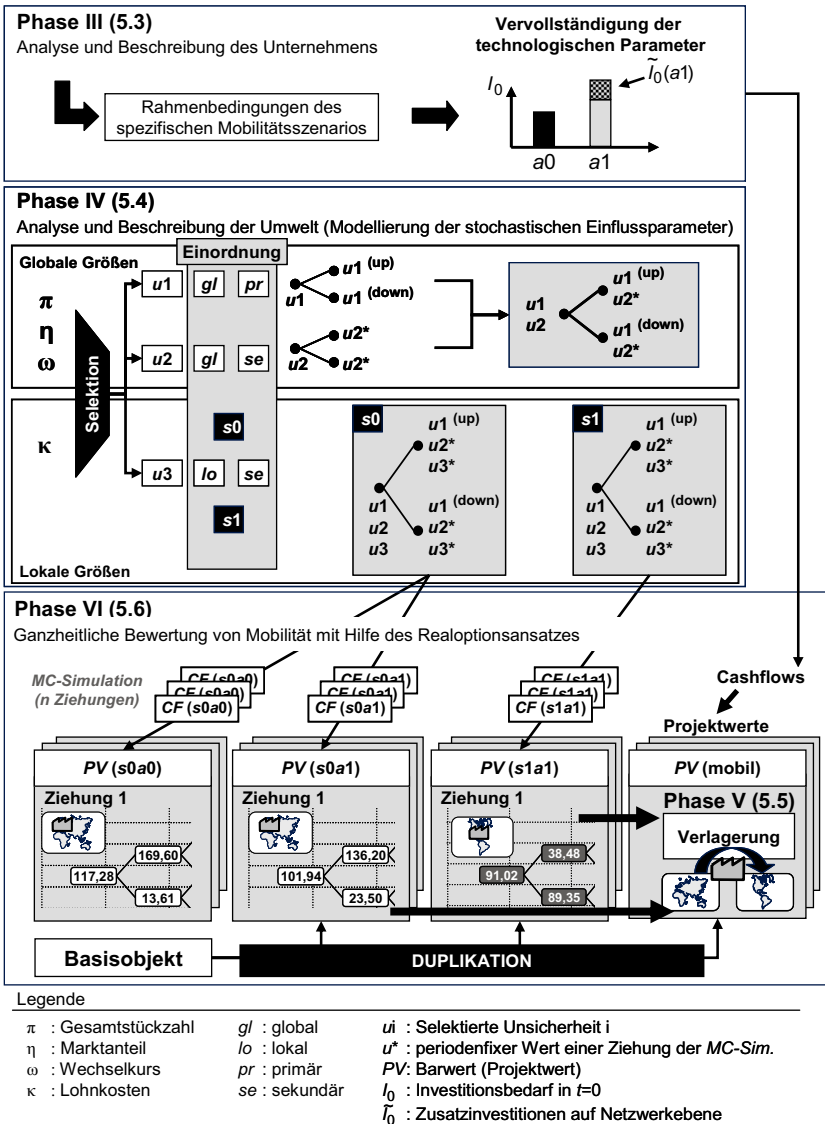


Abbildung 51: Zusammenführung der Konfiguration in das Optionsmodell unter der Annahme, dass das immobile Produktionssystem  $a_0$  nur am Standort  $s_0$  produzieren kann

Wie in Abschnitt 5.6.3.4 erläutert, führen die standortspezifischen Kostenstrukturen in Abhängigkeit der modellierten Unsicherheiten zur Notwendigkeit der Duplikation (KULATILAKA 1993, S. 272, COPELAND & ANTIKAROV 2002, S. 199). Hierfür ist nach dem *MAD*-Ansatz (3.3.5.2) ein beliebiger Betriebsmodus ohne Handlungsmöglichkeit (*stationär*) als Basisobjekt zu wählen. Damit ist es möglich, die unterschiedlichen Risikostrukturen der verbleibenden stationären Produktionsmodi ebenso wie das veränderte Risiko des mobilen Produktionssystems zu erfassen. Daraus folgt eine korrekte Relativbewertung der Investitionsalternativen zueinander. Analog zum Beispiel in 5.6.3 erfolgt anschließend die Generierung des Wertebaums des mobilen Produktionssystems. Die Grundlage hierfür sind die beiden standortgebundenen Produktionsmodi des mobilen Systems (ohne Ausübung der Mobilitätsoption). Aus diesen beiden Projektwertbäumen wird mit Hilfe des erläuterten rekursiven Optimierungsvorgehens ein Wertebaum für das mobile Produktionssystem ermittelt. Dabei werden die in Phase V definierten Eingangsgrößen des Verlagerungsprozesses in die Bewertung integriert.

Der untere Bereich der Abbildung 51 zeigt, dass die Berechnung der Projektwerte aufgrund des Konzeptes zur Integration mehrerer Unsicherheiten (5.4.3.3) in  $n$  separaten Kalkulationsläufen durchgeführt wird. Dies führt zur Ableitung der Risikostruktur der Projektwerte.

### 5.6.5 Integration des Verlagerungsprozesses als stochastischer, mehrperiodiger Ausübungspreis

#### 5.6.5.1 Allgemeines

Eine zentrale Erweiterung im vorliegenden Modell zu den meisten Anwendungen des Realloptionsansatzes stellt der stochastische Ausübungspreis (Verlagerungsprozess) dar. Lediglich FISCHER (1978) setzt sich aus finanztheoretischer Perspektive mit dieser Fragestellung auseinander und modifiziert die Gleichung von BLACK & SHOLES (1973). Eine weitere Anwendung findet sich bei MILLER & BERTUS (2004), die eine Bestimmung des Optionswertes von Lizenzen für Instandhaltung, Reparatur und Überholung von mechanischen Verbindungselementen in der Luftfahrtindustrie vornehmen. Auch in diesem Beispiel wird jedoch eine europäische Option betrachtet, und die Unsicherheit des Ausübungspreises ist ausschließlich von der Umfeldentwicklung vor der Ausübung abhängig.

### 5.6.5.2 Formale Definition und schematische Darstellung

Das in Abschnitt 5.6.3.5 eingeführte rekursive Optimierungsverfahren beruht auf den Annahmen, dass das Recht der Ausübung zu Beginn jeder Zeitperiode  $t$  besteht und der Verlagerungszeitraum unendlich klein ist. Daraus resultierte die Interpretation, von einem zum anderen Moment den Barwert der zukünftigen Zahlungsüberschüsse zum Preis  $E$  erwerben zu können. Zur Verwirklichung einer der Realität nahekommenden Modellierung ist jedoch diesbezüglich die folgende erweiterte Interpretation erforderlich.

*Mit der Auslösung der Verlagerungsentscheidung wird ein kostenintensiver unsicherer Prozess mit vier Phasen  $ph$ ,  $ph \in VP$ , angestoßen, welcher zu Anfang der Phase  $t^*$  (Entscheidungszeitpunkt) beginnt und den Zeitraum  $\Gamma$  umfasst. Alle in diesem Zeitraum  $\Gamma$  anfallenden und durch die Verlagerung verursachten Kosten sind als Ausübungspreis zu verstehen.*

Bezeichnet  $\vec{r} = (\tau_{PP}^{\text{real}}, \tau_{PU}^{\text{real}}, \tau_{PA}^{\text{real}}, \tau_{PK}^{\text{real}})$  einen Vektor, welcher die Dauer der Verlagerungsphasen  $ph$ ,  $ph \in VP$  beinhaltet und aus einer Monte-Carlo-Ziehung  $y$  ( $y \in N$ ) resultiert, dann gilt für das zugehörige Zeitintervall  $\Gamma(\vec{r})$  des gesamten Verlagerungsprozesses sowie für dessen Länge bzw. Dauer  $\delta(\Gamma(\vec{r}))$ :

$$\Gamma(\vec{r}) = \left[ t^*, \min \left[ \left[ t^* + \frac{1}{\alpha} \sum_{ph \in VP} \tau_{ph}^{\text{real}}(\vec{r}) \right] \right]; T \right] \text{ sowie} \quad (32)$$

$$\delta(\Gamma(\vec{r})) = \min \left[ t^v; \left[ \frac{1}{\alpha} \sum_{ph \in VP} \tau_{ph}^{\text{real}}(\vec{r}) \right] \right], \quad (33)$$

$$\forall t^* \in \{1, \dots, T\}, \forall \vec{r} \in N.$$

$\vec{r}$	Ein Vektor mit der Dauer der Phasen aus der Monte-Carlo-Simulation
$\Gamma(\vec{r})$	Aus einer Ziehung der Monte-Carlo-Simulation resultierender Zeitraum, in welchem zusätzliche Kosten durch den Verlagerungsprozess anfallen
$t^*$	Entscheidungszeitpunkt
$\alpha$	Anzahl der Subintervalle einer Periode $t$
$\delta(\Gamma(\vec{r}))$	Aus einer Ziehung resultierende Dauer des Verlagerungsprozesses
$t^v$	Restlaufzeit $t^v = (T - t^* + 1)$

## 5 Methodik zur Bewertung von Mobilität in der Produktion

---

Es lassen sich die nachfolgenden Aussagen bezüglich des *Ausübungspreises*  $E$  der Option ableiten:

- (A1) Der Ausübungspreis ist sowohl zum Zeitpunkt  $t = 0$  als auch im Entscheidungszeitpunkt  $t = t^*$  unbekannt bzw. aufgrund der Unsicherheit in Dauer und Intensität mit Schwankungen behaftet.
- (A2) Der Ausübungspreis ist vom Zustand  $z(t^*)$  bzw. von der Dynamik des Umfeldes im Zeitraum  $\Gamma(\vec{r})$  nach  $z(t^*)$  abhängig.
- (A3) Der Ausübungspreis ist abhängig von der verbleibenden Restlaufzeit  $t^v = (T - t^* + 1)$ , der Länge der Phasen  $\tau_{ph}^{real}$  (aus  $\vec{r}$ ) sowie von der Anzahl zu entsendender Expatriates für die einzelnen Phasen  $\varepsilon_{ph}^{real}$  aus einem Vektor  $\vec{s}$ , wobei dieser die Anzahl der Expatriates in den einzelnen Phasen enthält.
- (A4)  $0 < \delta(\Gamma(\vec{r})) \leq T$ , d. h. der Produktionsmodus  $\Omega_{as'}$  wird erst am Ende von  $\Gamma$  erreicht.

Aus den Aussagen (A1) bis (A4) resultieren die Schlussfolgerungen:

- (S1) Der Ausübungspreis ist immer ein Erwartungswert, d. h. mit Unsicherheiten behaftet.
- (S2) Der Ausübungspreis muss für jeden Knoten  $z(t^*)$  des Baumes separat berechnet werden. Daraus folgt die Notation  $E_{z^*(t)}$ .
- (S3)  $\tau_{ph}^{real}$  (bzw.  $\vec{r}$ ) und  $\varepsilon_{ph}^{real}$  (bzw.  $\vec{s}$ ) werden für jeden der  $n$  Kalkulationsläufe durch die Monte-Carlo-Simulation neu festgelegt und beeinflussen den Wert von  $E_{z^*(t)}$ . Daraus folgt die Notation  $E_{z^*(t)}(y)$ ,  $y \in N$ .
- (S4) Die Kosten  $c_i(\Gamma(y))$  sind zeitpunktbezogen zuzuordnen und auf den Zeitpunkt  $t^*$  zu diskontieren. Hierfür ist ein risikoorientierter Kalkulationszins  $k$  zu bestimmen.

Aus der Ausgangssituation, ohne Zeitverzug zu einem Preis  $E$  die Produktion am Zielstandort  $s'$  aufnehmen zu können, sowie aus (A4) folgt:

- (S5)  $C(\Gamma(y))$  ist die Summe aller bis zur Erreichung des „eingeschwungenen“ Referenzzustandes  $\Omega_{as'}$  (am Ende der Phase  $PK$ ) entstehenden Differenzkosten, da in der bisher gültigen Optimierungsbedingung dieser stabile Zustand die Grundlage des bei der Verlagerung gekauften Barwertes der zukünftigen Produktion an  $s'$  ( $PV_{z(t^*)}(\Omega_{as'})$ ) darstellt.

Diese Zusammenhänge zeigt die Abbildung 52. Dort wird deutlich, welche Auswirkungen durch  $\delta(\Gamma(y)) > 0$  im Vergleich zur bisherigen Optimierungsbedingung entstehen. Der folgende Abschnitt 5.6.5.3 erläutert die berücksichtigten Kosten.

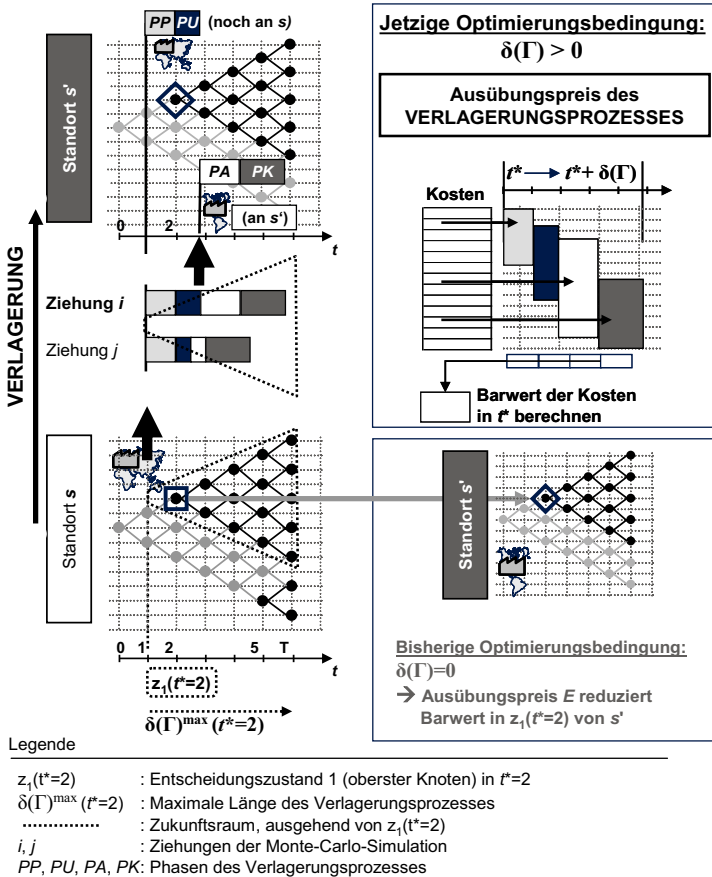


Abbildung 52: Visualisierung des zustandsabhängigen Ausübungspreises anhand einer exemplarischen Ziehung der Monte-Carlo-Simulation

### 5.6.5.3 Beschreibung der zu berücksichtigenden Kosten

Aus den Ausführungen des vorigen Abschnittes folgt, dass zur Berechnung von  $E_{z^*(t)}(y)$  alle im Zeitraum  $\Gamma(y)$  anfallenden Differenzkosten  $c_i(\Gamma(y))$  zum Barwert  $PV_{z^*(t^*)}(\Omega_{as'})$  zu betrachten sind. Diese entstehen dadurch, dass

- noch nicht an  $s'$  produziert wird (*Planung und Vorbereitung*),
- die physische Verlagerung stattfindet (*Produktionsunterbrechung*),
- ein geringerer Produktionsausstoß erzielt wird (*Produktionsanlauf*) oder
- zusätzliche Unterstützungsleistung erforderlich ist (*Produktionskontrolle*).

Die durch das Herauslösen der Produktion während des Produktlebenszyklus entstehenden Zusatzkosten  $c_i(\Gamma)$  bzw.  $c_i(\Gamma(y))$  sind in den folgenden Unterpunkten aufgeführt. Deren Berechnung ist im Anhang in Abschnitt 9.3.3 näher erläutert. Zudem werden im Folgenden die als relevant eingestuft Transaktionskosten (z. B. Kosten für Personalakquisition, Schulungen, Investitionen für Restrukturierungen etc.) zugeordnet (siehe 5.3, 5.5 sowie Abbildung 34).

#### Planungs- und Vorbereitungsphase (PP)

Tabelle 22 zeigt die Gruppe der Differenzkosten, die aufgrund der Tatsache entstehen, dass die Produktion an  $s$  und nicht an  $s'$  stattfindet.

Differenzkosten der Produktion	$c_1(\Gamma(y))$
Änderung der Vertriebskosten der in PP verkauften Endprodukte	$c_2(\Gamma(y))$
Produktionskosten der tatsächlich vorgefertigten Endprodukte	$c_3(\Gamma(y))$
Änderung der Vertriebskosten für die Vorproduktion	$c_4(\Gamma(y))$
Fehlmengenkosten wegen mangelnder Kapazität	$c_5(\Gamma(y))$
Bestandskosten der Vorproduktion	$c_6(\Gamma(y))$
Sonstige relevante Transaktionskosten aus Abbildung 34 (S. 110)	$c_7(\Gamma(y))$

Tabelle 22: *Differenzkosten zur Produktion an  $s'$  während der Planungs- und Vorbereitungsphase*

Neben den Produktionskosten ändern sich auch die Vertriebskosten für die Distribution der Endprodukte. Darüber hinaus wird eine Vorproduktion in Auftrag gegeben, um die geplante Dauer der Produktionsunterbrechung  $t_{PU}^{\text{plan}}$  zu überbrü-

cken. Die dafür benötigten Endprodukte sind vorab herzustellen. Auch kehrt sich für diese Produkte die Richtung der Distribution um und es resultieren aus der Vorproduktion erhöhte Bestandskosten (Aufbau der zur Überbrückung der *Produktionsunterbrechung* vorgesehenen Endprodukte). Des Weiteren ist zu beachten, dass der Umfang der Vorproduktion von der maximal zusätzlich verfügbaren Kapazität in  $t_{PP}^{\text{plan}}$  abhängt. Ist die Dauer unzureichend, um die erforderlichen Endprodukte für die *PU* zu fertigen, resultiert daraus ein Verlust an Deckungsbeiträgen.

**Produktionsunterbrechung (PU)**

Die Produktionsunterbrechung ist primär von den Schritten Demontage, Transport und Remontage des mobilen Produktionssystems gekennzeichnet. Zudem ist zu beachten, dass aufgrund der Abweichung der realen von der geplanten Dauer  $\Delta t_{PU}(y) = \tau_{PU}^{\text{real}}(y) - t_{PU}^{\text{plan}}$  (der Produktionsunterbrechung) zusätzliche Kosten durch die hieraus resultierende Fehlmenge entstehen können. Ebenso werden während dieser Phase weiterhin Bestandskosten für die Vorproduktion anfallen. Tabelle 23 fasst die berücksichtigten Kostenarten der Phase zusammen.

Kosten für Demontage an $s$ , Transport und Remontage an $s'$	$c_8(\Gamma(y))$
Fehlmengenkosten aufgrund verlängerter <i>PU</i>	$c_9(\Gamma(y))$
Bestandskosten der Vorproduktion	$c_{10}(\Gamma(y))$

Tabelle 23: Differenzkosten während der Produktionsunterbrechung

**Produktionsanlauf (PA)**

Der Anlauf der Produktion nach der Remontage an  $s'$  nimmt i. d. R. weniger Zeit in Anspruch als ein erstmaliger Anlauf. Das verbleibende Restrisiko wird berücksichtigt, indem in der Methode neben den Kosten für die Unterstützungsleitung der Expatriates die Kosten ermittelt werden, welche entstehen, wenn die Ausbringungsrate an qualitätsgerechten Endprodukten in der Anlaufphase an  $s'$  geringer ist als die des stabilen Produktionsmodus  $\Omega_{as'}$  (siehe Tabelle 24).

Kosten für Expatriates an $s'$ (Lohn- und Gehaltsempfänger)	$c_{11}(\Gamma(y))$
Fehlmengenkosten aufgrund verminderter Ausbringungsrate	$c_{12}(\Gamma(y))$
Sonstige relevante Transaktionskosten aus Abbildung 34	$c_{13}(\Gamma(y))$

Tabelle 24: Differenzkosten während des Produktionsanlaufs

### Produktionskontrolle (PK)

Auch nach dem Erreichen der maximalen Ausbringungsrates und einem als stabil einzustufenden Prozessniveau fallen meist noch Kosten für Kontroll- und Unterstützungsleistungen an, die durch den Standortwechsel im Lebenszyklus verursacht werden. Dies schließt Kosten für weiterhin benötigte Expatriates am Zielstandort ein, ebenso wie sonstige Reisekosten und Spesen (siehe Tabelle 25).

Kosten für Expatriates an $s'$ (Lohn- und Gehaltsempfänger)	$c_{14}(\Gamma(y))$
Relevante Transaktionskosten aus Abbildung 34	$c_{15}(\Gamma(y))$

Tabelle 25: Differenzkosten während der Kontrollphase

#### 5.6.5.4 Fazit

Durch die in Abschnitt 5.6.5 erläuterten Inhalte kann der Verlagerungsprozess als stochastischen Mechanismen ausgesetzter Ausübungspreis der Option ermittelt werden. Damit ist es möglich, den Mehrwert von Mobilität in der Produktion mit Hilfe des Realloptionsansatzes quantitativ zu bestimmen. Das konzipierte Bewertungsmodell, welches auf dem allgemeinen Optionsmodell einer *Austauschoption* (5.6.3) basiert und in Abschnitt 5.6.4 mit der zugrunde liegenden spezifischen Bewertungsaufgabe verbunden wurde, überwindet so die realitätsferne Annahme einer ohne Zeitverzögerung stattfindenden Verlagerung.

Abschnitt 5.6.6 widmet sich nun abschließend der Form der Ergebnisdarstellung.

#### 5.6.6 Ergebnisdarstellung

Die Ergebnisdarstellung resultiert aus dem Konzept zur Integration der *primären* und *sekundären* Unsicherheiten. Durch die Modellierung von Verteilungsfunktionen für die sekundären Parameter sowie für die stochastischen Einflussgrößen des Verlagerungsprozesses werden über eine *Monte-Carlo-Simulation*  $n$  Kalkulationsläufe generiert. Dies führt zu einer Verteilung des Projektwertes der alternativen Produktionsmodi  $PV_0(\Omega_{as})$ . Der Projektwert des „mobilen“ Produktionsmodus  $PV_0(\Omega_a^{\text{mobil}})$  stellt den die Handlungsmöglichkeit der Mobilität  $\zeta$  einschließenden – und damit erweiterten – Kapitalwert dar (siehe 3.3.2.3). Neben der absoluten Position der erwarteten Projektwerte der einzelnen Investitionsalternativen auf der Abszisse wird zudem durch die  $n$ -fache Iteration das Risiko-profil der Investitionsalternative erzeugt. Die folgende Abbildung 53 zeigt bei-



spielhaft die Form der Ergebnisdarstellung. Die beiden linken Verteilungen stellen die standortspezifischen Produktionsmodi des mobilen Systems  $a1$  dar. Das Produktionssystem  $a0$  erzielt am Standort  $s0$  (z. B. aufgrund der dort höheren Produktivität) ein besseres Ergebnis, wonach (ohne die Berücksichtigung der Mobilität von  $a1$ ) die Planungsvariante  $a0$  zu bevorzugen ist. Es gilt

$$E[PV_0(\Omega_{a0s0})] > E[PV_0(\Omega_{a1s0})] > E[PV_0(\Omega_{a1s1})]. \quad (34)$$

Durch die Integration des produktionstechnischen Freiheitsgrades in die Bewertung ändert sich die Aussage und es resultiert die ganz rechts angeordnete Verteilung der Projektwerte für das mobile Produktionssystem (siehe Abbildung 53).

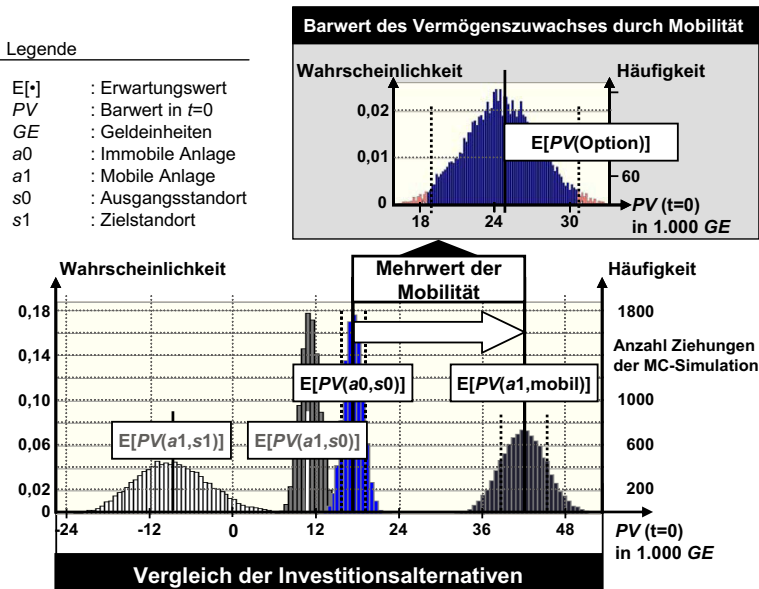


Abbildung 53: Darstellung eines beispielhaften Investitionsvergleichs einschließlich des Optionswertes und dessen Verteilung

Durch die mehrmalige Kalkulation ergibt sich auch für den Mehrwert der Mobilität (Optionswert) eine Verteilung. Der Optionswert  $\zeta$  der Mobilität (Standortwechsellmöglichkeit) während des Lebenszyklus wird gemäß der Definition in 3.3.2.3 durch

$$\zeta_{a1} = E \left[ PV_0(\Omega_{a1}^{\text{mobil}}) \right] - E \left[ PV_0(\Omega_{a1s0}) \right] \quad (35)$$

berechnet und entspricht dem Wertzuwachs bezogen auf das Basissystem  $a1$ . Werden hingegen, wie in Abbildung 53 angenommen, die Projektwerte des *mobilen* und *immobilen* Produktionssystems gegenübergestellt, so ist

$$\zeta_{a0} = E \left[ PV_0(\Omega_{a1}^{\text{mobil}}) \right] - E \left[ PV_0(\Omega_{a0s0}) \right] \stackrel{!}{\geq} \left( I_{0a1} + \tilde{I}_{0a1} \right) - I_{0a0} \quad (36)$$

der resultierende Wert der Option.

Im abschließenden Vergleich der Investitionsalternativen dürfen dann

- die Mehrkosten von  $a1$  im Vergleich zu  $a0$  ( $I_{0a1} - I_{0a0}$ ) einschließlich
- der notwendigen Zusatzinvestitionen im Produktionsnetzwerk ( $\tilde{I}_{0a1}$ )

den Wert  $\zeta_{a0}$  nicht übersteigen.  $\zeta_{a0}$  sind folglich die maximal akzeptierbaren Zusatzkosten des Wandlungsbefähigers Mobilität. Darüber hinaus lassen sich die Auswertungen zu den Investitionsalternativen noch erweitern, indem die wichtigsten statistischen Parameter ausgewertet und einander gegenübergestellt werden.

### 5.6.7 Fazit der Phase VI

In Abschnitt 5.6 wurde ein Vorgehen zur Bewertung von Mobilität mit Hilfe des Realoptionsansatzes dargelegt. Mit diesem Vorgehen ist es möglich, den Mehrwert quantitativ zu approximieren. Die Einordnung des Wandlungsbefähigers *Mobilität* als Austauschoption bildet hierfür die Grundlage. Aufbauend auf den Erläuterungen zur Notwendigkeit, standortspezifische Zahlungsströme für eine korrekte Relativbewertung auf eine zuvor definierte Basis zu beziehen (Duplikation), wurde das analysierte und beschriebene Mobilitätsszenario mit dem allgemeinen Optionsmodell der Austauschoption verknüpft (5.6.4). Zudem wurde die Integration des mehrperiodigen und stochastischen Verlagerungsprozesses (Ausübungspreis) vorgenommen (5.6.5). In Abschnitt 5.6.6 wurde abschließend die aus dem Vorgehen resultierende Ergebnisdarstellung erläutert, welche Aussagen über das Risikoprofil der Investitionsalternativen zulässt.

