





TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Lehrstuhl für Betriebswissenschaften  
und Montagetechnik

**Bewertung vernetzter Produktionsstandorte  
unter Berücksichtigung multidimensionaler Unsicherheiten**

**Pascal Krebs**

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. M. Zäh

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. U. Lindemann

Die Dissertation wurde am 06.07.2011 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 14.11.2011 angenommen.



Pascal Krebs

**Bewertung vernetzter Produktionsstandorte  
unter Berücksichtigung multidimensionaler  
Unsicherheiten**



Herbert Utz Verlag · München

## **Forschungsberichte IWB**

Band 255

Zugl.: Diss., München, Techn. Univ., 2011

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 · 2012

ISBN 978-3-8316-4156-7

Printed in Germany  
Herbert Utz Verlag GmbH, München  
089-277791-00 · [www.utzverlag.de](http://www.utzverlag.de)

## Geleitwort der Herausgeber

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

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

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

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





## **Vorwort**

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Mitglied der Institutsleitung am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) der Technischen Universität München.

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

Bei Herrn Prof. Dr.-Ing Udo Lindemann, dem Leiter des Lehrstuhls für Produktentwicklung der Technischen Universität München, möchte ich mich für die Übernahme des Koreferats und die aufmerksame Durchsicht der Arbeit sehr herzlich bedanken. Herrn Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh danke ich für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Darüber hinaus bedanke ich mich bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts und insbesondere bei den Mitgliedern der Abteilung Produktionsmanagement und Logistik für die gute Zusammenarbeit. Dank gilt auch den Studenten Michael Haas, Christopher Loos, Max Kossmann, Jörg Senger, Carlo Studtmann, Thomas Irrenhauser, Dominic Distel und Lorenz Wiedemann, die zum Gelingen dieser Arbeit beitrugen. Herrn Dr.-Ing. Michael Heinz und Herrn Dipl.-Ing. Sebastian Schindler möchte ich für die gründliche Durchsicht der Arbeit danken.

Mein besonderer Dank gilt meinem Freund und Mentor Prof. Dr.-Ing. Stefan Linner für fachlichen Rat, spannende Unterhaltungen beim abendlichen Bier und die kritische Durchsicht der Arbeit.

Dank schulde ich auch Herrn Dr.-Ing. Bernd Korves, Leiter des Global Technology Fields Production Networks & Factory Planning der Siemens AG, und den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern dieser Abteilung für die großzügige Unterstützung und befruchtende Zusammenarbeit. Die Integration in die Abteilung hat maßgeblich dazu beigetragen, dass ich den Bezug zur industriellen Praxis herstellen konnte.

Diese Dissertation konnte nur durch die Unterstützung meiner Eltern und Großeltern entstehen. Sie haben mich in meinem Handeln stets unterstützt, mir meine Ausbildung ermöglicht und mir auf diese Weise den Weg zur Promotion geebnet. Meiner Mutter danke ich darüber hinaus für die gründliche Durchsicht der Dissertation. Nicht zuletzt und im besonderen Maße danke ich Jennifer für ihre Geduld, die liebevolle Unterstützung und ihr Verständnis für mein Arbeiten an dieser Dissertation während vieler Wochenenden und Urlaubstage.

München, im November 2011

*Pascal Krebs*



# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>VII</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>XII</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>XIII</b>
<b>Formelzeichen.....</b>	<b>XVI</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangssituation und Motivation .....	1
1.2 Zielsetzung der Arbeit.....	5
1.3 Spezifizierung des Untersuchungsbereichs.....	6
1.3.1 Begriffsdefinitionen.....	6
1.3.2 Spezifizierung des Betrachtungsbereichs.....	6
1.4 Aufbau der Arbeit .....	10
<b>2 Grundlagen.....</b>	<b>13</b>
2.1 Allgemeines.....	13
2.2 Einflussfaktoren auf die Bewertung vernetzter Produktionsstandorte ....	13
2.2.1 Allgemeines.....	13
2.2.2 Quantitative und qualitative Einflussfaktoren.....	14
2.2.3 Abhängigkeiten zwischen Einflussfaktoren .....	16
2.3 Risiko und Unsicherheit.....	18
2.3.1 Allgemeines.....	18
2.3.2 Risiko.....	18
2.3.3 Unsicherheit.....	20

2.4	Rechnungswesen zur Abbildung des wirtschaftlichen Geschehens .....	22
2.4.1	Allgemeines.....	22
2.4.2	Systematisierung des Rechnungswesens nach den betriebswirtschaftlichen Zielen .....	22
2.4.3	Investitionsrechnung .....	25
2.4.4	Jahresabschluss.....	27
2.5	Wirtschaftlichkeitsbewertung unter Unsicherheiten.....	30
2.5.1	Allgemeines.....	30
2.5.2	Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsbewertung unter Unsicherheiten.....	31
2.6	Multikriterielle Bewertungs- und Entscheidungsverfahren.....	37
2.6.1	Allgemeines.....	37
2.6.2	Rangaddition (RA).....	38
2.6.3	Nutzwertanalyse (NWA).....	38
2.6.4	Analytischer Hierarchie-Prozess (AHP) .....	39
2.6.5	Künstliche Neuronale Netze (KNN).....	40
2.6.6	Fuzzy-Set-Theorie.....	41
2.7	Fazit.....	45
<b>3</b>	<b>Stand der Erkenntnisse .....</b>	<b>47</b>
3.1	Untersuchungsrahmen .....	47
3.2	Eindimensionale Bewertungsansätze.....	48
3.3	Multidimensionale Bewertungsansätze .....	54
3.4	Fazit.....	59

<b>4</b>	<b>Anforderungen an eine Methode zur Bewertung vernetzter Produktionsstandorte unter Berücksichtigung multidimensionaler Unsicherheiten .....</b>	<b>61</b>
4.1	Allgemeines.....	61
4.2	Spezielle Anforderungen an die Bewertungsmethode.....	61
4.3	Allgemeine Anforderungen für die praktische Anwendung.....	63
4.4	Fazit.....	64
<b>5</b>	<b>Modellierung quantitativer und qualitativer Unsicherheiten.....</b>	<b>65</b>
5.1	Allgemeines.....	65
5.2	Modellierung quantitativer Unsicherheiten .....	66
5.2.1	Allgemeines.....	66
5.2.2	Arten der Modellierung quantitativer Unsicherheiten.....	68
5.3	Modellierung qualitativer Unsicherheiten .....	73
5.3.1	Allgemeines.....	73
5.3.2	Modellierung zeitunabhängiger und zeitabhängiger vorgängerunabhängiger qualitativer Unsicherheiten.....	74
5.3.3	Modellierung zeitabhängiger vorgängerabhängiger qualitativer Unsicherheiten.....	79
5.4	Modellierung von Abhängigkeiten zwischen Unsicherheiten.....	81
5.4.1	Allgemeines.....	81
5.4.2	Modellierung von Korrelationen.....	83
5.4.3	Fuzzy-Bewertungsnetz zur Modellierung von unscharfen Abhängigkeiten.....	86
5.4.3.1	Allgemeines .....	86
5.4.3.2	Bestandteile.....	87

5.5 Fazit.....	94
<b>6 Methode zur Bewertung vernetzter Produktionsstandorte unter Berücksichtigung multidimensionaler Unsicherheiten .....</b>	<b>95</b>
6.1 Übersicht über die Methode.....	95
6.2 Definition des Bewertungsziels .....	97
6.2.1 Allgemeines.....	97
6.2.2 Definition konkreter Standortalternativen.....	97
6.2.3 Kalkulationsmodell .....	98
6.2.3.1 Allgemeines .....	98
6.2.3.2 Kalkulationsstruktur .....	99
6.2.3.3 Kalkulationselemente .....	101
6.3 Identifikation von Einflussfaktoren .....	102
6.3.1 Allgemeines und Bedingungen .....	102
6.3.2 Vorgehen .....	103
6.3.3 Informationsbedarfsermittlung.....	103
6.3.4 Informationsbeschaffung.....	108
6.4 Unsicherheitsmodell .....	115
6.4.1 Allgemeines und Bedingungen .....	115
6.4.2 Modellierung quantitativer und qualitativer Unsicherheiten .....	115
6.5 Bewertung.....	118
6.5.1 Bewertungsmodell.....	118
6.5.2 Durchführung der Simulation .....	120
6.6 Analyse .....	123

6.6.1	Allgemeines .....	123
6.6.2	Bewertung des Risikos .....	123
6.6.3	Ermittlung von Sensitivitäten .....	127
6.6.4	Gegenüberstellung der Analyseverfahren .....	129
6.7	Fazit .....	130
<b>7</b>	<b>Umsetzung der Methode .....</b>	<b>131</b>
7.1	Allgemeines .....	131
7.2	Werkzeug zur Standortbewertung .....	131
7.2.1	Allgemeines .....	131
7.2.2	PlantCalc <sup>®</sup> -Verwaltungsebene .....	133
7.2.3	PlantCalc <sup>®</sup> -Kalkulationssebene .....	135
7.3	Projektbeispiel .....	138
7.3.1	Definition des Bewertungsziels für das Projektbeispiel .....	138
7.3.2	Identifikation von Einflussfaktoren und Unsicherheitsmodell im Rahmen des Projektbeispiels .....	142
7.3.3	Bewertung und Analyse für das Projektbeispiel .....	147
7.4	Bewertung der entwickelten Methode .....	151
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>157</b>
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>161</b>
<b>10</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>189</b>
10.1	Verteilungsfunktionen zur Modellierung quantitativer Unsicherheiten .....	189
10.1.1	Stetige Gleichverteilung .....	189
10.1.2	Dreiecksverteilung .....	189

10.1.3 Binominalverteilung .....	189
10.1.4 Diskrete Gleichverteilung .....	190
10.2 Identifikation und Beseitigung von Zyklen mit der Graphentheorie.....	190
10.2.1 Allgemeines.....	190
10.2.2 Suche und Beseitigung von Zyklen in dieser Arbeit.....	192
10.3 Unified Modeling Language (UML) .....	195
10.4 Genutzte Softwareprodukte .....	196
10.5 Genannte Firmen.....	196



## **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1:	Zielregionen von Verlagerungen und Rückverlagerungen inkl. Rückverlagerungsgründe in 2009 (ISI 2009) .....	3
Abbildung 2:	Spezifizierung des Betrachtungsbereichs durch die Fabrik- ebenen nach Raumsicht (in Anlehnung an WIENDAHL ET AL. 2007) .....	7
Abbildung 3:	Ablauf der Standortplanung und Schnittstellen zur Fabrik- planung (in Anlehnung an VDI 2010, VDI 2011).....	9
Abbildung 4:	Aufbau der Arbeit .....	10
Abbildung 5:	Arten der Abhängigkeiten zwischen Einflussfaktoren .....	17
Abbildung 6:	Informations- bzw. ursachenorientierter Risikobegriff (in Anlehnung an HEIN 2007) .....	19
Abbildung 7:	Wirkungsorientierter Risikobegriff.....	20
Abbildung 8:	Zusammenhang zwischen Unsicherheit und Risiko .....	21
Abbildung 9:	Systematisierung des Rechnungswesens und Bedeutung für die Standortbewertung (in Anlehnung an SESTERHENN 2003) .....	23
Abbildung 10:	Statische und dynamische Verfahren der Investitions- rechnung (HEGER 2007).....	25
Abbildung 11:	Zusammensetzung des MVA und des EVA .....	29
Abbildung 12:	Berechnung des EBIT aus der Differenz zwischen den Umsatzerlösen und den Funktions- und Einmalkosten .....	29
Abbildung 13:	Prinzip der Risikoanalyse (in Anlehnung an ROMMELFANGER 2008).....	32
Abbildung 14:	Entscheidungsbaum für zwei Zeitperioden.....	33
Abbildung 15:	Ausgewählte Verfahren zur Bewertung von Entscheidungsalternativen anhand qualitativer Faktoren .....	38
Abbildung 16:	Aufbau eines zyklenfreien KNN.....	41

## Abbildungsverzeichnis

---

Abbildung 17: Beispiel zu unscharfen Mengen.....	43
Abbildung 18: Häufige Formen von Zugehörigkeitsfunktionen (in Anlehnung an NICOLAI 1995).....	43
Abbildung 19: Linguistische Variable als Fuzzy-Set .....	44
Abbildung 20: Analyisierte eindimensionale Bewertungsansätze.....	53
Abbildung 21: Analyisierte multidimensionale Bewertungsansätze .....	58
Abbildung 22: Anforderungen an eine Methode zur Bewertung vernetzter Produktionsstandorte .....	64
Abbildung 23: Klassifizierung von Unsicherheiten (in Anlehnung an RIMPAU 2010) .....	65
Abbildung 24: Modellierung einer quantitativen Unsicherheit als Wahrscheinlichkeitsverteilung .....	67
Abbildung 25: Modellierungsarten quantitativer Unsicherheiten .....	68
Abbildung 26: Modellierungsarten qualitativer Unsicherheiten .....	74
Abbildung 27: Graphische Darstellung eines Fuzzy-Sets, welches in dieser Arbeit verwendet wird .....	76
Abbildung 28: Beispiel für die Inferenz .....	78
Abbildung 29: Beispiel für die Defuzzifizierung .....	79
Abbildung 30: Arten der Abhängigkeiten zwischen Unsicherheiten und Integration in das Bewertungsmodell.....	82
Abbildung 31: Aufbau des Fuzzy-Bewertungsnetzes (in Anlehnung an REINHART ET AL. 2008a).....	88
Abbildung 32: Übersicht über die Bewertungsmethode.....	95
Abbildung 33: Auswahl konkreter Standortalternativen (in Anlehnung an ABELE ET AL. 2008).....	98
Abbildung 34: Statisches Klassendiagramm für die Kalkulations- struktur des Kalkulationsmodells in UML-Schreib- weise .....	100

Abbildung 35: Statisches Klassendiagramm für die Kalkulationselemente des Kalkulationsmodells in UML-Schreibweise .....	101
Abbildung 36: Vorgehen zur Identifikation von Einflussfaktoren im Rahmen der Standortbewertung.....	103
Abbildung 37: Vorgehen zur Informationsbedarfsermittlung im Rahmen der Standortbewertung.....	105
Abbildung 38: Vorgehen zur Informationsbeschaffung im Rahmen der Standortbewertung .....	110
Abbildung 39: Attribute und Kategorien zur Bewertung der Datenqualität im Rahmen der Standortbewertung (in Anlehnung an BERNHARD & DRAGAN 2007) .....	111
Abbildung 40: Vorgehen zur Ermittlung von Abhängigkeiten zwischen den in die Standortbewertung zu integrierenden Unsicherheiten.....	112
Abbildung 41: Matrix zur Spezifizierung der Abhängigkeiten zwischen Unsicherheiten im Rahmen der Standortbewertung .....	113
Abbildung 42: Statisches Klassendiagramm einer Unsicherheit im Rahmen der Standortbewertung in UML-Schreibweise .....	116
Abbildung 43: Verknüpfung von Kalkulations- und Unsicherheitsmodell zu einem Bewertungsmodell in UML-Schreibweise .....	119
Abbildung 44: Unterschiedliche Erwartungswerte von deterministischer und unsicherheitsbehafteter Bewertung (in Anlehnung an KORVES & KREBS 2008) .....	121
Abbildung 45: Anwendung der Monte-Carlo-Simulation für das Bewertungsmodell dieser Arbeit .....	122
Abbildung 46: Vergleich der Histogramme zweier Standortalternativen.....	124

## Abbildungsverzeichnis

---

Abbildung 47: Bewertungsportfolio (in Anlehnung an KREBS ET AL. 2009).....	125
Abbildung 48: Histogramm der Zielgröße zur Bewertung des Risikos .....	126
Abbildung 49: Graphische Darstellung der Sensitivitätsanalyse für die Zielgröße .....	128
Abbildung 50: Gegenüberstellung der Verfahren zur Analyse der Bewertungsergebnisse .....	129
Abbildung 51: Grundsätzlicher Aufbau von PlantCalc® .....	132
Abbildung 52: Schematische Darstellung der Modul-, Vorlagen- und Projektverwaltung von PlantCalc® .....	134
Abbildung 53: Bewertungsprojekt in PlantCalc® .....	135
Abbildung 54: Kommunikation zwischen den einzelnen Kalkulationsmodulen (in Anlehnung an MÖLLER 2008) .....	136
Abbildung 55: Ausschnitt eines quantitativen Unsicherheitsmoduls in PlantCalc® .....	137
Abbildung 56: Ausschnitt eines qualitativen Unsicherheitsmoduls in PlantCalc® .....	137
Abbildung 57: Tendenz der Abhängigkeiten 3. Art zwischen den für die Alternative Indien integrierten Unsicherheiten.....	145
Abbildung 58: Tendenz der Abhängigkeiten 4. Art zwischen den für die Alternative Indien integrierten Unsicherheiten.....	146
Abbildung 59: Vergleich der Histogramme der beiden Standortalternativen für die Zielgröße MVA des Projektbeispiels in PlantCalc® .....	148
Abbildung 60: Koordinaten für das Bewertungsportfolio für die Zielgröße MVA des Projektbeispiels .....	148
Abbildung 61: Vergleich der beiden Standortalternativen für die Zielgröße MVA des Projektbeispiels anhand des Bewertungsportfolios .....	149

Abbildung 62: Berechnung des Risikoverhältnis für die Zielgröße MVA des Projektbeispiels .....	149
Abbildung 63: Sensitivitätsanalyse für ausgewählte Unsicher- heiten der Standortalternative Indien im Rahmen des Projektbeispiels.....	150
Abbildung 64: Aufwand vs. Nutzen bei Anwendung der in dieser Arbeit entwickelten Methode im Vergleich zu einer konventionellen Bewertung .....	152
Abbildung 65: Beurteilung des Erfüllungsgrads bzgl. der an die entwickelte Methode gestellten Anforderungen .....	155
Abbildung 66: Arten von Graphen.....	192
Abbildung 67: Tiefensuche .....	193
Abbildung 68: Zyklensuche mit der Tiefensuche .....	193
Abbildung 69: Algorithmus zur Zyklensuche innerhalb des Fuzzy- Bewertungsnetzes .....	194
Abbildung 70: Für diese Arbeit wichtigen Notationen eines Klassendiagramms in UML-Schreibweise (in Anlehnung an BALZERT 2010) .....	196

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1:	Beispielhaftes Regelwerk zur Beschreibung der Netzstruktur .....	90
Tabelle 2:	Übersicht über die Kalkulationsmodule und die zugehörigen Einflussfaktoren für das Projektbeispiel (Teil 1 von 2).....	140
Tabelle 3:	Übersicht über die Kalkulationsmodule und die zugehörigen Einflussfaktoren für das Projektbeispiel (Teil 2 von 2).....	141
Tabelle 4:	Im Rahmen des Projektbeispiels integrierte quantitative Unsicherheiten sowie deren Alternativenbezug, Klassifizierung und Modellierungsart.....	143
Tabelle 5:	Im Rahmen des Projektbeispiels integrierte qualitative Unsicherheiten sowie deren Alternativenbezug, Klassifizierung und Modellierungsart .....	144

## Abkürzungsverzeichnis

AHP	Analytischer Hierarchie Prozess
BIFOA	Betriebswirtschaftliches Institut für Organisation und Automation
bspw.	Beispielsweise
bzgl.	Bezüglich
bzw.	Beziehungsweise
cm	Zentimeter
D	Deutschland
DCF	Discounted Cash Flow
d. h.	Das heißt
DAX	Deutscher Aktien Index
DIN	Deutsche Industrienorm
EBIT	Gewinn vor Steuern (engl. Earnings before Interest and Taxes)
engl.	Englisch
et al.	Et alii
EU	Europäische Union
EUR	Euro
EVA	Economic Value Added
EWK	Erweiterte Wirtschaftlichkeitsrechnung
F&E	Forschung und Entwicklung
GuV	Gewinn- und Verlustrechnung
HGB	Handelsgesetzbuch

## Abkürzungsverzeichnis

---

I	Indien
INR	Indische Rupie
ISI	Institut für System- und Innovationsforschung
i. e.	Im engeren
i. w.	Im weiteren
iwb	Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften
KNN	Künstliches Neuronales Netz
LOMAP	Logistische Erfolgsfaktoren für die marktnahe Produktion
MCDM	Multi Criteria Decision Making
MODM	Multi Objective Decision Making
MADM	Multi Attribute Decision Making
MVA	Market Value Added
NOPAT	Geschäftsergebnis (engl. Net Operating Profit after Taxes)
NOA	Geschäftsvermögen (engl. Net Operating Assets)
NPV	Kapitalwert (engl. Net Present Value)
NWA	Nutzwertanalyse
o. g.	Oben genannte
PC	Personal Computer
RA	Rangaddition
S.	Seite
sog.	So genannte
TOPSIS	Technique for order preference by similiary to ideal solution



UML	Unified Modeling Language
u. a.	Und andere
usw.	Und so weiter
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
vgl.	Vergleiche
vs.	Versus; lateinisch für: gegenüber gestellt
WACC	Kapitalkostensatz (engl. Weighted Average Cost of Capital)
z. B.	Zum Beispiel

### Formelzeichen

Einige der im Folgenden aufgeführten Formelzeichen werden mit verschiedenen Bedeutungen verwendet. Die jeweilige Bedeutung und Einheit ergibt sich entweder aus dem Kontext oder ist im Text erklärt.

#### Große und kleine griechische Buchstaben

$\Omega$	Grundmenge
$\Delta t$	Zeitintervall
$\Delta x$	Schrittweite der Irrfahrt
$\varepsilon_t$	Zufälliger, standardnormalverteilter Fehler
$\varepsilon_{t-1}$	Binomiale Zufallsvariable einer Auf- und Abwärtsbewegung des stochastischen Prozesses
$\zeta$	Optionswert
$\mu$	Zugehörigkeitswert des Fuzzy-Sets
$\mu_i$	Zugehörigkeitswert
$\mu_{It\hat{o}}$	Erwartete prozentuale Änderungsrate (Drift) der Entwicklung des Einflussfaktors von $t-1$ nach $t$
$\mu_N$	Erwartungswert der Normalverteilung
$\mu_{A\cap B}$	Zugehörigkeitswert des unsicheren Einflussfaktors $u$ zu den Mengen $A$ und $B$
$\mu_{A\cup B}$	Zugehörigkeitswert des unsicheren Einflussfaktors $u$ zu den Mengen $A$ oder $B$
$\mu_A$	Zugehörigkeitswert des unsicheren Einflussfaktors $u$ zu der Menge $A$
$\mu_B$	Zugehörigkeitswert des unsicheren Einflussfaktors $u$ zu der Menge $B$
$\mu_T(u_k)$	Zugehörigkeitswerte des Faktors $u_k$ zu den linguistischen Termen

$\sigma$	Standardabweichung
$\sigma_{It\hat{o}}$	Prozentuale angegebene Standardabweichung des Itô-Prozesses
$\tau$	Kendallscher Korrelationskoeffizient

### **Große und kleine lateinische Buchstaben**

$a$	Untere Intervallgrenze
$a_{Pro}$	Anzahl der Proversionen
$a_{Inv}$	Anzahl der Inversionen
$a_{u_k}$	Interner Zustand eines Einflussfaktors $u_k$
$a_{u_l}$	Interner Zustand eines Einflussfaktors $u_l$
$A_t$	Auszahlungen in Zeitperiode $t$
$A_{u_l}$	Zustandsfunktion für den Einflussfaktor $u_l$
$AT_u$	Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer Abweichung vom Einflussfaktor $u$
$b$	Obere Intervallgrenze
$B_u$	Bedeutung des Einflussfaktors $u$ (Auswirkung auf die Zielgröße)
$B(p,q)$	Beta-Funktion mit den reelwertigen Parametern $p, q$
$c$	Konklusion zur Kodierung der Regeln
$Defuzzy_{u_l}(a_{u_l})$	Defuzzifizierungsfunktion von Faktor $u_l$
$eNPV$	Erweiterter Kapitalwert
$E_{T,+}$	Erwartungswert für die Chance der Zielgröße
$E_{T,-}$	Erwartungswert für die Gefahr der Zielgröße
$E_t$	Einzahlungen in Zeitperiode $t$

## Formelzeichen

---

$EVA_t$	Economic Value Added in der Zeitperiode $t$
$E(-)$	Erwartungswert von (-)
$Ex_{u_i}$	Externer Eingabevektor zur Beschreibung des Einflussfaktors $u_i$
$f(x)$	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Zufallsvariablen $X$
$F$	Fläche unter den Zugehörigkeitsfunktionen der entsprechenden linguistischen Terme
$g_f$	Gewicht von Faktor $f$
$h_{vf}$	Bewertung des Faktors $f$ der Alternative $v$
$i$	Laufvariable
$i_{NPV}$	Kalkulationszins
$i_{WACC}$	Durchschnittlicher Kapitalkostensatz
$I_0$	Investition in Zeitperiode $t=0$
$ISO_{u_k}$	Netzeingabewert, der sich bei alleiniger Abhängigkeit von Faktor $u_k$ ergibt
$ISO_{u_k,c}$	Netzeingabewert der einzelnen Komponente der Konklusion $c$ des den Einflussfaktor $u_k$ beschreibenden Vektors
$IE_t$	Investitionsentscheidung zu Beginn von Zeitperiode $t$
$j$	Laufvariable
$k$	Laufvariable der unsicheren Einflussfaktoren
$l$	Laufvariable der unsicheren Einflussfaktoren
$M$	Unschärfe Menge
$MVA$	Market Value Added
$n$	Laufvariable
$N$	Anzahl der möglichen Ereignisse

$N_v$	Nutzwert der Alternative $v$
$Net_{u_i}$	Netzeingabevektor des Faktors $u_i$
$NPV$	Kapitalwert (engl. Net Present Value)
$o_{u_k,p}$	Output-Wert des Faktors $u_k$ einer Komponente der Prämisse $p$
$O_{u_i}$	Output-Funktion für den Faktor $u_i$
$p$	Prämisse zur Kodierung der Regeln
$p_n$	Eintrittswahrscheinlichkeit für das Ereignis $x_n$
$p(u)$	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Zufallsvariablen $U$ innerhalb gesetzter Grenzen
$(p_i, c_i)$	Linguistische Regel mit Prämisse $p_i$ und Konklusion $c_i$
$PR_u$	Prognosefähigkeit des Einflussfaktors $u$
$q_n$	Eintrittswahrscheinlichkeit für das Ereignis $x_n$
$qn1_i$	Realisationen der Zufallsvariablen der Verteilung von $QN1$
$qn2_i$	Realisationen der Zufallsvariablen der Verteilung von $QN2$
$QL$	Qualitativer Einflussfaktor
$QN$	Quantitativer Einflussfaktor
$r_s$	Spearman'scher Korrelationskoeffizient
$R$	Regelwerk
$R(u_k, u_i)$	Regel zur Beschreibung der Wirkbeziehungen zwischen den Einflussfaktoren $u_k$ und $u_i$
$R(qn1_i)$	Rangzahlen der Ausprägungen von $QN1$
$R(qn2_i)$	Rangzahlen der Ausprägungen von $QN2$
$\overline{R(qn1_i)}$	Arithmetisches Mittel der Rangzahlen der Ausprägungen von $QN1$

## Formelzeichen

---

$\overline{R(qn2_i)}$	Arithmetisches Mittel der Rangzahlen der Ausprägungen von $QN2$
$RV$	Risikoverhältnis für die Standortalternative
$S_{G,u_i}$	Gesamte Summe für die Unsicherheit $u_i$
$S_{Z,u_i}$	Summe Zeile der Abhängigkeitsmatrix für die Unsicherheit $u_i$
$S_{S,u_i}$	Summe Spalte der Abhängigkeitsmatrix für die Unsicherheit $u_i$
$t$	Zeitperiode
$T$	Anzahl der betrachteten Zeitperioden (Intervalle)
$TV$	Zielwert für die Standortalternative
$u$	Wert des unsicheren Einflussfaktors
$u_i$	Unsicherer Einflussfaktor $i$
$u_k$	Unsicherer Einflussfaktor $k$
$u_l$	Unsicherer Einflussfaktor $l$
$u_S$	Mit der Schwerpunktmethodemitteltem, defuzzifizierter Wert des unsicheren Einflussfaktors $u$
$u_{uG}$	Untere Grenze
$u_{oG}$	Obere Grenze
$U$	Grundmenge aller unsicheren Einflussfaktoren
$U\_QL_i$	Qualitative Unsicherheit
$U\_QN_j$	Quantitative Unsicherheit
$UPZ_i$	Unsicherheitsprioritätszahl des Einflussfaktors $i$
$V(u_i)$	Vorgängermenge für den Einflussfaktor $u_i$
$w$	Wahrscheinlichster Wert der Dreiecksverteilung

$w_{Ex}$	Gewichtung der externen Eingabe
$w_{Net}$	Gewichtung der Netzeingabe
$w_{Net}(u_k, u_l)$	Gewichtung der Netzeingabe der Abhängigkeit von $u_k$ zu $u_l$
$x_n$	Realisiertes Ereignis $n$ der Zufallsvariablen $X$
$x_t$	Wert des Einflussfaktors $x$ in der Zeitperiode $t$
$X$	Zufallsvariable
$z$	Anzahl der Unsicherheiten
$Z$	Zufallereignisknoten





# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangssituation und Motivation

Am Standort Deutschland waren Ende 2010 ca. 7,8 Millionen Menschen direkt im produzierenden Gewerbe<sup>1</sup> beschäftigt, das sind 18,9 % aller Erwerbstätigen in Deutschland<sup>2</sup> (STATISTISCHES BUNDESAMT 2010). Darüber hinaus sichern diese Stellen weitere Beschäftigung im Dienstleistungssektor, z. B. in der Logistik oder in der Informations- und Kommunikationstechnik. Werden diese Sektoren hinzugezählt, ist fast jeder zweite Arbeitsplatz in Deutschland mit dem produzierenden Gewerbe verbunden (MCKINSEY&COMPANY 2009). Diese zentrale Stellung der Produktion in Deutschland wurde erst kürzlich durch die weltweite Finanzkrise deutlich, die Deutschland wesentlich besser als andere Volkswirtschaften überstanden hat (ABELE & REINHART 2011).

Die Rahmenbedingungen für produzierende Unternehmen haben sich in den letzten Jahren verändert (KOUVELIS & SU 2007, DUNNING & LUNDAN 2008, SCHUH ET AL. 2011). Das Entstehen großer Wirtschaftsräume und die Erweiterung der EU, der Abbau von Handelshürden, moderne Methoden zur Steuerung globaler Lieferketten in Echtzeit und die hohe Lohnkostendynamik sind Kennzeichen der sog. *Globalisierung* (PETERS ET AL. 2006, ABELE & REINHART 2011). Darüber hinaus verkürzen sich die Lebenszyklen von Produkten und von eingesetzten Technologien stetig (LINDEMANN ET AL. 2009, ZAEH ET AL. 2009). Aus diesen geänderten Rahmenbedingungen resultieren für produzierende Unternehmen zunehmend komplexere Wettbewerbsbedingungen in dynamischen und stark umkämpften Absatzmärkten (ABELE ET AL. 2008). Ein solches Unternehmensumfeld wird häufig auch als *turbulent* bezeichnet (CHAKRAVARTHY 1997, WIENDAHL ET AL. 2007). Um auf dieses Umfeld reagieren zu können, sind viele Unternehmen gezwungen, ihre Wettbewerbs- und Kostenposition durch die Erschließung neuer Märkte und eine strukturierte Vernetzung einzelner Produk-

---

<sup>1</sup> Zum produzierenden Gewerbe werden die Wirtschaftszweige Baugewerbe, Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden, Energie- und Wasserversorgung sowie das verarbeitende Gewerbe gezählt. Das verarbeitende Gewerbe beinhaltet u. a. die Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren, die Herstellung von Metallerzeugnissen und von elektrischen Ausrüstungen, die Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen, den Maschinenbau, die Metallerzeugung und -bearbeitung, usw. (STATISTISCHES BUNDESAMT 2010).

<sup>2</sup> Diese Zahlenangaben beziehen sich auf das produzierende Gewerbe ohne das Baugewerbe.

tionsstandorte zu verbessern (HUMMEL 1997, REINHART ET AL. 2006, KOHLER 2008, ISI 2009, REITHOFER 2010). Sich dadurch ergebende Kostenvorteile können beim Aufbau von Produktionen in Niedriglohnländern durch die – im Vergleich zu den Hochlohnländern wie Deutschland – wesentlich geringeren Lohnkosten und Steuerbelastungen noch verstärkt werden (ZÄH ET AL. 2005, VASAK 2005, INSTITUT DER DEUTSCHEN WIRTSCHAFT 2009).

Zum Aufbau von Produktionsstandorten im Ausland werden von Unternehmen insbesondere Verlagerungen von Teilen der bestehenden Produktion durchgeführt (GEISSBAUER & SCHUH 2004, WILDEMANN 2005, ABELE ET AL. 2006), wobei die Verlagerungstendenz durch die Erweiterung der EU und das Wachstum der sog. BRIC-Staaten (Brasilien, Russland, Indien und China) noch erhöht wird (MATTES & STROTMANN 2005, KINKEL & MALOCA 2010, ABELE ET AL. 2010). Eine Umfrage des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung (ISI) im Jahr 2009 bei ca. 1.500 Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes in Deutschland ergab, dass im Schnitt 9 % der Unternehmen zwischen 2007 und 2009 bei Verlagerungen aktiv waren (ISI 2009). Die Verlagerungsintensität hängt allerdings sehr stark von der Unternehmensgröße und der Konkurrenzsituation der jeweiligen Branche durch die zunehmende Globalisierung ab. So waren im Jahr 2009 Unternehmen mit mehr als 1.000 Beschäftigten zu 45 % und Unternehmen bis 249 Beschäftigte lediglich zu 3 % bei Verlagerungen aktiv. Dominierte Branchen bei Verlagerungen sind die Elektroindustrie und der Fahrzeugbau: 23 % der Betriebe der Elektroindustrie und 20 % der Unternehmen des Fahrzeugbaus (inkl. Zulieferer) verlagerten Teile ihrer Produktion ins Ausland. Als Zielregionen wurden von deutschen Unternehmen 2009 besonders die neuen EU-Länder, China und das restliche Asien gewählt (vgl. Abbildung 1).

Bei der Auswahl eines geeigneten Produktionsstandorts ist stets eine Vielzahl von Annahmen für die die Entscheidung beeinflussenden Faktoren zu treffen. Faktoren wie Währungskurse, die Nachfrage nach dem am Standort produzierten Produkt oder Material- und Rohstoffpreise können einer Schwankung unterliegen und teilweise voneinander abhängig sein. Aufgrund des langen Planungshorizonts von Standortentscheidungen können die zum Zeitpunkt der Entscheidungsfindung getroffenen Annahmen erheblich von den realen Entwicklungen der Faktoren abweichen und sich z. B. Vorteile wie Lohnkosteneinsparungen zum Nachteil entwickeln (REINHART ET AL. 2006, MILBERG & MÖLLER 2008, NYHUIS ET AL. 2008, MÜHLENBRUCH 2008, KOHLER 2008, SIHN ET AL. 2010). Die Nichtberücksichtigung dieser Abweichungen kann die Wirtschaftlichkeit des Standorts erheblich beeinflussen und damit auch zu Rückverlagerungen von bereits verla-

gerten Produktionen führen (SCHULTE 2002). Laut der Umfrage des Fraunhofer ISI haben 51 % aller im Jahr 2009 bei Verlagerungen aktiven Unternehmen ihre Produktion aus den neuen EU-Ländern wieder nach Deutschland zurück verlagert, aus China und dem restlichen Asien waren es 16 bzw. 7 %. Neben der unterschätzten dynamischen Entwicklung der Personalkosten sowie der Transport- und Logistikkosten bei einer Produktion im Ausland sind vor allem sog. *qualitative* Faktoren Auslöser für Rückverlagerungen der Produktion nach Deutschland (vgl. Abbildung 1). Qualitätsprobleme vor Ort aufgrund kultureller Unterschiede, die Lieferfähigkeit, der Koordinations- und Kontrollaufwand, die Verfügbarkeit qualifizierter Fachkräfte oder der mit hoher Mitarbeiterfluktuation verbundene Know-how-Verlust sind qualitative Faktoren, die nicht direkt monetär bewertbar sind, aber auf die Wirtschaftlichkeit eines Produktionsstandorts einen erheblichen Einfluss haben (MEYER 2006, GÖPFERT 2006, RÜSTIG 2007, DERVISOPOULOS ET AL. 2008, WEILER 2010).

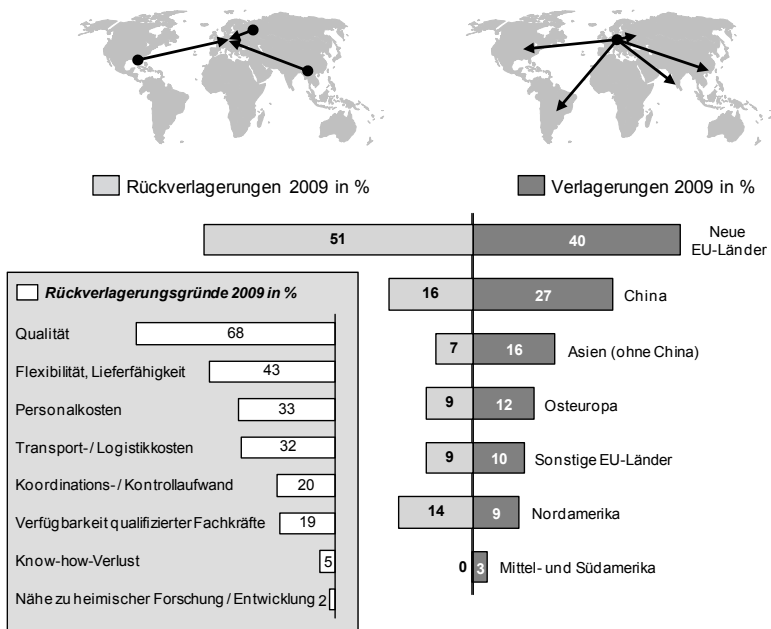


Abbildung 1: Zielregionen von Verlagerungen und Rückverlagerungen inkl. Rückverlagerungsgründe in 2009 (ISI 2009)

Die obigen Ausführungen machen deutlich, dass bei Standortentscheidungen eine Vielzahl von Faktoren zu berücksichtigen ist, die einer Unsicherheit unterliegen können (CANADA & SULLIVAN 1989, REINHART ET AL. 2006, DUNNING & LUNDAN 2008, MÜHLENBRUCH 2008, CHOU ET AL. 2008, KLIBI ET AL. 2010, LANZA & UDE 2010). Insbesondere das Zusammenwirken dieser Faktoren kann zu einem Risiko für produzierende Unternehmen führen (KOPEL 1994, KRATZHELLER 1997, ALBRECHT & HUESKE 2010). In der Praxis werden Entscheidungen von Unternehmen zur Verlagerung der Produktion bzw. zum Aufbau einer Produktion im Ausland häufig vorschnell getroffen, obwohl sie schwer und nur mit erheblichen Kosten zu widerrufen sind (SNYDER 2006, KPMG 2006). So können Fehlentscheidungen aufgrund der mit einem Aufbau eines neuen Standorts verbundenen Investitionshöhen nicht nur zu einer Rückverlagerung führen, sondern das Mutterunternehmen in eine wirtschaftliche Schieflage bringen (SCHULTE 2002, BATES 2005).

Im Jahr 2006 verwendeten laut einer Umfrage von McKinsey&Company und des Instituts für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) lediglich 25 % der Unternehmen standardisierte Werkzeuge zur Unterstützung der Standortwahl (ABELE ET AL. 2006). Analysen werden bisher mehr *nach Gefühl* durchgeführt (KPMG 2006). Existieren unterstützende Werkzeuge, dann liegt der Fokus oft auf dem Bewertungsverfahren selbst und der Bezug zur Praxis wird nicht hergestellt (VOS & AKKERMANS 1996, MEYER 2006). Darüber hinaus konzentrieren sich die Unternehmen bei der Standortauswahl meist auf die Berechnung rein finanzieller Kennzahlen und vernachlässigen qualitative Faktoren bei der Entscheidung (CHAN ET AL. 2006, KUNERT ET AL. 2007, VESTER 2008). Die meisten Unternehmen sind nämlich nicht in der Lage, qualitative Faktoren zu bewerten (DENKENA ET AL. 2007). Dies liegt insbesondere daran, dass das Zusammenwirken zwischen den Einflussfaktoren auf die Bewertung nicht bekannt ist, und zur Berücksichtigung der Abhängigkeiten zwischen den Faktoren keine hinreichenden Lösungsverfahren vorhanden sind (VOIGT 1992, HOLZKÄMPFER 1996, ERBEN 2000, ALBRECHT & HUESKE 2010).

## 1.2 Zielsetzung der Arbeit

Die beschriebene Ausgangssituation und Motivation verdeutlicht, dass produzierende Unternehmen aufgrund der Globalisierung und des turbulenten Umfelds einem immer größer werdenden internationalen Wettbewerbs- und Kostendruck ausgesetzt sind. Die Produktionsstandorte international tätiger Unternehmen sind zunehmend global vernetzt, und die Wahl des einzelnen Standorts wird zu einer strategischen Frage, die ein hohes Risiko birgt. Denn bei der Standortauswahl ist eine Vielzahl von Einflussfaktoren zu berücksichtigen, die einer Unsicherheit unterliegen. Werden diese Unsicherheiten vor der Entscheidungsfindung nicht ausreichend untersucht, kann eine damit verbundene falsche Standortwahl zur Rückverlagerung und zur Insolvenz des Mutterunternehmens führen.

Das übergeordnete Ziel dieser Arbeit ist es daher, den Praxiseinsatz und die Aussagekraft von Methoden zur Auswahl vernetzter Standorte produzierender Unternehmen zu erhöhen. Hierfür ist es erforderlich, sowohl quantitative und qualitative Einflussfaktoren als auch deren Abhängigkeiten zu beachten. Aufgrund des beschriebenen turbulenten Unternehmensumfelds ist es außerdem notwendig, Unsicherheiten zu berücksichtigen und das vorherrschende Risiko im Rahmen der Standortauswahl zu quantifizieren.

Aus den oben genannten Gründen ergibt sich die Aufgabe, eine Methode zur Unterstützung der Standortauswahl produzierender Unternehmen zu entwickeln, die die bestehenden Defizite aufgreift und beseitigt. Um die Praxistauglichkeit zu gewährleisten, soll die Methode in ein Software-Werkzeug integriert werden. Daraus leiten sich folgende Teilziele der Arbeit ab:

- Ganzheitliche Bewertung von in Produktionsnetzen integrierten Standorten durch Berücksichtigung aller relevanter Einflussfaktoren
- Berücksichtigung des turbulenten Unternehmensumfelds durch Integration multidimensionaler (qualitativer und quantitativer) Unsicherheiten
- Beachtung von Abhängigkeiten zwischen den Einflussfaktoren
- Bewertung des Risikos der zur Auswahl stehenden Standortalternativen
- Gewährleistung der Praxistauglichkeit durch Implementierung der entwickelten Methode in ein Software-Werkzeug

## 1.3 Spezifizierung des Untersuchungsbereichs

### 1.3.1 Begriffsdefinitionen

Um ein einheitliches Verständnis in dieser Arbeit zu gewährleisten, werden im Folgenden zunächst die Begriffe *Fabrik*, *Fabrikplanung* und *Produktionsstandort* erläutert.

Eine Fabrik ist definiert als ein „Ort, an dem Wertschöpfung durch arbeitsteilige Produktion industrieller Güter unter Einsatz von Produktionsfaktoren stattfindet“ (VDI 2011, S. 2). Unter der Fabrikplanung wird „der systematische, zielorientierte, in aufeinander aufbauende Phasen strukturierte und unter Zuhilfenahme von Methoden und Werkzeugen durchgeführte Prozess zur Planung einer Fabrik von der Zielfestlegung bis zum Hochlauf der Produktion“ verstanden (VDI 2011, S. 3).

In der Literatur sind diverse Definitionen des Standortbegriffs zu finden (vgl. u. a. HANSMANN 1974, LÜDER & KÜPPER 1983, BANKHOFER 2001). Für diese Arbeit wird der Standort „als der geographische Ort betrachtet, an dem die Unternehmensleitung Produktionsfaktoren zur betrieblichen Leistungserstellung einsetzt“ (HUMMEL 1997, S. 23) und im Folgenden als *Produktionsstandort* bezeichnet. Ein Unternehmen kann mehrere Produktionsstandorte haben; neben dem Unternehmenssitz können Heimatstandorte (national) von Auslandsstandorten (international) unterschieden werden (HARRE 2006). Die unternehmensinternen Leistungs- und Wissensverflechtungen zwischen Produktionsstandorten werden als *Produktionsnetzwerk* bezeichnet (KUTSCHKER ET AL. 2008).

### 1.3.2 Spezifizierung des Betrachtungsbereichs

Die Planung einer Fabrik kann auf den sechs Raumebenen *Netzwerk*, *Standort*, *Generalstruktur*, *Gebäude*, *Bereich* und *Arbeitsplatz* erfolgen (vgl. Abbildung 2). Dabei umfasst die Fabrikplanung die vier Bereiche *Ziele*, *externe Logistik*, *Fabrik / Produktionslogistik* und *Standort*; wobei die Ziele zu Beginn eines jeden Planungsprojekts festzulegen sind. Der Bereich externe Logistik behandelt die Anbindung einzelner Fabriken an externe Logistiknetze und die Gesamtplanung der Logistik. Die Planung einer Fabrik im Bereich Fabrik / Produktionslogistik wird auf den Raumebenen 3 bis 6 vorgenommen (VDI 2011).

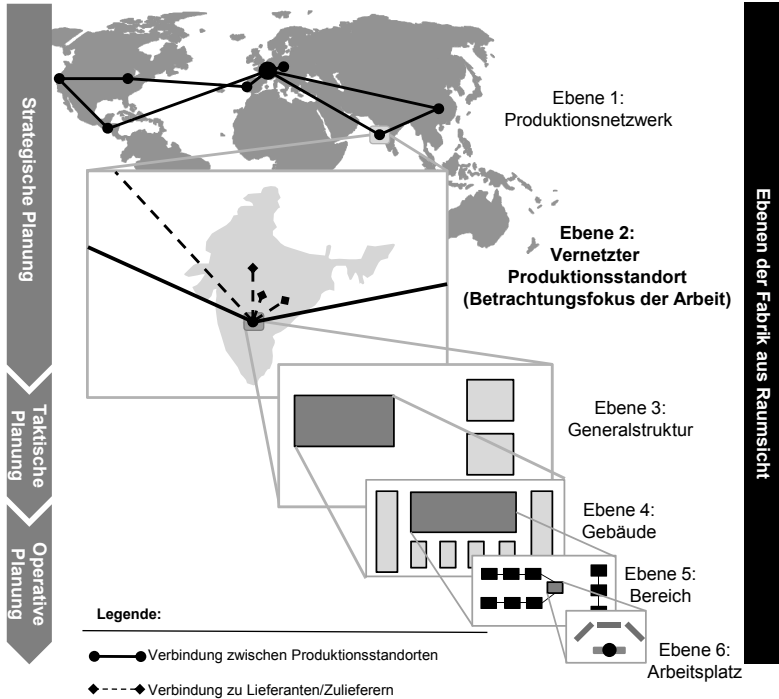


Abbildung 2: Spezifizierung des Betrachtungsbereichs durch die Fabrikebenen nach Raumsicht (in Anlehnung an WIENDAHL ET AL. 2007)

Die Arbeit ist sowohl an kleine und mittelständische als auch an Großunternehmen gerichtet, die den Aufbau eines neuen Produktionsstandorts oder die Verlagerung eines bestehenden Standorts planen. Die Untersuchungen beschränken sich daher auf die Auswahl vernetzter Produktionsstandorte innerhalb des Produktionsnetzwerks eines Unternehmens. *Vernetzt* bedeutet in diesem Kontext, dass bei der Bewertung eines Standorts auch die Lieferbeziehungen zu weiteren, möglicherweise vorhandenen, Produktionsstandorten und Zulieferern des Unternehmens berücksichtigt werden. Sowohl die Planung von Produktionsnetzwerken als auch von vernetzten Produktionsstandorten ist Gegenstand der *strategischen Planung* eines Unternehmens (SCHMIGALLA 1995, GRUNDIG 2006). Die strategische Planung umspannt einen langfristigen Zeitraum von mehreren Jahren und wird durch das obere Management von Unternehmen durchgeführt. Die *taktische* und die *operative Planung* dagegen besitzen einen geringeren Zeitbezug und fo-

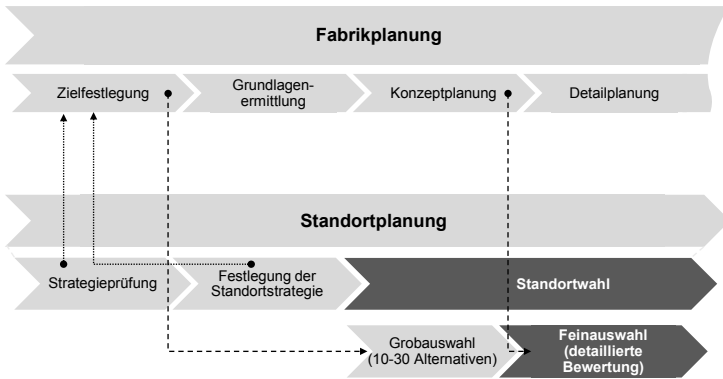
kussieren die niedrigeren Planungsebenen von der Generalstrukturplanung über die Gebäude- bis zur Bereichs- und Arbeitsplatzplanung (JACOB 2006). Die taktische und die operative Planung werden in dieser Arbeit nicht adressiert.

Der Ablauf der Standortplanung lässt sich in die drei Phasen *Strategieprüfung*, *Festlegung der Standortstrategie* und *Standortwahl* einteilen (vgl. Abbildung 3). Im Rahmen der Strategieprüfung sind basierend auf den Unternehmenszielen, der Unternehmensstrategie und der Produkt- bzw. Produktionsstrategie die Ziele für die Standortplanung abzuleiten. In der nächsten Phase, der Festlegung der Standortstrategie, ist in Abhängigkeit des existierenden bzw. geplanten Produktportfolios, der bestehenden Produktionsprozesse und des vorhandenen Produktionsnetzwerks festzulegen, welche Produkte mit welchen Prozessen an welchem Standort in Zukunft produziert werden (VDI 2010). In dieser Phase wird definiert, ob ein neuer Standort aufzubauen ist bzw. ob eine Verlagerung eines Standorts in Frage kommt.

Anschließend erfolgt die Standortwahl, die sich in die zwei Phasen *Grobauswahl* und *Feinauswahl* unterteilen lässt (GRUNDIG 2006). Die Grobauswahl trifft basierend auf den Zielen für die Standortwahl eine Vorauswahl möglicher Standorte. Hierzu sind ein Anforderungsprofil für den aufzubauenden Standort zu erarbeiten und für die einzelnen Standortalternativen Ist-Profile zu erstellen. Die Profile werden anhand definierter globaler, regionaler und lokaler Faktoren wie z. B. politische Stabilität, Klimabedingungen, Infrastruktur und Bodenbeschaffenheit mit dem Anforderungsprofil verglichen. Auf diese Weise wird eine sog. *Long-List* von 10–30 möglichen Standortalternativen erstellt. Aus diesen werden im Rahmen der Feinauswahl 3–5 Alternativen ausgewählt, die dann detailliert zu bewerten sind (ABELE ET AL. 2008).

Die detaillierte Bewertung ist Fokus dieser Arbeit. Unter einer *Bewertung* wird “die Zuordnung eines Werts, zumeist in Form einer Geldgröße, zu einem Gegenstand – dem Bewertungsobjekt – durch das jeweilige Bewertungssubjekt verstanden“ (MATSCHKE & BRÖSEL 2007, S. 3). In dieser Arbeit ist der Produktionsstandort eines Unternehmens das Bewertungsobjekt, und die an der Standortbewertung beteiligten Personen sind das Bewertungssubjekt. Bewertungen können sowohl anhand eines monetären als auch anhand eines nicht-monetären Werts erfolgen. Jedoch erlaubt nur eine monetäre Bewertung Aussagen über die Wirtschaftlichkeit eines Bewertungsobjekts (GÖTZE 2008, KINKEL 2009a). Daher wird als *Wert* in dieser Arbeit die monetäre Größe zur Quantifizierung des Bewertungsobjekts bezeichnet.





**Legende:**

■ Fokus dieser Arbeit

●.....→ Standortplanung liefert Informationen für die Fabrikplanung

●---→ Fabrikplanung liefert Informationen für die Standortplanung

*Abbildung 3: Ablauf der Standortplanung und Schnittstellen zur Fabrikplanung (in Anlehnung an VDI 2010, VDI 2011)*

In Abbildung 3 sind neben dem Ablauf der Standortplanung auch die korrespondierenden Phasen der Fabrikplanung gezeigt, um die vorhandenen Schnittstellen zwischen den beiden Planungsdisziplinen aufzuzeigen. Zum einen sind bestimmte Informationen der ersten beiden Phasen der Standortplanung zu Beginn der Fabrikplanung relevant, zum anderen sind bei der Standortwahl die Ziele und die Konzepte der neu aufzubauenden Fabrik zu beachten (VDI 2010).

Die zu entwickelnde Methode soll den Praxiseinsatz und die Aussagekraft von Methoden zur Bewertung von Produktionsstandorten erhöhen. Daher richtet sich die Arbeit zum einen an Spezialisten in Planungsabteilungen von Unternehmen und Berater mit einem produktionstechnischen Hintergrund, die in Projekte zur Standortplanung produzierender Unternehmen eingebunden sind, und zum anderen an Entscheider im Management, die letztendlich die Standortplanung verantworten.

## 1.4 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in 8 Kapitel (vgl. Abbildung 4). In den vorangegangenen Abschnitten von Kapitel 1 wurde bereits die Ausgangssituation und Motivation dargelegt. Darauf aufbauend sind die Zielsetzung der Arbeit formuliert und der Untersuchungsbereich spezifiziert worden.



Abbildung 4: Aufbau der Arbeit

In Kapitel 2 werden die wesentlichen Grundlagen erläutert, die für das Verständnis dieser Arbeit notwendig sind. Da bei der Standortwahl eine Vielzahl von Faktoren zu berücksichtigen ist, deren Verlauf sich nicht mit Sicherheit vorhersagen lässt, werden zunächst die Einflussfaktoren nach ihrer Quantifizierbarkeit unterschieden und die Begriffe Risiko und Unsicherheit voneinander abgegrenzt. Anschließend sind geeignete Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsbewertung beschrieben.

Darauf aufbauend werden in Kapitel 3 wissenschaftliche Arbeiten aus den Forschungsgebieten der Fabrik- und Standortplanung hinsichtlich ihrer Eignung zur Erfüllung der Zielsetzung der vorliegenden Arbeit analysiert. Auf diese Weise werden zum einen die Defizite der bestehenden Ansätze aufgezeigt und zum an-

deren Teilaspekte einzelner Ansätze identifiziert, die in dieser Arbeit berücksichtigt werden können. Basierend auf den Erkenntnissen aus Kapitel 2 und 3 sind in Kapitel 4 die Anforderungen an eine Methode zur Bewertung vernetzter Produktionsstandorte erläutert.

In Kapitel 5 wird erklärt, wie die im Rahmen der Standortbewertung zu berücksichtigenden unsicheren Einflussfaktoren modelliert werden können. Ausgehend von der Modellierung der einzelnen quantitativen und qualitativen Unsicherheiten wird beschrieben, wie auftretende Abhängigkeiten zwischen den Unsicherheiten abzubilden sind.

Basierend auf den Ausführungen in Kapitel 5, wird in Kapitel 6 die Methode zur Bewertung vernetzter Produktionsstandorte entwickelt. Neben dem in Kapitel 5 hergeleiteten Unsicherheitsmodell, stehen die Aufstellung des Kalkulationsmodells, die Beschreibung eines Vorgehens zur Identifikation von Einflussfaktoren sowie die Bewertung und Analyse möglicher Standortalternativen im Fokus des Kapitels.

Die praktische Umsetzung der Methode behandelt Kapitel 7. Zunächst wird beschrieben, wie die in dieser Arbeit entwickelte Methode in das am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) der Technischen Universität München in Kooperation mit der Siemens AG entwickelte Software-Werkzeug PlantCalc<sup>®</sup> integriert wurde. Anschließend wird die Methode zunächst anhand eines Projektbeispiels angewendet und dann bewertet. Die Bewertung erfolgt, indem die aus der Anwendung gewonnenen Erfahrungen bzgl. der Anforderungen sowie hinsichtlich Aufwand und Nutzen validiert werden. Zum Abschluss erfolgt in Kapitel 8 eine Zusammenfassung der Arbeit sowie ein Ausblick auf mögliche Weiterentwicklungen und zukünftige Forschungsfragen.



## 2 Grundlagen

### 2.1 Allgemeines

In Abschnitt 1.1 wurde erläutert, dass aufgrund des turbulenten Umfelds viele produzierende Unternehmen versuchen, ihre Wettbewerbs- und Kostenposition durch eine strategische Standortwahl zu verbessern. Bei der im Rahmen der Standortauswahl durchzuführenden detaillierten Bewertung von Standortalternativen (vgl. Abbildung 3) ist eine Vielzahl von Einflussfaktoren zu berücksichtigen, die in Abschnitt 2.2 klassifiziert werden. Außerdem unterliegen viele dieser Faktoren einer Unsicherheit, die zu einem Risiko für das Unternehmen führen kann. Daher sind in Abschnitt 2.3 die Begriffe Risiko und Unsicherheit definiert und voneinander abgegrenzt. Eine detaillierte Bewertung von Standortalternativen erfolgt basierend auf monetären Dokumentations- und Planungsgrößen, die durch das in Abschnitt 2.4 erläuterte Rechnungswesen bereit gestellt werden. Da sich nicht alle Einflussfaktoren für die monetäre Bewertung mit Sicherheit voraussagen lassen, werden in 2.5 bzw. 2.6 Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsbewertung unter Unsicherheiten bzw. multikriterielle Bewertungs- und Entscheidungsverfahren vorgestellt.

### 2.2 Einflussfaktoren auf die Bewertung vernetzter Produktionsstandorte

#### 2.2.1 Allgemeines

Die Grundlage einer jeden Standortwahl bilden die dabei zu berücksichtigenden Einflussfaktoren (BERNDT & ALTABELLI 1998). Es findet sich in der Literatur eine Vielzahl von Definitionen (vgl. u. a. WEBER 1909, HANSMANN 1974, BESTMANN & EBERT 2001) für diese Faktoren, meist werden sie als *Standortfaktoren* bezeichnet (HUMMEL 1997). WILDEMANN (1997) versteht unter Standortfaktoren maßgebliche Einflussfaktoren bei der Standortwahl, welche sich aus den örtlich vorhandenen Sachverhalten und Bedingungen ergeben.

Im Rahmen dieser Arbeit werden Einflussfaktoren auf die Standortwahl wie folgt definiert:

*Einflussfaktoren sind alle Faktoren, die individuell und in ihrer Gesamtheit die Eignung eines Standorts im Rahmen der Standortwahl eines produzierenden Unternehmens beeinflussen.*

In der wissenschaftlichen Literatur existieren viele Klassifizierungen von Einflussfaktoren. Hinsichtlich ihres Gültigkeitsbereichs werden häufig *globale* und *regionale Einflussfaktoren* unterschieden (vgl. u. a. WEBER 1909, SCHMIGALLA 1995, GRUNDIG 2006). Darauf aufbauend unterscheidet BEHRENS (1971) zwischen *gütereinsatzbezogenen* und *absatzbezogenen Faktoren*. SALMEN (2001) klassifiziert zwischen *Push-* und *Pull-Faktoren*. Pull-Faktoren kennzeichnen eine hohe Standortattraktivität, Push-Faktoren stehen für das Gegenteil. Auch ist es möglich, Einflussfaktoren nach ihren finanziellen Folgen oder ihrer Beeinflussbarkeit zu kategorisieren (vgl. VAUGHAN 1997, ROGLER 2002). ABELE ET. AL (2006) differenzieren zwischen *Standort-* und *Prozessfaktoren*. Als Prozessfaktoren werden dabei diejenigen Faktoren bezeichnet, die den Fertigungsprozess eines bestimmten Produkts beschreiben, wie z. B. der Raumbedarf oder das benötigte Know-how für die Fertigung. KINKEL (2009b) ergänzt die von BEHRENS (1971) entwickelte Klassifizierung in *gütereinsatzbezogene* Faktoren (sog. Produktionsfaktoren) und *absatzbezogene* Faktoren (sog. Marktfaktoren) um *Performancefaktoren*. Als Performancefaktoren werden Faktoren bezeichnet, die das standortspezifische Leistungspotential einer Standortalternative beeinflussen.

Darüber hinaus können Einflussfaktoren hinsichtlich ihrer Messbarkeit in *quantitative* und *qualitative Faktoren* unterschieden werden (HANSMANN 1974, WILDEMANN 2006, BUHMANN & SCHÖN 2009). Wie bereits in Abschnitt 1.1 erläutert, ist diese Unterscheidung im Rahmen der Standortwahl von hoher Bedeutung, da insbesondere die qualitativen Einflussfaktoren häufig vernachlässigt werden. Im nächsten Abschnitt werden daher zunächst qualitative und quantitative Einflussfaktoren spezifiziert, bevor in Abschnitt 2.2.3 auf mögliche Wirkbeziehungen zwischen qualitativen und quantitativen Faktoren eingegangen wird.

### **2.2.2 Quantitative und qualitative Einflussfaktoren**

Quantitative Einflussfaktoren sind in der Art und der Höhe ihres Eintretens zahlenmäßig messbar (ROSENKRANZ & MISSLER-BEHR 2005). Wie bereits in Kapitel 1 beschrieben, ist, bezogen auf die Zielsetzung dieser Arbeit, der in einem

Gelbetrag ausdrückbare Wert eines Produktionsstandorts von entscheidender Bedeutung. Die bei der Standortbewertung zu berücksichtigenden quantitativen Einflussfaktoren, die durch einen Geldbetrag beschrieben werden können, werden als *monetäre Einflussfaktoren* bezeichnet (BRIEKE 2009). Jedoch lässt sich nicht jeder quantitative Einflussfaktor sofort in einem monetären Wert ausdrücken (REINHART ET AL. 2008a): Die Art und Höhe eines quantitativen Einflussfaktors kann durch einen Zahlenwert repräsentierbar sein, während die monetäre Auswirkung auf die Wirtschaftlichkeit des Standorts trotzdem schwer zu erfassen ist. Ein Beispiel ist die Fluktuationsrate der Mitarbeiter. Dieser Einflussfaktor ist zwar leicht quantifizierbar, jedoch sind die monetären Konsequenzen einer hohen Fluktuation nicht einfach abschätzbar. Aus den oben gegebenen Erläuterungen lässt sich die Definition für quantitative Einflussfaktoren für diese Arbeit ableiten:

*Als quantitative Einflussfaktoren werden alle Faktoren bezeichnet, deren Ausprägung anhand einer messbaren Größe bestimmt und als Zahlenwert angegeben werden kann.*

Quantitative Einflussfaktoren im Rahmen der Standortbewertung sind z. B. Lohn- und Materialkosten, Wechselkurse, Stückzahlen oder Lieferzeitpunkte. Während quantitative Faktoren metrisch skaliert vorliegen und damit auch über mathematische Zusammenhänge aggregiert werden können, ist die Berücksichtigung qualitativer Faktoren bei der Auswahl von Standorten nicht trivial (MEYER 2006). Qualitative Einflussfaktoren werden oft in Ordinalskalen angegeben, die lediglich eine Bewertung durch Begriffe wie *hoch* oder *niedrig* zulassen (URBAN 1998, BRIEKE 2009). Eine Zuordnung von konkreten Zahlenwerten ist dagegen nicht möglich (HUMMEL 1997, ABELE ET AL. 2006). Meist liegen qualitative Faktoren als Expertenschätzung vor und sind inhaltlich nicht präzise oder allgemeingültig definierbar, da sie von unterschiedlichen Personen auf unterschiedliche Weise interpretiert und verwendet werden (ZIMMERMANN ET AL. 1993, ROMMELFANGER 1994, KEIL 1996, UDE 2010). Bspw. lassen sich Aussagen wie *hohe* kulturelle Unterschiede, *sehr hoher* Koordinations- und Kommunikationsaufwand oder *geringe* wirtschaftliche Stabilität an einem Produktionsstandort nicht eindeutig abgrenzen oder in exakte Zahlenwerte transformieren. Daraus lässt sich folgende Definition für diese Arbeit ableiten:

*Als qualitative Einflussfaktoren werden alle Faktoren bezeichnet, deren Ausprägung zwar über bestimmte Eigenschaften beschreibbar ist, jedoch nicht als Zahlenwert angegeben werden kann.*

### 2.2.3 Abhängigkeiten zwischen Einflussfaktoren

„Jeder Standortfaktor – egal ob qualitativ oder quantitativ – wirkt letztendlich über verschiedene Zwischengrößen auf den Umsatz oder die Kosten“ (BUHMANN & SCHÖN 2009, S. 283). Auch HUMMEL (1997) und DENK (2005) teilen diese Ansicht und betonen, dass die Bedeutung der qualitativen Einflussfaktoren bei der Standortbewertung vor allem aufgrund ihrer Abhängigkeiten untereinander nicht vernachlässigt werden sollte. Denn die Ausprägung eines singulären Einflussfaktors kann aufgrund seiner Abhängigkeiten mehrere unterschiedliche Unsicherheiten auslösen, die zu einem hohen Risiko für das Unternehmen führen (SCHUY 1989, KRATZHELLER 1997, ERBEN 2000). Die oben genannten Aussagen verdeutlichen, dass die Abhängigkeiten zwischen Einflussfaktoren im Rahmen der Standortauswahl zu berücksichtigen sind.

Derzeit werden die Abhängigkeiten zwischen den im Rahmen der Standortwahl zu berücksichtigenden Einflussfaktoren nur unzureichend betrachtet (BANKHOFER 2001, ALBRECHT & HUESKE 2010). In der wissenschaftlichen Literatur existieren erste Ansätze zur Abbildung von Kausalbeziehungen zwischen den Einflussfaktoren auf eine Bewertung. Bspw. analysieren BUHMANN & SCHÖN (2009) in ihrem Ansatz Ursache-Wirkungsbeziehungen zwischen Standortfaktoren und stellen Wirkketten zwischen den Faktoren auf. Auch MEYER (2006) macht deutlich, dass vielfältige Abhängigkeiten zwischen den im Rahmen der Standortbewertung zu integrierenden qualitativen und quantitativen Einflussfaktoren existieren. Zwischen den Einflussfaktoren können aber auch indirekte Wirkungen und Beziehungsnetze vorhanden sein; solche Abhängigkeiten werden jedoch meist nicht bei Entscheidungen berücksichtigt (VESTER 2008).

Es können zwei grundlegende Arten von Abhängigkeiten zwischen Einflussfaktoren unterschieden werden: *Scharfe* und *unscharfe Abhängigkeiten* (vgl. Abbildung 5). Eine scharfe Abhängigkeit bedeutet, dass es möglich ist, diese durch eine exakte mathematische Funktion quantitativ zu beschreiben. Sobald einer der abhängigen Faktoren qualitativ ist, handelt es sich um eine unscharfe Abhängigkeit (REINHART ET AL. 2008a).



