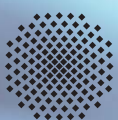


STUTTGARTER BEITRÄGE ZUR PRODUKTIONSFORSCHUNG

ANDREA PRINZ

**Mathematische Modellierung zur Optimierung
der Wertschöpfungsverteilung nach quantita-
tiven und qualitativen Kriterien in Produktions-
netzwerken der diskreten Fertigung**



Universität Stuttgart



Fraunhofer

IPA

STUTTGARTER BEITRÄGE ZUR PRODUKTIONSFORSCHUNG BAND 57

Herausgeber:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Alexander Verl

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

Andrea Prinz

**Mathematische Modellierung zur Optimierung der
Wertschöpfungsverteilung nach quantitativen und
qualitativen Kriterien in Produktionsnetzwerken
der diskreten Fertigung**

FRAUNHOFER VERLAG

Kontaktadresse:

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
Telefon 07 11 9 70-00, Telefax 07 11 9 70-13 99
info@ipa.fraunhofer.de, www.ipa.fraunhofer.de

STUTTGARTER BEITRÄGE ZUR PRODUKTIONSFORSCHUNG**Herausgeber:**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Alexander Verl
Univ.-Prof. a. D. Dr.-Ing. Prof. E.h. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. mult. Engelbert Westkämper

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart
Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart
Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW)
der Universität Stuttgart

Titelbild: © Victoria – Fotolia

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über www.dnb.de abrufbar.

ISSN: 2195-2892

ISBN (Print): 978-3-8396-1078-7

D 93

Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2016

Druck: Mediendienstleistungen des Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB, Stuttgart
Für den Druck des Buches wurde chlor- und säurefreies Papier verwendet.

© by **FRAUNHOFER VERLAG**, 2016

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB
Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
Telefon 07 11 9 70-25 00
Telefax 07 11 9 70-25 08
E-Mail verlag@fraunhofer.de
URL <http://verlag.fraunhofer.de>

Alle Rechte vorbehalten

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften. Soweit in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden ist, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen.

GELEITWORT DER HERAUSGEBER

Produktionswissenschaftliche Forschungsfragen entstehen in der Regel im Anwendungszusammenhang, die Produktionsforschung ist also weitgehend erfahrungsbasiert. Der wissenschaftliche Anspruch der „Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung“ liegt unter anderem darin, Dissertation für Dissertation ein übergreifendes ganzheitliches Theoriegebäude der Produktion zu erstellen.

Die Herausgeber dieser Dissertations-Reihe leiten gemeinsam das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA und jeweils ein Institut der Fakultät für Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik an der Universität Stuttgart.

Die von ihnen betreuten Dissertationen sind der marktorientierten Nachhaltigkeit verpflichtet, ihr Ansatz ist systemisch und interdisziplinär. Die Autoren bearbeiten anspruchsvolle Forschungsfragen im Spannungsfeld zwischen theoretischen Grundlagen und industrieller Anwendung.

Die „Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung“ ersetzt die Reihen „IPA-IAO Forschung und Praxis“ (Hrsg. H.J. Warnecke / H.-J. Bullinger / E. Westkämper / D. Spath) bzw. ISW Forschung und Praxis (Hrsg. G. Stute / G. Pritschow / A. Verl). In den vergangenen Jahrzehnten sind darin über 800 Dissertationen erschienen.

Der Strukturwandel in den Industrien unseres Landes muss auch in der Forschung in einen globalen Zusammenhang gestellt werden. Der reine Fokus auf Erkenntnisgewinn ist zu eindimensional. Die „Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung“ zielen also darauf ab, mittelfristig Lösungen für den Markt anzubieten. Daher konzentrieren sich die Stuttgarter produktionstechnischen Institute auf das Thema ganzheitliche Produktion in den Kernindustrien Deutschlands. Die leitende Forschungsfrage der Arbeiten ist: Wie können wir nachhaltig mit einem hohen Wertschöpfungsanteil in Deutschland für einen globalen Markt produzieren?

Wir wünschen den Autoren, dass ihre „Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung“ in der breiten Fachwelt als substanziell wahrgenommen werden und so die Produktionsforschung weltweit voranbringen.