Insgesamt liegt damit eine ganzheitliche Methodik zur Bewertung standortübergreifender Mobilität vor. Diese erlaubt die Quantifizierung des Mehrwertes des genannten produktionstechnischen Freiheitsgrades in einem von Unsicherheit geprägten Unternehmensumfeld. Die praktische Anwendung der Methodik wird im folgenden Kapitel 6 anhand eines Fallbeispiels beschrieben.

Zuvor wird in Abschnitt 5.6.8 diskutiert, inwieweit die in Abschnitt 4.5.2 (S. 88) vorgenommene Eingrenzung der Betrachtung (Modellvereinfachungen) die Anwendung der Methodik einschränken bzw. wie diese Annahmen teilweise aufgehoben werden können.

### **5.6.8 Generalisierung der Modellvereinfachungen**

In Abschnitt 4.5.2 wurde die Methodik bezüglich der folgenden fünf Aspekte eingegrenzt. An dieser Stelle werden die Punkte wieder aufgenommen und es wird diskutiert, welche Möglichkeiten der Anwendung des Modells auf darüber hinausgehende Bewertungssituationen bestehen.

#### *(1) Anzahl der Produktionsstandorte und Märkte*

Bei dem konzipierten Modell handelt es sich um ein Zwei-Standort-Modell. Diese Vereinfachung wurde getroffen, um die Modellierung der primären Unsicherheit in einem Binomialbaum zu gewährleisten. Eine Erhöhung der Standortanzahl würde zu der Notwendigkeit führen, multinomiale Bäume zu verwenden, deren Nachteile (Komplexitätsanstieg, Transparenzverlust etc.) in Abschnitt 5.4.3.2 erörtert wurden. Sind mehrere Entsende- und Zielstandorte zu berücksichtigen, kann die Methodik jedoch vereinfachend auf die essenziellen Standort-Dyaden separat angewendet werden. Damit kann der Entscheidungsträger aber nur das isolierte Maximum eines Standort-Paares ermitteln. Bestehende Interaktionseffekte oder das Ausmaß einer Wertsteigerung der Wechseloption durch die Möglichkeit, zwischen den separierten Standort-Paaren mobil zu sein, bleiben aber unberücksichtigt und sind subjektiv in die Entscheidungsfindung zu integrieren.

#### *(2) Anzahl unterschiedlicher Endprodukte*

Die gleichzeitige Betrachtung von mehr als einem Endprodukt erhöht die Komplexität des Modells, eine Einschränkung liegt jedoch nicht vor.

### (3) *Häufigkeit der Verlagerung im Produktlebenszyklus*

Die anwendungsorientierte Konkretisierung von Mobilität in der Produktion beinhaltet die Einschränkung, nur einen Wechsel im Lebenszyklus zuzulassen. Hieraus resultierte die Definition von Mobilität als sogenannte *Austauschoption* (siehe 5.6.2.2). Eine Erhöhung der Anzahl der Verlagerungen im Lebenszyklus führt dazu, dass die Mobilität als (herkömmliche) Wechseloption zu modellieren ist. Dies verändert jedoch lediglich die Maximierungsbedingung für die Ausübung der Option bei der rekursiven Berechnung des Projektwertes für die mobile Anlage. Davon abgesehen können der Ablauf der Methodik sowie der Aufbau des Bewertungsmodells unverändert bleiben. Eine Steigerung des Komplexitätsgrades folgt aber aus dem Zeitverzug des Standortwechsels, der eine kurzfristige Korrektur der Standortentscheidung stark einschränkt.

### (4) *Bestandteile der Verlagerung*

Die Integration weiterer mobiler Bestandteile der Produktion (wie z. B. Gebäude) wird durch die Methodik nicht eingeschränkt. Dies gilt unter der Bedingung, dass die entstehenden Kosten, welche mit einem physischen Standortwechsel der Verlagerungsbestandteile verbunden sind, ermittelt werden können.

### (5) *Verlagerungsintensität*

Durch die Berücksichtigung der Tatsache, dass in der Methodik eine durch Mobilität ausgelöste Verlagerung stets als mehrperiodiger Standortwechselprozess abgebildet wird, können auch inkrementelle bzw. diskrete Verlagerungsschritte als Ausübungspreis modelliert werden.

## 6 Anwendung der Methodik

### 6.1 Allgemeines

#### 6.1.1 Zielsetzung des Kapitels

In diesem Kapitel wird die Anwendung der beschriebenen Methodik anhand eines industriellen Praxisbeispiels vorgestellt. Dies dient dazu, das in Kapitel 5 konzipierte abstrakte Vorgehensmodell exemplarisch darzulegen. Des Weiteren wird abschließend in Abschnitt 6.4 anhand der gewonnenen Erfahrungen aus der Anwendung eine kritische Betrachtung der Methodik vorgenommen.

#### 6.1.2 Ausgangssituation und technische Umsetzung der Bewertung

Das im Folgenden beschriebene Anwendungsbeispiel wurde im Rahmen eines Industriearbeitskreises zu dem vom BMBF geförderten Forschungsprojekt „ProMotion“ durchgeführt. Es wurde eine Investitionsentscheidung für ein Produktionssystem betrachtet, welches zur Herstellung eines mechatronischen Produktes für die Automobilzuliefererindustrie dient. Hierfür existierten zwei alternative und bereits vorgeplante Produktionssysteme, welche sich maßgeblich durch ihren jeweiligen Automatisierungsgrad unterschieden.

Für die Bewertung wurde eine allgemein verfügbare Standardsoftware (Microsoft Excel<sup>®</sup>) verwendet. Zur Modellierung der Verteilungsfunktionen und stochastischen Pfade der *sekundären Unsicherheiten* sowie zur Durchführung der *Monte-Carlo-Simulation* wurde mit dem Produkt Crystal Ball<sup>®</sup> der Firma Decisioneering auf eine Spezialsoftware aus dem Bereich der sogenannten Business-Intelligence-Systeme zurückgegriffen, welche eine entsprechende Funktionalität in Microsoft Excel<sup>®</sup> zur Verfügung stellt.

### 6.2 Bewertung eines industriellen Fallbeispiels

#### 6.2.1 Konkretisierung der Bewertungsaufgabe

Für die Herstellung des mechatronischen Produktes kommen grundsätzlich zwei Standorte in Frage, der bestehende Standort in Deutschland ( $s_0$ ) oder ein neu zu

errichtender Standort in der Slowakei ( $s1$ ). Da bisher keine Produktionsstätte in der Slowakei besteht, wird ein Erstanlauf zu Beginn des Lebenszyklus aufgrund der bis zu diesem Zeitpunkt nicht zu erreichenden Fertigungskompetenz dort als technisch nicht realisierbar eingestuft. Dies gilt für die beiden alternativen Produktionssysteme  $a0$  und  $a1$ . Lediglich für die Alternative mit dem geringeren Automatisierungsgrad wird angenommen, dass eine Verlagerung (innerhalb des Lebenszyklus) technisch bzw. mit einem zeitlich und wirtschaftlich vertretbaren Aufwand realisierbar ist. Daraus folgt, dass die beiden Produktionsmodi  $\Omega_{a0s0}$  und  $\Omega_{a1}^{\text{mobil}}$  gegenüber gestellt wurden. Die Bewertungsaufgabe besteht darin, für das im Vergleich zu  $a0$  weniger hoch automatisierte Produktionssystem  $a1$  einen erweiterten Kapitalwert zu bestimmen, um die Möglichkeit, dessen Standort im Lebenszyklus zu verändern, in die Bewertung zu integrieren. Dies bedeutet gleichzeitig, den Optionswert der Mobilität von  $a1$  zu bestimmen, um die vorhandenen Lohnkostenunterschiede zwischen den beiden Standorten nach einer Anlaufphase an  $s0$  in Abhängigkeit der Unsicherheit des Unternehmensumfeldes zu nutzen. Die Unsicherheit resultiert aus einem ungewissen Verlauf der prognostizierten Produktionsstückzahlen und einer schwer abschätzbaren Entwicklung der Lohnkosten in der Slowakei. Zudem besteht die Anforderung, das mit einem (eventuell) durchzuführenden Verlagerungsprozess verbundene Risiko in der Bewertung zu berücksichtigen.

### 6.2.2 Festlegung der wesentlichen Eingangsgrößen

#### Globale Parameter

Im vorliegenden Anwendungsbeispiel wird lediglich ein Gesamtabsatzmarkt ( $m0$ ) für die hergestellten Endprodukte betrachtet. Dies führt dazu, dass von einem sogenannten Weltmarktpreis von  $35 GE$  ausgegangen wird. Dieser verändert sich über den Lebenszyklus nicht. Der Produktlebenszyklus (Betrachtungshorizont) beträgt acht Jahre (2004 bis 2011) und besitzt somit mittel- bis langfristigen Charakter. Die Einflüsse von Wechselkursen werden vernachlässigt (siehe 6.2.4) und im Modell wird ein konstanter Wechselkurs von  $42,06$  Slowakischen Kronen ( $SKK$ ) je Euro angenommen. Dies entspricht dem durchschnittlichen Wert in den Jahren 2002 und 2003. Die Stückzahlentwicklung wird aufgrund ihrer Unsicherheit in Abschnitt 6.2.4 detailliert.

#### Produktspezifikation

Einen anonymisierten Auszug der Produktspezifikation zeigt die folgende Abbildung 54. Für das Endprodukt  $K0$  wurden zwei Komponentengruppen  $K1$

und  $K_2$  gebildet. Die Preise für den Bezug aller enthaltenen Komponenten sind von der benötigten Stückzahl abhängig. Im Falle einer Verlagerung wird für die Komponentengruppen  $K_2$  eine Neugestaltung des Beschaffungskonzepts (Bezug von Lieferanten in der Nähe des Zielstandortes) angestrebt.

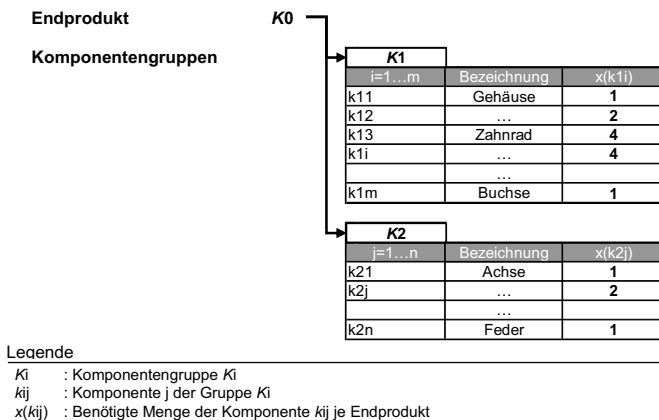


Abbildung 54: Beschreibung des zu fertigenden Endproduktes im Fallbeispiel

### Lokale Parameter

Die lokalen Parameter bilden die Grundlage zur Berechnung der Kosten der Faktoren Arbeit, Material und Kapital. Die Kosten des Faktors Arbeit werden über die standortspezifischen Lohnkosten, das Produktivitätsniveau sowie über die Arbeitszeit pro Jahr ermittelt. Die Gegenüberstellung dieser Eingangsgrößen zeigt die folgende Tabelle 26.

	Deutschland ( $s_0$ )	Slowakei ( $s_1$ )
LK (2003) (pro MA u. Jahr)	38.500 €	140.000 SKK [3.702 €]
Lohnsteigerung	2,5% pro Jahr	10% pro Jahr
Produktivität (2003)	100%	90%
Produktivitätssteigerung	4% pro Jahr	1,5% pro Jahr

Tabelle 26: Standortspezifische Eingangsgrößen des Anwendungsbeispiels

Die Arbeitszeit pro Jahr wird für beide Standorte mit 1875 Stunden einheitlich veranschlagt.

Die Beschaffungskosten (direkt zuordenbare Material- und Logistikkosten) je hergestelltem Endprodukt betragen bei einer Bedarfsmenge von mehr als einer

## 6 Anwendung der Methodik

---

Million Bestellteile je Komponente pro Zeitperiode (ein Jahr) 25,46 €. Dies gilt sowohl für eine Produktion des Endproduktes am Standort  $s_0$  als auch an  $s_1$ . Vereinfachend wird im vorliegenden Fallbeispiel davon ausgegangen, dass der Realisierung von Preisvorteilen bei einem Bezug am Zielstandort erhöhte Logistikkosten in gleicher Höhe entgegenstehen.

Die Kapitalkosten werden einheitlich mit 15% angesetzt und entsprechen dem Renditeziel des Unternehmens. Von einer standortspezifischen Anpassung des Diskontierungsfaktors wird aufgrund des bei der Berechnung angewendeten Duplikationsprinzips abgesehen. Bezüglich der Distribution der Endprodukte wird angenommen, dass sich die Vertriebs Einzelkosten von 0,2 € je Stück im Falle des Standortwechsels auf 1,20 € je Stück erhöhen.

### Technologien

Die Beschreibung der Technologien beinhaltet die jeweiligen Investitionssummen und die Leistungsmerkmale (Bearbeitungszeiten je Endprodukt) der beiden Produktionssysteme. Diese Daten sind der folgenden Tabelle 27 zu entnehmen.

	Investitionssumme (in €)	Bearbeitungszeit (in s/in h)
$a_0$	6.500.000	145/0,040
$a_1$	3.500.000	220/0,061

Tabelle 27: *Investitionssummen und technologische Parameter des Anwendungsbeispiels*

Die höheren Investitionskosten der Anlage  $a_0$  resultieren aus dem höheren Automatisierungsgrad des Systems.

### Gemeinkosten

Die Struktur der Gemeinkosten stellt ein wesentliches Element für einen Kostenvergleich einer Produktion an zwei unterschiedlichen Standorten dar. Gemäß dem in Abschnitt 5.2.4.5 beschriebenen Vorgehen werden für eine Referenzstückzahl die Gemeinkosten je Stück am Ausgangsstandort  $s_0$  ermittelt und dann auf die involvierten Kostenstellen prozentual verteilt. Anschließend wird analysiert, welche Kostenbestandteile bei einer Produktion am Zielstandort anfallen und welche remanenten Kostenbestandteile (weiterhin am Entsendestandort durchgeführte Tätigkeiten) an  $s_0$  verbleiben. Daraus ergeben sich für das Anwendungsbeispiel die folgenden Gemeinkostenstrukturen (siehe Tabelle 28).





Dieser Schritt entspricht der Analyse und Beschreibung eines Teils der durch die Verlagerung entstehenden Kosten. Durch die Festlegung der Intensität und Dauer der Unterstützungsleistung wird dieser Schritt in Abschnitt 6.2.5 vervollständigt.

### 6.2.4 Modellierung der Unsicherheiten

Die Motivation für die Bereitstellung von Mobilität in der Produktion wird durch die Analyse und Beschreibung der Unsicherheiten formalisiert. Die Stückzahlentwicklung über den Lebenszyklus hinweg wird als *primäre Unsicherheit* angenommen. Als *sekundäre Unsicherheit* fließt die Lohnkostenentwicklung in der Slowakei in die Betrachtung ein. Die Berücksichtigung der Volatilität der Wechselkurse wird in diesem Fall aufgrund einer als zu gering angenommenen Prognosefähigkeit dieser Größe vernachlässigt (siehe 5.4.2).

#### Modellierung der Stückzahlentwicklung

Die Abbildung der primären Unsicherheit führt, wie in Abschnitt 5.4.5.1 beschrieben, zur für die spätere Optionsbewertung notwendigen Baumstruktur. Den Ausgangspunkt hierfür bilden ein optimistisches (*best-case*) und ein pessimistisches (*worst-case*) Szenario für den Verlauf der Produktionsstückzahlen über den Lebenszyklus.

Aus Gründen der Vereinfachung wird eine verkürzte Baumstruktur bis zur vierten Periode gewählt. Für die sich daran anschließenden Perioden der Jahre 2008 bis 2011 wird davon ausgegangen, dass die Werte des obersten Knotens der Periode 4 mit den Stückzahlen aus dem optimistischen Szenario fortgeführt werden, während sich an den untersten Knoten aus Periode 4 dementsprechend die Werte des pessimistischen Szenarios anschließen. So ergeben sich für die letzten vier Jahre des Betrachtungshorizonts fünf unterschiedliche und für sich genommen deterministische Stückzahlverläufe. Dies wird als sogenannte *semi-deterministische* Fortführung der Werte bezeichnet. In der späteren Berechnung der Kapitalwerte werden die anfallenden Cashflows aus diesen Knoten mit den erwarteten Kapitalkosten diskontiert und zu einem Gegenwartswert (der von  $t = 4$  aus gesehenen zukünftigen Zahlungsströme) verdichtet.

Die aus diesem Vorgehen resultierende Knotenstruktur visualisiert die folgende Abbildung 56.

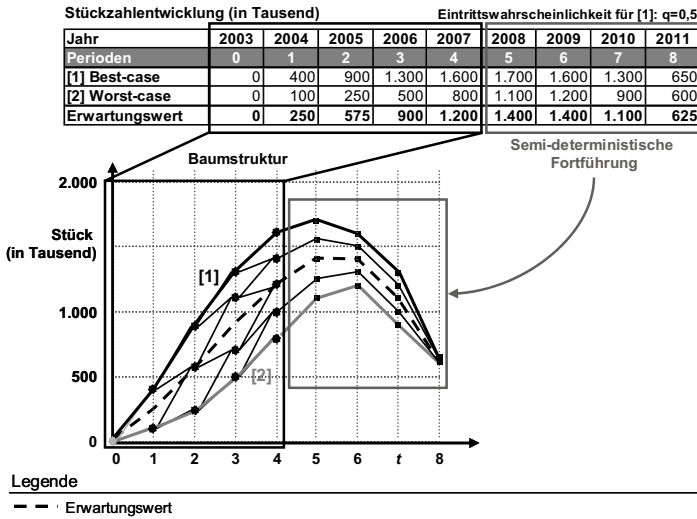


Abbildung 56: Verkürzte Baumstruktur der Stückzahlentwicklung des Anwendungsbeispiels

### Modellierung der Lohnkostenentwicklung in der Slowakei

Im Gegensatz zur Lohnkostenentwicklung in Deutschland wird diese Größe für die Slowakei als unsicher angenommen und entsprechend des in Abschnitt 5.4.5.2 erläuterten Vorgehens als *Itô-Prozess* modelliert.

Die Werte für die Slowakei aus der Tabelle 26 in Abschnitt 6.2.2 werden durch stochastische Merkmale ergänzt. Das Lohnkostenniveau beträgt für das Jahr 2003 ( $t = 0$ ) 140.000 *SKK* pro Jahr. Dies führt unter der Annahme eines lokalen Produktivitätsniveaus von 90% und einem Preis von 42,06 *SKK* für einen Euro zu einem Wert von circa 3.700 € (155.500 *SKK*) für einen gewerblichen Mitarbeiter pro Jahr. Die erwartete Steigerungsrate der Lohnkosten wird mit 10% pro Jahr definiert. In den ersten vier Jahren des Lebenszyklus wird die Standardabweichung mit 3% angesetzt, in den Jahren 2008 bis 2011 erhöht sich diese Unsicherheitskennzahl auf 4%.

Die folgende Abbildung 57 zeigt den beschriebenen Zusammenhang. Die Werte in der Tabelle entsprechen einer exemplarischen Ziehung aus einem Simulationslauf mit 10.000 Ziehungen. Die graphische Darstellung bildet die ersten 250 Ziehungen des Simulationslaufes ab. Zudem sind die äußersten annehmbaren Korridore ( $3\sigma$ ) sowie die am stärksten und die am schwächsten ansteigenden Lohn-

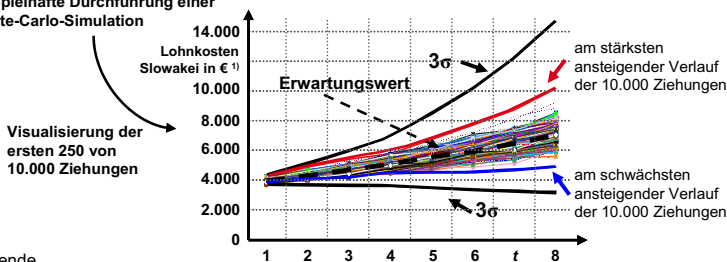
## 6 Anwendung der Methodik

kostenentwicklungen der 10.000 Ziehungen aus der exemplarisch durchgeführten Simulation ergänzt (siehe Abbildung 57).

### Lohnkostenentwicklung in der Slowakei (in SKK)

Jahr	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Perioden	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Erwartungswert	155.556	168.582	182.700	198.000	214.581	232.551	252.026	273.132	296.005
Lohnkostenentwicklung	155.556	176.014	192.613	198.155	212.798	241.149	252.185	278.024	305.497
Erwartete Steigung $\mu$ (von $t-1$ nach $t$ )		0,084	0,084	0,084	0,084	0,084	0,084	0,084	0,084
Veränderungsrate 1		13.026,8	14.740,1	16.130,2	16.594,3	17.820,5	20.194,7	21.118,9	23.282,8
Maximal erwartete Abweichung der Steigung ( $3\sigma$ in %)		9%	9%	9%	9%	12%	12%	12%	12%
Standardabweichung $\sigma$ (in %)		3%	3%	3%	3%	4%	4%	4%	4%
$\sigma S$		4.666,7	5.280,4	5.778,4	5.944,7	8.511,9	9.646,0	10.087,4	11.121,0
Standard-Wiener-Prozess dz		1,59	0,83	1,23	0,33	1,24	1,95	0,17	0,33
Veränderungsrate 2		7.431,4	1.859,5	-10.588,4	-1.951,3	10.530,4	-9.159,0	4.720,6	4.190,1
Resultierende Lohnkosten in €	3.703	4.190	4.585	4.717	5.066	5.741	6.004	6.619	7.273

### Beispielhafte Durchführung einer Monte-Carlo-Simulation



#### Legende

- SKK : Slowakische Krone  
 1) : Auf Basis eines konstanten Wechselkurses von 42,06 SKK je Euro

Abbildung 57: Visualisierung des Itô-Prozesses der Lohnkostenentwicklung in der Slowakei

### 6.2.5 Beschreibung des Verlagerungsprozesses

Neben den in Abschnitt 6.2.3 festgelegten Aufwendungen werden die Kosten des Verlagerungsprozesses durch die Intensität und Dauer der Unterstützungsleistung determiniert. Die Modellierung einer Schwankungsbreite für die beiden Größen führt zur quantitativen Beschreibung des Risikos des Verlagerungsprozesses. Die Dauer der Verlagerungsphasen ( $PP$ ,  $PU$ ,  $PA$  und  $PK$ ) wird im Anwendungsbeispiel in Monaten ausgedrückt und es wird eine diskrete Gleichverteilung zwischen der minimal und maximal anzunehmenden Anzahl an Monaten als Eingangsgröße für das Modell gewählt. Die Intensität der Unterstützungsleistung hingegen lässt sich durch die Anzahl der zu entsendenden Mitarbeiter ausdrücken, wobei in Lohn- und Gehaltsempfänger unterschieden wird. Hier gilt die Annahme einer stetigen Gleichverteilung. Zudem sind für die Berechnung der

Verlagerungskosten weitere Faktoren zu bestimmen (siehe 5.5.3.3), welche in der folgenden Tabelle 29 aufgeführt sind.

	Minimum	Maximum	Wert
Dauer $PP$ (in Monaten)	10	10	
Dauer $PU$ (in Monaten)	2	4	
Dauer $PA$ (in Monaten)	4	14	
Dauer $PK$ (in Monaten)	12	48	
Anzahl der Gehaltsempfänger ( $PA$ )	2	4	
Anzahl der Lohnempfänger ( $PA$ )	2	4	
Anzahl der Gehaltsempfänger ( $PK$ )	1	3	
Anzahl der Lohnempfänger ( $PK$ )	1	3	
Zuschlagfaktor Vorproduktion			1,8
Lagerkostensatz pro Jahr			0,05
Outputrate beim Produktionsanlauf			0,9
Spesensatz je Mitarbeiter und Jahr (€)			15.000

Tabelle 29: Parameter zur Bestimmung der Verlagerungskosten des Anwendungsbeispiels

Die Festlegung dieser Eingangsgrößen ermöglicht es, die verschiedenen Bestandteile der Verlagerungskosten zu bestimmen (siehe 5.6.5.3 und 9.3.3).

Der Zeitraum, in welchem der Verlagerungsprozess ausgelöst werden kann, wird auf die Jahre 2005 ( $t = 2$ ) bis 2007 ( $t = 4$ ) beschränkt. Es wird angenommen, dass aufgrund des Produktionsbeginns in  $t = 1$  und des in Deutschland durchzuführen den Anlaufprozesses in dieser Periode keine Verlagerungsentscheidung getroffen wird. Zudem wird eine Verlagerungsentscheidung in den letzten vier Jahren bei einer minimalen Gesamtdauer der Phasen von 28 Monaten als nicht ökonomisch relevant eingestuft.

Damit ist die Analyse und Beschreibung der Bewertungsaufgabe abgeschlossen. Der folgende Abschnitt 6.2.6 erläutert die Vorgehensweise zur Berechnung der Projektwerte der alternativen Produktionssysteme, bevor in Abschnitt 6.3 die Ergebnisse des Anwendungsbeispiels diskutiert werden.

### 6.2.6 Berechnung der Projektwerte

Die Berechnung der Projektwerte erfolgt über das in Abschnitt 5.6 beschriebene Bewertungsvorgehen. Das Ziel besteht darin, eine Investitionsempfehlung bezüglich

lich der beiden Produktionssysteme  $a_0$  und  $a_1$  zu geben. Die unterschiedliche Risikostruktur der zur Verfügung stehenden Produktionsmodi  $\Omega_{a_0s_0}$  und  $\Omega_{a_1}^{\text{mobil}}$  erfordert grundsätzlich die Bestimmung eines Basisobjektes sowie die Duplikation der Zahlungsströme der übrigen Produktionsmodi.

Im Anwendungsbeispiel wird das hoch automatisierte Produktionssystem, welches über den gesamten Lebenszyklus am Standort Deutschland betrieben wird, als Basisobjekt definiert. Der Diskontierungsfaktor für die anfallenden Cashflows entspricht demnach den gewählten Kapitalkosten von 15%. Um eine relativ zum Basisobjekt gesehen korrekte Bewertung des die Mobilität einschließenden Produktionsmodus  $\Omega_{a_1}^{\text{mobil}}$  zu erhalten (siehe 3.3.5.2 und 5.6.3.3), werden zwei Hilfskonstrukte erzeugt. Diese entsprechen den stationären Betriebsarten des Systems  $a_1$  ( $\Omega_{a_1s_0}$  und  $\Omega_{a_1s_1}$ ). Die Verknüpfung der Cashflow- bzw. Projektwertbäume dieser beiden Standort-Technologie-Kombinationen führt dann mittels einer rekursiven Optimierung (Verbleib oder Standortwechsel) im Zeitraum von  $t = 4$  nach  $t = 2$  zum Projektwert der mobilen Anlage.