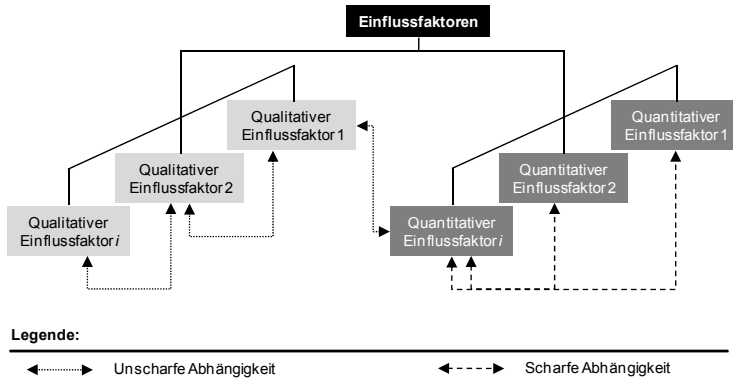


Abbildung 5: Arten der Abhängigkeiten zwischen Einflussfaktoren

Ein scharfe Abhängigkeit liegt bspw. bei dem Zusammenhang zwischen dem Wechselkursverhältnis Euro–US Dollar und dem Ölpreis vor (N.N. 2008): Zwischen diesen beiden Faktoren besteht zwar kein Zusammenhang in Form einer mathematischen Funktion, jedoch werden gewisse Ausprägungskombinationen zwischen diesen beiden Faktoren häufig beobachtet. Ein solches Phänomen zwischen zwei Faktoren wird als *Korrelation* bezeichnet (STELAND 2010).

Unschärfe Abhängigkeiten dagegen lassen sich nicht mathematisch berechnen, sondern nur qualitativ durch Angabe von *Wirkbeziehungen* beschreiben (ADAM 1996). Unter einer Wirkbeziehung wird in dieser Arbeit die Abhängigkeit zwischen den qualitativen Einflussfaktoren untereinander sowie zwischen qualitativen und quantitativen Einflussfaktoren verstanden. Bspw. beeinflusst der qualitative Einflussfaktor *kulturelle Unterschiede* den Faktor *Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit von Lieferanten* (WINKLER ET AL. 2007). Der Faktor *Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit von Lieferanten* hat wiederum Auswirkungen auf den qualitativen Faktor *am Standort fertigtbare Produktqualität*, welcher durch den Faktor *Verfügbarkeit qualifizierter Arbeitskräfte* beeinflusst wird und gleichzeitig Auswirkungen auf den quantitativen Faktor *Nacharbeitskosten* hat (PIOTTI 2009).

## 2.3 Risiko und Unsicherheit

### 2.3.1 Allgemeines

Wie bereits in den vorangegangenen Abschnitten verdeutlicht, ist bei der Standortwahl eine Vielzahl qualitativer und quantitativer Einflussfaktoren zu berücksichtigen. Diese Faktoren können einer Unsicherheit unterliegen und somit ein Risiko für das produzierende Unternehmen darstellen. Es wird zunächst der Begriff des Risikos erläutert (Abschnitt 2.3.2), bevor darauf aufbauend der Begriff der Unsicherheit abgeleitet und definiert (Abschnitt 2.3.3) wird.

### 2.3.2 Risiko

Der Risikobegriff wird im täglichen Sprachgebrauch häufig verwendet. Eine hohe Vielfalt an Risikosituationen erschwert es, eine klare Strukturierung des Begriffes vorzunehmen. In der Forschung wird der Begriff Risiko *informations-* bzw. *ursachenorientiert* oder *wirkungsorientiert* beschrieben (NICKLISCH 1912, KNIGHT 1921).

#### **Informations- bzw. ursachenorientierter Risikobegriff**

Der informationsorientierte Risikobegriff stammt aus dem Bereich der Entscheidungstheorie und wurde schon im Jahr 1921 von KNIGHT (1921) geprägt. In der Entscheidungstheorie wird eine Entscheidungssituation durch eine bestimmte Menge von Handlungsalternativen, die jeweils abhängig von der in Zukunft eintretenden Umweltsituation unterschiedliche Ergebnisse bewirken, beschrieben (WÖHE ET AL. 2002). Je nach Kenntnisstand kann zwischen einer Entscheidung *unter Sicherheit* und einer Entscheidung *unter Unsicherheit* unterschieden werden. Bei der Entscheidung unter Sicherheit verfügt der Entscheider über Informationen, die es ihm möglich machen, eine sichere Aussage über den zukünftigen Umweltzustand zu treffen. Die Menge der möglichen Zustände reduziert sich auf ein Element. Dagegen sind bei einer Entscheidung unter Unsicherheit mehrere zukünftige Zustände möglich. Es kann hier weiter unterschieden werden zwischen einer *Risiko-* und einer *Ungewissheitssituation*. Risiko bedeutet, dass zwar mögliche Umweltzustände bekannt sind, diesen aber lediglich bestimmte Eintrittswahrscheinlichkeiten zuordnet werden können. Diese Art von Risikodefinition wird auch als ursachenbezogener Risikobegriff bezeichnet, „*da er stark auf die Ursachenseite der Risikoentstehung fokussiert, ohne einen Bezug zu möglichen Wirkungen des Risikos herzustellen*“ (HEIN 2007, S. 39). In diesem Fall

führt die *nicht ausreichende Informiertheit* in der Entscheidungssituation zu einer stochastischen Unsicherheit (GLEIBNER 2004, ROSENKRANZ & MISSLER-BEHR 2005). Sind keine Eintrittswahrscheinlichkeiten bekannt, so wird von *Ungewissheit* gesprochen (siehe dazu bspw. ALBERS 1981, BRAUN 1984, SCHNEEWEIB 1992, ROMMELFANGER & EICKEMEIER 2002, BAMBERG ET AL. 2006).

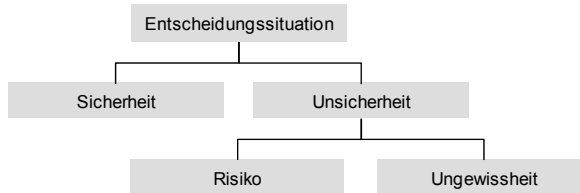


Abbildung 6: Informations- bzw. ursachenorientierter Risikobegriff (in Anlehnung an HEIN 2007)

### Wirkungsorientierter Risikobegriff

Neben der ursachenbezogenen Interpretation von Risiko existiert in der Literatur auch noch eine weitere Gruppe von Autoren, die ein Risiko in erster Linie über seine Wirkung beschreiben (KRELLE 1957, WITTMANN 1959, ALBERS 1981, KOCH 1989, KRATZHELLER 1997, ZECH 2002, GRAF 2002, LÜCK ET AL. 2002). So definierte schon NICKLISCH (1912) Risiko als „Möglichkeit der Zielverfehlung“ (NICKLISCH 1912 zitiert nach BRAUN 1984, S. 23). LÜCK ET AL. (2002) erweitern diese Definition um die Möglichkeit, „dass das tatsächliche Ergebnis einer unternehmerischen Aktivität von dem erwarteten Ergebnis abweicht“ (LÜCK ET AL. 2002, S. 230) und bezeichnen Risiko als „alles, was ein Unternehmen an der Erreichung seiner Ziele hindern kann“ (LÜCK ET AL. 2002, S. 230).

Der wirkungsbezogene Risikobegriff lässt sich weiter untergliedern in *reines* und *spekulatives Risiko*. Während bei reinem Risiko lediglich eine negative (unerwünschte) Abweichung möglich ist, kann bei spekulativem Risiko sowohl eine positive Abweichung (*Chance*) als auch eine negative Abweichung (*Gefahr*) eintreten (BROCKHAUS ENZYKLOPÄDIE 1992, GLEIBNER & MEIER 2001). Das spekulative Risiko wird dabei als *unternehmerisches Risiko* bezeichnet, das sich häufig nicht versichern lässt (BRAUN 1984). Abbildung 7 gibt einen Überblick über den wirkungsorientierten Risikobegriff.

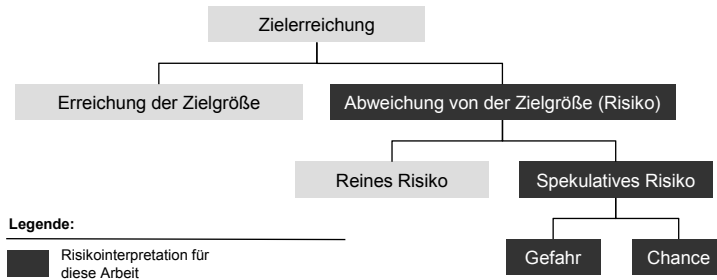


Abbildung 7: *Wirkungsorientierter Risikobegriff*

Darüber hinaus existiert eine hybride Interpretation des Risikos als Mischform aus der informations- bzw. ursachenorientierten und wirkungsorientierten Interpretation. Danach wird Risiko sowohl als Folge mangelnder Information betrachtet (informations- bzw. ursachenorientierte Interpretation) als auch als negative Abweichung von einer Zielgröße definiert (wirkungsorientierte Interpretation) (ALBERS 1981, SCHULTE ET AL. 1996, KRATZHELLER 1997, STEINMETZ 2007).

Die beschriebene Ausgangssituation und Problemstellung haben verdeutlicht, dass die Standortauswahl von einer Vielzahl von Einflussfaktoren abhängt, die eine Auswirkung auf die Wirtschaftlichkeit als Zielgröße einer Bewertung haben. Dies entspricht der wirkungsorientierten Interpretation von Risiko. Aus diesem Grund wird Risiko für diese Arbeit als wirkungsorientiert und im Sinne des spekulativen Risikos verstanden:

*Unter einem Risiko wird die aus einer Unvorhersehbarkeit der Zukunft resultierende Möglichkeit der Abweichung von der geplanten Zielgröße des produzierenden Unternehmens verstanden.*

### 2.3.3 Unsicherheit

Wie in Abschnitt 2.3.2 beschrieben, kann es bei klassischen Entscheidungssituationen zu einer Risikosituation kommen, wenn im Rahmen der Entscheidungssituation nicht mit Sicherheit bekannt ist, welcher Umweltzustand in der Zukunft eintreten wird. Diese Unsicherheit wird in dieser Arbeit als stochastische Unsicherheit interpretiert:

*Unter einer stochastischen Unsicherheit wird eine Unvorhersehbarkeit verstanden, die aus einem Mangel an Information resultiert.*

Von dieser stochastischen Unsicherheit lässt sich die linguistische Unsicherheit unterscheiden (vgl. Abbildung 8, SCHNEEWEIB 1991, ROSENKRANZ & MISSLER-BEHR 2005).

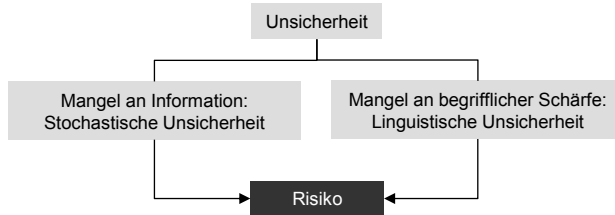


Abbildung 8: Zusammenhang zwischen Unsicherheit und Risiko

Eine *Unschärfe* oder *linguistische Unsicherheit* entsteht, wenn die Annahme einer vollständigen und eindeutig beschriebenen Entscheidungssituation aufgegeben wird. Diese kommt dann zu Stande, wenn Aussagen nicht eindeutig abgegrenzt oder in exakte Zahlenwerte transformiert werden können und entspricht der Definition von qualitativen Einflussfaktoren in dieser Arbeit (vgl. Abschnitt 2.2.2). Qualitative Faktoren werden von verschiedenen Personen auf verschiedene Weise interpretiert und sind daher inhaltlich nicht präzise und allgemeingültig definierbar. Aus diesem Grund werden qualitative Einflussfaktoren im Rahmen dieser Arbeit als linguistische Unsicherheiten betrachtet. Daher lässt sich folgende Definition für diese Arbeit ableiten:

*In Entscheidungssituationen wird unter linguistischer Unsicherheit die Ausprägung eines qualitativen Einflussfaktors auf die Standortbewertung verstanden, die durch einen Mangel an begrifflicher Schärfe hervorgerufen wird.*

Nach der informationsorientierten Risikointerpretation stehen Unsicherheit und Risiko in einem Ursache-Wirkungs-Zusammenhang. Eine Entscheidung unter Unsicherheit hat ein Risiko zur Folge (KRATZHELLER 1997, vgl. Abbildung 8). Daran lehnt sich auch die Definition von Unsicherheit für diese Arbeit an:

*Unter einer Unsicherheit wird eine Unvorhersehbarkeit verstanden, die entweder aus einem Mangel an Information (stochastische Unsicherheit) oder aus einem Mangel an begrifflicher Schärfe (linguistische Unsicherheit) resultiert und zu einem Risiko für produzierende Unternehmen führt.*

### 2.4 Rechnungswesen zur Abbildung des wirtschaftlichen Geschehens

#### 2.4.1 Allgemeines

Jedes erwerbswirtschaftliche Unternehmen handelt nach dem ökonomischen Prinzip, welches die Handlungsmaxime an die Unternehmensführung ausgibt, ein möglichst günstiges Verhältnis zwischen Aufwand bzw. Kosten und Nutzen bzw. Leistung im Rahmen der betrieblichen Wertschöpfung zu erzielen (SCHIERENBECK 2000). Um das ökonomische Prinzip für die Standortauswahl zu gewährleisten, bedarf es gewissen monetären *Dokumentations-* und *Planungsgrößen*, die durch das Rechnungswesen bereit gestellt werden (COENENBERG 1992). Die Dokumentationsgrößen dienen dazu, in der Vergangenheit realisierte Tatbestände zahlenmäßig festzuhalten. Im Gegensatz dazu ermöglichen die Planungsgrößen eine ex ante Zuordnung prognostizierter Werte zu möglichen Planungsalternativen (WÖHE ET AL. 2002). Planungsrechnungen bestimmen so die künftigen Auswirkungen bestimmter Handlungsalternativen (z. B. Standortalternativen) auf die Unternehmensziele und legen damit den Handlungsrahmen für Entscheidungsträger im Unternehmen fest. Durch das Rechnungswesen werden sowohl wirtschaftliche Zustände zu einem bestimmten Zeitpunkt als auch wirtschaftliche Abläufe während eines (meist äquidistanten) Zeitraums quantifiziert, aufbereitet und dargestellt (BUSSE COLBE 1998). Demzufolge schließt das Rechnungswesen einerseits die Mengen- und Wertgerüste der innerbetrieblichen Funktionen (Beschaffung, Produktion und Absatz) ein, andererseits umfasst es auch Beziehungen des Unternehmens zu seinen *Anteilseignern* (engl. *Shareholdern*) (BUCHHOLZ & GERHARDS 2009). Im Folgenden wird zunächst das Rechnungswesen systematisiert (Abschnitt 2.4.2), bevor zwei für die Standortauswahl relevante Verfahren des Rechnungswesens näher erläutert werden (Abschnitt 2.4.3 und Abschnitt 2.4.4).

#### 2.4.2 Systematisierung des Rechnungswesens nach den betriebswirtschaftlichen Zielen

Zur Gliederung des Rechnungswesens eignen sich die betriebswirtschaftlichen Ziele *Erfolg* und *Liquidität* eines Unternehmens, wobei der Erfolg die güterwirtschaftliche Steuerung und die Liquidität die reine Geldsteuerung übernimmt (COENENBERG 1992). Das Ziel Erfolg lässt sich weiter differenzieren nach dem

ein- oder mehrperiodigen Erfolg sowie dem Stückerfolg. Den beiden übergeordneten Zielen Erfolg und Liquidität liegen die vier Rechengrößen-Begriffspaare *Vermögen / Kapital*, *Ertrag / Aufwand*, *Kosten /Leistungen / Erlöse* und *Einzahlungen / Auszahlungen* bzw. *Einnahmen / Ausgaben* zu Grunde, die den Teilsystemen des Rechnungswesens *Bilanz i. e. Sinne*, *Gewinn- und Verlustrechnung (GuV)*, *Kosten- und Leistungsrechnung*, *Investitions- und Finanzrechnung* zugeordnet werden können (vgl. Abbildung 9).

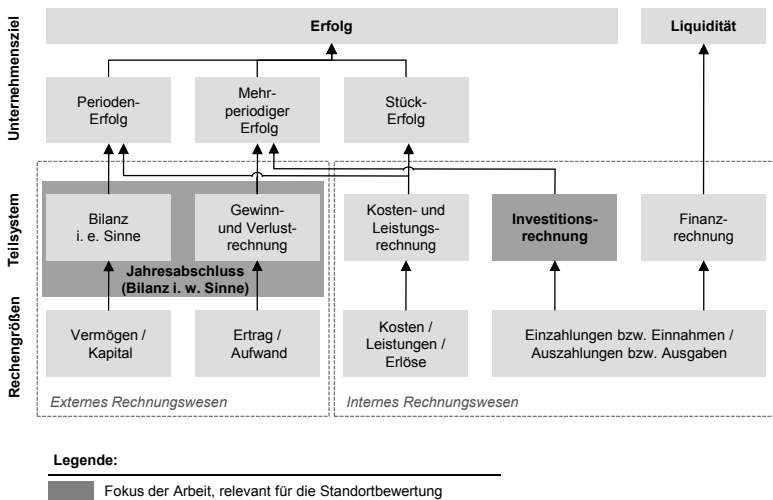


Abbildung 9: Systematisierung des Rechnungswesens und Bedeutung für die Standortbewertung (in Anlehnung an SESTERHENN 2003)

Das Rechnungswesen wird in das *externe* und *interne Rechnungswesen* unterteilt. Das externe Rechnungswesen schließt die Teilsysteme Bilanz i. e. Sinne und die GuV ein, wohingegen das interne Rechnungswesen die Kosten- und Leistungsrechnung, die Investitionsrechnung und die Finanzrechnung beinhaltet (KLOOCK 1997, BAETGE ET AL. 2002).

Der Begriff *Bilanz* ist im Rechnungswesen zweifach belegt. So wird unter der Bilanz i. e. Sinne eine Gegenüberstellung von Vermögens- und Kapitalpositionen verstanden und darin der Erfolg einer Abrechnungsperiode zu einem Zeitpunkt (Bilanzstichtag) ermittelt (WEBER & ROGLER 2004). Die Bilanz i. w. Sinne wird synonym für den Begriff *Jahresabschluss* verwendet, der neben der Bilanz i. e. Sinne die GuV beinhaltet und in bestimmten Fällen durch einen Anhang sowie

einen Lagebericht zu ergänzen ist (KUHLE & SCHMID 2004). Die GuV saldiert sämtliche Erträge und Aufwendungen einer Abrechnungsperiode und zeigt nicht nur den Erfolg als Saldo, sondern gibt auch Aufschluss über die Quellen des Erfolgs (WÖHE ET AL. 2002).

Aufgabe der *Kosten- und Leistungsrechnung* ist die zieladäquate Steuerung der innerbetrieblichen Faktorkombinationsprozesse (COENENBERG 1992). So wird die Wirtschaftlichkeit einzelner Produktionsprozesse durch einen Soll-Ist-Vergleich ermittelt. Im Unterschied zu den Verfahren des externen Rechnungswesens wird der wirtschaftliche Erfolg für bestimmte Bezugsobjekte (z. B. Produkte, Absatzgebiete) in kürzeren Zeitabständen ermittelt. Verfahren der *Investitionsrechnung* dienen dazu, die absolute und / oder die relative Vorteilhaftigkeit von Investitionen zu ermitteln. Nach GÖTZE (2005) ist eine Investition „*durch einen Zahlungsstrom gekennzeichnet, der mit Auszahlungen beginnt und in späteren Zahlungszeitpunkten Einzahlungen bzw. Einzahlungen und Auszahlungen erwarten lässt*“<sup>3</sup> (GÖTZE 2005, S. 5). Aus dieser Definition wird deutlich, dass die Verfahren der Investitionsrechnung dazu dienen, den mehrperiodigen Erfolg eines Unternehmens zu quantifizieren. *Finanzrechnungen* werden meist für das gesamte Unternehmen oder für Teilbereiche als Periodenplanungen durchgeführt. Solche Rechnungen überwachen die Liquiditätssituation in Unternehmen, indem Veränderungen des Fonds der liquiden Mittel über die Wertgrößen Ein- und Auszahlungen abgebildet werden (COENENBERG 1992).

Wie bereits erläutert, sind Standortentscheidungen durch eine hohe Irreversibilität, große Kapitalbindung und Langfristigkeit gekennzeichnet (BATES 2005, JACOB 2006). Damit beeinflussen diese Entscheidungen den Erfolg eines Unternehmens erheblich. ROGLER (2002) empfiehlt als Unterlage bei Entscheidungen besonderer Art wie Gründung, Investition oder Konzernbildung die Teilsysteme Jahresabschluss (Bilanz i. w. Sinne) und Investitionsrechnung. Aus diesen Gründen werden in den folgenden Abschnitten ausgewählte, für die Standortwahl relevante Verfahren der Investitionsrechnung (Abschnitt 2.4.3) und Methoden zur Bewertung von Erfolgen im Rahmen der Erstellung des Jahresabschlusses (Abschnitt 2.4.4) näher erläutert.

---

<sup>3</sup> SCHNEIDER (1992) verwendet statt *Auszahlungen* und *Einzahlungen* die Begriffe *Ausgaben* und *Einnahmen*.



### 2.4.3 Investitionsrechnung

Die Verfahren zur Investitionsrechnung können in *statische* und *dynamische Verfahren* unterschieden werden (GÖTZE 2005, HEGER 2007):

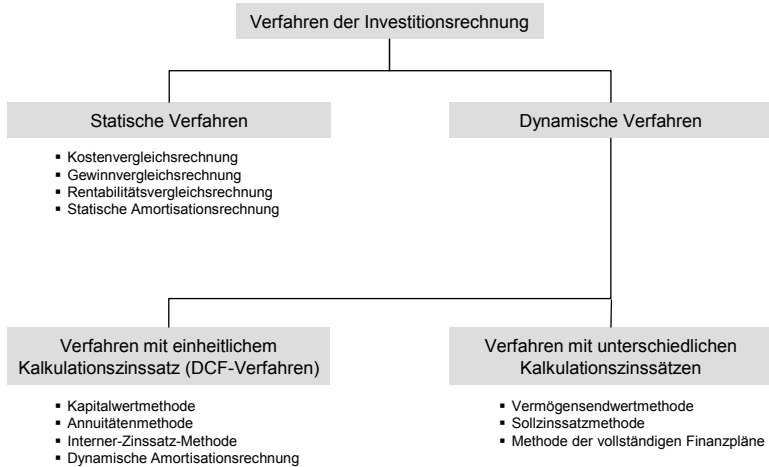


Abbildung 10: *Statische und dynamische Verfahren der Investitionsrechnung* (HEGER 2007)

#### Statische Verfahren

Die in Abbildung 10 aufgezählten statischen Verfahren der Investitionsrechnung unterscheiden sich hinsichtlich der zu berücksichtigenden Zielgröße, wobei diese immer eine periodenbezogene Erfolgsgröße oder eine daraus abgeleitete Größe (Kosten, Gewinn, Rentabilität oder Amortisationszeit) ist (GÖTZE 2005). Dabei bleibt die zeitliche Struktur der Erfolgsströme unberücksichtigt (KRUSCHWITZ 2000). Es werden lediglich langfristige Durchschnittswerte angenommen (ABELE ET AL. 2008). Dies führt dazu, dass im Zeitverlauf sinkende Einnahmen nicht zu einer anderen Beurteilung führen als steigende Einnahmen, solange die Durchschnittswerte der zu bewertenden Alternativen gleich groß sind (KRUSCHWITZ 2000).

Wie bereits beschrieben, zeichnet sich eine Investition – wie der Aufbau eines neuen Produktionsstandorts – durch eine hohe Irreversibilität und Unsicherheit

über die zukünftigen Einnahmen aus (DIXIT & PINDYCK 1994). Außerdem handelt es sich immer um eine Entscheidung, welche über mehrere Perioden den Erfolg eines Unternehmens beeinflusst. Daher sind die statischen Verfahren der Investitionsrechnung nicht für die Standortbewertung geeignet. Zur weiteren Erläuterung der statischen Verfahren wird daher auf die gängige Literatur verwiesen (z. B. KRUSCHWITZ 2000, GÖTZE 2005, DÄUMLER & GRABE 2007, ZINGEL 2009). Nachfolgend werden ausgewählte dynamische Verfahren der Investitionsrechnung erläutert.

### Dynamische Verfahren

Im Gegensatz zu den statischen Verfahren der Investitionsrechnung sind die dynamischen Verfahren dadurch gekennzeichnet, dass bei der Bewertung explizit mehrere Perioden berücksichtigt werden (KRUSCHWITZ 2000). Die Investitionen sind dabei durch Ein- und Auszahlungen charakterisiert, die in den jeweiligen Perioden erwartet werden (GÖTZE 2005). Die dynamischen Verfahren lassen sich in zwei Gruppen unterteilen (vgl. Abbildung 10). Die erste Gruppe setzt einen einheitlichen Kalkulationszinssatz voraus und unterstellt somit die Existenz eines vollkommenen Kapitalmarkts (KRUSCHWITZ 2000). Zu diesen sog. *Discounted-Cash-Flow-Verfahren* (DCF-Verfahren) gehören die *Kapitalwert-*, die *Annuitäten-*, die *Interne-Zinssatz-* sowie die *Amortisationsdauer*methode (MÖLLER 2008). Die zweite Verfahrensgruppe geht dagegen von der Annahme aus, dass unterschiedliche Zinssätze für die Anlage und Aufnahme finanzieller Mittel existieren. Dadurch bilden diese die Realität am genauesten ab, jedoch erfordern sie auch den höchsten Aufwand (GÖTZE 2005). In Unternehmen kommen zu 85 % die DCF-Verfahren zum Einsatz (PIKE 1988, PETRY & SPROW 1993). Aus diesen Gründen werden im Rahmen dieser Arbeit die dynamischen Verfahren mit unterschiedlichen Zinssätzen nicht weiter betrachtet. Eine ausführliche Beschreibung dieser Verfahren ist bspw. bei KRUSCHWITZ (2000) und GÖTZE (2005) zu finden. Für die Bewertung von Standorten kommen prinzipiell alle dynamischen Verfahren in Frage. Eine in der Industrie weit verbreitete Methode ist die *Kapitalwertmethode* (KILKA 1995, DRUKARCZYK 1997, COPELAND & ANTIKAROV 2001, BRIEL 2002).

Der *Kapitalwert* (engl. *Net Present Value (NPV)*) wird aus der Summe der auf die Gegenwart abgezinsten Ein- und Auszahlungen, dem sog. *Barwert* (engl. *Present Value*) zuzüglich der Auszahlungen<sup>4</sup> für die Investition berechnet (WÖHE

---

<sup>4</sup> Auszahlungen besitzen ein negatives Vorzeichen, Einzahlungen ein positives.

ET AL. 2002), vgl. Formel (1)). Dabei steht der Kalkulationszins für die Opportunitätskosten der Investition, da das eingesetzte Kapital nicht in ein alternatives Projekt mit der Rendite  $i_{NPV}$  investiert wird.

$$NPV = I_0 + \sum_{t=1}^T \frac{E_t + A_t}{(1 + i_{NPV})^t} \quad (1)$$

$NPV$	Kapitalwert (engl. Net Present Value)
$I_0$	Investition in Zeitperiode $t=0$
$E_t$	Einzahlungen in der Zeitperiode $t$
$A_t$	Auszahlungen in der Zeitperiode $t$
$i_{NPV}$	Kalkulationszins
$T$	Anzahl der betrachteten Zeitperioden

Die weiteren DCF-Verfahren zur Investitionsrechnung, d. h. die Annuitäten-, Interne-Zinsatz- sowie die Amortisationsdauer Methode, lassen sich aus der Kapitalwertmethode ableiten (OSTEN-SACKEN 1999). Zur Erläuterung dieser Verfahren wird auf die gängige Literatur verwiesen (vgl. z. B. KRUSCHWITZ 2000, GÖTZE 2005, DÄUMLER & GRABE 2007).

### 2.4.4 Jahresabschluss

Nach §242 HGB bzw. §264 HGB ist jeder Kaufmann bzw. jeder gesetzliche Vertreter einer Kapitalgesellschaft dazu verpflichtet, einen Jahresabschluss zu erstellen. Der Jahresabschluss informiert dabei über die Vermögens-, Finanz- und Ertragslage eines Unternehmens und ermöglicht durch die Dokumentaton des Unternehmensvermögens eine Kontrolle des Managements. Außerdem können Veränderungen der finanziellen Lage analysiert und somit unternehmerische Entscheidungen bewertet werden (KUHNLÉ & SCHMID 2004). Bei der Erstellung des Jahresabschlusses bilden die Bilanz i. e. Sinne und die GuV die zentralen Recheninstrumente (vgl. Abbildung 9). Die GuV dient dabei als eine ergänzende Detailrechnung zur Bilanz, mit der die Vermögensänderung nachvollzogen werden kann (COENENBERG ET AL. 2009). Im Folgenden werden die wichtigsten Kenngrößen eines Jahresabschlusses eingeführt; dabei wird nicht detailliert auf die Erstellung und Positionen einer Bilanz und die GuV eingegangen, da diese für das Verständnis dieser Arbeit nicht erforderlich sind. Für weitere Ausführungen hierzu sei auf die einschlägige Literatur verwiesen (vgl. z. B. KLOOCK

1997, WEBER & ROGLER 2004, KUHNLE & SCHMID 2004, COENENBERG ET AL. 2009, DÖRING & BUCHHOLZ 2009).

Wie bereits erläutert, kann anhand des Jahresabschlusses eine Analyse und Bewertung der Ertragskraft eines Unternehmens vorgenommen werden. Dabei gibt die Ertragskraft die Fähigkeit eines Unternehmens an, in der Zukunft Erfolge zu erwirtschaften (COENENBERG ET AL. 2009). Bei der Messung des Unternehmenserfolgs wird aufgrund des steigenden Kapitalbedarfs von Unternehmen durch die hohe Internationalisierung zunehmend die Forderung nach einem praktikablen Wertemanagement gestellt (STIEFL 2008). Seit den 1980er Jahren wird daher die Maximierung des Unternehmenswerts (engl. *Value*) unter besonderer Berücksichtigung der Shareholder fokussiert (SCHNECK 2004). Die Messung des Unternehmenswerts kann sowohl durch eine Veränderung des DCF als auch durch die Methode des *Economic Value Added (EVA)* erfolgen (STIEFL 2008). Eine einfache Form der DCF-Verfahren stellt die Kapitalwertmethode dar (BAUER 2009), die bereits im vorherigen Abschnitt erklärt wurde. Die Methode des EVA wird mittlerweile als Stand der Technik betrachtet (STIEFL 2008); daher ist diese im Folgenden näher erläutert.

### **Methode des Economic Value Added (EVA)**

Der EVA wurde von der New Yorker Unternehmensberatung Stern & Steward Co. entwickelt und beziffert den Wertbeitrag von Investitionen von einer Abrechnungsperiode zur nächsten (STERN ET AL. 2001, BOROWICZ 2005). Die deutsche Übersetzung von EVA, der *Geschäftswertbeitrag (GWB)*, ist ein eingetragenes Markenzeichen der Siemens AG. Schon im Jahr 2000 verwendeten 13 der damals 30 im Deutschen Aktien Index (DAX) gelisteten Unternehmen die Methode des EVA als Schlüsselkomponente für Ihr Controlling (KPMG 2000). Der EVA berechnet sich aus der Differenz zwischen dem *betrieblichen Gewinn nach Abzug von Steuern* (engl. *Net Operating Profit after Taxes (NOPAT)*) und den *Kapitalkosten* (vgl. Abbildung 11). Die Kapitalkosten errechnen sich aus dem betriebsnotwendigen Vermögen (engl. *Net Operating Assets (NOA)*) multipliziert mit dem *Kapitalkostensatz* (engl. *Weighted Average Cost of Capital (WACC)*) (HUNGENBERG 2006, DRUKARCZYK & SCHÜLER 2009). Der Kapitalkostensatz ergibt sich dabei als gewichtetes arithmetisches Mittel aus Eigen- und Fremdkapitalkosten (STERN ET AL. 2001). Im Rahmen dieser Arbeit wird nicht näher auf die Ermittlung des Kapitalkostensatzes eingegangen und auf die einschlägige Literatur verwiesen (vgl. z. B. STERN ET AL. 2001, KLOCK 1997, BEHRINGER & JUESTEN 2003, DRUKARCZYK & SCHÜLER 2009).

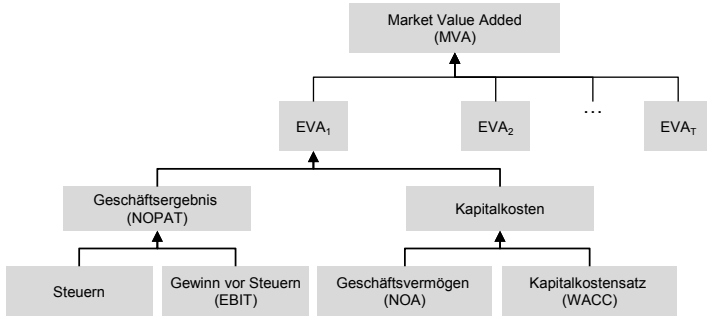


Abbildung 11: Zusammensetzung des MVA und des EVA

Der in die Berechnung des EVA fließende betriebliche Gewinn (engl. *Earnings before interest and taxes (EBIT)*) ist für Analysezwecke besonders wichtig und in der Praxis das am häufigsten berichtete Zwischenergebnis von Unternehmen (COENENBERG ET AL. 2009). Der EBIT berechnet sich aus der Differenz zwischen den Umsatzerlösen und den aus den Funktions- und Einmalkosten bestehenden betrieblichen Aufwänden und weist damit die operative Ertragskraft eines Unternehmens aus (WÖHE ET AL. 2002, vgl. Abbildung 12). Im Rahmen der Standortauswahl sollten insbesondere die Einmalkosten, in die u. a. die Qualifikations-, Rekrutierungs- und Produktionsausfallkosten fließen, berücksichtigt werden.

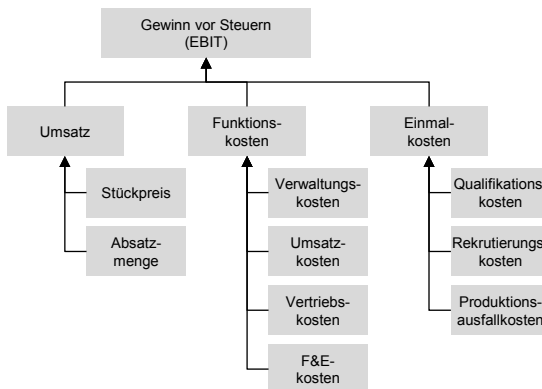


Abbildung 12: Berechnung des EBIT aus der Differenz zwischen den Umsatzerlösen und den Funktions- und Einmalkosten

Die Berechnung des EVA wird als Alternative gesehen zu einer Investitionsbewertung durch die DCF-Verfahren (HUNGENBERG 2006). Die beiden Bewertungsansätze unterscheiden sich nur bzgl. der Datenaufbereitung und -darstellung. Während bei den DCF-Verfahren die Zahlungsströme betrachtet werden, bezieht sich die Berechnung des EVA auf die Jahresabschlüsse und somit auf periodisierte, vom Zahlungszeitpunkt unabhängige Aufwände und Erträge (LODERER ET AL. 2002, SCHAEFER 2004); d. h. die Berechnung des EVA quantifiziert den Erfolg eines Unternehmens zu einem bestimmten Zeitpunkt und nicht für einen Zeitraum (KAMINSKI 2006).

Wie bereits im Abschnitt 1.1 beschrieben, ist bei langfristigen Entscheidungen wie der Standortwahl ein langer Planungshorizont zu berücksichtigen. Um einer solchen zukunftsorientierten Sichtweise Rechnung zu tragen, wurde die Bewertungsgröße des *Market Value Added (MVA)* eingeführt, die den mit dem durchschnittlichen Kapitalkostensatz diskontierten Barwert der zukünftigen EVA darstellt (vgl. Abbildung 11, YOUNG & O'BYRNE 2001, LODERER ET AL. 2002, KAMINSKI 2006, HUNGENBERG 2006):

$$MVA = \sum_{t=1}^T \frac{EVA_t}{(1 + i_{WACC})^t} \quad (2)$$

<i>MVA</i>	Market Value Added
<i>EVA<sub>t</sub></i>	Economic Value Added in der Zeitperiode <i>t</i>
<i>i<sub>WACC</sub></i>	Durchschnittlicher Kapitalkostensatz
<i>T</i>	Anzahl der betrachteten Zeitperioden

## 2.5 Wirtschaftlichkeitsbewertung unter Unsicherheiten

### 2.5.1 Allgemeines

Für die Wirtschaftlichkeitsbewertung möglicher Standortalternativen wurden in den vorherigen Abschnitten geeignete Verfahren des Rechnungswesens erläutert. Jedoch lassen sich die Inputgrößen für solche zukunftsorientierten Rechnungen nicht immer mit Sicherheit voraussagen und unterliegen damit einer Unsicherheit. Diese gilt es im Rahmen der Standortwahl zu berücksichtigen (OBERMEIER & CASPER 2008). Daher werden im folgenden Abschnitt unterschiedliche Verfah-

ren beschrieben, die es ermöglichen, Unsicherheiten in die Bewertung zu integrieren.

### 2.5.2 Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsbewertung unter Unsicherheiten

#### Korrekturverfahren

Beim Korrekturverfahren werden Faktoren, die in die Wirtschaftlichkeitsbewertung eines Objekts eingehen, durch einfache Zu- bzw. Abschläge korrigiert, indem Rückflüsse, Kalkulationszins und Nutzungsdauer angepasst werden, um eine durch Unsicherheiten induzierte Gefahr (vgl. Abschnitt 2.3.2) zu vermeiden (KLOCK 1997, BAUER 2009). Bei den in die Berechnung des Economic Value Added (EVA) (vgl. Abschnitt 2.4.4) fließenden Kapitalkosten besteht ebenfalls die Möglichkeit, die Gefahr zu berücksichtigen. Hierbei wird ein sog. *Beta-Faktor* verändert, der die Schwankungen einer Aktie im Verhältnis zum Gesamtmarkt misst (YOUNG & O'BYRNE 2001, KUHNLE & SCHMID 2004, DRUKARCZYK & SCHÜLER 2009). Jedoch führt die einseitige Betrachtung der Gefahr stets dazu, dass mögliche Chancen nicht berücksichtigt werden (OBERMEIER & CASPER 2008). Unsicherheiten lassen sich nicht durch einen Korrekturfaktor beheben, sondern *„der bessere Weg besteht darin, die Unsicherheit transparent zu machen“* (KRUSCHWITZ 2000, S. 281). Daher ist das Korrekturverfahren für den Umgang mit Unsicherheiten im Rahmen der Standortbewertung nicht geeignet.

#### Sensitivitätsanalyse

Die Sensitivitätsanalyse gibt Aufschluss über die Empfindlichkeit der einzelnen Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit eines Bewertungsobjekts (GÖTZE 2005). Durch Veränderung der Ausprägung eines Einflussfaktors und gleichzeitiges Konstant-Halten der übrigen Einflussfaktoren können Faktoren, die einen besonders großen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit haben, identifiziert und ggf. Maßnahmen zur Beherrschung dieser Faktoren getroffen werden. Jedoch ist die Ermittlung von Sensitivitäten nicht geeignet, Entscheidungsprobleme unter Unsicherheiten zu lösen (KRUSCHWITZ 2000). Für die Standortbewertung unter Unsicherheiten ist sie daher als alleinige Methode nicht geeignet, kann aber als Ergänzung betrachtet werden, um die Relevanz einzelner Unsicherheiten auf die Wirtschaftlichkeit zu beurteilen.

## Risikoanalyse

Bei der Risikoanalyse werden unsichere quantitative Einflussfaktoren auf eine Zielgröße (z. B. die Wirtschaftlichkeit eines Bewertungsobjekts) jeweils mit einer Wahrscheinlichkeitsverteilung belegt und mit der sog. *Monte-Carlo-Simulation* jeweils Kombinationen von Ausprägungen der Einflussfaktoren erzeugt, mit denen dann die Berechnung durchgeführt wird. Durch die Kombination der gezogenen unsicheren Ausgangswerte ergibt sich auch für die Zielgröße für jeden Simulationsdurchgang ein anderer Ergebniswert (vgl. Abbildung 13). Nach Durchführung einer großen Anzahl von Simulationsschritten kann aus den Ergebnissen schließlich ein sog. *Histogramm* für die Zielgröße erstellt und damit das Gesamtrisiko identifiziert werden (DENK ET AL. 2005). Ein Histogramm ist eine grafische Darstellung der relativen Häufigkeitsverteilung (STELAND 2010). Bei unendlich vielen Ziehungen nähert sich die numerische Lösung, welche im Histogramm dargestellt wird, einer Wahrscheinlichkeitsverteilung an. Eine Wahrscheinlichkeitsverteilung ist u. a. durch ihren *Erwartungswert* gekennzeichnet. Der Erwartungswert gibt den als absolute Größe vorliegenden Wert der Zielgröße an, der nach Durchlaufen ausreichender Ziehungen der Monte-Carlo-Simulation für die Standortalternative im Durchschnitt zu erwarten ist (PAPULA 2008).

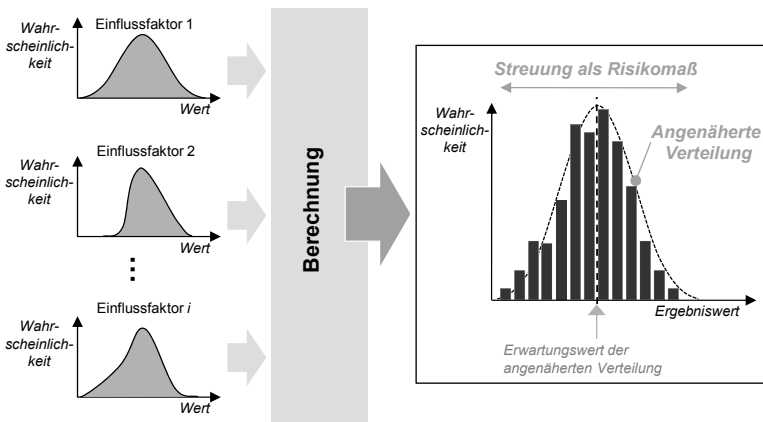


Abbildung 13: Prinzip der Risikoanalyse (in Anlehnung an ROMMELFANGER 2008)

Vorteil der Monte-Carlo-Simulation ist, dass beliebige Modelle bewertet werden können und dass die Komplexität im Gegensatz zu analytischen Berechnungen



gering ist (KALWAIT 2008). Dies fördert die Akzeptanz der Risikobewertung in Unternehmen (GLEIBNER & ROMEIKE 2005) und ermöglicht es, das Bewertungsmodell einfach anzupassen und die Simulation mehrmals zu wiederholen. Es ist auch möglich, stochastische Abhängigkeiten zwischen den Einflussfaktoren mit Hilfe von Korrelationsfaktoren (vgl. Abschnitt 2.2.3) zu berücksichtigen (GÖTZE 2005). Zur Berücksichtigung quantitativer Unsicherheiten im Rahmen der Standortwahl ist die Anwendung der Risikoanalyse sehr gut geeignet.

### Entscheidungsbaumverfahren

Beim Entscheidungsbaumverfahren wird die Unsicherheit berücksichtigt, indem endlich viele Umweltzustände sowie deren Eintrittswahrscheinlichkeiten in einem ungerichteten Graphen (sog. *Baum*) abgebildet werden. Dabei entspricht jeder mögliche Weg durch den Graphen einer möglichen Entscheidungsfolge (vgl. Abbildung 14). Ein Entscheidungsbaum besteht aus Entscheidungs- und Zufallsereignisknoten, die über Kanten miteinander verbunden sind. Die Entscheidungsknoten (z. B.  $NPV_{1,2} / IE_t$  in Abbildung 14) repräsentieren Wahlmöglichkeiten, und die Zufallsereignisknoten stellen mögliche (unsichere) Umweltzeitpunkte dar.

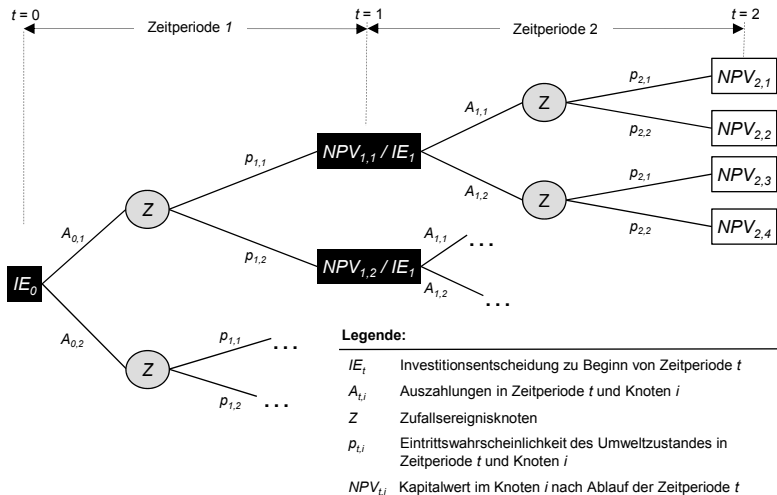


Abbildung 14: Entscheidungsbaum für zwei Zeitperioden

Eine Wirtschaftlichkeitsrechnung kann mit dem Entscheidungsbaumverfahren mit Hilfe des sog. *Roll-Back-Verfahrens* durchgeführt werden, welches das Entscheidungsproblem sequenziell löst (MAGGE 1964). Zunächst wird dabei von den Resultaten der letzten Periode der Zielbeitrag aller Handlungsalternativen ermittelt und anhand der Bewertungsgröße für die Wirtschaftlichkeit (bspw. der Kapitalwert) die vorteilhafteste Alternative ausgewählt. Der Baum wird auf diese Weise rekursiv durchlaufen (WÖHE ET AL. 2002, GÖTZE 2005). In dem in Abbildung 14 dargestellten Entscheidungsbaum wird beispielhaft gezeigt, wie der Kapitalwert einer Investition (vgl. Abschnitt 2.4.3) berechnet werden kann. Der Handlungsalternative im Entscheidungsknoten  $NPV_{1,1} / IE_1$  ist in diesem Fall das durch die Eintrittswahrscheinlichkeiten  $p_{2,1}$  und  $p_{2,2}$  gewichtete Mittel der resultierenden Kapitalwerte  $NPV_{2,1}$  und  $NPV_{2,2}$  zuzuordnen.

Das Entscheidungsbaumverfahren stellt zwar das Entscheidungsproblem strukturiert dar, jedoch ist es mit einem sehr hohen Planungsaufwand verbunden, was den Einsatz in der Praxis erschwert (WÖHE ET AL. 2002). Daher ist es nur durchführbar, falls relativ wenige unsichere Größen vorliegen (BLOHM ET & LUEDER 1995, ROLLBERG 2001). Des Weiteren werden im Entscheidungsbaum nur die erwarteten Werte betrachtet, mögliche Abweichungen bleiben unberücksichtigt (GÖTZE 2005). Daher ist das Entscheidungsbaumverfahren für Standortbewertung unter Unsicherheiten nicht geeignet.

### **Realloptionstheorie**

Realloptionen stellen für Unternehmen zukünftige Handlungsspielräume dar, welche den Umgang mit Unsicherheiten bzgl. der zukünftigen Entwicklung ermöglichen. Der Abbruch, die Erweiterung oder Verschiebung von Investitionsvorhaben sind bspw. Handlungsspielräume, die ergriffen werden können, um den monetären Nutzen für das Unternehmen zu erhöhen (HUNGENBERG 2006). Ziel der Realloptionstheorie ist es, nicht nur eine qualitative Beschreibung von Handlungsspielräumen vorzunehmen, sondern diese auch quantitativ zu bewerten und aktiv zu steuern (TRIGEORGIS 2002). Die Realloptionstheorie ist aus dem Transfer von Ansätzen zur Bewertung von Finanzoptionen auf reale (physische) Investitionen entstanden. In der Finanzwirtschaft wird unter einer *Option* das Recht, aber nicht die Verpflichtung, verstanden, einen definierten Basiswert zu einem vertraglich festgesetzten Preis zu erwerben (*Kaufoption*, sog. *Call-Option*) oder zu veräußern (*Verkaufsoption*, sog. *Put-Option*) (BRACH 2003).

In der wissenschaftlichen Literatur werden meist drei Optionsarten unterschieden: *Wachstums-*, *Versicherungs-* und *Lernoptionen*. Im Rahmen des Standortentscheidungsprozesses ermöglichen *Wachstumsoptionen* die Erweiterung der durch die Investition geschaffenen Kapazitäten. *Versicherungsoptionen* dagegen erlauben es, die geschaffenen Kapazitäten aufgrund negativer Erfolgsaussichten rückgängig zu machen. Eine Verschiebung oder ein Abbruch der geplanten Investitionen stellt eine *Lernoption* dar; diese gibt dem Entscheider die Möglichkeit, seine Informationsbasis zu erweitern und somit das aus den Unsicherheiten resultierende Investitionsrisiko zu verringern (HOMMEL & PRITSCH 1999).

Liegen keine Unsicherheiten vor, haben die Handlungsspielräume keinen Wert. Der Wert einer Option steigt also mit zunehmendem Investitionsrisiko (GÖTZE 2005). Zur Berechnung des Optionswerts wird oft das *Binominalmodell* verwendet. Dabei handelt es sich um ein stochastisches Verfahren, bei dem ausgehend von einem bestimmten Wert zu Beginn einer Bewertungsperiode jeweils zwei Werte am Ende der Periode eintreten können. Der Wert eines Investitionsobjekts (z. B. der Kapitalwert) wird durch die Berücksichtigung vorhandener Optionen um einen sog. *Optionswert*  $\zeta$  erhöht, was dann zu einem erweiterten Kapitalwert führt (SUDHOFF 2007). Für eine ausführliche Erklärung der Realoptionstheorie sei auf die einschlägige Literatur verwiesen (vgl. z. B. HOMMEL & PRITSCH 1999, COPELAND & ANTIKAROV 2001).

$$E(eNPV) = E(NPV) + \zeta \quad (3)$$

$E(eNPV)$	Erwartungswert des erweiterten Kapitalwerts
$E(NPV)$	Erwartungswert des Kapitalwerts ohne Berücksichtigung von Handlungsspielräumen
$\zeta$	Optionswert

Das Entscheidungsbaum- und das Realoptionsverfahren weisen eine prinzipielle Ähnlichkeit auf; der Unterschied besteht darin, dass die Eintrittswahrscheinlichkeiten beim Realoptionsverfahren nicht subjektiv geschätzt, sondern marktorientiert ermittelt werden (COPELAND & ANTIKAROV 2001).

Die Anwendung der Realoptionstheorie im Rahmen der Investitionsbewertung wird kontrovers diskutiert. Aus den Potentialen des Verfahrens wie Integration strategischer Handlungsmöglichkeiten und das Denken in Optionen ergeben sich auch Schwächen wie die hohe Modellkomplexität und geringe Praxisfreundlichkeit (BUHMANN & SCHÖN 2009). Dem Vorteil des Realoptionsverfahrens, dass

die Eintrittswahrscheinlichkeiten nicht wie bei der Risikoanalyse oder dem Entscheidungsbaumverfahren subjektiv geschätzt werden müssen, sondern marktorientiert ermittelt werden, steht auch der größte Nachteil des Verfahrens gegenüber. Am meisten wird die Analogie zu den Finanzoptionen kritisiert; denn im Gegensatz zu Finanzoptionen wird das Bewertungsobjekt bei Realoptionen nicht gehandelt, was dazu führt, dass eine Bestimmung des Objektwerts nach Finanzoptionsregeln meist nicht möglich ist (GÖTZE 2005). In den vergangenen Jahren wurden in der produktionstechnischen Forschung Ansätze zur Anwendung der Realoptionstheorie für Bewertungsaufgaben in der Produktion entwickelt (vgl. SUDHOFF 2007, MÖLLER 2008, WEILER 2010). Auch für die Berücksichtigung quantitativer Unsicherheiten bei der Standortbewertung ist die Realoptionstheorie geeignet. Allerdings werden sehr große Anforderungen an den Anwender des Verfahrens gestellt; diese sind stets ins Verhältnis zu setzen zu dem Mehrwert, der sich aus diesem Verfahren im Vergleich zu der Anwendung des Verfahrens der Risikoanalyse ergibt.

Die in diesem Abschnitt beschriebenen Verfahren sind zur Erfüllung der Zielsetzung dieser Arbeit teilweise geeignet. So erlaubt die Risikoanalyse die Berücksichtigung quantitativer Unsicherheiten bei der Wirtschaftlichkeitsrechnung und die Ableitung eines Risikos. Die Sensitivitätsanalyse ermöglicht die Identifikation von Faktoren, die einen großen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeitsrechnung haben. Das Korrekturverfahren dagegen ist nicht für die Berücksichtigung von Unsicherheiten geeignet, da es lediglich zur Betrachtung der Gefahr dient. Sowohl das Entscheidungsbaumverfahren als auch die Realoptionstheorie sind prinzipiell für die Berücksichtigung von Unsicherheiten bei der Wirtschaftlichkeitsbewertung geeignet. Allerdings ist die Anwendung beider Verfahren mit einem hohen Aufwand verbunden, der nicht im Verhältnis zum erzielbaren Nutzen steht. Die Anwendung dieser beiden Verfahren widerspricht daher dem in Abschnitt 1.2 formulierten Teilziel der Arbeit – der Gewährleistung der Praxistauglichkeit.

Bei der Bewertung von Standorten besteht die Herausforderung darin, für eine komplexe und unsichere Entscheidungssituation eine möglichst optimale Informationsgrundlage zu schaffen (HUMMEL 1997). Diese Informationsgrundlage ist vorhanden, wenn der Erfolg der einzelnen zu bewertenden Standortalternativen eines Unternehmens unter Berücksichtigung quantitativer und qualitativer Unsicherheiten ermittelt werden kann. Jedoch existiert in der Praxis kein Bewertungsverfahren, das alle relevanten Einflussfaktoren sowie deren Abhängigkeiten adäquat einbezieht (KINKEL & BUHMANN 2009, ALBRECHT & HUESKE 2010).

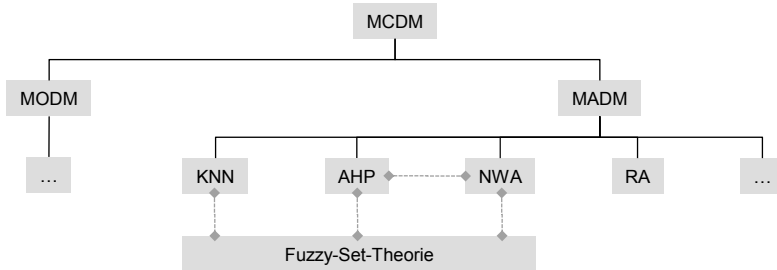
Alle in diesem Abschnitt vorgestellten Verfahren sind nicht in der Lage, qualitative Unsicherheiten in die Wirtschaftlichkeitsbewertung zu integrieren. Daher werden im Folgenden Verfahren vorgestellt, die die Berücksichtigung qualitativer Faktoren ermöglichen.

## 2.6 Multikriterielle Bewertungs- und Entscheidungsverfahren

### 2.6.1 Allgemeines

Verfahren, die es ermöglichen, Entscheidungsalternativen anhand qualitativer Faktoren zu bewerten, werden auch als *multikriterielle Bewertungs- und Entscheidungsverfahren* bezeichnet (BRIEKE 2009). Multikriterielle Entscheidungsverfahren (engl. *Multi Criteria Decision Making (MCDM)*) werden unterteilt in Verfahren, die einen diskreten, d. h. endlichen, Lösungsraum aufweisen (engl. *Multi Attribute Decision Making (MADM)*) und in Verfahren, die einen kontinuierlichen Lösungsraum betrachten (engl. *Multi Objective Decision Making (MODM)*) (vgl. Abbildung 15, SCHUH 2001). Wie in Abschnitt 1.3.2 beschrieben, steht bei der komplexen Aufgabe der Feinauswahl von Standortalternativen lediglich eine begrenzte Auswahl von Alternativen zur Verfügung. Daher werden im Folgenden die Verfahren des MODM nicht weiter betrachtet.

Die in Abbildung 15 dargestellten Verfahren werden im Folgenden einzeln kurz erläutert und ihre Anwendbarkeit im Rahmen der Standortbewertung untersucht. Die sog. *Fuzzy-Set-Theorie* stellt dabei ein Querschnittsverfahren dar, welches auch gewählt wird, um methodenübergreifend unscharfe Informationen abzubilden (vgl. z. B. OST 1993, BRIEKE 2009). Für die Beschreibung weiterer Entscheidungsverfahren, für die der Anspruch des Umgangs mit multikriteriellen Zielen erhoben wird, sei auf die Literatur verwiesen (vgl. u. a. SCHUH 2001, GÖTZE 2005).



**Legende:**

MCDM	Multi Criteria Decision Making	KNN	Künstliches Neuronales Netz
MODM	Multi Objective Decision Making	AHP	Analytischer Hierarchie Prozess
MADM	Multi Attribute Decision Making	NWA	Nutzwertanalyse
◆-◆	Oft Verfahrenskombination	RA	Rangaddition

Abbildung 15: Ausgewählte Verfahren zur Bewertung von Entscheidungsalternativen anhand qualitativer Faktoren

### 2.6.2 Rangaddition (RA)

Das Verfahren der Rangaddition (RA) bringt die Einflussfaktoren jeweils zweier Alternativen bspw. durch einen paarweisen Vergleich zunächst in eine Reihenfolge, bevor dann eine ungewichtete Addition der Rangziffern erfolgt. Der Alternative mit der geringsten Rangsumme wird dann der Gesamttrang eins zugeordnet (LILLICH 1992). Unterschiedlich große Abstände zwischen den Faktorenausprägungen werden nicht berücksichtigt. Dies bedeutet, dass eine ordinale Skala als Intervallskala genutzt wird (SCHUH 2001). Aufgrund dieser hieraus resultierenden Ungenauigkeit ist die Rangaddition für die Standortbewertung wenig geeignet.

### 2.6.3 Nutzwertanalyse (NWA)

Die Nutzwertanalyse (NWA) ermittelt aus endlich vielen Alternativen die insgesamt günstigste, indem eine Umrechnung der Ausprägungen aller Entscheidungsfaktoren in einen Gesamtwert der einzelnen Alternativen, den sog. *Nutzwert*, erfolgt (ZANGEMEISTER 1970). Dabei kann eine unterschiedliche Bedeutung einzelner Faktoren durch die Angabe von Gewichtungen berücksichtigt werden (vgl. Formel (4)).

$$N_v = \sum_{f=1}^n g_f \cdot h_{vf} \quad (4)$$

$N_v$	Nutzwert der Alternative $v$
$g_f$	Gewicht von Faktor $f$
$h_{vf}$	Bewertung des Faktors $f$ der Alternative $v$
$n$	Anzahl der Faktoren

Die Nutzwertanalyse wird in dieser Form unter verschiedenen Namen angewendet (EISENFÜHR & WEBER 2003, LILLICH 1992). Vorteile dieses Bewertungsverfahrens liegen in der einfachen Anwendbarkeit und der hohen Transparenz der Entscheidungssituation (HOFFMEISTER 2000). Jedoch besteht bei der Anwendung der Nutzwertanalyse stets die Gefahr, monetäre mit nicht-monetären Bewertungsfaktoren zu vermischen (BLOHM ET AL. 2006, GÖTZE 2005). Für die Standortbewertung ist die Nutzwertanalyse für die Bewertung nicht-monetärer (d. h. qualitativer) Faktoren grundsätzlich geeignet. Jedoch ist die Betrachtung monetärer Einflussfaktoren auf die Standortbewertung dann separat vorzunehmen.

#### 2.6.4 Analytischer Hierarchie-Prozess (AHP)

Der Analytische Hierarchie-Prozess (AHP) unterteilt ein Entscheidungsproblem in Teilprobleme und bildet damit eine Hierarchie, die verschiedene Ziel- und / oder Maßnahmenebenen beinhaltet (GÖTZE 2005). Wie bei der NWA können auch beim AHP sowohl qualitative als auch quantitative Faktoren berücksichtigt werden. Zunächst wird die Bedeutung (Priorität) der einzelnen Faktoren durch paarweise Vergleiche aller Elemente einer Hierarchieebene in Bezug auf jedes Element der übergeordneten Ebene ermittelt und in jeweils einer Matrix dargestellt (SAATY 1996). Im Anschluss werden durch eine Eigenwertberechnung der Matrizen die Gewichtungen für jede Ebene der Hierarchie berechnet. Nach einer Konsistenzprüfung<sup>5</sup> können die Alternativen in Bezug auf jedes Kriterium und dessen Gewichtung miteinander verglichen werden (GÖTZE & BLOECH 1995).

---

<sup>5</sup> Bei der Prioritätsermittlung kann es zu Inkonsistenzen kommen. Diese können durch Berechnung eines Konsistenzindex jeder Matrix identifiziert und zu einem Konsistenzwert aggregiert werden. Ist der ermittelte Konsistenzwert größer als ein kritischer Wert, sollte eine Überprüfung und Revision der paarweisen Vergleiche erfolgen (SAATY 1996).

Das Vorgehen des AHP ähnelt dem der NWA in Bezug auf die Problemstrukturierung, die Gesamtnutzenfunktion und der Interpretation der Gewichtung. Daher wird oft eine Kombination der beiden Verfahren vorgenommen, indem der AHP im Rahmen einer NWA zur Gewichtung der Faktoren verwendet wird (GÖTZE 2005). Ein Einsatz des AHP für die Bewertung qualitativer Faktoren im Rahmen der Standortbewertung ist möglich, jedoch müssen analog zur NWA bei Anwendung des AHP Kosten in einen Punktwert umgerechnet werden. Des Weiteren ist die Durchführung der Eigenwertberechnung und der Konsistenzprüfung aufgrund eines hohen Rechenaufwandes vom Anwender schwer nachvollziehbar und erschwert damit die Berücksichtigung qualitativer Kriterien bei der Standortbewertung.

### 2.6.5 Künstliche Neuronale Netze (KNN)

Künstliche Neuronale Netze (KNN) arbeiten in Anlehnung an ein biologisches Netzwerk, indem sie die Funktionsweise menschlicher Nervenzellen (sog. *Neuronen*) durch ein strukturiertes Modell nachbilden (NAUCK ET AL. 1994). In diesem Modell werden die chemischen und thermischen Vorgänge zwischen den Neuronen aus einem biologischen Netzwerk durch mathematische Funktionen und Verfahren beschrieben (SERAPHIN 1994). Die KNN bestehen aus einer oder mehreren Schichten, wobei in der Regel drei Arten unterschieden werden: Die *Eingabeschicht*, *Verarbeitungsschicht* und die *Ausgabeschicht* (ZELL 1996). Die zur Eingabeschicht gehörenden Eingabeneuronen nehmen Informationen aus externen Quellen auf und leiten sie an die verborgenen Schichten im Inneren des Netzes weiter. Die in der Verarbeitungsschicht befindlichen Neuronen verarbeiten die Informationen und sind für einen außenstehenden Betrachter nicht sichtbar. Sie weisen ein sog. *Black-Box-Verhalten* auf (ADAM 1997). Besitzen die verborgenen Neuronen keine Rückkopplung zu vorhergehenden Schichten wird von einem *zyklenfreien KNN* gesprochen (KOSKO 1991). Die Ausgabeneuronen übermitteln die Ausgabe des KNN an die Umgebung (vgl. Abbildung 16).

KNN berechnen bei einer bestimmten Eingabe eine Ausgabe durch Anwendung gewisser Funktionen. Diese Funktionen werden durch das *Trainieren* des KNN selbst abgeleitet. Dabei stellen die Trainingsdaten die Soll-Ausgabewerte eines KNN dar. Trainingsalgorithmen von KNN bestimmen durch iterative oder rekursive Vorgehensweise aus den vorhandenen Eingangs- und den gewünschten Ausgangswerten alle Parameter der Funktionen (WIKIPEDIA 2011a). Während des Trainingsprozesses wird stets die Differenz zwischen den Ist- und den Soll-



Ausgabewerten bestimmt und die Verbindungsstärke der einzelnen Neuronen des KNN so lange verändert, bis die Differenz zwischen den Ist- und Soll-Ausgabewerten möglichst gering ist (SERAPHIN 1994).

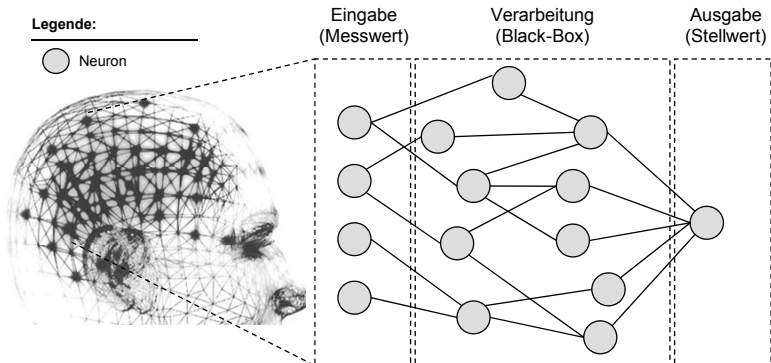


Abbildung 16: Aufbau eines zyklenfreien KNN

Aufgrund des Black-Box-Verhaltens von KNN können situationsabhängige Präferenzen nicht berücksichtigt werden. Dies bedeutet, dass zur Bewertung qualitativer Kriterien bei der Standortbewertung für jede Entscheidungssituation individuelle Trainingsdaten notwendig sind. Solche Daten sind allerdings in der Praxis für die Standortbewertung nicht ermittelbar. Daher sind KNN mit ihrem Black-Box-Verhalten zur Berücksichtigung qualitativer Kriterien bei der Standortbewertung ungeeignet.

### 2.6.6 Fuzzy-Set-Theorie

Die Fuzzy-Set-Theorie ist eine Theorie, die vor allem für die Darstellung menschlichen Wissens entwickelt wurde und eine qualitative Denkweise unterstützt (WIKIPEDIA 2011b). Im Gegensatz zur klassischen Mengenlehre, nach der ein Objekt entweder ganz oder gar nicht einer Menge zuzuordnen ist, kann mit der Fuzzy-Set-Theorie eine fließende oder unscharfe (engl. *fuzzy*) Abgrenzung einer Mengenzugehörigkeit vorgenommen werden (ZADEH 1965). Die von ZADEH im Jahr 1965 entwickelte Fuzzy-Set-Theorie wurde zunächst insbesondere in der Regelungstechnik eingesetzt. Ende der 1980er Jahre wurden zunehmend Haushaltsgeräte und Geräte der Medizintechnik mit unscharfen Steuerungen ausgerüstet (MAYER 1994, KRUSE ET AL. 1995). In den letzten Jahren hielt die Fuzzy-Set-Theorie auch im Produktionsmanagement Einzug: Die häufigsten Einsatz-

felder sind die Kapazitäts- und Ablaufplanung sowie die Bestandskontrolle (WONG & LAI 2011).

Im Folgenden sind die Grundlagen der Fuzzy-Set-Theorie beschrieben, die für die Berücksichtigung qualitativer Einflussfaktoren bei der Bewertung erforderlich sind. Zunächst werden die Eigenschaften und Darstellungsformen unscharfer Mengen vorgestellt. Anschließend werden die Grundzüge des Fuzzy-logischen Schließens erklärt. Da die Fuzzy-Set-Theorie in der Praxis oft in Kombination mit den in den vorherigen Abschnitten beschriebenen Verfahren eingesetzt wird (vgl. Abbildung 15), folgt abschließend eine kurze Erläuterung möglicher Kombinationsarten.

### Unscharfe Mengen

Bei unscharfen Mengen kann ein bestimmtes Element auch nur teilweise einer Menge angehören (NAUCK ET AL. 1994). Diese Eigenschaft wird durch eine sog. *Zugehörigkeitsfunktion* ausgedrückt, die sämtlichen Elementen einer Grundmenge  $\Omega$  einen bestimmten Funktionswert (*Zugehörigkeitswert*)  $\mu$  zuweist (ROMMELFANGER & EICKEMEIER 2002).  $\mu$  drückt aus, in welchem Maße das betreffende Element in der unscharfen Menge enthalten ist, d. h. zu welchem Grad eine geforderte Eigenschaft erfüllt wird (FORSCHNER 1998):

$$\mu_M: \Omega \rightarrow [0,1] \quad (5)$$

$\mu_M$	Zugehörigkeitswert zu der Menge $M$
$\Omega$	Grundmenge
$M$	Unscharfe Menge

Ein Zugehörigkeitswert von 1 bedeutet die vollständige Zugehörigkeit zu der Menge  $M$ , und der Wert 0 sagt aus, dass das Element nicht zu dieser Menge gehört. Dazwischen sind alle Abstufungen denkbar (TRAEGER 1993). Der oben beschriebene Sachverhalt lässt sich am besten anhand des in Abbildung 17 gegebenen Beispiels erläutern.