Die folgende Abbildung 58 zeigt die resultierenden Projektwerte im Zeitraum der Entscheidung zur Mobilitätsausübung anhand einer exemplarischen Ziehung. Die vom binomialen Gitter aus gesehenen zukünftigen Cashflows werden in ihren Gegenwartswert (in  $t = 4$ ) transformiert. Von den in der Graphik abgebildeten Zuständen, in welchen die Verlagerungsentscheidung getroffen werden kann, ist es bei dieser Ziehung nur in den oberen beiden Knoten der Periode  $t = 2$  der Fall, dass der Verlagerungsprozess ausgelöst wird. In den übrigen Knoten (6 bis 15) findet auf Basis der für diese Ziehung gültigen Daten keine Verlagerung statt. Der Grund hierfür liegt darin, dass in dieser Ziehung die Dauer des Verlagerungsprozesses ( $PU, PA, PK$ ) mit 75 von 76 maximal möglichen Monaten festgesetzt wurde. Gleichzeitig liegt die Intensität der Unterstützungsleistung am oberen Spektrum der angenommenen Verteilungen (ca. 90% der maximal prognostizierten Anzahl an Expatriates). Darüber hinaus wird von einem relativ starken Anstieg der Lohnkosten in der Slowakei ausgegangen (ca. 15% höheres Lohnniveau im Jahr 2011 im Vergleich zum Erwartungswert).

Mit Hilfe der in einer Ziehung festgesetzten Schwankungsparameter lassen sich neben den Cashflows in den einzelnen Zuständen auch die entstehenden Verlagerungskosten berechnen. Dies erfolgt für jeden der Knoten im Verlagerungszeitraum separat, da jeder Knoten durch einen spezifischen Zukunftsraum charakterisiert ist. Dementsprechend werden bei jeder Ziehung im Anwendungsbeispiel 12 verschiedene Verlagerungskosten (Ausübungspreise) ermittelt.

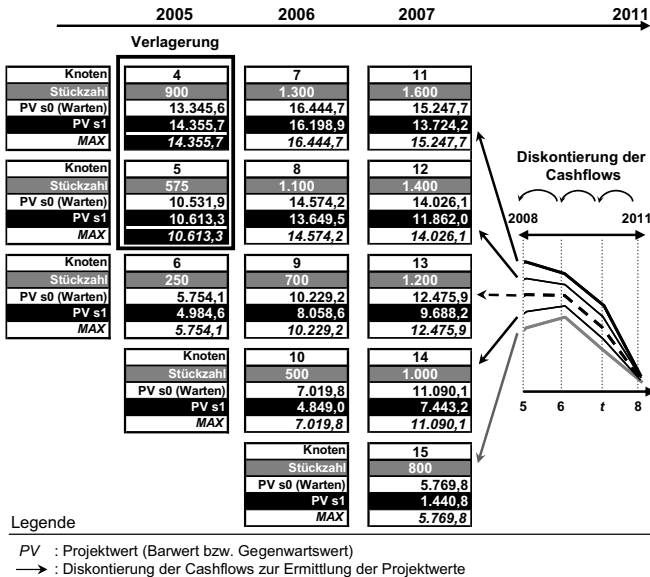


Abbildung 58: Exemplarische Projektwerte im Zeitraum einer möglichen Verlagerung für den Produktionsmodus  $\Omega_{a1}^{\text{mobil}}$

Das Bewertungsmodell generiert durch die beschriebene Vorgehensweise  $n$  Ergebnisse (*hier*: 10.000), welche sich durch Verteilungen veranschaulichen lassen. Die Ergebnisse des Anwendungsbeispiels werden im folgenden Abschnitt 6.3 vorgestellt und diskutiert.

## 6.3 Ergebnisse des Anwendungsbeispiels

### 6.3.1 Vorgehensweise und Validierung der Ergebnisse

Die im Anschluss vorgestellten Ergebnisse entsprechen den Werten von 10.000 Ziehungen, welche durch eine Monte-Carlo-Simulation mit Hilfe des Programms Crystal Ball<sup>®</sup> erzeugt wurden. Um sicherzustellen, dass keine Abweichungen in Abhängigkeit des Kalkulationslaufes bestehen, wurden die Ergebnisse (*NPV*) aus drei separaten Kalkulationsläufen (KALK 1 bis KALK 3) anhand der essenziellen statistischen Parameter (Mittelwert und Standardabweichung) verglichen. Diese Gegenüberstellung zeigt Tabelle 30.

$NPV$ von	$\Omega_{a0s0}$	$\Omega_{a1}^{\text{mobil}}$	Abweichung ( $\Omega_{a1}^{\text{mobil}}$ )
Mittelwert			
KALK 1	5.782,15	6.871,13	+0,03%
KALK 2	5.782,15	6.868,91	
KALK 3	5.782,15	6.854,03	-0,22%
Standardabweichung			
KALK 1	0,00	957,60	+0,74%
KALK 2	0,00	950,61	
KALK 3	0,00	945,85	-0,50%

Tabelle 30: Gegenüberstellung der Ergebnisse des Anwendungsbeispiels aus drei Simulationsläufen mit jeweils 10.000 Ziehungen

In der letzten Spalte der Tabelle 30 sind die Abweichungen in Prozent angegeben, welche bei den mit Schwankungen behafteten Werten des  $NPV$  von  $\Omega_{a1}^{\text{mobil}}$  zwischen den drei durchgeführten Kalkulationsläufen aufgetreten sind. Aufgrund der geringen Abweichungen der Ergebnisse werden im folgenden Abschnitt lediglich die Werte aus KALK 2 analysiert.

### 6.3.2 Investitionsvergleich

Anhand der durch einen Simulationslauf erzeugten Ergebnisse lassen sich durch die Analyse der statistischen Parameter Aussagen über das Verhalten der Investitionsalternativen in Abhängigkeit von den Unsicherheiten des Unternehmensumfeldes ableiten. Diese Informationen können einen wertvollen Beitrag zur Entscheidungsunterstützung leisten.

In der folgenden Abbildung 59 sind die aus der Kalkulation von KALK 2 resultierenden Ergebnisse bzw. deren Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen dargestellt. Die Differenz des Kapitalwerts zwischen dem Produktionsmodus  $\Omega_{a0s0}$  (immobiles Produktionssystem bei stationärem Betrieb in Deutschland) und dem erwarteten Kapitalwert des mobilen Produktionssystems  $E[NPV(\Omega_{a1}^{\text{mobil}})]$  entspricht dem erwarteten Optionswert  $\zeta_{a0}$  der Mobilität, bezogen auf das alternative Produktionssystem  $a0$ . Für das beschriebene Fallbeispiel beträgt dieser Wert  $1,08 \cdot 10^6$  €. Zudem sind in Abbildung 59 das 10%- und 90%-Quantil der Verteilung von  $NPV(\Omega_{a1}^{\text{mobil}})$  ergänzt.

Die beiden hell abgebildeten Verteilungen des Diagramms repräsentieren die Werte der für die Berechnung von  $NPV(\Omega_{a1}^{\text{mobil}})$  erforderlichen Hilfskonstrukte.



Der stationäre Betriebsmodus der weniger hoch automatisierten Anlage  $\Omega_{a1s0}$  am Standort in Deutschland ist wie  $\Omega_{a0s0}$  nicht von den Schwankungen des Umfeldes abhängig und erzielt aufgrund der schlechteren Bearbeitungszeiten einen Kapitalwert von  $3,36 \cdot 10^6$  €. Die dahinter angeordnete helle Dichtefunktion entspricht dem Hilfskonstrukt eines stationären Betriebsmodus von  $a1$  in der Slowakei ( $\Omega_{a1s1}$ ). Dieser ist jedoch aufgrund der vorgenommenen Einschränkungen des Anwendungsbeispiels nicht realisierbar (siehe 6.2.1). Die Streuung dieser Dichtefunktion ist signifikant höher als die der mobilen Anlage  $\Omega_{a1}^{\text{mobil}}$ . Hierdurch wird ersichtlich, wie durch die Fähigkeit des Managements, Entscheidungen in Abhängigkeit von der Umweltentwicklung zu treffen, das Risiko der Standortentscheidung reduziert werden kann.

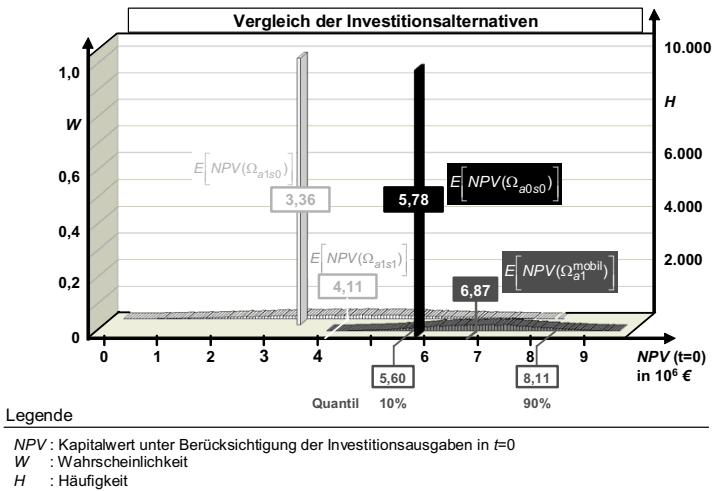


Abbildung 59: Durch einen Simulationslauf (10.000 Ziehungen) generierte Projektwerte der Investitionsalternativen des Anwendungsbeispiels

Über die kumulative Wahrscheinlichkeitsfunktion (Verteilungsfunktion) kann darüber hinaus bestimmt werden, dass für 86,25% der Ziehungen der  $NPV(\Omega_{a1}^{\text{mobil}})$  größer ist als der  $NPV(\Omega_{a0s0})$ <sup>27</sup>.

Im Anwendungsbeispiel wurden die Analysen um weitere Auswertungen ergänzt. Das Ziel bestand darin, die Sensitivität des Optionswertes der Mobilität für

<sup>27</sup> Diese Aussage ist in der Abbildung nicht visualisiert.

verschiedene Szenarios zu beleuchten. Eine Auswahl der durchgeführten Experimente wird durch die folgende Tabelle 31 aufgezeigt. Aus diesen wird der geringe Einfluss der Unsicherheit der Lohnkostenentwicklung im Vergleich zur Schwankung der Verlagerungskosten ersichtlich.

	Beschreibung der Berechnungsannahmen	$\Omega_{al}^{\text{mobil}}$	$\Omega_{al}^{\text{mobil}}$
		$E[NPV]$	$\sigma[NPV]$
[1]	<b>Basis (KALK 2)</b>	<b>6.868,91</b>	<b>950,61</b>
[2]	Ohne Unsicherheit der Lohnkostenentwicklung	6.878,12 (+0,13%)	938,22 (-1,30%)
[3]	Ohne Unsicherheit der Verlagerungsdauer	7.217,53 (+5,08%)	214,02 (-77,49%)
[4]	Ohne Unsicherheit der notwendigen Expatriates	7.483,26 (+8,94%)	798,28 (-16,02%)
[5]	Ohne Unsicherheit des Verlagerungsprozesses ([3] und [4])	9.635,40 (+36,34%)	186,26 (-80,1%)

Tabelle 31: Sensitivität der Ergebnisse des Anwendungsbeispiels bei Variation der Annahmen der Berechnung des Fallbeispiels

### 6.4 Bewertung des Vorgehens

Anhand der durch das Anwendungsbeispiel gewonnenen Erkenntnisse wird in diesem Abschnitt der Mehrwert der Bewertungsmethodik kritisch hinterfragt. Hierzu dienen die in Abschnitt 4.3 abgeleiteten Anforderungskriterien, welche abschließend in Abbildung 60 zusammengefasst werden.

#### Grundsätzliche Anforderungen

Die *Anwendbarkeit der Methodik* wird durch die schrittweise Erläuterung des Realoptionsansatzes sowie deren Bezug zur Kapitalwertrechnung bzw. zum Entscheidungsbaumverfahren erhöht. Das Komplexitätsniveau wird – bedingt durch die diskrete Modellierung in Bäumen – begrenzt. Auch die Anpassbarkeit und der Realitätsbezug des Modells werden damit gewährleistet, ebenso wie durch die systematischen Schritte des Vorgehens. Dennoch bleibt das Komplexitätsniveau höher als beim bekannten Kapitalwertverfahren.

Die *Praxistauglichkeit* wird durch den klaren Zusatznutzen einer quantitativen Aussage zum Mehrwert des Freiheitsgrades der Mobilität unterstützt. Der mit der Methodik verbundene Zusatzaufwand, die Unsicherheiten zu analysieren und zu

beschreiben, erzeugt den Mehrwert einer detaillierten Auseinandersetzung mit dem Unternehmensumfeld. Durch ein Abprüfen von Kriterien wird die Anwendung der Methodik auf hierfür geeignete Projekte beschränkt. Trotz der Fokussierung auf die Bewertung von Mobilität ist die Übertragbarkeit auf weitere Bewertungsaufgaben in der Produktion vorhanden. Dennoch bleibt anzumerken, dass die Praxistauglichkeit mit den Fähigkeiten eines informationstechnischen Unterstützungssystems steigt (ZÄH ET AL. 2006a). Das in dieser Arbeit vorgestellte Kalkulationsschema ist lediglich als Prototyp zu verstehen, welches nicht beliebig automatisiert anpassbar ist.

### **Allgemeine Anforderungen**

Die *Problemkonformität* als eines der drei Zielkriterien der Modellbildung wird durch die einschränkende Auswahl der zu berücksichtigenden Unsicherheiten erreicht und ermöglicht eine Komplexitätsreduktion für den Entscheidungsträger. Für eine *korrekte Abbildung* der Eingangsgrößen im Modell stehen ausreichende Möglichkeiten (Definition von Verteilungen, statistische Näherungsverfahren) zur Verfügung. Dennoch ist die Qualität der Abbildung stark von den Kenntnissen der Anwender abhängig. Eine klare Trennung in primäre und sekundäre Unsicherheiten ist die Basis für eine anwendungsgerechte *Transparenz des Modells*. Dies schafft die Möglichkeit, durch das „Einfrieren“ von Schwankungsparametern weiterführende Analysen bezüglich des Optionswerts vorzunehmen. Das optimierte Verhalten des Entscheidungsträgers ist leicht zu visualisieren.

Die Anforderungskriterien an die Bewertung sind die *Zielhomogenität*, die *Korrektheit* sowie die *Klarheit* durch eine interpretationsfähige Ergebnisdarstellung. Das erstgenannte Kriterium wird durch die Anwendung des Duplikationsprinzips erfüllt, da eine relativ gesehen korrekte Diskontierung der Investitionsalternativen erfolgt. Eine marktkonforme Bewertung (korrekte Berücksichtigung des Marktrisikos) ist hingegen nur sehr eingeschränkt realisierbar. Die Klarheit in der Ergebnisdarstellung wird durch die generierten Diagramme und statistischen Auswertungen unterstützt.

### **Spezifische Anforderungen**

Die Methodik erfüllt die spezifischen Anforderungen an die Bewertungsaufgabe. Der *Wert der Mobilität* von Investitionsobjekten wird in einer Methodik zur Unterstützung der *Investitionsplanung* quantitativ ausgewiesen. Das strukturierte Vorgehen der einzelnen Phasen der Methodik ermöglicht es zudem, unterschiedliche Bewertungsaufgaben detailliert zu analysieren und zu beschreiben und das Bewertungsmodell daran anzupassen.

## 6 Anwendung der Methodik

Die Wahl des *Realloptionsansatzes* als Bewertungsverfahren bildet die Grundlage zur quantitativen Wertermittlung bei gleichzeitiger Erfüllung der Bedingung der Zielhomogenität. Durch das Vorgehen, die Unsicherheiten in Form von Itô-Prozessen zu modellieren, können mit Hilfe einer Monte-Carlo-Simulation relativ einfach mehrere Unsicherheiten in das Modell integriert werden. Dadurch wird zudem die Risikostruktur des Bewertungsergebnisses ermittelt. So kann der Einfluss der Umfeldbedingungen auf den Wert der produktionstechnischen Option analysiert werden.

Die folgende Abbildung 60 fasst die kritische Betrachtung des Vorgehens zusammen, indem auf einer Skala von 1 (niedrig) bis 5 (hoch) der Erfüllungsgrad hinsichtlich der Anforderungskriterien abgeschätzt wird.

Grundsätzliche Anforderungen					
Anwendbarkeit	1	2	3	4	5
Praxistauglichkeit	1	2	3	4	5
Allgemeine Anforderungen					
Problemkonformität	1	2	3	4	5
Korrektheit der Abbildung	1	2	3	4	5
Modelltransparenz	1	2	3	4	5
Zielhomogenität	1	2	3	4	5
Korrektheit des Ergebnisses (Marktkonformität)	1	2	3	4	5
Klarheit der Darstellung	1	2	3	4	5
Spezifische Anforderungen					
Betrachtung der Wandlungsfähigkeit von Produktionsnetzwerken	1	2	3	4	5
Strukturierung und Abbildung von Mobilität	1	2	3	4	5
Implementierung im Rahmen der Investitionsplanung	1	2	3	4	5
Quantitative Wertermittlung (Lebenszyklusbetrachtung)	1	2	3	4	5
Verarbeitung mehrerer Unsicherheitsfaktoren	1	2	3	4	5
Integration von Handlungsspielräumen (Realloptionsansatz)	1	2	3	4	5
Abbildung des mehrperiodigen und unsicheren Verlagerungsprozesses	1	2	3	4	5
Sicherstellung der Vergleichbarkeit technologischer Alternativen	1	2	3	4	5
Quantitative Darstellung des Mehrwertes von Mobilität	1	2	3	4	5
Generierung unsicherheitsbedingter Risikoprofile	1	2	3	4	5

Abbildung 60: Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Bewertungsmethodik anhand des Erfüllungsgrades bez. der Anforderungen (1 = niedrig; 5 = hoch)

---

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

[...] *To capture the influence and interaction of time and uncertainty effectively requires sophisticated mathematical and computational tools. [...] But, of course, all that is elegant and challenging in science need not also be practical; and surely, not all that is practical in science is elegant and challenging.*

**R. C. Merton** (Auszug aus der Rede von R. C. Merton, die er am 09. Dezember 1997 in Stockholm hielt, als ihm der Nobelpreis für Wirtschaftswissenschaften verliehen wurde.)

*The American Economic Review, Vol. 88/3, 1998*

Wertorientierte Entscheidungsmethoden und -systeme sind die Grundlage zukunftsorientierter Unternehmenspolitik. Vor dem Hintergrund einer ständig anwachsenden Unsicherheit bezüglich der produktionsbestimmenden Rahmenbedingungen müssen zukunftsorientierte Verfahren zur Investitionsrechnung in der Lage sein, den Mehrwert von Anpassbarkeit und Wandlungsfähigkeit im Ergebnis auszuweisen bzw. diesen zumindest quantitativ abzuschätzen. Zudem ist die Abbildung der Schwankungen des Ergebniswertes bei einer Variation der unsicheren Eingangsgrößen erforderlich, um für einen bestimmten Vertrauensbereich verlässliche Aussagen ableiten zu können. In Anlehnung an die genannten Herausforderungen fokussiert die vorliegende Arbeit die Bewertungsaufgabe hinsichtlich des produktionstechnischen Freiheitsgrades der (*äußeren*) *Mobilität*. Dieses Potenzial bietet dem Unternehmen die Möglichkeit, die Starrheit der Zuordnung von Produktionsressourcen zu Standorten während des Lebenszyklus aufwandsarm aufzuheben. Durch die Nutzung dieser operativen Flexibilität können Risiken im internationalen wie im nationalen Kontext effektiver und effizienter abgesichert werden.

Ausgehend von der beschriebenen *Situationsanalyse* führt der Prozess der *Problemidentifikation* zur Definition der grundlegenden Fragestellung, wie die aufgeführten positiven Eigenschaften der Anpassbarkeit und der Risikoreduzierung unter der Zielsetzung eines wertorientierten Vergleichs ausgewiesen werden können. Die *Analyse problemrelevanter Theorien* unterstützt die ebenfalls aus der Situationsanalyse abgeleitete *Interpretation* von Mobilität als produktionstechnischen Freiheitsgrad und liefert mit dem Realoptionsansatz ein adäquates Bewertungsinstrument. Dieses auf der Finanztheorie aufbauende Bewertungsverfahren wird aufgrund seiner Überlegenheit bezüglich der vorliegenden Bewertungsanforderungen als Basis des Problemlösungsmodells herangezogen. Der Schritt der *Konkretisierung* umfasst die Analyse und die Strukturierung des Ursache-Wirkungs-Gefüges von Mobilität. Dies stellt eine essenzielle Anforderung für die Konzeption einer anwendungsorientierten Bewertungsmethodik dar und umfasst

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

die wesentlichen Bereiche *Unternehmen, Umwelt* und *Verlagerungsprozess*. Damit ist die Methodik in der Lage, ein breites Spektrum spezifischer Mobilitäts-szenarios zu analysieren und zu beschreiben. Das *Problemlösungsmodell* selbst besteht in der Verbindung der durch die definierten Eingangsgrößen konkretisier-ten Bewertungsaufgabe mit einem geeigneten Optionsbewertungsverfahren. Dies-ese ist an die speziellen Rahmenbedingungen einer Mobilitätsausübung realitäts-gerecht zu adaptieren. Die relevanten Schritte des Erkenntnisgewinns veranschaulicht die folgende Abbildung 61.

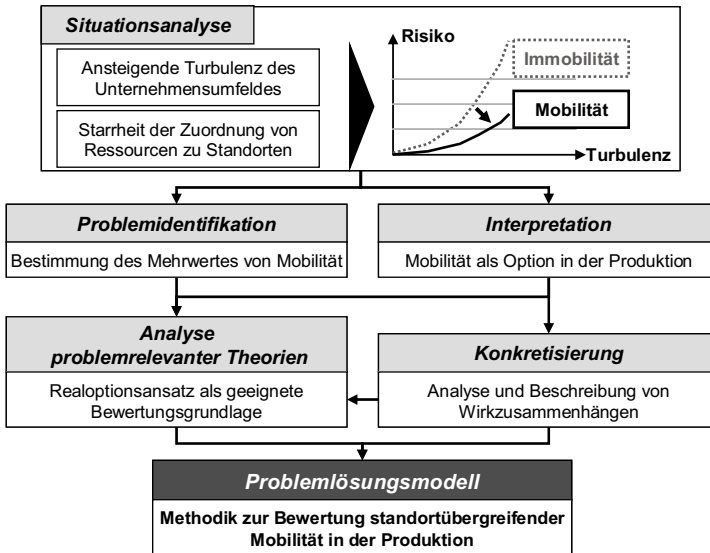


Abbildung 61: Relevante Schritte zur Bewältigung der Problemstellung

Der wesentliche Nutzen der Anwendung der Methodik aus der Sicht der Fabrikplanung besteht darin, die charakteristischen Eigenschaften verschiedener Produktionssysteme zu erfassen und deren Wertbeitrag im Ergebnis vergleichend auszuweisen. Dies erfolgt in der Arbeit konsequent am Beispiel standortübergreifender Mobilität. Der Bedarf an bzw. der Mehrwert von Veränderungsfähigkeit in der Produktion wird für die Entscheidungsträger so greifbarer und kann daher leichter in die Entscheidungsfindung eingeschlossen werden. Die Methodik erleichtert die Bestimmung eines wirtschaftlich sinnvollen Veränderungspotenzials und die Vermeidung der Überwindungsfähigkeit. Dennoch besteht kein Zweifel, dass die der Methodik zu Grunde liegenden Unschärfen im Zusammenhang mit

---

der Parameterbestimmung dazu führen, dass selbst bei höchster Qualität der Modellierung nur eine Approximation an den theoretisch richtigen Wert erfolgt. Wie jedes quantitative Verfahren ist auch die vorliegende Methodik damit als Element in einem Entscheidungsunterstützungssystem zu betrachten, welches nur zusammen mit anderen auf Kennzahlen basierenden und/oder qualitativen Bewertungsverfahren zu einer Präferenzbildung bei den Entscheidungsträgern führt. Gerade Entscheidungen auf strategischer Ebene sind zu vielschichtig, um ausschließlich nach rein monetären Gesichtspunkten getroffen zu werden.

Die genannten Aspekte führen zur Frage, ob der Wert der vorliegenden Methodik bzw. des Realloptionsansatzes im Allgemeinen sich darin begründet, ein exaktes Bewertungsergebnis herbeizuführen. Das Gewicht dieser Fragestellung nimmt zu, wenn die allgemeinen Defizite des Realloptionsansatzes berücksichtigt werden (siehe 3.3.5). In besonderem Maße wird auf die Unmöglichkeit einer marktkonformen Bewertung verwiesen, da die zu bewertenden Projekte aus dem Bereich der Produktionstechnik und Fabrikplanung unternehmensspezifische Investitionsprojekte darstellen, die nicht auf Märkten öffentlich gehandelt werden. Dennoch erhöht die Verwendung des Ansatzes auch unter Annahme der Marktwertverzichtsannahme (*MAD*) die Objektivität der Bewertung im Vergleich zum Kapitalwertverfahren, da das Potenzial operativer Veränderungsfähigkeit integriert ist. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit konnte aufgrund dieses Vorteils ein Beitrag dazu geleistet werden, den Mehrwert von Mobilität für Entscheidungsträger transparenter auszuweisen.

Über die beschriebene Bewertungsaufgabe hinausgehend liegt ein wesentliches Potenzial des Vorgehens darin, im Rahmen von strategischen Investitionsentscheidungen in der Produktion in Optionen zu denken. Durch eine systematische Vorgehensweise kann ein erweitertes und risikogerechtes Problemverständnis langfristiger Bewertungsaufgaben durch die Verwendung des Realloptionsansatzes erreicht werden. Dies kann weit über die hier behandelte Fragestellung der Mobilität hinausgehen und auf den vielschichtigen Kontext der Wandlungsfähigkeit übertragen werden. Hierzu gilt es, universelle und automatisierte Bewertungs-Tools zur Verfügung zu stellen, welche die Effizienz des Bewertungsprozesses erhöhen (ZÄH ET AL. 2006b). Die Fähigkeit der Fabrikplanung, ein zielgerichtetes Ineinandergreifen der Paradigmen moderner Bewertungs- und Gestaltungsmethoden zu gewährleisten, wird dann eine nachhaltig positive Wirkung auf die Umsetzung des Konzepts wandlungsfähiger Fabriken in Deutschland haben sowie Fehlinvestitionen vermeiden und damit die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen langfristig steigern helfen.





## 8 Literaturverzeichnis

ABELE & KLUGE 2005

Abele, E.; Kluge, J. H.: How to Go Global – Designing and Implementing Global Production Networks. „ProNet“ Report. Düsseldorf: McKinsey & Company, Inc. 2005.

ABELE ET AL. 2006a

Abele, E.; Kluge, J.; Näher, U.: Handbuch Globale Produktion. München: Hanser 2006.

ABELE ET AL. 2006b

Abele, E.; Liebeck, T.; Wörn, A.: Measuring Flexibility in Investment Decisions for Manufacturing Systems. Annals of the CIRP 55 (2006) 1, S. 433-437.

AGGTELEKY 1980

Aggteleky, B.: Fabrikplanung – Werkentwicklung und Betriebsrationalisierung, Band 1: Grundlagen, Zielplanung, Vorarbeiten. München: Hanser 1980.

AMICO ET AL. 2003

Amico, M.; Asl, F.; Pasek, Z.; Perrone, G.: Real Options: an Application to RMS Investment Evaluation. CIRP 2nd International Conference on Reconfigurable Manufacturing. Ann Arbor, MI, USA, 20.-21. August 2003. (CD-ROM)

AMRAM & KULATILAKA 1999a

Amram, M.; Kulatilaka, N.: Disciplined Decisions: Aligning Strategy with the Financial Markets. Harvard Business Review 77 (1999) 1, S. 95-104.

AMRAM & KULATILAKA 1999b

Amram, M.; Kulatilaka, N.: Real Options. Managing Strategic Investment in an Uncertain World. Boston: Harvard Business School Press 1999.

AUTOMOTIVE INTELLIGENCE 2000

Wachsmuth-Major, U.: Standortentscheidung für neue BMW-Modellreihe: Kapazitätserweiterung des BMW-Werkverbundes notwendig (19.07.2000). <<http://www.autointell.de/News-deutsch/News-CenterJuni-Juli.htm>> - 10.07.2006.

AWK-AUTORENKOLLEKTIV 2002

AWK-Autorenkollektiv: Die Fabrik von morgen: vernetzt und wandlungsfähig. In: AWK Aachener Werkzeugmaschinen Kolloquium (Hrsg.): Wettbewerbsfaktor Produktionstechnik – Aachener Perspektiven. Aachen: Shaker 2002, S. 73-96.

## 8 Literaturverzeichnis

---

BAECKER ET AL. 2003

Baecker, P.; Hommel, U.; Lehmann, H.: Marktorientierte Investitionsrechnung bei Unsicherheit, Flexibilität und Irreversibilität. In: Hommel, U. et al. (Hrsg.): Reale Optionen – Konzepte, Praxis und Perspektiven strategischer Unternehmensfinanzierung. Berlin: Springer 2003, S. 3-13.

BAMBERG & COENENBERG 1996

Bamberg, G.; Coenenberg, A. G.: Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre. 9. Aufl. München: Vahlen 1996.

BANKHOFER 2001

Bankhofer, U.: Industrielles Standortmanagement: Aufgabenbereiche, Entwicklungstendenzen und problemorientierte Lösungsansätze. Wiesbaden: Dt. Univ. 2001. (Neue betriebswirtschaftliche Forschung 287)

BAUMANN 1999

Baumann, K.-H.: Unternehmensführung. In: Wildemann, H. (Hrsg.): Globalisierung – Unternehmensführung und Steuerung in globalen Märkten. München: TCW Transfer-Centrum 1999, S. 1-12.

BEA 1997

Bea, F. X.: Entscheidungen des Unternehmens. In: Bea, F. X. et al. (Hrsg.): Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Band 1: Grundfragen. 7. Aufl. Stuttgart: Lucius und Lucius, 1997, S. 376-507.

BEHRENS 1971

Behrens, K. C.: Allgemeine Standortbestimmungslehre. 2. Aufl. Köln: Westdt. 1971.

BENAROCH 2001

Benaroch, M.: Option-based Management of Technology Risk Management. IEEE Transactions of Engineering Management 48 (2001) 4, S. 428-444.

BENGTSSON 2001

Bengtsson, J.: Manufacturing Flexibility and Real Options: a Review. International Journal of Production Economics 74 (2001) 1-3, S. 213-224.

BERGER 2006a

Roland Berger Strategy Consultants: Kapitalkosten als strategisches Entscheidungskriterium (Studie vom 14.03.2006). <<http://www.presseportal.de/story.htm?nr=797735&firmaid=32053>> - 15.09.2006.

BERGER 2006b

Berger, R.: Deutschland im Wandel – Staat und Unternehmen im globalen Wettbewerb. In: Zäh, M. F. et al. (Hrsg.): Münchener Kolloquium 2006: Zukunft voraus – Denken für den Standort Deutschland. München: Utz 2006, S. 49-54.

BERGHOLZ 2005

Bergholz, M. A.: Objektorientierte Fabrikplanung. Diss. RWTH Aachen: 2005. <[http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=978114515&dok\\_var=d1&dok\\_ext=pdf&filename=978114515.pdf](http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=978114515&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=978114515.pdf)> - 10.07.2006. (Online-Ressource)

BLACK & SCHOLES 1973

Black, F.; Scholes, M.: The Pricing of Options and Corporate Liabilities. Journal of Political Economy 81 (1973) 3, S. 637-654.

BLOHM & LÜDER 1995

Blohm, H.; Lüder, K.: Investition: Schwachstellenanalyse des Investitionsbereichs und Investitionsrechnung. 8. Aufl. München: Vahlen 1995.

BONDUELLE ET AL. 2003

Bonduelle, Y.; Schmoldt, I.; Scholich, M.: Anwendungsmöglichkeiten der Realoptionsbewertung. In: Hommel, U. et al. (Hrsg.): Reale Optionen – Konzepte, Praxis und Perspektiven strategischer Unternehmensfinanzierung. Berlin: Springer 2003, S. 3-13.

BORNHÄUSER ET AL. 2003

Bornhäuser, M.; Kirchner, S.; Reinerth, H.: Methodik für eine vorausschauende Logistikplanung. wt Werkstattstechnik online 93 (2003) 3, S. 172-177.

BRAND 1987

Brand, M.: Die Bedeutung von Absatz- und Beschaffungsrisiken für Produktions- und Standortentscheidungen. Frankfurt a. M.: Lang 1987. (Europäische Hochschulschriften, Reihe 5: Volks- und Betriebswirtschaft 808)

BRANKAMP 1996

Brankamp, K.: Zielplanung. In: Eversheim, W. et al. (Hrsg.): Betriebshütte. Produktion und Management (Teil 2). 7. Aufl. Berlin: Springer 1996, S. 09.31 - 09.39.

BREALEY & MYERS 1996

Brealey, R. A.; Myers, S. C.: Principles of Corporate Finance. 5. Aufl. New York: McGraw-Hill 1996.

## 8 Literaturverzeichnis

---

BREDE 1971

Brede, H.: Bestimmungsfaktoren industrieller Standorte: eine empirische Untersuchung. Berlin: Duncker und Humblot 1971. (Schriftenreihe des IFO-Instituts für Wirtschaftsforschung 75)

BREIING & KNOSALA 1997

Breiing, A.; Knosala, R.: Bewerten technischer Systeme. Berlin: Springer 1997.

BROADIE & DETEMPLE 1997

Broadie, M.; Detemple, J.: Recent Advantages in Numerical Methods for Pricing Derivate Securities. In: Rogers, L. C. G. et al. (Hrsg.): Numerical Methods in Finance. Cambridge (UK): Cambridge Univ. Press 1997, S. 43-66.

BROCKHAUS 1990

Brockhaus. 2. Aufl. München: dtv 1990. (Band 10)

BROCKHAUS 1998

Brockhaus. Ungekürzte Buchgemeinschafts-Lizenz Ausgabe der Bertelsmannclub GmbH. Leipzig: F. A. Brockhaus 1998. (Band 9)

BROWNE ET AL. 1984

Browne, J.; Dubois, D.; Rathmill, K.; Sethi, S. P.; Stecke, K. E.: Classification of Flexible Manufacturing Systems. The FMS Magazine 2 (1984) 4, S. 114-117.

BRUGGER & KENNEDY 2004

PriceWaterhouseCoopers PWC: Slowakische Republik: die Überraschung im europäischen Standortwettbewerb. <[http://www.pwc.com/de/ger/about/svcs/PWC\\_Mai\\_Ausgabe\\_Standort\\_Slowakei.pdf#search=%22Unsicherheit%20Lohnkostenentwicklung%22](http://www.pwc.com/de/ger/about/svcs/PWC_Mai_Ausgabe_Standort_Slowakei.pdf#search=%22Unsicherheit%20Lohnkostenentwicklung%22)> - 07.09.2006.

BUHMANN & SCHÖN 2004

Buhmann, M.; Schön, M.: Internationale Standortentscheidungen dynamisch bewerten. In: Kinkel, S. (Hrsg.): Erfolgsfaktor Standortplanung. Berlin: Springer 2004, S. 254-316.

BUNDESBANK 2006

Direktinvestitionen lt. Zahlungsbilanzstatistik für die Berichtsjahre 2002 bis 2005. <[http://www.bundesbank.de/download/statistik/stat\\_direktinvestitionen.pdf](http://www.bundesbank.de/download/statistik/stat_direktinvestitionen.pdf)> - 12.08.2006.

BÜRKNER ET AL. 2005

Bürkner, S.; Friese, M.; Schmitt, M.; Rocher, J.: Methods for Flexibility Evaluation in the Automotive Industry. In: Zäh, M. F. et al. (Hrsg.): 1st International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV 2005). Garching: Utz 2005, S. 447-451.

BUSBY & PITTS 1997

Busby, J.; Pitts, C.: Real Options in Practice: an Exploratory Survey of How Decision Makers in Industry Think About Flexibility. Management Accounting Research 8 (1997) 2, S. 169-186.

BUTZ 1976

Butz, H.-W.: Geplante Flexibilität in Unternehmungen der Einzelfertigung. Diss. RWTH Aachen (1976). Aachen: Shaker 1976.

CAVES ET AL. 1990

Caves, R. E.; Frankel, J. A.; Jones, R. W.: World Trade and Payments: an Introduction. 5. Aufl. New York: Harper Collins 1990.

CHAKRAVARTHY 1997

Chakravarty, B.: A New Strategy Framework for Coping with Turbulence. Sloan Management Review 38 (1997) 2, S. 69-82.

CHRISS 1997

Chriss, N. A.: Black-Scholes and Beyond. Option Pricing Models. New York: McGraw-Hill 1997.

CISEK 2005

Cisek, R.: Planung und Bewertung von Rekonfigurationsprozessen in Produktionssystemen. Diss. TU München (2005). München: Utz 2005. (*iwb* Forschungsberichte 191)

CISEK ET AL. 2002

Cisek, R.; Habicht, C.; Neise, P.: Gestaltung wandlungsfähiger Produktionssysteme. ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 97 (2002) 9, S. 441-445.

COOPER & BLUMENSTEIN 1996

Cooper, H.; Blumenstein, R.: As US firms gain on rivals, the dollar rises pesky question. The Wall Street Journal, Ausgabe vom 16.08.1996.

COPELAND ET AL. 1994

Copeland, T. E.; Koller, T.; Murrin, J.: Valuation – Measuring and Managing the Value of Companies. 2. Aufl. New York: 1994.

## 8 Literaturverzeichnis

---

COPELAND & KEENAN 1998

Copeland, T. E.; Keenan, P. T.: How much is flexibility worth? The McKinsey Quarterly (1998) 2, S. 38-49.

COPELAND & ANTIKAROV 2002

Copeland, T. E.; Antikarov, V.: Realoptionen. Weinheim: Wiley 2002.

COPELAND ET AL. 2005

Copeland, T. E.; Weston, J. F.; Shastri, K.: Financial Theory and Corporate Policy. 4. Aufl. Boston: Pearson Addison Wesley 2005.

COX ET AL. 1979

Cox, J. C.; Ross, S. A.; Rubinstein, M.: Option Pricing: A Simplified Approach. Journal of Financial Economics 7 (1979) 3, S. 229-263.

DAENZER & HUBER 1999

Daenzer, W. F.; Huber, F. (Hrsg.): Systems Engineering – Methodik und Praxis. 10. Aufl. Zürich: Industrielle Organisation 1999.

DASU & LI 1997

Dasu, S.; Li, L.: Optimal Operating Policies in the Presence of Exchange Rate Variability. Management Science 43 (1997) 5, S. 705-722.

DE NEUFVILLE 2003

de Neufville, R.: Real Options: Dealing with Uncertainty in Systems Planning and Design. Integrated Assessment 4 (2003) 1, S. 26-34. ([http://ardent.mit.edu/real\\_options/Real\\_opts\\_papers/delftpaperpublication.pdf](http://ardent.mit.edu/real_options/Real_opts_papers/delftpaperpublication.pdf))

DE TONI & TONCHIA 1998

de Toni, A.; Tonchia, S.: Manufacturing Flexibility: a Literature Review. International Journal of Production Research 36 (1998) 6, S. 1587- 1617.

DEUSTER 1996

Deuster, J.: Internationale Standortverlagerungen deutscher Unternehmen: Systematisierung, Bestimmungsfaktoren, Auswirkungen. Diss. TU Berlin (1996). Wiesbaden: Dt. Univ. 1996. (Gabler Edition Wissenschaft)

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR QUALITÄT E. V. 2004

Deutsche Gesellschaft für Qualität e. V. (Hrsg.): FMEA – Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse. 3. Aufl. Frankfurt a. M.: Beuth 2004. (DGQ-Band 13-11)

DIHK 2003

DIHK: Deutscher Industrie und Handelskammertag (DIHK): Produktionsverlagerung als Element der Globalisierungsstrategie - Ergebnisse einer Unternehmensbefragung. Berlin: 2003.

DIXIT & PINDYCK 1994

Dixit, K. D.; Pindyck, R. S.: Investment under Uncertainty. Princeton: Princeton University Press 1994.

DOHMS 2001

Dohms, R.: Methodik zur Bewertung und Gestaltung wandlungsfähiger, dezentraler Produktionsstrukturen. Diss. RWTH Aachen (2000). Aachen: Shaker 2001. (Berichte aus der Produktionstechnik 11/2001)

DOMSCHKE ET AL. 1997

Domschke, W.; Scholl, A.; Voß, S.: Produktionsplanung. 2. Aufl. Berlin: Springer 1997.

DRUCKER 1990

Drucker, P. F.: The Emerging Theory of Manufacturing. Harvard Business Review 68 (1990) 3, S. 94-102.

DRUKARCZYK 1998

Drukarczyk, J.: Unternehmensbewertung. 2. Aufl. München: Vahlen 1998.

DUNNING 1988

Dunning, J. H.: Explaining International Production. London: Unwin Hyman 1988.

DÜRRSCHMIDT 2001

Dürrschmidt, S.: Planung und Betrieb wandlungsfähiger Logistiksysteme in der variantenreichen Serienproduktion. Diss. TU München (2001). München: Utz 2001. (*iwb* Forschungsberichte 152)

DYCKHOFF 2000

Dyckhoff, H.: Grundzüge der Produktionswirtschaft: Einführung in die Theorie betrieblicher Wertschöpfung. 3. Aufl. Berlin: Springer 2000.

EILENBERGER 1994

Eilenberger, G.: Betriebliche Finanzwirtschaft. 5. Aufl. München: Oldenbourg 1994.

ELMARAGHY & URBANIC 2004

ElMaraghy, W. H.; Urbanic, R. J.: Assessment of Manufacturing Operational Complexity. Annals of the CIRP 53 (2004) 1, S. 401-407.

EVERSHEIM 1992

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

## 8 Literaturverzeichnis

---

EVERSHEIM 1996

Eversheim, W.: Standortplanung. In: Eversheim, W. et al. (Hrsg.): *Betriebshütte. Produktion und Management (Teil 2)*. 7. Aufl. Berlin: Springer 1996, S. 09-40 - 09-57.

EVERSHEIM & SCHELLBERG 2000

Eversheim, W.; Schellberg, O.: Produktion in globalen Netzwerken. Potentiale der Globalisierung im Verbund erschließen. *wt Werkstattstechnik online* 90 (2000) 5, S. 183-187.

EVERSHEIM ET AL. 2002

Eversheim, W.; Lange-Stalinski, T.; Redelstab, P.: Wandlungsfähigkeit durch mobile Fabriken. *wt Werkstattstechnik online* 92 (2002) 4, S. 169-170.

FEHR 2005

Fehr, B. Einsteins Erben in den Banken. *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, Frankfurt a. M.. Ausgabe vom 20.05.2005, Nr. 115, S. 27.

FERBER 2006

Ferber, S.: Strategische Kapazitäts- und Investitionsplanung in der globalen Supply Chain eines Automobilherstellers. Diss. Universität Augsburg (2005). Aachen: Shaker 2006. (Berichte aus der Betriebswirtschaft)

FISCH 2006

Fisch, J. H.: Internationale Realloptionen: Aufbau von Auslandsgesellschaften bei Unsicherheit und Irreversibilität. Diss. Wiesbaden: Gabler 2006. (Zugl. Kurzfassung von: Universität Hohenheim, Habil.-Schrift)

FISCHER 1996

Fischer, H.: *Unternehmensplanung: eine praxisorientierte Einführung*. München: Vahlen 1996.

FISCHER 1978

Fischer, S.: Call Option Pricing When the Exercise Price is Uncertain, and the Valuation of Index Bonds. *The Journal of Finance* 33 (1978) 1, S. 169-176.

FISCHER ET AL. 1999

Fischer, T. R.; Hahnenstein, L.; Heitzer, B.: Kapitalmarkttheoretische Ansätze zur Berücksichtigung von Handlungsspielräumen in der Unternehmensbewertung. *Zeitschrift für Betriebswirtschaft (ZfB)* 69 (1999) 10, S. 1207-1232.



FLEISCHER & HERM 2005

Fleischer, J.; Herm, M.: A Method to Configure Value Added Networks based on Business Capabilities. *CIRP-Journal of Manufacturing Systems* 35 (2005) 1, S. 10-18.

FRANKE ET AL. 2001

Franke, J.; Härdle, W.; Hafner, C.: Einführung in die Statistik der Finanzmärkte. Berlin: Springer 2001.

GAUSEMEIER ET AL. 1997

Gausemeier, J.; Fink, A.; Schake, O.: Szenario-Management. München: Hanser 1997.

GOETTE 1994

Goette, T.: Standortpolitik internationaler Unternehmen. Diss. Universität Göttingen (1993). Wiesbaden: Dt. Univ. 1994. (DUV: Wirtschaftswissenschaft)

GÖTZE & BLOECH 2002

Götze, U.; Bloech, J.: Investitionsrechnung. 3. Aufl. Berlin: Springer 2002.

GRAHAM & HARVEY 2001

Graham, J. R.; Harvey, C. R.: The Theory and Practice of Corporate Finance: Evidence from the Field. *Journal of Financial Economics* 60 (2001) 2-3, S. 187-243.

GRUNDIG 2006

Grundig, C.-G.: Fabrikplanung. Planungssystematik – Methoden – Anwendungen. 2. Aufl. München: Hanser 2006.

GUPTA 1993

Gupta, D.: On Measurement and Valuation of Manufacturing Flexibility. *International Journal of Production Research* 31 (1993) 12, S. 2947-2958.

HAGEDORN 1994

Hagedorn, A.: Modellgestützte Planung und Kontrolle von Produktionsstandorten. Diss. Universität Hildesheim (1992). Wiesbaden: Dt. Univ. 1994. (DUV: Wirtschaftswissenschaft)

HAGMANN ET AL. 2004

Hagmann, M.; Schwackhöfer, H.; Schwannberger, E.; Kellermann, G.; Blaha, M.: Entwicklung eines mobilitätsbasierten Produktionskonzeptes. In: Zäh, M. F. et al. (Hrsg.): Gestaltung und Betrieb mobiler Produktionssysteme. München: Utz 2004, S. 111-154.

## 8 Literaturverzeichnis

---

HALLER 1999

Haller, M.: Bewertung der Flexibilität automatisierter Materialflusssysteme der variantenreichen Großserienproduktion. Diss. TU München (1999). München: Utz 1999.

HAMMER 1992

Hammer, R. M.: Unternehmensplanung: Lehrbuch der strategischen Unternehmensführung. 5. Aufl. München: Oldenbourg 1992.

HANSMANN 1974

Hansmann, K.-W.: Entscheidungsmodelle zur Standortplanung der Industrieunternehmen. Wiesbaden: Gabler 1974.

HARDOCK 2000

Hardock, P.: Produktionsverlagerung von Industrieunternehmen ins Ausland: Formen, Determinanten, Wirkung. Diss. Universität Mannheim (1999). Wiesbaden: Dt. Univ. 2000. (Gabler Edition Wissenschaft)

HAUTZINGER 1996

BMVIT Österreich: Verkehr in Zahlen – Österreich, Ausgabe 2002 (Kapitel 6: Mobilität). <[http://www.bmvit.gv.at/verkehr/gesamtverkehr/statistik/downloads/verkehrszahlen/viz02\\_kap6.pdf](http://www.bmvit.gv.at/verkehr/gesamtverkehr/statistik/downloads/verkehrszahlen/viz02_kap6.pdf)> - 10.02.2004.

HAYES & GARVIN 1982

Hayes, R. H.; Garvin, D. A.: Managing as if tomorrow mattered. Harvard Business Review 60 (1982) 3, S. 71-79.

HE & PINDYCK 1992

He, H.; Pindyck, R. S.: Investments in Flexible Production Capacity. Journal of Economic Dynamics and Control 16 (1992) 3/4, S. 575-599.

HEGER 2004

Heger, C. L.: Wie wird der Wandel wirtschaftlich? Ein Verfahren für die anforderungsgerechte Gestaltung von Wandlungsfähigkeit. Industrie Management 20 (2004) 2, S. 12-16.

HEGER 2007

Heger, C. L.: Bewertung der Wandlungsfähigkeit von Fabrikobjekten. Diss. Universität Hannover (2006). Garbsen: PZH, Produktionstechnisches Zentrum 2007. (Berichte aus dem IFA 2007/01)

### HEINRICH 2005

Heinrich, C. E.: Auswirkungen globaler Unternehmensnetzwerke auf den Standort Deutschland. In: Wildemann, H. (Hrsg.): Tagungsband Münchner Management Kolloquium 2005: Wertschöpfung und Wettbewerb. Haben Unternehmen eine Heimat? München: TCW Transfer-Centrum 2005, S. 227-245.

### HEITSCH 2000

Heitsch, J.-U.: Multidimensionale Bewertung alternativer Produktionstechniken. Ein Beitrag zur technischen Investitionsplanung. Diss. RWTH Aachen (2000). Aachen: Shaker 2000. (Berichte aus der Produktionstechnik 17)

### HENN & KÜHNLE 1996

Henn, G.; Kühnle, H.: Strukturplanung. In: Eversheim, W. et al. (Hrsg.): Betriebshütte. Produktion und Management (Teil 2). 7. Aufl. Berlin: Springer 1996, S. 09-57 - 09-93.

### HERNÁNDEZ 2003

Hernández, R.: Systematik der Wandlungsfähigkeit in der Fabrikplanung. Diss. Universität Hannover (2003). Düsseldorf: VDI-Verl. 2003. (Fortschritt-Berichte VDI Reihe/16, 149)

### HESCH 1998

Hesch, R. M.: Das Management der Verlagerung von Wertschöpfungsstufen. Diss. Universität Stuttgart (1998). Frankfurt a. M.: Lang 1998. (Schriften zur Unternehmensplanung 50)

### HIRNER 2005

Hirner, W.: Standorte in Bewegung – Permanente Anpassung an die Veränderung der Märkte. In: 6. Deutsche Fachkonferenz Fabrikplanung. Ludwigsburg, 08./09.11.2005. Landsberg: mic 2005.

### HIRSCH 1967

Hirsch, S.: Location of Industry and International Competitiveness. Diss. Cambridge, Mass. (1965). Oxford: Clarendon Press 1967.

### HÖFT 1992

Höft, U.: Lebenszykluskonzepte: Grundlagen für das strategische Marketing- und Technologiemanagement. Diss. Freie Universität Berlin (1992). Berlin: Schmidt 1992. (Technological economics 46)

### HOMMEL & LEHMANN 2001

Hommel, U.; Lehmann, H.: Die Bewertung von Investitionsprojekten mit dem Realloptionsansatz – Ein Methodenüberblick. In: Hommel, U. et al. (Hrsg.): Realloptionen in der Unternehmenspraxis. Berlin: Springer 2001, S. 113-129.

## 8 Literaturverzeichnis

---

HOMMEL & PRITSCH 1999a

Hommel, U.; Pritsch, G.: Investitionsbewertung und Unternehmensführung mit dem Realloptionsansatz. In: Achleitner, A.-K. (Hrsg.): Handbuch Corporate Finance: Konzepte, Strategien und Praxiswissen für das moderne Finanzmanagement. Köln: Dt. Wirtschaftsdienst 1999. (Ergänzungslieferung 4/1999, Abschnitt 3.1.5)

HOMMEL & PRITSCH 1999b

Hommel, U.; Pritsch, G.: Marktorientierte Investitionsbewertung mit dem Realloptionsansatz: Ein Implementierungsleitfaden für die Praxis. Finanzmarkt und Portfolio Management 13 (1999) 2, S. 121-144.

HORVÁTH 1996

Horváth, P.: Bewertungsinstrumente des Produktionscontrolling. In: Eversheim, W. et al. (Hrsg.): Betriebshütte. Produktion und Management (Teil 2). 7. Aufl. Berlin: Springer 1996, S. 18-64 - 18-87.

HUCHZERMEIER 2003

Huchzermeier, A. H.: Bewertung von Realoptionen in globalen Produktions- und Logistiknetzwerken. In: Hommel, U. et al. (Hrsg.): Reale Optionen – Konzepte, Praxis und Perspektiven strategischer Unternehmensfinanzierung. Berlin: Springer 2003.

HUCHZERMEIER 2005

Huchzermeier, A. H.: The Real Option Value of Operational and Managerial Flexibility in Global Supply Chain Networks. In: Frenkel, M. et al. (Hrsg.): Risk Management. 2. Aufl. Berlin: Springer 2005, S. 609-629.

HUCHZERMEIER & COHEN 1996

Huchzermeier, A. H.; Cohen, M. A.: Valuing Operational Flexibility under Exchange Rate Risk. Operations Research 44 (1996) 1, S. 100-113.

HULL 2006

Hull, J.: Optionen, Futures und andere Derivate. 6. Aufl. München: Pearson Studium 2006.

HUMMEL 1997

Hummel, B.: Internationale Standortentscheidung. Freiburg: Haufe 1997.

IHDE 1984

Ihde, G. B.: Standortdynamik als strategische Antwort auf wirtschaftliche Strukturveränderungen. In: Gaugler, E. et al. (Hrsg.): Strategische Unternehmensführung und Rechnungslegung. Stuttgart: Poeschel 1984, S. 83-96.

IWD 2006

Schröder, C. (Institut der deutschen Wirtschaft Köln): Produktivität und Lohnstückkosten im internationalen Vergleich (Vorabdruck aus: IW-Trends – Vierteljahresschrift zur empirischen Wirtschaftsforschung, 33. Jahrgang, Heft 3/2006.) <[http://www.iwkoeln.de/data/pdf/content/trends03\\_06\\_4.pdf](http://www.iwkoeln.de/data/pdf/content/trends03_06_4.pdf)> - 07.09.2006.

JACOB & MEYER 2006

Jacob, F.; Meyer, T.: Drei Phasen der Globalisierung. In: Abele, E. et al. (Hrsg.): Handbuch Globale Produktion. München: Hanser 2006, S. 2-36.

JORDAN & GRAVES 1995

Jordan, W. C.; Graves, S. C.: Principles on the Benefits of Manufacturing Process Flexibility. Management Science 41 (1995) 4, S. 577-594.

JUN ET AL. 2006

Jun, D.; Yuan-Yuan, J.; Jianxin, J.: A real-option approach to flexibility planning in reconfigurable manufacturing systems. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 28 (2006) 11-12, S. 1202-1210.

KAEN 1995

Kaen, F. R.: Corporate finance: concepts and policies. Cambridge, Mass.: Blackwell Business 1995.

KERSTEN 1996

Kersten, F.: Simulation in der Investitionsplanung. Diss. Universität Münster (1996). Wiesbaden: Gabler 1996. (Neue betriebswirtschaftliche Forschung 198)

KESTING & SCHULTE-MATTLER 1992

Kesting, H.; Schulte-Mattler, H.: Herleitung der Black-Scholes-Formel aus dem binomialen Optionspreismodell. WiSt – Wirtschaftswissenschaftliches Studium (1992) 4, S. 167-171.