In der Fuzzy-Set-Theorie werden linguistische Variablen verwendet, deren Werte im Gegensatz zu numerischen Variablen nicht durch Zahlen, sondern durch linguistische Terme wie z. B. *klein* oder *groß* definiert werden. Sie dienen dazu, qualitativ vorhandenes Wissen mit all seinen Unschärfen angemessen abzubilden und erlauben die Integration in mathematische Modelle (JASVOIN 2006).

**Aussage:** „Ab 180 cm Körpergröße ist ein Mensch groß, zwischen 180 cm und 150 cm mittelgroß und unter 150 cm klein.“

**Fragestellung:** Wie ist ein Mensch mit 179 cm Körpergröße zu bezeichnen?

**Klassische Mengenlehre**

Da eine Zahl immer nur Teil einer Menge sein kann, ist der Mensch, da er die Kriterien für einen großen Menschen nicht erfüllt, *mittelgroß*.

Kriterium	Zugehörigkeit
Klein	0
Mittelgroß	1
Groß	0

**Fuzzy-Set-Theorie**

Eine Zahl kann durch die Definition verschiedener Zugehörigkeitswerte mehreren Mengen angehören. Der Mensch kann sowohl als *mittelgroß* als auch als *groß* bezeichnet werden.

Kriterium	Zugehörigkeit
Klein	0
Mittelgroß	0,45
Groß	0,55

Abbildung 17: Beispiel zu unscharfen Mengen

Um qualitative Faktoren in Form von linguistischen Termen exakt beschreiben zu können, ist die Definition von Zugehörigkeitsfunktionen erforderlich (ZADEH 1973). Diese können eine Vielzahl an unterschiedlichen Formen annehmen; einige der gebräuchlichsten Typen werden in Abbildung 18 dargestellt.

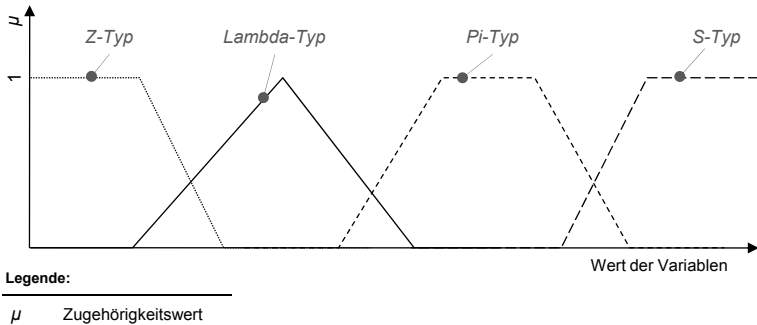


Abbildung 18: Häufige Formen von Zugehörigkeitsfunktionen (in Anlehnung an NICOLAI 1995)

Wenn mehrere Zugehörigkeitsfunktionen über den Bereich der möglichen Eingabewerte verteilt werden, wird der Vektor, der die Zugehörigkeitsparameter der einzelnen Funktionen enthält, als *Fuzzy-Set* bezeichnet. Abbildung 19 verdeutlicht dies anhand des Beispiels aus Abbildung 17, indem die linguistische Vari-

able *Größe einer Person* mit den linguistischen Termen *klein*, *mittelgroß* und *groß* mit Hilfe von Zugehörigkeitsfunktionen des Lambda-Typ abgedildet wird.

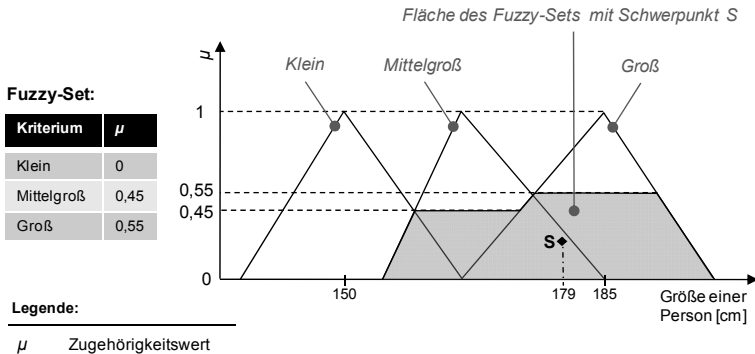


Abbildung 19: Linguistische Variable als Fuzzy-Set

Die Fuzzy-Set-Theorie ermöglicht die Transformation der mit Hilfe von Zugehörigkeitsfunktionen abgebildeten linguistischen Variablen, in dem die Fläche des Fuzzy-Sets gebildet wird. Der Abzissenwert des Flächenschwerpunkts dieser Fläche ergibt dann den scharfen Wert der jeweiligen Variablen (hier der Körpergröße der in Abbildung 17 genannten Person). Auf die Transformation der linguistischen Variablen wird detailliert in 5.3 eingegangen.

Es ist auch möglich, einzelne Fuzzy-Sets miteinander zu verrechnen. Dies erfolgt durch Anwendung der *Fuzzy-Logik*, welche im Folgenden beschrieben wird.

### Fuzzy-Logik

Die Fuzzy-Logik leitet sich von der traditionellen BOOLEschen Logik ab, die aus der Verknüpfung von Aussagen durch die Anwendung exakt definierter Operatoren (z. B. *UND*, *ODER*, *WENN-DANN*) neue Aussagen generieren kann. Hierbei kommt der menschlichen Denkweise insbesondere die sog. *Implikation* sehr nahe, die Aussagen über eine WENN-DANN-Beziehung verbindet, indem eine Bedingung (Prämisse) mit einer Schlussfolgerung (Konklusion) kombiniert wird (ZIMMERMANN ET AL. 1993). Die Fuzzy-Logik erweitert dieses Prinzip auf unscharfe Mengen, indem durch *approximatives Schließen* zusätzlich zu abgestuften Wahrheitswerten auch unscharfe Implikationen und Beobachtungen berücksichtigt werden (NAPIWOTZKI 1997). Bei der Implikation *WENN Person = Mittelgroß DANN Schuhgröße = Groß* können die Umschreibungen mit-

*telgroße Person* und *große Schuhgröße* als unscharfe Mengen aufgefasst werden. Auf diese Weise ermöglicht es die Fuzzy-Logik, unscharfe Abhängigkeiten zwischen Faktoren (vgl. Abschnitt 2.2.3) zu modellieren.

### **Kombination der Fuzzy-Set-Theorie mit anderen Verfahren**

Wie bereits in Abbildung 15 gezeigt, ist es möglich, die Fuzzy-Set-Theorie mit der NWA, dem AHP und der Methode der KNN zu kombinieren. In Kombination mit der NWA und dem AHP kann die Fuzzy-Set-Theorie dazu verwendet werden, die Zielgewichtung und die Transformation der Ziele in Nutzwerte durch Unschärfen zu erweitern (WITTE 1997, MORLOCK ET AL. 2006). Verschiedene Kombinationen von KNN und der Fuzzy-Set-Theorie sind möglich, diese werden als *Neuro-Fuzzy-Systeme* bezeichnet (BORGELT 2003). Neuro-Fuzzy-Systeme ermöglichen es, die Vorteile beider Verfahren zu kombinieren.

Die obigen Ausführungen machen deutlich, dass die Fuzzy-Set-Theorie sowohl als einzelnes Verfahren als auch in einer Verfahrenskombination den Umgang mit unscharfen Größen und deren Abhängigkeiten ermöglicht.

## **2.7 Fazit**

Im zweiten Kapitel sind die Grundlagen für diese Arbeit erläutert worden. Die verschiedenen Einflussfaktoren bilden die Basis einer jeden Standortwahl und werden in dieser Arbeit in quantitative und qualitative Faktoren unterschieden. Die Ausprägung quantitativer Faktoren ist anhand einer messbaren Größe bestimmbar und in einem Zahlenwert messbar, wohingegen die Ausprägung bei qualitativen Faktoren zwar über bestimmte Größen beschreibbar ist, jedoch nicht als Zahlenwert angegeben werden kann. Es wurde in 2.2.3 erklärt, dass die Abhängigkeiten zwischen den Einflussfaktoren zu berücksichtigen sind. In diesem Zusammenhang ist auch zwischen scharfen und unscharfen Abhängigkeiten unterschieden worden. Scharfe Abhängigkeiten können zwischen quantitativen Einflussfaktoren auftreten, unscharfe Abhängigkeiten liegen vor, sobald einer der abhängigen Faktoren qualitativ ist.

Bei der Standortwahl ist eine Vielzahl von Faktoren zu berücksichtigen, die einer Unsicherheit unterliegen und damit ein Risiko für das Unternehmen bedeuten. Unter Risiko wird in dieser Arbeit die durch Unsicherheiten induzierte Abweichung von einer Zielgröße verstanden, die entweder eine Gefahr (bei negativer

Abweichung) oder eine Chance (bei positiver Abweichung) für das Unternehmen bedeuten kann. Analog zu der Klassifizierung der Einflussfaktoren ist zwischen stochastischen und linguistischen Unsicherheiten (Unschärfen) zu unterscheiden (vgl. Abschnitt 2.3.3). Stochastische Unsicherheiten liegen aufgrund eines Mangels an Information vor, linguistische Unsicherheiten entstehen, wenn Aussagen nicht eindeutig abgegrenzt oder in exakte Zahlenwerte transformiert werden können. Daher werden alle qualitativen Einflussfaktoren in dieser Arbeit als linguistische Unsicherheiten interpretiert.

Die im Rahmen der Standortauswahl durchzuführende detaillierte Bewertung von Standortalternativen (vgl. Abbildung 3) erfolgt basierend auf monetären Dokumentations- und Planungsgrößen, die durch das Rechnungswesen bereit gestellt werden. Aus diesem Grund wurden in 2.4 die für die Standortbewertung relevanten Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsrechnung wie die Bestimmung des Kapitalwerts und des Market Value Added identifiziert und deren Berechnung erklärt. Da sich die die Inputgrößen für solche zukunftsorientierte Rechnungen nicht immer mit Sicherheit voraussagen lassen, sind unterschiedliche Verfahren beschrieben worden, die es ermöglichen, Unsicherheiten in die Wirtschaftlichkeitsrechnung zu integrieren. Jedoch sind diese Verfahren nicht in der Lage, qualitative Unsicherheiten in die Wirtschaftlichkeitsbewertung zu integrieren, sodass in Abschnitt 2.6 verschiedene multikriterielle Bewertungs- und Entscheidungsverfahren vorgestellt wurden.

Zur Einbindung qualitativer Einflussfaktoren in die Wirtschaftlichkeitsrechnung ist die in Abschnitt 2.6.6 eingeführte Fuzzy-Set-Theorie sehr gut geeignet (ROSENKRANZ & MISSLER-BEHR 2005). Mit diesem Verfahren kann unscharfes, oft basierend auf Erfahrungen vorliegendes Wissen beschrieben und modelliert werden. Die Möglichkeit der linguistischen Interpretation einzelner unsicherer Faktoren und deren Zusammenhänge sind auch für Nichtexperten verständlich. Dies drückt sich in einer hohen Akzeptanz bei den Anwendern aus (KUHL 1996).

## 3 Stand der Erkenntnisse

### 3.1 Untersuchungsrahmen

In den vorangegangenen Abschnitten wurden der theoretische Hintergrund der dieser Arbeit zugrunde liegenden Problemstellung beschrieben und die Grundlagen erläutert, die die Basis für eine Methode zur Bewertung vernetzter Produktionsstandorte unter Berücksichtigung multidimensionaler Unsicherheiten darstellen. Die Wirtschaftlichkeit von Standorten wird durch multidimensionale (d. h. quantitative und qualitative) Faktoren beeinflusst, die nicht unabhängig voneinander zu betrachten sind. Außerdem können diese Einflussfaktoren einer Unsicherheit unterliegen und somit zu einem Risiko für Unternehmen führen. Existierende Verfahren zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit fokussieren entweder auf quantitative Einflussfaktoren (wie z. B. die Kapitalwertmethode) oder auf qualitative Faktoren (wie z. B. die Nutzwertanalyse).

Zur Erarbeitung einer Methode zur Standortbewertung sind aber auch bestehende Ansätze aus der Forschung hinsichtlich ihrer Eignung zur Erfüllung der Zielsetzung dieser Arbeit zu analysieren. Aus diesem Grund werden in den folgenden Abschnitten für die Zielsetzung dieser Arbeit relevante Bewertungsansätze der Fabrikplanung hinsichtlich der Kriterien *Bewertungsbereich*, *-charakteristika*, *-methode* und *-dimension* analysiert. Ansätze, die auf das Risikomanagement oder auf die Optimierung eines bestehenden Produktionsnetzwerks fokussieren, werden nicht berücksichtigt, es sei denn, sie verwenden eine noch nicht bekannte Bewertungsmethode.

Das Kriterium *Bewertungsbereich* gibt an, welcher Bereich der Fabrikplanung (vgl. Abschnitt 1.3.2) adressiert wird. Für diese Arbeit sind die Bereiche Standort und Fabrik / Produktionslogistik relevant. Die *Bewertungscharakteristika* geben Aufschluss über den jeweiligen Ansatz, indem sie zum einen überprüfen, ob ein Kalkulationsmodell sowie eine monetäre Zielgröße Element des Ansatzes sind. Zum anderen beschreiben die *Charakteristika*, in welchem Maße unterschiedliche Einflussfaktoren, Unsicherheiten und das Risiko bei der Bewertung berücksichtigt wurden. Über das Kriterium *Bewertungsmethode* wird deutlich, welche Verfahren zur Berechnung der Bewertungszielgröße genutzt wurden. Die in diesem Abschnitt analysierten Bewertungsansätze unterscheiden sich wesentlich nach der *Bewertungsdimension*. Werden entweder nur qualitative oder nur quantitative

Einflussfaktoren berücksichtigt, ist die Bewertung *eindimensional*. Sind sowohl qualitative als auch quantitative Faktoren integriert, handelt es sich um einen *multidimensionalen* Bewertungsansatz.

Für die Anwendbarkeit der Forschungsansätze werden vier weitere Kriterien überprüft. Die *Skalierbarkeit* ist gegeben, wenn das Bewertungsmodell bzgl. des zu betrachtenden Anwendungsfalls erweitert bzw. an diesen angepasst werden kann. Die *Transparenz* gibt Aufschluss darüber, ob der Aufbau und die Zusammenhänge des Modells für den Anwender ersichtlich sind. Das Kriterium *Übertragbarkeit* bedeutet, dass die zu entwickelnde Methode als auch das Bewertungsmodell aufwandsarm auf neue Einsatzfälle übertragen werden kann. Die *Praxistauglichkeit* sagt aus, ob das Verfahren leicht vom Anwender aus der industriellen Praxis verstanden und durchgeführt werden kann.

Der folgende Abschnitt beschreibt zunächst die eindimensionalen Bewertungsansätze. In Abschnitt 3.3 werden dann die multidimensionalen Ansätze ausführlich analysiert, bevor in Abschnitt 3.4 die Ansätze gegenüber gestellt werden und der daraus resultierende Handlungsbedarf abgeleitet wird.

## 3.2 Eindimensionale Bewertungsansätze

SUDHOFF (2007) zielt mit seiner Arbeit auf die Bewertung standortübergreifender Mobilität in einem Produktionsnetzwerk unter Berücksichtigung quantitativer Einflussfaktoren. Er interpretiert den produktionstechnischen Freiheitsgrad der Mobilität als *Option* im Produktionsnetzwerk und nutzt dazu das aus der Finanztheorie bekannte Verfahren des Realoptionsansatzes. Außerdem integriert er quantitative Unsicherheiten als Wahrscheinlichkeitsfunktionen in ein Berechnungsmodell für den Kapitalwert und bildet so die Unsicherheit bzgl. der zukünftigen Entwicklung in der Bewertung ab.

Wie SUDHOFF (2007) greift auch MÖLLER (2008) auf die Bewertung mit Realoptionen zurück, mit dem Ziel, die Wirtschaftlichkeit wandlungsfähiger Produktionssysteme unter Berücksichtigung von quantitativen Unsicherheiten zu bewerten. Er beschränkt seine Untersuchungen auf eine einzelne Fabrik und betrachtet die Wandlungsfähigkeit als ein Bündel von Realoptionen. Dabei integriert er Ansätze der Fabrikplanung und Lebenszyklusbewertung.

Ein wesentliches Potential der Methoden von SUDHOFF (2007) und MÖLLER (2008) liegt darin, in Optionen zu denken. Außerdem ermöglichen es die entwi-



ckelten Methoden, über eine Sensitivitätsanalyse eine Aussage über die Risikostruktur der Bewertungsergebnisse zu treffen. Des Weiteren sind die entwickelten Bewertungsmodelle modular aufgebaut und damit skalierbar sowie einfach auf andere Problemstellungen zu übertragen. Jedoch ist die Praxistauglichkeit der entwickelten Methoden eingeschränkt, da komplexe Verfahren der Finanztheorie angewendet werden, die die Transparenz für den Anwender erschweren. Außerdem berücksichtigen die entwickelten Bewertungsansätze keine Abhängigkeiten zwischen den quantitativen Unsicherheiten. Eine Berücksichtigung von qualitativen Einflussfaktoren im Bewertungsmodell wird nicht vorgenommen.

REINHART ET AL. (2009a) greifen in ihrer Methode zur Bewertung von Fahrzeugprojekten in Wertschöpfungsnetzwerken auf bestehende Bewertungsverfahren zurück: Wie SUDHOFF (2007) und MÖLLER (2008) bilden sie die Unsicherheit bzgl. der zukünftigen Entwicklung ab, indem sie quantitative Unsicherheiten als Wahrscheinlichkeitsverteilungen modellieren und diese in ein für Fahrzeugprojekte spezifisches Kalkulationsmodell für den Kapitalwert integrieren. Es werden Korrelationen zwischen quantitativen Unsicherheiten in die Methode integriert, allerdings wird nicht beschrieben, wie diese ermittelt werden können. Qualitative Einflussfaktoren werden nicht berücksichtigt. REINHART ET AL. (2009a) verwenden etablierte Bewertungsverfahren für ihren Ansatz und wenden sie auf den Anwendungsfall der Automobilindustrie an. Daraus ergibt sich eine hohe Transparenz des Ansatzes und eine hohe Praxistauglichkeit. Aufgrund des spezifischen Kalkulationsmodells lässt sich der Ansatz nicht auf andere Anwendungsfälle übertragen.

Auch MEYER (2006) integriert in seinen Ansatz zur kostenoptimierten Standortwahl ein quantitatives Optimierungsmodell, mit dem Ziel, aus verschiedenen Produktionsnetzwerk-Alternativen die kostenoptimale Alternative zu ermitteln. Die Entscheidungsfindung basiert auf der Durchführung von Kostenvergleichsrechnungen; dabei ermöglicht das Modell die Abbildung einer vollständigen Kostenstruktur des Produktionsnetzwerks sowie die Berücksichtigung quantitativer Einflussfaktoren. Qualitative Einflussfaktoren werden nur rudimentär über Mindestanforderungen erfasst (z. B. bzgl. eines Mindest-Ausbildungsniveaus) und in der Bewertung nicht berücksichtigt. Unsicherheiten werden von MEYER (2006) als wichtig erachtet, jedoch adressiert er lediglich Währungskursunsicherheiten in seinem Modell. Der Ansatz ist allgemeingültig und transparent beschrieben und somit aufgrund seiner Struktur skalierbar sowie auf andere Anwendungsfälle übertragbar. Allerdings weicht die Verwendung der statischen Kostenvergleichsrechnung von der Praxis ab, da auf diese Weise weder die zu-

künftige, dynamische Entwicklung noch die sich daraus ergebenden Zahlungsströme Berücksichtigung finden.

KUNERT ET AL. (2007) entwickelten im Rahmen des Forschungsprojekts *LoMaP* ein Software-Werkzeug, das es ermöglicht, eine marktnahe Produktion einer marktfernen Produktion gegenüberzustellen. Hierzu werden quantitative Einflussfaktoren auf die Standortentscheidung entlang der Wertschöpfungskette identifiziert und die Kosten für die Standortalternativen berechnet. Das entwickelte Software-Werkzeug ist aufgrund seines einfachen, transparenten Aufbaus sehr gut für den Einsatz in der Praxis geeignet und auch auf andere Problemstellungen übertragbar. Jedoch werden weder Unsicherheiten bzgl. der Ausprägung der integrierten quantitativen Faktoren oder deren zukünftige Entwicklung berücksichtigt, noch werden qualitative Faktoren in die Bewertung einbezogen.

MERCHIERS (2008) fokussiert das gesamte Produktionsnetzwerk mit seinem Ansatz zur Gestaltung und Auswahl von Standortstrukturalternativen für Unternehmen des Maschinenbaus. Die entwickelte Bewertungsunterstützung ermöglicht sehr transparent die Ermittlung der Kosten sowohl für die einzelnen Standorte als auch für die strukturspezifischen Zusatzkosten und damit die Berechnung eines Kapitalwerts für Standortstrukturalternativen. Die Zusatzkosten werden berechnet, indem Zusammenhänge zwischen der Standortstruktur und der Kostenstruktur der einzelnen Standorte modelliert werden. MERCHIERS (2008) betont die Notwendigkeit einer Berücksichtigung von Unsicherheiten in der Bewertung, integriert jedoch lediglich quantitative Unsicherheiten über Wahrscheinlichkeitsverteilungen; dabei macht er weder deutlich, wie die Unsicherheiten zu ermitteln bzw. zu quantifizieren sind, noch erfolgt eine Bewertung des Risikos der einzelnen Strukturalternativen. Qualitative Einflussfaktoren oder Abhängigkeiten zwischen den Unsicherheiten werden nicht berücksichtigt. Durch den Aufbau der Bewertungsunterstützung in drei Ebenen ist der Ansatz skalierbar und leicht übertragbar. Jedoch ist die Bewertungsstruktur für einen Anwender in der Praxis nicht vollständig ersichtlich.

Bereits 1991 verwenden LIANG & WANG (1991) in ihrem Ansatz zur Bewertung der Vorteilhaftigkeit eines Standorts die Fuzzy-Set-Theorie. Es werden sowohl qualitative als auch wenige monetäre quantitative Faktoren in die Bewertung integriert; jedoch liegt der Fokus sehr stark auf den qualitativen Faktoren. Diesen werden zunächst von Experten Fuzzy-Werte zugeordnet und dann mit den monetären Faktoren zu einem Punktwert, dem sog. *fuzzy suitability index*, verrechnet.

Auch CHOU ET AL. (2008) verwenden die Fuzzy-Set-Theorie zur Standortbewertung und berechnen einen Punktwert als Zielgröße. Im Unterschied zu LIANG & WANG (1991) berücksichtigen CHOU ET AL. (2008) die Wichtigkeit der Entscheider, indem sie Gewichtungsfaktoren in die Bewertung integrieren. Sowohl bei LIANG & WANG (1991) als auch bei CHOU ET AL. (2008) gilt die Alternative mit dem höchsten Punktwert als vorteilhafteste Investition. Eine exakte Berechnung eines monetären Projektwerts wie bspw. des Kapitalwerts oder eine Risikobewertung wird nicht vorgenommen. Auch Unsicherheiten bzgl. des Auftretens oder der Entwicklung der monetären Faktoren werden in beiden Ansätzen vernachlässigt.

In seiner Arbeit stellt ERBEN (2000) einen Ansatz zur Bewertung qualitativer Länderrisiken vor. Unter Länderrisiken werden alle negativen Zielabweichungen, welche die Auslandsaktivitäten eines Unternehmens beeinträchtigen und auf spezifische Situationen der Wirtschaft, der Gesellschaft, der Politik, der Infrastruktur oder der natürlichen Umwelt eines bestimmten Landes zurückzuführen sind, verstanden. Wie LIANG & WANG (1991) und CHOU ET AL. (2008) bildet auch ERBEN (2000) mit Hilfe der Fuzzy-Set-Theorie Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge zwischen qualitativen Einflussfaktoren ab und errechnet einen Punktwert. Auch er verzichtet auf die Berücksichtigung quantitativer Unsicherheiten und eine fuzzy-logische Übertragung des Risikos auf monetäre Größen.

Der bei den Ansätzen von LIANG & WANG (1991), CHOU ET AL. (2008) und ERBEN (2000) jeweils ermittelte Punktwert macht Analysen und Vergleiche mit gebräuchlichen Bewertungskennzahlen unmöglich. Daher verfügen diese Methoden nur über eine eingeschränkte Praxistauglichkeit. Die Vorgabe einer standardisierten Vorgehensweise und die Erweiterbarkeit der Fuzzy-Sets gewährleisten die Skalierbarkeit der Ansätze. Da die Berechnungsverfahren und die berücksichtigten Faktoren allgemeiner Natur sind, lassen sich die Methoden leicht auf unterschiedliche Anwendungsfälle übertragen.

CARR & TAH (2001) nutzen ebenfalls die Fuzzy-Set-Theorie, um eine hierarchisch aufgebaute Risikostruktur zu beschreiben, die eine Risikobewertung von Standortalternativen bezogen auf Bauprojekte ermöglicht. In der Risikostruktur werden die Zusammenhänge zwischen unsicherheitsbehafteten Einflussfaktoren und deren Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit eines Bauprojekts transparent beschrieben. Die Leistungsfähigkeit und das zugehörige Risiko werden jedoch in qualitativen Werten angegeben; eine monetäre Zielgröße für das Bauprojekt wird nicht abgeleitet. Die Umsetzung der Bewertungsmethode in einem

Software-Prototyp erleichtert die Anpassung der Bewertung. Die Methode ist aufgrund ihrer Fokussierung auf Spezifika des Baugewerbes für den Einsatz im Baugewerbe sehr gut geeignet, jedoch schwer auf andere Problemstellungen übertragbar.

OEHMEN (2009) nutzt in seiner Arbeit zum Management von Supply-Chain-Risiken in China ebenfalls Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge für den Schritt der Risikobewertung. Er bildet dabei die Wirkungen überwiegend qualitativer Einflussfaktoren auf die Änderung des EVA eines Unternehmens ab. Weder Abhängigkeiten oder Wirkungen zwischen den einzelnen Einflussfaktoren noch Unsicherheiten bzgl. einer zukünftigen Entwicklung werden in das Modell integriert; lediglich das Auftreten der modellierten Wirkungen kann über Wahrscheinlichkeiten festgelegt werden. Das eigentliche Kalkulationsmodell zur Bewertung der Supply-Chain wird nicht gezeigt; die Wirkungen der einzelnen Einflussfaktoren greifen in einer Änderung des Unternehmenswerts an, ohne zu spezifizieren, wie diese Änderung zu Stande kommt. Der Bewertungsansatz von OEHMEN (2009) beleuchtet umfassend die in China vorherrschenden Risiken und weist durch die Fokussierung auf China einen hohen Praxisbezug auf. Jedoch leidet darunter die Übertragbarkeit auf andere Anwendungsfälle.

KUO ET AL. (2002) verwenden in ihrem Ansatz einen Fuzzy-AHP in Kombination mit einem KNN zur Bewertung von Standortalternativen der Lebensmittelindustrie. Sie bilden qualitative Einflussfaktoren über die Fuzzy-Set-Theorie ab und stellen dann ein AHP-Modell auf, um die Wirkzusammenhänge der Faktoren abzubilden. Nach einer Sammlung der einzelnen Einflussfaktoren durch Expertenbefragungen werden die Einflussfaktoren anschließend in ein im Vorfeld der Bewertung trainiertes KNN integriert. Das Ergebnis des Netzes ist die erwartete Anzahl an Kunden für die jeweilige Standortalternative. Eine monetäre Bewertung wird genauso wenig vorgenommen wie eine Risikoabschätzung. Der Ansatz ist spezifisch für die Standortbewertung der Lebensmittelindustrie entwickelt und für den Einsatz in der Praxis geeignet, lässt sich jedoch nicht auf andere Problemstellungen übertragen. Die Verwendung eines KNN mit dem damit verbundenen Black-Box-Verhalten (vgl. Abschnitt 2.6.5) verringert sowohl die Skalierbarkeit des Ansatzes als auch dessen Transparenz.

In Abbildung 20 sind die analysierten eindimensionalen Ansätze hinsichtlich der Erfüllung der Kriterien Bewertungsgegenstand, Bewertungscharakteristika und Bewertungsmethode gegenübergestellt. Außerdem werden die vier allgemeinen

Kriterien Skalierbarkeit, Transparenz, Übertragbarkeit und Praxistauglichkeit bewertet.

**Legende:**

Der Forschungsansatz kann aufgrund seiner Art bzw. aufgrund fehlender Informationen bezüglich dieser Anforderung nicht bewertet werden

Der Forschungsansatz erfüllt die Anforderungen ...

○ nahezu gar nicht    ● relativ gut  
 ◐ kaum    ● nahezu vollständig  
 ◑ teilweise

		SUDHOFF 2007	MÖLLER 2008	REINHART ET AL. 2009a	MEYER 2006	KUNERT ET AL. 2007	MERCIERS 2008	LIANG & WANG 1991	CHOU ET AL. 2008	ERBEN 2000	CARR & TAH 2001	OEHMEN 2009	KUO ET AL. 2002
<b>Bewertungsbereich</b>	Standort	●	○	●	●	●	●	○	○	●	○	●	●
	Fabrik / Produktionslogistik	○	●	○	○	○	○	●	●	○	●	○	○
<b>Bewertungscharakteristika</b>	Quantitative Einflussfaktoren	●	●	●	●	●	●	◐	◐	◐	◐	◐	○
	Qualitative Einflussfaktoren	○	○	○	○	○	◐	●	●	●	●	●	●
	Quantitative Unsicherheiten	●	●	●	○	○	○	◐	◐	◐	◐	○	○
	Qualitative Unsicherheiten	○	○	○	○	○	○	◐	◐	◐	◐	○	◐
	Abhängigkeiten	○	○	◐	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Kalkulationsmodell	●	●	◐	●	◐	◐	○	○	○	○	○	○
	Monetäre Zielgröße	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○	◐	○
	Risikobetrachtung	◐	◐	◐	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<b>Bewertungsmethode</b>	Punktebewertung	○	○	○	○	○	○	●	●	○	●	○	○
	Fuzzy-Set-Theorie	○	○	○	○	○	○	●	●	●	●	○	○
	Kapitalwert / EVA	●	●	●	○	○	●	○	○	○	○	◐	○
	Ursache-Wirkungs-Ketten	○	○	○	○	○	◐	○	○	○	○	●	●
	Sonstige	●	●	○	●	●	○	○	○	○	○	○	●
<b>Allgemeine Kriterien</b>	Skalierbarkeit	●	●	●	●	▨	●	◐	◐	◐	◐	◐	◐
	Transparenz	◐	◐	●	●	●	◐	●	●	●	●	●	◐
	Übertragbarkeit	●	●	○	◐	●	●	○	○	○	○	○	○
	Praxistauglichkeit	◐	◐	●	◐	●	◐	◐	◐	◐	●	●	●

Abbildung 20: Analyisierte eindimensionale Bewertungsansätze

### 3.3 Multidimensionale Bewertungsansätze

In der wissenschaftlichen Literatur existiert eine Vielzahl von Bewertungsansätzen, die multidimensionale Einflussfaktoren berücksichtigen. Im Folgenden werden die für die übergeordnete Zielsetzung dieser Arbeit relevanten Ansätze vorgestellt.

Bereits 1993 kombiniert OST (1993) in seiner Methode zur Flexibilitätsbewertung in der Fabrik Kostengrößen und qualitative Faktoren, die die Flexibilität beeinflussen. Die qualitativen Faktoren werden über eine Kombination aus einer Nutzwertanalyse und fuzzy-logischen Verknüpfungen mit Kosten- und Erlösgrößen verbunden, die in eine Kapitalwertberechnung fließen. OST (1993) nimmt eine detaillierte Kostengliederung der Produktionsfaktoren innerhalb der Fabrik vor und modelliert Ursache-Wirkungs-Ketten von Faktoren mit Einfluss auf die Flexibilität sehr anschaulich. Aus der Vorgabe von Transformationsfunktionen für die jeweiligen Einflussfaktoren folgt eine hohe Skalierbarkeit, Praxistauglichkeit und Transparenz der Methode; jedoch lässt sich die Methode aufgrund der Einschränkung auf die Flexibilitätsbewertung in der Fabrik nicht auf die Standortbewertung übertragen. Unsicherheiten werden nicht berücksichtigt.

Die Methodik von KENGPOL (2004) zielt auf den Vergleich von Standortalternativen für ein Distributionszentrum in Thailand unter Einfluss von qualitativen und quantitativen Einflussfaktoren ab. Die quantitativen Faktoren fließen zunächst in eine klassische dynamische Investitionsrechnung zur Ermittlung des Kapitalwerts der einzelnen Alternativen. Anschließend werden den Kapitalwerten der Alternativen Punktwerte zugeordnet, die dann neben den qualitativen Faktoren, wie z. B. der Verbesserung des LKW-Managements, in ein AHP-Modell integriert werden. Als Ergebnis der Bewertung liegen Punktwerte für die einzelnen Standortalternativen vor. Es werden weder Unsicherheiten in die Bewertung aufgenommen, noch Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Einflussfaktoren berücksichtigt. Da die Methode auf einen Spezialfall in Thailand fokussiert ist und die Struktur des AHP-Modells nicht transparent wird, ist die Methode nur eingeschränkt auf andere Problemstellungen übertragbar.

HEGER (2007) verbindet zur Bewertung von Wandlungsfähigkeit von Fabrikobjekten die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit einer Potentialanalyse, die technische Merkmale der Objekte einer Fabrik spezifiziert und qualitativ bewertet. Dieses sog. *Ist-Wandlungspotential* wird dann einem *Soll-Wandlungspotential* gegenübergestellt. Für Fabrikobjekte, die eine Potentialdifferenz aufweisen, werden

Planungsalternativen erstellt und für diese dann eine monetäre Bewertung basierend auf dem Kapitalwertverfahren durchgeführt. HEGER (2007) berücksichtigt zwar die Unsicherheit der Wandlungshäufigkeit in seiner monetären Bewertung über Erwartungswerte von Wahrscheinlichkeitsverteilungen, bewertet aber nicht einzelne Faktoren, die zu dieser Unsicherheit führen. Qualitative Einflussfaktoren fließen lediglich über eine Nutzwertanalyse in die Bewertung ein, indem ein abstrakter Punktwert zusätzlich zum Kapitalwert ausgewiesen wird. Vorteile der Methode liegen in der Transparenz, der Skalierbarkeit und der sich daraus ergebenden leichten Anwendbarkeit für den Fabrikplaner. Jedoch lässt sich die Vorgehensweise nur schwer auf die Bewertung von Standorten übertragen.

Auch NYHUIS ET AL. (2007) adressieren die Wandlungsfähigkeit, indem sie deren Auswirkung auf die Logistik eines Standorts in drei Schritten bewerten. Zunächst werden einzelne Objekte einer Fabrik anhand von 232 Kriterien hinsichtlich ihrer Ist-Wandlungsfähigkeit untersucht und dann mit Hilfe von Szenarioanalysen die Soll-Wandlungsfähigkeiten festgelegt. In einem zweiten Schritt werden die Fabrikobjekte den vorher definierten Logistikzielen wie z. B. Liefertreue in einer Einflussmatrix gegenübergestellt. Durch Expertenbefragungen wird dabei die Stärke des Einflusses durch Punktwerte ermittelt. Der dritte Schritt des Ansatzes von NYHUIS ET AL. (2007) bewertet dann die Auswirkung der Wandlungsfähigkeit auf die Leistung und Kosten der Logistik eines Standorts, indem kausale Wirkungsketten zwischen den im ersten Schritt ermittelten Wandlungseigenschaften der Fabrikobjekte und den Logistikzielen aufgestellt werden. Abhängigkeiten zwischen den Fabrikobjekten und den Logistikzielen oder Wirkungen von Logistikzielen auf die Fabrikobjekte werden nicht berücksichtigt. Vorteile des Ansatzes von NYHUIS ET AL. (2007) liegen in der hohen Praxistauglichkeit und der Transparenz durch die Nutzung von vordefinierten Kriterien sowie durch die Ableitung der Wirkungsketten. Jedoch ist die Methode auf die Bewertung der Logistik beschränkt und nicht einfach auf andere Problemstellungen übertragbar. Weder Aussagen über die Wirtschaftlichkeit noch über die Risikostruktur sind mit der Methode möglich.

BUHMANN & SCHÖN (2009) stellen ein Konzept zur dynamischen Standortbewertung vor, welches sowohl qualitative als auch quantitative Faktoren berücksichtigt und den Kapitalwert berechnet. Durch eine Analyse von Ursache-Wirkungsketten werden Kausalbeziehungen zwischen qualitativen Faktoren und Kostengrößen beschrieben und in eine Kapitalwertberechnung für drei definierte Zukunftsszenarien (realistisch, optimistisch, pessimistisch) integriert. Abhängigkeiten zwischen den Einflussfaktoren werden teilweise berücksichtigt, indem

gleichgerichtete oder gegenläufige Entwicklungen zweier Faktoren in einer sog. *Konsistenzmatrix* abgebildet werden. Auf diese Weise werden inkonsistente Entwicklungsprognosen vermieden.

Wie BUHMANN & SCHÖN (2009) kritisieren auch KINKEL & ZANKER (2007) die unzureichende Berücksichtigung qualitativer Einflussfaktoren bei der Standortbewertung. Daher schlagen sie vor, qualitative Faktoren über eine an die Standortbewertung angepasste Nutzwertanalyse zu bewerten und in einem Portfolio als Punktwert neben der monetären Bewertungsgröße (Kapitalwert) auszuweisen.

Auch ABELE ET AL. (2008) führen im Rahmen des von ihnen entwickelten Vorgehens zur systematischen Bewertung von Produktionsnetzwerken eine Vergleichsrechnung von Standortalternativen unter Berücksichtigung qualitativer und quantitativer Kriterien durch. Dabei fließen die quantitativen Einflussfaktoren in eine Kapitalwertberechnung, die qualitativen Faktoren werden wie bei KINKEL & ZANKER (2007) über eine Nutzwertanalyse bewertet und in einem Portfolio ausgewiesen. Weder ABELE ET AL. (2008) noch KINKEL & ZANKER (2007) berücksichtigen Abhängigkeiten zwischen den qualitativen Einflussfaktoren. Außerdem wird die Unsicherheit einzelner Einflussfaktoren nicht betrachtet.

Die Ansätze von BUHMANN & SCHÖN (2009), KINKEL & ZANKER (2007) sowie von ABELE ET AL. (2008) haben alle gemeinsam, dass sie den Wert einer Standortalternative monetär ermitteln, aber den Einfluss qualitativer Einflussfaktoren lediglich als abstrakten Punktwert ausweisen. Die vorgeschlagenen Verfahren sind allgemein anwendbar, an unterschiedliche Bewertungskomplexitäten anpassbar und übertragbar. Allerdings wird keine Umrechnung der qualitativen Faktoren in monetäre Größen vorgenommen. Dies führt beim Einsatz in der Praxis dazu, dass die Bewertungsergebnisse nicht einfach mit in der Vergangenheit durchgeführten Bewertungen verglichen werden können. Außerdem werden zukünftige Entwicklungen lediglich für definierte Szenarien berücksichtigt. Eine Abschätzung des Risikos der einzelnen Standortalternativen ist damit nur bedingt möglich.

BRIEKE (2009) beschreibt eine Methodik zur Erweiterten Wirtschaftlichkeitsrechnung (EWR) im Rahmen der Fabrikplanung. Kern der Arbeit ist die Transformation nicht monetärer Einflussfaktoren in Zahlungen und die Integration dieser Faktoren in eine Kapitalwertberechnung. Nicht transformierbare Größen werden durch eine Art Nutzwertanalyse zu einem Zusatznutzen verrechnet. Die Me-



thodik ist prinzipiell für den Einsatz in der Praxis geeignet und weist aufgrund des einfachen Aufbaus eine hohe Skalierbarkeit und Transparenz auf. Jedoch ist sie auf die Bewertung einzelner Objekte einer Fabrik fokussiert und damit nicht aufwandsarm auf die Standortbewertung übertragbar. Außerdem werden weder die Unsicherheit bzgl. der Zukunftsentwicklung der Einflussfaktoren berücksichtigt noch Abhängigkeiten zwischen den Einflussfaktoren integriert.

Sowohl YONG (2006) als auch CHU (2002) stellen eine Methode für den qualitativen Vergleich von Standortalternativen basierend auf einem sog. Fuzzy-TOPSIS<sup>6</sup>-Ansatz vor. Basierend auf Experteninterviews werden für die einzelnen Standortalternativen sowohl für die quantitativen als auch für die qualitativen Einflussfaktoren Fuzzy-Zugehörigkeitswerte zu einer definierten Punkteskala ermittelt und mit der TOPSIS-Methode zu einem Gesamt-Punktwert aggregiert. Die Alternative mit dem höchsten Punktwert ist dabei die vorteilhafteste. Die Ansätze von YONG (2006) und CHU (2002) sind in der Praxis einfach anwendbar sowie bei Kenntnis der TOPSIS-Struktur leicht auf andere Problemstellungen zu übertragen und zu erweitern. Jedoch werden die quantitativen Einflussfaktoren weder in ein Kalkulationsmodell zur Berechnung einer monetären Zielgröße integriert, noch werden Unsicherheiten oder Abhängigkeiten zwischen den Einflussfaktoren berücksichtigt.

UDE (2010) integriert in seinen Ansatz zur Konfiguration globaler Wertschöpfungsnetzwerke sowohl quantitative als auch qualitative Faktoren. In einem mehrstufigen Vorgehen werden quantitative Faktoren in eine simulationsbasierte, monetäre Bewertung aufgenommen und anschließend qualitative Faktoren über ein multikriterielles Entscheidungsverfahren betrachtet. Unsicherheiten können über die Angabe von Wahrscheinlichkeitsverteilungen sowohl für die quantitativen Faktoren als auch für die als Punktwerte vorliegenden qualitativen Faktoren berücksichtigt werden. Jedoch lassen sich weder Abhängigkeiten zwischen den Faktoren noch der monetäre Wert des Einflusses der qualitativen Faktoren abbilden. Durch den modularen Aufbau des Ansatzes kann dieser leicht skaliert und auf verschiedene Netzwerke übertragen werden. Allerdings ist das verwendete multikriterielle Entscheidungsverfahren für den Anwender nicht immer nachvollziehbar.

---

<sup>6</sup> TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) ist eine Methode zur Lösung von Entscheidungsproblemen mit dem Ziel, die relative Vorteilhaftigkeit von Alternativen zu bestimmen. Für weitere Beschreibungen wird auf die einschlägige Literatur (z. B. YOON & HWANG 2003, PARDALOS ET AL. 2008) verwiesen.

In Abbildung 21 sind die einzelnen Ansätze hinsichtlich der Erfüllung der Kriterien Bewertungsgegenstand, Bewertungscharakteristika und Bewertungsmethode gegenübergestellt. Außerdem werden auch hier die allgemeinen Kriterien bewertet.

**Legende:**

Der Forschungsansatz kann aufgrund seiner Art bzw. aufgrund fehlender Informationen bezüglich dieser Anforderung nicht bewertet werden

Der Forschungsansatz erfüllt die Anforderungen ...

○ nahezu gar nicht    ● relativ gut  
 ◐ kaum                      ● nahezu vollständig  
 ◑ teilweise

		OST 1993	KENGPOL 2004	HEGER 2007	NYHUISE ET AL. 2007	BUHMANN & SCHÖN 2009	KINKEI & ZANKER 2007	ABELE ET AL. 2008	BRIEKE 2009	YONG 2006	CHU 2002	UDE 2010
<b>Bewertungs-bereich</b>	Standort	○	●	●	○	●	●	●	○	●	●	●
	Fabrik / Produktionslogistik	●	○	○	●	○	○	○	●	○	○	○
<b>Bewertungs-charakteristika</b>	Quantitative Einflussfaktoren	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Qualitative Einflussfaktoren	◐	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Quantitative Unsicherheiten	○	○	○	○	◐	○	○	○	○	○	●
	Qualitative Unsicherheiten	○	○	○	○	◐	○	○	○	○	○	◐
	Abhängigkeiten	○	○	◐	○	◐	○	○	○	○	○	○
	Kalkulationsmodell	◐	◐	◐	○	◐	◐	◐	◐	○	○	◐
	Monetäre Zielgröße	●	○	●	○	●	●	●	●	○	○	●
	Risikobetrachtung	○	○	○	○	◐	○	○	○	○	○	◐
<b>Bewertungs-methode</b>	Punktebewertung	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Fuzzy-Set-Theorie	◐	○	○	○	○	○	○	◐	○	○	○
	Kapitalwert / EVA	●	●	●	○	●	●	●	●	○	○	◐
	Ursache-Wirkungs-Ketten	●	○	●	●	●	○	○	◐	○	○	○
	Sonstige	○	○	○	○	○	○	○	○	●	●	●
	<b>Allgemeine Kriterien</b>	Skalierbarkeit	●	▨	●	●	●	●	●	◐	◐	◐
Transparenz		●	○	●	●	●	●	●	●	◐	◐	◐
Übertragbarkeit		◐	○	◐	○	●	●	●	●	◐	◐	●
Praxistauglichkeit		◐	◐	●	●	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐

Abbildung 21: Analytierte multidimensionale Bewertungsansätze

### 3.4 Fazit

In den vorangegangenen Abschnitten wurde gezeigt, dass im Forschungsbereich der Fabrik- und Standortplanung bereits eine Vielzahl von Bewertungsansätzen mit unterschiedlicher Zielsetzung existiert. Es ist aber auch deutlich geworden, dass eine Bewertung unter Berücksichtigung multidimensionaler Einflussfaktoren eine Herausforderung darstellt. Im Folgenden werden die in den letzten beiden Abschnitten beschriebenen Analysen kurz zusammengefasst.

Die eindimensionalen Bewertungsansätze sind zweigeteilt. Der eine Teil beschränkt sich auf die monetäre Bewertung durch Berücksichtigung quantitativer Einflussfaktoren in einem Kalkulationsmodell. Der andere Teil vernachlässigt die monetären Größen vollständig und fokussiert auf die Berücksichtigung qualitativer Einflussfaktoren durch eine Punktebewertung. Unsicherheiten finden nur in wenigen Ansätzen Berücksichtigung, eine vollständige Betrachtung des durch diese Unsicherheiten induzierten Risikos wird jedoch von keinem der Ansätze vorgenommen. Auch Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Einflussfaktoren werden nicht in die Bewertungen integriert. Lediglich REINHART ET AL. (2009a) liefern dazu einen ersten Ansatz, indem sie Korrelationen zwischen quantitativen Unsicherheiten integrieren, erklären jedoch nicht, wie die Korrelationen zu ermitteln sind.

Bei den multidimensionalen Bewertungsansätzen werden sowohl quantitative als auch qualitative Einflussfaktoren berücksichtigt, allerdings erfolgt keine Aggregation zu einem Wert. Die meisten der analysierten Ansätze weisen eine monetäre Zielgröße auf, integrieren aber lediglich die quantitativen Faktoren in das zugehörige monetäre Kalkulationsmodell und lassen qualitative Faktoren in eine Punktebewertung einfließen. Dies bedeutet, dass der Einfluss qualitativer Faktoren nicht monetär bewertet, sondern nur über einen abstrakten Punktwert verdeutlicht wird. Dies führt dazu, dass die qualitativen Faktoren in der Praxis oft vernachlässigt werden, und dass die Vergleichbarkeit von Bewertungen nicht gegeben ist.

Die zugrunde liegende Theorie zur Abbildung von quantitativen und qualitativen Unsicherheiten ist vorhanden und wurde in Kapitel 2 erläutert; allerdings existiert mit Ausnahme des Ansatzes von UDE (2010) noch kein multidimensionaler Bewertungsansatz, der sowohl quantitative als auch qualitative Unsicherheiten in die Bewertung integriert. UDE (2010) berücksichtigt zwar derartige Unsicherhei-

ten, betrachtet jedoch weder deren Abhängigkeiten noch das durch die Unsicherheiten hervorgerufene Risiko.

Die Analyse bestehender Bewertungsansätze in diesem Kapitel ergibt, dass keiner der beschriebenen Ansätze in der Lage ist, eine Standortbewertung unter Berücksichtigung multidimensionaler Unsicherheiten und deren Abhängigkeiten durchzuführen. Des Weiteren ist es derzeit nicht möglich, den Einfluss der voneinander abhängigen, qualitativen und quantitativen Faktoren monetär zu erfassen. Hieraus leitet sich der Handlungsbedarf für die Entwicklung einer Methode zur Bewertung von Produktionsstandorten unter Berücksichtigung multidimensionaler Unsicherheiten ab. Die Anforderungen an eine solche Methode lassen sich aus den in Kapitel 2 erläuterten Grundlagen und den aufgezeigten Defiziten bestehender Ansätze ableiten und werden im nachfolgenden Kapitel 4 detailliert beschrieben.

## **4 Anforderungen an eine Methode zur Bewertung vernetzter Produktionsstandorte unter Berücksichtigung multidimensionaler Unsicherheiten**

### **4.1 Allgemeines**

Übergeordnete Zielsetzung dieser Arbeit ist es, den Praxiseinsatz und die Aussagekraft von Methoden zur Auswahl von in Produktionsnetzen integrierten Standorten zu erhöhen. Wie bereits in Abschnitt 1.2 beschrieben, bedingt diese Zielsetzung die Entwicklung einer Methode zur Bewertung unter Berücksichtigung quantitativer und qualitativer Unsicherheiten.

Aufbauend auf den Ausführungen der vorherigen beiden Kapitel 2 und Kapitel 3 werden im Folgenden zunächst die speziellen Anforderungen an eine Methode zur Bewertung von vernetzten Produktionsstandorten definiert (Abschnitt 4.2), bevor die allgemeinen Anforderungen beschrieben werden, die diese Bewertungsmethode für die praktische Anwendung erfüllen muss (Abschnitt 4.3).

### **4.2 Spezielle Anforderungen an die Bewertungsmethode**

Die zu entwickelnde Bewertungsmethode muss folgende Anforderungen erfüllen, die sich aus der Zielsetzung der Arbeit ableiten lassen:

- *Monetäre Bewertung:* Diese Anforderung lässt sich direkt aus der übergeordneten Zielsetzung dieser Arbeit ableiten, den Praxiseinsatz und die Aussagekraft von Methoden zur Standortauswahl produzierender Unternehmen zu erhöhen. Hierzu ist, wie in Abschnitt 2.4 beschrieben, das ökonomische Prinzip auch bei der Standortplanung zu gewährleisten, was bedeutet, dass die im Rahmen der Standortauswahl durchzuführende detaillierte Bewertung basierend auf einer operativen, monetären Zielgröße erfolgen muss.
- *Ganzheitlichkeit:* In Abschnitt 1.3.2 wurde erläutert, dass sich die Untersuchungen in dieser Arbeit auf die Auswahl vernetzter Standorte innerhalb des Produktionsnetzes von Unternehmen beschränken. Dies bedeutet, dass auch die Lieferbeziehungen zu weiteren Produktionsstandorten sowie zu

Zulieferern und Kunden des Unternehmens zu betrachten sind. Eine ganzheitliche Bewertung von Standortalternativen kann daher nur vorgenommen werden, wenn alle relevanten Einflussfaktoren auf die Bewertung vernetzter Produktionsstandorte identifiziert und berücksichtigt werden.

- *Berücksichtigung multidimensionaler Unsicherheiten:* Um die Aussagekraft von Methoden zur Auswahl von in Produktionsnetzen integrierten Standorten zu erhöhen, ist es erforderlich, die Turbulenz des Unternehmensumfelds zu berücksichtigen. Daher müssen sowohl quantitative als auch qualitative Unsicherheiten identifiziert und in das Bewertungsmodell integriert werden können.
- *Integration von Abhängigkeiten:* Wie in Abschnitt 2.2.3 beschrieben, können sich Faktoren mit Einfluss auf die Bewertung gegenseitig beeinflussen bzw. voneinander abhängen. Die Bewertungsmethode muss es daher ermöglichen, Abhängigkeiten zwischen qualitativen und quantitativen Unsicherheiten abzubilden.
- *Risikobetrachtung:* Das turbulente Unternehmensumfeld kann zu einem Risiko für produzierende Unternehmen führen (vgl. Abschnitt 1.1). Für die Bewertung von Produktionsstandorten bedeutet dies, dass ein solches Risiko in seiner Richtung (positiv / negativ) und in der Höhe seines Ausmaßes zu quantifizieren ist.

Zur Erfüllung der in diesem Abschnitt gestellten Anforderungen ist eine Kombination der in den Abschnitten 2.5 und 2.6 erläuterten Bewertungsverfahren erforderlich. Die beschriebenen Grundlagen sowie die analysierten eindimensionalen Bewertungsansätze haben gezeigt, dass die Risikoanalyse ein geeignetes Verfahren zur Modellierung quantitativer Unsicherheiten über Wahrscheinlichkeitsverteilungen darstellt. Für die Abbildung und Integration qualitativer Unsicherheiten sowie deren Wirkbeziehungen in die Wirtschaftlichkeitsrechnung ist die Fuzzy-Set-Theorie prädestiniert (ROSENKRANZ & MISSLER-BEHR 2005). Dieses Verfahren ermöglicht die Abbildung menschlichen Denkens und damit der oft als Expertenschätzung vorliegenden sowie inhaltlich nicht präzise abgrenzbaren, qualitativen Unsicherheiten bei der Standortauswahl (NICOLAI 1995).

### 4.3 Allgemeine Anforderungen für die praktische Anwendung

Ein Kernelement der in dieser Arbeit zu entwickelnden Methode zur Bewertung von Produktionsstandorten bildet das *Bewertungsmodell*. Es ergibt sich aus der Verknüpfung eines Kalkulationsmodells mit den modellierten Unsicherheiten. Sowohl für das Bewertungsmodell als auch für die Bewertungsmethode sind allgemeine Anforderungen für die praktische Anwendung zu erfüllen:

- *Praxistauglichkeit (Methode & Modell)*: Die Methode zur Bewertung von Standorten muss für den Anwender aus der industriellen Praxis verständlich sein und einen Mehrwert darstellen. Hierzu bedarf es einer übersichtlichen Struktur und einer Implementierung des komplexen Bewertungsmodells in einem Software-Werkzeug.
- *Übertragbarkeit (Methode & Modell)*: Bewertungen von Produktionsstandorten sind von Fall zu Fall und bei jedem Unternehmen unterschiedlich, da jeweils verschiedene Einflussfaktoren in die Bewertung integriert werden (REINHART ET AL. 2009b). Daher ist es wichtig, sowohl die zu entwickelnde Methode als auch das Bewertungsmodell auf neue Einsatzfälle übertragen zu können.
- *Transparenz (Modell)*: Die Anforderung der Übertragbarkeit bedingt die Transparenz des Bewertungsmodells. Nur wenn der Aufbau und die Zusammenhänge des Modells für den Anwender ersichtlich sind, kann der Anwender die Bewertung auf neue Einsatzfälle übertragen.
- *Skalierbarkeit (Modell)*: Das Bewertungsmodell muss bzgl. des zu betrachtenden Anwendungsfalls erweitert bzw. angepasst werden können. Bspw. beeinflusst eine Änderung der Kalkulation die im Bewertungsmodell abgebildeten Berechnungsvorschriften. Für das unterstützende Software-Werkzeug bedeutet dies, dass die darin implementierten Berechnungsvorschriften veränderbar sein müssen.

## 4.4 Fazit

In diesem Kapitel sind die Anforderungen definiert worden, die eine Methode zur Standortbewertung und das darin enthaltene Bewertungsmodell erfüllen muss (vgl. Abbildung 22).

Anforderungen	
<b>Spezielle Anforderungen an die Bewertungsmethode</b>	Monetäre Bewertung
	Ganzheitlichkeit
	Berücksichtigung multidimensionaler Unsicherheiten
	Integration von Abhängigkeiten
	Risikobetrachtung
<b>Allgemeine Anforderungen für die praktische Anwendung</b>	Praxistauglichkeit (Methode & Modell)
	Übertragbarkeit (Methode & Modell)
	Transparenz (Modell)
	Skalierbarkeit (Modell)

*Abbildung 22: Anforderungen an eine Methode zur Bewertung vernetzter Produktionsstandorte*

Vor dem Hintergrund der übergeordneten Zielsetzung der Arbeit wurde außerdem deutlich, dass zur Erfüllung der Anforderungen eine Kombination der Verfahren des Rechnungswesens mit der Risikoanalyse zur Berücksichtigung quantitativer Unsicherheiten sowie der Fuzzy-Set-Theorie zur Berücksichtigung qualitativer Unsicherheiten erforderlich ist. Aus diesem Grund erfolgt in Kapitel 5 eine ausführliche Beschreibung, wie quantitative und qualitative Unsicherheiten für die Standortbewertung zu modellieren sind. Darauf aufbauend wird in Kapitel 6 die Methode zur Bewertung vernetzter Produktionsstandorte unter Berücksichtigung multidimensionaler Unsicherheiten erläutert.



## 5 Modellierung quantitativer und qualitativer Unsicherheiten

### 5.1 Allgemeines

In Abschnitt 1.1 wurde bereits dargelegt, dass eine Vielzahl der bei der Standortauswahl zu berücksichtigenden Einflussfaktoren eine Unsicherheit aufweist. Qualitative Einflussfaktoren stellen eine linguistische Unsicherheit dar, quantitative Einflussfaktoren können einer stochastischen Unsicherheit unterliegen (vgl. Abschnitt 2.3.3). Quantitative und qualitative Unsicherheiten lassen sich neben ihrer *Erscheinungsart* (qualitativ oder quantitativ, vgl. Abschnitt 2.2.2) klassifizieren hinsichtlich ihrer *Zeitabhängigkeit* und der *Auftretensart* (stetig oder diskret) (vgl. Abbildung 23).

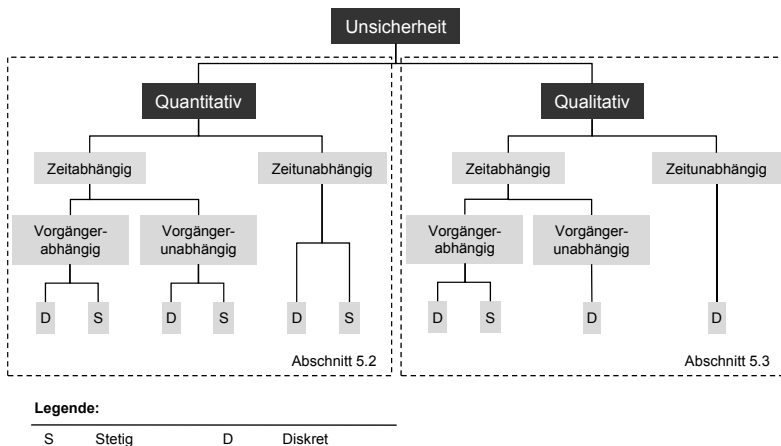


Abbildung 23: Klassifizierung von Unsicherheiten (in Anlehnung an RIMPAU 2010)

Die im Rahmen der Standortauswahl durchzuführende detaillierte Bewertung erstreckt sich über einen langfristigen Zeitraum (vgl. Abschnitt 1.3.2), der in  $T$  Intervalle eingeteilt werden kann, die sog. *Zeiträume*  $t$ . Bei der Standortbewertung werden meist Periodendauern von einem Jahr angenommen. Der Beginn der Bewertung, d. h. die erste Zeiträume, ist beliebig wählbar und hängt von der konkreten Bewertungsaufgabe ab; meist wird der jeweilige Zeitpunkt der Bewer-

tung als erste Zeitperiode definiert. Die Zeitabhängigkeit gibt an, ob sich die einzelne Unsicherheit über den Bewertungszeitraum der Standortalternative zeitlich verändert oder nicht. Faktoren wie Rohstoffpreise oder Wechselkurse sind z. B. zeitabhängig, Faktoren wie die Einführung einer neuen am Standort zu produzierenden Produktgeneration oder vorherrschende kulturelle Unterschiede sind zeitunabhängig. Zeitabhängige Faktoren lassen sich weiter unterscheiden nach ihrer *Vorgängerabhängigkeit*. Dieses Merkmal drückt aus, ob ein Wert der aktuellen Zeitperiode  $t$  von der vorangegangenen Zeitperiode  $t-1$  beeinflusst wird oder nicht. Vorgängerabhängige Unsicherheiten sind z. B. Aktienkurse, vorgängerunabhängige Unsicherheiten können z. B. die Lohnkosten am Standort sein.

Das Klassifizierungsmerkmal *Auftretensart* drückt aus, ob eine Unsicherheit in *stetiger* Form (z. B. die Lohnkostensteigerung am Standort) oder in *diskreter* Form (z. B. das Auftreten von Anlaufschwierigkeiten der Produktion am Standort) vorliegt. Die zeitunabhängigen sowie die vorgängerunabhängigen qualitativen Unsicherheiten sind stets diskret, denn sie „*lassen sich nicht direkt durch Zahlen kennzeichnen, zwischen denen eine natürliche Reihenfolge (Größer-Kleiner-Beziehung) besteht*“ (BOSCH 1996, S. 4).

Im Folgenden wird zunächst erläutert, wie quantitative Unsicherheiten modelliert werden, bevor in Abschnitt 5.3 beschrieben wird, wie qualitative Unsicherheiten abzubilden sind. Darauf aufbauend ist in Abschnitt 5.4 erklärt, wie die unterschiedlichen Abhängigkeiten zwischen den Unsicherheiten in dieser Arbeit modelliert werden.

## 5.2 Modellierung quantitativer Unsicherheiten

### 5.2.1 Allgemeines

Wie bereits in Abschnitt 2.5.2 erläutert, ist die Wahrscheinlichkeitstheorie geeignet, quantitative Unsicherheiten abzubilden. In der Literatur wird zwischen *objektiver* und *subjektiver Wahrscheinlichkeit* unterschieden (NEFF 2002). Die objektive Wahrscheinlichkeit ergibt sich aus Beobachtungen oder basierend auf logischen Schlussfolgerungen. Werden Wahrscheinlichkeiten aufgrund gefühlsmäßiger Einschätzungen getroffen, handelt es sich um subjektive Wahrscheinlichkeiten. Quantitative Unsicherheiten im Rahmen der Standortbewertung sind über subjektive Wahrscheinlichkeiten abzubilden, da sie basierend auf Beobach-

tungen vergangener Werte und Einschätzungen von den an der Standortauswahl beteiligten Personen getroffen werden.

Die möglichen Funktionswerte einer Zufallsvariablen  $X$  werden mathematisch durch eine *Verteilungsfunktion*  $F(x)$  abgebildet, die den Funktionswerten zugehörige Wahrscheinlichkeiten zuordnet (vgl. Abbildung 24). Der Wertebereich von  $F(x)$  ist dabei auf das Intervall  $[0; 1]$  beschränkt. Handelt es sich um diskrete Zufallsvariablen, entspricht der Wert der Verteilungsfunktion der Wahrscheinlichkeit. Die Wahrscheinlichkeiten stetiger Zufallsvariablen werden ermittelt, indem die Integrale der *Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion* der Zufallsvariablen berechnet werden (SMIRNOW & DUNIN-BARKOWSKI 1963).

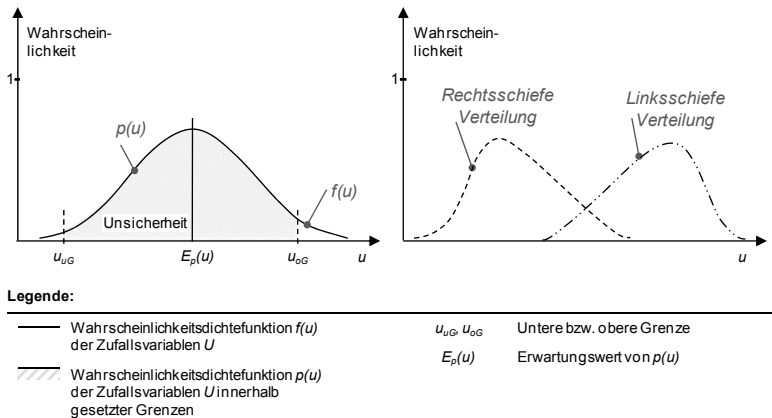


Abbildung 24: Modellierung einer quantitativen Unsicherheit als Wahrscheinlichkeitsverteilung

In der Praxis werden stetige Verteilungen häufig in *gestutzter* Form verwendet, wenn gewisse Grenzen für die Wahrscheinlichkeit gesetzt werden (vgl. Abbildung 24, COTTIN & DÖHLER 2009). Bei der Standortbewertung kann es bspw. erforderlich sein, für die Modellierung der Unsicherheit *Lohnkosten in einer Zeitperiode  $t$*  sowohl eine untere Grenze als auch eine obere Grenze zu definieren. Darüber hinaus ist es auch möglich, unsymmetrische Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen anzugeben. In diesem Fall spricht man von *rechtsschiefen* oder *linksschiefen* Verteilungen (RINNE 2008). Bezogen auf die o. g. Unsicherheit würde eine Modellierung in Form einer linksschiefen Verteilung z. B. bedeuten, dass sich die Lohnkosten in dieser Zeitperiode  $t$  eher nach oben als nach unten entwickeln.

### 5.2.2 Arten der Modellierung quantitativer Unsicherheiten

Abbildung 25 detailliert die in Abbildung 23 gezeigte Klassifizierung der quantitativen Unsicherheiten, indem dargestellt ist, dass zwischen den quantitativen Unsicherheiten auch Abhängigkeiten in Form von Korrelationen bestehen können (vgl. Abschnitt 2.2.3). Darüber hinaus ist jeweils die in dieser Arbeit verwendete Modellierungsweise für die Klassifizierungsarten angegeben. Im Folgenden werden die einzelnen Arten beschrieben und jeweils die Modellierungsweisen erklärt.

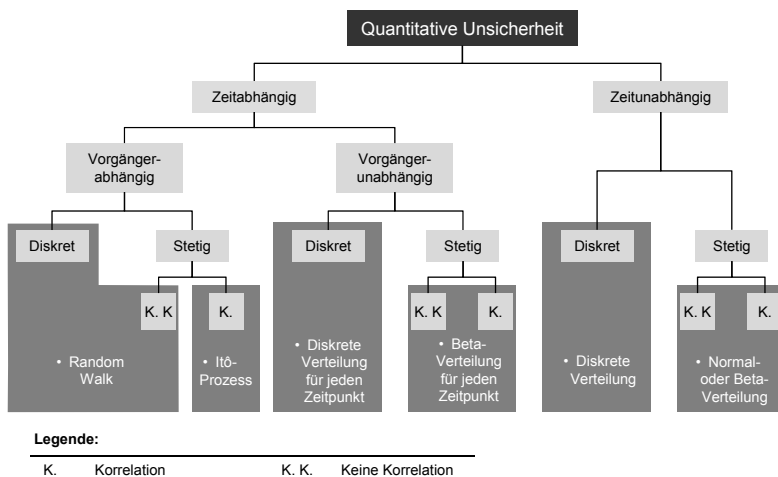


Abbildung 25: Modellierungsarten quantitativer Unsicherheiten

#### Modellierung stetiger zeitunabhängiger quantitativer Unsicherheiten

Für die Modellierung stetiger zeitunabhängiger quantitativer Unsicherheiten kommen je nach Art des zu integrierenden Einflussfaktors unterschiedliche Verteilungsfunktionen für die Modellierung in Frage (MÖLLER 2008). Die Einflussfaktoren sind aus diesem Grund einzeln zu untersuchen und mit den Eigenschaften möglicher Wahrscheinlichkeitsverteilungen für deren Modellierung abzugleichen (MUN 2002). Für die Modellierung der Einflussfaktoren auf die Standortbewertung als Unsicherheit werden Angaben verwendet, die entweder auf der Analyse früherer Entwicklungen oder eigenen Erfahrungen bezogen auf den Einflussfaktor basieren. Für solche Modellierungsaufgaben eignen sich die *Normal-*

verteilung, die stetige Gleichverteilung sowie die Dreiecksverteilung (RIMPAU 2010). Sowohl die stetige Gleichverteilung als auch die Dreiecksverteilung sind im Anhang (vgl. 10.1) erklärt. Diese Verteilungen lassen sich auch durch Parameterkonstellationen der *Beta-Verteilung* abbilden. Die Beta-Verteilung ist insbesondere zur Modellierung von Unsicherheiten geeignet, für die wenige Erfahrungswerte vorliegen (COTTIN & DÖHLER 2009). Dies ist auch häufig bei der Berücksichtigung von Unsicherheiten im Rahmen der Standortbewertung der Fall. Daher werden im Folgenden die Normalverteilung als wichtigste stetige Verteilungsfunktion und die Beta-Verteilung näher beschrieben.