KETTNER 1984

Kettner, H.: Leitfaden der systematischen Fabrikplanung. München: Hanser 1984.

KILGER 1987

Kilger, W.: Einführung in die Kostenrechnung. 3. Aufl. Wiesbaden: 1987.

KILKA 1995

Kilka, M.: Realloptionen: Optionspreistheoretische Ansätze bei Investitionsentscheidungen unter Unsicherheit. Frankfurt am Main: Knapp 1995. (Schriftenreihe der SGZ-Bank, Südwestdeutsche Genossenschafts-Zentralbank AG 10)

### KINKEL 2003

Kinkel, S.: Dynamische Standortbewertung und strategisches Standortcontrolling. Diss. Universität Stuttgart (2003). Frankfurt: Peter Lang 2003. (Schriften zur Unternehmensplanung 66)

### KINKEL 2004a

Kinkel, S.: Die Strategie im Fokus: Erfolgskritische Standortfaktoren für verschiedene Internationalisierungsstrategien. In: Kinkel, S. (Hrsg.): Erfolgsfaktor Standortplanung. Berlin: Springer 2004, S. 49-90.

### KINKEL 2004b

Kinkel, S.: Management Summary. In: Kinkel, S. (Hrsg.): Erfolgsfaktor Standortplanung. Berlin: Springer 2004, S. 1-15.

### KINKEL 2004c

Kinkel, S.: Problemfall internationale Standortbewertung oder: Warum neue Lösungen notwendig sind. In: Kinkel, S. (Hrsg.): Erfolgsfaktor Standortplanung. Berlin: Springer 2004, S. 17-48.

### KINKEL ET AL. 2002

Kinkel, S.; Erceg, P. J.; Lay, G.: Auslandsproduktion – Chance oder Risiko für den Standort Deutschland. Mitteilungen aus der Produktionsinnovationserhebung - Fraunhofer-Institut Systemtechnik und Innovationsforschung 26 (2002). (<http://www.isi.fhg.de/publ/downloads/pi-mitteilungen/pimitt26.pdf>)

### KINKEL ET AL. 2004

Kinkel, S.; Lay, G.; Maloca, S.: Produktionsverlagerungen ins Ausland und Rückverlagerungen. Bericht zum Forschungsauftrag 08/04 an das Bundesministerium der Finanzen, Karlsruhe: 2004.

### KIRCHNER ET AL. 2003

Kirchner, S.; Winkler, R.; Westkämper, E.: Unternehmensstudie zur Wandlungsfähigkeit von Unternehmen. wt Werkstattstechnik online 93 (2003) 4, S. 254-260.

### KISKER 1999

Kisker, K. P.: Globalisierung und internationale Mobilität deutscher Industrieunternehmen. In: von Bülow, W. et al. (Hrsg.): Globalisierung und Wirtschaftspolitik. Marburg: Metropolis 1999.

### KLEIN 1993

Klein, H. J.: Internationale Verbundproduktion. Diss. Gießen (1993). Gießen: Verl. der Ferber'schen Universitätsbuchhandlung 1993. (Gießener Schriftenreihe zur Internationalen Unternehmung 6)

KOGUT 1985

Kogut, B.: Designing Global Strategies: Profiting from Operational Flexibility. Sloan Management Review 27 (1985) 1, S. 27-37.

KOGUT & KULATILAKA 1994

Kogut, B.; Kulatilaka, N.: Operating Flexibility, Global Manufacturing and the Option Value of a Multinational Network. Management Science 40 (1994) 1, S. 123-139.

KOLLER ET AL. 1998

Koller, H.; Raithel, U.; Wagner, E.: Internationalisierungsstrategien mittlerer Industrieunternehmen am Standort Deutschland – Ergebnisse einer empirischen Untersuchung. Zeitschrift für Betriebswirtschaft 68 (1998) 2, S. 175-203.

KOREN ET AL. 1999

Koren, Y.; Heisel, U.; Jovane, F.; Moriwaki, T.; Pritschow, G.; Ulsoy, A. G.; van Brussel, H.: Reconfigurable Manufacturing Systems. Annals of the CIRP 48 (1999) 2, S. 527-540.

KRALLMANN ET AL. 1999

Krallmann, H.; Frank, H.; Gronau, N.: Systemanalyse im Unternehmen. 3. Aufl. München: Oldenbourg 1999.

KREMERS 2002a

Kremers, M.: Risikoübernahme in Industrieunternehmen: Der Value-at-Risk als Steuerungsgröße für das industrielle Risikomanagement, dargestellt am Beispiel des Investitionsrisikos. Diss. Universität Kaiserslautern (2002). Sternenfels: Wissenschaft und Praxis 2002. (Schriftenreihe Finanzmanagement 7)

KREMERS 2002b

Kremers, M.: Value-at-Risk-basierte Messung des Risikopotenzials von Investitionsvorhaben. In: Hölscher, R. et al. (Hrsg.): Herausforderung Risikomanagement. Wiesbaden: Gabler 2002, S. 275-293.

KROLLE & OBWALD 2003

Krolle, S.; Obwald, U.: Real Option Valuation: Synthese von Strategie und Wert. In: Hommel, U. et al. (Hrsg.): Reale Optionen – Konzepte, Praxis und Perspektiven strategischer Unternehmensfinanzierung. Berlin: Springer 2003, S. 177-198.

KRUSCHWITZ 2005

Kruschwitz, L.: Investitionsrechnung. 10. Aufl. München: Oldenbourg 2005.

## 8 Literaturverzeichnis

---

KULATILAKA 1993

Kulatilaka, N.: The value of Flexibility: The Case of a Dual-Fuel Industrial Steam Boiler. *Financial Management* 22 (1993) 3, S. 271-280.

LANGE-STALINSKI 2003

Lange-Stalinski, T.: Methodik zur Gestaltung und Bewertung mobiler Produktionssysteme. Diss. RWTH Aachen (2003). Aachen: Shaker 2003. (Berichte aus der Produktionstechnik 6/2003)

LAUX 1993

Laux, C.: Handlungsspielräume im Leistungsbereich des Unternehmens: Eine Anwendung der Optionspreistheorie. *zfbf - Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung* 45 (1993) 11, S. 933-958.

LAVINGTON 1921

Lavington, E.: *The English Capital Market*. London: Methuen 1921.

LICOPRO 2005

WZL der RWTH Aachen: Life Cycle Design for Global Collaborative Production <<http://www.licopro.rwth-aachen.de/en/projekt.html>> - 01.10.2006.

LIEBLER 1996

Liebler, H.: Strategische Optionen: Eine kapitalmarktorientierte Bewertung von Investitionen unter Unsicherheit. Diss. St. Gallen (1996). Konstanz: Univ.-Verl. Konstanz 1996. (Schriftenreihe der Forschungsstelle für internationales Management 14)

LODERER ET AL. 2002

Loderer, C.; Jörg, P.; Pichler, K.; Roth, L.; Zraggen, P.: *Handbuch der Bewertung*. 2. Aufl. Frankfurt a. M.: Frankfurter Allgemeine Zeitung (Lizenzausgabe) 2002.

LOWE ET AL. 2002

Lowe, T. J.; Wendell, R. E.; Hu, G.: Screening Locations Strategies to Reduce Exchange Rate Risk. *European Journal of Operational Research* 136 (2002) 3, S. 573-590.

LÜDER 1990

Lüder, K.: Standortwahl. Verfahren zur Planung betrieblicher und innerbetrieblicher Standorte. In: Jacob, H. (Hrsg.): *Industriebetriebslehre*, 4. Auflage. Wiesbaden: 1990.



LÜDER & KÜPPER 1983

Lüder, K.; Küpper, W.: Unternehmerische Standortplanung und regionale Wirtschaftsförderung. Eine empirische Analyse des Standortverhaltens industrieller Großunternehmen. Göttingen: Vandenhoeck und Ruprecht 1983. (Schriftenreihe des Seminars für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre der Universität Hamburg 24)

LUENBERGER 1998

Luenberger, D. G.: Investment Science. New York, Oxford: Oxford University Press 1998.

MACCORMACK ET AL. 1994

MacCormack, A. D.; Newman, L. J.; Rosenfield, D. B.: The New Dynamics of Global Manufacturing Site Location. Sloan Management Review 35 (1994) 4, S. 69-80.

MAGEE 1964

Magee, J. F.: Decision Trees for Decision Making. Harvard Business Review 42 (1964) 4, S. 126-138.

MARTINI 1995

Martini, C. J.: Marktorientierte Bewertung neuer Produktionstechnologien. Diss. Universität St. Gallen (1995). Hallstadt: Rosch-Buch 1995.

MASON & MERTON 1985

Mason, S. P.; Merton, R. C.: The Role of Contingent Claims Analysis in Corporate Finance. In: Altman, E. I. et al. (Hrsg.): Recent Advances in Corporate Finance. Homewood, Illinois: Irwin Professional Publishing 1985, S. 7-54.

MEISE 1998

Meise, F.: Realloptionen als Investitionskalkül: Bewertung von Investitionen unter Unsicherheit. München: Oldenbourg 1998. (Lehr- und Handbücher zu Geld, Börse, Bank und Versicherung)

MEIXELL & GARGEYA 2005

Meixell, M. J.; Gargeya, V. B.: Global Supply Chain Design: A Literature Review and Critique. Transportation Research Part E 41 (2005), S. 531-550.

MERATH 1999

Merath, F.: Logistik in Produktionsverbundunternehmen. Diss. Universität Mannheim (1999). München: Huss 1999. (Schriftenreihe der Bundesvereinigung Logistik e.V. 43).

## 8 Literaturverzeichnis

---

MERTENS 1982

Mertens, P.: Simulation. 2. Aufl. Stuttgart: Poeschel 1982.

MERTON 1973

Merton, R. C.: Theory of Rational Option Pricing. Bell Journal of Economics and Management Science 4 (1973) 1, S. 141-183.

MEYER 2006a

Meyer, T.: Globale Produktionsnetzwerke - Ein Modell zur kostenoptimierten Standortwahl. Diss. TU Darmstadt (2005). Aachen: Shaker 2006. (Darmstädter Forschungsberichte für Konstruktion und Fertigung 17)

MEYER 2006b

Meyer, T.: Globale Standortwahl - Einflussfaktoren. In: Abele, E. et al. (Hrsg.): Handbuch Globale Produktion. München: Hanser 2006, S. 36-101.

MILBERG 2000

Milberg, J.: Unternehmenspolitik im Wandel. In: Reinhart, G. et al. (Hrsg.): Münchener Kolloquium 2000: ... nur der Wandel bleibt. Wege jenseits der Flexibilität. München: Utz 2000, S. 311-331.

MILLER & BERTUS 2004

Miller, L. T. et al.: License Valuation in the Aerospace Industry: A Real Option Approach. College of Business (Auburn University). <<http://www.fma.org/NewOrleans/Papers/4302127.pdf#search=%22Luke%20Miller%20License%22>> - 20.06.2006.

MILLER & PARK 2002

Miller, L. T.; Park, C. S.: Decision Making Under Uncertainty - Real Options to the Rescue. The Engineering Economist 47 (2002) 2, S. 105-150.

MOXTER 1991

Moxter, A.: Grundsätze ordnungsmäßiger Unternehmensbewertung. 2. Aufl. Wiesbaden: Gabler 1991.

MÜLLER ET AL. 2006

Müller, E.; Müssig, B.; Dietrich, A.: Erfolgsfaktoren der mobilen Produktion. ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 101 (2006) 4, S. 198-202.

MÜLLER & SPANNER-ULMER 2005

Müller, E.; Spanner-Ulmer, B. (Hrsg.): PLUG+PRODUCE – Gestaltungsstrategien für die wandlungsfähige Fabrik. Chemnitz: IBF – TU Chemnitz 2005.

MUN 2002

Mun, J.: Real Options Analysis. Hoboken: Wiley & Sons 2002.

MÜSSIG 2005

Müssig, B.: Wandlung bewertbar machen - Fabrikplanung bei der Siemens AG. In: 6. Deutsche Fachkonferenz Fabrikplanung, Ludwigsburg, 08./09.11.2005. Landsberg: mic 2005.

MYERS 1977

Myers, S. C.: Determinants of Corporate Borrowing. Journal of Financial Economics 5 (1977) 2, S. 147-176.

NARAIN ET AL. 2000

Narain, R.; Yadav, R. C.; Sarkis, J.; Cordeiro, J. J.: The Strategic Implications of Flexibility in Manufacturing Systems. International Journal of Agile Management Systems 2 (2000) 3, S. 202-213.

NAUER 1968

Nauer, E.: Praxis der Industriestandortplanung. Die Unternehmung 22 (1968), S. 161-175.

NILSSON & NORDAHL 1995

Nilsson, C.-H.; Nordahl, H.: Making Manufacturing Flexibility Operational: Distinctions and Examples. Integrated Manufacturing Systems 6 (1995) 2, S. 4-10.

NYHUIS ET AL. 2004

Nyhuis, P.; Elscher, M.; Kolakowski, M.: Prozessmodell der Synergetischen Fabrikplanung. wt Werkstattstechnik online 94 (2004) 4, S. 95-99.

PA CONSULTING GROUP 2004

PA Consulting Group (Hrsg.): Königsweg ins Ausland? Erfolgsfaktoren für Produktionsverlagerungen. Frankfurt a. M.: 2004. ([http://www.paconsulting.com/locations/germany/in\\_germany/publications/default%28de%29.htm](http://www.paconsulting.com/locations/germany/in_germany/publications/default%28de%29.htm))

PACIFIC EXCHANGE RATE SERVICE 2006

Pacific Exchange Rate Service (Antweiler, W.): Currency Trends. Sauder School of Business at the University of British Columbia, USA (2006).

<<http://fx.sauder.ubc.ca/>> - 01.07.2006.

PERRIDON & STEINER 1999

Perridon, L.; Steiner, M.: Finanzwirtschaft der Unternehmung. 10. Aufl. München: Vahlen 1999.

## 8 Literaturverzeichnis

---

PETRY & SPROW 1993

Petry, G. H.; Sprow, J.: The Theory and Practice of Finance in the 1990s. The Quarterly Review of Economics and Finance 33 (1993) 4, S. 359-381.

PINDYCK 1991

Pindyck, R. S.: Irreversibility, uncertainty, and investment. Journal of Economic Literature 29 (1991) 3, S. 1110-1148.

PORTER 1991

Porter, M. E.: Nationale Wettbewerbsvorteile: Erfolgreich konkurrieren auf dem Weltmarkt. München: Droemer-Knaur 1991.

POSSELT 1993

Posselt, T.: Mobilitätsverhalten von Unternehmen. Diss. Universität Frankfurt a. M. (1993). Wiesbaden: Gabler 1993. (Neue betriebswirtschaftliche Forschung 115)

PRIETZE & WALKER 1995

Prietze, O.; Walker, A.: Der Kapitalisierungszinsfuß im Rahmen der Unternehmensbewertung. Die Betriebswirtschaft 55 (1995) 2, S. 199-211.

PRITSCH 2000

Pritsch, G.: Realloptionen als Controlling-Instrument: Das Beispiel pharmazeutische Forschung und Entwicklung. Diss. Wiss. Hochschule für Unternehmensführung (WHU), Koblenz (2000). Wiesbaden: Dt. Univ. 2000. (Gabler Edition Wissenschaft: Unternehmensführung und Controlling)

RAZGAITIS 2003

Razgaitis, R.: Dealmaking. Hoboken: Wiley & Sons 2003.

REINHARDT 1996

Reinhardt, H. C.: Kapitalmarktorientierte Bewertung industrieller F&E-Projekte. Diss. Universität Kiel (1996). Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag 1996. (Betriebswirtschaftslehre für Technologie und Innovation)

REINHART 1997

Reinhart, G.: Innovative Prozesse und Systeme – Der Weg zu Flexibilität und Wandlungsfähigkeit. In: Milberg, J. et al. (Hrsg.): Münchener Kolloquium 1997: Mit Schwung zum Aufschwung. Landsberg/Lech: 1997.

REINHART 2004

Reinhart, G.: Flexibilität und Wandlungsfähigkeit von Fabriken im globalen Wettbewerb. In: 5. Deutsche Fachkonferenz Fabrikplanung. Stuttgart, 31.03./01.04.2004. Landsberg: mic 2004.

REINHART & CISEK 2003

Reinhart, G.; Cisek, R.: Mit Mobilität zur wandlungsfähigen Produktion. In: Reinhart, G. et al. (Hrsg.): Marktchance Individualisierung. Berlin: Springer 2003, S. 75-88.

REINHART & DÜRRSCHMIDT 1998

Reinhart, G.; Dürschmidt, S.: Montagesysteme für langfristige Stückzahl-schwankungen. ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 93 (1998) 4, S. 135-138.

REINHART ET AL. 1996

Reinhart, G.; Lindemann, U.; Heinzl, J.: Qualitätsmanagement. Ein Kurs für Studium und Praxis. Berlin: Springer 1996.

REINHART ET AL. 2002

Reinhart, G.; Cisek, R.; Schilling-Praetzel, M.: ProMotion – Steigerung der Wandlungsfähigkeit durch mobile Produktionssysteme. In: Bey, I. (Hrsg.): Karlsruher Arbeitsgespräche 2002. Forschung für die Produktion von morgen. Karlsruhe: Forschungszentrum Karlsruhe 2002, S. 336-345. (PFT-Bericht 210).

REINHART ET AL. 2006

Reinhart, G.; von Bredow, M.; Neise, P.; Sudhoff, W.: Produzieren in globalen Netzwerken. In: Zäh, M. F. et al. (Hrsg.): Münchener Kolloquium 2006: Zukunft voraus – Denken für den Standort Deutschland. München: Utz 2006, S. 175-192.

REITHOFER 2003

Reithofer, N.: Faszination Produktion – Produktionsstrategie eines Premiumanbieters - Globalisierung/Agilität/Effizienz. In: Zäh, M. F. et al. (Hrsg.): Münchener Kolloquium 2003: Grenzen überwinden – Wachstum der neuen Art. München: Utz 2003, S. 79-94.

RIEDL 1999

Riedl, C.: Organisatorischer Wandel durch Globalisierung. Berlin: Springer 1999.

ROSS 1976

Ross, S. A.: The Arbitrage Theory of Capital Asset Pricing. Journal of Economic Theory 21 (1976) 12, S. 341-360.

RUBACK 2000

Ruback, R. S.: Capital Cash Flows: A Simple Approach to Valuing Risky Cash Flows. Financial Management 31 (2000) 2, S. 85-103.

## 8 Literaturverzeichnis

---

RUNER 1999

Runer, H.: Die Bestimmung der Standortanforderungen bei Standortentscheidungen: eine empirische und kognitive Analyse. Diss. Freiburg (1997). Frankfurt a. M.: Lang 1999. (Europäische Hochschulschriften: Reihe 5, Volks- und Betriebswissenschaft 2423)

SALIGER 1993

Saliger, E.: Betriebswirtschaftliche Entscheidungstheorie. 3. Aufl. München: Oldenbourg 1993.

SÄLZER 1985

Sälzer, B. E.: Standortdynamik von Industrieunternehmen: Eine theoretische und empirische Analyse von Standortstrukturänderungen unter besonderer Berücksichtigung der verkehrswirtschaftlichen Konsequenzen. Diss. Universität Mannheim (1985). Frankfurt a. M.: Lang 1985. (Europäische Hochschulschriften, Reihe 5: Volks- und Betriebswirtschaft 674)

SCHÄFER 1999

Schäfer, H.: Unternehmensinvestitionen: Grundzüge in Theorie und Management. 2. Aufl. Heidelberg: Physica 1999.

SCHÄFER & SOCHOR 2005

Schäfer, H.; Sochor, M.: Der Wert von Wandlungsfähigkeit durch Wechselmöglichkeit - eine fallgestützte Analyse mittels des Realoptionsansatzes. In: Foschiani, S. et al. (Hrsg.): Strategisches Wertschöpfungsmanagement in dynamischer Umwelt (Festschrift für Erich Zahn). Frankfurt a. M.: Lang 2005, S. 492-520.

SCHÄTZL 2003

Schätzl, L.: Wirtschaftsgeographie. Paderborn: Schöningh 2003. (UTB für Wissenschaft: Uni-Taschenbücher 1052). (Band 2: Empirie)

SHELLBERG 2002

Schellberg, O.: Effiziente Gestaltung von globalen Produktionsnetzwerken: Methodik zur Kapazitäts- und Investitionsplanung verteilter Produktionsstrukturen. Diss. RWTH Aachen (2002). Aachen: Shaker 2002. (Berichte aus der Produktionstechnik 22/2002)

SCHENK & WIRTH 2004

Schenk, M.; Wirth, S.: Fabrikplanung und Fabrikbetrieb – Methoden für die wandlungsfähige und vernetzte Fabrik. Berlin: Springer 2004.

SCHMIDT & TERBERGER 2003

Schmidt, R. H.; Terberger, E.: Grundzüge der Investitions- und Finanzierungstheorie. 4. Aufl. Wiesbaden: Gabler 2003.

SCHMIGALLA 1995

Schmigalla, H.: Fabrikplanung: Begriffe und Zusammenhänge. München: Hanser 1995.

SCHÖNING 2006

Schöning, S.: Potenzialbasierte Bewertung neuer Technologien. Diss. RWTH Aachen (2006). Aachen: Shaker 2006. (Berichte aus der Produktionstechnik 7/2006)

SCHUH & GEISSBAUER 2004

Schuh, G.; Geissbauer, R. (Studie Roland Berger Strategy Consultants): Global Footprint Design – Die Spielregeln der internationalen Wertschöpfung beherrschen. München: 2004.

SCHUH & MERCHERS 2004

Schuh, G.; Merchiers, A. (Hrsg.): Entwicklung eines Geschäftskonzeptes für mobile Fabriken. Aachen: Shaker 2004. (Berichte aus dem Maschinenbau)

SCHUH ET AL. 2004a

Schuh, G.; Gulden, A.; Wemhöner, N.; Kampker, A.: Bewertung der Flexibilität von Produktionssystemen. wt Werkstattstechnik online 94 (2004) 6, S. 299-304.

SCHUH ET AL. 2004b

Schuh, G.; Harre, J.; Gottschalk, S.; Kampker, A.: Design for Changeability (DFC) – Das richtige Maß an Wandlungsfähigkeit finden. wt Werkstattstechnik online 94 (2004) 4, S. 100-106.

SCHUH ET AL. 2004c

Schuh, G.; Merchiers, A.; Kampker, A.: Geschäftskonzepte für global verteilte Produktion. wt Werkstattstechnik online 94 (2004) 3, S. 52-57.

SCHUH ET AL. 2004d

Schuh, G.; Wemhöner, N.; Kampker, A.: Lebenszyklusbewertung flexibler Produktionssysteme. wt Werkstattstechnik online 94 (2004) 4, S. 116-121.

SCHUH ET AL. 2004e

Schuh, G.; Wemhöner, N.; Kampker, A.: Lebenszyklusbewertung flexibler Produktionssysteme. wt Werkstattstechnik online 94 (2004) 4, S. 116-121.

SCHULMERICH 2003

Schulmerich, M.: Einsatz und Pricing von Realoptionen. In: Hommel, U. et al. (Hrsg.): Reale Optionen – Konzepte, Praxis und Perspektiven strategischer Unternehmensfinanzierung. Berlin: Springer 2003, S. 63-95.

## 8 Literaturverzeichnis

---

SCHWARTZ & TRIGEORGIS 2001

Schwartz, E. S.; Trigeorgis, L.: Real Options and Investment under Uncertainty: an Overview. In: Schwartz, E. S. et al. (Hrsg.): Real Options and Investment under Uncertainty: Classical Readings and Recent Contributions. Cambridge, Mass.: MIT Press 2001, S. 1-23.

SESTERHENN 2003

Sesterhenn, M.: Bewertungssystematik zur Gestaltung struktur- und betriebsvariabler Produktionssysteme. Diss. RWTH Aachen (2003). Aachen: Shaker 2003. (Berichte aus der Produktionstechnik 1/2003)

SETHI & SETHI 1990

Sethi, A. K.; Sethi, S. P.: Flexibility in Manufacturing: a survey. International Journal of Flexible Manufacturing Systems 2 (1990) 4, S. 289-328.

SHARPE 1964

Sharpe, W. F.: Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium under Conditions of Risk. Journal of Finance 19 (1964) 5, S. 425-442.

SHEWCHUK & MOODIE 1998

Shewchuk, J. P.; Moodie, C. L.: Definition and Classification of Manufacturing Flexibility Types and Measures. International Journal of Flexible Manufacturing Systems 10 (1998) 4, S. 325-349.

SHI & DANIELS 2003

Shi, D.; Daniels, R. L.: A Survey of Manufacturing Flexibility: Implications for e-Business Flexibility. IBM Systems Journal 42 (2003) 3, S. 414-427.

SHUCHMAN 1998

Shuchman, L.: Toyota Rethinks Strategy to Meet Global Shifts in Demand Amid Slump. The Wall Street Journal Europe, Ausgabe vom 06.10.1998.

SIMON ET AL. 2006

Simon, S.; Dervisopoulos, M.; Jacob, F.: Aufbau eines neuen Produktionsstandortes. In: Abele, E. et al. (Hrsg.): Handbuch Globale Produktion. München: Hanser 2006, S. 239-273.

SLACK 1983

Slack, N.: Flexibility as a manufacturing objective. International Journal of Operations and Production Management 3 (1983) 3, S. 4-13.

SMITH & NAU 1995

Smith, J. E.; Nau, R. F.: Valuing Risky Projects: Option Pricing Theory and Decision Analysis. Management Science 41 (1995) 5, S. 795-816.



SPATH ET AL. 2002

Spath, D.; Baumeister, M.; Rasch, D.: Wandlungsfähigkeit und Planung von Fabriken. ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 97 (2002) 1-2, S. 28-32.

STACHOWIAK 1973

Stachowiak, H.: Allgemeine Modelltheorie. Wien: Springer 1973.

STATISTISCHES TASCHENBUCH 2006

Bundesministerium für Arbeit und Soziales: IX. Internationale Zahlen 3b: Bruttoeinkommen aus unselbständiger Arbeit je beschäftigten Arbeitnehmer <<http://www.bmas.bund.de/BMAS/Navigation/root.did=158102.html>> - 10.07.2006.

STEINER & BRUNS 1995

Steiner, M.; Bruns, C.: Wertpapiermanagement. 4. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 1995.

STOLLE ET AL. 2006

Stolle, M.; Jacob, F.; Reinecke, N.; Hexter, J.: Beschaffung. In: Abele, E. et al. (Hrsg.): Handbuch Globale Produktion. München: Hanser 2006, S. 325-349.

TESCH 1980

Tesch, P.: Die Bestimmungsgründe des internationalen Handelns und der Direktinvestition: Eine kritische Untersuchung der außenwirtschaftlichen Theorien und Ansatzpunkte einer standorttheoretischen Erklärung der leistungswirtschaftlichen Auslandsbeziehungen der Unternehmen. Diss. Freie Universität (1979). Berlin: Duncker und Humblot 1980. (Volkswirtschaftliche Schriften 301)

THE BOSTON CONSULTING GROUP INC. 2004

The Boston Consulting Group Inc. (Hrsg.): Capturing Global Advantage, BCG Report 2004. Boston: April 2004.

THIEME & DÜRR 1998

Thieme, J.; Dürr, H.: Betriebsstätten während laufender JIT-Lieferungen prozesskettenorientiert verlagern. In: VDI Berichte Nr.1394. Düsseldorf: VDI-Verl. 1998, S. 75-84.

TOMASZEWSKI 2000

Tomaszewski, C.: Bewertung strategischer Flexibilität beim Unternehmenserwerb: Der Wertbeitrag von Realoptionen. Diss. Universität Bochum (1999). Frankfurt a. M.: Lang 2000. (Bochumer Beiträge zur Unternehmensführung und Unternehmensforschung 57)

## 8 Literaturverzeichnis

---

TRIAN-TIS 2005

Triantis, A. J.: Corporate Risk Management: Real Options and Financial Hedging. In: Frenkel, M. et al. (Hrsg.): Risk Management. 2. Aufl. Berlin: Springer 2005, S. 591-605.

TRIGEORGIS 1993

Trigeorgis, L.: Real Options and Interactions with Financial Flexibility. Financial Management 22 (1993) 3, S. 202-224.

TRIGEORGIS 1995a

Trigeorgis, L. (Hrsg.): Real Options in Capital Investment: Models, Strategies, and Applications. Westport (UK): Praeger 1995.

TRIGEORGIS 1995b

Trigeorgis, L.: Real Options: An Overview. In: Trigeorgis, L. (Hrsg.): Real Options in Capital Investment: Models, Strategies, and Applications. Westport (UK): Praeger 1995, S. 1-28.

TRIGEORGIS 1996

Trigeorgis, L.: Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation. Cambridge, Mass.: MIT Press 1996.

TULUCA & STALINSKI 2004

Tuluca, S.; Stalinski, P.: The Manufacturing Flexibility to Switch Products: Valuation and Optimal Strategy. Computing in Economics and Finance (2004) 292. (<http://ideas.repec.org/s/sce/scecf4.html>)

UNCTAD 2003

United Nations Conference on Trade and Development: Transnational Corporation Index. <<http://www.unctad.org/Templates/Page.asp?intItemID=2443&lang=3&print=1>> - 01.07.2006.

UNCTAD 2006

United Nations Conference on Trade and Development: Foreign Direct Investment database. <<http://stats.unctad.org/fdi/ReportFolders/ReportFolders.aspx>> - 01.07.2006.

UPTON 1995

Upton, D. M.: Flexibility as Process Mobility: The Management of Plant Capabilities for Quick Response Manufacturing. Journal of Operations Management 12 (1995) 3-4, S. 205-224.

VDI 2884

VDI 2884: Beschaffung, Betrieb und Instandhaltung von Produktionsmitteln unter Anwendung von Life Cycle Costing (LCC). Berlin: Beuth 2005.

VEIT 2006

Veit, E.: Wege heraus aus der Inflexibilitätsfalle. In: Zäh, M. F. et al. (Hrsg.): Münchener Kolloquium 2006: Zukunft voraus – Denken für den Standort Deutschland. München: Utz 2006, S. 143-155.

VERNON 1966

Vernon, R.: International Investment and International Trade in the Product Cycle. *Quarterly Journal of Economics* 80 (1966) 2, S. 190-207.

VIDAL & GOETSCHALCKX 1997

Vidal, C. J.; Goetschalckx, M.: Strategic Production Distribution Models: A Critical Review with Emphasis on Global Supply Chain Models. *European Journal of Operational Research* 98 (1997) 1, S. 1-18.

VOLLRATH 2001

Vollrath, R.: Die Berücksichtigung von Handlungsflexibilität bei Investitionsentscheidungen – Eine empirische Untersuchung. In: Hommel, U. et al. (Hrsg.): Realloptionen in der Unternehmenspraxis – Wert schaffen durch Flexibilität. Berlin: Springer 2001, S. 45-77.

VON BEHR 2002

von Behr, M.: Was heißt Globalisierungsfähigkeit? In: von Behr, M. (Hrsg.): Erhöhung der Globalisierungsfähigkeit kleiner und mittelständischer Unternehmen. München: ISF München 2002.

VON BRIEL 2002

von Briel, R.: Ein skalierbares Modell zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Anpassungsinvestitionen in ergebnisverantwortlichen Fertigungssystemen. Diss. Universität Stuttgart (2002). Heimsheim: Jost-Jetter 2002. (IPA-IAO-Forschung und Praxis 352)

VON DER OSTEN-SACKEN 1999

von der Osten-Sacken, D.: Lebenslauforientierte ganzheitliche Erfolgsrechnung für Werkzeugmaschinen. Diss. Stuttgart (1999). Heimsheim: Jost-Jetter 1999. (IPA-IAO-Forschung und Praxis 299)

VON WEIZSÄCKER 1995

von Weizsäcker, C. C.: Der Wettbewerb der Unternehmensgrößen. Eine evolutorische Perspektive. In: Bühner, R. et al. (Hrsg.): Die Dimensionierung des Unternehmens. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 1995, S. 23-43.

## 8 Literaturverzeichnis

---

WAHAB ET AL. 2005

Wahab, M. I. M. et al.: A Real Option Approach to Valuation of Manufacturing Flexibility with 2 State Variables and Regime Switching

<<http://www.mie.utoronto.ca/labs/ilr/Flexibility.pdf>> - 10.07.2006.

WARNECKE 1993

Warnecke, H.-J.: Die Fraktale Fabrik – Revolution in der Unternehmenskultur. 2. Aufl. Berlin: Springer 1993.

WEMHÖNER 2006

Wemhöner, N.: Flexibilitätsoptimierung zur Auslastungssteigerung im Automobilrohbau. Diss. RWTH Aachen (2005). Aachen: Shaker 2006. (Berichte aus der Produktionstechnik 12/2006)

WESTKÄMPER 1998

Westkämper, E.: Wandlungsfähigkeit im turbulenten Umfeld. *Fördertechnik* 67 (1998) 12, S. 3.

WESTKÄMPER 1999

Westkämper, E.: Die Wandlungsfähigkeit von Unternehmen. *wt Werkstattstechnik online* 89 (1999) 4, S. 131-140.

WESTKÄMPER 2005

Westkämper, E.: Operatives Management wandlungsfähiger Unternehmen. In: Foschiani, S. et al. (Hrsg.): *Strategisches Wertschöpfungsmanagement in dynamischer Umwelt* (Festschrift für Erich Zahn). Frankfurt a. M.: Lang 2005, S. 463-490.

WESTKÄMPER et al. 2000

Westkämper, E.; Zahn, E.; Balve, P.; Tilebein, M.: Ansätze zur Wandlungsfähigkeit von Produktionsunternehmen. *wt Werkstattstechnik online* 90 (2000) 1-2, S. 22-26.

WIENDAHL 1996

Wiendahl, H.-P.: Grundlagen der Fabrikplanung. In: Eversheim, W. et al. (Hrsg.): *Betriebshütte. Produktion und Management* (Teil 2). 7. Aufl. Berlin: Springer 1996, S. 09-01 - 09-31.

WIENDAHL 2001a

Wiendahl, H.-P.: "Grüne-Wiese-Planung" – Alles ist möglich. *wt Werkstattstechnik online* 91 (2001) 4, S. 197-201.

WIENDAHL 2001b

Wiendahl, H.-P.: Wandlungsfähige Fabriken. Eckpfeiler für den Standort Deutschland. *wt Werkstattstechnik online* 91 (2001) 11, S. 723-724.

WIENDAHL 2002

Wiendahl, H.-P.: Wandlungsfähigkeit. *wt Werkstattstechnik online* 92 (2002) 4, S. 122-127.

WIENDAHL & HEGER 2004a

Wiendahl, H.-P.; Heger, C. L.: Justifying Changeability. A Methodical approach to Achieving Cost Effectiveness. *The International Journal for Manufacturing Science and Production* 6 (2004) 1/2, S. 33-39.

WIENDAHL & HEGER 2004b

Wiendahl, H.-P.; Heger, C. L.: Quantification of Changeability: Procedures and Methods. In: 54th CIRP General Assembly 2004 (Working Group on Changeability). Krakau, 22.-28.08.2004.

WIENDAHL & HERNÁNDEZ 2000

Wiendahl, H.-P.; Hernández, R.: Wandlungsfähigkeit – neues Zielfeld in der Fabrikplanung. *Industrie Management* 16 (2000) 5, S. 37-40.

WIENDAHL & HERNÁNDEZ 2002

Wiendahl, H.-P.; Hernández, R.: Fabrikplanung im Blickpunkt. *wt Werkstattstechnik online* 92 (2002) 4, S. 133-138.

WIENDAHL & WORBS 2000

Wiendahl, H.-P.; Worbs, J.: Mobilität von morgen: Die Fabrik am Haken? *ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 95 (2000) 12, S. 584-587.

WIENDAHL ET AL. 1999

Wiendahl, H.-P.; Lutz, S.; Helms, K.: Management of distributed capacities in variable production networks. In: Mertins, K. et al. (Hrsg.): *Global Production Management*. Boston: Kluwer Academic Publishers 1999, S. 546-555.

WIENDAHL ET AL. 2005

Wiendahl, H.-P.; Nofen, D.; Klußmann, J. H.; Breitenbach, F.: *Planung modularer Fabriken*. München: Hanser 2005.

WILDEMANN 1988

Wildemann, H.: *Die modulare Fabrik. Kundennahe Produktion durch Fertigungssegmentierung*. München: TCW Transfer Centrum 1988.

## 8 Literaturverzeichnis

---

WILKENS & VÖLKER 2001

Wilkens, M.; Völker, J.: Value-at-Risk. Eine anwendungsorientierte Darstellung zentraler Methoden und Techniken des modernen Risikomanagements. In: Götze, U. et al. (Hrsg.): Entscheidungsmodelle als Instrumente des Risikomanagements: Möglichkeiten und Grenzen. Heidelberg: Physica 2001, S. 413-443.

WIRTH ET AL. 2000

Wirth, S.; Enderlein, H.; Hildebrand, T.: Flexible, temporäre Fabrik. FZKA-PFT (2000) 203. (Ergebnisbericht der vordringlichen Aktion 16)

WIRTH ET AL. 2001

Wirth, S.; Hildebrand, T.; Redelstap, P.: Die wandlungsfähige Fabrik in logistikorientierten Produktionsnetzwerken. wt Werkstattstechnik online 91 (2001) 4, S. 184-185.

WIRTH ET AL. 2003

Wirth, S.; Erfurth, R.; Olschewski, T.: Mobilitätsstufenabhängige Fabrikplattformen. wt Werkstattstechnik online 93 (2003) 4, S. 287-294.

WITTE ET AL. 2004

Witte, K.-W.; Bruch, N.; Bürkner, S.; Friese, M.: Strategien und Werkzeuge zur Integration von Satellitenfabriken und Fabrikparks in mehrstufigen Produktionsnetzen. wt Werkstattstechnik online 94 (2004) 4, S. 162-165.

WITTE & VIELHABER 2004

Witte, K.-W.; Vielhaber, W. (Hrsg.): Neue Konzepte für wandlungsfähige Fabriken und Fabrikparks. Aachen: Shaker 2004. (Berichte aus der Betriebswirtschaft)

WÖHE 1996

Wöhe, G.: Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. 19. Aufl. München: Vahlen 1996.

WOLF 1989

Wolf, J.: Investitionsplanung zur Flexibilisierung der Produktion. Diss. Technische Hochschule Darmstadt (1989). Wiesbaden: Dt. Univ. 1989.

YEO & QIU 2003

Yeo, K. T.; Qiu, F.: The Value of Management Flexibility – a Real Option Approach to Investment Evaluation. International Journal of Project Management 21 (2003) 4, S. 243-250.

ZÄH & BAYERER 2004

Zäh, M. F.; Bayerer, P. (Hrsg.): Gestaltung und Betrieb mobiler Produktionssysteme. München: Utz 2004. (Abschlussbericht des Forschungsprojektes ProMotion)

ZÄH & REINHART 2005

Zäh, M. F.; Reinhart, G. (Hrsg.): 1st International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV 2005). München: Utz 2005.

ZÄH & WAGNER 2002

Zäh, M. F.; Wagner, W.: Die Fabrik der Zukunft ist wandlungsfähig. In: Zäh, M. F. et al. (Hrsg.): Fabrikplanung 2002 – Visionen, Umsetzung, Werkzeuge. München: Utz 2002, S. 1-1-1-17.

ZÄH ET AL. 2003a

Zäh, M. F.; Cisek, R.; Sudhoff, W.; Redelstab, P.: Mit Mobilität zu mehr Strukturvariabilität. wt Werkstattstechnik online 93 (2003) 4, S. 327-331.

ZÄH ET AL. 2003b

Zäh, M. F.; Sudhoff, W.; Rosenberger, H.: Bewertung mobiler Produktionsszenarien mit Hilfe des Realloptionsansatzes. ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 98 (2003) 12, S. 646-651.

ZÄH ET AL. 2005a

Zäh, M. F.; Möller, N.; Sudhoff, W.: A Framework for the Valuation of Changeable Manufacturing Systems. CIRP 3rd Internat. Conference on Reconfigurable Manufacturing. Ann Arbor, USA, 10.-12.05.2005. (CD-ROM)

ZÄH ET AL. 2005b

Zäh, M. F.; Müller, N.; Rimpau, C.: A Holistic Framework for Enhancing the Changeability of Production Systems. In: Zäh, M. F. et al. (Hrsg.): CARV 2005 – 1st International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production. Garching, 22./23.09.2005. München: Utz 2005b, S. 77-84.

ZÄH ET AL. 2005c

Zäh, M. F.; Sudhoff, W.; Möller, N.: Quantitative Modeling of Mobile Production Scenarios. 38th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems. Florianopolis, Brasilien, 16.-18.05.2005. (CD-ROM)

ZÄH ET AL. 2006a

Zäh, M. F.; Bredow von, M.; Möller, N.; Müssig, B.: Bewertung von Flexibilität in der Produktion. Industrie Management 22 (2006) 4, S. 29-32.

ZÄH ET AL. 2006b

Zäh, M. F.; Möller, N.; Müssig, B.; Rimpau, C.: Life Cycle Oriented Valuation of Manufacturing Flexibility. In: Duflou, J. R. (Hrsg.): LCE 2006 – Towards a closed loop economy, 13th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, Bd 2. Leuven, Belgien, 31.05.-02.06.2006. Leuven: 2006, S. 699-704.

ZAHN ET AL. 1999

Zahn, E.; Dillerup, R.; Schmid, U.: Investitionsentscheidungen in flexible Fertigungssysteme – Ein integrierter, systemdynamischer Bewertungsansatz. Zeitschrift für Betriebswirtschaft 69 (1999), Ergänzungsheft 1/99 "Innovation und Investition", S. 43-67.

ZIMMERMANN 2000

Zimmermann, H.: Notizen zur Black-Scholes-Optionspreistheorie

<<http://www.w wz.unibas.ch/finance/teaching/generallecturenotes/5%20Notizen%20BSM.pdf>> - 08.08.2006.



## 9 Anhang

### 9.1 Ergänzungen zu den Grundlagen der Investitionsrechnung

#### 9.1.1 Prämissen des vollkommenen Kapitalmarktes

*“Der Kapitalmarkt ist die Gesamtheit der Möglichkeiten, frühere gegen spätere Zahlungen zu tauschen, wobei eine Zahlung heute den Preis für die zugehörige Gegenleistung in Form zukünftiger Zahlungen angibt.”* (SCHMIDT & TERBERGER 2003, S. 88).

Der Kapitalmarkt ist vollkommen, wenn der Preis, zu dem ein Zahlungsstrom zu einem bestimmten Zeitpunkt gehandelt wird, für jeden Marktteilnehmer identisch ist. Der Preis gilt unabhängig davon, ob ein Marktteilnehmer als Käufer oder Verkäufer auftritt, und es gibt niemanden, der den Preis zu seinen Gunsten beeinflussen kann. Dies bedeutet im Bezug auf Investitionsvorhaben (BLOHM & LÜDER 1995, S. 74), dass

- Soll- und Habenzinssätze identisch sind (einheitlicher Kapitalmarktzins),
- für Investitionen zur Verfügung stehende finanzielle Mittel nicht beschränkt sind und
- keine Transaktionskosten existieren, d. h. jegliche Handlungen keine Kosten zur Folge haben, die aus der Handlung selbst herrühren (z. B. Steuern, Informationskosten, Abwicklungskosten etc.).

Daraus folgt, dass Unternehmen alle zur Verfügung stehenden Investitionsmöglichkeiten wahrnehmen, deren Renditen über dem Kalkulationszinssatz liegen. Des Weiteren gilt für die Kapitalwertberechnung, dass zwischenzeitlich kumulierte Überschüsse sofort zum Kalkulationszinssatz angelegt werden (Wiederanlageprämisse) (GÖTZE & BLOECH 2002, S. 75).

### 9.1.2 Grundprinzip der dynamischen Programmierung

Die Erläuterung des Grundprinzips der dynamischen Programmierung basiert auf einem zeitdiskreten Mehrperiodenmodell mit endlichem Planungshorizont, welches sich wie folgt beschreiben lässt:

$$F_t(z_t) = \max_{a_t} \left[ X_t(z_t, a_t) + (1+i)^{-1} E_t \left[ PV_{t+1}(z_{t+1}) \right] \right]. \quad (37)$$

$F_t(z_t)$	Funktionswert (Kapitalwert) in Abhängigkeit des Zustandes $z_t$
$a$	Kontrollvariable (Handlungsmöglichkeit der Unternehmens)
$z$	Zustandsvariable (Zustand des Unternehmens)
$X_t(z_t, a_t)$	Cashflow in $t$ abhängig von Zustand $z_t$ und Handlung $a_t$
$E_t[PV_{t+1}(z_{t+1})]$	Erwarteter Barwert zum Zeitpunkt $t$ aller zukünftigen Cashflows unter der Annahme, dass alle Entscheidungen von diesem Zeitpunkt an optimal gefällt werden
$X_t$	Zahlungsstrom (Cashflow) in Periode $t$
$i$	Diskontierungsfaktor (Kalkulationszinssatz) bzw. Kapitalkosten

Die Gleichung (37) wird als Bellmann-Gleichung bezeichnet. Der Kapitalwert zum Zeitpunkt  $t$  besteht aus dem Cashflow der aktuellen Periode und dem diskontierten Erwartungswert der optimalen Folgepolitik der Periode  $t+1$ . Die Summe dieser beiden Ausdrücke ist durch die Auswahl der optimalen Handlung in  $t$  zu optimieren. Mathematisch wird das Problem rekursiv (ausgehend von der Periode  $T$ ) gelöst.

Für  $T-1$  gilt entsprechend (DIXIT & PINDYCK 1994, S. 100 F.):

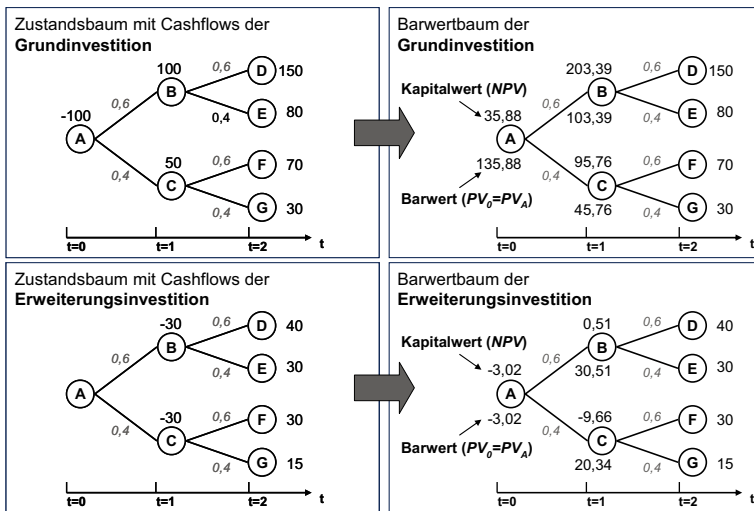
$$F_{T-1}(z_{T-1}) = \max_{a_{T-1}} \left[ X_{T-1}(z_{T-1}, a_{T-1}) + (1+i)^{-1} E_{T-1} \left[ X_T(z_T) \right] \right]. \quad (38)$$

$T$	Planungszeitraum (Anzahl diskreter Zeitperioden)
-----	--

### 9.1.3 Beispielhafte Erläuterung des Entscheidungsbaumverfahrens

#### 9.1.3.1 Ausgangssituation

Bei FISCHER ET AL. (1999) wird das Berechnungsvorgehen des Entscheidungsbaumverfahrens anhand eines Beispiels erläutert. Die Grundlage bildet ein einfaches zweiperiodiges Projekt, welches aus einer Grundinvestition zum Zeitpunkt  $t = 0$  in Höhe von 100 GE zuzüglich einer möglichen Erweiterungsinvestition in  $t = 1$  von 30 GE besteht. Abbildung 62 zeigt die Ausgangssituation. Die Kapitalkosten  $i$  werden im Beispiel mit 18% angenommen.



Legende

(X) Zustandsknoten

Zahlenangaben an den Knoten: Cashflows bzw. Barwerte in Geldeinheiten (GE)

Zahlenangaben an den Kanten: Eintretenswahrscheinlichkeiten der Folgezustände

Abbildung 62: Zustands- und Barwertbäume einer beispielhaften Grund- und Erweiterungsinvestition (i. A. an FISCHER ET AL. 1999)

In Abbildung 62 sind links die Zustandsbäume mit den Cashflows der beiden Investitionen abgebildet, an den Baumkanten sind die vom Investor zugewiesenen Eintrittswahrscheinlichkeiten aufgeführt. Im rechten Bereich der Graphik entsprechen die Werte unterhalb der Zustandsknoten den diskontierten Werten (Barwerte) der Folgeperiode, die oberhalb der Knoten notierten Werte beinhalten

zudem die Cashflows der laufenden Periode. Beispielhaft ergibt sich für den Knoten  $B$  der Grundinvestition ein Barwert  $PV_B$  in Höhe von

$$\begin{aligned} PV_B &= \frac{(q_{BD} \cdot X_D) + (q_{BE} \cdot X_E)}{(1+i)} + X_B \\ &= \frac{(0,6 \cdot 150 \text{ GE}) + (0,4 \cdot 80 \text{ GE})}{(1,18)} + 100 \text{ GE} = 203,39 \text{ GE}. \end{aligned} \quad (39)$$

$PV_B$  Present Value (Barwert, Gegenwartswert) der Grundinvestition im Zustand  $B$

$q_{BD}$  Eintrittswahrscheinlichkeit von Zustand  $D$  nach Zustand  $B$

$X_B$  Cashflow in Zustand  $B$

Die Darstellung rechts entspricht der Kapitalwertberechnung *ohne Berücksichtigung* der Handlungsmöglichkeit, je nach Umweltzustand die Erweiterungsinvestition durchzuführen oder nicht. Das Ergebnis errechnet sich rekursiv, der Barwert zum Zeitpunkt  $t = 0$  ( $PV_0 = PV_A$ ) entspricht den diskontierten Barwerten der Zustände  $B$  und  $C$  in Abbildung 62. Werden die Investitionsausgaben abgezogen, ergibt sich der Kapitalwert zum Zeitpunkt  $t = 0$  ( $NPV$ ). Die Berechnung nach dem Kapitalwertverfahren ist damit als passiv zu bezeichnen und besteht aus einer sofortigen Festlegung des Investitionsverhaltens in  $t = 0$ . Die Grundinvestition (in der Graphik oben abgebildet) wird durchgeführt ( $NPV = 35,88 \text{ GE}$ ), während die Erweiterungsinvestition (in der Graphik unten abgebildet) aufgrund des negativen Kapitalwertes von  $-3,02 \text{ GE}$  abgelehnt wird (siehe Abbildung 62).

### 9.1.3.2 Integration von Handlungsspielräumen

Abbildung 63 zeigt in einem ersten Schritt die zusammengefassten Cashflows der beiden Investitionsprojekte.

Erst durch die Berechnung nach dem Entscheidungsbaumverfahren werden dann die möglichen Umweltzustände und die daraus resultierenden Folgeentscheidungen, welche im Falle des Eintritts spezifischer Zustände zu treffen sind (und damit auch entsprechende Informationszugänge), berücksichtigt. Die Festlegung, die Entscheidung zu verschieben oder nicht, ist durch den Entscheidungsknoten in  $t = 0$  dargestellt. Der untere Ast „Entscheidung über Erweiterungsinvestition sofort treffen“ entspricht dem Verhalten des passiven Investors aus 9.1.3.1, der die Entscheidung in  $t = 0$  trifft und entsprechend den dort ermittelten Ergebnissen nicht investiert (graue Darstellung in Abbildung 63). Die mit \* gekennzeichneten Zustände in Abbildung 63 repräsentieren die durchgeführte Erweiterungsinvesti-

tion, während die Zustände mit ' die Nichtdurchführung der Investition kennzeichnen.

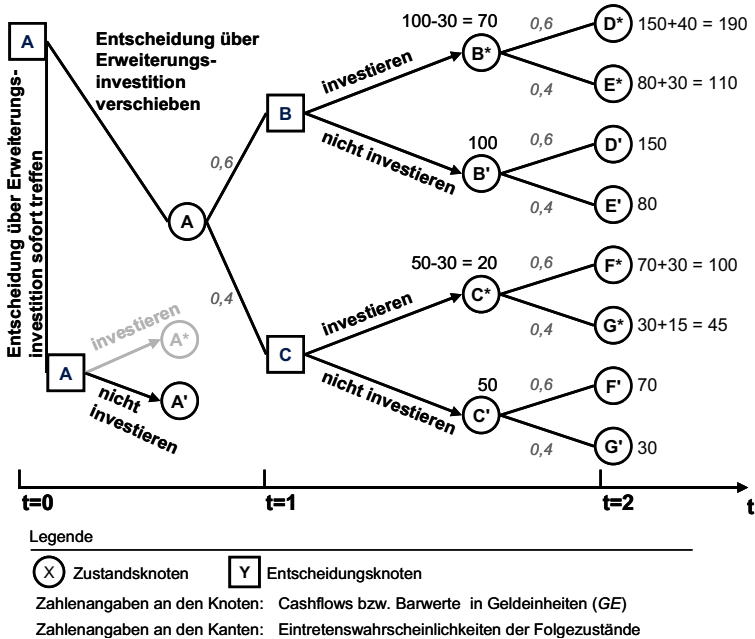


Abbildung 63: Entscheidungsbaum mit den Cashflows der Grund- und Erweiterungsinvestition (i. A. an FISCHER ET AL. 1999)

Bei der Berechnung der Barwerte (siehe die folgende Abbildung 64) wird nun jedem Entscheidungsknoten das Maximum der beiden nachfolgenden Handlungsalternativen zugewiesen und die Entscheidung in dessen Richtung (dicker Pfeil) getroffen.

Der Entscheidungsbaum eliminiert somit suboptimale Pfade (TOMASZEWSKI 2000, S. 82, GÖTZE & BLOECH 2002, S. 488). Der Kapitalwert der zusammengefassten Grund- und Erweiterungsinvestition beläuft sich im dargestellten Beispiel auf 36,14 GE. Wird hiervon der in 9.1.3.1 berechnete (nicht verschiebbare) passive Kapitalwert der Grundinvestition in Höhe von 35,88 GE subtrahiert, so ergibt sich der Wert des Handlungsspielraums der Erweiterungsinvestition in Höhe von 0,26 GE.