Die Normalverteilung spielt in der Wahrscheinlichkeitstheorie eine herausragende Rolle und hat viele risikothoretische Anwendungen. Denn viele Schätzer<sup>7</sup> von Verteilungsparametern für große Stichproben sind annähernd normalverteilt, was insbesondere beim Schätzen von Unsicherheiten interessant ist (COTTIN & DÖHLER 2009). Die Normalverteilung wird durch die Gauß'sche Glockenkurve beschrieben und besitzt als Parameter den Mittelwert  $\mu_N$  und die Standardabweichung  $\sigma$  (STELAND 2010):

$$f_X(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu_N)^2}{2\sigma^2}} \quad (6)$$

$f_X(x)$	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Zufallsvariablen $X$
$\mu_N$	Erwartungswert der Normalverteilung
$\sigma$	Standardabweichung

Die Beta-Verteilung ist auf einem beliebigen Intervall  $[a;b]$  wie folgt definiert (COTTIN & DÖHLER 2009):

$$f_X(x) = \frac{(x-a)^{p-1} \cdot (b-x)^{q-1}}{B(p,q) \cdot (b-a)^{p+q-1}} \quad (7)$$

$f_X(x)$	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Zufallsvariablen $X$
$B(p,q)$	Beta-Funktion
$p, q$	Reelwertige Parameter $p, q > 0$
$a, b$	Reelwertige Intervallgrenzen

---

<sup>7</sup> Eine Schätzfunktion dient in der mathematischen Statistik dazu, basierend auf empirischen Daten einer Stichprobe Informationen über bestimmte Parameter einer unbekanntes Gesamtheit zu erhalten (WIKIPEDIA 2011c).

Die Beta-Funktion  $B(p, q)$  berechnet sich durch (COTTIN & DÖHLER 2009):

$$B(p, q) = \int_0^1 t^{p-1} \cdot (1-t)^{q-1} dt \quad (8)$$

$p, q$  Reelwertige Parameter  $p, q > 0$   
 $t$  Zeitperiode

Die Beta-Verteilung ist für  $p < q$  rechtsschief, für  $p > q$  linksschief. Für  $p = q = 1$  beschreibt die Beta-Verteilung eine Gleichverteilung, für  $p = 2$  und  $q = 1$  bzw.  $p = 1$  und  $q = 2$  liegt eine Dreiecksverteilung vor. Die Dreiecksverteilung ist insbesondere bei Praktikern beliebt und geeignet zur Simulation zufallsbehafteter Einnahme- und Ausgabe-Positionen bei Unternehmen (COTTIN & DÖHLER 2009).

### Modellierung diskreter zeitunabhängiger quantitativer Unsicherheiten

$N$  verschiedene zeitunabhängige Ereignisse  $x_n$ , die mit bestimmten Wahrscheinlichkeiten  $p_n$  auftreten, sind über die *diskrete Verteilung* zu modellieren. Im Rahmen der Standortbewertung kann z. B. die Unsicherheit *Kosten durch Transportschäden* mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit auftreten oder nicht. Allgemein lassen sich mit der diskreten Wahrscheinlichkeit  $N$  mögliche Ereignisse mit unterschiedlichen Eintrittswahrscheinlichkeiten, deren Summe 1 ergibt, abbilden:

$$f_x(x) = \begin{cases} p_n & \text{für } x = x_n \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad ; n \in \{1, 2, \dots, N\}, \sum_{n=1}^N p_n = 1 \quad (9)$$

$f_x(x)$  Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Zufallsvariablen  $X$   
 $x_n$  Realisiertes Ereignis  $n$  der Zufallsvariablen  $X$   
 $p_n$  Eintrittswahrscheinlichkeit für das Ereignis  $x_n$   
 $N$  Anzahl der möglichen Ereignisse  
 $n$  Laufvariable

Ein Sonderfall der diskreten Verteilung ist die *diskrete Gleichverteilung* (vgl. Abschnitt 10.1.4). Diese Verteilung sollte verwendet werden, wenn die einzelnen Eintrittswahrscheinlichkeiten gleichverteilt sind (RIMPAU 2010).

### **Modellierung stetiger zeitabhängiger vorgängerunabhängiger quantitativer Unsicherheiten**

Wie bereits in Abschnitt 5.2.1 erklärt, verändern sich zeitabhängige Unsicherheiten über den Bewertungszeitraum der Standortalternative, der in gewisse Zeitperioden  $t$  eingeteilt ist. Dabei gibt die Vorgängerunabhängigkeit an, dass der Wert der aktuellen Periode nicht von dem Wert der vorangegangenen Periode beeinflusst wird. Dies bedeutet, dass sich für jede Zeitperiode  $t$  eine Wahrscheinlichkeitsverteilung zur Modellierung stetiger Unsicherheiten (vgl. Modellierung stetiger zeitunabhängiger quantitativer Unsicherheiten) eignet. Besonders bei der Modellierung stetiger zeitabhängiger vorgängerunabhängiger quantitativer Unsicherheiten kann die Modellierung schiefer Wahrscheinlichkeitsverteilungen mit der Beta-Verteilung (vgl. Formel (7) und Formel (8)) sinnvoll sein. Auf diese Weise lassen sich z. B. Unsicherheiten abbilden, die nicht symmetrisch auftreten. Bspw. kann die Annahme getroffen werden, dass die Lohnkosten des zu bewertenden Standorts in gewissen Zeitperioden eher nach oben tendieren als nach unten. In diesem Fall ist diese Unsicherheit dann durch eine linksschiefe Beta-Verteilung zu modellieren.

### **Modellierung diskreter zeitabhängiger vorgängerunabhängiger quantitativer Unsicherheiten**

Zur Modellierung diskreter zeitabhängiger vorgängerunabhängiger quantitativer Unsicherheiten eignet sich für jede Zeitperiode  $t$  die Modellierung einer diskreten Unsicherheit (vgl. Modellierung diskreter zeitunabhängiger quantitativer Unsicherheiten).

### **Modellierung stetiger zeitabhängiger vorgängerabhängiger quantitativer Unsicherheiten**

Als stetige zeitabhängige vorgängerabhängige quantitative Unsicherheiten können unsichere stetige Faktoren modelliert werden, wenn ihr Wert in der aktuellen Periode von dem Wert der vorangegangenen Periode beeinflusst wird. Solche Faktoren sind z. B. Aktien, Wechselkurse oder Rohstoffpreise. Die Entwicklung lässt sich mit dem *Itô-Prozess* abbilden (SUDHOFF 2007, vgl. Formel (10)).

$$x_t = x_{t-1} + \mu_{It\hat{o}} \cdot x_{t-1} \cdot \Delta t + \sigma_{It\hat{o}} \cdot x_{t-1} \cdot \varepsilon_t \cdot \sqrt{\Delta t}; t \in \{1, 2, \dots, T\} \quad (10)$$

$x_t$	Wert des Einflussfaktors $x$ in der Zeitperiode $t$
$\mu_{It\hat{o}}$	Erwartete prozentuale Änderungsrate (Drift) der Entwicklung des Einflussfaktors von $t-1$ nach $t$
$\sigma_{It\hat{o}}$	Prozentuale angegebene Standardabweichung des Itô-Prozesses
$\varepsilon_t$	Zufälliger, standardnormalverteilter Fehler
$t$	Zeitperiode
$\Delta t$	Zeitintervall
$T$	Anzahl betrachteter Zeitperioden

Der Itô-Prozess integriert zum einen die Änderungsrate (sog. *Drift*) im Vergleich zum Wert des Vorgängers und zum anderen eine durch die Standardabweichung  $\sigma_{It\hat{o}}$  beschriebene Schwankung in jeder Periode. Die erwartete Änderungsrate  $\mu_{It\hat{o}}$  in einem Zeitintervall  $\Delta t$  (d. h. der Entwicklung von der Zeitperiode  $t-1$  nach  $t$ ) berechnet sich durch (SUDHOFF 2007):

$$\mu_{It\hat{o}} = (E(x_t) - E(x_{t-1})) \cdot (E(x_{t-1}))^{-1}; t \in \{1, 2, \dots, T\} \quad (11)$$

$\mu_{It\hat{o}}$	Erwartete prozentuale Änderungsrate (Drift) der Entwicklung des Einflussfaktors von $t-1$ nach $t$
$x_t$	Wert des Einflussfaktors $x$ in der Zeitperiode $t$
$E(x_t)$	Angenommener Erwartungswert des unsicheren Einflussfaktors $x$ in der Zeitperiode $t$
$t$	Zeitperiode
$T$	Anzahl betrachteter Zeitperioden

### Modellierung diskreter zeitabhängiger vorgängerabhängiger quantitativer Unsicherheiten

Zur Modellierung diskreter zeit- und vorgängerabhängiger quantitativer Unsicherheiten, wie z. B. der Materialkostenentwicklung, eignet sich der *Random Walk*, auf Deutsch auch *Irrfahrt* genannt (vgl. MÖLLER 2008). Der Wert der Unsicherheit ändert sich dabei für jede Zeitperiode um  $\Delta x$  (vgl. Formel (12)). Es lässt sich auch hier eine Drift der Unsicherheit modellieren, wenn für die Aufwärts- und die Abwärtsbewegung Wahrscheinlichkeiten angenommen werden. In der Praxis werden stetige Entwicklungen aus Vereinfachungsgründen und aus Gründen der Realitätsnähe oft diskret modelliert (COTTIN & DÖHLER 2009); dies bedeutet, man beschränkt sich, bspw. bei der Modellierung von Wechselkursen, auf einen Wert für jeweils festgelegte diskrete Zeitpunkte. Diese Vereinfachung



der Modellierung ist für vorgänger- und zeitabhängige stetige Einflussfaktoren sinnvoll, wenn diese keine Korrelation zu anderen Einflussfaktoren besitzen<sup>8</sup>.

$$x_t = x_{t-1} + \varepsilon_{t-1} \cdot \Delta x; \varepsilon_{t-1} \in \{1, -1\} \quad (12)$$

$x_t$	Wert des Einflussfaktors $x$ in der Zeitperiode $t$
$\varepsilon_{t-1}$	Binomiale Zufallsvariable einer Auf- und Abwärtsbewegung des stochastischen Prozesses
$\Delta x$	Schrittweite der Irrfahrt

In den vorherigen Abschnitten wurde gezeigt, welche Arten quantitativer Unsicherheiten im Rahmen der Standortbewertung auftreten und wie diese jeweils mit der Wahrscheinlichkeitstheorie modelliert werden können. Zur Modellierung der zeitunabhängigen sowie der zeitabhängigen vorgängerunabhängigen Unsicherheiten eignen sich die verschiedensten Wahrscheinlichkeitsfunktionen. Im Rahmen der Beschreibung der zeit- und vorgängerabhängigen quantitativen Unsicherheiten wurde erklärt, dass diese auch diskret durch den Random Walk modelliert werden können. Nachdem in diesem Abschnitt 5.2 die Modellierung der einzelnen quantitativen Unsicherheiten gezeigt wurde, wird im folgenden Abschnitt erläutert, welche Arten qualitativer Unsicherheiten existieren und auf welche Weise diese zu modellieren sind.

## 5.3 Modellierung qualitativer Unsicherheiten

### 5.3.1 Allgemeines

Zur Modellierung qualitativer Unsicherheiten eignet sich die Fuzzy-Set-Theorie (vgl. Kapitel 2). Aufbauend auf den in Abschnitt 2.6.6 erläuterten Grundlagen wird in den folgenden Abschnitten erklärt, wie die Fuzzy-Set-Theorie in dieser Arbeit verwendet wird, um die in Abbildung 23 gezeigten Arten qualitativer Unsicherheiten zu modellieren. Wie bereits in Abschnitt 2.2.3 erläutert, bestehen zwischen den qualitativen Unsicherheiten Wirkbeziehungen, die es zu berücksichtigen gilt. Abbildung 26 detailliert die in Abbildung 23 gezeigte Klassifizierung für qualitative Unsicherheiten und verdeutlicht, dass zwischen qualitativen Unsicherheiten eine Wirkbeziehung zu weiteren Unsicherheiten bestehen

---

<sup>8</sup> Korrelationen lassen sich nur für stetig verteilte Variablen berechnen / angeben (vgl. Abschnitt 5.4.2).

kann. Des Weiteren sind in Abbildung 26 mögliche Modellierungsarten der jeweiligen Unsicherheiten mit der Fuzzy-Set-Theorie gezeigt, welche im Folgenden näher beschrieben werden. Auf die Modellierung stetiger zeitabhängiger vorgängerabhängiger qualitativer Unsicherheiten wird nicht eingegangen, da deren Modellierung mit der Fuzzy-Set-Theorie noch nicht endgültig geklärt ist (vgl. hierzu VOROBIEV & SEIKKALA 2002, ADAMY & KEMPF 2004, ADAMY & SCHWUNG 2010). In diesem Fall sollte – wie bei der Modellierung quantitativer vorgängerabhängiger stetiger Unsicherheiten – eine Vereinfachung vorgenommen werden, indem die Unsicherheiten diskret modelliert werden.

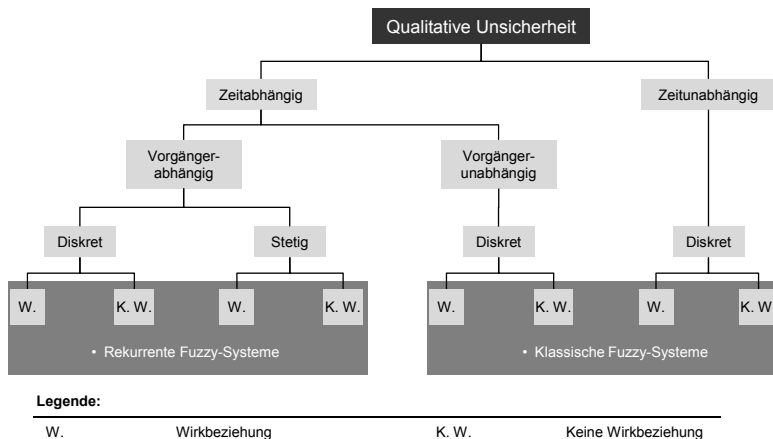


Abbildung 26: Modellierungsarten qualitativer Unsicherheiten

### 5.3.2 Modellierung zeitunabhängiger und zeitabhängiger vorgängerunabhängiger qualitativer Unsicherheiten

Die Integration von Faktoren als zeitunabhängige qualitative Unsicherheit empfiehlt sich für qualitative Einflussfaktoren, die keinen zeitlichen Bezug aufweisen. Bspw. ist im Rahmen der Standortbewertung die Modellierung qualitativer Einflussfaktoren wie kulturelle Unterschiede oder der Koordinations- und Kommunikationsaufwand am Standort als zeitunabhängig sinnvoll. Bezogen auf den für die Bewertung zu Grunde gelegten Zeitraum, werden sich die kulturellen Unterschiede oder der Koordinations- und Kommunikationsaufwand zwischen Standortalternativen selten ändern. Zeitabhängige vorgängerunabhängige qualitative Unsicherheiten sind Faktoren, die zwar von der Zeit abhängen, allerdings

nicht von ihrem vorherigen Zustand. Beispiele solcher Faktoren bei der Standortbewertung sind die fertigmögliche Produktqualität oder die Gefahr von Know-how-Verlust am Standort. Zur Modellierung zeitun- und zeitabhängiger vorgängerunabhängiger qualitativer Unsicherheiten sind *statische Fuzzy-Systeme* geeignet. Statische Fuzzy-Systeme sind Systeme, die die in Abschnitt 2.6.6 erläuterte Fuzzy-Set-Theorie nutzen (KEMPF 2004). Allgemein bestehen Fuzzy-Systeme aus der *Fuzzifizierung*, der *Inferenz*, der *Regelbasis* und der *Defuzzifizierung* (MAZIKOWSKI 2001, BUCKLEY & ESLAMI 2002). Im Folgenden wird beschrieben, wie statische Fuzzy-Systeme zur Modellierung von qualitativen Unsicherheiten in dieser Arbeit verwendet werden.

### Fuzzifizierung

In Abschnitt 2.6.6 wurde bereits erklärt, dass viele Typen möglicher Zugehörigkeitsfunktionen existieren. Für diese Arbeit wird der Lambda-Typ verwendet, da dieser Typ eine hohe Genauigkeit und gleichzeitig eine einfache Berechnung des Zugehörigkeitswerts ermöglicht (HÖNERLOH 1997).

Die Anzahl der linguistischen Terme in einem Fuzzy-Set zur Bewertung der qualitativen Unsicherheiten ist frei wählbar. Eine höhere Anzahl erhöht zwar die Genauigkeit der Erfassung der linguistischen Variablen, resultiert allerdings auch in einer Erhöhung des Aufwands für die Erstellung der Regelbasis des Bewertungsmodells. Um diesen konkurrierenden Zielstellungen gerecht zu werden, empfiehlt ALTROCK (1991) die Erzeugung von drei bis sieben Zugehörigkeitsfunktionen. In dieser Arbeit werden fünf Zugehörigkeitsfunktionen zur Bewertung der qualitativen Einflussfaktoren angenommen (vgl. Formel (13)).

$$\mu = \begin{pmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \\ \mu_3 \\ \mu_4 \\ \mu_5 \end{pmatrix}, \text{ für } i = 5 \quad (13)$$

$\mu$  Zugehörigkeitswert des Fuzzy-Sets

$\mu_i$  Zugehörigkeitswert

$i$  Anzahl der linguistischen Terme zur Bewertung der qualitativen Unsicherheiten

Eine exemplarische graphische Darstellung für ein in dieser Arbeit verwendetes Fuzzy-Set zeigt Abbildung 27. Die Zugehörigkeitsfunktionen werden mit den linguistischen Termen *sehr gering* / *sehr selten*, *gering* / *selten*, *mittel*, *hoch* / *häufig* und *sehr hoch* / *sehr häufig* beschrieben. Es ist nicht unbedingt erforderlich, dass die Summe der Zugehörigkeitswerte in einem Fuzzy-Set 1 ergibt. Die vom Fuzzy-Set umschlossene Fläche ergibt sich, indem die Zugehörigkeitsfunktionen jeweils auf der Höhe der einzelnen Zugehörigkeitswerte geschnitten werden.

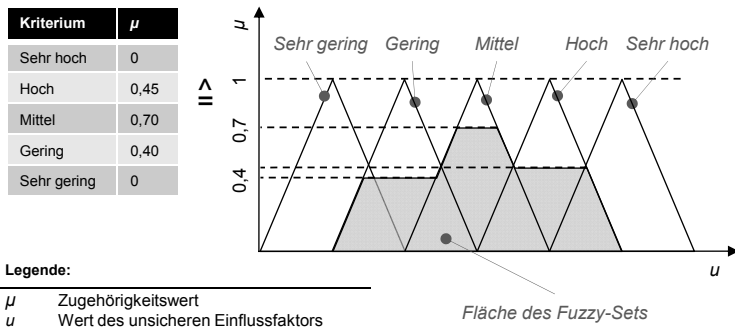


Abbildung 27: Graphische Darstellung eines Fuzzy-Sets, welches in dieser Arbeit verwendet wird

Um die Anzahl der Parameter der Verteilung zu beschränken und dafür zu sorgen, dass die Summe der Zugehörigkeitswerte über die gesamte Verteilungsbreite konstant ist, werden die Zugehörigkeitsfunktionen in dieser Arbeit jeweils so definiert, dass sie stets unterhalb der Maxima der nächstgelegenen Zugehörigkeitsfunktionen den Wert 0 annehmen. Dies bedeutet, dass der Zugehörigkeitswert eines Zugehörigkeitsbereichs im gleichen Maß abnimmt, wie der Zugehörigkeitswert des nächstgelegenen Bereichs zunimmt. Des Weiteren werden die äußersten Zugehörigkeitsfunktionen jeweils in dieser Arbeit gleichschenkelig modelliert. Damit wird der Definitionsaufwand für das Fuzzy-Set auf die Eingabe der jeweiligen Maxima der Zugehörigkeitsfunktionen beschränkt (UNBEHAUEN 2005).

## Inferenz

Durch die Inferenz können Wirkbeziehungen zwischen den qualitativen Unsicherheiten abgebildet werden, indem die die Unsicherheit beschreibenden linguistischen Variablen unter Zuhilfenahme von Regeln und zugehörigen *Fuzzy-Operatoren* verknüpft werden (KAHLERT & FRANK 1994). Das Resultat sind Zugehörigkeiten zu unscharfen Mengen.

In der klassischen Logik sind Mengenoperationen eindeutig definiert, indem Aussagen, bspw. über *UND* und *ODER*, verbunden werden. Um solche Operatoren auch zur Modellierung von Wirkbeziehungen mit der Fuzzy-Set-Theorie zu verwenden, wurden von ZADEH (1965) Operatoren für die Durchschnittsbildung (*Minimum-Operator*) bzw. für die Vereinigung (*Maximum-Operator*) entwickelt. Diese sind in den Formeln (14) und (15) beschrieben; beim Minimum-Operator zählt stets nur der schlechteste Zugehörigkeitswert der linguistischen Aussagen zu einer Unsicherheit, beim Maximum-Operator der beste. Diese Operatoren sind zum einen effizient zu berechnen und zum anderen einfach in ein Modell zu implementieren (KRUSE 2010). Der Maximum-Operator ist am besten geeignet, wenn alle durch die Operatoren in einer Wirkbeziehung stehenden Einflussfaktoren unscharfe Mengen repräsentieren (TRAEGER 1993). Da alle qualitativen Unsicherheiten in dieser Arbeit mit der Fuzzy-Set-Theorie als unscharfe Mengen abgebildet werden, wird in der vorliegenden Arbeit dieser Maximum-Operator für die Inferenz verwendet.

$$\mu_{A \cap B}(u) = \text{Min}(\mu_A(u), \mu_B(u)) \quad \forall u \in U \quad (14)$$

$\mu_{A \cap B}$	Zugehörigkeitswert des unsicheren Einflussfaktors $u$ zu den Mengen $A$ und $B$
$\mu_A$	Zugehörigkeitswert des unsicheren Einflussfaktors $u$ zu der Menge $A$
$\mu_B$	Zugehörigkeitswert des unsicheren Einflussfaktors $u$ zu der Menge $B$
$U$	Grundmenge aller unsicheren Einflussfaktoren

$$\mu_{A \cup B}(u) = \text{Max}(\mu_A(u), \mu_B(u)) \quad \forall u \in U \quad (15)$$

$\mu_{A \cup B}$	Zugehörigkeitswert des unsicheren Einflussfaktors $u$ zu den Mengen $A$ oder $B$
$\mu_A$	Zugehörigkeitswert des unsicheren Einflussfaktors $u$ zu der Menge $A$
$\mu_B$	Zugehörigkeitswert des unsicheren Einflussfaktors $u$ zu der Menge $B$
$U$	Grundmenge aller unsicheren Einflussfaktoren

Die Regelbasis legt fest, welche Fuzzy-Operatoren miteinander in einer Wirkbeziehung stehen. Diese Regeln bestehen aus Prämissen und einer Folgerung. Bei

statischen Fuzzy-Systemen beziehen sich die Regeln immer auf eine Zeitperiode  $t$ . Formel (16) zeigt beispielhaft eine Regel, die in der Regelbasis hinterlegt sein kann. In Abbildung 28 ist ein Beispiel eines durch Inferenz zweier Unsicherheiten A und B ermittelten Fuzzy-Sets für die Unsicherheit C gezeigt (bei Anwendung des Maximum-Operators und des Minimum-Operators).

$$\text{WENN } u_1(t) \text{ sehr hoch ODER } u_2(t) \text{ mittel DANN } u_3(t) \text{ gering} \quad (16)$$

$u_1(t)$ ,  $u_2(t)$ ,  $u_3(t)$  Unsichere Einflussfaktoren  $u_1$ ,  $u_2$  und  $u_3$  in der Zeitperiode  $t$

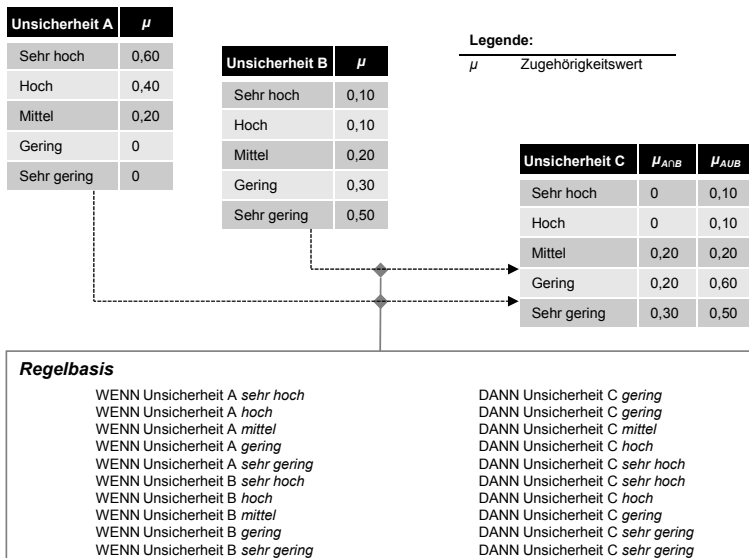
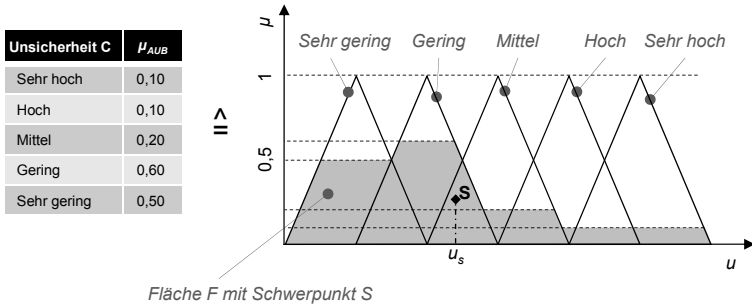


Abbildung 28: Beispiel für die Inferenz

### Defuzzifizierung

Nach Anwendung der Inferenz kann das aus einer Wirkbeziehung resultierende Fuzzy-Set durch Anwendung der Defuzzifizierung in einen scharfen, quantitativen Wert transformiert werden (ZIMMERMANN ET AL. 1993, BOTHE 1998, DI GESÙ ET AL. 2009). Hierzu existieren verschiedene Verfahren. Die *Center-of-area-Methode* ist das bekannteste Verfahren und wird auch *Flächenschwerpunkt-*

*Methode* genannt. Es basiert auf der Berechnung des Flächenschwerpunkts der Fläche der Fuzzy-Menge. Diese lässt sich bestimmen, indem die Fläche unter den Zugehörigkeitsfunktionen jeweils auf Höhe des Zugehörigkeitswerts des entsprechenden linguistischen Termes eines Fuzzy-Sets abgeschnitten wird (vgl. Abbildung 29) (KRUSE ET AL. 1995).



**Legende:**

- $\mu$  Zugehörigkeitswert
- $u$  Wert des unsicheren Einflussfaktors
- $u_s$  Mit der Schwerpunktmethode ermittelter, defuzzifizierter Wert von  $u$

Abbildung 29: Beispiel für die Defuzzifizierung

Die Formel zur Berechnung des Abszissenwerts des Flächenschwerpunkts lautet (KRUSE ET AL. 1995):

$$u_s = \frac{1}{F} \int_F u \, dF \tag{17}$$

- $u_s$  Mit der Schwerpunktmethode ermittelter, defuzzifizierter Wert des unsicheren Einflussfaktors  $u$
- $F$  Fläche unter den Zugehörigkeitsfunktionen der entsprechenden linguistischen Terme

### 5.3.3 Modellierung zeitabhängiger vorgängerabhängiger qualitativer Unsicherheiten

Qualitative Einflussfaktoren, die sowohl von der Zeit als auch von ihrem vorherigen Zustand abhängen, werden als zeitabhängige vorgängerabhängige qualitative Unsicherheiten bezeichnet. Bei der Standortbewertung können Faktoren wie die *Motivation der Mitarbeiter* oder die *Verfügbarkeit von Lieferanten* zeit- und vorgängerabhängig sein. Zur Modellierung solcher Faktoren, die aufgrund der

Vorgängerabhängigkeit in einem dynamischen Zusammenhang stehen, sind *Fuzzy-Systeme mit Dynamik* geeignet. Diese Fuzzy-Systeme lassen sich in vier Kategorien einteilen (ADAMY & KEMPF 2004):

- Rekurrente Fuzzy-Systeme
- Dynamische Fuzzy-Systeme
- Iterierte Fuzzy-Mengen
- Fuzzy-Automaten

*Rekurrente Fuzzy-Systeme* sind gleich aufgebaut wie die im vorherigen Abschnitt erläuterten statischen Fuzzy-Systeme, bilden jedoch in ihrer Regelbasis eine Dynamik ab (DIEPHOLD & LOHMANN 2010). Über die WENN-DANN-Regeln wird die Vorgängerabhängigkeit und das Zeitverhalten einer Größe sprachlich beschrieben, z. B.:

$$\text{WENN } u_1(t) \text{ hoch ODER } u_2(t) \text{ gering DANN } u_1(t+1) \text{ mittel} \quad (18)$$

$u_1(t), u_2(t)$     Unsichere Einflussfaktoren  $u_1$  und  $u_2$  in der Zeitperiode  $t$

$u_1(t+1)$         Unsicherer Einflussfaktor  $u_1$  in der Zeitperiode  $t+1$

Bei *dynamischen Fuzzy-Systemen* sind die Ausgangswerte des Fuzzy-Systems nicht scharfe Werte, sondern ebenfalls Fuzzy-Mengen. Dynamische Fuzzy-Systeme sind gleich aufgebaut wie rekurrente Fuzzy-Systeme, jedoch entfällt die Fuzzifizierung und Defuzzifizierung. Allerdings lassen sich bei dynamischen Fuzzy-Systemen nur diejenigen Fuzzy-Mengen sinnvoll auswerten, die linguistisch *interpretierbar* sind (SCHÄFERS 1995, SCHÄFERS 1999). Die Interpretierbarkeit besagt, dass die Zugehörigkeitsfunktionen an je einem eindeutigen Zahlenwert ihr Maximum annehmen (ADAMY & KEMPF 2004). Diese Einschränkung führt dazu, dass bei dynamischen Fuzzy-Systemen kein Standardinferenzverfahren genutzt werden kann. Zur Erklärung dynamischer Fuzzy-Systeme wird auf SCHÄFERS (1999) verwiesen. Zur Integration in Form linguistischer Aussagen vorliegender, qualitativer Einflussfaktoren in eine Bewertung sind rekurrente oder dynamische Fuzzy-Systeme geeignet. Um die Anforderung der Praxistauglichkeit zu erfüllen, werden in dieser Arbeit aufgrund der einfacheren Berechnung der Inferenz rekurrente Fuzzy-Systeme zur Modellierung der zeitabhängigen vorgängerabhängigen qualitativen Unsicherheiten genutzt. *Iterierte Fuzzy-Mengen* und *Fuzzy-Automaten* arbeiten nicht regelbasiert, was die Berücksichtigung von Wirkbeziehungen verhindert (ADAMY & KEMPF 2004). Daher sind diese beiden Fuzzy-System-Arten für die Zielsetzung



der Arbeit nicht geeignet, und es wird auf die einschlägige Literatur verwiesen (vgl. z. B. DIAMOND 1994, FORTE ET AL. 1994, KLIR & YUAN 1995, MORDESON & NAIR 1996).

In diesem Abschnitt 5.3 wurde erläutert, welche Arten qualitativer Einflussfaktoren bei der Standortbewertung vorliegen und wie die einzelnen Faktoren modelliert werden können. Es wurde erklärt, dass zeitunabhängige und zeitabhängige vorgängerunabhängige qualitative Unsicherheiten mit statischen Fuzzy-Systemen modelliert werden können. Die Integration vorgängerabhängiger qualitativer Unsicherheiten kann durch Nutzung rekurrenter oder dynamischer Fuzzy-Systeme erfolgen. Jedoch ist dies mit einem größeren Modellierungsaufwand verbunden, da die Implementierung der Vorgängerabhängigkeit eine Erweiterung der Regelbasis erfordert. In der Praxis werden daher meist die klassischen statischen Fuzzy-Systeme verwendet. Wie bereits in Abschnitt 2.2.3 erläutert, sind die Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Einflussfaktoren nicht zu vernachlässigen. Daher wird im folgenden Abschnitt auf die Modellierung der Abhängigkeiten zwischen Unsicherheiten eingegangen.

## 5.4 Modellierung von Abhängigkeiten zwischen Unsicherheiten

### 5.4.1 Allgemeines

In Abschnitt 2.2.3 wurde erklärt, dass die Abhängigkeiten zwischen den Einflussfaktoren auf die Standortbewertung scharf oder unscharf sein können. Scharfe Abhängigkeiten, wie sie zwischen quantitativen Einflussfaktoren auftreten können, werden in dieser Arbeit in Form von Korrelationen und (kausalen) *Berechnungsvorschriften* abgebildet. Korrelationen werden in Abschnitt 5.4.2 erklärt. Abhängigkeiten innerhalb des für die Standortbewertung aufzustellenden Kalkulationsmodells für die Zielgröße (z. B. MVA, vgl. Abschnitt 2.4) werden als Berechnungsvorschriften in das Kalkulationsmodell integriert. Unscharfe Abhängigkeiten, die sich ergeben, wenn mindestens einer der an der Abhängigkeit beteiligten Faktoren qualitativ ist, werden über Wirkbeziehungen abgebildet.

Aus der notwendigen Unterscheidung zwischen qualitativen und quantitativen Unsicherheiten ergeben sich daher vier Arten von Abhängigkeiten zwischen unsicheren Einflussfaktoren (vgl. Abbildung 30):

- Abhängigkeiten 1. Art: Berechnungsvorschriften zwischen quantitativen unsicheren Einflussfaktoren
- Abhängigkeiten 2. Art: Korrelationen zwischen quantitativen unsicheren Einflussfaktoren untereinander
- Abhängigkeiten 3. Art: Wirkbeziehungen zwischen quantitativen und qualitativen unsicheren Einflussfaktoren
- Abhängigkeiten 4. Art: Wirkbeziehungen zwischen qualitativen Einflussfaktoren untereinander

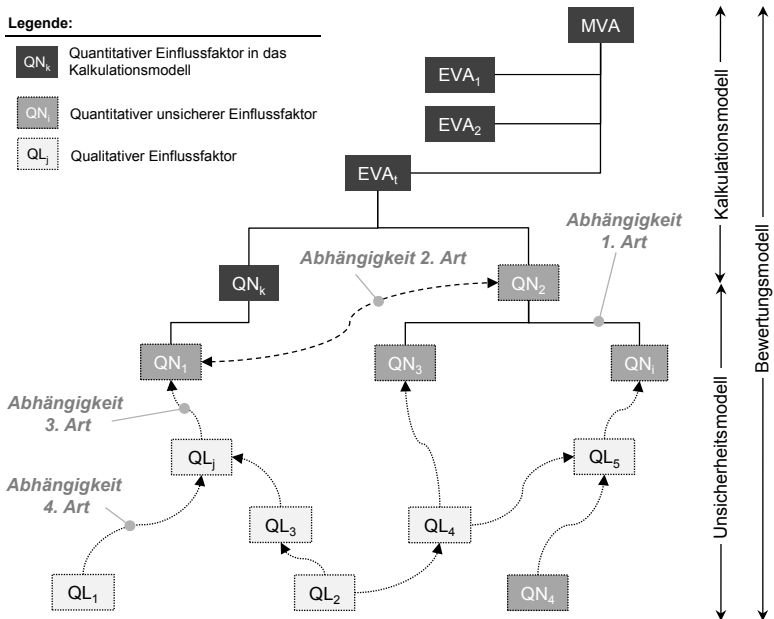


Abbildung 30: Arten der Abhängigkeiten zwischen Unsicherheiten und Integration in das Bewertungsmodell

Abbildung 30 zeigt beispielhaft die vier Arten von Abhängigkeiten, die zwischen den bei der Standortauswahl zu berücksichtigenden Unsicherheiten auftreten können. Die qualitativen Einflussfaktoren  $QL_j$  stehen in Wirkbeziehungen miteinander und wirken sich auch auf die quantitativen unsicheren Einflussfaktoren  $QN_i$  aus, die über Berechnungsvorschriften in das Kalkulationsmodell für die Standortbewertung zu integrieren sind.

Im Folgenden wird in Abschnitt 5.4.2 zunächst erklärt, wie Korrelationen abgebildet werden und dann in Abschnitt 5.4.3 erläutert, auf welche Weise sich Wirkbeziehungen modellieren lassen. Auf die Modellierung der Berechnungsvorschriften wird in diesem Abschnitt nicht näher eingegangen, da diese jeweils abhängig vom Kalkulationsmodell für die Zielgröße der Standortbewertung sind.

### 5.4.2 Modellierung von Korrelationen

In Abschnitt 5.2 wurde beschrieben, dass quantitative Unsicherheiten durch unterschiedliche Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen abgebildet werden können. Beziehungen zwischen in Form von Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen modellierten Unsicherheiten können über Korrelationen abgebildet und durch Anwendung statistischer Verfahren berechnet werden (WOLKE 2009).

Der sog. *Korrelationskoeffizient* drückt dabei den Grad der Korrelation aus. Der Korrelationskoeffizient kann zwischen  $-1$  und  $+1$  liegen; ein Wert nahe  $+1$  steht für eine gleichgerichtete Abhängigkeit zwischen Faktoren, ein Wert nahe  $-1$  für eine entgegengerichtete Abhängigkeit. Es können auch Korrelationen existieren, obwohl kein kausaler Zusammenhang zwischen zwei Einflussfaktoren besteht (BOSCH 1998). Daher ist besonders zu beachten, dass die betrachteten Faktoren in einem sachlogischen Zusammenhang stehen. Sonst entstehen sog. *Nonsens-Korrelationen* (HARTUNG & ELPELT 1989). Ein in der Literatur oft genanntes Beispiel für eine Nonsens-Korrelation ist der scheinbare Zusammenhang zwischen der Geburtenrate von Babys und der Anzahl der Störche in der Region. Daher ist es sinnvoll, vor der Anwendung von statistischen Verfahren zur Abbildung von Korrelationen zunächst mögliche kausale Zusammenhänge zwischen Einflussfaktoren zu überprüfen um Nonsens-Korrelationen auszuschließen.

Zur Berechnung des Korrelationskoeffizienten zwischen in Form von Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen modellierten Unsicherheiten ist die Kenntnis der Verteilung ergebenden *Realisationen* der Unsicherheiten unabdingbar (PODDIG ET AL. 2008). Als Realisation wird der Wert  $x_n$  einer Zufallsvariablen  $X$

bei Durchführung des Zufallsexperiments eines Ereignisses bezeichnet (HARTUNG & ELPELT 1989). Im Folgenden werden zwei Arten von Korrelationskoeffizienten näher erläutert, die Korrelationen zwischen beliebig verteilten Merkmalen analysieren können. Es existieren noch weitere Arten wie z. B. die *Pearsonsche Korrelation*, die *Multiple Korrelation*, die *Kanonische Korrelation* und die *Partielle Korrelation*. Diese Arten können jedoch lediglich die Korrelation zwischen normalverteilten Merkmalen berechnen und werden daher nicht weiter erklärt (HARTUNG & ELPELT 1989, FAHRMEIR 1999, BACKHAUS ET AL. 2006).

### Spearmanischer Korrelationskoeffizient

Der *Spearmanische Korrelationskoeffizient* gilt für stetig verteilte Variablen (Unsicherheiten) und basiert auf Rangzahlen. Bspw. berechnet sich der Spearmanische Korrelationskoeffizient zweier quantitativer unsicherer Einflussfaktoren  $QN1$  und  $QN2$  durch Ordnung ihrer Realisationen (HARTUNG & ELPELT 1989):

$$qn1_1 \leq qn1_2 \leq \dots \leq qn1_n \text{ bzw. } qn2_1 \leq qn2_2 \leq \dots \leq qn2_n \quad (19)$$

$qn1_i$	Realisationen der Zufallsvariablen der Verteilung von $QN1$
$qn2_i$	Realisationen der Zufallsvariablen der Verteilung von $QN2$
$n$	Anzahl der Realisationen

Im Anschluss sind die Rangzahlen  $R(qn1_i)$  und  $R(qn2_i)$  für die Ränge der Variablen  $qn1_i$  und  $qn2_i$  so zu vergeben, dass die niedrigste Realisation der Variablen den Rang  $1$  und die höchste den Rang  $n$  hat. Dabei wird vorausgesetzt, dass die Abstände zwischen aufeinanderfolgenden Rängen gleich sind. Wenn mehrere Variablen dieselben Realisationen haben, wird als Rang das arithmetische Mittel der in Frage kommenden Ränge genommen. Zur Berechnung des Korrelationskoeffizienten werden dann die Ränge und nicht die einzelnen Realisationen verwendet (vgl. Formel (20), STELAND 2010).

$$r_s = \frac{\sum_{i=1}^n (R(qn1_i) - \overline{R(qn1)}) (R(qn2_i) - \overline{R(qn2)})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (R(qn1_i) - \overline{R(qn1)})^2 \sum_{i=1}^n (R(qn2_i) - \overline{R(qn2)})^2}}$$

$$= 1 - \frac{6 * \sum_{i=1}^n (R(qn1_i) - R(qn2_i))^2}{n * (n^2 - 1)} \quad (20)$$

$r_s$	Spearman'scher Korrelationskoeffizient
$R(qn1_i)$	Rangzahlen der Ausprägungen von $QN1$
$R(qn2_i)$	Rangzahlen der Ausprägungen von $QN2$
$\overline{R(qn1_i)}$	Arithmetisches Mittel der Rangzahlen der Ausprägungen von $QN1$
$\overline{R(qn2_i)}$	Arithmetisches Mittel der Rangzahlen der Ausprägungen von $QN2$
$n$	Anzahl der Realisationen

### Kendallscher Korrelationskoeffizient

Zur Berechnung des *Kendallschen Korrelationskoeffizienten*, auch *Kendalls Tau* genannt, werden ebenfalls Rangzahlen  $R(qn1_i)$  und  $R(qn2_i)$  verwendet. Dann werden die Realisationen der Variablen  $qn1_i$  der Größe nach geordnet und mit den jeweils zugehörigen Rangzahlen der Realisationen der Variablen  $qn2_i$  verglichen. Für jede Rangzahl von  $QN1$  ist dann zu überprüfen, ob die zugehörigen Ränge von  $QN2$  höher (sog. *Proversion*) oder niedriger (sog. *Inversion*) sind. Aus der Anzahl der daraus resultierenden Proversionen und Inversionen wird dann der Kendallsche Korrelationskoeffizient  $\tau$  berechnet (HARTUNG & ELPELT 1989):

$$\tau = \frac{2 * (a_{Pro} - a_{Inv})}{n * (n - 1)} \quad (21)$$

$\tau$	Kendallscher Korrelationskoeffizient
$a_{Pro}$	Anzahl der Proversionen
$a_{Inv}$	Anzahl der Inversionen
$n$	Anzahl der Ränge

Die beiden Verfahren von Spearman und Kendall ermöglichen die Berechnung von Korrelationen zwischen beliebigen Verteilungen. Der Rechenaufwand zur Berechnung des Spearman'schen Korrelationskoeffizienten ist jedoch geringer, da aufgrund der Annahme des Gleichabstandes zwischen den Rängen die Berech-

nung der Inversion und Proversion entfällt (HARTUNG & ELPELT 1989, HELLBRÜCK 2009). Daher wird in dieser Arbeit wie in den meisten Fällen die Spearman Korrelation verwendet (CHARNES 2007).

### **5.4.3 Fuzzy-Bewertungsnetz zur Modellierung von unscharfen Abhängigkeiten**

#### **5.4.3.1 Allgemeines**

In Abschnitt 2.2.3 wurde bereits verdeutlicht, dass gerade die Abhängigkeiten zwischen den im Rahmen der Standortbewertung zu berücksichtigenden qualitativen Unsicherheiten nicht vernachlässigt werden dürfen (vgl. HUMMEL 1997, BANKHOFER 2001, DENK ET AL. 2005, MEYER 2006, VESTER 2008). In Abschnitt 5.4.1 ist auch erklärt worden, dass sich unscharfe Abhängigkeiten ergeben, wenn mindestens einer der an der Abhängigkeit beteiligten Faktoren qualitativ ist. Diese unscharfen Abhängigkeiten werden über Wirkbeziehungen abgebildet. Bei der Modellierung von unscharfen Abhängigkeiten sind neben der Erfüllung der für diese Arbeit definierten Anforderungen (vgl. Kapitel 4) folgende Bedingungen zu beachten:

- Die Modellierung der Wirkbeziehungen zwischen den qualitativen Unsicherheiten muss mit den modellierten quantitativen Unsicherheiten und dem Kalkulationsmodell für die Standortbewertung einfach verknüpft werden können.
- Die Stärke der Wirkbeziehungen zwischen den einzelnen qualitativen Unsicherheiten kann sich je nach Wichtigkeit der betrachteten Faktoren unterscheiden. Daher ist es erforderlich, dass diese Stärke individuell angegeben werden kann.
- Die Wirkbeziehungen sind je nach zu bewertender Standortalternative unterschiedlich und müssen daher sowohl in ihrer Wirkrichtung als auch in der Wirkstärke einfach anzupassen und erweiterbar sein.

Unter Berücksichtigung der genannten Bedingungen wurde ein sog. *Fuzzy-Bewertungsnetz* zur Modellierung von unscharfen Abhängigkeiten zwischen Unsicherheiten entwickelt. Im folgenden Abschnitt werden die einzelnen Bestandteile dieses Fuzzy-Bewertungsnetzes näher erläutert.

### 5.4.3.2 Bestandteile

Ein Fuzzy-Bewertungsnetz ist ein Tupel  $(U, W, R, V, Net, Ex, A, O)$  mit den folgenden Bestandteilen, die in diesem Abschnitt einzeln erklärt werden:

- $U$ : Menge der Einflussfaktoren
- $W$ : Netzstruktur
- $R$ : Regelwerk
- $V$ : Vorgängermenge im Netz
- $Net$ : Netzeingabefunktion
- $Ex$ : Externe Eingabefunktion
- $A$ : Aktivierungsfunktion
- $O$ : Output-Funktion

#### Menge der Einflussfaktoren

Die Menge  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$  ist die Menge der  $n$  Einflussfaktoren des Fuzzy-Bewertungsnetzes, welche in *Eingabe-, Zwischen- und Ausgabefaktoren* unterschieden werden. Eingabefaktoren sind Unsicherheiten, die als Input in die Bewertung fließen, d. h. meist als qualitative Einflussfaktoren im Rahmen der Standortbewertung vorliegen. Es können aber auch quantitative Faktoren in das Fuzzy-Bewertungsnetz integriert werden. Die scharfe Ausprägung dieser Faktoren ist dann zunächst in einen unscharfen Wert zu fuzzifizieren (vgl. Abschnitt 5.3.2). Ausgabefaktoren des Fuzzy-Bewertungsnetzes sind Faktoren, die keine Verknüpfung mehr zu anderen Faktoren im Netz haben. Dies sind also entweder Unsicherheiten oder Einflussfaktoren, welche nur noch über scharfe Abhängigkeiten mit anderen Faktoren verbunden sind. Zwischenfaktoren stehen für Unsicherheiten, die durch das Einwirken anderer Unsicherheiten entstehen, selbst aber nicht durch Eingaben von außen beeinflusst werden. In Abbildung 31 ist gezeigt, wo die Systemgrenze des Fuzzy-Bewertungsnetzes liegt und welche Ebenen (Eingabe-, Zwischen- und Ausgabebene) innerhalb des Netzes existieren. Die Einflussfaktoren  $QL_1$ ,  $QL_2$  und  $QN_4$  sind Eingabefaktoren, die Faktoren  $QL_3$ ,  $QL_4$ ,  $QL_5$  und  $QL_j$  Zwischenfaktoren und die Faktoren  $QN_1$ ,  $QN_3$  und  $QN_i$  Ausgabefaktoren, die in das Kalkulationsmodell für die Standortbewertung zu integrieren sind.

Zur Verdeutlichung dient das folgende Beispiel: Der qualitative Faktor kulturelle Unterschiede ( $QL_2$  in Abbildung 31) wirkt auf den Faktor Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit von Lieferanten ( $QL_3$  in Abbildung 31), welcher seinerseits Auswirkungen auf den Faktor am Standort fertignbare Produktqualität ( $QL_j$  in Abbil-

dung 31) hat. Der Faktor am Standort fertigbare Produktqualität wird gleichzeitig durch den Faktor Verfügbarkeit qualifizierter Arbeitskräfte ( $QL_I$  in Abbildung 31) beeinflusst und hat außerdem Auswirkungen auf den quantitativen Faktor Nacharbeitskosten ( $QN_I$  in Abbildung 31) (WINKLER ET AL. 2007, PIOTTI 2009).

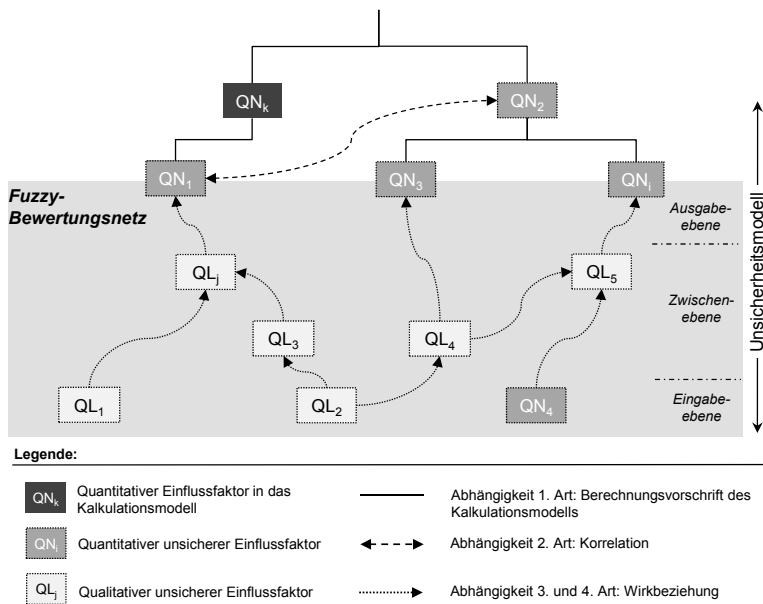


Abbildung 31: Aufbau des Fuzzy-Bewertungsnetzes (in Anlehnung an REINHART ET AL. 2008a)

Um die Zustände der einzelnen Unsicherheiten innerhalb des Fuzzy-Bewertungsnetzes zu quantifizieren, wird die Fuzzy-Set-Theorie verwendet. So wird es ermöglicht, dass die unscharfen Informationen über die einzelnen Unsicherheiten verarbeitet werden können. Der interne Zustand  $a_{u_k}$  eines unsicheren Einflussfaktors  $u_k$  wird als Vektor beschrieben, der einzelne Zugehörigkeitswerte eines Einflussfaktors zu den linguistischen Termen (vgl. Abschnitt 5.3) enthält. Die Dimension des Vektors hängt von der Anzahl der Terme ab. Wie bereits erläutert, werden in dieser Arbeit die einzelnen Einflussfaktoren über die fünf linguistischen Terme *Sehr gering / Sehr selten*, *Gering / Selten*, *Mittel*, *Hoch / Häufig* und *Sehr hoch / Sehr häufig* beschrieben.



Bspw. kann der Einflussfaktor  $u_k$  durch folgenden Vektor beschrieben werden:

$$a_{u_k} = \mu_T(u_k) = \begin{pmatrix} \mu_{Sehr\ hoch}(u_k) \\ \mu_{Hoch}(u_k) \\ \mu_{Mittel}(u_k) \\ \mu_{Gering}(u_k) \\ \mu_{Sehr\ gering}(u_k) \end{pmatrix} \quad (22)$$

$a_{u_k}$	Interner Zustand des Faktors $u_k$
$\mu_T(u_k)$	Zugehörigkeitswerte des Faktors $u_k$ zu den linguistischen Termen
$u_k$	Unsicherer Einflussfaktor $k$

### Netzstruktur

Die Netzstruktur gibt an, zwischen welchen Unsicherheiten des Fuzzy-Bewertungsnetzes eine Abhängigkeit besteht. Diese Struktur wird in Form einer Gewichtungsmatrix  $W: U \times U \rightarrow R$  angegeben. Die Matrix weist jeder Kombination aus Unsicherheit  $u_k$  und  $u_l$  eine *Gewichtung*  $w_{Net}(u_k, u_l)$  zu. Ist der Gewichtungswert  $0$ , besteht zwischen den jeweiligen Unsicherheiten keine Abhängigkeit. Ist  $w_{Net}(u_k, u_l) > 0$ , ist die Abhängigkeit gleichgerichtet, ist  $w_{Net}(u_k, u_l) < 0$ , handelt es sich um eine entgegengerichtete Abhängigkeit. Die Höhe eines einzelnen Werts ist immer in Relation zu den anderen Gewichtungswerten zu betrachten; nur so ist die Stärke des Zusammenhangs zu quantifizieren.

### Regelwerk

Die Netzstruktur wird durch ein Regelwerk  $R$  beschrieben. Dieses Regelwerk bildet die Wissensbasis des Fuzzy-Bewertungsnetzes, indem die in der Gewichtungsmatrix  $W$  angegebenen gewichteten Abhängigkeiten mit einer Regel beschrieben werden. Für jede Abhängigkeit sind jeweils Regeln zu definieren, welche in Tabelle 1 beispielhaft gezeigt sind.

In der ersten Spalte steht der Faktor, von dem die Wirkbeziehung ausgeht und durch linguistische Terme beschrieben wird. In der vierten Spalte steht der Faktor, auf den die Wirkung ausgeübt wird, und in der fünften Spalte stehen die zugehörigen linguistischen Terme, die der Faktor annimmt, wenn die entsprechende Prämisse erfüllt ist. Die beiden Variablen für die Prämisse  $p$  und Konklusion  $c$  dienen zur Kodierung der linguistischen Terme. Sie erhöhen zum einen die Übersichtlichkeit und erleichtern zum anderen eine softwaretechnische Umsetzung.

Regeln $R(u_k, u_l)$					
WENN			DANN		
Einflussfaktor	Linguistischer Term	Kodierung Prämisse $p$	Einflussfaktor	Linguistischer Term	Kodierung Konklusion $c$
$u_k$	Sehr hoch	1	$u_l$	Gering	4
	Hoch	2		Mittel	3
	Mittel	3		Hoch	2
	Gering	4		Hoch	2
	Sehr gering	5		Sehr hoch	1

Tabelle 1: Beispielhaftes Regelwerk zur Beschreibung der Netzstruktur

Die Regeln, die sich aus Tabelle 1 ableiten lassen, lauten:

- WENN  $u_k$  *Sehr hoch* DANN  $u_l$  *Gering* oder kodiert  $(1,4) \in R(u_k, u_l)$
- WENN  $u_k$  *Hoch* DANN  $u_l$  *Mittel* oder kodiert  $(2,3) \in R(u_k, u_l)$
- WENN  $u_k$  *Mittel* DANN  $u_l$  *Hoch* oder kodiert  $(3,2) \in R(u_k, u_l)$
- WENN  $u_k$  *Gering* DANN  $u_l$  *Hoch* oder kodiert  $(4,2) \in R(u_k, u_l)$
- WENN  $u_k$  *Sehr gering* DANN  $u_l$  *Sehr hoch* oder kodiert  $(5,1) \in R(u_k, u_l)$

Das Regelwerk kann als Abbildung interpretiert werden, die jeder Kombination von Einflussfaktoren eine Menge  $R(u_k, u_l)$  zuordnet (vgl. Formel (23)). Die Mengen selbst enthalten eine Anzahl von kodierten Zahlenpaaren  $(p_i, c_i)$ . Jedes Zahlenpaar steht für eine linguistische Regel, die aus einer WENN-Prämisse  $p_i$  und einer DANN-Konklusion  $c_i$  besteht.

$$R: (u_k, u_l) \rightarrow R(u_k, u_l) = \{(p_1, c_1); (p_2, c_2); \dots\} \tag{23}$$

- $R$  Regelwerk
- $(p_i, c_i)$  Linguistische Regel mit Prämisse  $p_i$  und Konklusion  $c_i$
- $R(u_k, u_l)$  Menge der Regeln
- $u_k, u_l$  Unsichere Einflussfaktoren  $k$  und  $l$
- $i$  Laufvariable

### Vorgängermenge im Netz

Die Vorgängermenge gibt für jeden Einflussfaktor  $u$  an, welche anderen Einflussfaktoren durch eine Wirkbeziehung auf der Input-Seite mit dem Faktor verbunden sind. Bezogen auf die grafische Darstellung des Fuzzy-Bewertungsnetzes bedeutet dies, dass die Vorgängermenge alle Faktoren umfasst, die mit einem Pfeil auf den betrachteten Faktor zeigen. Bspw. ist der Faktor  $QL_j$  in Abbildung

31 mit den Faktoren  $QL_1$  und  $QL_3$  verbunden. Formal kann die Vorgängermenge wie folgt dargestellt werden:

$$V(u_l) = \{u_k \in U | w_{Net}(u_k, u_l) \neq 0\} \quad (24)$$

$V(u_l)$	Vorgängermenge für den Einflussfaktor $u_l$
$U$	Grundmenge aller unsicheren Einflussfaktoren
$w_{Net}(u_k, u_l)$	Gewichtung der Verbindung von $u_k$ zu $u_l$
$u_k, u_l$	Unsichere Einflussfaktoren $k$ und $l$

Bei der Festlegung der Netzstruktur und der Definition von Vorgängermengen im Netz besteht die Möglichkeit, dass sog. *Zyklen* innerhalb des Bewertungsnetzes auftreten. Unter einem Zyklus wird eine Folge von Wirkungen verstanden, die aus verschiedenen Zwischenpunkten besteht und geschlossen ist (GAL ET AL. 1987). Um unscharfe Abhängigkeiten mit dem Fuzzy-Bewertungsnetz modellieren zu können, sind mögliche Zyklen zu identifizieren und zu beseitigen. Für diese Arbeit ist daher ein Algorithmus zur Identifikation von Zyklen entwickelt worden, welcher im Anhang dieser Arbeit (Abschnitt 10.2.2) detailliert beschrieben ist.

### Netzeingabefunktion

Den zentralen Bestandteil des Fuzzy-Bewertungsnetzes bildet die Netzeingabefunktion (REINHART ET AL. 2008a):

$$Net_{u_l} = \frac{1}{\sum_{u_k \in V(u_l)} |w_{Net}(u_k, u_l)|} \cdot \sum_{u_k \in V(u_l)} \{|w_{Net}(u_k, u_l)| \cdot Iso_{u_k}\} \quad (25)$$

$Net_{u_l}$	Netzeingabevektor des Faktors $u_l$
$Iso_{u_k}$	Netzeingabewert, der sich bei alleiniger Abhängigkeit von Faktor $u_k$ ergibt
$w_{Net}(u_k, u_l)$	Gewichtung der Abhängigkeit von $u_k$ und $u_l$
$V(u_l)$	Vorgängermenge des Faktors $u_l$
$u_k, u_l$	Unsichere Einflussfaktoren $k$ und $l$

Diese Funktion berechnet mit Hilfe des Regelwerks aus den internen Zuständen der Vorgängerfaktoren und der in der Netzstruktur hinterlegten Gewichtung der Abhängigkeiten einen Netzeingabewert. Der Netzeingabewert bildet die Grundlage zur Berechnung des Zustands jeder Unsicherheit im Fuzzy-Bewertungsnetz.

Für alle auf eine Unsicherheit eintreffenden Wirkungen wird mit der Netzeingabefunktion zunächst berechnet, welcher interne Zustand sich für die Unsicherheit ergeben würde, wenn sie nur von dieser einen Vorgängerunsicherheit abhängig wäre. Im Anschluss werden die einzelnen Werte  $Iso_{u_k}$  mit den Gewichtungen der Verbindungen multipliziert und addiert. Zur Normalisierung der Werte wird durch die Summe der Beträge der eingehenden Gewichtungen geteilt. So ergeben sich wieder die für die Fuzzy-Set-Theorie typischen Zugehörigkeitswerte zwischen 0 und 1. Der Netzeingabewert  $Iso_{u_k}$  berechnet sich für jede einzelne Komponente der Konklusion  $c$  des Vektors  $u_k$  durch Verwendung des in der Formel (15) (vgl. Abschnitt 5.3) eingeführten Maximum-Operators wie folgt:

$$Iso_{u_k,c} = \max_{p|(p,c) \in R(u_k,u_i)} \{o_{u_k,p}, 0\} \quad (26)$$

$Iso_{u_k,c}$	Netzeingabewert der einzelnen Komponente der Konklusion $c$ des den Einflussfaktor $u_k$ beschreibenden Vektors
$o_{u_k,p}$	Output-Wert des Faktors $u_k$ einer Komponente der Prämisse $p$
$(p,c)$	Linguistische Regel mit Prämisse $p$ und Konklusion $c$

Die Formel (26) sagt aus, dass für jeden in Form der Konklusion  $c$  beschriebenen linguistischen Term, den der Faktor annehmen kann, das Regelwerk nach Regeln durchsucht wird, die die linguistischen Terme des untersuchten Vorgängers  $u_k$  genau auf diesen Term abbilden. Es wird entsprechend der Maximum-Funktion die Regel ausgewählt, deren Prämisse den höchsten Erfüllungsgrad besitzt. Dies entspricht dem maximalen Zugehörigkeitsgrad des Vorgängers zu der entsprechenden Prämisse  $p$ . Dieser Erfüllungsgrad wird für den Zugehörigkeitswert der entsprechenden Komponente des Vektors  $Iso_{u_k,c}$  übernommen.

### Externe Eingabefunktion

Die externe Eingabefunktion stellt für jeden Eingabefaktor die externe Eingabe in das Fuzzy-Bewertungsnetz dar und muss von den an der Standortbewertung beteiligten Personen mit Informationen belegt werden. Die externe Eingabe ermöglicht es, bereits vorhandene Informationen zu einer Unsicherheit, bspw. der Verfügbarkeit von Lieferanten am Standort, mit den weiteren den Faktor beeinflussenden Informationen zu kombinieren. Qualitative Faktoren liegen meist schon als Zugehörigkeitswerte zu den entsprechenden linguistischen Variablen vor. Zur Integration quantitativer Einflussfaktoren in das Bewertungsnetz muss wie bereits erwähnt zunächst eine Fuzzifizierung vorgenommen werden.

Die externe Eingabe wird jeweils in Form eines *externen Eingabevektors*  $Ex$  angegeben. Wie bei der Netzeingabe ist auch für die externe Eingabe eine Gewichtung  $w_{Ex}$  (mit  $w_{Ex} > 0$ ) vorzunehmen.

### Zustandsfunktion

Die *Zustandsfunktion* gibt für jeden Eingabefaktor an, wie sich der aktuelle interne Zustand des Faktors aus dessen alten Zustand, der Netzeingabe und einer möglichen externen Eingabe berechnet (vgl. Formel (27)). Die Kombination mit einer möglichen externen Eingabe ist lediglich für Eingabefaktoren möglich. Für Zwischen- und Ausgabefaktoren ist die Zustandsfunktion der Netzeingabevektor.

$$A_{u_l} = \begin{cases} \frac{1}{w_{Ex} + |w_{Net}|} \left( (w_{Ex} \cdot Ex_{u_l}) + (|w_{Net}| \cdot Net_{u_l}) \right) & \text{wenn } u_l \text{ Eingabefakt.} \\ Net_{u_l} & \text{sonst} \end{cases} \quad (27)$$

- $A_{u_l}$  Zustandsfunktion für den Einflussfaktor  $u_l$
- $w_{Ex}, w_{Net}$  Gewichtung der externen Eingabe und der Netzeingabe
- $Ex_{u_l}$  Externer Eingabevektor zur Beschreibung des Einflussfaktors  $u_l$
- $Net_{u_l}$  Netzeingabevektor des Faktors  $u_l$

### Output-Funktion

Die *Output-Funktion* berechnet aus dem internen Zustand einer Unsicherheit den Wert, der an die nachfolgende Unsicherheit übergeben wird. Da innerhalb des Fuzzy-Bewertungsnetzes die Unsicherheiten mit den Zugehörigkeitsvektoren weiter rechnen, kann die Output-Funktion den internen Zustand  $a_{u_l}$  übergeben (REINHART ET AL. 2009c). Handelt es sich jedoch bei der betrachteten Unsicherheit um einen Ausgabefaktor des Bewertungsnetzes, ist das zugehörige Fuzzy-Set zu defuzzifizieren (vgl. Formel (28)). Wie in Abschnitt 5.3 und in der Formel (17) beschrieben, erfolgt die Defuzzifizierung mit Hilfe der Flächenschwerpunkt-Methode.

$$O_{u_l} = \begin{cases} Defuzzy_{u_l}(a_{u_l}) & \text{wenn } u_l \text{ Ausgabefaktor} \\ a_{u_l} & \text{sonst} \end{cases} \quad (28)$$

- $O_{u_l}$  Output-Funktion für den Faktor  $u_l$
- $Defuzzy_{u_l}(a_{u_l})$  Defuzzifizierungsfunktion von Faktor  $u_l$
- $a_{u_l}$  Interner Zustand des Faktors  $u_l$

### 5.5 Fazit

Die Ausführungen in diesem Kapitel 5 machen deutlich, dass die Wahrscheinlichkeitstheorie zur Abbildung quantitativer Unsicherheiten verwendet werden kann. Sie wird bereits erfolgreich in vielen Bewertungsansätzen der Fabrik- und Standortplanung zur Integration von Unsicherheiten eingesetzt (vgl. u. a. SUDHOFF 2007, MÖLLER 2008, UDE 2010). Bestehende Bewertungsansätze berücksichtigen qualitative Faktoren nur unzureichend und vernachlässigen die Integration von Abhängigkeiten zwischen den qualitativen und quantitativen Unsicherheiten. Qualitative Unsicherheiten werden, wenn überhaupt, durch Angabe von Punktwerten bei der Entscheidungsfindung berücksichtigt. Dagegen ermöglicht es die Abbildung qualitativer Unsicherheiten mit der Fuzzy-Set-Theorie, die Unschärfe einzelner Faktoren adäquat abzubilden und in eine quantitative Bewertung zu integrieren.

Es wurden vier verschiedene Arten von Abhängigkeiten zwischen Unsicherheiten definiert. Abhängigkeiten 1. Art liegen als Berechnungsvorschriften zwischen quantitativen Unsicherheiten innerhalb des Kalkulationsmodells für die Standortbewertung vor. Korrelationen zwischen quantitativen Unsicherheiten werden als Abhängigkeiten 2. Art bezeichnet und über den Spearmanschen Korrelationskoeffizienten modelliert. Abhängigkeiten zwischen quantitativen und qualitativen Unsicherheiten (3. Art) und zwischen qualitativen Unsicherheiten untereinander (4. Art) werden über das im letzten Abschnitt beschriebene Fuzzy-Bewertungsnetz modelliert.

Basierend auf dem erläuterten Handlungsbedarf, den Anforderungen und den in diesem Kapitel gezeigten Arten zur Modellierung von Unsicherheiten, ist eine Methode zur Bewertung vernetzter Produktionsstandorte zu entwickeln, die die in diesem Kapitel eingeführten Modellierungsvorschriften für quantitative und qualitative Unsicherheiten nutzt. Diese Methode wird im folgenden Kapitel beschrieben.

## 6 Methode zur Bewertung vernetzter Produktionsstandorte unter Berücksichtigung multidimensionaler Unsicherheiten

### 6.1 Übersicht über die Methode

Die Methode zur Bewertung vernetzter Produktionsstandorte unter Berücksichtigung multidimensionaler Unsicherheiten besteht aus fünf, iterativ aufeinander aufbauenden Schritten (vgl. Abbildung 32).

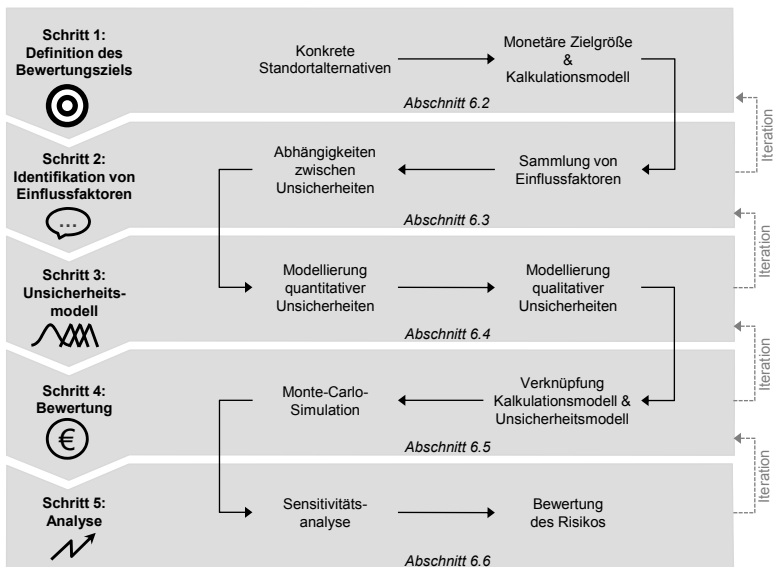


Abbildung 32: Übersicht über die Bewertungsmethode

Zu Beginn der Bewertung ist zunächst im ersten Schritt das Bewertungsziel zu definieren. Wie bereits in Abschnitt 1.3.2 beschrieben, fokussiert diese Arbeit auf die detaillierte Bewertung konkreter Standortalternativen. Ausgehend von den konkreten zu bewertenden Standortalternativen sind die monetären Zielgrößen der Bewertung festzulegen. Je nach Zielgröße unterscheidet sich die Art und Granularität des der Standortbewertung zugrunde liegenden Kalkulationsmodells. Die Art des Kalkulationsmodells ist unternehmensabhängig, da die zur Evaluie-

Die Granularität ist zu Beginn einer Bewertung festzulegen, um den Umfang und den Detaillierungsgrad der in die Bewertung zu integrierenden Einflussfaktoren einzugrenzen.

Im Anschluss an die Festlegung des Bewertungsziels sind im zweiten Schritt alle quantitativen und qualitativen Einflussfaktoren auf die Standortbewertung zu identifizieren. Die Basis hierzu bilden die im Rahmen der Vorauswahl der Standortalternativen ermittelten Faktoren. Darauf aufbauend sind die Informationen über die Einflussfaktoren zu detaillieren und die Anzahl der zu berücksichtigenden Faktoren je nach gewählter Bewertungsgranularität anzupassen. Außerdem ist in diesem Schritt der Bewertung zu beachten, dass sich auch die Integration der jeweiligen Standortalternative in das bestehende Produktionsnetz unterscheidet. Je nach Vernetzung innerhalb des Produktionsnetzes sind daher unterschiedliche Einflussfaktoren auf die Bewertung denkbar. Stehen die für die Standortbewertung relevanten Einflussfaktoren fest, ist zu untersuchen, welche Faktoren nicht mit Sicherheit vorherzusagen sind (d. h. einer Unsicherheit unterliegen) und in welchem Maße Abhängigkeiten zwischen den Faktoren existieren.

Stehen die unsicheren Einflussfaktoren für die Bewertung fest, sind diese Unsicherheiten hinsichtlich ihrer Ausprägung in Schritt 3 in einem Unsicherheitsmodell abzubilden. Die Unsicherheiten werden – wie in Kapitel 5 beschrieben – über die Wahrscheinlichkeits- und die Fuzzy-Set-Theorie modelliert.

Die eigentliche Bewertung erfolgt im vierten Schritt der Methode. Hier wird das Kalkulationsmodell für die Zielgrößen um die im zweiten Schritt identifizierten Ausprägungen der Einflussfaktoren ergänzt, mit dem Unsicherheitsmodell verknüpft und so das Bewertungsmodell für die Standortalternative erstellt. Über eine Monte-Carlo-Simulation (vgl. Abschnitt 2.5.2) können dann einzelne Ergebnisse für den Wert der Zielgröße der Standortalternative berechnet werden.

In Schritt 5 erfolgt die Analyse des Bewertungsergebnisses. Dabei werden u. a. die Sensitivitäten der Unsicherheiten auf die Bewertungszielgröße ermittelt und eine Risikobewertung durchgeführt, indem die Ausprägung des aus der Monte-Carlo-Simulation resultierenden Histogramms (vgl. Abschnitt 2.5.2) interpretiert wird. Auf diese Weise kann eine Empfehlung für oder gegen die bewerteten Alternativen gegeben werden. In den folgenden Abschnitten dieses Kapitels sind die einzelnen Schritte der Bewertungsmethode näher erläutert.



## 6.2 Definition des Bewertungsziels

### 6.2.1 Allgemeines

Den ersten Schritt zur Bewertung vernetzter Produktionsstandorte unter Berücksichtigung multidimensionaler Unsicherheiten bildet eine systematische Klärung der Zielsetzung. Dieser Schritt umfasst zum einen die Definition konkreter zu bewertender Standortalternativen und zum anderen die Festlegung monetärer Zielgrößen sowie die damit verbundene Aufstellung eines Kalkulationsmodells. Im Folgenden wird zunächst die Definition konkreter Standortalternativen beschrieben (vgl. Abschnitt 6.2.2), bevor dann auf die Aufstellung eines Kalkulationsmodells eingegangen wird (vgl. Abschnitt 6.2.3).

### 6.2.2 Definition konkreter Standortalternativen

Die detaillierte Bewertung konkreter Standortalternativen setzt voraus, dass basierend auf der jeweiligen Unternehmensstrategie eine globale Vorauswahl von Standorten anhand gewisser Mindestanforderungen, wie z. B. die vorhandene Lieferantenstruktur oder die Einhaltung einer Maximal-Transportzeit zum Endkunden, erfolgt ist (HUMMEL 1997, PERLITZ 2004, ABELE ET AL. 2006, KINKEL & ZANKER 2007).

Abbildung 33 zeigt die Planungsschritte zur Definition konkreter Standortalternativen. Im Schritt der Strategieprüfung werden quantitative und qualitative Einflussfaktoren in etwa gleichem Maße berücksichtigt. Bei der Festlegung der Standortstrategie bis zur Erstellung einer Grobauswahl möglicher Standorte nimmt die Relevanz qualitativer gegenüber den quantitativen Einflussfaktoren zu. Dies ist darauf zurückzuführen, dass im Rahmen zu treffender Vorauswahlen insbesondere qualitative Faktoren, wie die politische oder wirtschaftliche Stabilität eines Landes, zum Ausschluss bestimmter Länder führen (ABELE ET AL. 2008). Die konkreten zu bewertenden Standortalternativen werden zunächst von der Unternehmensleitung bestimmt und sind dann detailliert unter Berücksichtigung qualitativer und quantitativer Einflussfaktoren zu bewerten (MEYER 2006). Hierzu ist ein geeignetes Kalkulationsmodell für die Standortalternativen zu definieren, welches im folgenden Abschnitt erläutert wird.

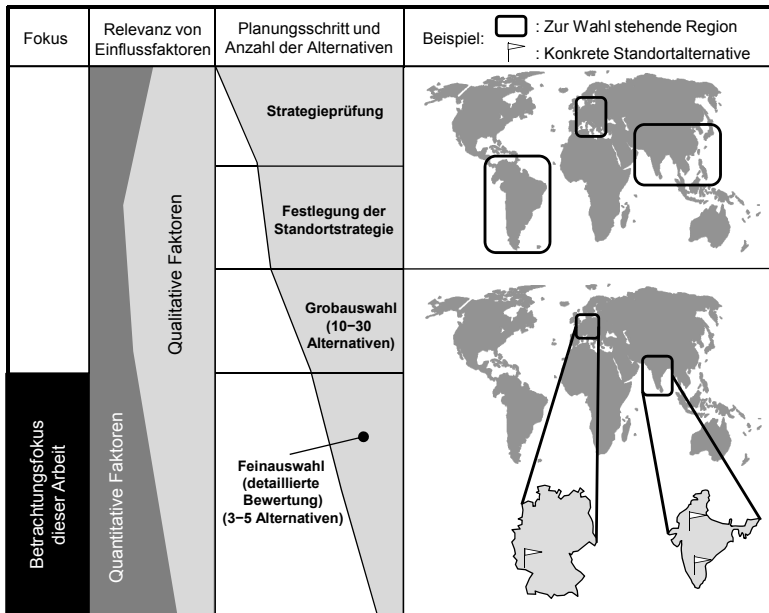


Abbildung 33: Auswahl konkreter Standortalternativen (in Anlehnung an ABELE ET AL. 2008)

## 6.2.3 Kalkulationsmodell

### 6.2.3.1 Allgemeines

Monetäre Standortbewertungen basieren auf einer Vielzahl an Berechnungen, die in einem Kalkulationsmodell zu verknüpfen sind, mit dem Ziel, die mit einer Alternative verbundenen Rechengrößen in einer Zielgröße darzustellen. Das Kalkulationsmodell ist das Resultat des Zusammenwirkens einer *Kalkulationsstruktur* und ausgewählter *Kalkulationselemente*. Die Kalkulationselemente sind diejenigen Einflussfaktoren, die in die Kalkulation integriert werden. Die Struktur einer Kalkulation systematisiert und gliedert einzelne Einflussfaktoren nach bestimmten Regeln (MÖLLER 2008). Wie einzelne Kostenelemente eines Kostenmodells (FABRYCKY & BLANCHARD 1991), können auch die Kalkulationselemente selbst wieder ein eigenes Modell und damit Gliederungsstrukturen beinhalten. Nachfolgend wird zunächst beschrieben, wie die Kalkulationsstruktur aufgebaut ist. An-

schließend wird erklärt, wie die Kalkulationselemente für die Bewertungsmethode zu strukturieren sind.

### 6.2.3.2 Kalkulationsstruktur

Wie bereits in Abschnitt 2.4 beschrieben, kann eine Standortbewertung anhand verschiedener monetärer Zielgrößen erfolgen. Je nach Zielgröße und Unternehmen sind unterschiedliche Kalkulationselemente zu berücksichtigen. Daher ist es nicht möglich, ein allgemeingültiges Kalkulationsmodell aufzustellen. Darüber hinaus ist auch die Bewertungsgranularität von Fall zu Fall unterschiedlich. Bspw. muss es das Modell erlauben, sowohl eine grobe Angabe der Personalkosten für einen Standort als auch eine detaillierte Kalkulation der Personalkosten, z. B. durch ein Herunterbrechen auf einzelne Arbeitspläne und Fertigungsbereiche des Standortes, zu ermöglichen. Eine hohe Granularität bedeutet eine hohe Genauigkeit der Bewertung. Sie zieht allerdings auch einen erhöhten Aufwand zur Informationsbeschaffung nach sich. Die Festlegung der Bewertungsgranularität ermöglicht es, den Bewertungsaufwand skalierbar zu gestalten und z. B. an die zur Verfügung stehende Investitionssumme anzupassen. Das aufzustellende Kalkulationsmodell muss daher modular aufgebaut sein und unterschiedliche Granularitäten ermöglichen. In das Kalkulationsmodell sind auch *globale Parameter* zu integrieren, die für alle zu bewertenden Standortalternativen gleich sind.

Unter Berücksichtigung der genannten Bedingungen wurde ein Kalkulationsmodell entwickelt, welches in Abbildung 34 in UML-Schreibweise<sup>9</sup> dargestellt ist. Basis ist die Klasse *Standortbewertung*, die die globalen Parameter der Bewertung wie die Anzahl der für die Bewertung heranzuziehenden *Perioden*, die *Kalkulationswährung* und den *Kalkulationszinssatz* beinhaltet. Die Klasse *Standortbewertung* aggregiert die Klasse *Zielgröße*, die durch die beiden Merkmale *Art* und *Zielwert* beschrieben wird. Die Art beschreibt, welche Arten unterschiedlicher Zielgrößen in dieser Klasse repräsentiert werden. Bspw. können der Kapitalwert, der Market Value Added oder der EBIT Zielgrößen der Standortbewertung sein (vgl. Abschnitt 2.4). Der Zielwert beschreibt die Erwartungen der Unternehmensführung hinsichtlich der Höhe des Werts der gewählten Zielgröße für die Standortalternative. Die UML-Aggregation drückt aus, dass für die Zielgröße unterschiedliche Granularitäten möglich sind.

---

<sup>9</sup> Wichtige Begriffe und die Notation der Unified Modeling Language (UML) sind im Anhang der Arbeit (Abschnitt 10.3) erläutert.

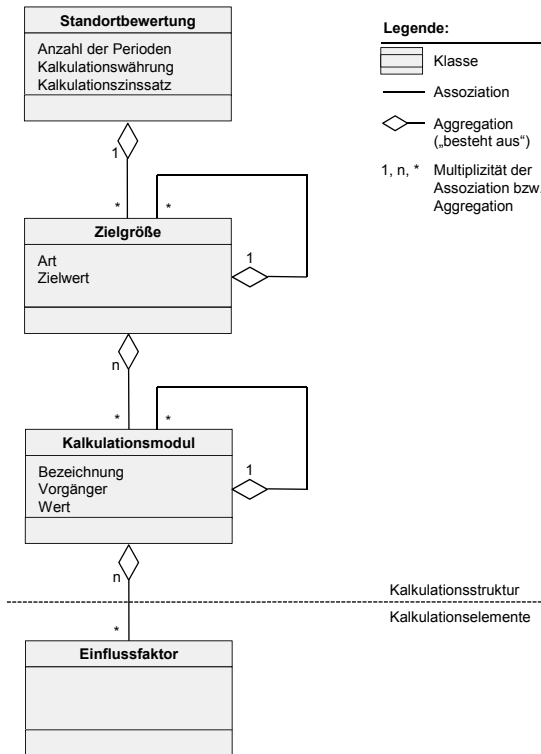


Abbildung 34: Statisches Klassendiagramm für die Kalkulationsstruktur des Kalkulationsmodells in UML-Schreibweise

Die Klasse *Zielgröße* aggregiert die Klasse *Kalkulationsmodul*, welche für die beliebige Gruppierung und Detaillierung von Einflussfaktoren steht. Auch bei dieser Klasse bedeutet die UML-Aggregation, dass beliebig viele Gliederungsstufen für die Kalkulationsmodule hinzugefügt werden können. Die Merkmale *Bezeichnung*, *Vorgänger* und *Wert* beschreiben die Klasse. Das Merkmal *Bezeichnung* gibt an, welche Kalkulationselemente in dem jeweiligen Kalkulationsmodul zusammengefasst werden und ermöglicht so deren inhaltliche Gruppierung. Die einzelnen Kalkulationsmodule werden mit Hilfe des Merkmals *Vorgänger* hierarchisch geordnet. Das Merkmal *Wert* beschreibt die Ausprägung der einzelnen Kalkulationsmodule.

### 6.2.3.3 Kalkulationselemente

Kalkulationselemente sind diejenigen Faktoren, die in die Kalkulation zur Bewertung von Standorten übernommen werden. Aus diesem Grund setzen sich die Kalkulationselemente aus der Klasse *Einflussfaktor* mit den Merkmalen *Informationsbedarfsermittlung*, *Informationsbeschaffung*, *Wert*, *Einheit* und *Bezugseinheit* zusammen (vgl. Abbildung 35).

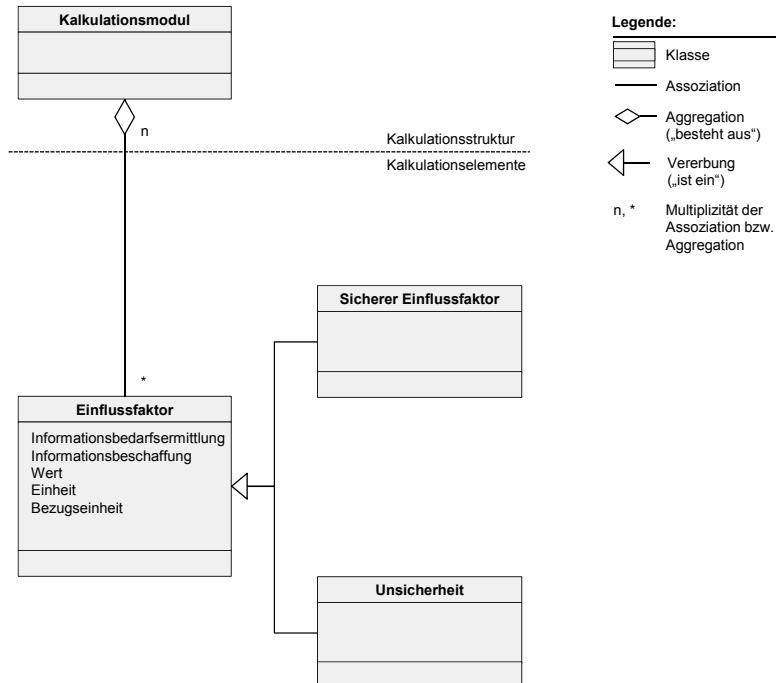


Abbildung 35: Statisches Klassendiagramm für die Kalkulationselemente des Kalkulationsmodells in UML-Schreibweise

Die Merkmale *Informationsbedarfsermittlung* und *Informationsbeschaffung* sagen aus, auf welche Weise und von welchem Unternehmensbereich der Informationsbedarf bzw. die Informationsbeschaffung für die einzelnen Kalkulationselemente zu ermitteln ist. Auf diese Weise wird die Identifikation der Einflussfaktoren bei einer konkreten Bewertungsaufgabe erleichtert. Das Merkmal *Wert* beschreibt die Ausprägung eines Einflussfaktors entweder in linguistischer oder in zahlenmäßiger Form. Die Merkmale *Einheit* und *Bezugseinheit* dienen dazu,

die Verrechnung der einzelnen Einflussfaktoren mit den zugehörigen Einheiten in der Kalkulationsstruktur zu ermöglichen. Entsprechend der in dieser Arbeit vorgenommenen Differenzierung zwischen sicheren und unsicheren Faktoren, subsumiert die Klasse Einflussfaktor die Klassen *Sicherer Einflussfaktor* und *Unsicherheit*, die jeweils über eine Vererbungsbeziehung mit der übergeordneten Klasse verbunden sind.

## 6.3 Identifikation von Einflussfaktoren

### 6.3.1 Allgemeines und Bedingungen

Nachdem im vorherigen Abschnitt das Kalkulationsmodell für die Standortbewertung durch Aufstellung einer Kalkulationsstruktur und Festlegung möglicher Kalkulationselemente definiert wurde, sind in einem nächsten Schritt die konkreten Kalkulationselemente, d. h. die für die jeweilige Standortbewertung relevanten Einflussfaktoren, in ihrer Anzahl und Ausprägung zu ermitteln.

Wie bereits in Abschnitt 1.3.2 beschrieben, wurden im Rahmen der Vorauswahl der zu bewertenden Standortalternativen bereits Einflussfaktoren identifiziert. Für eine detaillierte Standortbewertung sind zum einen die Informationen über diese Einflussfaktoren zu detaillieren und zum anderen deren Anzahl je nach gewählter Bewertungsgranularität auszuweiten (GLEISSNER 2008). Daher wird in den folgenden Abschnitten ein Vorgehen zur Identifikation von Einflussfaktoren für die Standortbewertung beschrieben. Dieses Vorgehen muss folgende Bedingungen erfüllen:

- Im Rahmen einer Identifikation von Einflussfaktoren muss zunächst der Bedarf an Information, d. h. die Festlegung relevanter Einflussfaktoren für die Standortbewertung, ermittelt werden, bevor eine Befriedigung des Bedarfs durch die eigentliche Beschaffung der benötigten Information, d. h. der Ausprägungen der Einflussfaktoren, erfolgen kann.
- Da die in die Bewertung zu integrierenden Einflussfaktoren einer Unsicherheit unterliegen können, muss das Vorgehen die Identifikation und Auswahl relevanter Unsicherheiten ermöglichen.
- Um eine hohe Qualität der zu beschaffenden Informationen zu erreichen, sind unterschiedliche Formen zur Informationsbeschaffung zu nutzen.

- Die einzelnen Unsicherheiten dürfen nicht isoliert betrachtet und in die Bewertung integriert werden. Daher muss das Vorgehen die Identifikation von Abhängigkeiten zwischen den Unsicherheiten erlauben.

### 6.3.2 Vorgehen

Das Vorgehen zur Identifikation von Einflussfaktoren gliedert sich in drei Schritte (vgl. Abbildung 36). Zunächst ist eine *Informationsbedarfsanalyse* zur Festlegung aller Einflussfaktoren für die Standortbewertung durchzuführen. Im zweiten Schritt, der *Informationsclustering*, sind die ermittelten Einflussfaktoren in sichere und unsichere Faktoren zu clustern, da sich die im dritten Schritt durchzuführende *Informationsbeschaffung* für sichere und unsichere Einflussfaktoren unterscheiden kann. Zunächst wird in Abschnitt 6.3.3 die Informationsbedarfsermittlung, bestehend aus der Informationsbedarfsanalyse und der Informationsclustering, erläutert; Abschnitt 6.3.4 beschreibt dann die Informationsbeschaffung.

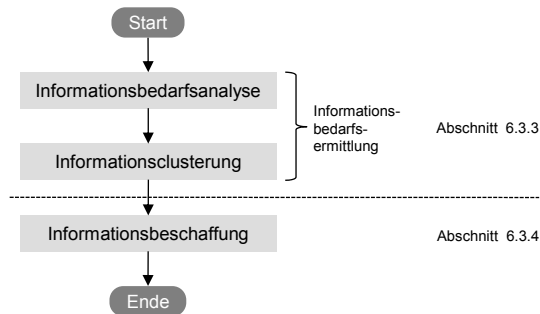


Abbildung 36: Vorgehen zur Identifikation von Einflussfaktoren im Rahmen der Standortbewertung

### 6.3.3 Informationsbedarfsermittlung

Der Begriff *Informationsbedarf* ist in der Literatur nicht einheitlich definiert. KOREIMANN (1971) versteht unter diesem Begriff Informationen, die erforderlich sind, um einen Sachverhalt bzw. ein Problem abzubilden. Nach GLADEN (2008) grenzt der Informationsbedarf relevante Informationen gegenüber nicht relevanten Informationen ab. BERNDT & ALTABELLI (1998) sehen im Informationsbedarf neben der Datenmenge zur Lösung einer Aufgabe sogar die Grundlage für die

Formulierung des eigentlichen Entscheidungsproblems. Die für diese Arbeit gültige Definition des Begriffes Informationsbedarfs wird an die vom BIFOA (Verein zur Förderung der Betriebswirtschaftslehre an der Universität zu Köln e.V.) angelehnt (SCHNEIDER 1997):

*Unter Informationsbedarf wird die Art, Menge und Qualität der Einflussfaktoren verstanden, die für die Bewertung von konkreten Standortalternativen benötigt werden.*

In der wissenschaftlichen Literatur wird zwischen *subjektivem* und *objektivem Informationsbedarf* unterschieden (RÜTLER 1991). Der subjektive Informationsbedarf spiegelt die Informationen wider, welche die Entscheider hinsichtlich des Entscheidungsproblems als relevant erachten und benutzen möchten (KRCMAR 2003). Folglich ist der subjektive Informationsbedarf an die Entscheider gebunden und kann daher unterschiedliche Informationsinhalte umfassen (BEA & HAAS 2009). Der objektive Informationsbedarf ist unabhängig vom jeweiligen Entscheidungsträger ermittelbar und umfasst alle Informationen, die zur Erfüllung einer Aufgabe genutzt werden sollten. Da dieser Informationsbedarf schwer vollständig ermittelbar ist, gilt er als hypothetische Größe (BEA & HAAS 2009). Für diese Arbeit ist daher die Ermittlung des subjektiven Informationsbedarfs relevant, dessen Ermittlung für die Standortbewertung in diesem Abschnitt vorgestellt wird.

### **Informationsbedarfsanalyse**

Wie bereits erläutert, gliedert sich die Informationsbedarfsermittlung in die beiden Schritte Informationsbedarfsanalyse und Informationsclustering (vgl. Abbildung 37). Die Informationsbedarfsanalyse dient dazu, relevante Einflussfaktoren für die Standortbewertung festzulegen (FRIEDL 2003). Diese Analyse ist erforderlich, da bei einer unvollständigen oder fehlerhaften Ermittlung der Einflussfaktoren die Genauigkeit der späteren Bewertung beeinflusst wird (BEA & HAAS 2009). Die Informationsbedarfsanalyse bildet somit die Voraussetzung für eine zielgerichtete Datenaufnahme und ist die wesentliche Determinante der Informationsbeschaffung (BEIERSDORF 1995). Je höher der Detaillierungsgrad und Umfang der zu bewertenden Standortalternativen sind, desto größer ist der Informationsbedarf (BULLINGER 1991).



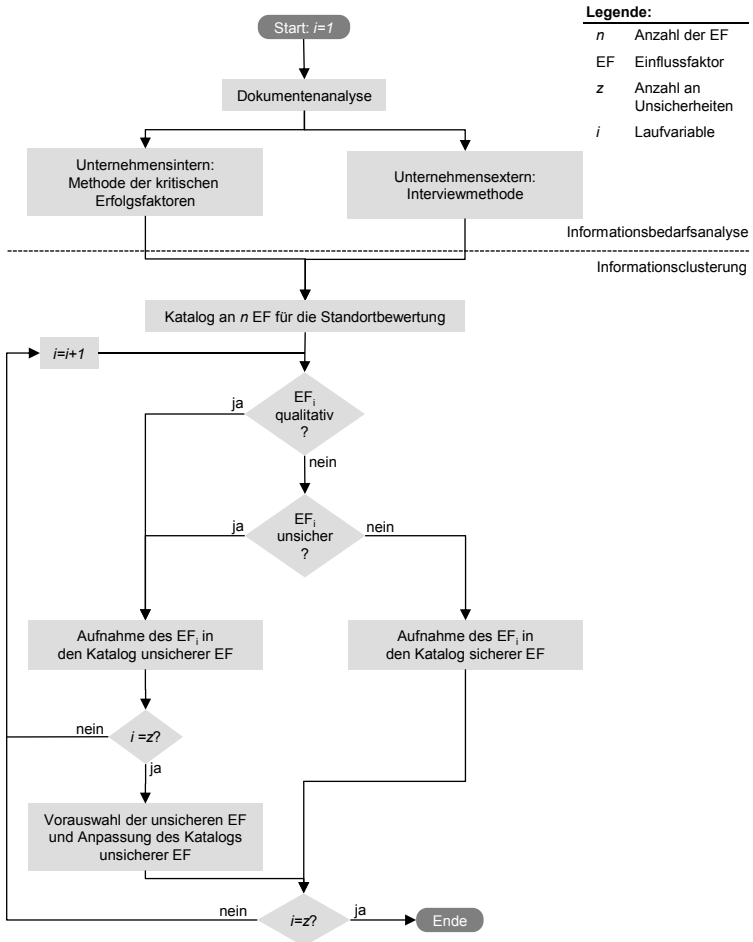


Abbildung 37: Vorgehen zur Informationsbedarfsermittlung im Rahmen der Standortbewertung

Zu Beginn der Informationsbedarfsanalyse sind mit Hilfe einer sog. *Dokumentenanalyse* Planungsunterlagen und vorhandene Einflussfaktorenkataloge vorangegangener Standortbewertungen des Unternehmens zu sichten. In Expertentworkshops sollen die Inhalte von Entscheidungsdokumenten vorangegangener Standortbewertungen beurteilt und so generelle Einflussfaktoren ermittelt werden. Sind im Unternehmen keine vorangegangenen Standortentscheidungen ge-

troffen worden oder sind die Dokumente nicht verfügbar, kann die Dokumentenanalyse übersprungen werden. Im Anschluss an die Dokumentenanalyse folgt die Ermittlung des zusätzlichen unternehmensinternen Informationsbedarfs durch die *Methode der kritischen Erfolgsfaktoren* sowie des unternehmensexternen Informationsbedarfs durch die *Interviewmethode*.

Die Methode der kritischen Erfolgsfaktoren dient zur Ermittlung wesentlicher Determinanten des Unternehmenserfolgs und liefert als Ergebnis einen Katalog relevanter Einflussfaktoren, die zur Bewertung heranzuziehen sind (KRALLMANN 2007). Die Methode besteht aus drei Schritten. Zunächst werden in einem ersten Interview der an der Standortwahl beteiligten Personen die kritischen Erfolgsfaktoren vor dem Hintergrund strategischer und operativer Ziele des Unternehmens erfasst. Anschließend werden in einem zweiten Schritt die erarbeiteten Faktoren hinsichtlich ihrer Zielbeiträge und Abhängigkeiten diskutiert (BEIERSDORF 1995). In einem weiteren Interview werden in Schritt drei die bisherigen Ergebnisse nochmals diskutiert und für jeden Erfolgsfaktor die relevanten Einflussfaktoren ermittelt (ROCKART 1980). Besonders hervorzuheben ist, dass diese Methode durch die Ausrichtung an den Zielen und der Strategie der Unternehmung die wesentlichen Informationsfelder identifiziert und gleichzeitig Faktoren zur ihrer Bestimmung liefert. Zudem gewährleistet die Durchführung dieser Methode ein hohes Maß an Objektivität (PICOT ET AL. 2003).

Bei der Interviewmethode werden betroffene Personen und Experten hinsichtlich einer gewissen Problemstellung befragt. Im Gegensatz zur *Fragebogenmethode*, bei der Informationen zu der Problemstellung mittels eines Aufnahmebogens mit eindeutig vorgegebenen Fragen gewonnen werden, besteht bei der Interviewmethode keine Gefahr der Fehlinterpretation von Fragen. Diese Methode zeichnet sich somit durch höhere Ergebnisqualität aus (HEINRICH 2007). Im Rahmen der Informationsbedarfsermittlung für die Standortbewertung soll die Interviewmethode zur Ableitung von Informationsbedarf basierend auf Erfahrungen bereits am potentiellen Standort aktiver Unternehmen durchgeführt werden. Ergebnis der Informationsbedarfsanalyse ist ein Katalog relevanter Einflussfaktoren für die zu bewertende Standortalternative.

### **Informationsclustering**

Fächerübergreifend ist von *Clustern* die Rede, wenn Objekte zusammengefasst werden bzw. miteinander verbunden sind. Objekte können dabei gemeinsame Eigenschaften, wie der Einfluss von Faktoren auf ein System oder Eingangs- und

Ausgangsgrößen eines Systems, sein (VESTER 2008). Übertragen auf eine Informationsmenge bedeutet dies, dass innerhalb eines Informationsclusters gewisse Eigenschaften gleich sind oder sich ähneln. Eine Clusterung in quantitative und qualitative sowie in sichere und unsichere Einflussfaktoren ist zum einen erforderlich, weil sich die an die Informationsbedarfsermittlung anschließende Informationsbeschaffung je nach Einflussfaktor unterscheiden kann. Um der Anforderung der Komplexitätsbeherrschung gerecht zu werden, ist es zum anderen notwendig, eine Vorauswahl der in die Bewertung fließenden Unsicherheiten vorzunehmen.

Aus den oben genannten Gründen ist der aus der Informationsbedarfsanalyse resultierende Katalog relevanter Einflussfaktoren hinsichtlich der Art der den Einflussfaktor beschreibenden Information (quantitativ / qualitativ, sicher / unsicher) in einen Katalog sicherer und einen Katalog unsicherer Einflussfaktoren zu trennen. Diese Clusterung ist von den an der Standortbewertung beteiligten Experten für jeden Einflussfaktor vorzunehmen (vgl. Abbildung 37). Bei der Bewertung von Standortalternativen sollten insbesondere die Faktoren als Unsicherheit definiert werden, die die Alternativen unterschiedlich beeinflussen. Sind alle unsicheren Einflussfaktoren ermittelt, ist eine *Vorauswahl* der unsicheren Einflussfaktoren durchzuführen. Ziel dieser Vorauswahl ist es, die für die jeweilige Bewertung relevantesten Unsicherheiten zu identifizieren. Ergebnis der Informationsclusterung sind zwei Einflussfaktoren-Kataloge: Ein Katalog sicherer Einflussfaktoren auf die Standortbewertung und ein Katalog, der die für die jeweilige Standortbewertung relevantesten Unsicherheiten enthält. Beide Kataloge sind im Unternehmen zu archivieren, um damit auch Informationsbedarfsermittlungen weiterer Standortbewertungen zu unterstützen.

Zur Vorauswahl der unsicheren Einflussfaktoren können verschiedene Verfahren verwendet werden. ROSENKRANZ & MISSLER-BEHR (2005) empfehlen eine Grobrasterung von Unsicherheiten in geringe, mittlere und hohe Unsicherheit. Oft wird auch ein sog. *Risikoportfolio* genutzt, um Unsicherheiten durch die getrennte Betrachtung von Schadenshöhe und Eintrittswahrscheinlichkeit zu clustern (KIRCHNER 2002, ROMEIKE 2004, ROSENKRANZ & MISSLER-BEHR 2005). Unsicherheiten können auch durch klassische Hierarchisierungsverfahren in eine Rangfolge gebracht werden, bspw. durch einen *paarweisen Vergleich*. Diese Methode dient dazu, jedes Element mit einer Menge von alternativen Elementen zu vergleichen, um so eine Rangordnung der Elemente zu bilden (DREWS & HILLEBRAND 2010).

In der Praxis werden Unsicherheiten hinsichtlich ihrer Relevanz meist durch eine einfache Erseinstufung beurteilt. Dies bedeutet, dass mögliche Unsicherheiten basierend auf dem subjektiven Wissen der an der Bewertung beteiligten Personen beurteilt werden. Zu diesem Zeitpunkt ist noch keine Informationsbeschaffung (vgl. Abschnitt 6.3.4) für die Unsicherheiten erfolgt. Zur Erseinstufung ist es sinnvoll, gewisse Relevanzklassen festzulegen (GLEISSNER 2008). Unsicherheiten können bspw. hinsichtlich ihres Einflusses auf das Unternehmen (unbedeutender Einfluss bis zu einem bestandsgefährdenden Einfluss) geclustert werden. SUDHOFF (2007) entwickelte ein Verfahren zur Priorisierung von mobilitätsrelevanten Unsicherheitsfaktoren, indem er die *Fehler-Möglichkeiten- und -Einfluss-Analyse (FMEA)* auf Unsicherheiten überträgt:

$$UPZ_u = B_u \cdot AT_u \cdot PR_u \quad (29)$$

$UPZ_u$	Unsicherheitsprioritätszahl des Einflussfaktors $u$
$B_u$	Bedeutung des Einflussfaktors $u$ (Auswirkung auf die Zielgröße)
$AT_u$	Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer Abweichung vom Einflussfaktor $u$
$PR_u$	Prognosefähigkeit des Einflussfaktors $u$

Die Bewertungen der einzelnen Unsicherheiten sind von Experten vorzunehmen und werden, analog zur FMEA, für alle Faktoren, die in die Unsicherheitsprioritätszahl einfließen, in Werten von 1 (niedrig) bis 10 (hoch) angegeben. Um die Komplexität und den Aufwand bei der im nächsten Abschnitt beschriebenen Informationsbeschaffung in einem vertretbaren Rahmen zu halten, sollte die Anzahl der in die Bewertung integrierten unsicheren Einflussfaktoren nicht zu umfangreich werden (KINKEL & ZANKER 2007). Die Anzahl der zu integrierenden Unsicherheiten hängt stets von dem jeweiligen Einzelfall und der erforderlichen Granularität der Bewertung ab.

### 6.3.4 Informationsbeschaffung

Aufgabe der Informationsbeschaffung ist es, durch die Nutzung bekannter und neuer Informationsquellen unter finanziellen und technischen Einschränkungen den ermittelten Informationsbedarf zu decken. Es können drei Formen der Informationsbeschaffung unterschieden werden: *Selbstbeschaffung* / *Zukauf*, *Erhebung* und *Sammlung*. Vorteile des Zukaufs von Informationen können geringere Kosten und spezialisierte Dienstleister sein, dagegen sprechen Geheimhaltungspflichten für die Selbstbeschaffung von Informationen (WINKELHOFER 2006). Im

Rahmen einer Erhebung können Informationen gezielt im Hinblick auf ein vorliegendes Entscheidungsproblem abgefragt werden. Bei einer Sammlung werden Informationen beschafft, die in früheren Untersuchungen gewonnen wurden (SCHEUCH 2007). Beispiele sind statistische Jahrbücher, Datenbanken und Studien.

Bei der Standortbewertung kann zwischen *Primär-* und *Sekundärforschung* zur Beschaffung des Informationsbedarfs unterschieden werden (ALBERS ET AL. 2006). Die Primärforschung befasst sich mit der Gewinnung von Informationen und relevanten Daten, die zur Deckung des speziellen Informationsbedarfs eines Entscheidungsproblems benötigt werden (BENKENSTEIN 2001). Mögliche Informationsbeschaffungsverfahren sind die Expertenbefragung oder die Besichtigung / Beobachtung (SCHEUCH 2007). Die Sekundärforschung beschäftigt sich mit der Analyse früherer Daten bezogen auf die konkret vorliegende Entscheidungssituation (LANGER & SAND 1983). Primär- und Sekundärforschung zur Beschaffung des Informationsbedarfs sollten in der Regel gemeinsam genutzt werden. Vorteile der Primärforschung sind vor allem die Gewinnung authentischer Daten mit direktem Bezug zur Problemstellung, Nachteile sind die Kosten und der Zeitaufwand (BAUER 2002, BIETHAHN ET AL. 2004).

Den Ausgangspunkt des Vorgehens zur Informationsbeschaffung bilden die beiden im vorherigen Abschnitt aufgestellten Einflussfaktorenkataloge. Zunächst ist für die sicheren als auch für die unsicheren Einflussfaktoren eine *Sekundärbeschaffung* durchzuführen (vgl. Abbildung 38). Die Ausprägung jedes Einflussfaktors ist hierbei durch Analysen von Statistiken, Geschäftsberichten und Nachschlagewerken zu ermitteln. Für die sicheren Einflussfaktoren ist anschließend die Qualität der ermittelten Daten zu überprüfen. Ist diese nicht ausreichend, sollte eine Primärbeschaffung der Ausprägung der sicheren Einflussfaktoren bspw. durch Expertenbefragungen erfolgen. Nach einer weiteren Prüfung der Datenqualität ist die Ausprägung der Einflussfaktoren in den Katalog sicherer Einflussfaktoren aufzunehmen.

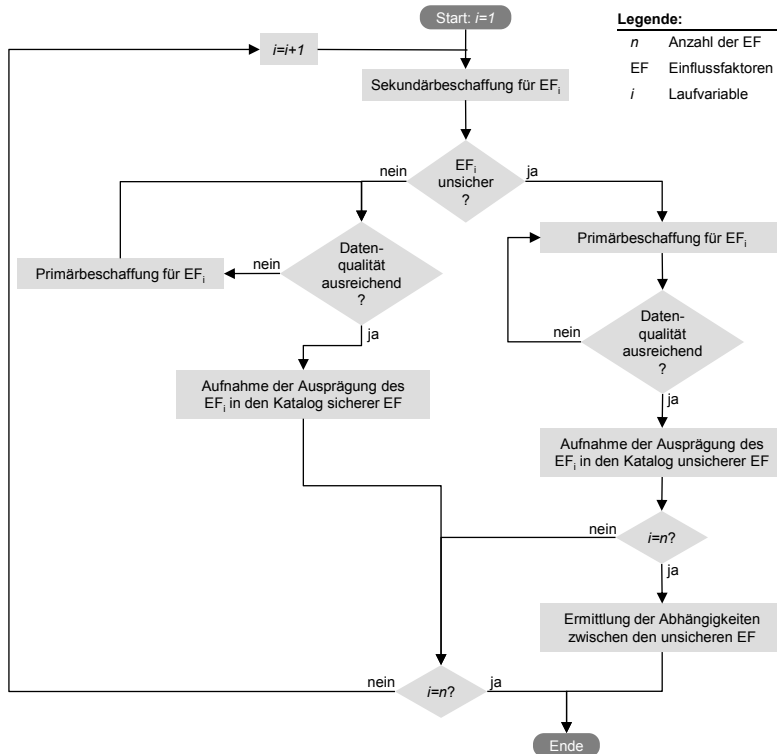


Abbildung 38: Vorgehen zur Informationsbeschaffung im Rahmen der Standortbewertung

Valide Daten in der richtigen Qualität sind die Grundlage jeder Bewertung. In der Literatur existieren bereits Ansätze zur Bewertung der Datenqualität anhand bestimmter Attribute (vgl. u. a. RAAB ET & BACH 1999, NAUMANN & ROLKER 2000, EPPLER 2006, REINHART ET AL. 2011a), die jeweils auf einen bestimmten Anwendungsfall bezogen sind. Im Rahmen der Standortbewertung sind die den vier Kategorien *Art*, *Inhalt*, *Bedeutung* und *Herkunft* zugeordneten Qualitätsattribute von Daten zu überprüfen (vgl. Abbildung 39).

Die Kategorie *Art* beschreibt, in wie weit die Daten für die Standortauswahl relevant und hinsichtlich ihrer Granularität sowie Abbildbarkeit für die Bewertung geeignet sind. Über die Kriterien *Korrektheit*, *Vollständigkeit* und *Objektivität* ist in der Kategorie *Inhalt* die technische Datengüte unabhängig von dem eigentli-

chen Datengehalt zu bewerten. Die Kategorie Bedeutung ist notwendig, um die Aktualität und Verständlichkeit der Daten sicherzustellen. Eine Vertrauensbildung bzgl. der Datenquellen wird in der Kategorie Herkunft gewährleistet, indem die Attribute *Verfügbarkeit*, *Zugänglichkeit* und *Rückverfolgbarkeit* der Daten zu überprüfen sind.

Bewertung der Datenqualität im Rahmen der Standortbewertung			
<b>Art</b>	<b>Inhalt</b>	<b>Bedeutung</b>	<b>Herkunft</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Eignung</li> <li>▪ Relevanz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Korrektheit</li> <li>▪ Vollständigkeit</li> <li>▪ Objektivität</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aktualität</li> <li>▪ Verständlichkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verfügbarkeit</li> <li>▪ Zugänglichkeit</li> <li>▪ Rückverfolgbarkeit</li> </ul>

*Abbildung 39: Attribute und Kategorien zur Bewertung der Datenqualität im Rahmen der Standortbewertung (in Anlehnung an BERNHARD & DRAGAN 2007)*

Ungenauigkeiten bei der Erfassung von Unsicherheiten sind meist die Schwachstelle von Bewertungsverfahren (GLEIBNER & ROMEIKE 2005). Daher ist für alle unsicheren Einflussfaktoren im Anschluss an die Sekundärbeschaffung die Primärbeschaffung mit anschließender Prüfung der Datenqualität durchzuführen. Um eine Modellierung der Unsicherheiten hinsichtlich ihrer Ausprägung (z. B. erwarteter Wert, zukünftige Entwicklung) zu ermöglichen, sind Expertenbefragungen oder Besichtigungen / Beobachtungen für jede Unsicherheit durchzuführen und in den Katalog unsicherer Einflussfaktoren aufzunehmen. Sind die Ausprägungen aller Unsicherheiten beschafft, können die Abhängigkeiten zwischen den Unsicherheiten ermittelt werden.

Abbildung 40 zeigt das Vorgehen zur Ermittlung der Abhängigkeiten zwischen den in die Standortbewertung zu integrierenden Unsicherheiten. Hierzu sind zunächst sowohl die qualitativen als auch die quantitativen Unsicherheiten in eine Abhängigkeitsmatrix einzutragen (vgl. Abbildung 41). Die einzelnen Felder der Matrix müssen dann sukzessive gefüllt werden. Hierzu gilt es zunächst, die Abhängigkeiten 3. und 4. Art, d. h. die Wirkbeziehungen zwischen den qualitativen Unsicherheiten sowie zwischen den qualitativen und quantitativen Unsicherheiten, zu ermitteln. In Abschnitt 5.4.3 wurde erklärt, wie diese in dieser Arbeit mit dem Fuzzy-Bewertungsnetz modelliert werden.

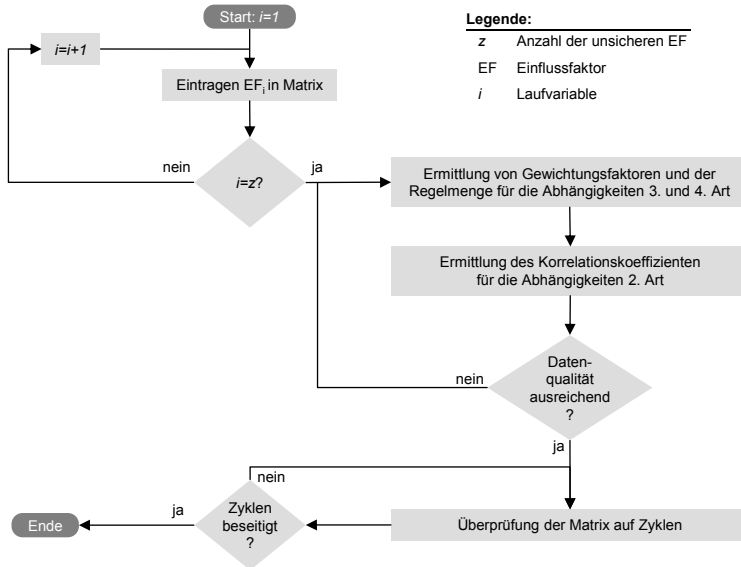
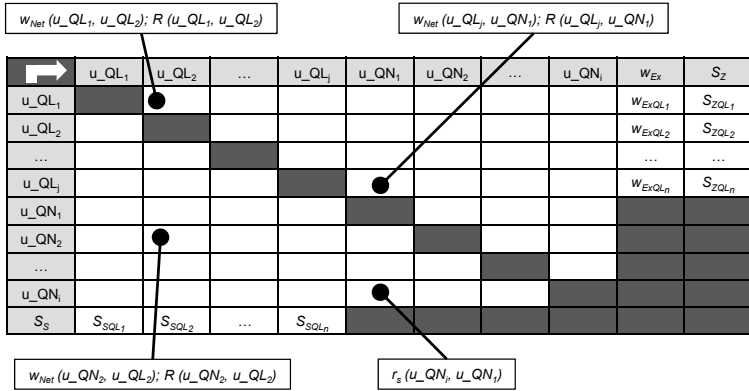


Abbildung 40: Vorgehen zur Ermittlung von Abhängigkeiten zwischen den in die Standortbewertung zu integrierenden Unsicherheiten

Für die Modellierung der Wirkbeziehungen sind zum einen die Kenntnis über die Gewichtung  $w_{Net}$  der Abhängigkeiten und zum anderen die Regelmenge  $R(u_i, u_j)$  zur Beschreibung der Abhängigkeiten erforderlich (vgl. Tabelle 1). Zur Ermittlung der Gewichtungen  $w_{Net}$  und der Regelmenge  $R$  ist auf die bereits im Rahmen der Sekundär- und Primärbeschaffung ermittelten Informationen über die Unsicherheiten zurückzugreifen.



**Legende:**

$u_{QL_j}$	Qualitative Unsicherheit	$S_z$	Summe Zeile
$u_{QN_i}$	Quantitative Unsicherheit	$S_s$	Summe Spalte
$w_{Net}$	Gewichtungsfaktor des Fuzzy-Bewertungsnetzes	$r_s$	Spearmanischer Korrelationskoeffizient
$w_{Ex}$	Gewichtungsfaktor der externen Eingabe in das Fuzzy-Bewertungsnetz	$R(u_i, u_j)$	Regelmenge einer Kombination von Unsicherheiten $u_i, u_j$

Abbildung 41: Matrix zur Spezifizierung der Abhängigkeiten zwischen Unsicherheiten im Rahmen der Standortbewertung

Nachdem die Abhängigkeiten 3. und 4. Art ermittelt wurden, sind die Abhängigkeiten 2. Art anzugeben. Diese scharfen Abhängigkeiten werden in dieser Arbeit durch Korrelationen und den dazugehörigen Korrelationskoeffizienten  $r_s$  abgebildet (vgl. 5.4.2). Mögliche Korrelationen können entweder durch direkte Einschätzung von Experten oder durch eine Auswertung historischer Daten ermittelt werden. Der Schätzung durch Experten kommt eine große Bedeutung zu, da für die Ermittlung des Korrelationskoeffizienten aus historischen Daten selten Vergangenheitswerte in ausreichender Qualität und Quantität vorliegen (WERTHSCHULTE 2005). Für die Angabe des Korrelationskoeffizienten  $r_s$  basierend auf Expertenschätzungen erscheint folgende Einteilung sinnvoll:

- „Keine Korrelation“:  $r_s = 0$
- „Sehr geringe Korrelation“:  $r_s = 0,2$
- „Geringe Korrelation“:  $r_s = 0,4$
- „Mittlere Korrelation“:  $r_s = 0,6$
- „Hohe Korrelation“:  $r_s = 0,8$
- „Sehr hohe Korrelation“:  $r_s = 1$

Diese Einteilung sollte je nach Bewertungsfall überprüft und angepasst werden. Das in der Matrix eingetragene Vorzeichen der Abhängigkeit bestimmt die Richtung der Korrelation. Wie bereits in Abschnitt 5.4.2 beschrieben, ist darauf zu achten, dass keine Nonsens-Korrelationen in die Bewertung integriert werden. Ist ausreichendes historisches Datenmaterial für zwei quantitative Unsicherheiten vorhanden, kann basierend auf den jeweiligen Realisationen der Unsicherheiten die Korrelation berechnet werden (vgl. Abschnitt 5.4.2, STEINHOFF 2008).

Über die Summe der Beträge der einzelnen Gewichtungsfaktoren  $w_{Net}$  in den jeweiligen Zeilen ( $S_Z$ ) und Spalten ( $S_S$ ) lässt sich ein Maß für die Vernetzung einer qualitativen Unsicherheit berechnen. Auf diese Weise ist es möglich, im Rahmen der Analyse der Bewertung zu ermitteln, welche qualitative Unsicherheit am meisten beeinflusst wird oder den größten Einfluss auf die zu bewertende Standortalternative ausübt (vgl. hierzu Abschnitt 6.6.3).

Auch für die ermittelten Abhängigkeiten ist die Datenqualität nach den in Abbildung 39 vorgestellten Attributen zu überprüfen. Bevor die ermittelten Abhängigkeiten modelliert werden, müssen diese mit dem für diese Arbeit entwickelten Algorithmus auf Zyklen untersucht werden (vgl. Abschnitt 10.2.2).

Das in den letzten Abschnitten beschriebene und aus den Schritten Informationsbedarfsermittlung und Informationsbeschaffung bestehende Vorgehen zur Identifikation von Einflussfaktoren stellt einen wichtigen Baustein zur Erfüllung der Zielsetzung dieser Arbeit dar. Über die Informationsbedarfsermittlung werden die für die Standortauswahl relevanten Einflussfaktoren festgelegt, die dann hinsichtlich ihrer Art geclustert werden. Die Clusterung in quantitative und qualitative sowie in sichere und unsichere Einflussfaktoren ist notwendig, um die Faktoren den in Kapitel 5 erklärten Modellierungsarten zuzuordnen. Damit erfüllt das Vorgehen die in Abschnitt 6.3.1 gestellten Bedingungen der Bedarfsfestlegung sowie der Identifikation und Auswahl relevanter Unsicherheiten. Die vorgestellte Informationsbeschaffung nutzt verschiedene Verfahren zur Deckung des identifizierten Bedarfs und gewährleistet gleichzeitig die Qualität der ermittelten Daten.

Eine Methode zur Standortbewertung muss auch die Abhängigkeiten zwischen Unsicherheiten berücksichtigen. Dabei ist es nicht ausreichend, lediglich aufzuzeigen, wie diese Abhängigkeiten modelliert werden können, sondern es ist auch zu beschreiben, wie Abhängigkeiten zu identifizieren sind. Dieser Forderung wurde begegnet, indem ein Vorgehen zur Ermittlung von Abhängigkeiten zwischen den Unsicherheiten eingeführt wurde.

## 6.4 Unsicherheitsmodell

### 6.4.1 Allgemeines und Bedingungen

In der Methode zur Standortbewertung dient das Unsicherheitsmodell dazu, die unterschiedlichen, bei der Bewertung zu berücksichtigenden Unsicherheiten strukturiert abzubilden. Dabei sind folgende Bedingungen zu erfüllen:

- Im Rahmen der Beschreibung der allgemeinen Anforderungen für die praktische Anwendung dieser Arbeit wurde bereits erläutert, dass das Bewertungsmodell bzgl. des zu betrachtenden Anwendungsfalls erweitert bzw. angepasst werden können muss (vgl. Abschnitt 4.3). Dies betrifft auch die in die Standortbewertung zu integrierenden Unsicherheiten, die jeweils an die Kalkulationsstruktur anzupassen sind.
- Die allgemeine Anforderung der Übertragbarkeit des Bewertungsmodells trifft auch auf das Unsicherheitsmodell zu, da es sich je nach Bewertungsaufgabe hinsichtlich Art und Ausprägung ändert.
- Das Unsicherheitsmodell muss es ermöglichen, die in Kapitel 5 erläuterten Arten zur Modellierung quantitativer und qualitativer Unsicherheiten in die Bewertung zu integrieren.

### 6.4.2 Modellierung quantitativer und qualitativer Unsicherheiten

Unter Berücksichtigung der in Kapitel 5 vorgestellten Klassifizierung von Unsicherheiten und den im vorherigen Abschnitt beschriebenen Bedingungen lassen sich Unsicherheiten nach dem in Abbildung 42 gezeigten Modell abbilden. Eine Unsicherheit ist durch die Merkmale *Bezeichnung*, *Art*, *Zeitabhängigkeit* und *Vorgängerabhängigkeit* beschrieben. Das Merkmal *Art* spezifiziert, ob es sich um eine quantitative oder eine qualitative Unsicherheit handelt. Die Merkmale *Zeit-* und *Vorgängerabhängigkeit* ermöglichen die Einordnung in die Klassifizierung von Unsicherheiten (vgl. Abbildung 23).

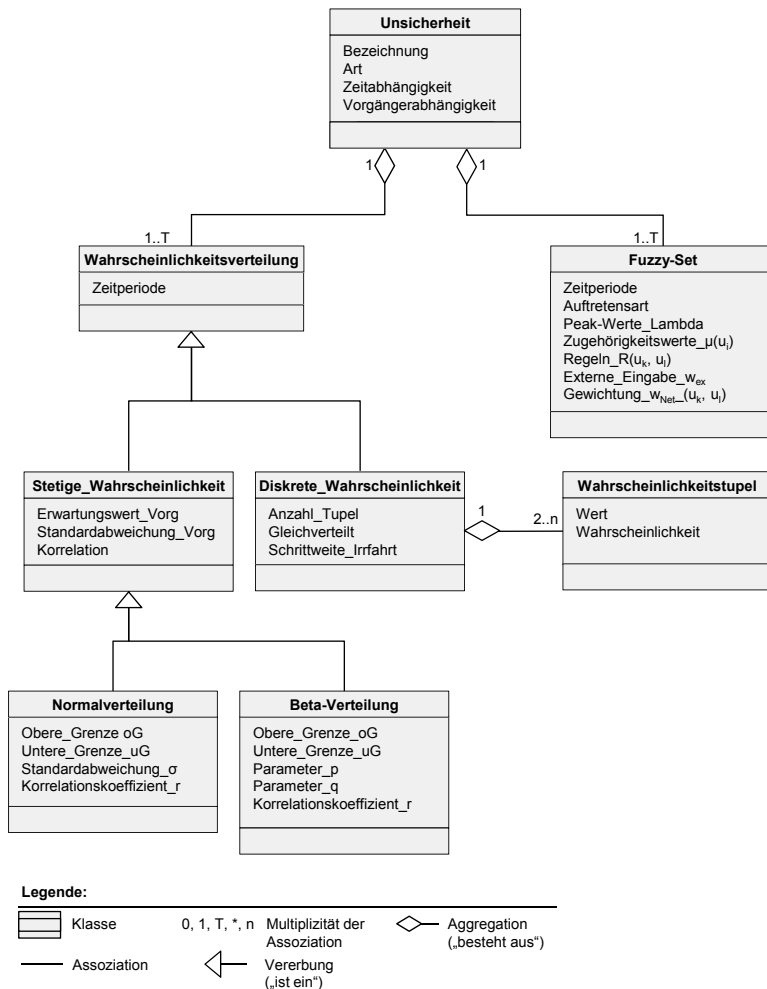


Abbildung 42: Statisches Klassendiagramm einer Unsicherheit im Rahmen der Standortbewertung in UML-Schreibweise

Die in Abbildung 42 dargestellte Klasse einer Unsicherheit besteht aus den Klassen *Wahrscheinlichkeitsverteilung* zur Modellierung quantitativer Unsicherheiten und *Fuzzy-Set* zur Abbildung qualitativer Unsicherheiten. Die beiden Klassen besitzen das Merkmal *Zeitperiode*, da sie einmal je Bewertungsperiode zu instanzieren sind. Die Klasse *Wahrscheinlichkeitsverteilung* besteht aus den beiden

Klassen *Stetige\_Wahrscheinlichkeit* und *Diskrete\_Wahrscheinlichkeit*. Die Klasse *Diskrete\_Wahrscheinlichkeit* besitzt die Merkmale *Anzahl\_Tupel*, *Gleichverteilt* und *Schrittweite\_Irrfahrt*, die es ermöglichen, alle in Abschnitt 5.2.2 beschriebenen Arten diskreter Unsicherheiten zu modellieren. Die aus den beiden Merkmalen *Wert* und *Wahrscheinlichkeit* bestehende Klasse *Wahrscheinlichkeitstupel* ordnet jedem Ereignis die dazugehörige Wahrscheinlichkeit zu. Die Klasse *Stetige\_Wahrscheinlichkeit* ist durch die Merkmale *Erwartungswert\_Vorg*, *Standardabweichung\_Vorg* und *Korrelation* gekennzeichnet. Dabei dienen der Erwartungswert\_Vorg und die Standardabweichung\_Vorg zur Modellierung vorgänger- und zeitabhängiger stetiger quantitativer Unsicherheiten mit dem in Abschnitt 5.2.2 erläuterten Itô-Prozess. Das Merkmal *Korrelation* gibt an, ob eine Korrelation der Unsicherheit mit einer weiteren Unsicherheit vorliegt. Die Klasse ist weiter unterteilt in die beiden Klassen *Normalverteilung* und *Beta-Verteilung*, die jeweils die zur Modellierung der Unsicherheit benötigten Merkmale beinhalten.

Neben dem Merkmal *Zeitperiode* ist die Klasse *Fuzzy-Set* durch die Merkmale *Auftretensart*, *Peak-Werte\_Lambda*, *Zugehörigkeitswerte\_μ(u<sub>i</sub>)*, *Regeln\_R(u<sub>k</sub>,u<sub>i</sub>)*, *Externe\_Eingabe\_w<sub>Ex</sub>* und *Gewichtung\_w<sub>Net</sub>(u<sub>k</sub>,u<sub>i</sub>)* gekennzeichnet. Die Angabe dieser Merkmale wird von den an der Standortbewertung beteiligten Personen benötigt, um die qualitativen Unsicherheiten und deren Abhängigkeiten modellieren zu können (vgl. Abschnitt 5.3). Die Merkmale *Auftretensart* (stetig oder diskret) und *Zugehörigkeitswerte\_μ(u<sub>i</sub>)* beschreiben die Ausprägung eines qualitativen Einflussfaktors. Durch das Merkmal *Peak-Werte\_Lambda* werden die Peak-Werte der Zugehörigkeitsfunktionen für das Fuzzy-Set beschrieben, das Merkmal *Externe\_Eingabe\_w<sub>Ex</sub>* gibt an, wie die einzelnen qualitativen Unsicherheiten für die jeweilige Bewertungsaufgabe gewichtet werden. Das Merkmal *Regeln\_R(u<sub>k</sub>,u<sub>i</sub>)* legt fest, zwischen welchen Unsicherheiten unscharfe Abhängigkeiten (d. h. Wirkbeziehungen) bestehen und beschreibt auf diese Weise die Netzstruktur des Fuzzy-Bewertungsnetzes. Das Merkmal *Gewichtung\_w<sub>Net</sub>(u<sub>k</sub>,u<sub>i</sub>)* drückt die Stärke der jeweiligen Abhängigkeit aus.

Wie bereits in Abschnitt 5.1 beschrieben, ist die Modellierung einer Unsicherheit je nach Anwendungsfall zu treffen und kann nicht verallgemeinert werden. Darüber hinaus ist zu beachten, dass sich die für die jeweilige Unsicherheit zu wählende Modellierungsart über den Bewertungszeitraum ändern kann. In Abschnitt 6.3 wurde erläutert, wie die benötigten Informationen ermittelt werden können. Wenn wenig spezifische Informationen vorliegen, sollte die Normalverteilung zur Modellierung quantitativer Unsicherheiten herangezogen werden (KREBS ET

AL. 2009). Zur Deckung des im Rahmen der Modellierung aufkommenden Informationsbedarfs (z. B. Informationen über die Ausprägung einer Unsicherheit zur Modellierung der Standardabweichung) kann es erforderlich sein, die in Abschnitt 6.3.4 beschriebene Informationsbeschaffung für eine Unsicherheit erneut zu durchlaufen.

Das in Abbildung 42 gezeigte Klassendiagramm einer Unsicherheit macht deutlich, dass die in die Standortbewertung zu integrierenden Unsicherheiten in dieser Arbeit je nach Bewertungsaufgabe und Unternehmen auf verschiedene Arten in einem Unsicherheitsmodell abgebildet werden können. Somit sind die in Abschnitt 6.4.1 gestellten Bedingungen erfüllt.

Wie beschrieben ist bei der Anwendung der Methode zur Bewertung von Standorten stets zu beachten, dass das Unsicherheitsmodell nicht unabhängig von den anderen Schritten der Bewertung zu behandeln ist. Insbesondere zwischen dem zweiten Schritt der Bewertung, der Identifikation von Einflussfaktoren, und dem Unsicherheitsmodell wird es zu Iterationen in der Vorgehensweise kommen. Bei der Modellierung der Unsicherheiten können z. B. spezifische Informationen über die Unsicherheiten erforderlich sein, die eine detaillierte Informationsbeschaffung bedingen. Wenn alle Unsicherheiten vollständig modelliert sind, ist der Schritt 3 der Bewertungsmethode abgeschlossen, und es folgt der Schritt 4 der Methode, die Bewertung.

## 6.5 Bewertung

### 6.5.1 Bewertungsmodell

Das Bewertungsmodell für den jeweils zu bewertenden Standort ergibt sich aus der Verknüpfung von Kalkulations- und Unsicherheitsmodell. In Abbildung 43 ist in UML-Schreibweise gezeigt, aus welchen Bausteinen sich die Standortbewertung zusammen setzt. Die Bewertung kann bspw. anhand der beiden Zielgrößen *MVA* und *EBIT/Periode* erfolgen. Wie in Abschnitt 2.4 erläutert, fließt der *EBIT/Periode* in die Berechnung des *MVA* ein. Diese mögliche Gliederungsebene wird in der in Abbildung 43 genutzten UML-Schreibweise über die Aggregation verdeutlicht.

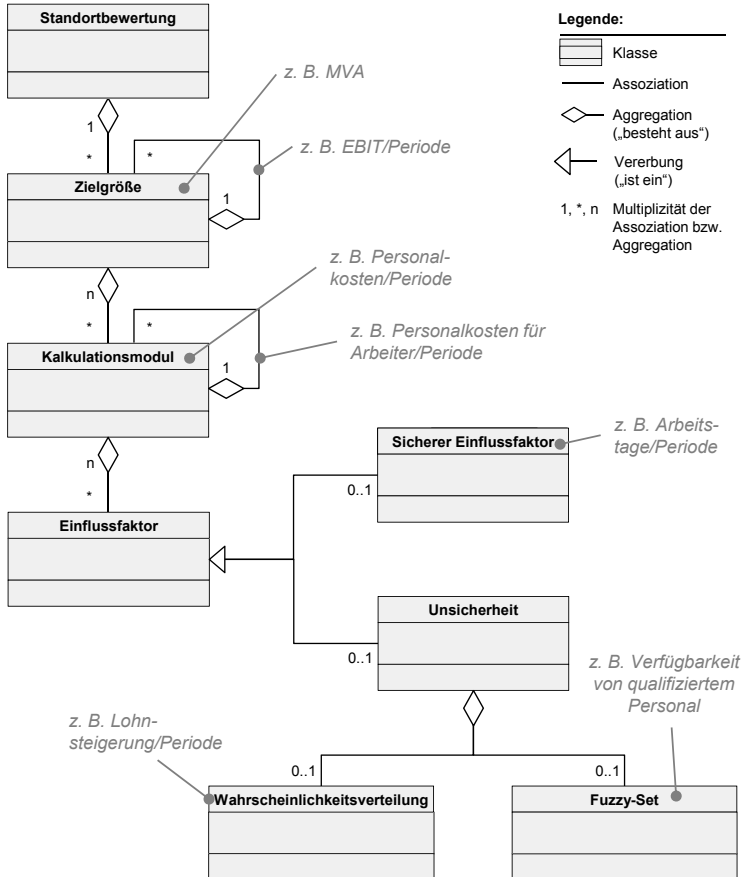


Abbildung 43: Verknüpfung von Kalkulations- und Unsicherheitsmodell zu einem Bewertungsmodell in UML-Schreibweise

Die Zielgröße EBIT/Periode beinhaltet einzelne Kalkulationsmodule, die ihrerseits ebenfalls unterschiedliche Granularitäten aufweisen können. Z. B. fließen sowohl die Personalkosten/Periode als auch die Materialgemeinkosten der jeweiligen Periode in die Berechnung des EBIT/Periode ein. Derartige Kalkulationen ergeben sich durch die in Abbildung 43 gezeigte Aggregation mit den Einflussfaktoren auf die Bewertung. So können sich bspw. die Personalkosten/Periode aus den Personalkosten für Arbeiter, den Personalkosten für Angestellte und der angenommenen Lohnsteigerung für diese Periode berechnen. Darüber hinaus

kann auch die Verfügbarkeit von qualifiziertem Personal Auswirkung auf die Personalkosten haben; dieser Faktor ist daher als qualitative Unsicherheit zu modellieren und über das Fuzzy-Bewertungsnetz in die Bewertung zu integrieren. Die Lohnsteigerung als quantitative Unsicherheit kann z. B. über eine Wahrscheinlichkeitsverteilung modelliert werden. Jeder in das Kalkulationsmodell fließende Einflussfaktor gehört entweder der Klasse Unsicherheit oder der Klasse Sicherer Einflussfaktor an. Dies wird durch die Multiplizität der Assoziation  $0..1$  ausgedrückt.