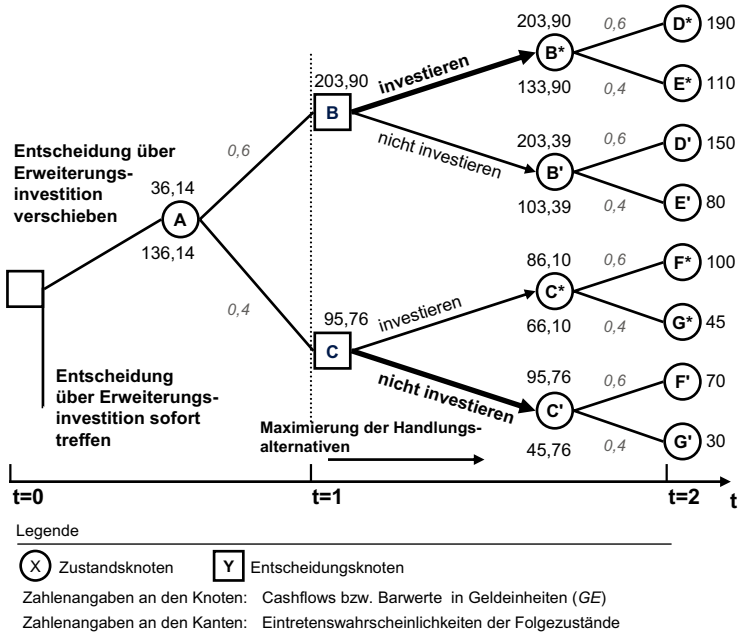


Abbildung 64: Barwertbaum der Gesamtinvestition (i. A. an FISCHER ET AL. 1999)

## 9.2 Ergänzungen zu den Grundlagen der Optionsbewertung

### 9.2.1 Standardannahmen der Optionsbewertung

Alternativ zum *Äquivalenzprinzip* (Duplikation der Zahlungsströme) wird bei der Bewertung von Finanzoptionen häufig die Methode der risikoneutralen Bewertung genannt. Dabei wird unterstellt, dass die erwartete Rendite aus Aktien und der Option dem risikolosen Kapitalmarktzins entspricht. Dies ist allerdings lediglich eine mathematische Umformung, die Annahmen und Ergebnisse im Vergleich zum Duplikationsprinzip ändern sich nicht (TRIGEORGIS 1996, S. 75, COPELAND & ANTIKAROV 2002, S. 312, HULL 2006, S. 320).

Die Prinzipien (Interpretationen) lassen sich wie folgt zusammenfassen.

- (1) **Grundidee des Duplikationsprinzips:** Es lässt sich ein Portfolio aus Aktie und Fremdkapital bilden, welches in allen Umweltzuständen die Auszahlungsstruktur einer Option nachbildet.
- (2) **Grundidee der risikoneutralen Bewertung:** Es lässt sich ein Portfolio aus Aktie und Option bilden, dessen Wert unabhängig von der Umweltentwicklung mit dem risikolosen Zins ansteigt.

Der Annahme (2) folgend muss in einer risikoneutralen Welt

$$\left( \frac{S_1^u}{S_0} - 1 \right) \cdot \rho + (1 - \rho) \cdot \left( \frac{S_1^d}{S_0} - 1 \right) = r_f \quad (40)$$

$\rho$  Gewichtungsfaktor zur Erfüllung der Gleichgewichtsbedingung gelten. Bezogen auf das Beispiel in Abschnitt 3.3.3.3 folgt

$$\begin{aligned} 0,25 \cdot \rho + (1 - \rho) \cdot (-0,2) &= 0,1 \\ \Leftrightarrow \rho &= 0,67 \end{aligned} \quad (41)$$

In einer risikoneutralen Welt gilt zudem für den erwarteten Wert des *Call*

$$C_0 = \frac{\rho \cdot C_1^u + (1 - \rho) \cdot C_1^d}{(1 + r_f)} \quad (42)$$

$C_0$  Barwert des *Call* in  $t = 0$

Durch Einsetzen der Zahlenwerte aus dem Beispiel (3.3.3.3) ergibt sich

$$C_0 = \frac{0,67 \cdot 15 \text{ GE} + 0,33 \cdot 0 \text{ GE}}{1,1} = 9,09 \text{ GE} \quad (43)$$

Dies entspricht exakt dem Wert aus der Duplikation (siehe Gleichung (3) auf S. 55).

Die Gewichtungsfaktoren in einer risikoneutralen Welt  $\rho$  und  $(1 - \rho)$  werden auch als sogenannte *Pseudowahrscheinlichkeiten* bezeichnet. Mit ihnen kann der Wert der Option direkt berechnet werden. Die Bestimmung eines risikoadjustierten Zinssatzes durch die Duplikation wird dadurch umgangen.

Es lässt sich zeigen, dass sich die Größen  $\rho$  und  $(1 - \rho)$  auch aus dem Duplikationsportfolio bestimmen lassen. Die Basis stellen die folgenden Gleichungen aus Abschnitt 3.3.3.4 dar.

$$m = \frac{C_1^u - C_1^d}{S_1^u - S_1^d} \text{ und } B_0 = \frac{C_1^u - m \cdot S_1^u}{(1 + r_f)} = \frac{C_1^d - m \cdot S_1^d}{(1 + r_f)} = \frac{u \cdot C_1^d - d \cdot C_1^u}{(u - d)(1 + r_f)} \quad (4)$$

$u$  Aufwärtsbewegung (*upstate*) aus  $S_1^u = u \cdot S_0$

$d$  Abwärtsbewegung (*downstate*) aus  $S_1^d = d \cdot S_0$

Durch Einsetzen von  $m$  und  $B_0$  in die Gleichungsgewichtsbedingung für  $t = 0$

$$C_0 = m \cdot S_0 + B_0 \quad (44)$$

ergibt sich

$$\begin{aligned} C_0 &= \left( \frac{C_1^u - C_1^d}{S_0(u - d)} \right) \cdot S_0 + \frac{u \cdot C_1^d - d \cdot C_1^u}{(u - d)(1 + r_f)} \\ &= \left[ \left( \frac{(1 + r_f) - d}{(u - d)} \right) \cdot C_1^u + \left( \frac{u - (1 + r_f)}{(u - d)} \right) \cdot C_1^d \right] \cdot (1 + r_f)^{-1}. \end{aligned} \quad (45)$$

Die Klammerausdrücke vor  $C_1^u$  und  $C_1^d$  entsprechen Gewichtungsfaktoren, denn es gilt:

$$\frac{(1 + r_f) - d}{(u - d)} + \frac{u - (1 + r_f)}{(u - d)} = \frac{(u - d)}{(u - d)} = 1 = \rho + (1 - \rho) \text{ und } u > 1 + r_f > d. \quad (46)$$

Die Bedingung  $u > 1 + r_f > d$  entspricht der Arbitragefreiheitsbedingung, da weder  $u > d > r_f$  noch  $r_f > u > d$  gelten dürfen. Sonst wären Renditen möglich, welche den risikolosen Zins übersteigen.



## 9.2.2 Binomialmodell von COX ET AL. (1979)

### 9.2.2.1 Einperiodige Betrachtung

In Abschnitt 3.3.3.4 wurde ein diskretes einperiodiges Modell ( $t=0$  bis  $T=1$ ) zur Wertbestimmung einer *Call*-Option vorgestellt. Dieses mündet in die folgende Formel (8):

$$C_0 = \left[ \rho \cdot C_1^u + (1 - \rho) \cdot C_1^d \right] \cdot (1 + r_f)^{-1}. \quad (8)$$

$C_0$	Wert des <i>Call</i> in $t=0$
$\rho$	Risikoneutrale Wahrscheinlichkeit einer Aufwärtsbewegung
$1 - \rho$	Risikoneutrale Wahrscheinlichkeit einer Abwärtsbewegung
$C_1^u$	Wert des <i>Call</i> nach einer Aufwärtsbewegung
$C_1^d$	Wert des <i>Call</i> nach einer Abwärtsbewegung
$r_f$	Risikoloser Zinssatz

Der Wert der *Call*-Option am Verfallstag  $C_T = C_1$  wird durch

$$C_1 = \max \left[ S_1 - E; 0 \right] \quad (47)$$

$C_1$	Wert des <i>Call</i> in $T$
$S_1$	Wert der Aktie in $T$
$E$	Ausübungspreis

beschrieben.

Durch Einsetzen von (47) in (8) ergibt sich (siehe KESTING & SCHULTE-MATTLER (1992) und COPELAND & ANTIKAROV (2002, S. 211 FF.)):

$$C_0 = \left[ \rho \cdot \max \left[ u \cdot S_0 - E; 0 \right] + (1 - \rho) \cdot \max \left[ d \cdot S_0 - E; 0 \right] \right] \cdot (1 + r_f)^{-1}. \quad (48)$$

### 9.2.2.2 Zweiperiodige Betrachtung

Die möglichen Optionsauszahlungen in Periode  $T = 2$  lauten wie folgt.

$$\begin{aligned} C_2^{uu} &= \max \left[ u \cdot u \cdot S_0 - E; 0 \right] \\ C_2^{ud} &= \max \left[ u \cdot d \cdot S_0 - E; 0 \right] = C_2^{du} \\ C_2^{dd} &= \max \left[ d \cdot d \cdot S_0 - E; 0 \right] \end{aligned} \quad (49)$$

Die zeitlich davor liegenden Knotenwerte (Periode  $t = 1$ ) berechnen sich aus den diskontierten Nachfolgewerten wie zuvor:

$$\begin{aligned} C_1^u &= \left[ \rho \cdot C_2^{uu} + (1 - \rho) \cdot C_2^{ud} \right] \cdot (1 + r_f)^{-1} \\ C_1^d &= \left[ \rho \cdot C_2^{du} + (1 - \rho) \cdot C_2^{dd} \right] \cdot (1 + r_f)^{-1} \end{aligned} \quad (50)$$

Durch rekursives Einsetzen von (50) in (8) ergibt sich unter der Berücksichtigung von (49) die Bewertungsgleichung für den *Call* bei zwei Betrachtungsperioden:

$$\begin{aligned} C_0 &= \left[ \left( \rho^2 \max \left[ u^2 S_0 - E; 0 \right] \right) + \left( 2\rho(1 - \rho) \max \left[ ud \cdot S_0 - E; 0 \right] \right) \right. \\ &\quad \left. + \left( (1 - \rho)^2 \max \left[ d^2 S_0 - E; 0 \right] \right) \right] \cdot (1 + r_f)^{-2} \end{aligned} \quad (51)$$

### 9.2.2.3 Mehrperiodige Betrachtung

Das rekursive Einsetzen lässt sich auf beliebig viele Perioden ausdehnen. Die daraus resultierende allgemeine Optionspreisformel lautet:

$$C_0 = \frac{1}{(1 + r_f)^T} \sum_{j=0}^T \left( \frac{T!}{j!(T-j)!} \rho^j (1 - \rho)^{T-j} \max \left[ u^j d^{T-j} S_0 - E; 0 \right] \right) \cdot (52)$$

Bei Betrachtung von (52) erkennt man die binomialen Koeffizienten. Diese Koeffizienten stellen die *Anzahl an Pfadmöglichkeiten* dar, welche zu einem durch eine Anzahl  $j$  an Aufwärtsbewegungen eindeutig definierten Knoten des Baums führen. Damit determinieren sie die Eintrittswahrscheinlichkeiten der Knoten. Die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Aktienkurse am Verfalltag der Option ist folglich die Binomialverteilung. Die Summe in (52) kann durch das Eliminieren der Summenbestandteile, in welchen der *Call* in  $T$  den Wert Null annimmt, vereinfacht werden. Für die Knoten, in welchen der *Call* in  $T$  einen positiven Wert besitzt, muss hingegen gelten:

$$u^\lambda d^{T-\lambda} S_0 > E. \quad (53)$$

$\lambda$     Kleinste nicht negative ganze Zahl an Aktienkurssteigerungen, damit in  $T$  gilt:  $S_T > E$

Mit dieser Bedingung folgt aus (52):

$$C_0 = \frac{1}{(1+r_f)^T} \sum_{j=\lambda}^T \left( \frac{T!}{j!(T-j)!} \rho^j (1-\rho)^{T-j} \max \left[ u^j d^{T-j} S_0 - E; 0 \right] \right) . \quad (54)$$

Der Parameter  $\lambda$  kann mit Hilfe der Gleichung (53) bestimmt werden. Es gilt:

$$\lambda > \frac{\ln \left( \frac{E}{S_0 \cdot d^T} \right)}{\ln \left( \frac{u}{d} \right)}. \quad (55)$$

Die Summe aus (52) kann zusätzlich zu dieser Überlegung getrennt werden in

$$C_0 = S_0 \left( \sum_{j=\lambda}^T \frac{T!}{j!(T-j)!} \rho^j (1-\rho)^{T-j} \frac{u^j d^{T-j}}{(1+r_f)^T} \right) - E (1+r_f)^{-T} \left( \sum_{j=\lambda}^T \frac{T!}{j!(T-j)!} \rho^j (1-\rho)^{T-j} \right). \quad (56)$$

Der zweite Klammerausdruck entspricht einer komplementären Verteilungsfunktion der Binomialverteilung  $B[T, \rho]$ . Diese entspricht der kumulierten Wahrscheinlichkeit, dass der Wert der Option in  $T$  positiv ist ( $j \geq \lambda \leq T$ ).

Der erste Klammerausdruck lässt sich in ähnlicher Weise deuten. Es gilt

$$\rho^j (1-\rho)^{T-j} \frac{u^j d^{T-j}}{(1+r_f)^T} = \left( \frac{u}{(1+r_f)} \rho \right)^j \left( \frac{d}{(1+r_f)} (1-\rho) \right)^{T-j}. \quad (57)$$

Damit entspricht dieser Ausdruck ebenfalls einer komplementären binomialen Verteilungsfunktion, jedoch mit den veränderten Wahrscheinlichkeitsausdrücken

$$\rho^* = \frac{u}{(1+r_f)} \cdot \rho \quad \text{und} \quad (1-\rho^*) = \frac{d}{(1+r_f)} \cdot (1-\rho). \quad (58)$$

Die allgemeine Optionspreisformel lautet hiermit alternativ zu (52)

$$C_0 = S_0 B[\lambda; T, \rho^*] - \frac{E}{(1+r_f)^T} B[\lambda; T, \rho]. \quad (59)$$

$B[\lambda; T, \rho]$  Komplementäre Verteilungsfunktion der Binomialverteilung mit den Parametern  $[\lambda; T, \rho]$

Damit der Binomialprozess die zeitstetige *Geometrische Brownsche Bewegung* des Modells von BLACK & SCHOLES (1973) approximiert, müssen nach COX ET AL. (1979, S. 248 F.) die Bedingungen

$$u = e^{\sigma \sqrt{1/T}} \quad (60)$$

$$d = \frac{1}{u} = e^{-\sigma \sqrt{1/T}} \quad (61)$$

$$\rho = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \left( \frac{\nu}{\sigma} \right) \cdot \sqrt{\Delta t} \quad (62)$$

$\nu$  Erwartungswert des logarithmierten Preisprozesses (siehe 9.2.3.5, Formel (72))

$\sigma$  Standardabweichung des logarithmierten Preisprozesses

erfüllt sein (LUENBERGER 1998, S. 298).

## 9.2.3 Optionsbewertungsmodell von BLACK & SCHOLES (1973)

### 9.2.3.1 Optionsbewertung in stetiger Zeit: Das Modell von BLACK & SCHOLES

Im Jahr 1973 entwickelten BLACK & SCHOLES ein Optionspreismodell zur Bewertung eines europäischen *Call* ohne Dividendenzahlung unter zeitstetigen Bedingungen. Die grundlegende Annahme des Modells besteht darin, dass der Aktienkurs einem sogenannten allgemeinen *Wiener-Prozess* folgt, der in der Physik zur Beschreibung von Teilchenbewegungen (*Brownsche Bewegung*) verwendet wird (siehe 9.2.3.4). Unter der Annahme des dynamisch angewendeten Duplikationsprinzips leitet sich eine partielle Differentialgleichung ab, deren Lösung sich durch die Formel

$$C_0 = S_0 \cdot N(d_1) - E \cdot e^{-r_f T} N(d_2) \quad (63)$$

$S_0$	Preis des Basisobjektes
$N(d_1)$	Kumulierte Wahrscheinlichkeit der standardnormalverteilten Variable $d_1$
$N(d_2)$	Kumulierte Wahrscheinlichkeit der standardnormalverteilten Variable $d_2$
$E$	Ausübungspreis der Option
$T$	Laufzeit $T$
$r_f$	Risikoloser Zinssatz

mit

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{E}\right) + r_f T}{\sigma\sqrt{T}} + \frac{1}{2}\sigma\sqrt{T}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

ausdrücken lässt. Die damit verbundenen Zusammenhänge werden in den folgenden Abschnitten erläutert.

### 9.2.3.2 Modellannahmen (Restriktionen)

Die Annahmen des Bewertungsmodells von BLACK & SCHOLES (1973) lauten (PERRIDON & STEINER 1999, S. 325, COPELAND & ANTIKAROV 2002, S. 127):

- (1) Es handelt sich um eine europäische Option (Ausübung bei Fälligkeit).
- (2) Es existiert nur eine Unsicherheitsquelle und die Option basiert auf einem einzigen risikobehafteten Basiswert.
- (3) Das Basisobjekt erzeugt während der Laufzeit keine Dividendenauszahlung.
- (4) Es existieren keine Transaktionskosten oder Steuern.
- (5) Der aktuelle Marktpreis und das stochastische Verhalten des Basisobjektes sind bekannt und beobachtbar: Das Basisobjekt folgt einem stetigen Zufallspfad (*Geometrische Brownsche Bewegung*), die Veränderungen des Zufallspfades in der Zeit sind log-normalverteilt mit der Varianz  $\sigma^2 t$ .
- (6) Die Varianz der Rendite des Basisobjektes bleibt im Zeitverlauf konstant.
- (7) Der Marktzinssatz ist konstant, Soll- und Habenzins sind identisch.
- (8) Der Ausübungspreis der Option ist bekannt und bleibt über die Laufzeit unverändert.

### 9.2.3.3 Diskrete und kontinuierliche Betrachtung

Der Zusammenhang zwischen diskreter und kontinuierlicher Verzinsung lautet

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left( 1 + \frac{r_k}{\left(\frac{n}{T}\right)} \right)^{\frac{n}{T}} = e^{r_k} = (1 + r_f). \quad (64)$$

- $n$  Anzahl der Verzinsungsintervalle in  $T$
- $r_k$  Kontinuierlicher Zinssatz
- $r_f$  Einmalige diskrete Verzinsung in  $T$

Wenn bei gleich bleibendem Zinssatz  $r_k$  die Anzahl der Zinsperioden vergrößert wird, erhöht sich mit der Anzahl an Schritten das resultierende Endkapital. Der obere Grenzwert ist definiert durch die Exponentialfunktion  $e^{rk}$ . Im stetigen Fall (kontinuierliche Verzinsung) ändert sich somit die Notation von  $\rho$  zu

$$\rho = \frac{e^{r_f \Delta t} - d}{(u - d)} \quad (65)$$

### 9.2.3.4 Stochastische Prozesse zur Beschreibung von Aktienkursentwicklungen

Ein *stochastischer Prozess* beschreibt das Verhalten einer Variablen, die sich im Zeitablauf gänzlich oder zum Teil zufällig bewegt. Der Prozess besteht aus zeitlich angeordneten Zufallsgrößen (FRANKE ET AL. 2001, S. 45). Grundlage des Bewertungsmodells von BLACK & SCHOLES (1973) ist das Verständnis der Aktienkursentwicklung als stochastischer Prozess mit stetigen Variablen in stetiger Zeit. Vertiefend ist diese Annahme bei LUENBERGER (1998, S. 296 FF.) und HULL (2006, S. 326 FF.) beschrieben. Der stochastische Prozess, der in der Regel zur Beschreibung von Aktienkursen angenommen wird, ist die sogenannte *Geometrische Brownsche Bewegung (GBM)*. Die (allgemeine) *Brownsche Bewegung* geht auf den britischen Botaniker Robert Brown zurück, der im Jahr 1827 zufällige Pollenbewegungen in einer Flüssigkeit beobachtete. Die darauf aufbauende mathematische Formalisierung geht auf Einstein (1905) zurück und erhielt durch Norbert Wiener axiomatische Fundierung (FEHR 2005).

Es gelten die folgenden Aussagen (1)-(4):

- (1) Die Grundlage einer *GBM* bildet ein *Markov-Prozess*.

Ein *Markov-Prozess* ist ein spezieller stochastischer Prozess, welcher kein Gedächtnis besitzt. Nur der aktuelle Wert einer Variablen ist folglich für deren zukünftige Entwicklung relevant.

- (2) Eine spezielle Ausprägung des *Markov-Prozesses* ist der *Wiener-Prozess*.

Folgt eine Variable  $z$  einem *Wiener-Prozess* (auch: *Standard-Wiener-Prozess*), so besitzt die Änderungsgröße  $\Delta z$  einen Erwartungswert von null und die Varianz der Änderung beträgt eins (Eigenschaft [1]). Die hierdurch beschriebene Bewegung der Variablen wird als *Brownsche Bewegung* bezeichnet. Zudem gilt, dass

für zwei beliebige Zeitintervalle  $\Delta t$  die Werte von  $\Delta z$  unabhängig sind (Eigenschaft [2]). Daraus folgt

$$\Delta z = \varepsilon \sqrt{\Delta t} . \quad (66)$$

$\varepsilon$  Standardnormalverteilte Zufallsgröße

Aus [1] folgt, dass  $\Delta z$  selbst normalverteilt ist mit den Parametern:

- Erwartungswert:  $E(\Delta z) = 0 ,$
- Standardabweichung:  $\sigma(\Delta z) = \sqrt{\Delta t}$  und
- Varianz:  $\sigma^2(\Delta z) = \Delta t .$

Für einen Zeitraum  $T$  mit  $N$  Schritten der Länge  $\Delta t$  gilt

$$z(T) - z(0) = \sum_{i=1}^N \varepsilon_i \sqrt{\Delta t} . \quad (67)$$

$z(t)$  Wert zum Zeitpunkt  $t$

Die additive Eigenschaft von (67) führt dazu, dass die Summe der stochastisch unabhängigen und standardnormalverteilten Variablen  $\varepsilon_i$  selbst normalverteilt ist mit den Parametern

- Erwartungswert:  $E\left(z(T) - z(0)\right) = 0 ,$
- Standardabweichung:  $\sigma\left(z(T) - z(0)\right) = \sqrt{T}$  und
- Varianz:  $\sigma^2\left(z(T) - z(0)\right) = T .$

(3) Ein *allgemeiner Wiener-Prozess* beschreibt die Entwicklung einer normalverteilten Variablen mit einer konstanten Drift  $a$  und einer konstanten Varianz  $b^2$  pro Zeiteinheit. Es gilt:

$$\Delta x = a\Delta t + b\varepsilon\sqrt{\Delta t} . \quad (68)$$

$\Delta x$  Änderung der Variablen  $x$  im Zeitraum  $\Delta t$

$a$  Konstante Driftrate (erwartete Änderung in Höhe von  $a$  je Zeitintervall)

$b$  Konstante Varianzrate ( $b$ -fache Interferenz eines *Wiener-Prozesses*  $\Delta z$  je Zeitintervall)



Dieser *allgemeine Wiener-Prozess* bildet die Grundlage für den stochastischen Pfad, welcher für den Kursverlauf einer dividendenlosen Aktie angenommen wird. Jedoch sind zwei Annahmen des *allgemeinen Wiener-Prozesses* noch anzupassen, um ein Aktienkursmodell zu erhalten.

Zum einen ist die Annahme einer konstanten Driftrate  $a$  durch eine konstante Renditeforderung der Anleger zu ersetzen. Dadurch wird der *additive* Ausdruck  $a \cdot \Delta t$  durch die *multiplikative* Formulierung  $\mu \cdot S \cdot \Delta t$  ersetzt, wobei  $\mu$  der Renditeforderung der Anleger und  $S$  dem Wert der Aktie entspricht. Dies schließt zudem negative Aktienkurse aus, die bei einem *allgemeinen Wiener-Prozess* theoretisch möglich sind. Zum anderen wird die Konstante  $b$  durch die Annahme verändert, dass die Standardabweichung der Veränderung in einem kleinen Zeitintervall  $\Delta t$  zwar normalverteilt ist, jedoch auch proportional zum Aktienkurs sein muss. Dadurch beinhaltet der zu beschreibende *allgemeine Wiener-Prozess* die Schwierigkeit, dass sowohl  $a$  als auch  $b$  Funktionen der zugrunde liegenden Variablen  $x$  sowie der Zeit  $t$  sind.

- (4) Ein *Itô-Prozess* ist ein stochastischer Prozess, bei welchem die Drift und die Varianz von  $x$  Funktionen von  $x$  und  $t$  selbst sein können.

*Itô-Prozesse* werden beschrieben durch

$$\Delta x = a(x, t) \Delta t + b(x, t) \varepsilon \sqrt{\Delta t}. \quad (69)$$

Entsprechend dieser Definition ist ein *Itô-Prozess* eine spezielle Form eines *allgemeinen Wiener-Prozesses*, der (unter anderem) zur Nachbildung des Verhaltens von Aktienkursen verwendet wird.

### 9.2.3.5 Log-normalverteilte Aktienpreise

Im vorigen Abschnitt 9.2.3.4 wurde erläutert, dass *allgemeine Wiener-Prozesse* eine *additive* Eigenschaft aufweisen. Zudem zeigte sich, dass diese Annahme zur Beschreibung von Aktienkursen nicht haltbar ist. Darüber hinaus konnte festgestellt werden, dass die Charakteristik der *Wiener-Prozesse* darin besteht, dass die Einzelelemente (Veränderungen in sehr kleinen  $\Delta t$ ) normalverteilt sind und dass folglich  $\Delta x$  selbst normalverteilt sein muss. Durch die Veränderung der Annahmen ergibt sich durch die Verwendung einer konstanten Renditeforderung (anstelle einer konstanten Driftrate  $a$ ) für Aktienpreise  $S_i$  der folgende (*multiplikative*) Zusammenhang:

$$S_{t+1} = u_t \cdot S_t \quad (70)$$

$u_t$  Änderungsfaktor von  $S$  im Zeitraum  $\Delta t = (t+1) - t$

$S_t$  Aktienpreis zum Zeitpunkt  $t$

Durch Logarithmieren ist es nun möglich, den für *Wiener-Prozesse* geforderten *additiven* Charakter wieder herzustellen. Es ergibt sich

$$\ln S_{t+1} = \ln S_t + \ln u_t. \quad (71)$$

So können für das *multiplikative* Modell elementare Aussagen über das stochastische Verhalten abgeleitet werden. Wird  $\ln u_t$  als normalverteilt definiert und als  $w_t$  ( $\nu, \sigma^2$ ) bezeichnet, dann entspricht der zweite Summand in Formel (71) den Anforderungen des stochastischen Störfaktors eines *Wiener-Prozesses*.

Aus  $S_T = u_{T-1} \cdot u_{T-2} \cdot \dots \cdot u_0 \cdot S_0$  ergibt sich

$$\ln S_T = \ln S_0 + \sum_{i=0}^{T-1} \ln u_i = \ln S_0 + \sum_{i=0}^{T-1} w_i. \quad (72)$$

$w_i = \ln u_i$  Normalverteilte additive Zuwachsrate mit Erwartungswert  $\nu$  und Varianz  $\sigma^2$

$\nu$  Erwartungswert des logarithmierten Preisprozesses

$\sigma^2$  Varianz des logarithmierten Preisprozesses

Daraus folgt für den

- Erwartungswert:  $E\left(\ln S_T\right) = \ln S_0 + \nu \cdot T$  und die
- Varianz:  $\sigma^2\left(\ln S_T\right) = T \cdot \sigma^2$ .