### 6.5.2 Durchführung der Simulation

Die eigentliche Bewertung kann *deterministisch* oder *unsicherheitsbehaftet* erfolgen. Eine deterministische Bewertung bedeutet, dass die Verteilungsfunktionen der in die Standortbewertung zu integrierenden Unsicherheiten nicht berücksichtigt werden. In diesem Fall wird zur Berechnung lediglich ihr Erwartungswert herangezogen. Im Gegensatz dazu werden bei der unsicherheitsbehafteten Bewertung die Verteilungsfunktionen der Unsicherheiten berücksichtigt. Als Ergebnis der auf der Risikoanalyse (vgl. Abschnitt 2.5.2) basierenden dynamischen Bewertung liegt dann auch die Zielgröße als Histogramm vor.

Aus der relativen Häufigkeitsverteilung lässt sich eine Verteilung annähern, der ein Erwartungswert zugeordnet werden kann. Zu beachten ist, dass der Erwartungswert der angenäherten Verteilung der unsicherheitsbehafteten Rechnung in der Regel nicht mit dem deterministisch berechneten Wert übereinstimmt (KORVES & KREBS 2008) (vgl. Abbildung 44). Die deterministische Bewertung ist im Rahmen der Standortbewertung sinnvoll, um das Bewertungsmodell auf Konsistenz zu überprüfen. Durch einen Abgleich mit ggf. vorliegenden Vergleichsrechnungen des Unternehmens lassen sich auf diese Weise frühzeitig Fehler im Modell identifizieren. Außerdem ermöglicht die deterministische Bewertung die Ermittlung von Sensitivitäten im Bewertungsmodell (vgl. Abschnitt 6.6.3).



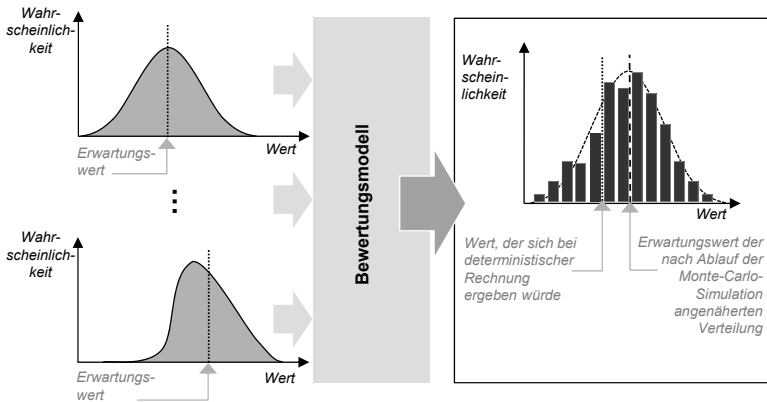


Abbildung 44: Unterschiedliche Erwartungswerte von deterministischer und unsicherheitsbehafteter Bewertung (in Anlehnung an KORVES & KREBS 2008)

Zur Durchführung einer unsicherheitsbehafteten Bewertung hat sich in den letzten Jahren die Monte-Carlo-Simulation (vgl. Abschnitt 2.5.2) durchgesetzt (DENK ET AL. 2005). Auf diese Weise wird die Lösung nicht analytisch, sondern numerisch berechnet. In Abbildung 45 ist der Ablauf der Monte-Carlo-Simulation schematisch anhand eines beispielhaften Bewertungsmodells erklärt.

Quantitative Unsicherheiten lassen sich für jede Periode  $t$  direkt über unterschiedliche Wahrscheinlichkeitsverteilungen in das Bewertungsmodell integrieren. Die qualitativen Unsicherheiten sind über die Fuzzy-Set-Theorie modelliert und über die Defuzzifizierung in jeder Periode  $t$  in quantitative Unsicherheiten überführt worden (vgl.  $QN_3$ ). Auch sie können auf diese Weise als Wahrscheinlichkeitsverteilungen in das Modell integriert werden. Die Monte-Carlo-Simulation zieht aus den in Form von Wahrscheinlichkeitsverteilungen abgebildeten Unsicherheiten jeweils einen Wert, der dann im Kalkulationsmodell für die Standortbewertung (in diesem Beispiel die Kalkulation des MVA) verrechnet wird. Das Bewertungsergebnis über  $T$  Zeitperioden, das Histogramm für den MVA, ergibt sich nach Durchlaufen von  $n$  Ziehungen zufälliger Werte aus den Wahrscheinlichkeitsverteilungen. Bei diesen Ziehungen werden auch die Korrelationen zwischen den Unsicherheiten berücksichtigt (im Beispiel die Korrelation zwischen  $QN_1$  und  $QN_2$ ). Durch Analyse der Eigenschaften des Histogramms der Zielgröße kann das Bewertungsergebnis interpretiert werden. Diese Analyse wird in den folgenden Abschnitten erklärt.

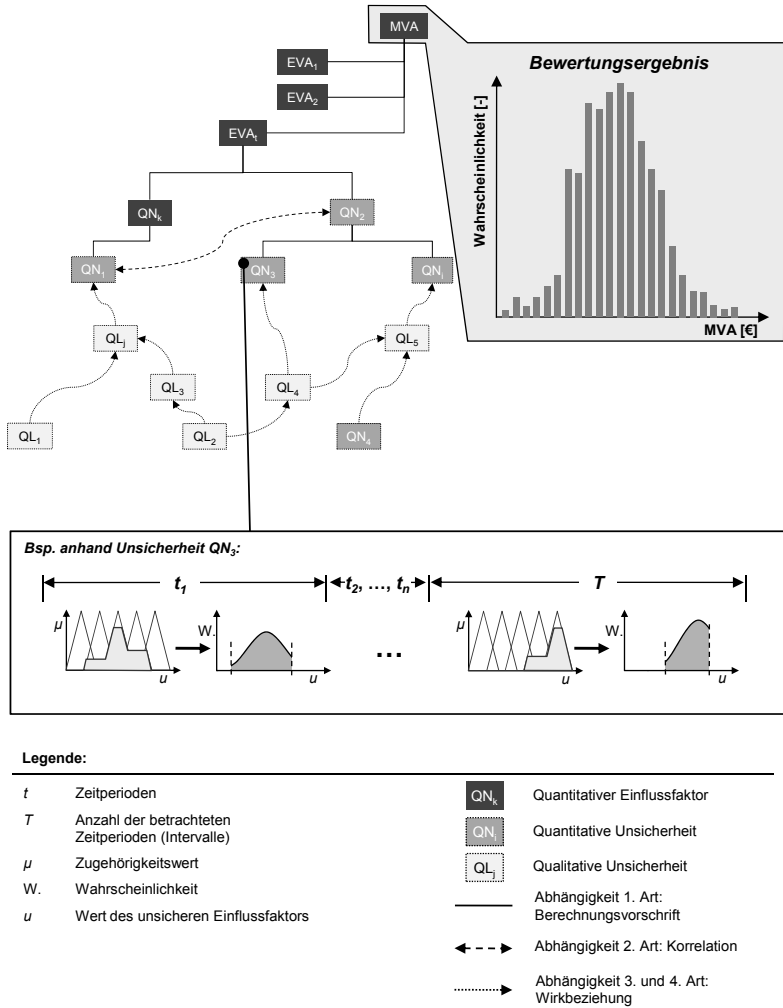


Abbildung 45: Anwendung der Monte-Carlo-Simulation für das Bewertungsmodell dieser Arbeit

## 6.6 Analyse

### 6.6.1 Allgemeines

Im Rahmen der Analyse wird sowohl die deterministische als auch die durch die Simulation ermittelte, unsicherheitsbehaftete Berechnung der Zielgrößen interpretiert. Basierend auf dieser Interpretation kann dann für die jeweiligen Standortalternativen eine Entscheidungsvorlage erstellt werden. Je nach Art der Zielgröße sind unterschiedliche Analyseverfahren anzuwenden. Handelt es sich um eine Zielgröße zur Quantifizierung des periodenbezogenen Erfolgs (z. B. EBIT, NOPAT, vgl. Abschnitt 2.4), kann die Entwicklung der sich pro Periode ergebenden Werte analysiert werden. Bei Standortentscheidungen ist insbesondere das durch die in die Bewertung integrierten, multidimensionalen Unsicherheiten induzierte Risiko zu quantifizieren. Sowohl für die Werte der einzelnen periodenbezogenen Zielgrößen als auch für die Werte der Zielgrößen zur Quantifizierung des mehrperiodigen Erfolgs (z. B. MVA, NPV) muss daher das Risiko (d. h. die Gefahr und die Chance, vgl. Abschnitt 2.3) ermittelt werden. Dabei sollte auch der zu Beginn der Bewertung von der Unternehmensführung festgelegte Zielwert berücksichtigt werden. Darüber hinaus ist im Rahmen der Analyse die Frage zu beantworten, welche Unsicherheiten den größten Einfluss auf das bewertete Risiko haben. In den nächsten Abschnitten wird zum einen erläutert, wie das Risiko bewertet werden kann (Abschnitt 6.6.2) und zum anderen erklärt, wie die in die Bewertung integrierten Unsicherheiten hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die Zielgröße zu untersuchen sind (Abschnitt 6.6.3). Abschließend werden die beschriebenen Analysemethoden gegenübergestellt und hinsichtlich ihrer Eignung für bestimmte Anwendungsfälle bewertet (Abschnitt 6.6.4).

### 6.6.2 Bewertung des Risikos

Wie bereits in Abschnitt 6.5.2 beschrieben, liegt das Ergebnis der dynamischen Bewertung in Form eines Histogramms der jeweiligen Zielgröße vor. Aus diesem Histogramm kann der Erwartungswert für die Zielgröße abgeleitet werden (vgl. Abschnitt 2.5.2). Jedoch sollte bei der Bewertung in jedem Fall die Abweichung vom Erwartungswert berücksichtigt werden. Ein Maß für die Abweichung vom Erwartungswert ist die Standardabweichung  $\sigma$  (KUNZE & SCHWEDT 2002, ECKEY ET AL. 2005).

Basierend auf der Form des jeweils für eine Standortalternative resultierenden Histogramms sowie der sich ergebenden Erwartungswerte und Standardabweichungen kann ein Vergleich von Standortalternativen vorgenommen werden. Abbildung 46 zeigt beispielhaft den Vergleich zweier Standortalternativen A1 und A2 anhand der zugehörigen Histogramme für die Zielgröße. Außerdem ist der von der Unternehmensführung vorgegebene Zielwert  $TV$  (engl. *Target Value*) eingezeichnet. Es ist zu erkennen, dass die Erwartungswerte  $E_{A1}$  und  $E_{A2}$  der beiden Standortalternativen über dem Zielwert liegen. Die Alternativen erfüllen also beide die Erwartungen der Unternehmensführung. Beim Vergleich der Alternativen A1 und A2 wird deutlich, dass  $E_{A2}$  größer als der für Alternative A1 erwartete Wert ist. Allerdings weist Alternative A2 eine wesentlich höhere Standardabweichung als Alternative A1 auf. Dies wird auch durch die breite Form des Histogramms deutlich. Alternative A2 besitzt damit ein höheres Risiko als Alternative A1, denn für A2 sind auch Werte für die Zielgröße wahrscheinlich, die geringer als die Werte der Alternative A1 sind. In diesem Fall ist es daher nicht eindeutig, welche Standortalternative zu bevorzugen ist, und es sollten weitere Analysen vorgenommen werden, welche im Folgenden beschrieben werden.

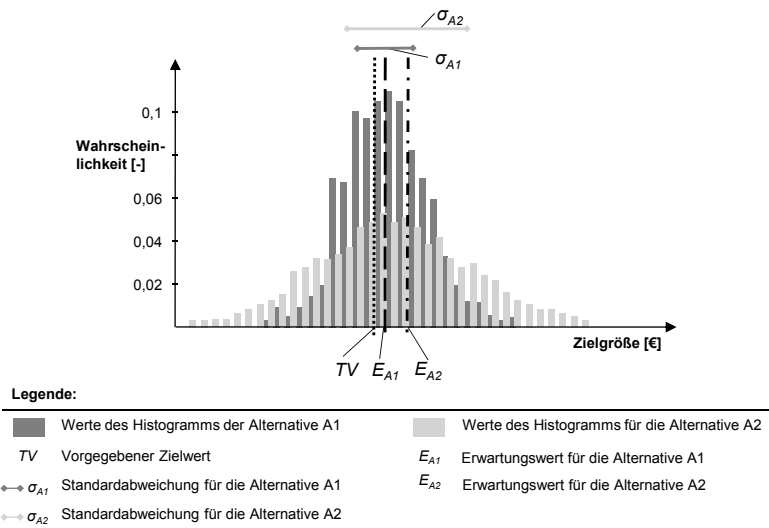


Abbildung 46: Vergleich der Histogramme zweier Standortalternativen

Für einen detaillierten Vergleich können die sich aus dem Histogramm ergebenden Größen zueinander in einem sog. *Bewertungsportfolio* in Beziehung gesetzt

werden. Im Rahmen zahlreicher Bewertungsprojekte bei Industrieunternehmen wurde festgestellt, dass der Erwartungswert und sein Verhältnis zur Standardabweichung ein wesentliches Entscheidungskriterium ist (KREBS ET AL. 2009).

Aus diesem Grund ist ein Bewertungsportfolio entwickelt worden, das für jede zu bewertende Standortalternative den Quotient aus Standardabweichung und Erwartungswert, den sog. *Variationskoeffizient*, mit dem Quotient aus Erwartungswert und dem von der Unternehmensführung angestrebten Zielwert ins Verhältnis setzt (vgl. Abbildung 47). Auf diese Weise werden die Bewertungen einzelner Standortalternativen und insbesondere der Alternativenvergleich unterstützt.

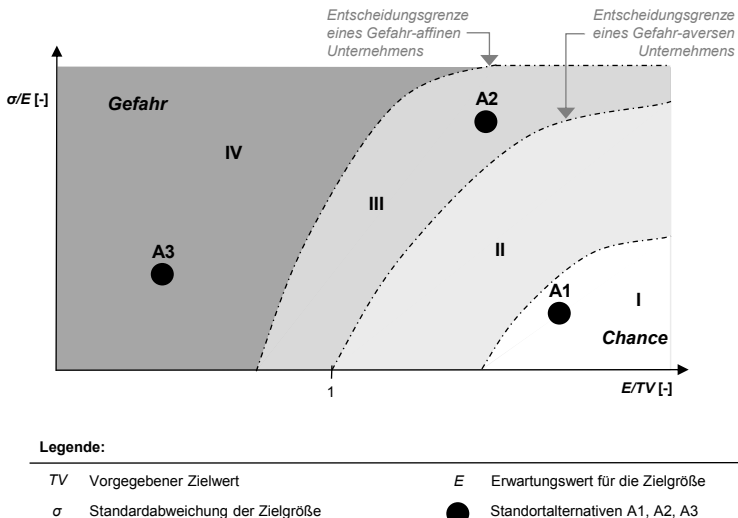


Abbildung 47: Bewertungsportfolio (in Anlehnung an KREBS ET AL. 2009)

Das Portfolio ist in vier Bereiche I, II, III und IV eingeteilt. Liefert die Bewertung Ergebnisse, die im Bereich IV einzuordnen sind, sollte auf eine Umsetzung der Standortalternative verzichtet werden. Denn in diesem Fall weist die Standortalternative eine hohe Gefahr auf, verbunden mit einem geringen Erwartungswert bezogen auf den vorgegebenen Zielwert (vgl. A3 in Abbildung 47). Kann eine Standortalternative dem Bereich I zugeordnet werden (vgl. A1), weist diese Alternative zum einen einen höheren Erwartungs- als Zielwert auf, und zum anderen ist der Variationskoeffizient und damit die Gefahr gering.

Liegt eine Alternative in den Bereichen II oder III des Portfolios (vgl. A2), ist die Affinität zu Gefahr des Unternehmens entscheidend. Die Entscheidungsgrenze eines Gefahr-aversen Unternehmens wird durch die Anforderung bestimmt, dass das Verhältnis aus Erwartungswert und Zielwert größer als 1 ist, d. h. dass die Vorgaben der Unternehmensführung erfüllt werden. Die Ausprägung der jeweiligen Entscheidungsgrenze hängt von unternehmensinternen Größen, wie die Kapitalverfügbarkeit, interne Renditevorschriften für Projekte usw., ab und ist unabhängig von einzelnen Standortbewertungsprojekten.

### Risikoverhältnis

Mit dem Bewertungsportfolio kann zwar auf das Risiko von Standortalternativen geschlossen werden und damit ein Alternativenvergleich vorgenommen werden, jedoch liefert es keine Aussage über das Verhältnis zwischen der Gefahr und der Chance bei einer Alternative. In Abbildung 48 ist gezeigt, wie die Chance und die Gefahr in einem Histogramm unterschieden werden. Sowohl für die Chance als auch die Gefahr können dann die zugehörigen Erwartungswerte  $E_{T,+}$  und  $E_{T,-}$  ermittelt werden.

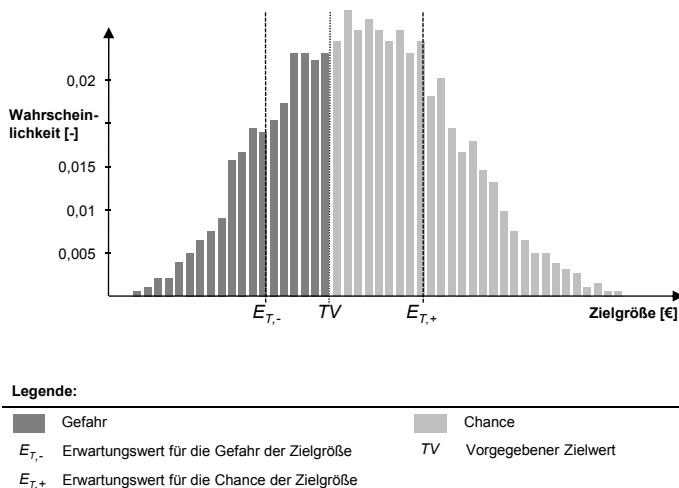


Abbildung 48: Histogramm der Zielgröße zur Bewertung des Risikos

Zur Entwicklung des sog. *Risikoverhältnis*  $RV$ , welches das Verhältnis zwischen Gefahr und Chance einer Alternative ausdrückt, werden die in Abbildung 48 dar-

gestellten Kenngrößen verwendet. Hierzu werden die Abstände der Erwartungswerte für die Gefahr und die Chance zum Zielwert  $TV$  ins Verhältnis gesetzt:

$$RV = \frac{|(E_{T,+} - TV)|}{|(E_{T,-} - TV)|} \quad (30)$$

$RV$	Risikoverhältnis für die Standortalternative
$E_{T,+}$	Erwartungswert für die Chance der Zielgröße
$TV$	Zielwert für die Standortalternative
$E_{T,-}$	Erwartungswert für die Gefahr der Zielgröße

Ist  $RV > 1$  überwiegt die Chance der Standortalternative, für  $RV < 1$  liegt eine höhere Gefahr vor. Über die Berechnung des Risikoverhältnis kann auf diese Weise auch ein Vergleich von Standortalternativen vorgenommen werden.

### 6.6.3 Ermittlung von Sensitivitäten

Liegen der Erwartungswert sowie das Histogramm einer Zielgröße einer Bewertungsalternative vor, stellt sich die Frage, wie sich die vorhandene Gefahr der Alternativen reduzieren oder sogar vermeiden lässt. Um hierfür zielgerichtet Maßnahmen ableiten zu können, ist es erforderlich, die die Zielgröße am stärksten beeinflussenden Unsicherheiten herauszufiltern. Wie bereits in Abschnitt 2.5.2 erläutert, ist hierzu die Sensitivitätsanalyse geeignet.

Zur Durchführung der Sensitivitätsanalyse werden die Ergebnisse einer deterministischen Bewertung verwendet und die Wertebereiche der einzelnen Unsicherheiten nacheinander über den gesamten Bewertungszeitraum variiert. Auf diese Weise kann die Relevanz der Unsicherheiten bezogen auf die Zielgröße untersucht werden. Abbildung 49 zeigt, wie das Ergebnis der Sensitivitätsanalyse graphisch dargestellt werden kann. Je größer die Veränderung des Erwartungswerts der Zielgröße bei einer Veränderung der jeweiligen Unsicherheit ist, desto stärker wird die betrachtete Standortalternative von dieser Unsicherheit beeinflusst.

Bei einer in Form von Wahrscheinlichkeitsverteilungen modellierten quantitativen Unsicherheit  $QN_i$  sind die möglicherweise vorhandenen Intervallgrenzen  $a$  und  $b$  zu beachten. Die Sensitivität der Zielgröße kann in diesen Fällen jeweils bis zu den Grenzen ermittelt werden. Eine Untersuchung der einzelnen Sensitivitäten der qualitativen Unsicherheiten kann nicht zahlenmäßig quantifiziert werden, da die qualitativen Unsicherheiten nicht als Zahlenwerte bei der Bewertung

vorliegen. Jedoch ist es möglich, die Sensitivität des Gesamteinflusses der durch das Fuzzy-Bewertungsnetz modellierten qualitativen Unsicherheiten ( $QL_{Ges}$ ) zu ermitteln. Hierfür werden die quantitativen Output-Werte des Fuzzy-Bewertungsnetzes (vgl. Abschnitt 5.4.3) variiert und die Veränderung der Zielgröße beobachtet.

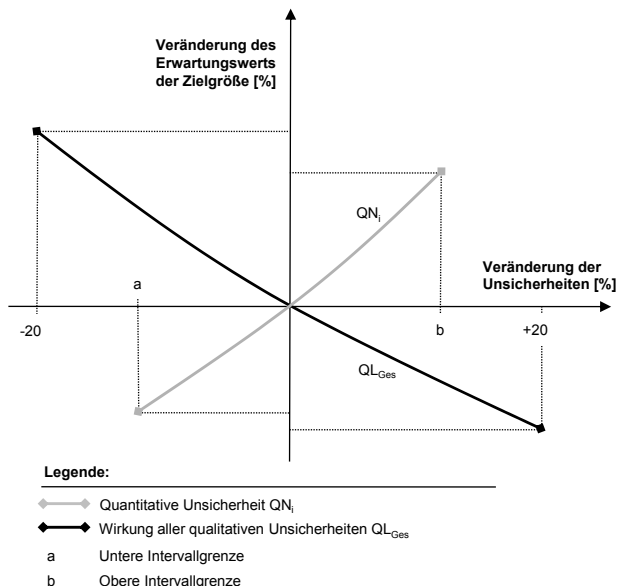


Abbildung 49: Graphische Darstellung der Sensitivitätsanalyse für die Zielgröße

Wie in Abschnitt 6.3.4 angedeutet, lässt sich durch die im Rahmen der Informationsbeschaffung aufgestellte Abhängigkeitsmatrix feststellen, wie stark der Einfluss einzelner qualitativer Unsicherheiten im Vergleich zu anderen qualitativen Unsicherheiten bei der Bewertung ist. Hierzu ist die Summe  $S_G$  der Beträge der einzelnen Gewichtungsfaktoren  $w_{Net}$  in den jeweiligen Zeilen ( $S_Z$ ) und Spalten ( $S_S$ ) der Abhängigkeitsmatrix zu bilden (vgl. Formel (31) und Abbildung 41). Je höher die Summe  $S_G$  einer Unsicherheit, desto größer ist der Einfluss dieser Unsicherheit innerhalb des Fuzzy-Bewertungsnetzes.

Als Ergebnis der Ermittlung der Sensitivitäten kann eine Rangliste der Unsicherheiten nach ihrem Einfluss aufgestellt werden. Diese Liste spiegelt die Priorität wider, mit der die Unsicherheiten zur Verringerung der Gefahr betrachtet werden sollten. Auf Basis der angestellten Überlegungen ist eine gezielte Ableitung von



Maßnahmen zur Reduzierung der Gefahr bzw. zur Erhöhung der Chance der jeweiligen Standortalternative möglich.

$$S_{G,u_i} = S_{Z,u_i} + S_{S,u_i} = w_{Ex}(u_i) \cdot \sum_j |w_{Net}(u_k, u_i)| + \sum_j |w_{Net}(u_i, u_k)| \quad (31)$$

$S_{G,u_i}$	Gesamte Summe für die Unsicherheit $u_i$
$S_{Z,u_i}$	Summe Zeile der Abhängigkeitsmatrix für die Unsicherheit $u_i$
$S_{S,u_i}$	Summe Spalte der Abhängigkeitsmatrix für die Unsicherheit $u_i$
$w_{Net}$	Gewichtungsfaktor der Netzeingabe
$w_{Ex}$	Gewichtungsfaktor einer externen Eingabe
$u_k, u_i$	Unsicherheiten innerhalb des Fuzzy-Bewertungsnetzes

### 6.6.4 Gegenüberstellung der Analyseverfahren

Die in den vorangegangenen beiden Abschnitten vorgestellten Verfahren ermöglichen unterschiedliche Analysen der Bewertungsergebnisse. Daher sind die Verfahren in Abbildung 50 gegenübergestellt und hinsichtlich ihrer Eignung bewertet.

Legende:		Vergleich der Histogramme	Anwendung des Bewertungsportfolios	Berechnung des Risikoverhältnisses	Ermittlung von Sensitivitäten
Das Analyseverfahren ist für das Erreichen des Ziels ...					
○ nahezu gar nicht geeignet.					
◐ kaum geeignet					
◑ teilweise geeignet					
◒ relativ gut geeignet					
◓ sehr gut geeignet					
1., 2., 3.: Empfohlene Reihenfolge der Anwendung					
Analyseziel	Vergleich von Standortalternativen	◓ 1.	◒ 2.	◑ 3.	◐
	Risikobewertung einer einzelnen Standortalternative	◑	◑	◓	◒
	Ableitung von Maßnahmen zur Reduzierung / Vermeidung des Risikos	◐	◐	○	◓

Abbildung 50: Gegenüberstellung der Verfahren zur Analyse der Bewertungsergebnisse

Da für den Vergleich von Standortalternativen drei Verfahren sehr gut geeignet sind, ist die empfohlene Reihenfolge der Anwendung dieser Verfahren angegeben.

## 6.7 Fazit

In diesem Kapitel wurde eine Methode zur Bewertung vernetzter Produktionsstandorte unter Berücksichtigung multidimensionaler Unsicherheiten beschrieben. Sie besteht aus fünf Schritten, die iterativ zu durchlaufen sind.

Der erste Schritt, die Definition des Bewertungsziels, ist in Abschnitt 6.2 erläutert worden. Er baut auf der Definition konkreter Standortalternativen auf und erklärt, wie das Kalkulationsmodell für die Standortbewertung aufgestellt werden kann.

Im zweiten Schritt der Methode wurde in Abschnitt 6.3 ein Vorgehen zur Identifikation von Einflussfaktoren für die Bewertung eingeführt. Es besteht aus der Informationsbedarfsermittlung und der Informationsbeschaffung. Die Informationsbeschaffung ist insbesondere für die in die Bewertung zu integrierenden Unsicherheiten erforderlich, um diese den in Kapitel 5 vorgestellten Modellierungsarten zuzuordnen.

Diese Modellierungsarten sind in Abschnitt 6.4 in ein Unsicherheitsmodell überführt worden. Dieses Unsicherheitsmodell bildet die einzelnen, bei der Bewertung zu berücksichtigenden, quantitativen und qualitativen Unsicherheiten strukturiert ab.

In Abschnitt 6.5 ist der vierte Schritt der Methode, die Bewertung, beschrieben worden, indem erklärt wurde, wie das im dritten Schritt erstellte Unsicherheitsmodell mit dem im zweiten Schritt aufgestellten Kalkulationsmodell zu einem Bewertungsmodell zu verknüpfen ist. Anschließend ist die Durchführung der Monte-Carlo-Simulation des Bewertungsmodells erläutert worden.

Zur Durchführung des letzten Schritts der Methode, der Analyse, wurden in Abschnitt 6.6 vier Verfahren zur Analyse der Bewertungsergebnisse vorgestellt. Diese sind hinsichtlich ihrer Eignung zur Erreichung der Analyseziele *Vergleich von Standortalternativen*, *Risikobewertung einer einzelnen Standortalternative* sowie *Ableitung von Maßnahmen zur Reduzierung/Vermeidung des Risikos* gegenübergestellt worden.

## 7 Umsetzung der Methode

### 7.1 Allgemeines

Ziel dieses Kapitels ist es, die industrielle Anwendung der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Methode aufzuzeigen. Um die Komplexität für den Anwender der Methode zu verringern, sind die in dieser Arbeit eingeführte Modellierung qualitativer und quantitativer Unsicherheiten (vgl. Kapitel 5 und Abschnitt 6.4) sowie die Bewertung (Schritt 4 der Bewertungsmethode, vgl. Abbildung 32) und Analyse (Schritt 5 der Methode) in ein Software-Werkzeug integriert worden. Im Folgenden werden zunächst der Aufbau und die Funktionalitäten dieses Werkzeuges beschrieben, bevor anschließend die Methode anhand eines industriellen Projektbeispiels angewendet wird. In Abschnitt 7.4 wird abschließend die Bewertung der Methode vorgenommen, indem die aus der Anwendung gewonnenen Erkenntnisse bzgl. der in Kapitel 4 gestellten Anforderungen sowie hinsichtlich Aufwand und Nutzen validiert werden.

### 7.2 Werkzeug zur Standortbewertung

#### 7.2.1 Allgemeines

Die im vorangegangenen Kapitel entwickelte Methode weist eine gewisse Komplexität auf: Für unterschiedliche Zielgrößen ist jeweils ein individuelles, unternehmensspezifisches Kalkulationsmodell aufzustellen, das sich für die zu bewertenden Alternativen in seiner Granularität unterscheiden kann. Je nach Kalkulationsmodell sind verschiedene Einflussfaktoren zu identifizieren. Darüber hinaus sind für unsichere Faktoren die in Kapitel 5 eingeführten Arten zur Modellierung der multidimensionalen Unsicherheiten und deren Abhängigkeiten zu beachten. Nach der Durchführung der Bewertung, sind die in Abschnitt 6.6 vorgestellten Analyseverfahren anzuwenden.

Es ist möglich, den Aufwand zur Erstellung des Kalkulationsmodells, zur Modellierung der Unsicherheiten und zur Analyse der Bewertungsergebnisse durch eine softwaretechnische Umsetzung zu reduzieren. Aus diesem Grund wurde in enger Zusammenarbeit mit dem Global Technology Field *Production Networks & Factory Planning* des Bereichs *Corporate Technology* der Siemens AG und des

Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) der Technischen Universität München das Software-Werkzeug PlantCalc<sup>®</sup> entwickelt. Der in Abbildung 32 gezeigte Ablauf der Bewertungsmethode wurde durch den Einsatz von PlantCalc<sup>®</sup> bei der Siemens AG bereits in mehreren Projekten zur Bewertung von Standortalternativen validiert (vgl. hierzu REINHART ET AL. 2007, KORVES & KREBS 2008, KORVES & KREBS 2009).

In Abschnitt 1.3.2 wurde erklärt, dass sich diese Arbeit an Spezialisten in Planungsabteilungen von Unternehmen und Berater richtet, die in Projekte zur Standortplanung produzierender Unternehmen eingebunden sind. Zur Nutzung von PlantCalc<sup>®</sup> durch diese Personen ist ein handelsüblicher PC mit der allgemein verfügbaren Tabellenkalkulation *Microsoft<sup>®</sup> Office Excel<sup>®</sup>* sowie die Simulationssoftware *Oracle<sup>®</sup> Crystal Ball<sup>®</sup>* erforderlich. Oracle<sup>®</sup> Crystal Ball<sup>®</sup> basiert auf *Microsoft<sup>®</sup> Office Excel<sup>®</sup>* und ermöglicht die automatisierte Durchführung der in Abschnitt 2.5.2 beschriebenen Monte-Carlo-Simulation.

PlantCalc<sup>®</sup> besteht aus einer sog. *Verwaltungsebene* und einer *Kalkulationsebene* (vgl. Abbildung 51). Die Verwaltungsebene unterstützt den Anwender bei der Konfiguration und Verwaltung von Bewertungsprojekten. Durch Verknüpfung einzelner Kalkulationsmodule durch Berechnungsvorschriften wird in der Kalkulationsebene die Bewertung durchgeführt. Im Folgenden wird zunächst der Aufbau der Verwaltungsebene beschrieben und anschließend die Kalkulationsebene erklärt.

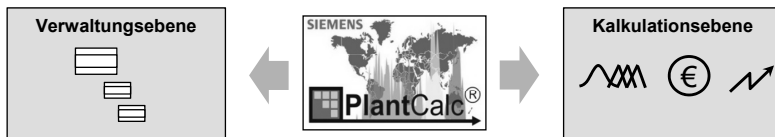


Abbildung 51: Grundsätzlicher Aufbau von PlantCalc<sup>®</sup>

### 7.2.2 PlantCalc®-Verwaltungsebene

Die Verwaltungsebene von PlantCalc® erfüllt drei Hauptfunktionen, die im Folgenden erläutert werden (vgl. Abbildung 52):

**Funktionalität 1:** Verwaltung der einzelnen, für eine Bewertung allgemein benötigten Module. Alle für eine Bewertung verfügbaren Zielgrößen und Kalkulationsmodule sind in der sog. *Modulverwaltung* abgelegt. Dabei ist es auch möglich, den einzelnen Kalkulationsmodulen eine beliebige Anzahl an sog. *Unter-Modulen* zuzuordnen. Die Erstellung von Unter-Modulen lässt so eine beliebige hohe Granularität der Bewertung zu und ermöglicht auf diese Weise die Erweiterung bestehender Module um neue Funktionalitäten. Bspw. ist in Abbildung 52 gezeigt, dass das Materialkosten-Modul Unter-Module für verschiedene Materialarten besitzt.

**Funktionalität 2:** Speicherung einer Auswahl bestimmter, für jeweilige Bewertungsaufgaben passender Module. In der sog. *Vorlagenverwaltung* lassen sich einzelne Planungsvorlagen speichern, aus denen der Nutzer die für die jeweilige Bewertungsaufgabe passende Vorlage auswählen kann. Planungsvorlagen können z. B. für bestimmte Nutzer, Projekte, Branchen oder Unternehmen aus den Zielgrößen und Kalkulationsmodulen der Modulverwaltung zusammengestellt werden. Bspw. ist in Abbildung 52 die Planungsvorlage 1 u. a. aus den Modulen *MVA*, *Materialarten X*, *Lohnkosten B*, *Gebäudetyp 1*, *Währungskurse*, *Stückzahl* sowie *Verfügbarkeit Personal* der Modulverwaltung zusammengestellt worden.

**Funktionalität 3:** Konfiguration und Verwaltung konkreter Bewertungsprojekte. In der sog. *Projektverwaltung* kann der Nutzer aus der gewählten Planungsvorlage einzelne, für die konkret zu bewertende Alternative benötigte Module auswählen und in eine hierarchische Struktur bringen. In Abbildung 52 ist gezeigt, wie die Projektverwaltung für die Alternative 1 aus der Planungsvorlage 1 zusammengestellt werden kann. Für die ausgewählten Module ist dann jeweils zu bestimmen, ob sie *alternativenspezifisch* oder *global* sind. Die Kennzeichnung global bedeutet, dass das Modul für alle zu bewertenden Alternativen identisch ist. Dies ist z. B. häufig bei der integrierten Stückzahlprognose und den Kapitalkosten der Fall. Dagegen sind die Kalkulationen in den alternativenspezifischen Modulen unterschiedlich.

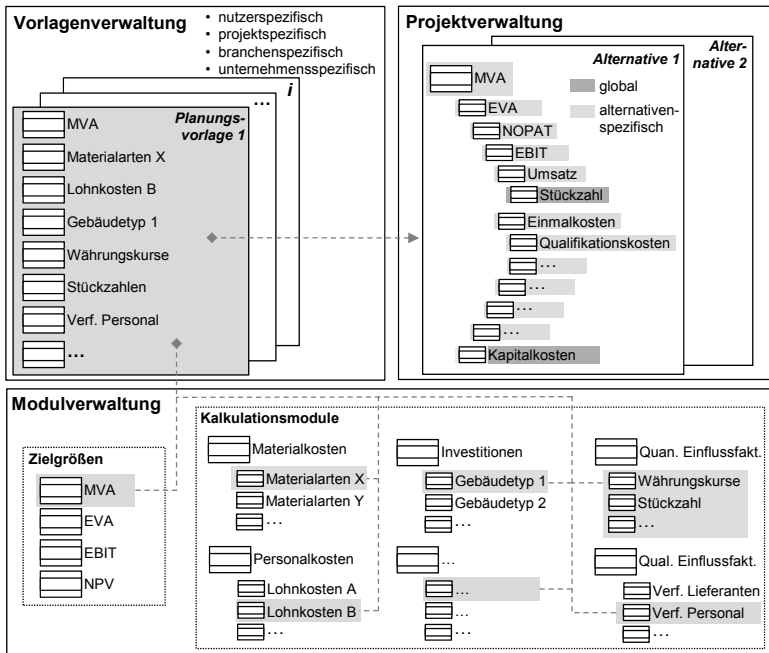


Abbildung 52: Schematische Darstellung der Modul-, Vorlagen- und Projektverwaltung von PlantCalc®

Abbildung 53 zeigt eine Bildschirmkopie eines in PlantCalc® konfigurierten Bewertungsprojekts. Die Ansicht besteht aus drei Bereichen I, II und III. Im Bereich I ist die für das jeweilige Bewertungsprojekt gewählte, aus einzelnen Modulen bestehende Planungsvorlage dargestellt. Aus dieser Vorlage kann der Anwender im Bereich II das Bewertungsprojekt zusammen stellen, indem die einzelnen Module aus der Vorlage ausgewählt und in eine hierarchische Struktur gebracht werden. Im Bereich III ist die Projektverwaltung für eine ausgewählte Alternative dargestellt.



Größen bzw. Kalkulationsmodule in PlantCalc® (vgl. Abbildung 11 zur Berechnung des MVA und EVA).

0		1	2
Kalkulationsmodule zur Berechnung des MVA		Manuelle Eingaben	
Lini- zu Gen. untergeordnet		Modulen	
Gewinn vor Steuern (EBIT)	€ 971.330	Gewinn vor Steuern (EBIT)	€ 1.493.508
Steuersatz	20%	Steuersatz	20%
Kapitalkostensatz (WACC)	12%	Kapitalkostensatz (WACC)	12%
Geschäftsvolumen (IGZA)	€ 7.415.908	Geschäftsvolumen (IGZA)	€ 8.695.907
EVA Periode 0	15.621,07 €	EVA Periode 1	199.890,14 €
Market Value Added (MVA)	2.333.489,89 €	EVA Periode 2	629.470,54 €

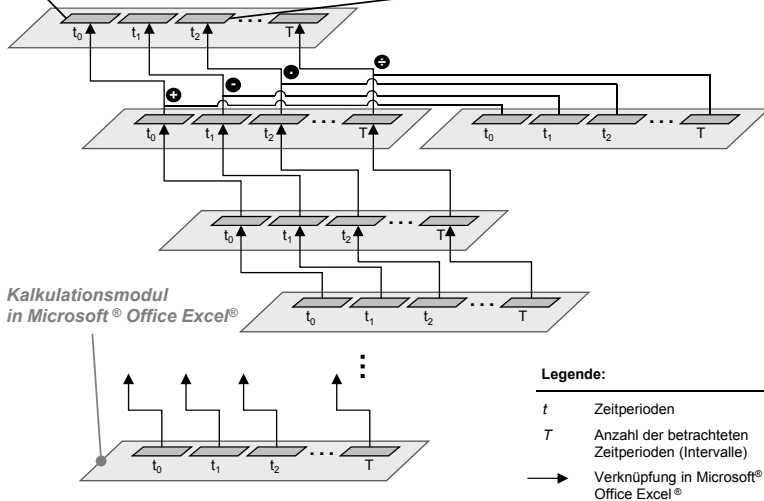
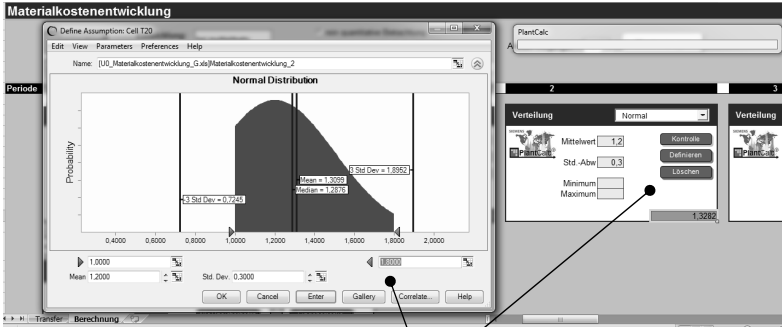


Abbildung 54: Kommunikation zwischen den einzelnen Kalkulationsmodulen (in Anlehnung an MÖLLER 2008)

Auch die verschiedenen Unsicherheiten sind in einer Microsoft® Office Excel®-Datei abgebildet und werden mit den Kalkulationsmodulen verbunden. Abbildung 55 und Abbildung 56 zeigen jeweils den Aufbau der Unsicherheitsmodule in PlantCalc®. Die in Kapitel erläuterten Arten zur Modellierung multidimensionaler Unsicherheiten lassen sich in PlantCalc® in jedem Unsicherheitsmodul für jede Zeitperiode der zu modellierenden Unsicherheit auswählen.





**Modellierung der quantitativen Unsicherheit**

Abbildung 55: Ausschnitt eines quantitativen Unsicherheitsmoduls in PlantCalc<sup>®</sup>

**Modellierung der qualitativen Unsicherheiten**

**Daten zu den qualitativen Vorgängern**

Bitte verlinken Sie hier jeweils die zugehörige Excel-Datei der abhängigen Unsicherheiten

- Unsicherheit 1: Zuverlässigkeit von Lieferanten
- Unsicherheit 2: Sprach- und Kommunikationsbarrieren
- Unsicherheit 3: Verfügbarkeit von qualifiziertem Personal
- Unsicherheit 4: Kulturelle Unterschiede
- Unsicherheit 5: Flexibilität bzgl. Technik

**Defuzzifizierung für die Unsicherheit Koordinations- und Kommunikationsaufwand:**

Aussage	Peak-Werte
Sehr Gering	50000
Gering	100000
Mittel	150000
Hoch	200000
Sehr Hoch	250000

Bitte geben Sie die Verknüpfungsregeln zwischen Zuverlässigkeit von Lieferanten und Koordinations- und Kommunikationsaufwand ein:

Regeln	WENN	Zuverlässigkeit von Lieferanten	Kodierung	DANN	Koordinations- und Kommunikationsaufwand	Kodierung
	Sehr Gering		1	Hoch		4
	Gering		2	Hoch		4
	Mittel		3	Mittel		3
	Hoch		4	Mittel		3
	Sehr Hoch		5	Gering		1

Bitte geben Sie die Verknüpfungsregeln zwischen Sprach- und Kommunikationsbarrieren und Koordinations- und Kommunikationsaufwand ein:

Regeln	WENN	Sprach- und Kommunikationsbarrieren	Kodierung	DANN	Koordinations- und Kommunikationsaufwand	Kodierung
	Sehr Gering		1	Gering		1
	Gering		2	Mittel		3
	Mittel		3	Mittel		3

Abbildung 56: Ausschnitt eines qualitativen Unsicherheitsmoduls in PlantCalc<sup>®</sup>

Die in dieser Arbeit entwickelte Methode besteht aus fünf Schritten (vgl. Abbildung 32), die im Folgenden anhand eines Projektbeispiels geschildert werden.

## 7.3 Projektbeispiel

### 7.3.1 Definition des Bewertungsziels für das Projektbeispiel

Übergeordnetes Ziel des Projekts war die monetäre Bewertung zweier konkreter Standortalternativen zur Fertigung und Montage von Komponenten für Windkraftanlagen. Bei den Alternativen handelte es sich um die Erweiterung des bereits bestehenden, vernetzten Produktionsstandorts in Deutschland und um einen neu zu errichtenden Produktionsstandort in Indien.

Die am jeweiligen Standort zu produzierenden Komponenten bestehen aus einzelnen Baugruppen, die teilweise bereits vormontiert von unterschiedlichen, unternehmensinternen Produktionsstandorten angeliefert werden. Die einzelnen Materialien und Unter-Baugruppen sind durch Zulieferer zu beschaffen. Im Rahmen der Bewertung wurde vorausgesetzt, dass die vorhandenen, sowohl lokalen als auch globalen Zulieferer beim zu erweiternden Produktionsstandort in Deutschland beibehalten werden. Für die Bewertung des neu aufzubauenden Standorts in Indien musste der Aufbau lokaler Zulieferer berücksichtigt werden. Wie bei der Standortalternative in Deutschland wurde vorausgesetzt, dass die globalen Zulieferer bestehen bleiben.

Seitens der Geschäftsbereichsleitung als Auftraggeber wurden daher neben der Erreichung des übergeordneten Ziels zwei Unter-Ziele verfolgt:

- Detaillierte Bewertung der mit den beiden Investitionsalternativen verbundenen Gefahren und Chancen bei einem vorgegebenen Zielwert über einen Zeitraum von 10 Jahren. Hierzu sind alle relevanten quantitativen und qualitativen, sicheren und unsicheren Einflussfaktoren zu berücksichtigen.
- Integration der Alternative Indien sowohl in das bestehende unternehmensinterne Produktionsnetzwerk als auch in die globale und lokale Zulieferstruktur.

Zielgröße des Projekts war der MVA. Der von der Unternehmensführung vorgegebene Zielwert für den MVA betrug 4 Millionen Euro für beide Standortalternativen.

Wie in Abschnitt 6.2.3 beschrieben, besteht ein Kalkulationsmodell für bestimmte Zielgrößen jeweils aus einzelnen Kalkulationsmodulen, die ihrerseits unterschiedliche Gliederungsstufen aufweisen können, und zugehörigen Einflussfaktoren. Für das Projektbeispiel wurde gemeinsam mit den Produktionsverantwortlichen und Controllern des Unternehmens das Kalkulationsmodell für die Berechnung des MVA für die beiden Standortalternativen erstellt. In Tabelle 2 und Tabelle 3 sind die einzelnen Kalkulationsmodule und deren zugehörigen Einflussfaktoren für das Kalkulationsmodell des Projektbeispiels aufgelistet.

In einem nächsten Schritt sind die konkreten Ausprägungen der in das Kalkulationsmodell zu integrierenden, sicheren und unsicheren Einflussfaktoren für das Projektbeispiel zu identifizieren. Für die unsicheren Einflussfaktoren ist anschließend festzulegen, wie sie zu modellieren sind. Dies wird im nächsten Abschnitt anhand des Projektbeispiels erklärt.

Kalkulationsmodule	Unter-Module und Einflussfaktoren	Einheit
<b>Investitionen Gesamt</b>		€/Zeitperiode
	Investitionen in Betriebsmittel	€/Zeitperiode
	Investitionen in Gebäude	€/Zeitperiode
	Investitionen in Informationstechnologie	€/Zeitperiode
	Kapazität der verfügbaren Betriebsmittel	Min/Zeitperiode
	Produzierte Stückzahl pro Zeitperiode	Anzahl/Zeitperiode
	Wechselkursverhältnis EUR nach IDR	1/Zeitperiode
<b>Kosten für Personal Gesamt</b>		€/Zeitperiode
<b>Kosten für verschiedene Personaltypen Gesamt</b>		€/Zeitperiode
	Kosten für verschiedene Personaltypen (Arbeiter, Facharbeiter, Ingenieur, Manager)	€/Zeitperiode
	Lohnkostensteigerung für verschiedene Personaltypen (Arbeiter, Facharbeiter, Ingenieur, Manager)	%/Zeitperiode
	Verfügbare Kapazität der Personaltypen	Min/Zeitperiode
	Bearbeitungszeit je Personaltyp für die einzelnen Fertigungs- und Montageschritte	Min/Zeitperiode
	Nacharbeitsquote für verschiedene Personaltypen (Arbeiter, Facharbeiter, Ingenieur, Manager)	%/Zeitperiode
	Produktivität der einzelnen Personaltypen (Arbeiter, Facharbeiter, Ingenieur, Manager)	%/Zeitperiode
	Qualifikationskosten	€/Zeitperiode
	Anzahl der Mitarbeiter Gesamt pro Zeitperiode	Anzahl/Zeitperiode
	Produzierte Stückzahl	Anzahl/Zeitperiode
<b>Kosten für Material Gesamt</b>		€/Zeitperiode
<b>Kosten für verschiedene Materialtypen Gesamt</b>		€/Zeitperiode
	Kosten für verschiedene Materialtypen	€/Zeitperiode
	Bedarf an verschiedenen Materialtypen	€/Zeitperiode
	Materialkostenentwicklung für verschiedene Materialtypen	%/Zeitperiode
	Einfuhrzoll Gesamt für verschiedene Materialtypen	€/Zeitperiode
	Einfuhrzoll für verschiedene Materialtypen	€/Zeitperiode
	Produzierte Stückzahl	Anzahl/Zeitperiode
<b>Kapitalkosten Gesamt</b>		€/Zeitperiode
	Geschäftsvermögen	€/Zeitperiode
	Kapitalkostensatz	%/Zeitperiode

Tabelle 2: Übersicht über die Kalkulationsmodule und die zugehörigen Einflussfaktoren für das Projektbeispiel (Teil 1 von 2)

Kalkulationsmodule	Unter-Module bzw. Einflussfaktoren	Einheit
<b>Kosten für Unter-Baugruppen Gesamt</b>		€/Zeitperiode
	Kosten für verschiedene, zu beschaffende Unter-Baugruppen	€/Zeitperiode
	Bedarf an verschiedenen, zu beschaffenden Unter-Baugruppen	Anzahl/Zeitperiode
	Produzierte Stückzahl	Anzahl/Zeitperiode
	Einfuhrzoll Gesamt für verschiedene, zu beschaffenden Unter-Baugruppen	€/Zeitperiode
<b>Kosten für Betrieb der Betriebsmittel Gesamt</b>		€/Zeitperiode
<b>Kosten für Betrieb der Gebäude Gesamt</b>		€/Zeitperiode
<b>Kosten für Instandhaltung Gesamt</b>		€/Zeitperiode
<b>Kosten für Transport zum Kunden Gesamt</b>		€/Zeitperiode
	Kosten für Transport zum Kunden für verschiedene Transportmittel (Flugzeug, LKW, Schiff)	€/Zeitperiode
	Transportkostenentwicklung für verschiedene Transportmittel (Flugzeug, LKW, Schiff)	%/Zeitperiode
	Produzierte Stückzahl	Anzahl/Zeitperiode
<b>Kosten für Verpackung Gesamt</b>		€/Zeitperiode
	Kosten für Verpackung für verschiedene Transportmittel (Flugzeug, LKW, Schiff)	€/Zeitperiode
	Entwicklung der Verpackungskosten für verschiedene Transportmittel (Flugzeug, LKW, Schiff)	%/Zeitperiode
	Kosten für Umpacken und Lagern Gesamt	€/Zeitperiode
	Kosten für Umpacken und Lagerung für verschiedene Transportmittel (Flugzeug, LKW, Schiff)	€/Zeitperiode
	Beraterkosten	€/Zeitperiode
	Produzierte Stückzahl	Anzahl/Zeitperiode
<b>Gemeinkosten Gesamt</b>		€/Zeitperiode
	Gemeinkosten für Personal	€/Zeitperiode
	Gemeinkosten für Material	€/Zeitperiode
<b>Sonstige Kosten Gesamt</b>		€/Zeitperiode
	Qualifikationsbasiskosten	€/Zeitperiode
	Fluktuationsrate	%/Zeitperiode
	Reise- und Koordinationskosten	€/Zeitperiode
	Delegationskosten	€/Zeitperiode
	Kosten für länderspezifische Weiterbildung Gesamt	€/Zeitperiode
	Produktivitätsausfälle im Ramp-up	%/Zeitperiode
	Produzierte Stückzahl	Anzahl/Zeitperiode

Tabelle 3: Übersicht über die Kalkulationsmodule und die zugehörigen Einflussfaktoren für das Projektbeispiel (Teil 2 von 2)

### 7.3.2 Identifikation von Einflussfaktoren und Unsicherheitsmodell im Rahmen des Projektbeispiels

Zur Identifikation der Einflussfaktoren für die Bewertung der beiden Standortalternativen wurde die in Abschnitt 6.3 beschriebene Vorgehensweise angewendet. Basierend auf der Methode der kritischen Erfolgsfaktoren und der Interviewmethode wurde ein Katalog an sicheren und unsicheren Einflussfaktoren für das Projekt erstellt. Darauf aufbauend sind die Ausprägungen der sicheren und unsicheren Einflussfaktoren durch eine Primär- und Sekundärbeschaffung ermittelt worden. Hierzu wurden insbesondere Geschäftsberichte, Statistiken, unternehmensinterne Studien sowie Expertenbefragungen genutzt.

Je nach Ausprägung und damit verbundener Klassifizierung der unsicheren Einflussfaktoren existieren verschiedene Modellierungsarten, die in dieser Arbeit in Abschnitt 5.2 für die quantitativen Unsicherheiten und in Abschnitt 5.3 für die qualitativen Unsicherheiten gezeigt sind. Für das Projektbeispiel wurden die in Tabelle 4 und Tabelle 5 aufgelisteten Unsicherheiten ermittelt. Neben der Bezeichnung der Unsicherheit ist jeweils die Klassifizierung und Modellierungsart angegeben. Die Spalte *Alternativenbezug* macht deutlich, ob diese Unsicherheit für die Standortalternative Deutschland (*D*) oder für die Standortalternative Indien (*I*) relevant ist. Der Alternativenbezug *Global* bedeutet, dass die Ausprägung der Unsicherheit für beide Standortalternativen gleich ist.

Neben der Sammlung der einzelnen sicheren und unsicheren Faktoren sind auch die in Abschnitt 5.4 eingeführten Abhängigkeiten zwischen Unsicherheiten zu ermitteln. Abhängigkeiten 1. Art sind in Form von Berechnungsvorschriften des Kalkulationsmodells festgelegt. Bspw. wurde im Rahmen des Projektbeispiels das Kalkulationsmodul *Kosten für Transport zum Kunden Gesamt* aus der Multiplikation der quantitativen Unsicherheiten *produzierte Stückzahl*, *Transportkostenentwicklung für verschiedene Transportmittel (Flugzeug, LKW, Schiff)* und *Kosten für Transport zum Kunden für verschiedene Transportmittel (Flugzeug, LKW, Schiff)* berechnet.

Quantitative Unsicherheit	Alternativenbezug	Klassifizierung	Modellierungsart
Ausschussquote ( $u_{QN_{Auss}}$ )	D; I	Zeitabhängig, vorgängerunabhängig	Diskret, Normalverteilung
Beraterkosten ( $u_{QN_{BerK}}$ )	D; I	Zeitabhängig, vorgängerunabhängig	Stetig, Normalverteilung
Wechselkursentwicklung EUR- INR ( $u_{QN_{WKur}}$ )	Global	Zeitabhängig, vorgängerabhängig	Ito-Prozess, Normalverteilung
Delegationskosten ( $u_{QN_{Dele}}$ )	D; I	Zeitabhängig, vorgängerunabhängig	Stetig, Normalverteilung
Einmalige Qualifikationskosten ( $u_{QN_{Qual}}$ )	D; I	Zeitabhängig, vorgängerunabhängig	Stetig, Normalverteilung
Fluktuationsrate ( $u_{QN_{Fluk}}$ )	D; I	Zeitabhängig, vorgängerunabhängig	Stetig, Normalverteilung
Länderspezifische Weiterbildung ( $u_{QN_{Bild}}$ )	I	Zeitabhängig, vorgängerunabhängig	Stetig, Normalverteilung
Lohnkostensteigerung ( $u_{QN_{Lohn}}$ )	D; I	Zeitabhängig, vorgängerunabhängig	Stetig, Beta-Verteilung
Materialkostenentwicklung ( $u_{QN_{MatK}}$ )	Global	Zeitabhängig, vorgängerunabhängig	Random-Walk, Normalverteilung
Nacharbeitsquote ( $u_{QN_{Nach}}$ )	D; I	Zeitabhängig, vorgängerunabhängig	Stetig, Normalverteilung
Produktivität ( $u_{QN_{Prod}}$ )	D; I	Zeitabhängig, vorgängerunabhängig	Stetig, Normalverteilung
Produktivitätsausfälle im Ramp-up ( $u_{QN_{Ramp}}$ )	D; I	Zeitabhängig, vorgängerunabhängig	Diskret, Normalverteilung
Qualifikationsbasiskosten ( $u_{QN_{QBBS}}$ )	D; I	Zeitabhängig, vorgängerunabhängig	Stetig, Normalverteilung
Reine Transportkosten ( $u_{QN_{Tran}}$ )	D; I	Zeitabhängig, vorgängerunabhängig	Ito-Prozess, Normalverteilung
Reise- und Koordinationskosten ( $u_{QN_{Koor}}$ )	D; I	Zeitabhängig, vorgängerunabhängig	Stetig, Normalverteilung
Stückzahl ( $u_{QN_{Stck}}$ )	Global	Zeitabhängig, vorgängerunabhängig	Stetig, Beta-Verteilung
Verkaufspreis ( $u_{QN_{Prei}}$ )	Global	Zeitabhängig, vorgängerunabhängig	Stetig, Normalverteilung
Verpackungskosten ( $u_{QN_{Verp}}$ )	D; I	Zeitabhängig, vorgängerunabhängig	Stetig, Normalverteilung

Tabelle 4: *Im Rahmen des Projektbeispiels integrierte quantitative Unsicherheiten sowie deren Alternativenbezug, Klassifizierung und Modellierungsart*

Qualitative Unsicherheit	Alternativenbezug	Klassifizierung	Modellierungsart
Anlaufschwierigkeiten der Produktion (u <sub>QL-Anl</sub> )	D; I	Zeitabhängig, vorgängerunabhängig	Klassisches Fuzzy-System
Entlohnungs- und Anreizsysteme (u <sub>QL-Entl</sub> )	D; I	Zeitabhängig, vorgängerunabhängig	Klassisches Fuzzy-System
Fertigbare Produktqualität (u <sub>QL-Qual</sub> )	D; I	Zeitabhängig, vorgängerunabhängig	Klassisches Fuzzy-System
Flexibilität bzgl. der Organisation (u <sub>QL-FlexO</sub> )	D; I	Zeitabhängig, vorgängerunabhängig	Klassisches Fuzzy-System
Flexibilität bzgl. Technik (u <sub>QL-FlexT</sub> )	D; I	Zeitabhängig, vorgängerunabhängig	Klassisches Fuzzy-System
Fluktuation/Gefahr von Know-how-Verlust (u <sub>QL-Fluk</sub> )	D; I	Zeitabhängig, vorgängerunabhängig	Klassisches Fuzzy-System
Koordinations- und Kommunikationsaufwand (u <sub>QL-Koor</sub> )	D; I	Zeitunabhängig, vorgängerunabhängig	Klassisches Fuzzy-System
Kulturelle Unterschiede (u <sub>QL-Kult</sub> )	I	Zeitunabhängig, vorgängerunabhängig	Klassisches Fuzzy-System
Motivation der Mitarbeiter (u <sub>QL-Mot</sub> )	D; I	Zeitabhängig, vorgängerabhängig	Rekurrentes Fuzzy-System
Rechtssicherheit (u <sub>QL-Recht</sub> )	D; I	Zeitunabhängig, vorgängerunabhängig	Klassisches Fuzzy-System
Sprach- und Kommunikationsbarrieren (u <sub>QL-Komm</sub> )	I	Zeitunabhängig, vorgängerunabhängig	Klassisches Fuzzy-System
Qualität der Infrastruktur Energie- und Wasser (u <sub>QL-Ener</sub> )	D; I	Zeitabhängig, vorgängerunabhängig	Klassisches Fuzzy-System
Qualität der Infrastruktur Verkehr (u <sub>QL-Verk</sub> )	D; I	Zeitabhängig, vorgängerunabhängig	Klassisches Fuzzy-System
Verfügbarkeit von Lieferanten (u <sub>QL-Lier</sub> )	D; I	Zeitabhängig, vorgängerabhängig	Rekurrentes Fuzzy-System
Verfügbarkeit von qualifiziertem Personal (u <sub>QL-Pers</sub> )	D; I	Zeitabhängig, vorgängerabhängig	Rekurrentes Fuzzy-System
Wirtschaftliche Stabilität/Verhältnisse (u <sub>QL-Wirt</sub> )	D; I	Zeitabhängig, vorgängerunabhängig	Klassisches Fuzzy-System
Zuverlässigkeit von Lieferanten (u <sub>QL-Zuwl</sub> )	D; I	Zeitabhängig, vorgängerunabhängig	Klassisches Fuzzy-System

*Tabelle 5: Im Rahmen des Projektbeispiels integrierte qualitative Unsicherheiten sowie deren Alternativenbezug, Klassifizierung und Modellierungsart*

Abhängigkeiten 2. Art werden in dieser Arbeit in Form von Korrelationen in die Bewertung integriert. Im hier beschriebenen Projektbeispiel wurden folgende Korrelationen zwischen quantitativen Einflussfaktoren integriert:

- Sehr hohe Korrelation zwischen den Unsicherheiten *reine Transportkosten* und *Reise- und Koordinationskosten*:  $r_S = 1$



- Hohe Korrelation zwischen den Unsicherheiten *Beraterkosten* und *Lohnkostensteigerung*:  $r_S = 0,8$
- Hohe Korrelation zwischen den Unsicherheiten *Produktivität* und *Produktivitätsausfälle im Ramp-up*:  $r_S = -0,8$

Unscharfe Abhängigkeiten 3. und 4. Art, die zwischen quantitativen und qualitativen Unsicherheiten sowie zwischen den qualitativen Unsicherheiten untereinander auftreten, werden in dieser Arbeit mit dem Fuzzy-Bewertungsnetz modelliert (vgl. Abschnitt 5.4.3). In Abbildung 57 ist die in Abbildung 41 eingeführte Matrix zur Spezifizierung der Abhängigkeiten zwischen den qualitativen und quantitativen Unsicherheiten für die Alternative Indien gezeigt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit zur Beschreibung des Projektbeispiels ist hier lediglich die Tendenz der Abhängigkeiten gezeigt; im Projektbeispiel wurden die einzelnen Abhängigkeiten jeweils mit  $|w_{Net} = 1|$  gewichtet. Die Summe der Beträge dieser Gewichtungen ist in den jeweiligen Zeilen ( $S_Z$ ) und Spalten ( $S_S$ ) angegeben.


	$u_{ON\_Pass}$	$u_{ON\_Bank}$	$u_{ON\_Vork}$	$u_{ON\_Bau}$	$u_{ON\_Qual}$	$u_{ON\_Fluk}$	$u_{ON\_Bied}$	$u_{ON\_Conn}$	$u_{ON\_Markt}$	$u_{ON\_Nuen}$	$u_{ON\_Prod}$	$u_{ON\_Ramp}$	$u_{ON\_Glas}$	$u_{ON\_Iran}$	$u_{ON\_Koor}$	$u_{ON\_Bak}$	$u_{ON\_Preis}$	$u_{ON\_Verg}$	$S_Z$
$u_{QL\_Anl}$		+		+								+							3
$u_{QL\_Ernt}$						•													1
$u_{QL\_Qual}$																		+	1
$u_{QL\_FlieO}$													+			+			2
$u_{QL\_FlieT}$											+								1
$u_{QL\_Fluk}$	+					+				+									3
$u_{QL\_Koor}$															+				1
$u_{QL\_Kult}$						+	+					+							3
$u_{QL\_Mot}$	•					•				•	+								4
$u_{QL\_Recht}$																			0
$u_{QL\_Komm}$							+				•								2
$u_{QL\_Ener}$																			0
$u_{QL\_Verk}$														•					1
$u_{QL\_Lief}$																			0
$u_{QL\_Pers}$	•				•					•		•	•			•			6
$u_{QL\_Wirt}$								+											1
$u_{QL\_Zuvt}$											•	•							2
$S_S$	3	1	0	1	1	4	2	1	0	3	4	4	2	1	1	2	0	1	

Abbildung 57: Tendenz der Abhängigkeiten 3. Art zwischen den für die Alternative Indien integrierten Unsicherheiten

Eine negative Tendenz (-) zwischen zwei Unsicherheiten besagt, dass die zugehörige Regelmenge  $R$  *entgegengerichtet* ( $w_{Net} < 0$ ) ist. In Abbildung 57 ist die Abhängigkeit zwischen der Unsicherheit *Verfügbarkeit von qualifiziertem Personal* ( $U_{QLPers}$ ) und der Unsicherheit *Qualifikationskosten* ( $U_{QNQual}$ ) entgegengerichtet: Die Qualifikationskosten nehmen zu, wenn kein qualifiziertes Personal vorhanden ist. Analog zu Abbildung 57 zeigt Abbildung 58 die Tendenz der Abhängigkeiten zwischen den qualitativen Unsicherheiten des Projektbeispiels. Darüber hinaus ist die externe Gewichtung  $w_{Ex}$  eingetragen. Diese wurde von den an der Standortbewertung beteiligten Personen und der Geschäftsbereichsleitung als Auftraggeber festgelegt. Einige Unsicherheiten wie z. B. der Faktor *Zuverlässigkeit von Lieferanten* ( $U_{QLZuwl}$ ) wurden höher gewichtet, da sie in der Vergangenheit häufig zu Fehlentscheidungen geführt haben.

→	$U_{QL_{Arl}}$	$U_{QL_{Entfl}}$	$U_{QL_{Qual}}$	$U_{QL_{FlieO}}$	$U_{QL_{FlieT}}$	$U_{QL_{Fluk}}$	$U_{QL_{Koor}}$	$U_{QL_{Kult}}$	$U_{QL_{Mot}}$	$U_{QL_{Recht}}$	$U_{QL_{Komm}}$	$U_{QL_{Ener}}$	$U_{QL_{Verk}}$	$U_{QL_{Lief}}$	$U_{QL_{Pers}}$	$U_{QL_{Wirt}}$	$U_{QL_{Zuwl}}$	$w_{Ex}$	$S_z$
$U_{QL_{Arl}}$																		2	0
$U_{QL_{Entfl}}$																		1	2
$U_{QL_{Qual}}$																		2	0
$U_{QL_{FlieO}}$																		1	2
$U_{QL_{FlieT}}$																		1	1
$U_{QL_{Fluk}}$																		2	1
$U_{QL_{Koor}}$																		1	0
$U_{QL_{Kult}}$																		1	7
$U_{QL_{Mot}}$																		1	2
$U_{QL_{Recht}}$																		1	2
$U_{QL_{Komm}}$																		1	3
$U_{QL_{Ener}}$																		1	0
$U_{QL_{Verk}}$																		1	1
$U_{QL_{Lief}}$																		3	0
$U_{QL_{Pers}}$																		1	4
$U_{QL_{Wirt}}$																		1	1
$U_{QL_{Zuwl}}$																		3	2
$S_s$	4	0	5	3	1	3	5	0	2	0	1	0	0	1	0	0	3		

Abbildung 58: Tendenz der Abhängigkeiten 4. Art zwischen den für die Alternative Indien integrierten Unsicherheiten

Eine positive Tendenz (+) zwischen zwei Unsicherheiten besagt, dass die zugehörige Regelmenge  $R$  *gleichgerichtet* ( $w_{Net} > 0$ ) ist. Bspw. ist die in Abbildung 58 gezeigte Abhängigkeit zwischen der Unsicherheit *Sprach- und Kommunikati-*

onsbarrieren ( $U_{QL_{Komm}}$ ) und der Unsicherheit *Koordinations- und Kommunikationsaufwand* ( $U_{QL_{Koor}}$ ) gleichgerichtet: Existieren wie beim Aufbau eines Produktionsstandorts in Indien Sprachbarrieren, wird auch der Koordinationsaufwand zunehmen.

### 7.3.3 Bewertung und Analyse für das Projektbeispiel

Im Projektbeispiel sind die in Abschnitt 7.3.1 gezeigten Kalkulationsmodule und die in Abschnitt 7.3.2 beschriebenen Unsicherheiten in Form von Unsicherheitsmodulen in PlantCalc<sup>®</sup> integriert sowie miteinander verknüpft worden. Auf diese Weise wurde das Bewertungsmodell für die beiden Standortalternativen aufgestellt. Darauf aufbauend konnte die eigentliche Bewertung erfolgen, indem die Monte-Carlo-Simulation für die Zielgröße MVA durchgeführt wurde (vgl. Abschnitt 6.5.2). Es wurden 50.000 Ziehungen durchlaufen und die in Abbildung 59 gezeigten Histogramme der Zielgröße in PlantCalc<sup>®</sup> ermittelt.