Dieser Zusammenhang formalisiert die elementaren Aussagen der Bewertungsgleichung von BLACK & SCHOLES (1973). Diese lauten wie folgt:

- Der Logarithmus der Aktienpreise ( $\ln S_t$ ) ist normalverteilt mit den Parametern ( $\nu, \sigma^2$ ) bzw.
- die Preise eines Aktienkurses  $S_t$ , welche durch einen Wiener-Prozess beschrieben werden, sind log-normalverteilt.

### 9.2.3.6 Modell für das Verhalten von Aktienpreisen

Mit der in Abschnitt 9.2.3.4 getroffenen Annahme (3) lässt sich das Verhalten von Aktienpreisen wie folgt darstellen (HULL 2006, S. 333):

$$dS = \mu S dt + \sigma S dz . \quad (73)$$

$\mu$  Erwartete Rendite der Aktie

$\sigma$  Volatilität des Aktienpreises

$dz$  Standard-Wiener-Prozess

Die relative Veränderungsrate des Aktienkurses ist demnach:

$$\frac{dS}{S} = \mu dt + \sigma dz . \quad (74)$$

Dem steht die logarithmische Gleichung der Veränderungsrate gegenüber (siehe Kapitel 9.2.3.5), nach der gilt:

$$d \ln S = \ln S_{t+dt} - \ln S_t = \nu dt + \sigma dz \quad (75)$$

In Gleichung (74) bezeichnet  $\mu$  den Erwartungswert einer log-normalverteilten Kursänderung. Dieser muss folglich durch den Erwartungswert einer Log-Normalverteilung<sup>28</sup>

$$\mu = \nu + \frac{1}{2} \sigma^2 \quad (76)$$

ersetzt werden. Für den Wert des Aktienkurses zum Zeitpunkt  $T$  folgt dann

$$S_T = S_t \cdot e^{\nu\tau + \sigma\varepsilon\sqrt{\tau}} . \quad (77)$$

$\tau$  Restlaufzeit des Betrachtungszeitraumes ( $T-t$ )

Die Formel (77) ist die Grundlage zur Interpretation der Bewertungsformel von BLACK & SCHOLES (1973).

---

<sup>28</sup> Diese Beziehung folgt aus dem sogenannten *Itô-Lemma*, welches die Möglichkeit bietet, den stochastischen Prozess, den die Funktion einer Variablen befolgt, aus dem stochastischen Prozess zu bestimmen, den die Variable selbst befolgt (FRANKE ET AL. 2001, S. 65, HULL 2006, S. 338).

### 9.2.3.7 Interpretation der Bewertungsformel

Die Gleichung für einen europäischen *Call* (siehe 9.2.3.1) lautet

$$C_0 = \underbrace{S_0 \cdot N(d_1)}_{[1]} - \underbrace{E \cdot e^{-r_f T} N(d_2)}_{[2]}. \quad (78)$$

In Formel (78) ist das Muster der *Call*-Option ebenso zu erkennen wie in der binomialen Schreibweise der Gleichung (59):

$$C_0 = S_0 B[\lambda; T, \rho^*] - \frac{E}{(1+r_f)^T} B[\lambda; T, \rho]. \quad (79)$$

$B[\lambda; T, \rho]$  Komplementäre Verteilungsfunktion der Binomialverteilung mit den Parametern  $[\lambda; T, \rho]$

$\lambda$  Kleinste nicht negative ganze Zahl an Aktienkurssteigungen, damit in  $T$  gilt:  $S_T > E$  (Bedingung zur Ausübung der Option)

$\rho^*$  Um den risikoneutralen Zinssatz  $r_f$  korrigierte risikoneutrale Wahrscheinlichkeit

Das Duplikationsportfolio besteht (in beiden Formeln) aus einer Investition in eine als Basiswert deklarierte Aktie (Ausdruck [1]) unter Aufnahme von Fremdkapital (Ausdruck [2]). In (78) entsprechen  $N(d_1)$  und  $N(d_2)$  jeweils der kumulierten Wahrscheinlichkeit, dass  $S_T \geq E$  ist (ZIMMERMANN 2000). Dies ist die Bedingung, welche in der diskreten Betrachtung durch  $j \geq \lambda \leq T$  gewährleistet wurde. Die Optionspreisformel lässt sich daher auch als

$$C_0 = e^{-r_f T} \left( S_0 \cdot e^{r_f T} \cdot N(d_1) - E \cdot N(d_2) \right) \quad (80)$$

bzw.

$$C_0 = e^{-r_f T} \left( \underbrace{S_T \cdot N(d_1)}_{[1]} - \underbrace{E \cdot N(d_2)}_{[2]} \right) \quad (81)$$

schreiben. Wie in Gleichung (59) entspricht der Ausdruck [1] dem erwarteten Ertrag und der Ausdruck [2] den erwarteten Kosten aus dem Optionsgeschäft.

Durch die Berücksichtigung der Aussage aus Gleichung (77) gilt für die Wahrscheinlichkeit  $prob[\cdot]$ , dass der log-normalverteilte Aktienkurs am Verfalltag  $T$  größer ist als der Ausübungspreis  $E$ . Dies führt zu:

$$\begin{aligned}
 \text{prob}[S_T \geq E] &= \text{prob}\left[S_0 \cdot e^{\nu T + \sigma \varepsilon \sqrt{T}} \geq E\right] \\
 &= \text{prob}\left[\varepsilon \geq \frac{\ln\left(\frac{E}{S_0}\right) - \nu T}{\sigma \sqrt{T}}\right] \\
 &= \text{prob}\left[\varepsilon < \frac{\ln\left(\frac{S_0}{E}\right) + \nu T}{\sigma \sqrt{T}}\right].
 \end{aligned} \tag{82}$$

Die Umwandlung der Gleichung in eine standardnormalverteilte Form erfolgt durch Berücksichtigung von (76). Zudem wird angenommen, dass  $r_f = \mu$ . Dies folgt aus dem *Äquivalenzprinzip* (siehe 9.2.1). Für  $d_2$  gilt dann

$$\begin{aligned}
 \text{prob}[S_T > E] &= \text{prob}\left[\varepsilon \leq \frac{\ln\left(\frac{S_0}{E}\right) + \left(r_f - \frac{1}{2}\sigma^2\right)T}{\sigma \sqrt{T}}\right] \\
 &= \text{prob}\left[\varepsilon \leq \frac{\ln\left(\frac{S_0}{E}\right) + r_f \cdot T}{\sigma \sqrt{T}} - \frac{1}{2}\sigma \cdot T\right] \\
 &= \text{prob}[\varepsilon \leq d_2].
 \end{aligned} \tag{83}$$

Die Herleitung für  $d_1$  läuft analog und führt zu

$$d_1 = d_2 + \sigma \sqrt{T}. \tag{84}$$

### 9.3 Ergänzende Anmerkungen zur Methode

#### 9.3.1 Das Konzept der stochastischen Dominanz

Das Kriterium der *stochastischen Dominanz 1. Ordnung* vergleicht die Erträge von zwei Wertpapieren. Ein Wertpapier dominiert das andere im Sinne der *stochastischen Dominanz 1. Ordnung*, wenn es tendenziell höhere Gewinne aufweist. Dies lässt sich durch Gegenüberstellung der jeweils kumulierten Wahrscheinlichkeitsfunktionen (Verteilungsfunktionen) darstellen.

##### Definition:

Gegeben seien zwei reelle Zufallsvariablen  $X(\cdot)$  und  $Y(\cdot)$  mit den zugehörigen Verteilungsfunktionen  $F(\cdot)$  bzw.  $G(\cdot)$ .

$X(\cdot)$  heißt stochastisch größer als  $Y(\cdot)$  ( $X(\cdot) \succsim Y(\cdot)$ ), wenn für alle Zeitpunkte  $t$  die folgende Aussage zutrifft:

$$G(t) - F(t) \stackrel{!}{\geq} 0 \quad (85)$$

#### 9.3.2 Übersicht zu standortspezifischen Kapitalkostensätzen

Die folgende Abbildung 65 zeigt eine Übersicht von ausgewählten länderspezifischen Kapitalkostensätzen. Über ein Indikatorenschema wird ein Risikoanpassungsfaktor für das jeweilige Land abgeleitet, welcher den Diskontierungsfaktor, der bei einer entsprechenden Investition in den USA verwendet würde, korrigiert.

	Korruption	Rechtssystem	Wirtschaftspolitik	Rechnungslegung/ Unternehmensführung	Marktregulation	Rating (Indexpunkte)	Risiko- premium (in %)
Finnland	3	11	23	17	9	13	-1,83
Großbritannien	20	3	25	33	13	19	-0,44
Hongkong	26	12	14	33	15	20	-0,21
USA	28	19	27	20	10	21	0,00
Deutschland	28	14	33	17	32	25	0,86
Japan	38	24	31	22	22	28	1,51
Polen	63	35	47	40	19	41	4,43
Italien	52	32	45	63	24	43	4,94
Argentinien	65	64	33	30	27	44	5,06
Russland	78	44	39	40	31	46	5,64
China	74	39	39	56	43	50	6,49

Abbildung 65: Länderspezifische Kapitalkostensätze (MEYER 2006b, S. 58)

### 9.3.3 Formalisierte Darstellung der Verlagerungskosten

#### 9.3.3.1 Allgemeines

In den folgenden Abschnitten werden die Formeln zur Berechnung der zusätzlichen Kosten  $c_i(\Gamma(y))$  erläutert, die durch eine Verlagerung im Zeitraum  $\Gamma(y)$  verursacht werden.

#### 9.3.3.2 Planungs- und Vorbereitungsphase (PP)

$c_1(\Gamma(y))$ : Differenzkosten der Produktion

$$c_1(\Gamma(y)) = \frac{t_{PP}^{\text{plan}}}{\alpha} \cdot \left( HK_{t^*}^{\text{var}}(\Omega_{as}) - HK_{t^*}^{\text{var}}(\Omega_{as'}) \right) \quad (86)$$

mit:

$$HK_t^{\text{var}}(\Omega_{as}) = HK_t(\Omega_{as}) \cdot (1 - k_{as}^{\text{fix}}) \quad (87)$$

$HK_t^{\text{var}}(\Omega_{as})$  Variable Herstellungskosten der Standort-Technologie-Kombination in  $t$

$k_{as}^{\text{fix}}$  Fixkostenanteil einer Standort-Technologie-Kombination

$c_2(\Gamma(y))$ : Änderung der Vertriebskosten der in  $PP$  verkauften Endprodukte

Die Distributionsrichtung ändert sich.  $PV_{z(t^*)}(\Omega_{as'})$  beruht auf der Annahme, dass die Einheiten für Markt  $m$

$$\pi_{t^*} \cdot \eta_{t^*m} \cdot \frac{t_{PP}^{\text{plan}}}{\alpha} \quad (88)$$

von  $s'$  nach  $m$  transportiert werden. Diese sind durch die Zeitverzögerung (weiterhin erfolgt die Produktion an  $s$ ) jedoch von  $s$  nach  $m$  zu bringen. Der daraus resultierende Kosteneffekt berechnet sich durch

$$c_2(\Gamma(y)) = \pi_{t^*} \cdot \eta_{t^*m} \cdot \frac{t_{PP}^{\text{plan}}}{\alpha} \cdot (vk_{sm} - vk_{s'm}) \quad (89)$$

Ein entgegengesetzter Effekt stellt sich für Einheiten ein, welche für den Markt  $m'$  bestimmt sind.

$c_3(\Gamma(y))$ : Produktionskosten der (tatsächlich) vorgefertigten Endprodukte

Einerseits ist die maximal für die Vorproduktion zur Verfügung stehende Vorlaufzeit durch  $t_{PP}^{\text{plan}}$  determiniert. Dabei ist zu beachten, wie viel Zusatzkapazität in diesem Zeitraum geleistet werden kann (z. B. durch Sonderschichten). Andererseits ist der Zeitbedarf durch die Anzahl der für die *Produktionsunterbrechung (PU)* zu produzierenden Einheiten abzuleiten. Eine eventuell vorliegende Differenz aus diesen Zeiträumen führt dann zu verlorenen Deckungsbeiträgen.

**Anmerkung:**

Es ist zu beachten, dass im vorliegenden Modell die deterministische Vorbereitungsphase nie länger als  $t$  sein kann. Daher fallen alle bis hier aufgeführten Kostenelemente beginnend in  $t^*$  an. Anders verhält es sich mit den folgenden Berechnungen, da dort der Beginn der Ausgaben (in Abhängigkeit der Phasenlängen, welche in der Ziehung  $y$  realisiert werden) in die Perioden  $t^*+1$  bis  $t^*+\delta(\Gamma(y))$  fallen kann. Daher entsprechen die Größen, die sich auf einen Zeitpunkt nach  $t^*$  beziehen, in den folgenden Berechnungen Erwartungswerten. Diese ergeben sich aus der Baumstruktur und sind proportional zu verteilen. Mit Hilfe des aus  $y$  resultierenden Vektors  $\vec{r} = (\tau_{PP}, \tau_{PU}, \tau_{PA}, \tau_{PK})$ , der die Dauer der Verlagerungsphasen beinhaltet, werden die Kosten den Phasen  $ph \in VP$  (für die Diskontierung) anteilig zugeordnet. Im Folgenden wird zudem davon ausgegangen, dass die *Produktionsunterbrechung (PU)* kürzer ist als die Länge einer Periode  $t$ , so dass sich  $PU$  folglich auf  $t^*$  und  $t^*+1$  verteilt.

Die Vorproduktion für die geplante Unterbrechungsdauer  $t_{PU}^{\text{plan}}$  teilt sich in einen Anteil, der sich auf die Absatzsituation in  $t^*$  bezieht, sowie einen für  $t^*+1$  auf.

$$EP_{t^*m} = \pi_{t^*} \cdot \eta_{t^*m} \cdot \frac{t_{PU}^{\text{plan}}(t^*)}{\alpha} \tag{90}$$

$$EP_{(t^*+1)m} = E[\pi_{(t^*+1)}] \cdot E[\eta_{(t^*+1)m}] \cdot \frac{t_{PU}^{\text{plan}}(t^*+1)}{\alpha} \tag{91}$$

$t_{PU}^{\text{plan}}(t^*)$  Anzahl der Subintervalle von  $PU$ , welche der Zeitperiode  $t^*$  zuzuordnen sind (in Abhängigkeit von der Länge der Vorbereitungsphase)

Für die Gesamtmenge gilt

$$\pi_{PU} = \sum_{m \in M} \left( EP_{t^*m} + EP_{(t^*+1)m} \right). \tag{92}$$

$\pi_{PU}$  Benötigte Menge an Endprodukten für die  $PU$  (Vorproduktion)



Mit Hilfe der Bearbeitungszeiten und des am Standort  $s$  vorhandenen Produktivitätsniveaus lässt sich die die Anzahl benötigter Sonderschichten für die Vorproduktion ermitteln. Die zusätzliche Berücksichtigung der in  $t_{PP}^{\text{plan}}$  gültigen Restriktionen (z. B. Anzahl möglicher Zusatz- und Wochenendschichten) führt dann zur Zielerreichungs- bzw. Abdeckungsquote. Daraus resultieren die Größen  $\pi_{PU}^{\text{res}}$  (tatsächliche Vorproduktion) und  $\pi_{PU}^{\text{Verlust}}$  (Fehlmengeanteil).

Die resultierenden Kostenunterschiede zur Produktion an  $s'$  ergeben sich für die Einheiten, deren Herstellung zuvor in  $t^*$  an  $s'$  angenommen wurde, aus den reinen Differenzkosten der Vorproduktion. Die Differenz der variablen Herstellungskosten ist dabei zusätzlich um den Zuschlagsfaktor für die zu leistenden Sonderschichten zu erhöhen.

$$c_3(\Gamma(y))_{t^*} = \frac{\pi_{PU}^{\text{res}}}{\pi_{PU}} \cdot \left( HK_{t^*}^{\text{var}}(\Omega_{as}) + FEK_{t^*}(\Omega_{as}) \cdot zf^{\text{VorPro}} - HK_{t^*}^{\text{var}}(\Omega_{as'}) \right) \quad (93)$$

Für Endprodukte, deren Herstellung normalerweise in  $t^*+1$  an  $s'$  stattgefunden hätte (siehe (92)) und die nun noch zusätzlich in  $t^*$  an  $s$  zu fertigen sind, müssen hingegen zwei Effekte beachtet werden. Zum einen sind die zusätzlichen Herstellungskosten an  $s$

$$c_3(\Gamma(y))_{t^*+1} = \frac{\pi_{PU}^{\text{res}}}{\pi_{PU}} \cdot \left( HK_{(t^*+1)}^{\text{var}}(\Omega_{as}) + FEK_{t^*}(\Omega_{as}) \cdot zf^{\text{VorPro}} \right) \quad (94)$$

zu berücksichtigen. Zum anderen sind die Kosten an  $s'$  in  $t^*+1$  um die dann dort nicht anfallenden Produktionskosten zu reduzieren.

$c_4(\Gamma(y))$ : Änderung der Vertriebskosten für die Vorproduktion

---

Die Distributionsrichtungen für die „verschobenen“ Einheiten (sowohl zeitlich als auch räumlich gesehen) sind wie bei  $c_2(\Gamma(y))$  zu berücksichtigen.

$c_5(\Gamma(y))$ : Fehlmengekosten wegen mangelnder Kapazität

---

Reicht die Kapazität für die Vorproduktion nicht aus, um die Menge der für  $PU$  benötigten Endprodukte bereit zu stellen, entstehen Kosten für verlorene Deckungsbeiträge. Über eine Rangfolge der Deckungsbeitragshöhe erfolgt die Bestimmung der Endprodukte, welche der Fehlmenge zuzuordnen sind.

Für die hinsichtlich eines Marktes  $m$  ermittelte Fehlmenge in  $t$  ( $\pi_{PU}^{\text{Verlust}}(t, m)$ ) werden die Kosten durch die verlorenen Deckungsbeiträge ermittelt. Es gilt:

$$c_5(\Gamma(y)) = \pi_{PU}^{\text{Verlust}}(t, m) \cdot \left( p_{tm} - \frac{HK_{t^*}^{\text{var}}(\Omega_{as'})}{\pi_t} \right). \quad (95)$$

$$t = t^*, t^* + 1, m \in M$$

$c_6(\Gamma(y))$ : Bestandskosten der Vorproduktion

---

In der Phase *PP* wird im Zuge der Vorproduktion ein Bestand aufgebaut. Der Aufbau des Bestands dauert  $\tilde{t}$  Zeitschritte (Subintervalle) und es gilt:  $\tilde{t} \leq t_{PP}^{\text{plan}}$ . Unter der Annahme eines linearen Verlaufs folgt für die zusätzlichen Kosten

$$c_6(\Gamma(y)) = \frac{\pi_{PU}^{\text{res}}}{2} \cdot \frac{HK_{t^*}^{\text{var}}(\Omega_{as'})}{\pi_t} \cdot l_{KS} \cdot \frac{\tilde{t}}{\alpha}. \quad (96)$$

Während der danach beginnenden Produktionsunterbrechung (*PU*) wird der Bestand im Zeitraum  $t_{PU}^{\text{plan}}$  wieder abgebaut (siehe hierzu  $c_{10}(\Gamma(y))$ ).

$c_7(\Gamma(y))$ : Sonstige relevante Transaktionskosten

---

Hierunter fallen die als relevant eingestuft und vor der Verlagerung (an beiden Standorten) anfallenden Transaktionskostenarten (siehe Abbildung 34).

### 9.3.3.3 Produktionsunterbrechung (*PU*)

$c_8(\Gamma(y))$ : Kosten für Demontage an *s*, Transport sowie Remontage an *s'*

---

Hier erfolgt eine aufwandsorientierte Zuordnung.

$c_9(\Gamma(y))$ : Fehlmengenkosten aufgrund verlängerter *PU*

---

Durch die Modellierung der Dauer der Produktionsunterbrechung kann es bei jeder Ziehung *y* zu einer Abweichung  $\Delta t_{PU}(y) = t_{PU}^{\text{real}}(y) - t_{PU}^{\text{plan}}$  kommen. Der länger andauernde Produktionsstopp führt unter der Annahme, dass keine nachträgliche Produktion erfolgen kann, zu einem weiteren Verlust an Deckungsbeiträgen. Dabei ist die folgende Fallunterscheidung zu treffen.

- **Fall 1:**  $t_{PV}^{\text{plan}} + t_{PU}^{\text{plan}} + \Delta t_{PU}(y) < 12 \rightarrow$  alle verlorenen Einheiten in  $t^*$
- **Fall 2:**  $t_{PV}^{\text{plan}} + t_{PU}^{\text{plan}} > 12 \rightarrow$  alle verlorenen Einheiten in  $t^* + 1$
- **Fall 3:**  $t_{PV}^{\text{plan}} + t_{PU}^{\text{plan}} < 12 \rightarrow$  verlorene Einheiten in  $t^*$  und  $t^* + 1$

Dadurch wird berücksichtigt, in welchen Zeitraum ( $t^*$  oder  $t^*+1$ ) die ungeplante Verzögerung der Anlaufphase ( $\Delta t_{PU}(y)$ ) fällt. Die Kosten einer (bei  $\Delta t_{PU}(y) > 0$ ) auftretenden Verlustmenge  $\pi_{PU}^{\text{Verlust-2}}(t, m)$  berechnen sich durch

$$c_9(\Gamma(y)) = \pi_{PU}^{\text{Verlust-2}}(t, m) \cdot \left( p_{tm} - \frac{HK_{t^*}^{\text{var}}(\Omega_{as'})}{\pi_t} \right) \quad (97)$$

$$t = t^*, t^*+1, m \in M.$$

$c_{10}(\Gamma(y))$ : Bestandskosten der Vorproduktion

Während der *Produktionsunterbrechung* ( $PU$ ) wird der Bestand im Verlauf des Zeitraums  $t_{PU}^{\text{plan}}$  (wieder) abgebaut. Die der Phase zugehörigen Bestandskosten berechnen sich durch

$$c_{10}(\Gamma(y)) = \frac{\pi_{PU}^{\text{res}}}{2} \cdot \frac{HK_{t^*}^{\text{var}}(\Omega_{as})}{\pi_t} \cdot l_{KS} \cdot \frac{t_{PU}^{\text{plan}}}{\alpha}. \quad (98)$$

Die Kosten  $c_{10}(\Gamma(y))$  sind dann anteilig  $t^*$  und  $t^*+1$  zuzuordnen.

### 9.3.3.4 Produktionsanlauf (PA)

$c_{11}(\Gamma(y))$ : Kosten für Expatriates an  $s'$  (Lohn- und Gehaltsempfänger)

Neben der Dauer der Phasen wird die Anzahl der zu entsendenden Expatriates als stochastische Einflussgröße modelliert. Die Kosten können getrennt nach Gehalts- und Lohngruppen definiert werden und sind dann zeitpunktbezogen (den für die Diskontierung relevanten Zeitschritten) anteilig zuzuordnen.

#### Anmerkung:

Zuvor wurde davon ausgegangen, dass sich die *Planungs- und Vorbereitungsphase* ( $PP$ ) sowie die *Produktionsunterbrechung* ( $PU$ ) maximal über die ersten beiden Perioden nach der Verlagerungsentscheidung erstrecken ( $t^*$  und  $t^*+1$ ). Die *Anlauf-* und die *Kontrollphase* können frühestens in  $t^*$  beginnen, sich dann aber über einen längeren Zeitraum ausdehnen. Die zugehörigen Kosten können sich daher anteilig auf mehrere Perioden  $t$  verteilen. Daher bezeichnet im Folgenden  $\tau_{ph}^{\text{real}}(\hat{t}, y)$  die Anzahl der (aus der Simulation ermittelten) Zeitschritte einer Phase  $ph$ , die in einer dieser möglichen Perioden  $\hat{t}$  (ausgedrückt in Subintervallen von  $t$ ) liegen. Es gilt folglich  $t^* \leq \hat{t} \leq t^* + \delta(\Gamma(y))$ .

Die folgende Formel zeigt exemplarisch das Vorgehen zur Berechnung für die Kosten von entsendeten Gehaltsempfängern:

$$c_{11}(\Gamma(y)) = \varepsilon_{ph}^{\text{real}}(y) \cdot \frac{\tau_{PA}^{\text{real}}(\hat{t}, y)}{\alpha} \cdot (ga_{\hat{t}s} \cdot zf^{\text{expat}} + sp). \quad (99)$$

$ga_{\hat{t}s}$  Jahresgehalt eines Gehaltsempfängers einschließlich der Lohnnebenkosten in  $\hat{t}$

Die übrigen Kosten lassen sich analog berechnen.

$c_{12}(\Gamma(y))$ : Fehlmengenkosten aufgrund verminderter Ausbringungsrate

---

Die Ausbringungsrate während des Anlaufs wird erst nach einiger Zeit ein Niveau annehmen, welches dem der (zuvor) zugrunde liegenden Wertberechnung für  $PV_{z(t^*)}(\Omega_{as'})$  entspricht. Daher werden beim Anlauf wiederum Fehlmengenkosten anfallen. Die entgangenen Deckungsbeiträge für diese Einheiten eines Marktes  $m$  berechnen sich für  $\hat{t}$  wie folgt:

$$c_{12}(\Gamma(y)) = \left( \pi_{\hat{t}} \cdot \frac{\tau_{PA}^{\text{real}}(\hat{t}, y)}{\alpha} \cdot (1 - ar_{PA}) \right) \cdot \left( p_{\hat{t}m} - \frac{HK_{\hat{t}}^{\text{var}}(\Omega_{as'})}{\pi_{\hat{t}}} \right). \quad (100)$$

$c_{13}(\Gamma(y))$ : Sonstige relevante Transaktionskosten

---

Unter anderem werden Reisekosten, Kosten für Qualitätssicherung, Stillstandskosten und eventuell weitere Kosten aus Abbildung 34 anfallen. Diese sind dann nach dem Zeitpunkt ihres Auftretens zuzuordnen.

### 9.3.3.5 Produktionskontrolle (PK)

$c_{14}(\Gamma(y))$ : Kosten für Expatriates an  $s'$  (Lohn- und Gehaltsempfänger)

---

Die Berechnung erfolgt analog zu  $c_{11}(\Gamma(y))$ .

$c_{15}(\Gamma(y))$ : Sonstige relevante Transaktionskosten

---

Die Ermittlung dieser Kosten entspricht der Beschreibung zu  $c_{13}(\Gamma(y))$ .

## **Verzeichnis der genannten Unternehmen**

ARUP Group Ltd.  
13 Fitzroy Street  
London  
W1T 4BQ  
United Kingdom

BMW Group  
Petuelring 130  
80809 München  
Deutschland

Decisioneering, Inc.  
1515 Arapahoe St., Suite 1300  
Denver, CO 80202  
USA

Microsoft Corporation  
1 Microsoft Way  
Redmond, WA 98052  
USA

Siemens Aktiengesellschaft  
Wittelsbacherplatz 2  
80333 München  
Deutschland



# 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 *Wirba, 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/ICAM-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 *Deuschle, 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 iw b

herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart und Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh,  
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften  
der Technischen Universität München

Seminarberichte iw b 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 Dichtungsmontage 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 Mikrobau teilen**  
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 iwb

herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart und Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh,  
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften  
der Technischen Universität München

Forschungsberichte iwb 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