Abbildung 59 zeigt einen Ausschnitt aus einer Analysedatei in PlantCalc<sup>®</sup>, in der die simulierten Werte als Histogramme für die Wahrscheinlichkeit der Zielgröße MVA dargestellt werden. Die Skalierung der Abszisse des Diagramms sowie die Schrittgröße kann durch den Nutzer einfach verändert werden. Die Schrittgröße gibt den Abstand der einzelnen Ziehungen zur Darstellung im Diagramm an. Diese Möglichkeiten zur einfachen Anpassung der Darstellung vereinfachen die Aufbereitung der Ergebnisse für den Nutzer von PlantCalc<sup>®</sup>.

Der Vergleich der Histogramme für die beiden Standortalternativen Deutschland und Indien zeigt, dass sich die jeweiligen Erwartungswerte nur geringfügig unterscheiden und beide über dem von der Geschäftsbereichsleitung vorgegeben Zielwert für den MVA von 4 Millionen Euro liegen. Allerdings weist das Histogramm der Alternative Indien eine wesentlich größere Streuung auf: Einzelne Ziehungen ergeben Werte, die einen negativen MVA bedeuten würden. Gleichzeitig sind aber auch Ziehungen möglich, die einen MVA von mehr als 10 Millionen Euro ergeben würden.

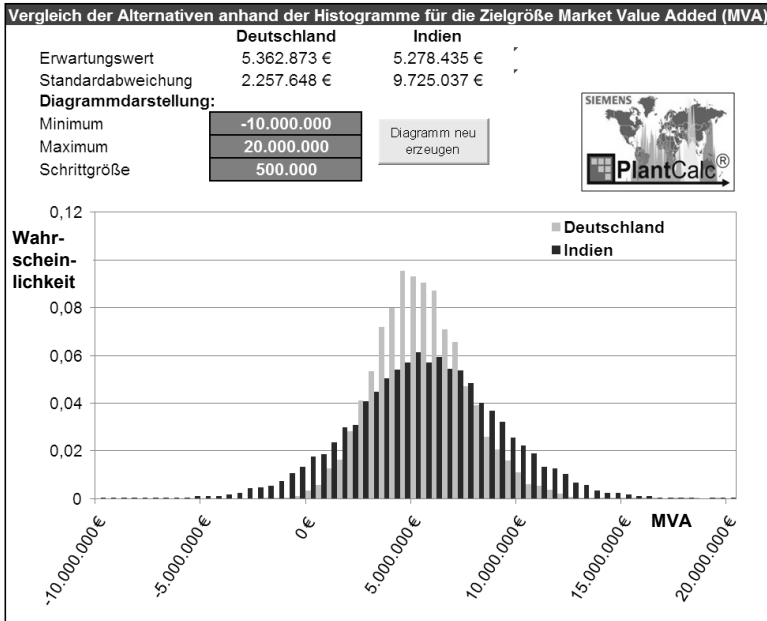


Abbildung 59: Vergleich der Histogramme der beiden Standortalternativen für die Zielgröße MVA des Projektbeispiels in PlantCalc®

Im Vergleich dazu ist die Streuung des Histogramms für die Alternative Deutschland kleiner: Sowohl die Gefahr als auch die Chance dieser Alternative ist daher geringer. Zur Vorstellung der Bewertungsergebnisse bei der Geschäftsbereichsleitung wurde das Bewertungsportfolio (vgl. Abbildung 47) genutzt. Hierzu sind die Ordinaten- und Abszissenwerte des Portfolios für beide Standortalternativen berechnet worden (vgl. Abbildung 60):

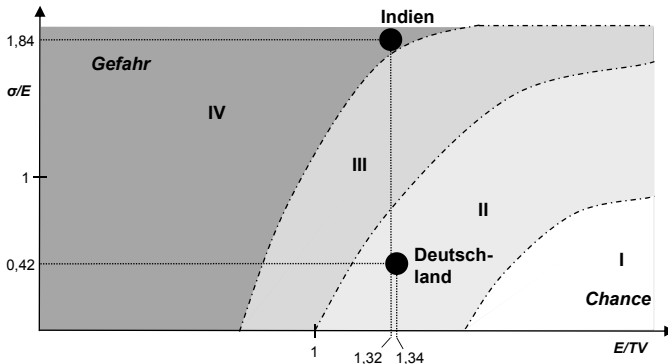
**Berechnung der Koordinaten für das Bewertungsportfolio für die Zielgröße MVA**

	Deutschland	Indien
Zielwert der Standortalternative	4.000.000 €	4.000.000 €
<b>Erwartungswert / Zielwert</b>	<b>1,34</b>	<b>1,32</b>
<b>Standardabweichung / Erwartungswert</b>	<b>0,42</b>	<b>1,84</b>

Abbildung 60: Koordinaten für das Bewertungsportfolio für die Zielgröße MVA des Projektbeispiels

Abbildung 61 zeigt das Bewertungsportfolio für das Fallbeispiel. Die Alternative Deutschland liegt im Bereich II, weist also eine wesentliche höhere Chance als

Gefahr auf. Die Alternative Indien ist aufgrund der berechneten Werte im Bereich IV anzuordnen.



**Legende:**

TV	Vorgegebener Zielwert	E	Erwartungswert für die Zielgröße
$\sigma$	Standardabweichung der Zielgröße	●	Standortalternativen

Abbildung 61: Vergleich der beiden Standortalternativen für die Zielgröße MVA des Projektbeispiels anhand des Bewertungsportfolios

Auch die Berechnung des Risikoverhältnisses für den MVA der beiden Standortalternativen belegt die Aussagen, die bereits basierend auf dem Vergleich der Histogramme sowie dem Eintrag der Alternativen in das Bewertungsportfolio getroffen werden konnten: Das Risikoverhältnis der Alternative Deutschland ist wesentlich größer als das der Alternative Indien (vgl. Abbildung 62).

Berechnung des Risikoverhältnisses für die Zielgröße MVA		
	Deutschland	Indien
Zielwert der Standortalternative	4.000.000 €	4.000.000 €
Erwartungswert für die Chance der Zielgröße	6.340.843 €	7.344.544 €
Erwartungswert für die Gefahr der Zielgröße	2.801.321 €	1.273.109 €
<b>Risikoverhältnis</b>	<b>1,95</b>	<b>1,23</b>

Abbildung 62: Berechnung des Risikoverhältnisses für die Zielgröße MVA des Projektbeispiels

Nach Präsentation der Bewertungsergebnisse für die beiden Standortalternativen wurde von der Unternehmensführung beauftragt, den Einfluss der Unsicherheiten *Lohnkostensteigerung*, *Materialkostenentwicklung*, *Transportkostenentwicklung* sowie *aller qualitativen Unsicherheiten* auf die Zielgröße MVA zu ermitteln.

Daher wurde für diese Unsicherheiten im Rahmen des Projektbeispiels eine Sensitivitätsanalyse für die Standortalternative Indien durchgeführt (vgl. Abbildung 63).

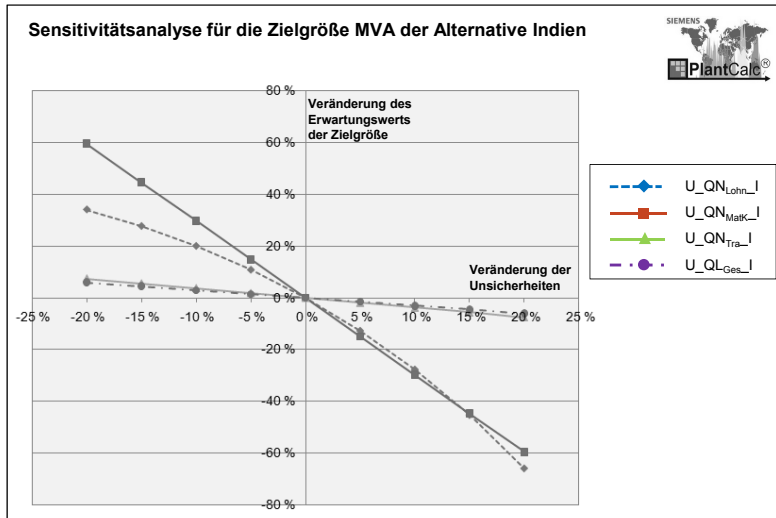


Abbildung 63: Sensitivitätsanalyse für ausgewählte Unsicherheiten der Standortalternative Indien im Rahmen des Projektbeispiels

Es ist ersichtlich, dass die Entwicklung der Materialkosten ( $U_{QN_{MatK}_I}$ ) sowie der Lohnkosten ( $U_{QN_{Lohn}_I}$ ) eine hohe Auswirkung auf den MVA hat. Eine Abnahme der gesamten Materialkosten um 5 % erhöht den MVA um 15 %. Dagegen bewirkt eine Steigerung der gesamten Lohnkosten um 20 % eine Verringerung des MVA um 66 %. Die Reduzierung des Einflusses der qualitativen Unsicherheiten ( $U_{QL_{Ges}_I}$ ) um 20 % erhöht den MVA um 6 %.

Der Einfluss einzelner qualitativer Unsicherheiten lässt sich aus der in Abbildung 58 gezeigten Abhängigkeitsmatrix durch die Ermittlung der Summe der Beträge der einzelnen Gewichtungsfaktoren in den Zeilen ( $S_z$ ) und Spalten ( $S_s$ ) ableiten. Im Projektbeispiel hatten die Unsicherheiten kulturelle Unterschiede, Koordinations- und Kommunikationsaufwand, fertigmachbare Produktqualität und Verfügbarkeit von qualifiziertem Personal den größten Einfluss auf die Standortalternative Indien. Basierend auf dieser Erkenntnis ist es für die Geschäftsbereichsleitung möglich, bei einer Entscheidung für die Alternative Indien gezielt Maßnahmen zur Beherrschung dieser Unsicherheiten abzuleiten.

Nach Vorstellung der Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für die Alternative Indien wurde von der Geschäftsbereichsleitung die Entscheidung getroffen: Die hohe Sensitivität der qualitativen Unsicherheiten und das größere Risiko der Standortalternative Indien haben die Unternehmensführung veranlasst, die Alternative mit dem kleineren Risiko und der geringeren Sensitivität bzgl. der Unsicherheit zu präferieren und damit den Produktionsstandort Deutschland zu stärken.

## 7.4 Bewertung der entwickelten Methode

In diesem Abschnitt soll zum einen eine Aussage über das Verhältnis zwischen dem Aufwand und dem Nutzen der Anwendung der in dieser Arbeit entwickelten und in PlantCalc® umgesetzten Methode getroffen werden. Zum anderen soll beurteilt werden, in wieweit die in Kapitel 4 gestellten Anforderungen erfüllt wurden.

### Verhältnis zwischen Aufwand und Nutzen

In Abbildung 64 ist gezeigt, welche Aufwände in Manntagen (MT) und Nutzen bei der Anwendung der in dieser Arbeit entwickelten Methode im Vergleich zu einer *konventionellen Bewertung* entstehen. Unter einer konventionellen Bewertung wird hier die Anwendung der in Unternehmen bereits etablierten Kapitalwertmethode (vgl. Abschnitt 2.4.4) verstanden. Der Aufwand<sup>10</sup> für eine Bewertung hängt stets von dem Umfang des konkreten Projekts ab; bei den in Abbildung 64 angegebenen Werten handelt es sich um Erfahrungswerte des Instituts für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) (vgl. hierzu REINHART ET AL. 2007, KORVES & KREBS 2008, OEHMEN ET AL. 2008, REINHART ET AL. 2008a, REINHART ET AL. 2008b, KORVES & KREBS 2009, KREBS ET AL. 2009).

Einen Mehrwert der Methode stellt die Berücksichtigung multidimensionaler Unsicherheiten und der Integration ihrer Abhängigkeiten dar. Dem entsprechend verursachen die Identifikation von Einflussfaktoren und die Modellierung der Unsicherheiten auch einen größeren Aufwand als bei einer Bewertung ohne Berücksichtigung von Unsicherheiten sowie der Abhängigkeiten. In Abschnitt 7.2

---

<sup>10</sup> Es wird hier lediglich der Aufwand zur Anwendung der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten und im Software-Werkzeug PlantCalc® umgesetzten Methode adressiert. Der initiale Aufwand für die Entwicklung und Integration der Methode in PlantCalc® wird nicht betrachtet.

wurde u. a. beschrieben, wie die in dieser Arbeit beschriebene Aufstellung des Bewertungsmodells (vgl. Abschnitt 6.5.1) durch das Software-Werkzeug PlantCalc<sup>®</sup> unterstützt wird. Daher ist der Aufwand für die Aufstellung des Bewertungsmodells wesentlich geringer als bei einer konventionellen Bewertung.

<b>Aufwand vs. Nutzen bei Anwendung der Methode</b> (MT: Manntage)			
	<b>Bewertungsschritte</b>	<b>Konventionelle Bewertung</b>	<b>Bewertung mit der in dieser Arbeit entwickelten Methode</b>
<b>Aufwand</b>	Definition des Bewertungsziels	2 MT	2 MT
	Sammlung von Einflussfaktoren	10 MT	15 MT
	Identifikation von Abhängigkeiten zwischen Unsicherheiten	0 MT	5 MT
	Modellierung quantitativer Unsicherheiten	0 MT	5 MT
	Modellierung qualitativer Unsicherheiten	0 MT	5 MT
	Aufstellung des Bewertungsmodells	20 MT	10 MT
	Berechnung der Zielgröße	1 MT	1 MT
	Analyse des Bewertungsergebnisses	5 MT	5 MT
<b>Lineare Abschreibung (3 Jahre) der Investition (785 €) inkl. 5% Zinsen (78,6 €) für Simulationssoftware Oracle® Crystal Ball®</b>		-	<b>288,2 €</b>
<b>SUMME (1 MT = 1.000 €)</b>		<b>38 MT d.h. 38.000 €</b>	<b>48 MT + Crystal Ball® d.h. 48.288,2 €</b>
<b>Nutzen</b>	Bewertung der Gefahr durch Auswerteverfahren (Histogrammvergleich, Risikoportfolio, Risikoverhältnis)	-	Sensibilisierung für vorhandene Gefahr; abhängig vom konkreten Bewertungsumfang
	Identifikation von Einflussfaktoren auf das Bewertungsergebnis	-	Reduzierung der Gefahr durch gezielte Ableitung von Maßnahmen

Abbildung 64: Aufwand vs. Nutzen bei Anwendung der in dieser Arbeit entwickelten Methode im Vergleich zu einer konventionellen Bewertung

In Abschnitt 6.6 wurden verschiedene Verfahren zur Analyse der multidimensionalen Bewertung erläutert. Diese Verfahren sind ebenfalls in PlantCalc<sup>®</sup> integriert und verursachen keinen größeren Aufwand als die Analyse des Bewertungsergebnisses einer konventionellen Bewertung. Bei der Analyse im Rahmen einer konventionellen Bewertung werden meist die Ausprägungen der Einflussfaktoren durch einfache Zu- bzw. Abschläge variiert und dann die Veränderung der Zielgröße (d. h. des Kapitalwerts) beobachtet. Eine detaillierte Quantifizierung des Risikos wird nicht vorgenommen.



Insgesamt lässt sich feststellen, dass die Anwendung der in dieser Arbeit entwickelten Methode zur Standortbewertung unter Berücksichtigung multidimensionaler Unsicherheiten im Schnitt ca. 10 MT zusätzliche Kapazität in Anspruch nimmt im Vergleich zu einer konventionellen Bewertung. Wie in Abschnitt 1.3.2 beschrieben, richtet sich diese Arbeit an Spezialisten in Planungsabteilungen von Unternehmen und Berater, die in Projekte zur Standortplanung produzierender Unternehmen eingebunden sind. In Abschnitt 7.1 wurde erklärt, dass für die Anwendung von PlantCalc<sup>®</sup> ein handelsüblicher PC und die allgemein verfügbare Tabellenkalkulation Microsoft Office Excel<sup>®</sup> sowie die Simulationssoftware Oracle<sup>®</sup> Crystal Ball<sup>®</sup> erforderlich ist. Da ein PC sowie die Tabellenkalkulation Microsoft Office Excel<sup>®</sup> zu der Standardausstattung eines jeden Beraters oder Mitarbeiters einer Planungsabteilung zählt, ist zur Nutzung von PlantCalc<sup>®</sup> lediglich Oracle<sup>®</sup> Crystal Ball<sup>®</sup> zu beschaffen. Eine Lizenz für Oracle<sup>®</sup> Crystal Ball<sup>®</sup> ist für 785 € zu erwerben und kann linear über 3 Jahre bei einem angenommenen Kapitalzinssatz von 5 % abgeschrieben werden. Bei Annahme eines Kostensatzes für einen Mitarbeiter von 1.000 €/Tag bedeutet eine Standortbewertung mit PlantCalc<sup>®</sup> einen monetären Mehraufwand von ca. 10.288 €<sup>11</sup>.

Allerdings lassen sich durch Anwendung der Methode sowohl Chancen als auch Gefahren für produzierende Unternehmen identifizieren, die bei einer konventionellen Bewertung vernachlässigt werden. Für das in Abschnitt 7.3 beschriebene Projektbeispiel sind für beide Standortalternativen Zielwerte möglich, die wesentlich unter dem von der Unternehmensführung vorgegebenen Zielwert liegen und somit die Wirtschaftlichkeit des Unternehmens negativ beeinflussen können. Die Kenntnis solcher möglichen Abweichungen trägt dazu bei, die an der Standortbewertung beteiligten Personen hinsichtlich der Vielzahl zu beachtender quantitativer und qualitativer Einflussfaktoren zu sensibilisieren. Bspw. würde eine Verringerung des Einflusses der qualitativen Einflussfaktoren bei der Standortalternative Indien um 20 % das Bewertungsergebnis bereits um 6 %, d. h. ca. 316.700 € verbessern. Werden die qualitativen Unsicherheiten bei der Bewertung der Standortalternative Indien vernachlässigt, erhöht sich der MVA um 1.614.152 €. Damit ist der erwartete Wert für die Alternative Indien wesentlich höher als für die Alternative Deutschland und kann die Entscheidung der Unternehmensführung für die Alternative Indien bewirken. Wie bereits in Abschnitt 1.1 beschrieben, kann eine solche Fehlentscheidung sogar zur Insolvenz des Un-

---

<sup>11</sup> Es wird vorausgesetzt, dass eine Standortbewertung mit PlantCalc<sup>®</sup> einmal jährlich durchgeführt wird. Bei häufiger durchzuführenden Bewertungen reduzieren sich die Kosten für die Nutzung des Simulationstools Oracle<sup>®</sup> Crystal Ball<sup>®</sup> anteilig.

ternehmens führen. Somit ist der bei der Durchführung der Standortbewertung mit PlantCalc<sup>®</sup> entstehende Mehraufwand gerechtfertigt.

### **Beurteilung des Erfüllungsgrads bzgl. der Anforderungen**

Im Folgenden wird der Erfüllungsgrad der in Kapitel 4 gestellten Anforderungen an die zu entwickelnde Methode beurteilt, welcher in Abbildung 65 zusammengefasst ist. Hierzu werden zum einen die durch das Projektbeispiel gewonnenen Erkenntnisse berücksichtigt und zum anderen die Erfahrungen aus weiteren, vom Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) durchgeführten Bewertungsprojekten bei produzierenden Unternehmen herangezogen.

In dieser Arbeit wurde eine Methode für die detaillierte Bewertung konkreter Standortalternativen entwickelt. Diese Bewertung ist anhand verschiedener *monetärer Zielgrößen* möglich, für die jeweils ein Kalkulationsmodell aufzustellen ist (vgl. Abschnitt 6.2.3). In Abschnitt 6.3 wurde ein Vorgehen zur Identifikation von Einflussfaktoren eingeführt, indem zunächst alle relevanten quantitativen und qualitativen, d. h. *multidimensionalen, sicheren* und *unsicheren Einflussfaktoren* für die Bewertung ermittelt werden. In einem nächsten Schritt erfolgt die Beschaffung der benötigten Informationen über die Ausprägung der einzelnen Faktoren. Auch die *Abhängigkeiten zwischen den Unsicherheiten* werden identifiziert und in einer Matrix spezifiziert. In den Schritten 3 und 4 der entwickelten Methode, dem Unsicherheitsmodell sowie der Bewertung, werden die identifizierten *Unsicherheiten* sowie deren Abhängigkeiten abgebildet und *in die monetäre Bewertung integriert*, indem eine Verknüpfung mit dem Kalkulationsmodell erfolgt. Im Rahmen der Analyse des Bewertungsergebnisses in Schritt 5 der Methode wird u. a. das positive und negative *Risiko* für die Standortalternative *bewertet*. Damit sind alle in Abschnitt 4.2 beschriebenen speziellen Anforderungen an die Methode vollständig erfüllt.

Um die praktische Anwendbarkeit der in dieser Arbeit entwickelten und in einem Bewertungsmodell umgesetzten Methode sicher zu stellen, wurde u. a. die Forderung nach ihrer *Praxistauglichkeit* gestellt. Durch den schrittweisen Aufbau der Methode sowie die Integration des Bewertungsmodells in das Software-Werkzeug PlantCalc<sup>®</sup> wird die Komplexität für den Anwender im Vergleich zum Mehrwert der Methode beherrschbar gemacht. Wie bereits oben erklärt, ist der Aufwand für die Identifikation von Einflussfaktoren und die Modellierung der Unsicherheiten im Vergleich zu einer konventionellen Bewertung höher.

**Legende:**

Die Anforderungen sind ...

<input type="radio"/> nahezu gar nicht erfüllt	<input checked="" type="radio"/> relativ gut erfüllt	Vortliegende Arbeit
<input checked="" type="radio"/> kaum erfüllt	<input checked="" type="radio"/> nahezu vollständig erfüllt	
<input checked="" type="radio"/> teilweise erfüllt		

<b>Spezielle Anforderungen an die Bewertungsmethode</b>	Monetäre Bewertung	<input checked="" type="radio"/>
	Ganzheitlichkeit	<input checked="" type="radio"/>
	Berücksichtigung multidimensionaler Unsicherheiten	<input checked="" type="radio"/>
	Integration von Abhängigkeiten	<input checked="" type="radio"/>
	Risikobetrachtung	<input checked="" type="radio"/>
<b>Allgemeine Anforderungen für die praktische Anwendung</b>	Praxistauglichkeit (Methode & Modell)	<input checked="" type="radio"/>
	Übertragbarkeit (Methode & Modell)	<input checked="" type="radio"/>
	Transparenz (Modell)	<input checked="" type="radio"/>
	Skalierbarkeit (Modell)	<input checked="" type="radio"/>

Abbildung 65: Beurteilung des Erfüllungsgrads bzgl. der an die entwickelte Methode gestellten Anforderungen

Die *Übertragbarkeit* der Methode auf neue Standortbewertungen ist durch die allgemeingültige Vorgehensweise und durch die Möglichkeit zur Definition einzelner Module und Planungsvorlagen in PlantCalc<sup>®</sup> gewährleistet.

Die *Transparenz* des Bewertungsmodells ist zum einen durch die in Kapitel 5 erklärte Klassifizierung und Modellierung von Unsicherheiten sowie die Umsetzung in PlantCalc<sup>®</sup> gegeben. Zum anderen erhöht die Integration der Analyse-möglichkeiten in PlantCalc<sup>®</sup> die Transparenz. Allerdings ist ein bereits bestehendes Bewertungsmodell nur dann für den Anwender ersichtlich, wenn die in Abbildung 54 beispielhaft gezeigten Verbindungen der einzelnen Microsoft<sup>®</sup> Office Excel<sup>®</sup>-Dateien nachvollzogen werden.

Das in PlantCalc<sup>®</sup> umgesetzte Bewertungsmodell ist *skalierbar*: Durch den modularen Aufbau können während eines Bewertungsprojekts einzelne Module und Berechnungsvorschriften erweitert, gelöscht oder hinzugefügt werden. Für neue Anwendungsfälle ist es möglich, entweder bestehende Planungsvorlagen anzupassen oder neue, auf die spezifische Bewertungsaufgabe zugeschnittene Vorlagen zu erstellen.



## 8 Zusammenfassung und Ausblick

In Deutschland nimmt die industrielle Produktion nach wie vor eine zentrale Stellung ein. Jedoch sind produzierende Unternehmen zunehmend veränderten Rahmenbedingungen durch die Globalisierung ausgesetzt. Nur eine stetige Verbesserung der Wettbewerbs- und Kostensituation durch die Erschließung neuer Märkte und die Vernetzung einzelner Produktionsstandorte sichert langfristig den Erfolg deutscher Unternehmen.

Entscheidungen zum Aufbau von Produktionen in wachsenden Marktregionen und die Integration des neuen Standorts in ein bestehendes Produktionsnetz weisen eine hohe Komplexität auf. Zum einen sind bei der Standortplanung neben der Berücksichtigung der Unternehmens- und Produktionsstrategie umfangreiche Anforderungsprofile für die in Frage kommenden Standorte zu erstellen und jeweils eine Vielzahl von Einflussfaktoren zu beachten. Zum anderen unterliegen viele der bei der Standortwahl zu berücksichtigenden Faktoren Unsicherheiten, welche sich durch Abweichungen von angenommenen Entwicklungen oder durch ihr Zusammenwirken ausdrücken.

In der industriellen Praxis werden Standortentscheidungen allerdings häufig vorschnell und meist ohne Berücksichtigung von Unsicherheiten getroffen. Insbesondere qualitative Faktoren wie die Verfügbarkeit qualifizierter Fachkräfte oder der Koordinations- und Kontrollaufwand werden nicht in die Bewertung integriert. Solche qualitative Unsicherheiten liegen meist nur als Experteneinschätzung bei der Bewertung vor, sind aber in jedem Fall zu berücksichtigen. Werden diese Unsicherheiten vernachlässigt, stellen sie ein Risiko für das Unternehmen dar, welches nicht nur die Wirtschaftlichkeit des Standorts erheblich gefährden kann, sondern auch zur Insolvenz des Mutterunternehmens führen kann.

Bekannte Forschungsansätze sind derzeit nicht in der Lage, eine Standortbewertung unter Berücksichtigung qualitativer und quantitativer Unsicherheiten sowie deren Abhängigkeiten durchzuführen. Aus diesem Grund wurde in der vorliegenden Arbeit eine Methode zur Bewertung vernetzter Produktionsstandorte entwickelt, die es ermöglicht, multidimensionale, d. h. sowohl quantitative als auch qualitative, Unsicherheiten zu integrieren und monetär zu quantifizieren.

Zur Berücksichtigung qualitativer und quantitativer Unsicherheiten bei der Bewertung sind in dieser Arbeit verschiedene Verfahren vorgestellt worden. Mit der Risikoanalyse wurde ein geeignetes Verfahren gefunden, welches es ermöglicht,

quantitative Unsicherheiten über unterschiedliche Wahrscheinlichkeitsfunktionen abzubilden. Für die Modellierung qualitativer Unsicherheiten eignet sich die Fuzzy-Set-Theorie. Denn dieses Verfahren ermöglicht es, sowohl die einzelnen, inhaltlich nicht präzise abgrenzbaren, qualitativen Unsicherheiten als auch deren Zusammenhänge zu modellieren. Daher wurde in dieser Arbeit ein Fuzzy-Bewertungsnetz entwickelt, um sowohl Abhängigkeiten zwischen qualitativen und quantitativen Unsicherheiten als auch zwischen qualitativen Unsicherheiten untereinander modellieren zu können. Die einzelnen Arten zur Modellierung der Unsicherheiten sowie deren Abhängigkeiten sind in Kapitel 5 detailliert erklärt worden.

Aufbauend auf den eingeführten Arten zur Unsicherheitsmodellierung wurde in Kapitel 6 die Methode zur Bewertung vernetzter Produktionsstandorte unter Berücksichtigung multidimensionaler Unsicherheiten entwickelt. Ausgehend von einer Definition des Bewertungsziels und der Aufstellung des monetären Kalkulationsmodells sind alle relevanten Einflussfaktoren und Unsicherheiten sowie deren Abhängigkeiten zu identifizieren. Hierfür wurde ein Vorgehen zur Ermittlung des Informationsbedarfs durch Festlegung aller zu betrachtenden Einflussfaktoren und Unsicherheiten sowie ein Vorgehen zur Deckung des Informationsbedarfs durch die Informationsbeschaffung entwickelt. Stehen die Einflussfaktoren für die Bewertung fest, ist das Unsicherheitsmodell aufzustellen, indem die einzelnen Unsicherheiten und deren Abhängigkeiten über die Wahrscheinlichkeitstheorie und das Fuzzy-Bewertungsnetz abgebildet werden. Durch Verknüpfung des zuvor aufgestellten Unsicherheitsmodells mit dem Kalkulationsmodell kann die eigentliche Bewertung erfolgen. Mit dem sich ergebenden Bewertungsmodell wird eine Monte-Carlo-Simulation durchgeführt und damit der Wert für den jeweiligen Standort ermittelt. Für die Analyse der Bewertungsergebnisse sind verschiedene Verfahren entwickelt worden, die neben einem Vergleich von Standortalternativen auch eine Risikobewertung einzelner Alternativen ermöglichen. Darüber hinaus können mit der vorgestellten Sensitivitätsanalyse diejenigen Unsicherheiten identifiziert werden, die das Bewertungsergebnis am stärksten beeinflussen. Basierend auf diesen Sensitivitäten lassen sich gezielt Maßnahmen zur Risikoreduktion ableiten.

Die entwickelte Methode wurde in der Praxis bereits mehrfach erfolgreich eingesetzt. Um ihre Praxistauglichkeit weiter zu erhöhen, wurde sie in ein Werkzeug zur Standortbewertung (PlantCalc<sup>®</sup>) integriert. Auf diese Weise werden sowohl die Modellierung der Unsicherheiten sowie deren Abhängigkeiten als auch die

Bewertung und Analyse der Ergebnisse für den Anwender der Methode vereinfacht.

Die Anwendung anhand eines industriellen Projektbeispiels in dieser Arbeit und in der Praxis zeigte das Potential der entwickelten Methode. Durch die Berücksichtigung qualitativer Unsicherheiten ermöglicht die Methode den Spagat zwischen der Verarbeitung von unsicheren und qualitativen Informationen einerseits und der Bereitstellung von entscheidungsrelevanten quantitativen Zielwerten andererseits. Dem entsprechend verursachen die Identifikation und die Modellierung der Unsicherheiten auch einen größeren Aufwand als bei einer Bewertung ohne Berücksichtigung von Unsicherheiten. Allerdings ist dieser Aufwand in jedem Fall bei Entscheidungen gerechtfertigt, die wie die Standortwahl einen langfristigen Zeitraum umfassen und die Wirtschaftlichkeit von Unternehmen erheblich beeinflussen können.

Der Aufwand zur Identifikation und Modellierung der Einflussfaktoren und Unsicherheiten kann weiter reduziert werden, wenn entsprechende Wissensdatenbanken zur Strukturierung und Formalisierung der relevanten Informationen im Unternehmen aufgebaut werden. Hierzu gilt es, geeignete Systeme sowohl zur Sicherstellung der Nutzung der Wissensdatenbank als auch zur Überwachung der Qualität der Datenbankeinträge zu entwickeln. Durch die abstrakte Abbildung vorhandener Kenntnisse ließen sich auch Informationslücken leichter identifizieren. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, das in dieser Arbeit verwendete Fuzzy-Bewertungsnetz durch die Anwendung von Algorithmen des maschinellen Lernens, z. B. eines Neuronalen Netzes, weiter zu formalisieren. Hierzu sind die zu integrierenden Ausprägungen der Abhängigkeiten empirisch für die jeweils zu betrachtenden Standortregionen zu ermitteln.

Der in dieser Arbeit entwickelte Ansatz beinhaltet das Potential, die Grundlage weiterer Arbeiten zu sein (vgl. z. B. REINHART ET AL. 2011b): Eine Berücksichtigung sowohl quantitativer als auch qualitativer Unsicherheiten zur Beherrschung des turbulenten Unternehmensumfelds ist bei einer Vielzahl von Fragestellungen des Produktionsmanagements relevant. In Zukunft werden bei Entscheidungen über den Aufbau neuer Produktionsstandorte oder die Neugestaltung des Produktionsnetzwerks stärker nach dem Kriterium der Nachhaltigkeit (d. h. z. B. Ressourcenverbrauch, soziale und gesellschaftspolitische oder betriebs- und volkswirtschaftliche Auswirkungen) getroffen werden. Bei der Bewertung der Nachhaltigkeit ist die Berücksichtigung einer Vielzahl qualitativer Faktoren erforderlich, für die die in dieser Arbeit entwickelten Modellierungsarten genutzt werden

können. Auch bei Entscheidungen zum Einsatz neuer Technologien und Produktionsverfahren in Unternehmen spielt deren Bewertung eine entscheidende Rolle. Die in dieser Arbeit entwickelten Ansätze leisten damit einen Beitrag, das bei strategischen Entscheidungen produzierender Unternehmen vorhandene Risiko zu beherrschen und damit den Erfolg deutscher Unternehmen langfristig zu sichern.



## 9 Literaturverzeichnis

ABELE ET AL. 2006

Abele, E.; Kluge, J.; Näher, U.: Handbuch globale Produktion. München: Hanser 2006. ISBN: 978-3-446-40610-0.

ABELE ET AL. 2008

Abele, E.; Liebeck, T.; Merz, N.: Globale Produktion – eine Frage des Standorts?! wt Werkstattstechnik - online 98 (2008) 1/2, S. 92–97.

ABELE ET AL. 2010

Abele, E.; Munirathnam, M.; Rost, R.: Herausforderung des Maschineneinsatzes in Schwellenländern. In: Hoffmann, H. et al. (Hrsg.): Münchener Kolloquium - Innovationen für die Produktion. Garching, 06. Oktober 2010. München: Utz 2010, S. 243–254. ISBN: 978-3-83164-009-6.

ABELE & REINHART 2011

Abele, E.; Reinhart, G.: Zukunft der Produktion. München: Hanser 2011. ISBN: 3-446-42595-0.

ADAM 1996

Adam, D.: Heuristische Planung. In: Schulte, C. (Hrsg.): Lexikon des Controlling. München: Oldenbourg 1996, S. 314–317. ISBN: 3-48622-978-8.

ADAM 1997

Adam, D.: Planung und Entscheidung. 4. Aufl. Wiesbaden: Gabler 1997. ISBN: 3409446133. (Gabler-Lehrbuch).

ADAMY & KEMPF 2004

Adamy, J.; Kempf, R.: Fuzzy-Systeme mit inhärenter Dynamik: ein Überblick. at - Automatisierungstechnik 52 (2004) 10, S. 459–469.

ADAMY & SCHWUNG 2010

Adamy, J.; Schwung, A.: Qualitative Modeling of Dynamical Systems Employing Continuous-Time Recurrent Fuzzy Systems. Fuzzy Sets and Systems 161 (2010) 23, S. 3026–3043.

ALBERS ET AL. 2006

Albers, S.; Klapper, D.; Konradt, U.; Walter, A.; Wolf, J.: Methodik der empirischen Forschung. 1. Aufl. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl. 2006. ISBN: 3835000594. (Gabler Edition Wissenschaft).

ALBERS 1981

Albers, W.: Handwörterbuch der Wirtschaftswissenschaft. Stuttgart: Fischer Verlag 1981. ISBN: 3-525-10259-3. (Band 6).

ALBRECHT & HUESKE 2010

Albrecht, F.; Hueske, B.: Systemdenken in der globalen Produktionsnetzwerkplanung. Zwf - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 100 (2010) 4, S. 264–270.

**ALTROCK 1991**

Altrock, C. von: Über den Daumen gepeilt, Fuzzy Logik: scharfe Theorien der unscharfen Mengen. C't (1991) 3, S. 188–200.

**BACKHAUS ET AL. 2006**

Backhaus, K.; Erichson, B.; Plinke, W.; Weiber, R.: Multivariate Analysemethoden: Eine anwendungsorientierte Einführung. 11. Aufl. Berlin: Springer-Verl. 2006. ISBN: 978-3-540-27870-2.

**BAETGE ET AL. 2002**

Baetge, J.; Kirsch, H.-J.; Thiele, S.: Bilanzen. 6. Aufl. Düsseldorf: IDW-Verlag 2002. ISBN: 978-3802109959.

**BALZERT 2010**

Balzert, H.: UML 2 kompakt. 3. Aufl. Heidelberg: Spektrum Akad. Verl. 2010. ISBN: 978-3-8274-2506-5.

**BAMBERG ET AL. 2006**

Bamberg, G.; Coenberg, A. G.: Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre. 13. Aufl. München: Vahlen 2006. ISBN: 3-8006-3323-x. (WiSo-Kurzlehrbücher Reihe Betriebswirtschaft).

**BANKHOFER 2001**

Bankhofer, U.: Industrielles Standortmanagement. Univ., Habil.-Schr.--Augsburg, 2001. 1. Aufl. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl. 2001. ISBN: 3824475111. (Neue betriebswirtschaftliche Forschung 287).

**BATES 2005**

Bates, K.: Produktionsverlagerung nach Mittel- und Osteuropa - Chancen und Risiken für den Standort Deutschland. In: F.A.Z.-Institut et al. (Hrsg.): Mittel- und Osteuropa Perspektiven - Jahrbuch 2005/2006. Frankfurt am Main: FAZ-Institut 2005. ISBN: 3934191878.

**BAUER 2002**

Bauer, E.: Internationale Marketingforschung. 3. Aufl. München: Oldenbourg 2002. ISBN: 3486272284.

**BAUER 2009**

Bauer, G.: Wertorientierte Steuerung multidivisionaler Unternehmen über Residualgewinne. Diss. Univ. Regensburg (2008). Frankfurt am Main: Lang 2009. ISBN: 978-3-631-58007-3. (Regensburger Beiträge zur betriebswirtschaftlichen Forschung 50).

**BEA & HAAS 2009**

Bea, F. X.; Haas, J.: Strategisches Management. 5. Aufl. Stuttgart: Lucius & Lucius 2009. ISBN: 978-3825214586.

**BEHRENS 1971**

Behrens, K. C.: Allgemeine Standortbestimmungstheorie. 2. Aufl. Wiesbaden: Westdt. Verlag 1971.

- BEHRINGER & JUESTEN 2003**  
Behringer, S.; Juesten, W.: Cash-flow und Unternehmensbeurteilung. 8. Aufl. Berlin: Schmidt 2003. ISBN: 3-503-07090-7. (Grundlagen und Praxis der Betriebswirtschaft Bd. 24).
- BEIERSDORF 1995**  
Beiersdorf, H.: Informationsbedarf und Informationsbedarfsermittlung im Problemlösungsprozess "Strategische Unternehmensplanung". Diss. Univ. Hannover, (1994). München: Hampp 1995. ISBN: 3879881049. (Schriften zum Management 5).
- BENKENSTEIN 2001**  
Benkenstein, M.: Entscheidungsorientiertes Marketing. 1. Aufl. Wiesbaden: Gabler 2001. ISBN: 3409122621. (Gabler-Lehrbuch).
- BERNDT & ALTOBELLI 1998**  
Berndt, R.; Altobelli, C. F.: Springers Handbuch der Betriebswirtschaftslehre. Berlin, Heidelberg: Springer 1998. ISBN: 3540648291.
- BERNHARD & DRAGAN 2007**  
Bernhard, J.; Dragan, M.: Bewertung der Informationsgüte in der Informationsgewinnung für die modellgestützte Analyse großer Netze in der Logistik. 07006 Technical Report 2007. Univ. Dortmund (2007).
- BESTMANN & EBERT 2001**  
Bestmann, U.; Ebert, G.: Kompendium der Betriebswirtschaftslehre. 10. Aufl. München: Oldenbourg 2001. ISBN: 3486253638.
- BIETHAHN ET AL. 2004**  
Biethahn, J.; Mucksch, H.; Ruf, W.: Ganzheitliches Informationsmanagement. München: Oldenbourg 2004. ISBN: 3486200208.
- BLOHM ET & LUEDER 1995**  
Blohm, H.; Lüder, K.: Investition, Schwachstellenanalyse des Investitionsbereichs und Investitionsrechnung. 8. Aufl. München: Vahlen 1995.
- BLOHM ET AL. 2006**  
Blohm, H.; Lüder, K.; Schaefer, C.: Investition. 9. Aufl. München: Vahlen 2006. ISBN: 3800631687. (Vahlens Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften).
- BORGELT 2003**  
Borgelt, C.: Neuro-Fuzzy-Systeme. 3. Aufl. Wiesbaden: Vieweg 2003. ISBN: 9783528252656.
- BOROWICZ 2005**  
Borowicz, F.: Methoden der Unternehmensbewertung. WiSt-Wirtschaftswissenschaftliches Studium 34 (2005) 7, S. 368–373.
- BOSCH 1996**  
Bosch, K.: Großes Lehrbuch der Statistik. München: Oldenbourg 1996. ISBN: 3-486-23350-5.

### BOSCH 1998

Bosch, K.: Statistik-Taschenbuch. 3. Aufl. München, Wien: Oldenbourg 1998. ISBN: 3486246704.

### BOTHE 1998

Bothe, H.-H.: Neuro-Fuzzy-Methoden. Berlin: Springer 1998. ISBN: 3540579664.

### BRACH 2003

Brach, M. A.: Real options in practice. Hoboken, N.J.: Wiley 2003. ISBN: 0471263087. (Wiley finance series).

### BRAUN 1984

Braun, H.: Risikomanagement. Darmstadt: Toeche-Mittler 1984. ISBN: 3-87820-060-9.

### BRIEKE 2009

Brieke, M.: Erweiterte Wirtschaftlichkeitsrechnung in der Fabrikplanung (EWR). Diss. Leibniz Universität Hannover. Garbsen: PZH Produktionstechn. Zentrum 2009 (Berichte aus dem IFA).

### BRIEL 2002

Briel, R. von: Ein skalierbares Modell zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Anpassungsinvestitionen in ergebnisverantwortlichen Fertigungssystemen. Diss. Universität Stuttgart (2002). Heimsheim: Jost-Jetter 2002. ISBN: 3-931-388-81-6. (IPA-IAO-Forschung und -Praxis 352).

### BROCKHAUS ENZYKLOPÄDIE 1992

Brockhaus Enzyklopädie: Band 18 von 24. 19. Aufl. 1992. ISBN: 3-7653-1118-9.

### BUCHHOLZ & GERHARDS 2009

Buchholz, L.; Gerhards, R.: Internes Rechnungswesen. Berlin: Physica 2009. ISBN: 978-3-7908-2342-4. (BA kompakt).

### BUCKLEY & ESLAMI 2002

Buckley, J.; Eslami, E.: An Introduction to Fuzzy Logic and Fuzzy Sets. Heidelberg: Physica 2002. ISBN: 978-3-790-81447-7.

### BUHMANN & SCHÖN 2009

Buhmann, M.; Schön, M.: Dynamische Standortbewertung – Denken in Szenarien und Optionen. In: Kinkel, S. (Hrsg.): Erfolgsfaktor Standortplanung. Berlin, Heidelberg: Springer 2009, S. 279–302. ISBN: 9783540884705.

### BULLINGER 1991

Bullinger, H.-J.: Handbuch des Informationsmanagement im Unternehmen. München: Beck 1991. ISBN: 3406337201.

### BUSSE COLBE 1998

Busse Colbe, W. von: Lexikon des Rechnungswesens. 4. Aufl. München: Oldenbourg 1998. ISBN: 3486245554.

- CANADA & SULLIVAN 1989  
Canada, J. R.; Sullivan, W. G.: Economic and multiattribute evaluation of advanced manufacturing systems. New Jersey: Prentice Hall 1989. ISBN: 978-0132234627
- CARR & TAH 2001  
Carr, V.; Tah, J. H.: A fuzzy approach to construction risk assessment and analysis: Construction project risk management system. *Advances in Engineering Software* 32 (2001) 10/11, S. 847–857.
- CHAKRAVARTHY 1997  
Chakravarty, B.: A New Strategy Framework for Coping with Turbulence. *MIT Sloan management Review* 38 (1997) 2, S. 69–82.
- CHAN ET AL. 2006  
Chan, F. T.; Chan, H. K.; Chan, M. H.; Humphreys, P. K.: An integrated fuzzy approach for the selection of manufacturing technologies. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 27 (2006) 7, S. 747–758.
- CHARNES 2007  
Charnes, J. M.: *Financial modeling with Crystal Ball and Excel*. Hoboken, NJ: Wiley 2007. ISBN: 9780471779728. (Wiley finance series).
- CHOU ET AL. 2008  
Chou, S.-Y.; Chang, Y.-H.; Shen, C.-Y.: A fuzzy simple additive weighting system under group decision-making for facility location selection with objective/subjective attributes. *European Journal of Operational Research* 189 (2008) 1, S. 132–145.
- CHU 2002  
Chu, T.-C.: Facility location selection using fuzzy topsis under group decisions. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems* 10 (2002) 6, S. 687–701.
- COENENBERG 1992  
Coenenberg, A. G.: *Kostenrechnung und Kostenanalyse*. Landsberg am Lech: Verlag Moderne Industrie 1992. ISBN: 3478393906.
- COENENBERG ET AL. 2009  
Coenenberg, A. G.; Haller, A.; Schultze, W.; Berger, S.: *Jahresabschluss und Jahresabschlussanalyse*. 21. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 2009. ISBN: 978-3-7910-2770-8.
- COPELAND & ANTIKAROV 2001  
Copeland, T.; Antikarov, V.: *Real options*. New York, NY: Texere 2001. ISBN: 1-58799-028-8.
- COTTIN & DÖHLER 2009  
Cottin, C.; Döhler, S.: *Risikoanalyse*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner 2009. ISBN: 978-3-8348-0594-2.

DÄUMLER & GRABE 2007

Däumler, K.-D.; Grabe, J.: Grundlagen der Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung. 12. Aufl. Herne: Verl. Neue Wirtschafts-Briefe 2007. ISBN: 978-3-482-52302-1.

DENK ET AL. 2005

Denk, R.; Exner-Merkelt, K.; Ackerl, E.: Corporate Risk Management. Wien: Linde International. 2005. ISBN: 3-7143-0023-6.

DENKENA ET AL. 2007

Denkena, B.; Blümel, P.; Lorenzen, L.-E.: Total Benefits of Ownership. wt Werkstattstechnik - online 97 (2007) 7/8, S. 560–566.

DERVISOPOULOS ET AL. 2008

Dervisopoulos, M.; Munirathnam, M.; Eber, R.: Hightech-Maschinen für den Wachstumsstar: Anforderungen mittelständischer Unternehmen in Indien. WB Werkstatt + Betrieb 141 (2008) 3, S. 116–120.

DI GESÙ ET AL. 2009

Di Gesù, V.; Pal, S. K.; Petrosino, A.: Fuzzy Logic and Applications. Berlin: Springer 2009. ISBN: 9783642022814.

DIAMOND 1994

Diamond, P.: Chaos in Iterated Fuzzy Systems. Journal of Mathematical Analysis and Applications 184 (1994) 3, S. 472–484.

DIEPHOLD & LOHMANN 2010

Diephold, K. J.; Lohmann, B.: Transient Probabilistic Recurrent Fuzzy Systems. In: IEEE International Conference on Systems, M. a. C. Istanbul, Oktober 2010, S. 3529–3536.

DIXIT & PINDYCK 1994

Dixit, A. K.; Pindyck, R. S.: Investment under uncertainty. Princeton, NJ: Princeton Univ. Press 1994. ISBN: 0-691-03410-9.

DÖRING & BUCHHOLZ 2009

Döring, U.; Buchholz, R.: Buchhaltung und Jahresabschluss. 11. Aufl. Berlin: Schmidt 2009. ISBN: 978-3503-11605-8.

DREWS & HILLEBRAND 2010

Drews, G.; Hillebrand, N.: Lexikon der Projektmanagement-Methoden. 2. Aufl. Freiburg: Haufe 2010. ISBN: 3448102245. (Haufe-Praxisratgeber).

DRUKARCZYK 1997

Drukarczyk, J.: Discounted Cash-Flow-Methode. In: Achleitner, A.-K. et al. (Hrsg.): Handbuch Corporate Finance. Köln: Verlag Deutscher Wirtschaftsdienst 1997, S. 1–36.

DRUKARCZYK & SCHÜLER 2009

Drukarczyk, J.; Schüler, A.: Unternehmensbewertung. 6. Aufl. München: Vahlen 2009. ISBN: 9783800636365. (Vahlens Handbücher).

- DUNNING & LUNDAN 2008  
Dunning, J. H.; Lundan, S. M.: Multinational enterprises and the global economy. 2. Aufl. Cheltenham: Elgar 2008. ISBN: 978-1843765257.
- ECKEY ET AL. 2005  
Eckey, H.-F.; Kosfeld, R.; Türck, M.: Deskriptive Statistik. 4. Aufl. Wiesbaden: Gabler 2005. ISBN: 3409427015.
- EISENFÜHR & WEBER 2003  
Eisenführ, F.; Weber, M.: Rationales Entscheiden. 4. Aufl. Berlin: Springer 2003. ISBN: 3540440232. (Springer-Lehrbuch).
- EPPLER 2006  
Eppler, M. J.: Managing Information Quality. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer 2006. ISBN: 3540314083.
- ERBEN 2000  
Erben, R. F.: Fuzzy-logic-basiertes Risikomanagement. Diss. Universität Würzburg. Aachen: Shaker 2000. ISBN: 3826579771. (Berichte aus der Betriebswirtschaft).
- FABRYCKY & BLANCHARD 1991  
Fabrycky, W. J.; Blanchard, B. S.: Life-cycle cost and economic analysis. Englewood Cliffs: Prentice Hall 1991. ISBN: 0-13-538323-4. (Prentice Hall international series in industrial and systems engineering).
- FAHRMEIR 1999  
Fahrmeir, L.: Statistik - Der Weg zur Datenanalyse. 2. Aufl. Berlin: Springer 1999. ISBN: 3-540-65053-9. (Springer-Lehrbuch).
- FORSCHNER 1998  
Forschner, M.: Prozeßorientiertes Investitionscontrolling. Diss. Universität Stuttgart (1996). Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl. 1998. ISBN: 3824466856. (Gabler-Edition Wissenschaft).
- FORTE ET AL. 1994  
Forte, B.; Lo Schiavo, M.; Vrscay, E.: Continuity Properties of Attractors for Treated Fuzzy Set Systems. Journal of the Australian Mathematical Society, Series B 36 (1994), S. 175–193.
- FRIEDL 2003  
Friedl, B.: Controlling. Stuttgart: Lucius & Lucius 2003. ISBN: 3825221172. (Grundwissen der Ökonomik: Betriebswirtschaftslehre 2117).
- GAL ET AL. 1987  
Gal, T.; Burkard, R. E.; Beckmann, M. J.: Graphen und Netzwerke, Netzplantechnik, Transportprobleme, ganzzahlige Optimierung. Berlin: Springer 1987. ISBN: 3540172750. (Grundlagen des Operations-Research 2).

GEISSBAUER & SCHUH 2004

Geissbauer, R.; Schuh, G.: Global Footprint Design - Die Spielregeln der Internationalen Wertschöpfung beherrschen. Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre der RWTH Aachen und Roland Berger Strategy Consultants, Aachen 2004

GLADEN 2008

Gladen, W.: Performance Measurement. 4. Aufl. Wiesbaden: Gabler 2008. ISBN: 3834908274. (Gabler-Lehrbuch).

GLEIBNER 2004

Gleißner, W.: Auf nach Monte Carlo - Simulationsverfahren zur Risiko-Aggregation. RISKNEWS 1 (2004) 1, S. 30–37.

GLEIBNER & MEIER 2001

Gleißner, W.; Meier, G. (Hrsg.): Wertorientiertes Risiko-Management für Industrie und Handel. Wiesbaden: Gabler 2001. ISBN: 3-409-11699-0.

GLEIBNER & ROMEIKE 2005

Gleißner, W.; Romeike, F.: Risikomanagement. Freiburg: Haufe 2005. ISBN: 344806209X.

GLEISSNER 2008

Gleissner, W.: Grundlagen des Risikomanagements. München: Verlag Franz Vahlen 2008. ISBN: 9783800634583.

GÖPFERT 2006

Göpfert, I.: Logistik der Zukunft - Logistics for the future. 4. Aufl. Wiesbaden: Gabler 2006. ISBN: 3409433112.

GÖTZE 2005

Götze, U.: Investitionsrechnung - Modelle und Analysen zur Beurteilung von Investitionsvorhaben. 5. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer 2005. ISBN: 3540288171.

GÖTZE 2008

Götze, U.: Investitionsrechnung. 6. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer 2008. ISBN: 9783540788720. (Springer-Lehrbuch).

GÖTZE & BLOECH 1995

Götze, U.; Bloech, J.: Investitionsrechnung. 2. Aufl. Berlin: Springer 1995. ISBN: 3540600000. (Springer-Lehrbuch).

GRAF 2002

Graf, T.: Risikomanagement in einem internationalen Maschinen- und Anlagenbaukonzern. In: Hölscher, R. et al. (Hrsg.): Herausforderung Risikomanagement. Wiesbaden: Gabler 2002, S. 143–155. ISBN: 3-409-11831-4.

GRUNDIG 2006

Grundig, C.-G.: Fabrikplanung. 2. Aufl. München: Hanser 2006. ISBN: 3-446-40642-5.



**HANSMANN 1974**

Hansmann, K.-W.: Entscheidungsmodelle zur Standortplanung der Industrieunternehmen. Wiesbaden: Gabler 1974. ISBN: 3409341722. (Schriftenreihe des Instituts für Unternehmensforschung und des Industrieseminars der Universität Hamburg 7).

**HARRE 2006**

Harre, J.: Strategische Standortstrukturplanung für multinational produzierende Unternehmen. Diss. Aachen: Shaker 2006. ISBN: 3-8322-5685-7.

**HARTUNG & ELPELT 1989**

Hartung, J.; Elpelt, B.: Multivariate Statistik. 3. Aufl. München: Oldenbourg 1989. ISBN: 3486214306.

**HEGER 2007**

Heger, C. L.: Bewertung der Wandlungsfähigkeit von Fabrikobjekten. Diss. Leibniz Universität Hannover. Garbsen: PZH Produktionstechn. Zentrum 2007. ISBN: 978-3-939026-43-3. (Berichte aus dem IFA).

**HEIN 2007**

Hein, D.: Strategisches Risikomanagement im Maschinen- und Anlagenbau. Diss. RWTH Aachen. Aachen: Shaker 2007. ISBN: 978-3-8322-6733-9. (Berichte aus der Produktionstechnik 29).

**HEINRICH 2007**

Heinrich, G.: Allgemeine Systemanalyse. München: Oldenbourg 2007. ISBN: 9783486583656. (Wirtschaftsinformatik kompakt).

**HELLBRÜCK 2009**

Hellbrück, R.: Angewandte Statistik mit R: eine Einführung für Ökonomen. Wiesbaden: Gabler 2009. ISBN: 9783834918574.

**HEUN 2003**

Heun, V.: Grundlegende Algorithmen. 2. Aufl. Wiesbaden: Vieweg 2003. ISBN: 3528131403.

**HOFFMEISTER 2000**

Hoffmeister, W.: Investitionsrechnung und Nutzwertanalyse. Stuttgart u.a.: Kohlhammer 2000. ISBN: 3170163531. (Globale Solidarität - Schritte zu einer neuen Weltkultur 5).

**HOLZKÄMPFER 1996**

Holz kämpfer, H.: Management von Singularitäten und Chaos. Diss. Universität Göttingen. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl. 1996. ISBN: 3824402963. (DUV Wirtschaftswissenschaft).

**HOMMEL & PRITSCH 1999**

Hommel, U.; Pritsch, G.: Investitionsbewertung und Unternehmensführung mit dem Realloptionsansatz. In: Achleitner, A.-K. (Hrsg.): Handbuch Corporate Finance. Köln: Verlag Deutscher Wirtschaftsdienst 1999, S. 1–65.

HÖNERLOH 1997

Hönerloh, A.: Unschärfe Simulation in der Betriebswirtschaft. Göttingen: Unitext-Verl. 1997. ISBN: 3-926142-56-1.

HUMMEL 1997

Hummel, B.: Internationale Standortentscheidung. Freiburg: Haufe 1997. ISBN: 3-448-03559-9.

HUNGENBERG 2006

Hungenberg, H.: Strategisches Management in Unternehmen. 4. Aufl. Wiesbaden: Gabler 2006. ISBN: 3-8349-0288-8. (Lehrbuch).

INSTITUT DER DEUTSCHEN WIRTSCHAFT 2009

Institut der deutschen Wirtschaft: Produktionsverlagerungen: Qualifizierte im Vorteil. *iwd* (2009) 13, S. 2.

ISI 2009

Fraunhofer ISI (Hrsg.): Produktionsverlagerungen und Rückverlagerungen in Zeiten der Krise (Mitteilungen aus der ISI-Erhebung, Ausgabe 52). Karlsruhe 2009.

JACOB 2006

Jacob, F.: Quantitative Optimierung dynamischer Produktionsnetzwerke. Diss. TU Darmstadt (2005). Aachen: Shaker 2006. ISBN: 3832248188.

JASVOIN 2006

Jasvain, L.: Integration der Unsicherheitsaspekte in die Schedule-Optimierung. Diss. Universität Frankfurt am Main (2005). Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl. 2006. ISBN: 978-3-835-00324-8.

KAHLERT & FRANK 1994

Kahlert, J.; Frank, H.: Fuzzy-Logik und Fuzzy-Control. 2. Aufl. Braunschweig: Vieweg 1994. ISBN: 978-3-528-15304-0.

KALWAIT 2008

Kalwait, R.: Risikomanagement in der Unternehmensführung. 1. Aufl. Weinheim, Bergstr.: Wiley-Vch 2008. ISBN: 9783527503025.

KAMINSKI 2006

Kaminski, T.: Economic value added. Saarbrücken: VDM-Verl. 2006. ISBN: 978-3-86550-627-6.

KEIL 1996

Keil, R.: Strategieentwicklung bei qualitativen Zielen. Diss. EBS, Reichertshausen (1996). Sternenfels u.a: Verl. Wiss. & Praxis 1996. ISBN: 3928238930. (Schriftenreihe Unternehmensführung 14).

KEMPF 2004

Kempf, R.: Rekurrente Fuzzy-Systeme. Diss. TU Darmstadt. Darmstadt (2004). Darmstadt: VDI Verlag 2005.

- KENGPOL 2004  
Kengpol, A.: Design of a decision support system to evaluate the investment in a new distribution centre. *International Journal of Production Economics* 90 (2004) 1, S. 59–70.
- KILKA 1995  
Kilka, M.: *Realoptionen*. Frankfurt am Main: Knapp 1995. ISBN: 3-7819-0570-5.
- KINKEL 2009a  
Kinkel, S.: Location Control Scorecard (LCSC) und Szenario Technik als Instrumente für das strategische Standortcontrolling und -monitoring. In: Kinkel, S. (Hrsg.): *Erfolgsfaktor Standortplanung*. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer 2009, S. 347–382. ISBN: 9783540884705.
- KINKEL 2009b  
Kinkel, S.: Erfolgskritische Standortfaktoren ableiten – eine erfahrungsbasierte Auswahlhilfe. In: Kinkel, S. (Hrsg.): *Erfolgsfaktor Standortplanung*. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer 2009, S. 57–82. ISBN: 9783540884705.
- KINKEL & BUHMANN 2009  
Kinkel, S.; Buhmann, M.: Problemlage und Zielstellung: ein Vorgehensmodell zur strategiekonformen und dynamischen Standortbewertung. In: Kinkel, S. (Hrsg.): *Erfolgsfaktor Standortplanung*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg 2009a, S. 35–51. ISBN: 9783540884705.
- KINKEL & MALOCA 2010  
Kinkel, S.; Maloca, S.: Standortstrategien deutscher Industrieunternehmen in China. *Regio Pol. Zeitschrift für Regionalwirtschaft* (2010) 1, S. 13–23.
- KINKEL & ZANKER 2007  
Kinkel, S.; Zanker, C.: *Globale Produktionsstrategien in der Automobilzulieferindustrie*. Berlin, Heidelberg: Springer 2007. ISBN: 3-540-70795-0.
- KIRCHNER 2002  
Kirchner, M.: *Risikomanagement*. München: Hampp 2002. ISBN: 3879886806. (Kooperation & Wettbewerb 2).
- KLIBI ET AL. 2010  
Klibi, W.; Martel, A.; Guitouni, A.: The design of robust value creating supply chain networks: A critical review. *European Journal of Operations Research* 203 (2010) 2, S. 283–293.
- KLIR & YUAN 1995  
Klir, G. J.; Yuan, B.: *Fuzzy sets and fuzzy logic*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall 1995. ISBN: 978-0-131-01171-7.
- KLOCK 1997  
Klock, J.: *Betriebliches Rechnungswesen*. 2. Aufl. Lohmar: Eul 1997. ISBN: 3-89012-575-1.

**KNIGHT 1921**

Knight, F. H.: Risk, Uncertainty and Profit. Diss. Cornell University (1916)  
Boston, New York: Houghton Mifflin Co., The Riverside Press 1921.

**KOCH 1989**

Koch, H.: Techniken zur Handhabung von Unsicherheit. In: Szyperski, N.  
(Hrsg.): Enzyklopädie der Betriebswirtschaftslehre. Stuttgart: Schäffer+Poeschel 1989, S. 2060–2073. ISBN: 9283791080208

**KOHLER 2008**

Kohler, K.: Global Supply Chain Design. Diss. Univ. Würzburg (2008). Es-  
tenfeld: CfSM Centrum für Supply Management 2008. ISBN: 978-3-  
941048-00-3. (Production and supply management 2).

**KOPEL 1994**

Kopel, M.: Komplexe Unternehmensdynamik. Diss. TU Wien (1993).  
Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl. 1994. ISBN: 3824402033.  
(DUVWirtschaftswissenschaft).

**KOREIMANN 1971**

Koreimann, D. S.: Methoden und Organisation von Management-  
Informations-Systemen. Berlin: de Gruyter 1971. ISBN: 3110035529. (In-  
formations-Systeme).

**KORVES & KREBS 2008**

Korves, B.; Krebs, P.: Bewertung und Planung von Fabriken unter Flexibili-  
tätsgesichtspunkten bei der Siemens AG. In: Zäh, M. F. et al. (Hrsg.):  
Münchener Kolloquium – Innovationen für die Produktion. Garching, 09.  
Oktober 2008. München: Utz 2008, S. 57–67. ISBN: 383160844X.

**KORVES & KREBS 2009**

Korves, B.; Krebs, P.: Bewertung von Flexibilität in Fabrikplanungsprojek-  
ten. MB-Revue: Jahreshauptausgabe (2009), S. 92–94.

**KOSKO 1991**

Kosko, B.: Neural networks and fuzzy systems. Englewood Cliffs, NJ:  
Prentice Hall 1991. ISBN: 0-13-611435-0. (Prentice-Hall international edi-  
tions).

**KOUVELIS & SU 2007**

Kouvelis, P.; Su, P.: The Structure of Global Supply Chains. Hanover,  
Massachusetts: Now Publishers 2007. ISBN: 1601980981.

**KPMG 2000**

KPMG: Shareholder Value-Konzepte bei DAX 100-Unternehmen. AG Die  
Aktiengesellschaft 45 (2000) 6, S. 214–218.

**KRALLMANN 2007**

Krallmann, H.: Systemanalyse im Unternehmen. 5. Aufl. München:  
Oldenbourg 2007. ISBN: 9783486584462.

- KRATZHELLER 1997  
Kratzheller, J. B.: Risiko und Risk Management aus organisationswissenschaftlicher Perspektive. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl. 1997. ISBN: 3-8244-0336-6.
- KRCMAR 2003  
Krcmar, H.: Informationsmanagement. 3. Aufl. Berlin: Springer 2003. ISBN: 3540438866.
- KREBS ET AL. 2009  
Krebs, P.; Müller, N.; Reinhardt, S.; Schellmann, H.; Bredow, M. von; Reinhart, G.: Ganzheitliche Risikobewertung für produzierende Unternehmen. *ZwF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 104 (2009) 3, S. 174–181.
- KRELLE 1957  
Krelle, W.: Unsicherheit und Risiko in der Preisbildung. *Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft* (1957) 113, S. 632–677.
- KRUMKE & NOLTEMEIER 2009  
Krumke, S. O.; Noltemeier, H.: Graphentheoretische Konzepte und Algorithmen. 2. Aufl. Wiesbaden: Vieweg+Teubner 2009. ISBN: 3834806293.
- KRUSCHWITZ 2000  
Kruschwitz, L.: Investitionsrechnung. 8. Aufl. München: Oldenbourg 2000. ISBN: 3-486-25310-7.
- KRUSE 2010  
Kruse, A. T.: Fuzzy-Logik-basierte Ofenbelegungsplanung. Diss. Universität Hannover (2010). Garbsen: PZH Produktionstechnisches Zentrum 2010. ISBN: 9783941416475. (Berichte aus dem IPH 2010,1).
- KRUSE ET AL. 1995  
Kruse, R.; Gebhardt, J.; Klawonn, F.: Fuzzy-Systeme. Stuttgart: Teubner 1995. ISBN: 3-519-12130-1.
- KUHL 1996  
Kuhl, J.: Angepaßte Fuzzy-Regelungssysteme: Entwicklung und Einsatz bei ausgewählten betriebswirtschaftlichen Problemstellungen. Diss. Universität Göttingen (1996). Bovenden: Unitext-Verl. 1996. ISBN: 3-926-14253-7.
- KUHNLE & SCHMID 2004  
Kuhnle, H.; Schmid, M.: Bilanzen. Stuttgart: Lucius & Lucius 2004. ISBN: 3-8282-0115-6.
- KUNERT ET AL. 2007  
Kunert, C.; Röben, H.; Seidel, H.: Entscheidungen zur Produktionsverlagerung - Neben den Kosten zählt auch die Logistik. *wt Werkstattstechnik - online* 97 (2007) 4, S. 298–299.

KUNZE & SCHWEDT 2002

Kunze, U. R.; Schwedt, G.: Grundlagen der qualitativen und quantitativen Analyse. 5. Aufl. Weinheim: Wiley-Vch 2002. ISBN: 9783527308583.

KUO ET AL. 2002

Kuo, R. J.; Chiand, S. C.; Kao, S. S.: A decision support system for selecting convenience store location through integration of fuzzy AHP and artificial neural network. Computers in Industry 47 (2002) 2, S. 199–214.

KUTSCHKER & SCHMID 2008

Kutschker, M.; Schmid, S.: Internationales Management. 6. Aufl. München: Oldenbourg 2008. ISBN: 3486586602.

LANGER & SAND 1983

Langer, H.; Sand, H.: Erfolgreiche Marktforschung im Investitionsgütervertrieb. Berlin, München: Siemens-Aktiengesellschaft. 1983. ISBN: 3800913801.

LANZA & UDE 2010

Lanza, G.; Ude, J.: Multidimensional evaluation of value added networks. CIRP Annals – Manufacturing Technology 59 (2010) S. 489–492.

LIANG & WANG 1991

Liang, G. S.; Wang, M. J.: A fuzzy multicriteria decision-making method for facility site selection. International Journal of Production Research 29 (1991) 11, S. 2313–2330.

LILLICH 1992

Lillich, L.: Nutzwertverfahren. Heidelberg: Physica-Verl. 1992. ISBN: 3790805807. (Schriften zur quantitativen Betriebswirtschaftslehre 3).

LINDEMANN ET AL. 2009

Lindemann, U.; Maurer, M.; Braun, T.: Structural Complexity Management - An Approach for the Field of Product Design. Berlin: Springer 2008. ISBN: 9783540878889.

LODERER ET AL. 2002

Loderer, C.; Jörg, P.; Pichler, K.; Roth, L.; Zraggen, P.: Handbuch der Bewertung. 2. Aufl. Frankfurt am Main: Verlag Neue Züricher Zeitung 2002. ISBN: 389843026-X.

LÜCK ET AL. 2002

Lück, W.; Henke, M.; Gaenslen, P.: Die Interne Revision und das Interne Überwachungssystem vor dem Hintergrund eines integrierten Risikomanagements. In: Hölscher, R. et al. (Hrsg.): Herausforderung Risikomanagement. Wiesbaden: Gabler 2002, S. 225–238. ISBN: 3-409-11831-4.

- LÜDER & KÜPPER 1983  
Lüder, K.; Küpper, W.: Unternehmerische Standortplanung und regionale Wirtschaftsförderung. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht 1983. ISBN: 3525126611. (Schriftenreihe des Seminars für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre der Universität Hamburg 24).
- MAGGE 1964  
Magge, J. F.: Decision Trees for Decision Making. Harvard Business Review 42 (1964) 4, S. 126–138.
- MATSCHKE & BRÖSEL 2007  
Matschke, M. J.; Brösel, G.: Unternehmensbewertung. 3. Aufl. Wiesbaden: Gabler 2007. ISBN: 9783834906137.
- MATTES & STROTMANN 2005  
Mattes, A.; Strotmann, H.: Ausmaß und Bestimmungsgründe des Offshoring in die mittel- und osteuropäischen Beitrittsländer der EU. Tübingen: IAW-Kurzbericht 5/2005.
- MAYER 1994  
Mayer, A.: Fuzzy logic. 1. Aufl. Bonn: Addison-Wesley 1994. ISBN: 3893194436.
- MAZIKOWSKI 2001  
Mazikowski, R.: Fuzzybasierte Produktkonfiguration in der Druckweiterverarbeitung. Diss. Universität Hannover (2000). Düsseldorf: VDI-Verlag 2001. ISBN: 978-3-183-57002-5. (Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Fertigungstechnik, Nr. 570).
- MCKINSEY&COMPANY 2009  
McKinsey&Company: Made in Germany - Zukunftsperspektiven für die Produktion in Deutschland. München: 2009. (Studie)
- MERCHIERS 2008  
Merchiers, A.: Bewertung globaler Standortstrukturalternativen im Maschinenbau. Diss. Technische Hochschule Aachen (2008). Aachen: Apprimus-Verl. 2008. ISBN: 978-3-940565-24-2.
- MEYER 2006  
Meyer, T.: Globale Produktionsnetzwerke. Diss. TU Darmstadt (2006). Aachen: Shaker 2006. ISBN: 978-3832-24943-4.
- MILBERG & MÖLLER 2008  
Milberg, J.; Möller, N.: Valuation of changeable production systems. Production Engineering 2 (2008) 4, S. 417–424.
- MÖLLER 2008  
Möller, N.: Bestimmung der Wirtschaftlichkeit wandlungsfähiger Produktionssysteme. Diss. Technische Universität München. München: Utz 2008. ISBN: 978-3-8316-0778-5.

MORDESON & NAIR 1996

Mordeson, J. N.; Nair, P.: Successor and Source of (Fuzzy) Finite State Machines and (Fuzzy) Directed Graphs. *Information Sciences* 95 (1996) 1-2, S. 113–124.

MORLOCK ET AL. 2006

Morlock, M.; Schwindt, C.; Trautmann, N.; Zimmermann, H. J.: *Perspectives on Operations Research*. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl. 2006. ISBN: 978-3-8350-9064-4.

MÜHLENBRUCH 2008

Mühlenbruch, H.: Produktmodell für globale Produktionsstufen. Diss. Univ. Hannover (2008). Garbsen: PZH Produktionstechn. Zentrum 2008. ISBN: 9783941416017. (Berichte aus dem IFA 2008, 3).

MUN 2002

Mun, J.: *Real options analysis*. Hoboken, NJ: Wiley 2002. ISBN: 0-471-25696-X.

KPMG 2006

KPMG (Hrsg.): *Perspektiven im Maschinen- und Anlagenbau - Die Globalisierung in der Fertigungsindustrie*. Frankfurt am Main: 2006. (Studie)

N.N. 2008

N.N.: Extreme Korrelation zwischen Euro-\$ & Ölpreis. *Frankfurter Allgemeine Zeitung (FAZ) Online* 21.04.2008:

NAPIWOTZKI 1997

Napiwotzki, R.: *Strategisches Finanzcontrolling*. Diss. Univ. Wuppertal (1997). Lohmar: Eul 1997. ISBN: 978-3-89012-569-5. (Reihe 83).

NAUCK ET AL. 1994

Nauck, D. D.; Klawonn, F.; Kruse, R.: *Neuronale Netze und Fuzzy-Systeme*. Braunschweig: Vieweg 1994.

NAUMANN & ROLKER 2000

Naumann, F.; Rolker, C.: Assessment Methods for information quality criteria. In: MIT Sloan School of Management (Hrsg.): *Proceedings of the International Conference on Information Quality (IQ)*. Cambridge, Mass. 2000, S. 148–162.

NEFF 2002

Neff, T.: *Front load costing*. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl. 2002. ISBN: 978-3824476251. (Gabler Edition Wissenschaft).

NEUMANN & MORLOCK 2004

Neumann, K.; Morlock, M.: *Operations Research*. 2. Aufl. München: Hanser 2004. ISBN: 3446221409.

NICKLISCH 1912

Nicklisch, H.: *Allgemeine kaufmännische Betriebslehre als Privatwirtschaftslehre des Handels und der Industrie*. Leipzig: Poeschel 1912.



NICOLAI 1995

Nicolai, H.: Entwicklung eines Verfahrens zur Nutzenbewertung von PPS-Systemen auf der Basis der Theorie unscharfer Mengen. Aachen: Verl. der Augustinus-Buchh. 1995. ISBN: 386073248x.

NYHUIS ET AL. 2008

Nyhuis, P.; Großhennig, P.; Wagner, C.: Gestaltung globaler Produktionsnetzwerke. *ZwF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 5 (2008), S. 299–302.

NYHUIS ET AL. 2007

Nyhuis, P.; Heinen, T.; Brieke, M.: Adequate and economic factory transformability and the effects on logistical performance. *The International Journal of Flexible Manufacturing Systems* 19 (2007) 3, S. 286–307.

OBERMEIER & CASPER 2008

Obermeier, T.; Gasper, R.: Investitionsrechnung und Unternehmensbewertung. München: Oldenbourg 2008. ISBN: 978-3-486-58334-2.

OEHMEN ET AL. 2008

Oehmen, J.; Krebs, P.; Schönsleben, P.; Reinhart, G.: Der Produktionsstandort China und seine Risiken. *io new management* (2008) 1/2, S. 6–10.

OEHMEN 2009

Oehmen, J.: Managing Supply Chain Risks. Diss. Eidgenössische Technische Hochschule (2009). Zürich: ETH 2009.

OESTEREICH & BREMER 2009

Oestereich, B.; Bremer, S.: Die UML-Kurzreferenz 2.3 für die Praxis. 5. Aufl. München: Oldenbourg 2009. ISBN: 978-3-486-59051-7.

OST 1993

Ost, S.: Entwicklung eines Verfahrens zur differenzierten Flexibilitätsanalyse und -bewertung. Diss. Universität Hamburg-Harburg (1993). Hamburg 1993.

OSTEN-SACKEN 1999

Osten-Sacken, D. von der: Lebenslauforientierte, ganzheitliche Erfolgsrechnung für Werkzeugmaschinen. Diss. Universität Stuttgart (1999). Heimsheim: Jost-Jetter-Verl. 1999. ISBN: 3-931-388-12-3.

PAPULA 2008

Papula, L.: Mathematik für Ingenieure und Naturwissenschaftler. 5. Aufl. Wiesbaden: Vieweg+Teubner 2008. ISBN: 978-3-834-80225-5.

PARDALOS ET AL. 2008

Pardalos, P. M.; Du, D.-Z.; Kahraman, C.: Fuzzy Multi-Criteria Decision Making. Heidelberg: Springer 2008. ISBN: 0-387-76812-2. (Springer Optimization and Its Applications 16).

PERLITZ 2004

Perlitz, M.: Internationales Management. 5. Aufl. Stuttgart: Lucius und Lucius 2004. ISBN: 3825215601. (UTB Betriebswirtschaftslehre 1560).

PETERS ET AL. 2006

Peters, S.; Reinhardt, K.; Seidel, H.: Wissen verlagern. Wiesbaden: Gabler 2006. ISBN: 978-3-834-99277-2.

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.

PICOT ET AL. 2003

Picot, A.; Reichwald, R.; Wigand, R. T.: Die grenzenlose Unternehmung. 5. Aufl. Wiesbaden: Gabler 2003. ISBN: 340952214-x. (Gabler-Lehrbuch).

PIKE 1988

Pike, R. H.: An Empirical Study of the Adoption of Sophisticated Capital Budegeting Practices and Decision-Making Effectiveness. Accounting and Business Research 18 (1988) 72, S. 341–351.

PIOTTI 2009

Piotti, G.: Wenn Erwartungen schwer zu erfüllen sind. In: N.N. (Hrsg.): Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung (MPIfG) Jahrbuch 2009–2010. Köln, S. 65–70.

PODDIG ET AL. 2008

Poddig, T.; Dichtl, H.; Petersmeier, K.: Statistik, Ökonometrie, Optimierung. 4. Aufl. Bad Soden/Ts.: Uhlenbruch 2008. ISBN: 9783933207630.

RAAB ET & BACH 1999

Raab, P.; Bach, V.: Bewertung von Informationsquellen aus dem Internet. Bericht zum Projekt BKM-RM/10. Institut für Wirtschaftsinformatik. Universität St. Gallen 1999.

REINHART ET AL. 2006

Reinhart, G.; Bredow, M. von; Neise, P.; Sudhoff, W.: Produzieren in globalen Netzwerken. In: Hoffmann, H. et al. (Hrsg.): 8. Münchener Kolloquium. München, 09.–10. März 2006. München: Utz 2006, S. 175–192. ISBN: 3831605750.

REINHART ET AL. 2007

Reinhart, G.; Krebs, P.; Rimpau, C.; Czechowski, D.: Flexibilitätsbewertung in der Praxis. wt Werkstattstechnik - online 97 (2007) 4, S. 211–217.

REINHART ET AL. 2008a

Reinhart, G.; Krebs, P.; Haas, M.; Zäh, M. F.: Monetäre Bewertung von Produktionssystemen. ZwF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 103 (2008) 12, S. 845–850.

## REINHART ET AL. 2008b

Reinhart, G.; Krebs, P.; Schellmann, H.; Reinhardt, S.; Rimpau, C.: Risikobewertung bei Entscheidungen im Produktionsumfeld. *iwb Seminar Risiko und Chance*. München, 24. September 2009 (Seminarband 96), München: Utz 2009.

## REINHART ET AL. 2009a

Reinhart, G.; Bredow, M. von; Karl, F.: Bewertung von risikobehafteten Fahrzeugprojekten in der Automobilindustrie mit Hilfe des "NPV at Risk". *ZwF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 99 (2009) 4, S. 267–272.

## REINHART ET AL. 2009b

Reinhart, G.; Krebs, P.; Zaeh, M. F.: Holistic Risk Evaluation for Global Producing Companies. In: Zaeh, M.F. et al. (Hrsg.): 3rd International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV) 2009, München, 05.–07. Oktober 2009. München: Utz 2009, S. 951–960. ISBN: 978-3-8316-0933-8.

## REINHART ET AL. 2009c

Reinhart, G.; Krebs, P.; Zaeh, M. F.: Fuzzy-Logic-based Integration of Qualitative Uncertainties into Monetary Factory-Evaluations. In: IEEE (Hrsg.): Seventh IEEE International Conference on Control and Automation 2009, Christchurch (NZ), 09.–11. Dezember 2009. S. 385–391. ISBN: 978-1-4244-4707-9.

## REINHART ET AL. 2011a

Reinhart, G.; Pause, J.; Krziwon, K.: Managementkonzept für Eingangsgrößen von Kostenmodellen. *ZwF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 106 (2011) 6, S. 438–443.

## REINHART ET AL. 2011b

Reinhart, G.; Schindler, S.; Krebs, P.: Strategic Evaluation of Manufacturing Technologies. In: Hesselbach, J.; Herrmann, C.: Globalized Solutions for Sustainability in Manufacturing, Proceedings of the 18th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, Technische Universität Braunschweig: 02.–04. Mai 2011. Berlin, Heidelberg: Springer 2011, S. 179–184. ISBN: 978-3-642-19691-1.

## REITHOFER 2010

Reithofer, N.: Mobilität neu gedacht. In: Hoffmann, H. et al. (Hrsg.): Münchener Kolloquium - Innovationen für die Produktion. Garching, 06. Oktober 2010. München: Utz 2010, S. 19–30. ISBN: 9783831640096.

## RIMPAU 2010

Rimpau, C.: Wissensbasierte Risikobewertung in der Angebotskalkulation für hochgradig individualisierte Produkte. Diss. Technische Universität München (2010). Utz 2010. ISBN: 3-8316-4015-7.

RINNE 2008

Rinne, H.: Taschenbuch der Statistik. 4. Aufl. Frankfurt am Main: Deutsch 2008. ISBN: 9783817118274.

ROCKART 1980

Rockart, J. F.: Topmanager sollten ihren Datenbedarf selbst definieren. Harvard Business Manager 58 (1980) 2, S. 45–60.

ROGLER 2002

Rogler, S.: Risikomanagement im Industriebetrieb. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl. 2002. ISBN: 978-3824490844. (Neue betriebswirtschaftliche Forschung 296).

ROLLBERG 2001

Rollberg, R.: Integrierte Unternehmensplanung. Habil. TU Dresden (2000). 1. Aufl. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl. 2001. ISBN: 3824405849. (DUVWirtschaftswissenschaft).

ROMEIKE 2004

Romeike, F. (Hrsg.): Erfolgsfaktor Risiko-Management. Wiesbaden: Gabler 2004. ISBN: 978-3409122009.

ROMMELFANGER 2008

Rommelfanger, H.: Stand der Wissenschaft bei der Aggregation von Risiken. In: Deutsche Gesellschaft für Risikomanagement (Hrsg.): Risikoaggregation in der Praxis. Berlin, Heidelberg: Springer 2008, S. 15–50. ISBN: 978-3-540-73249-5.

ROMMELFANGER 1994

Rommelfanger, H. J.: Fuzzy decision support-Systeme. 2. Aufl. Berlin: Springer 1994. ISBN: 3-540-57793-9.

ROMMELFANGER & EICKEMEIER 2002

Rommelfanger, H. J.; Eickemeier, S. H.: Entscheidungstheorie. Berlin: Springer 2002. ISBN: 3-540-42465-2.

ROSENKRANZ & MISSLER-BEHR 2005

Rosenkranz, F.; Missler-Behr, M.: Unternehmensrisiken erkennen und managen. Berlin: Springer 2005. ISBN: 3-540-24507-3.

RÜSTIG 2007

Rüstig, A.: Einfluss von standortspezifischen Faktoren auf den Produktionsanlauf am Beispiel der Kfz-Zulieferindustrie. Diss. TU Darmstadt (2007). Aachen: Shaker 2007. ISBN: 978-3-8322-6344-7.

RÜTTLER 1991

Rüttler, M.: Information als strategischer Erfolgsfaktor. Berlin: E. Schmidt 1991. ISBN: 3503032711. (Technological economics Bd. 43).

SAAKE & SATTLER 2006

Saake, G.; Sattler, K.-U.: Algorithmen und Datenstrukturen. 3. Aufl. Heidelberg: dpunkt.Verl. 2006. ISBN: 3898643859. (dpunkt.Lehrbuch).

- SAATY 1988  
Saaty, T. L.: Multicriteria decision making. 2. Aufl. New York: McGraw-Hill 1988. ISBN: 0-07-054371-2. (The analytic hierarchy process series 1).
- SAATY 1996  
Saaty, T. L.: Multicriteria decision making. 2. Aufl. Pittsburgh, PA.: RWS Publ. 1996. ISBN: 0-9620317-2-0. (Analytic hierarchy process series 1).
- SALMEN 2001  
Salmen, T.: Standortwahl der Unternehmen. Marburg: Tectum-Verl. 2001. ISBN: 978-382-8883-062.
- SCHAEFER 2004  
Schaefer, C.: Steuerung und Kontrolle von Investitionsprozessen. Habil. Universität Hamburg (2003). 1. Aufl. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl. 2004. ISBN: 3-8244-9131-1. (Neue betriebswirtschaftliche Forschung 323).
- SCHÄFERS 1995  
Schäfers, E.: Inferenz mittelsinterpolierender Regeln - ein neues Verfahren zur Beschreibung von Fuzzy-Systemen. 5. Workshop "Fuzzy Control". Dortmund 1995. Universität Dortmund. Fakultät für Elektrotechnik. Forschungsberichte 1995, S. 14–27.
- SCHÄFERS 1999  
Schäfers, E.: Dynamische Fuzzy-Systeme zur qualitativen Prozeßmodellierung: Eine neue Systemtheorie. Diss. Universität Karlsruhe (1998). Karlsruhe: VDI-Verlag 1999. ISBN: 3-18-374508-9.
- SCHEUCH 2007  
Scheuch, F.: Marketing. 6. Aufl. München: Vahlen 2007. ISBN: 9783800633883. (Vahlens Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften).
- SCHIERENBECK 2000  
Schierenbeck, H.: Grundzüge der Betriebswirtschaftslehre. 15. Aufl. München: Oldenbourg 2000. ISBN: 3-486-25297-6.
- SCHMIGALLA 1995  
Schmigalla, H.: Fabrikplanung. München: Hanser 1995. ISBN: 3-446-18572-0.
- SCHNECK 2004  
Schneck, O.: Finanzierung. 2. Aufl. München: Vahlen 2004. ISBN: 3800629224.
- SCHNEEWEIß 1991  
Schneeweiß, C.: Systemanalytische und entscheidungstheoretische Grundlagen. Berlin: Springer-Verl. 1991. ISBN: 3-540-54000-8.
- SCHNEEWEIß 1992  
Schneeweiß, C.: Planung 2 – Konzepte der Prozeß- und Modellgestaltung. Berlin: Springer 1992. ISBN: 3-540-55175-1.

SCHNEIDER 1992

Schneider, D.: Investition, Finanzierung und Besteuerung. 7. Aufl. Wiesbaden: Gabler 1992. ISBN: 978-3409690232.

SCHNEIDER 1997

Schneider, H.-J.: Lexikon Informatik und Datenverarbeitung. 4. Aufl. München: Oldenbourg 1997. ISBN: 3486228757.

SCHUH 2001

Schuh, H.: Entscheidungsorientierte Umsetzung einer nachhaltigeren Entwicklung: empirische Analyse, theoretische Fundierung und Systematisierung am Beispiel der natürlichen Ressource Wasser. Diss. TU Dresden (2001). Dresden 2001.

SCHUH ET AL. 2011

Schuh, G.; Aghassi, S.; Orilski, S.; Schubert, J.; Bambach, M.; Freudenberg, R.; Hinke, C.; Schiffer, M.: Technology roadmapping for the production in high wage countries. Production Engineering 5 (2011).

SCHULTE 2002

Schulte, A.: Das Phänomen der Rückverlagerung. Diss. Universität Dortmund, (2002). 1. Aufl. Wiesbaden: Gabler 2002. ISBN: 340912375X.

SCHULTE ET AL. 1996

Schulte, M.; Paul, S.; Siewert, K.-J.: Risikopolitik in Kreditinstituten. Frankfurt am Main: Bankakademie-Verl. 1996. ISBN: 9783980258647. (Bank-Controlling 2).

SCHUY 1989

Schuy, A.: Risiko-Management. Frankfurt am Main: Lang 1989. ISBN: 3-631-42261-X.

SERAPHIN 1994

Seraphin, M.: Neuronale Netze und Fuzzy-Logik. München: Franzis 1994. ISBN: 3772363857.

SESTERHENN 2003

Sesterhenn, m.: Bewertungssystematik zur Gestaltung struktur- und betriebsvariabler Produktionssysteme. Diss. Technische Hochschule Aachen (2002): Shaker 2003. ISBN: 3-8322-1066-0.

SIHN ET AL. 2010

Sihn, W.; Hillbrand, C.; Meizer, F. e.: Development of a Simulation Model for Multimodal, Cross-Company Logistics Networks. In: Dangelmaier, W. et al. (Hrsg.): Advanced Manufacturing and Sustainable Logistics. Berlin, Heidelberg: Springer 2010, S. 26–36. ISBN: 978-3642124617.

SMIRNOW & DUNIN-BARKOWSKI 1963

Smirnow, N. W.; Dunin-Barkowski, I. W.: Mathematische Statistik in der Technik. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1963.

- SNYDER 2006  
Snyder, L. V.: Facility location under uncertainty: a review. IIE Transactions 38 (2006) 7, S. 547–564.
- STATISTISCHES BUNDESAMT 2010  
Erwerbstätige  
<<http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Navigation/Statistiken/Arbeitsmarkt/Erwerbstaetige/Tabellen.psml>> -  
08.03.2011.
- STEINHOFF 2008  
Steinhoff, C.: Quantifizierung operationeller Risiken in Kreditinstituten. Diss. Universität Göttingen (2008). Göttingen: Cuvillier 2008. ISBN: 9783867275347.
- STEINMETZ 2007  
Steinmetz, M.: Risikosituation und -handhabung in der Produktion - Ein Konzept zur Verbesserung der Risikosituation. Diss. Technische Universität München. München (2007). München: TCW 2007. ISBN: 978-3-937236.71-1.
- STELAND 2010  
Steland, A.: Basiswissen Statistik. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer. ISBN: 978-3-642-02666-9. (Springer-Lehrbuch).
- STERN ET AL. 2001  
Stern, J. M.; Shiely, J. S.; Ross, I.: The EVA challenge. New York, NY: Wiley 2001. ISBN: 0471405558. (Wiley finance series).
- STIEFL 2008  
Stiefl, J.: Finanzmanagement. 2. Aufl. München: Oldenbourg 2008. ISBN: 978-3-486-58782-1.
- SUDHOFF 2007  
Sudhoff, W.: Methodik zur Bewertung Standortübergreifender Mobilität in der Produktion. Diss. Technische Universität München (2007). München: Utz 2007. ISBN: 978-3-8316-0749-5.
- TRAEGER 1993  
Traeger, D. H.: Einführung in die Fuzzy-Logik. Stuttgart: Teubner 1993. ISBN: 3-519-06162-7.
- TRIGEORGIS 2002  
Trigeorgis, L.: Real options. Cambridge, Mass.: MIT Press 2002. ISBN: 0-262-20102-X.
- UDE 2010  
Ude, J.: Entscheidungsunterstützung für die Konfiguration globaler Wertschöpfungsnetzwerke. Diss. Karlsruher Institut für Technologie (2010). Aachen: Shaker 2010. ISBN: 978-3-8322-9414-4.

UNBEHAUEN 2005

Unbehauen, H.: Klassische Verfahren zur Analyse und Synthese linearer kontinuierlicher Regelsysteme, Fuzzy-Regelsysteme. 13. Aufl. Wiesbaden: Vieweg 2005. ISBN: 978-3528213329. (Studium Technik / Heinz Unbehauen; 1).

URBAN 1998

Urban, M.: Fuzzy-Konzepte für Just in Time-Produktion und -Beschaffung. Diss. Frankfurt am Main: Lang 1998. ISBN: 3631331711. (Europäische Hochschulschriftenreihe 5, Volks- und Betriebswirtschaft 2308).

VASAK 2005

Vasak, D.: Produktionsverlagerungen ins Ausland: Erfolgsfaktoren. BC: Zeitschrift für Bilanzierung, Rechnungswesen und Controlling (2005) 2, S. 1–8.

VAUGHAN 1997

Vaughan, E. J.: Risk management. New York: Wiley 1997. ISBN: 0-471-10759-X.

VDI 2010

Handlungsempfehlung zur Gestaltung globaler Produktionsnetzwerke – Ein Leitfaden der Arbeitsgruppe „Standortplanung“ des VDI-Fachausschusses Fabrikplanung. Stand März 2010.

VDI 2011

VDI 5200, Blatt 1: Fabrikplanung - Planungsvorgehen. Berlin: Beuth 2011.

VESTER 2008

Vester, F.: Die Kunst vernetzt zu denken. 7. Aufl. München: Deutscher Taschenbuch-Verlag 2008. ISBN: 3-423-33077-5. (Dtv 33077).

VÖCKING ET AL. 2008

Vöcking, B.; Alt, H.; Dietzfelbinger, M.; Reischuk, R.; Scheideler, C.; Vollmer, Heribert; Wagner, Dorothea: Taschenbuch der Algorithmen. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 2008. ISBN: 9783540763932. (eXamen.press).

VOIGT 1992

Voigt, K.-I.: Strategische Planung und Unsicherheit. Diss. Universität Hamburg (1991). Wiesbaden: Gabler 1992. ISBN: 3409138269. (Betriebswirtschaftliche Forschung zur Unternehmensführung 24).

VOROBIEV & SEIKKALA 2002

Vorobiev, D.; Seikkala, S.: Towards the Theory of Fuzzy Differential Equations. Fuzzy Sets and Systems 125 (2002) 2, S. 231–237.

VOS & AKKERMANS 1996

Vos, B.; Akkermans, H.: Capturing the dynamics of facility allocation. International Journal of Operations Research & Production Management 16 (1996) 11, S. 57–70.



- WEBER 1909  
Weber, A.: Über den Standort der Industrie. Tübingen: 1909.
- WEBER & ROGLER 2004  
Weber, H. K.; Rogler, S.: Bilanz sowie Gewinn- und Verlustrechnung. 5. Aufl. München: Vahlen 2004. ISBN: 3-8006-3020-6. (Vahlens Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften).
- WEILER 2010  
Weiler, S.: Strategien zur wirtschaftlichen Gestaltung der globalen Beschaffung Karlsruher Institut für Technologie (2010). Aachen: Shaker 2010. ISBN: 978-3-8322-9425-0.
- WERTHSCHULTE 2005  
Werthschulte, H.: Kreditrisikomessung bei Projektfinanzierungen durch Risikosimulation. Diss. Universität Münster (2004). 1. Aufl. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl. 2005. ISBN: 3824482606. (Gabler Edition WissenschaftBusiness-to-Business-Marketing).
- WIENDAHL ET AL. 2007  
Wiendahl, H.-P.; ElMaraghy, H. A.; Nyhuis, P.; Zäh, M. F.; Wiendahl, H.-H.; Duffie, N.; Briek, M.: Changeable Manufacturing - Classification, Design and Operation. CIRP Annals - Manufacturing Technology 56 (2007) 2, S. 783–809.
- WIKIPEDIA 2011a  
Neuronales Netz. <[http://de.wikipedia.org/wiki/Neuronale\\_Netze](http://de.wikipedia.org/wiki/Neuronale_Netze)> - 08.03.2011.
- WIKIPEDIA 2011b  
Fuzzy-Logik. <<http://de.wikipedia.org/wiki/Fuzzylogik>> - 08.03.2011.
- WIKIPEDIA 2011c  
Schätzfunktion <<http://de.wikipedia.org/wiki/Sch%C3%A4tzfunktion>> - 08.03.2011.
- WILDEMANN 2006  
Wildemann, H.: Risikomanagement und Rating. München: TCW 2006. ISBN: 3937236260. (TCW 25).
- WILDEMANN 1997  
Wildemann, H.: Qualität und Unternehmenserfolg. 1. Aufl. München: Transfer-Centrum-Verl. 1997. ISBN: 9783929918915. (TCW 18).
- WILDEMANN 2005  
Wildemann, H.: Unternehmensstandort Deutschland. 1. Aufl. München: TCW Transfer-Centrum 2005. ISBN: 978-3-937236-12-4.
- WINKELHOFFER 2006  
Winkelhofer, G.: Kreativ managen. Berlin, Heidelberg: Springer 2006. ISBN: 3540284079.

WINKLER ET AL. 2007

Winkler, J.; Dibbern, J.; Heinzl, A.: Der Einfluss kultureller Unterschiede beim IT Offshoring. *Wirtschaftsinformatik* 49 (2007) 2, S. 95–103.

WITTE 1997

Witte, A.: Einsatz von Wissensbasierten Systemen und Fuzzy Sets bei Umweltverträglichkeitsuntersuchungen in der Verkehrsplanung. In: Schrenk, M. (Hrsg.): *Computergestützte Raumplanung*. Wien: IEMAR 1997. ISBN: 3-901673-01-6.

WITTMANN 1959

Wittmann, W.: *Unternehmung und unvollkommene Information, Unternehmerische Voraussicht – Ungewißheit und Planung*. Köln: Westdt. Verlag 1959.

WÖHE ET AL. 2002

Wöhe, G.; Döring, U.: *Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre*. 21. Aufl. München: Vahlen 2002. ISBN: 3-8006-2865-1.

WOLKE 2009

Wolke, T.: *Risikomanagement*. 2. Aufl. München: Oldenbourg 2009. ISBN: 9783486587142.

WONG & LAI 2011

Wong, B. K.; Lai, V. S.: A survey of the application of fuzzy set theory in production and operations management: 1998–2009. *International Journal of Production Economics* 129 (2011), S. 157–168.

YONG 2006

Yong, D.: Plant location selection based on fuzzy TOPSIS. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 28 (2006) 7/8, S. 839–844.

YOON & HWANG 2003

Yoon, K. P.; Hwang, C.-L.: *Multiple attribute decision making*. Thousand Oaks, CA: Sage 2003. ISBN: 0803954867. (Sage university papers 104).

YOUNG & O'BYRNE 2001

Young, S. D.; O'Byrne, S. F.: *EVA and value-based management*. New York, NY: McGraw-Hill 2001. ISBN: 0-07-136439-0.

ZADEH 1965

Zadeh, L. A.: Fuzzy Sets. *Information and Control* 8 (1965), S. 338–353.

ZADEH 1973

Zadeh, L. A.: Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes. *IEEE transactions on systems, man and cybernetics SMC-3* (1973) 1, S. 28–44.

**ZAEH ET AL. 2009**

Zaeh, M. F.; Reinhart, G.; Pohl, J.; Schindler, S.; Karl, F.; Rimpau, C.: Modelling, Anticipating and Managing Cyclic Behaviour in Industry. In: Zaeh, M.F. et al. (Hrsg.): 3rd International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV) 2009, München, 05.–07. Oktober 2009. München: Utz 2009, S. 16–43. ISBN: 978-3-8316-0933-8.

**ZÄH ET AL. 2005**

Zäh, M. F.; Rimpau, C.; Wiesbeck, M.: Produktion im globalen Umfeld. *ZwF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 100 (2005) 5, S. 246–250.

**ZANGEMEISTER 1970**

Zangemeister, C.: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik – Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen. München: Wittmann 1970.

**ZECH 2002**

Zech, J.: Integriertes Risikomanagement – Status quo und Entwicklungstendenzen aus der Perspektive eines Versicherungskonzerns. In: Hölscher, R. et al. (Hrsg.): Herausforderung Risikomanagement. Wiesbaden: Gabler 2002, S. 33–49. ISBN: 3-409-11831-4.

**ZELL 1996**

Zell, A.: Simulation neuronaler Netze. Bonn: Addison-Wesley 1996. ISBN: 3-89319-554-8.

**ZIMMERMANN ET AL. 1993**

Zimmermann, H. J.; Angstenberger, J.: Fuzzy-Technologien: Prinzipien, Werkzeuge, Potentiale. Düsseldorf: VDI-Verl. 1993. ISBN: 3-540-62199-7.

**ZINGEL 2009**

Zingel, H.: Investitionsrechnung. Weinheim: Wiley 2009. ISBN: 978-3-527-50468-8. (Wiley-Klartext).



## 10 Anhang

### 10.1 Verteilungsfunktionen zur Modellierung quantitativer Unsicherheiten

#### 10.1.1 Stetige Gleichverteilung

Eine sehr einfache Verteilung ist die stetige Gleichverteilung (uniformelle Verteilung) (COTTIN & DÖHLER 2009). Die Dichtefunktion einer auf dem Intervall  $[a; b]$  gleichverteilten Zufallsvariable  $X$  lautet:

$$f_X(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & \text{für } a \leq x \leq b \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad (32)$$

$f_X(x)$       Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Zufallsvariablen  $X$   
 $a, b$         Untere bzw. obere Grenze des Intervalls der Gleichverteilung

#### 10.1.2 Dreiecksverteilung

Die Dichtefunktion der Dreiecksverteilung wird durch die Parameter  $a$  (minimaler Wert),  $b$  (maximaler Wert) und  $w$  (wahrscheinlichster Wert) bestimmt:

$$f_X(x) = \begin{cases} \frac{2 \cdot (x-a)}{(b-a)(w-a)} & \text{für } a \leq x \leq w \\ \frac{2 \cdot (b-x)}{(b-a)(b-w)} & \text{für } w < x \leq b \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad (33)$$

$f_X(x)$       Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Zufallsvariablen  $X$   
 $a, b$         Untere bzw. obere Grenze des Intervalls der Dreiecksverteilung  
 $w$             Wahrscheinlichster Wert der Dreiecksverteilung

#### 10.1.3 Binominalverteilung

Die Binomialverteilung beschreibt zwei mögliche Ereignisse  $x_1$  und  $x_2$  mit ihren zugehörigen Wahrscheinlichkeiten  $p$  und  $q$ . Diese Art der Verteilung kann bspw. zur Modellierung von Ja / Nein-Entscheidungen eingesetzt werden (RIMPAU 2010).

$$f_X(x) = \begin{cases} p_1 & \text{für } x = x_1 \\ q_2 = (1 - p_1) & \text{für } x = x_2 \end{cases} \quad (34)$$

$f_X(x)$	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Zufallsvariablen $X$
$x_1, x_2$	Mögliche Ereignisse
$p_1$	Eintrittswahrscheinlichkeit von $x_1$ bei einmaliger Ziehung
$q_2$	Eintrittswahrscheinlichkeit von $x_2$ bei einmaliger Ziehung

### 10.1.4 Diskrete Gleichverteilung

Die diskrete Gleichverteilung besitzt im Gegensatz zur stetigen Gleichverteilung (vgl. Abschnitt 10.1.1) einen diskreten Ereignisraum. Es können  $N$  verschiedene Ereignisse  $x_n$  mit gleicher Wahrscheinlichkeit eintreten:

$$f_X(x) = \begin{cases} \frac{1}{N} & \text{für } x = x_n \quad \text{mit } n \in \{1, 2, \dots, N\} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad (35)$$

$f_X(x)$	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Zufallsvariablen $X$
$x_n$	Realisiertes Ereignis $n$ der Zufallsvariable $X$
$N$	Anzahl der möglichen Ereignisse
$n$	Laufvariable

## 10.2 Identifikation und Beseitigung von Zyklen mit der Graphentheorie

### 10.2.1 Allgemeines

Das in Abschnitt 5.4.3 eingeführte Fuzzy-Bewertungsnetz zur Modellierung der Abhängigkeiten zwischen den im Rahmen der Standortbewertung zu berücksichtigenden Unsicherheiten bildet eine Folge von Wirkungen ab. Eine Folge von Wirkungen wird als Zyklus bezeichnet, wenn sie aus verschiedenen Zwischenpunkten besteht und geschlossen ist (GAL ET AL. 1987). Das Fuzzy-Bewertungsnetz erlaubt keine Zyklen unter den Unsicherheiten, da sonst durch die Modellierung Endlosschleifen entstehen. Aus diesem Grund sind mögliche Zyklen innerhalb des Fuzzy-Bewertungsnetzes zu identifizieren und zu beseitigen. Hierfür bieten sich verschiedene Algorithmen der Graphentheorie an, die folgende Anforderungen erfüllen müssen:

- Es ist die gesamte Folge der Wirkungen abzusuchen und jeder Zyklus zu identifizieren.
- Der Algorithmus muss eine kurze Laufzeit haben, damit das Bewertungsmodell in ein Software-Werkzeug überführt werden kann.

Durch die Graphentheorie können komplexe Systeme mit vielen in Verbindung stehenden Elementen beschrieben werden. Die Elemente werden durch Punkte dargestellt und im Folgenden als *Knoten* bezeichnet. Die *Kanten* zwischen den Knoten beschreiben die Beziehung zwischen den Elementen. Ein Graph wird als eine durch Kanten verbundene Menge definiert (NEUMANN & MORLOCK 2004). Durch Graphen können viele Problemstellungen modelliert werden, u.a. lassen sich Wirkungen durch Graphen darstellen und analysieren (HEUN 2003).

In der wissenschaftlichen Literatur wird zwischen drei unterschiedlichen Kategorien von Graphen unterschieden: *ungerichteten*, *gerichteten* und *gerichteten azyklischen Graphen*. Bei ungerichteten Graphen wird nur vorgegeben, welche Knoten miteinander verbunden sind, nicht aber die Richtung der Verbindung (SAAKE & SATTler 2006). Da die Wirkungen zwischen Einflussfaktoren auf die Standortbewertung immer eine Richtung haben, sind ungerichtete Graphen in dieser Arbeit nicht von Bedeutung. Gerichtete Graphen haben im Gegensatz dazu eine Richtung und sind in einer Reihenfolge angeordnet (KRUMKE & NOLTEMEIER 2009).

Ursache für Zyklen in gerichteten Graphen sind sog. *Rückwärtskanten*. Bspw. kommt der Zyklus des in Abbildung 66 gezeigten gerichteten Graphen durch die Rückwärtskante von Knoten C nach Knoten A zu Stande. Die dritte Kategorie von Graphen sind die *gerichteten azyklischen Graphen*, die oft als *DAG* (*Directed Acyclic Graph*) bezeichnet werden und frei von Zyklen sind. Für diese Arbeit sind der gerichtete Graph und der DAG relevant. Um die oben beschriebene Problemstellung zu lösen, werden im Folgenden zwei elementare Algorithmen aus der Graphentheorie zur Identifikation und Beseitigung von Zyklen in gerichteten Graphen erklärt.

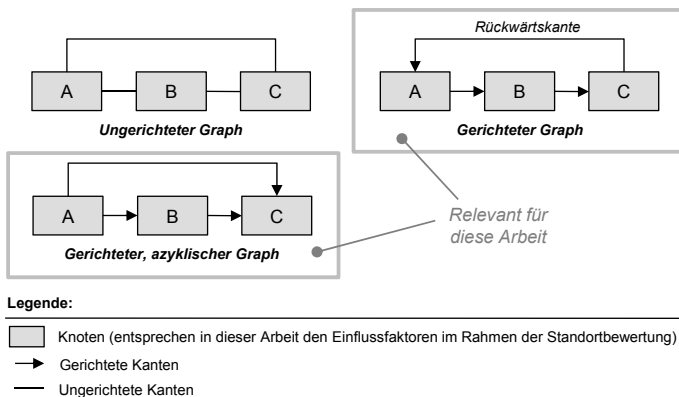


Abbildung 66: Arten von Graphen

## 10.2.2 Suche und Beseitigung von Zyklen in dieser Arbeit

Zur Identifikation und Beseitigung von Zyklen innerhalb des in dieser Arbeit beschriebenen Fuzzy-Bewertungsnetzes wurde ein Algorithmus entwickelt, der basierend auf der *Tiefensuche* alle in einem Zyklus vorhandenen Unsicherheiten abspeichert und es somit ermöglicht, Zyklen innerhalb des Fuzzy-Bewertungsnetzes auszugeben. Im Folgenden wird zunächst der Algorithmus der Tiefensuche beschrieben und dann erklärt, wie der für die Zyklensuche innerhalb des Fuzzy-Bewertungsnetzes entwickelte Algorithmus aufgebaut ist.

### Algorithmus der Tiefensuche

In Abbildung 67 wird der allgemeine Algorithmus der Tiefensuche dargestellt. Am Anfang der Tiefensuche haben alle Knoten den Zustand *unentdeckt*. Die Tiefensuche wird an einem beliebigen Knoten  $X$  gestartet, und es wird zunächst getestet, ob in einer vorhergegangenen Suche der nächste Knoten schon *entdeckt* wurde (Zeile 2). Ob das *Ziel* direkt im ersten Schritt gefunden wurde, wird in Zeile 3 überprüft, ansonsten wird der Knoten als *entdeckt* markiert (Zeile 4). In dem nächsten Schritt wird die Tiefensuche für jeden benachbarten Knoten  $Y$  von  $X$  durchgeführt (Zeile 5 bis 7). Bemerkte die gerade aufgerufene Tiefensuche, dass sie im Kreis gelaufen ist, kehrt sie per *return* zu dem aufgerufenen Knoten  $X$  zurück (VÖCKING ET AL. 2008).



```

Tiefensuche

1      function Tiefensuche (x)// Definition der Tiefensuche-Funktion
2          if Zustand[X] ≠ „entdeckt“ then return; endif
3          if X = Ziel then exit „Ziel gefunden“; endif
4          Zustand[X] := „entdeckt“;
5          for each benachbarte Kreuzung Y von X
6              Tiefensuche (Y)
7          end for;
8      end function;           // Ende der Tiefensuche-Funktion
9      Tiefensuche (Startkruzung); //Hauptprogramm

```

Abbildung 67: Tiefensuche

Die Tiefensuche ist ein oft verwendeter Algorithmus, da durch ihn viele unterschiedliche Problemstellungen in der Graphentheorie gelöst werden können. Unter anderem kann ermittelt werden, ob ein Graph Zyklen enthält. Für die Identifikation von Zyklen ist der in Abbildung 67 gezeigte Algorithmus leicht abzuändern. Da in einem gerichteten Graphen nur Rückwärtskanten (vgl. Abbildung 66) einen Zyklus verursachen können, sind nur diese bei der Zyklsuche von Interesse (VÖCKING ET AL. 2008).

```

Zyklsuche mit der Tiefensuche

1      procedure Zyklsuche (Knoten x)
2      begin
3          if Markierung (x) = „in Bearbeitung“ then Zyklus gefunden;
4          elseif Markierung (x) = „noch nicht begonnen“ then
5              Markierung (x) = „in Bearbeitung“;
6              for all Nachfolgeknoten y von x do Zyklsuche (y) endfor;
7              Markierung (x) := „abgeschlossen“
8          endif;
9      end;

```

Abbildung 68: Zyklsuche mit der Tiefensuche

Zur Identifikation von Rückwärtskanten sind die Knoten des Graphen als *noch nicht begonnen*, *in Bearbeitung* und *abgeschlossen* zu markieren. Vor der Zyklsuche müssen alle Knoten als *noch nicht begonnen* markiert werden (vgl.

Abbildung 68). Wie bei dem allgemeinen Algorithmus der Tiefensuche, geht die Zyklensuche mit der Tiefensuche einem Pfad nach. Der Unterschied besteht darin, dass die *überquerten* Knoten nicht mit *markiert*, sondern mit *in Bearbeitung* gekennzeichnet werden (Zeile 5). Trifft der Algorithmus auf einen Knoten, der bereits *in Bearbeitung* ist, so wird ausgegeben, dass ein Zyklus gefunden wurde (Zeile 3). Dann wird der Weg bis zur nächsten Abzweigung zurückverfolgt, und alle darauf liegenden Knoten werden *abgeschlossen*.

### Zyklensuche innerhalb des Fuzzy-Bewertungsnetzes

Während die oben beschriebene Zyklensuche mit der Tiefensuche nur den Zyklus sucht und dem Anwender nicht die Information geben kann, dass ein Zyklus vorhanden ist, kann der neu entwickelte Algorithmus (vgl. Abbildung 69) den Zyklus suchen und ihn mit allen im Zyklus befindlichen Faktoren ausgeben. Dafür ist es notwendig, sie abzuspeichern. Dies geschieht in Zeile 8 in dem *Suchpfad*. In Zeile 11 wird dieser Suchpfad ausgegeben.

Zyklusfinden	
1	<b>procedure</b> Zyklensuche (Knoten x)
2	<b>begin</b>
3	<b>if</b> Markierung (x) = „in Bearbeitung“ <b>then</b> Zyklus gefunden;
4	// Alle Knoten auf dem aktuellen Pfad ab x liegen auf einem Zyklus
5	<b>elsif</b> Markierung (x) = „noch nicht begonnen“ <b>then</b>
6	Markierung (x) = „in Bearbeitung“;
7	// Verlängere den aktuellen Suchpfad um x;
8	<b>for all</b> Nachfolgeknoten y von x <b>do</b> Zyklusfinden (y) <b>endfor</b> ;
9	Markierung (x) := „abgeschlossen“;
10	// Ausgabe des aktuellen Suchpfades
11	<b>endif</b> ;
12	<b>end</b> ;

Abbildung 69: Algorithmus zur Zyklensuche innerhalb des Fuzzy-Bewertungsnetzes

Die identifizierten Zyklen werden eliminiert, indem Faktoren aus dem Fuzzy-Bewertungsnetz entnommen werden. Hierbei ist es besonders wichtig, dass durch die Entnahme der Faktoren das Netz so gering wie möglich verändert wird. Dabei sind zwei Regeln zu beachten:

- In einem Zyklus ist die Wirkung zu entnehmen, die die geringste Auswirkung auf das Fuzzy-Bewertungsnetz hat.
- Ist die Wirkung, die entnommen werden soll, die einzige ausgehende Wirkung eines Einflussfaktors, darf diese nicht entfernt werden, da der Faktor sonst keinen Einfluss mehr auf das zu modellierende System hat.

### 10.3 Unified Modeling Language (UML)

In diesem Abschnitt werden die Grundlagen der Unified Modeling Language (UML) beschrieben, die für das Verständnis dieser Arbeit notwendig sind. Für eine detaillierte Beschreibung wird auf die Literatur (z. B. OESTERICH & BREMER 2009, BALZERT 2010) verwiesen.

In Abbildung 70 sind die wichtigen Notationen eines statischen *Klassendiagramms* gezeigt. Ein Klassendiagramm dient zur grafischen Darstellung von *Klassen* sowie deren *Beziehungen* und *Hierarchien*. Klassen werden als Menge ihrer Objekte mit gleichen Merkmalen, Funktionen und Beziehungen zu anderen Objekten beschrieben. Die Merkmale beschreiben die Eigenschaften aller Objekte in einer Klasse; die Funktionen, die eine Klasse ausführen kann, werden über gewisse Verhaltensmerkmale, die sog. *Operationen*, ausgedrückt. Die Beziehungen, die sog. *Assoziationen*, geben die Relation zwischen den Mengen der Objekte der Klassen an. Dabei drückt die *Multiplizität* der Assoziation aus, wie viele Objekte einer Klasse den assoziierten Objekten der anderen Klasse zugeordnet werden. Eine Beziehung zwischen einem Ganzen und seinen Teilen, die sog. *Aggregation*, ist eine Sonderform der Assoziation. Hierarchien zwischen Klassen können mit der *Vererbung* modelliert werden, die eine gerichtete Beziehung zwischen einer generellen und einer spezielleren Klasse ausdrückt. Dabei besitzt die speziellere Klasse alle Merkmale der vererbenden Klasse.

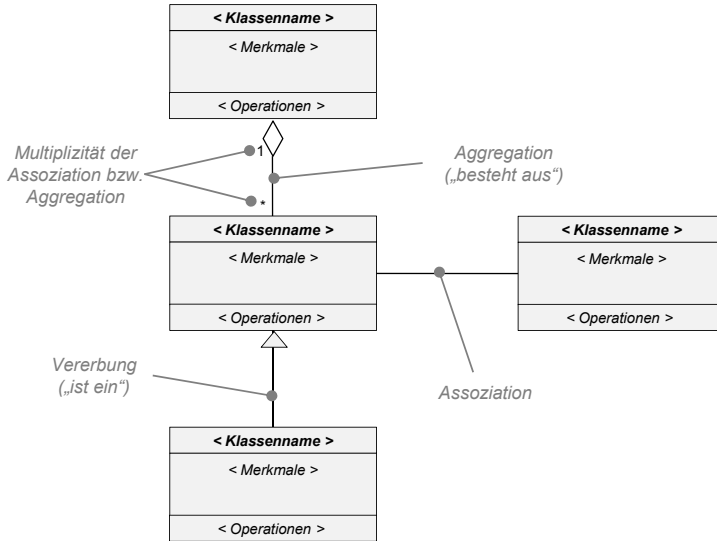


Abbildung 70: Für diese Arbeit wichtigen Notationen eines Klassendiagramms in UML-Schreibweise (in Anlehnung an BALZERT 2010)

## 10.4 Genutzte Softwareprodukte

Microsoft® Office Excel® 2007: Tabellenkalkulation (Microsoft Corporation)

Oracle® Crystal Ball® Version 11.1.1.1.00: Software zur Durchführung der Monte-Carlo-Simulation (Oracle Corporation)

PlantCalc®: Software zur Bewertung von Standorten (Siemens AG)

## 10.5 Genannte Firmen

Microsoft Corporation, 1 Microsoft Way, Redmond, WA 98052, USA

Oracle Corporation, 500 Oracle Parkway, Redwood Shores, CA 94065, USA

Siemens AG, Wittelsbacherplatz 2, 80333 München

# 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, I.*  
Schneiderodierte 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 *Groha, 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 *Heuster, 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 Metallbandsagen  
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 *Wrba, P.*  
Simulation als Werkzeug in der Handhabungstechnik  
1990 · 125 Abb. · 178 Seiten · ISBN 3-540-52231-X
- 26 *Eibelsäuser, 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 *Hartbeiger, H.*  
Wissensbasierte Simulation komplexer Produktionssysteme  
1991 · 58 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-53326-5
- 33 *Tuczek, H.*  
Inspektion von Karosserieteilen auf Risse und Einschnürungen mittels Methoden der Bildverarbeitung  
1992 · 125 Abb. · 179 Seiten · ISBN 3-540-53965-4
- 34 *Fischbacher, J.*  
Planungsstrategien zur stömungstechnischen 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 *Kupac, 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 *Gatz, 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 Programmabkaskens 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 *Schrüfer, 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 rationalen 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 *Glaes, 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 3-540-56890-5
- 62 *Stetter, R.*  
Rechnergestützte Simulationswerkzeuge zur  
Effizienzsteigerung des Industrierobereinsatzes  
1994 · 91 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-56889-1
- 63 *Dirndorfer, 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 *Kummetsteiner, G.*  
3D-Bewegungssimulation als integratives Hilfsmittel zur  
Planung manueller Montagesysteme  
1994 · 62 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-57535-9
- 67 *Kugelman, F.*  
Einsatz nachgiebiger Elemente zur wirtschaftlichen  
Automatisierung von Produktionssystemen  
1993 · 76 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-57549-9
- 68 *Schwarz, H.*  
Simulationsgestützte CAD/CAM-Kopplung für die 3D-  
Laserbearbeitung mit integrierter Sensorik  
1994 · 96 Abb. · 148 Seiten · ISBN 3-540-57577-4
- 69 *Viethen, U.*  
Systematik zum Prüfen in flexiblen Fertigungssystemen  
1994 · 70 Abb. · 142 Seiten · ISBN 3-540-57794-7
- 70 *Seehuber, M.*  
Automatische Inbetriebnahme  
geschwindigkeitsadaptiver Zustandsregler  
1994 · 72 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-57896-X
- 71 *Amann, W.*  
Eine Simulationsumgebung für Planung und Betrieb von  
Produktionssystemen  
1994 · 71 Abb. · 129 Seiten · ISBN 3-540-57924-9
- 72 *Schöpf, M.*  
Rechnergestütztes Projektinformations- und  
Koordinationssystem für das Fertigungsvorfeld  
1997 · 63 Abb. · 130 Seiten · ISBN 3-540-58052-2
- 73 *Welling, A.*  
Effizienter Einsatz bildgebender Sensoren zur  
Flexibilisierung automatisierter Handhabungsvorgänge  
1994 · 66 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-580-0
- 74 *Zetlmayer, H.*  
Verfahren zur simulationsgestützten  
Produktionsregelung in der Einzel- und  
Kleinserienproduktion  
1994 · 62 Abb. · 143 Seiten · ISBN 3-540-58134-0
- 75 *Lindl, M.*  
Auftragsleittechnik für Konstruktion und Arbeitsplanung  
1994 · 66 Abb. · 147 Seiten · ISBN 3-540-58221-5
- 76 *Zipper, B.*  
Das integrierte Betriebsmittelwesen - Baustein einer  
flexiblen Fertigung  
1994 · 64 Abb. · 147 Seiten · ISBN 3-540-58222-3
- 77 *Raith, 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 *Zah, 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 *Romanow, 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 Produktionzellen  
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 *Linner, St.*  
Konzept einer integrierten Produktentwicklung  
1995 · 67 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-59016-1
- 89 *Eder, Th.*  
Integrierte Planung von Informationssystemen für  
rechnergestützte Produktionssysteme  
1995 · 62 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-59084-6
- 90 *Deutsche, U.*  
Prozeßorientierte Organisation der Auftragsentwicklung in  
mittelständischen Unternehmen  
1995 · 80 Abb. · 188 Seiten · ISBN 3-540-59337-3
- 91 *Dieterle, A.*  
Recyclingintegrierte Produktentwicklung  
1995 · 68 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-60120-1

- 92 *Hechl, Chr.*  
**Personalorientierte Montageplanung für komplexe und variantenreiche Produkte**  
 1995 · 73 Abb. · 158 Seiten · ISBN 3-540-60325-5
- 93 *Albertz, F.*  
**Dynamikgerechter Entwurf von Werkzeugmaschinen - Gestellstrukturen**  
 1995 · 83 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-60608-8
- 94 *Trunzer, W.*  
**Strategien zur On-Line Bahnplanung bei Robotern mit 3D-Konturfolgesensoren**  
 1996 · 101 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-60961-X
- 95 *Fichtmüller, N.*  
**Rationalisierung durch flexible, hybride Montagesysteme**  
 1996 · 83 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3-540-60960-1
- 96 *Trucks, V.*  
**Rechnergestützte Beurteilung von Getriebestrukturen in Werkzeugmaschinen**  
 1996 · 64 Abb. · 141 Seiten · ISBN 3-540-60599-8
- 97 *Schäffler, 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 *Krönert, 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 *Lindnermaier, 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 *Debuschwitz, 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 *Prob, E.*  
**Modellgestützte Arbeitsplanung bei Fertigungsmaschinen**  
 1999 · 69 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-65525-5
- 121 *Spitznagel, J.*  
**Erfahrungsgel leitete 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 3-931327-76-0
- 7 **Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen**  
80 Seiten - ISBN 3-931327-77-9
- 8 **Qualitätsmanagement - der Weg ist das 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 **Industrierkeramik 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 **Lasert 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 - Produktivitätsteigerung 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 - Flexibler 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 Mikrobauanteilen**  
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 · Strukturodynamik 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 Kapsel 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 Moßmer, 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 Kugelman, 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 Schöffebacher, 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 Höhn, 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 Teilerstellung**  
 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  
**Ganzheitliche 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 telepräsenster 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 Breiting  
**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 · 87 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 Berlek  
**Methodik zur strukturierten Auswahl von Auftragsabwicklungssystemen**  
 2003 · 244 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0258-1
- 182 Christian Meierlohr  
**Konzept zur rechnergestützten Integration von Produktions- und Gebäudeplanung in der Fabrikgestaltung**  
 2003 · 181 Seiten · 84 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0292-1
- 183 Volker Weber  
**Dynamisches Kostenmanagement in kompetenzzentrierten Unternehmensnetzwerken**  
 2004 · 210 Seiten · 64 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0330-8
- 184 Thomas Bongardt  
**Methode zur Kompensation betriebsabhängiger Einflüsse auf die Absolutgenauigkeit von Industrierobotern**  
 2004 · 170 Seiten · 40 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0332-4
- 185 Tim Angerer  
**Effizienzsteigerung in der automatisierten Montage durch aktive Nutzung mechatronischer Produktkomponenten**  
 2004 · 180 Seiten · 67 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0336-7
- 186 Alexander Krüger  
**Planung und Kapazitätsabstimmung stückzahlflexibler Montagesysteme**  
 2004 · 197 Seiten · 83 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0371-5
- 187 Matthias Meindl  
**Beitrag zur Entwicklung generativer Fertigungsverfahren für das Rapid Manufacturing**  
 2005 · 222 Seiten · 97 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0465-7
- 188 Thomas Fusch  
**Betriebsbegleitende Prozessplanung in der Montage mit Hilfe der Virtuellen Produktion am Beispiel der Automobilindustrie**  
 2005 · 190 Seiten · 99 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0467-3

- 189 Thomas Mosandl  
**Qualitätssteigerung bei automatisiertem Klebstoffauftrag durch den Einsatz optischer Konturfolgesysteme**  
 2005 · 182 Seiten · 58 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0471-1
- 190 Christian Patron  
**Konzept für den Einsatz von Augmented Reality in der Montageplanung**  
 2005 · 150 Seiten · 61 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0474-6
- 191 Robert Cisek  
**Planung und Bewertung von Rekonfigurationsprozessen in Produktionssystemen**  
 2005 · 200 Seiten · 64 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0475-4
- 192 Florian Auer  
**Methode zur Simulation des Laserstrahlschweißens unter Berücksichtigung der Ergebnisse vorangegangener Umformsimulationen**  
 2005 · 160 Seiten · 65 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0485-1
- 193 Carsten Selke  
**Entwicklung von Methoden zur automatischen Simulationsmodellgenerierung**  
 2005 · 137 Seiten · 53 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0495-9
- 194 Markus Seefried  
**Simulation des Prozessschrittes der Wärmebehandlung beim Indirekten-Metall-Lasersintern**  
 2005 · 216 Seiten · 82 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0503-3
- 195 Wolfgang Wagner  
**Fabrikplanung für die standortübergreifende Kostensenkung bei marktnaher Produktion**  
 2006 · 208 Seiten · 43 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0586-6
- 196 Christopher Ulrich  
**Erhöhung des Nutzungsgrades von Laserstrahlquellen durch Mehrfach-Anwendungen**  
 2006 · 178 Seiten · 74 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0590-4
- 197 Johann Härtl  
**Prozessgaseinfluss beim Schweißen mit Hochleistungsdiodenlasern**  
 2006 · 140 Seiten · 55 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0611-0
- 198 Bernd Hartmann  
**Die Bestimmung des Personalbedarfs für den Materialfluss in Abhängigkeit von Produktionsfläche und -menge**  
 2006 · 208 Seiten · 105 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0615-3
- 199 Michael Schilp  
**Auslegung und Gestaltung von Werkzeugen zum berührungslosen Greifen kleiner Bauteile in der Mikromontage**  
 2006 · 130 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0631-5
- 200 Florian Manfred Grätz  
**Teilautomatische Generierung von Stromlauf- und Fluidplänen für mechatronische Systeme**  
 2006 · 192 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0643-9
- 201 Dieter Eireiner  
**Prozessmodelle zur statischen Auslegung von Anlagen für das Friction Stir Welding**  
 2006 · 214 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0650-1
- 202 Gerhard Volkwein  
**Konzept zur effizienten Bereitstellung von Steuerungsfunktionalität für die NC-Simulation**  
 2007 · 192 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0668-9
- 203 Sven Roeren  
**Komplexitätsvariable Einflussgrößen für die bauteilbezogene Struktursimulation thermischer Fertigungsprozesse**  
 2007 · 224 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0680-1
- 204 Henning Rudolf  
**Wissensbasierte Montageplanung in der Digitalen Fabrik am Beispiel der Automobilindustrie**  
 2007 · 200 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0697-9
- 205 Stella Clarke-Griebsch  
**Overcoming the Network Problem in Telepresence Systems with Prediction and Inertia**  
 2007 · 150 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0701-3
- 206 Michael Ehrenstraßer  
**Sensoreinsatz in der telepräsenten Mikromontage**  
 2008 · 160 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0743-3

- 207 Rainer Schack  
**Methodik zur bewertungsorientierten Skalierung der Digitalen Fabrik**  
 2008 · 248 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0748-8
- 208 Wolfgang Sudhoff  
**Methodik zur Bewertung standortübergreifender Mobilität in der Produktion**  
 2008 · 276 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0749-5
- 209 Stefan Müller  
**Methodik für die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen**  
 2008 · 240 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0750-1
- 210 Ulrich Kohler  
**Methodik zur kontinuierlichen und kostenorientierten Planung produktionstechnischer Systeme**  
 2008 · 232 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0753-2
- 211 Klaus Schlickerrieder  
**Methodik zur Prozessoptimierung beim automatisierten elastischen Kleben großflächiger Bauteile**  
 2008 · 204 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0776-1
- 212 Niklas Möller  
**Bestimmung der Wirtschaftlichkeit wandlungsfähiger Produktionssysteme**  
 2008 · 260 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0778-5
- 213 Daniel Siedl  
**Simulation des dynamischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen während Verfahrenbewegungen**  
 2008 · 200 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0779-2
- 214 Dirk Ansorge  
**Auftragsabwicklung in heterogenen Produktionsstrukturen mit spezifischen Planungsfreiräumen**  
 2008 · 146 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0785-3
- 215 Georg Wunsch  
**Methoden für die virtuelle Inbetriebnahme automatisierter Produktionssysteme**  
 2008 · 224 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0795-2
- 216 Thomas Oertli  
**Strukturmechanische Berechnung und Regelungssimulation von Werkzeugmaschinen mit elektromechanischen Vorschubantrieben**  
 2008 · 194 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0798-3
- 217 Bernd Petzold  
**Entwicklung eines Operatorarbeitsplatzes für die telepräsenste Mikromontage**  
 2008 · 234 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0805-8
- 218 Loucas Papadakis  
**Simulation of the Structural Effects of Welded Frame Assemblies in Manufacturing Process Chains**  
 2008 · 260 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0813-3
- 219 Mathias Mörtl  
**Ressourcenplanung in der variantenreichen Fertigung**  
 2008 · 210 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0820-1
- 220 Sebastian Weig  
**Konzept eines integrierten Risikomanagements für die Ablauf- und Strukturgestaltung in Fabrikplanungsprojekten**  
 2008 · 232 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0823-2
- 221 Tobias Hornfeck  
**Laserstrahlbiegen komplexer Aluminiumstrukturen für Anwendungen in der Luftfahrtindustrie**  
 2008 · 150 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0826-3
- 222 Hans Egermeier  
**Entwicklung eines Virtual-Reality-Systems für die Montagesimulation mit kraftrückkoppelnden Handschuhen**  
 2008 · 210 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0833-1
- 223 Matthäus Sigl  
**Ein Beitrag zur Entwicklung des Elektronenstrahlsinterns**  
 2008 · 185 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0841-6



- 224 Mark Harfensteller  
**Eine Methodik zur Entwicklung und Herstellung von Radiumtargets**  
 2009 · 196 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0849-8
- 225 Jochen Werner  
**Methode zur roboterbasierten förderbandsynchronen Fließmontage am Beispiel der Automobilindustrie**  
 2009 · 210 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0857-7
- 226 Florian Hagemann  
**Ein formflexibles Werkzeug für das Rapid Tooling beim Spritzgießen**  
 2009 · 226 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0861-4
- 227 Haitham Rashidy  
**Knowledge-based quality control in manufacturing processes with application to the automotive industry**  
 2009 · 212 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0862-1
- 228 Wolfgang Vogl  
**Eine interaktive räumliche Benutzerschnittstelle für die Programmierung von Industrierobotern**  
 2009 · 200 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0869-0
- 229 Sonja Schedl  
**Integration von Anforderungsmanagement in den mechatronischen Entwicklungsprozess**  
 2009 · 160 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0874-4
- 230 Andreas Trautmann  
**Bifocal Hybrid Laser Welding – A Technology for Welding of Aluminium and Zinc-Coated Steels**  
 2009 · 268 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0876-8
- 231 Patrick Neise  
**Managing Quality and Delivery Reliability of Suppliers by Using Incentives and Simulation Models**  
 2009 · 224 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0878-2
- 232 Christian Habicht  
**Einsatz und Auslegung zeitenfensterbasierter Planungssysteme in überbetrieblichen Wertschöpfungsketten**  
 2009 · 200 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0891-1
- 233 Michael Spitzweg  
**Methode und Konzept für den Einsatz eines physikalischen Modells in der Entwicklung von Produktionsanlagen**  
 2009 · 180 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0931-4
- 234 Ulrich Munzert  
**Bahnplanungsalgorithmen für das robotergestützte Remote-Laserstrahlschweißen**  
 2010 · 176 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0948-2
- 235 Georg Völlner  
**Rührreischweißen mit Schwerlast-Industrierobotern**  
 2010 · 232 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · 978-3-8316-0955-0
- 236 Nils Müller  
**Modell für die Beherrschung und Reduktion von Nachfrageschwankungen**  
 2010 · 270 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · 978-3-8316-0992-5
- 237 Franz Decker  
**Unternehmensspezifische Strukturierung der Produktion als permanente Aufgabe**  
 2010 · 180 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · 978-3-8316-0996-3
- 238 Christian Lau  
**Methodik für eine selbstoptimierende Produktionssteuerung**  
 2010 · 200 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · 978-3-8316-4012-6
- 239 Christoph Rimpau  
**Wissensbasierte Risikobewertung in der Angebotskalkulation für hochgradig individualisierte Produkte**  
 2010 · 200 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · 978-3-8316-4015-7
- 240 Michael Loy  
**Modulare Vibrationswendelförderer zur flexiblen Teilezuführung**  
 2010 · 169 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · 978-3-8316-4027-0
- 241 Andreas Eursch  
**Konzept eines immersiven Assistenzsystems mit Augmented Reality zur Unterstützung manueller Aktivitäten in radioaktiven Produktionsumgebungen**  
 2010 · 205 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · 978-3-8316-4029-4

- 242 Florian Schwarz  
**Simulation der Wechselwirkungen zwischen Prozess und Struktur bei der Drehbearbeitung**  
2010 · 256 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · 978-3-8316-4030-0
- 243 Martin Georg Prasch  
**Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter in die variantenreiche Serienmontage**  
2010 · 261 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · 978-3-8316-4033-1
- 244 Johannes Schilp  
**Adaptive Montagesysteme für hybride Mikrosysteme unter Einsatz von Telepräsenz**  
2011 · 160 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · 978-3-8316-4063-8
- 245 Stefan Lutzmann  
**Beitrag zur Prozessbeherrschung des Elektronenstrahlschmelzens**  
2011 · 222 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · 978-3-8316-4070-6
- 246 Gregor Branner  
**Modellierung transienter Effekte in der Struktursimulation von Schichtbauverfahren**  
2011 · 230 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · 978-3-8316-4071-3
- 247 Josef Ludwig Zimmermann  
**Eine Methodik zur Gestaltung berührungslos arbeitender Handhabungssysteme**  
2011 · 184 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · 978-3-8316-4091-1
- 248 Clemens Pörnbacher  
**Modellgetriebene Entwicklung der Steuerungssoftware automatisierter Fertigungssysteme**  
2011 · 280 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · 978-3-8316-4108-6
- 249 Alexander Lindworsky  
**Teilautomatische Generierung von Simulationsmodellen für den entwicklungsbegleitenden Steuerungstest**  
2011 · 300 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · 978-3-8316-4125-3
- 250 Michael Mauderer  
**Ein Beitrag zur Planung und Entwicklung von rekonfigurierbaren mechatronischen Systemen – am Beispiel von starren Fertigungssystemen**  
2011 · 150 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · 978-3-8316-4126-0
- 251 Roland Mork  
**Qualitätsbewertung und -regelung für die Fertigung von Karosserieteilen in Presswerken auf Basis Neuronaler Netze**  
2011 · 228 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · 978-3-8316-4127-7
- 252 Florian Reichl  
**Methode zum Management der Kooperation von Fabrik- und Technologieplanung**  
2011 · 224 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · 978-3-8316-4128-4
- 253 Paul Gebhard  
**Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen bei Anwendung für das Rührreibschweißen**  
2011 · 220 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · 978-3-8316-4129-1
- 254 Michael Heinz  
**Modellunterstützte Auslegung berührungsloser Ultraschallgreifsysteme für die Mikrosystemtechnik**  
2012 · 220 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · 978-3-8316-4147-5
- 255 Pascal Krebs  
**Bewertung vernetzter Produktionsstandorte unter Berücksichtigung multidimensionaler Unsicherheiten**  
2012 · 230 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · 978-3-8316-4156-7