Alexander Verl

Thomas Bauernhansl

Engelbert Westkämper

**Mathematische Modellierung zur
Optimierung der Wertschöpfungsverteilung nach
quantitativen und qualitativen Kriterien
in Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung**

Von der Fakultät Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik
der Universität Stuttgart
zur Erlangung der Würde einer Doktor-Ingenieurin (Dr.-Ing.)
genehmigte Abhandlung

Vorgelegt von
Dipl.-Math. oec. Andrea Prinz
aus Friedrichshafen

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl

Mitberichter: Prof. (apl.) Dr. rer. nat. Dirk
Hachenberger

Tag der mündlichen Prüfung: 5. April 2016

Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb
der Universität Stuttgart

2016

Vorwort des Autors

Am Ende eines spannenden, aber auch fordernden Lebensabschnitts möchte ich zurückschauen und denjenigen danken, die das Entstehen der vorliegenden Arbeit ermöglicht bzw. mich auf diesem Weg begleitet haben.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung IPA in Stuttgart sowie des Instituts für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart, für seine wohlwollende Unterstützung und Förderung meiner wissenschaftlichen Arbeit sowie die intensive Betreuung als Hauptberichter. Herrn Prof. (apl.) Dr. rer. nat. Dirk Hachenberger vom Lehrstuhl für Diskrete Mathematik, Optimierung und Operations Research der Universität Augsburg danke ich für sein Interesse an meinem Thema, für den wertvollen Austausch und die intensive Auseinandersetzung mit meiner Arbeit – insbesondere mit dem mathematischen Teil – sowie die Übernahme des Mitberichts.

Auch wenn ich mir – so wie bestimmt jeder andere Promovierende – auf diesem Weg manchmal alleine vorkam, Ihr ward immer für mich da:

- Jörg Mandel: ohne Dich würde es diese Arbeit nicht geben. Danke, dass Du mich am Fraunhofer eingestellt, hartnäckig immer wieder das Thema Promotion auf den Tisch gebracht und unzählige Stunden mir, meinem Thema und meiner Arbeit gewidmet hast: vielen Dank für die mehrfache Durchsicht meiner Arbeit, die Kritik, fachlichen Diskussionen und Verbesserungsvorschläge, für Dein Verständnis, die antreibenden Worte und Motivation und für all die guten Ratschläge.
- Frank Zwißler: ohne Deine Sticheleien wäre diese Arbeit definitiv noch nicht fertig. Danke, dass Du mich in jeder Hinsicht forderst, förderst, mir Freiräume schaffst und dabei noch Dein Leben mit mir teilst.
- Silvie, Steffi, Peter, Micha, Kai, Markus, Marcus, Eike, Patrik, Sylvia, Eduardo und Ihr vielen IPA-Freunde: Danke für die schöne Zeit am und außerhalb des IPAs mit spannenden Projekten, tiefgehenden wissenschaftlichen und nicht-wissenschaftlichen Gesprächen sowie zahlreichen Aktivitäten. Ohne Euch wäre ich nicht so lange und gerne am IPA geblieben.

-
- Projektpartner, Projekt-Kollegen und -Studenten, Eduardo Colangelo und IPA-Bibliothek: vielen Dank für den vertrauensvollen und intensiven Austausch, den wertvollen Input und Eure tatkräftige Unterstützung!
 - Cathrin, Tiana und Sarah: Danke, dass Ihr in den schwarzen Momenten für mich da ward, und mich zu einem positiven Menschen mit Zielen werden habt lasst! Ohne Euch wäre das Leben nur halb so schön.
 - Svea, Simi und Michi: Danke für die sportlichen und nächtlichen Ablenkmanöver.
 - Christian Prinz: Danke, dass Du mir selbstlos den Rücken frei gehalten hast und für mich da warst, als ich Dich am dringendsten gebraucht habe. Ohne Dich wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.
 - Mama und Papa: Danke, dass Ihr mich gerade in den schwierigsten Zeiten in meinen Träumen besucht und – trotz der unüberwindlichen Entfernung – da seid. Trotzdem fehlt Ihr mir so oft!

Stuttgart, im Juni 2016

Andrea Prinz

Kurzzinhalt

Durch die Internationalisierung entstehen im Laufe der Zeit meist komplexe Produktionsnetzwerke, die – ganzheitlich betrachtet – in der Regel unvorteilhaft fragmentiert sind. Unternehmen stehen daher aktuell vor der Herausforderung, ihre bestehenden Strukturen zu optimieren und darüber Wettbewerbsvorteile zu erzielen. Die Optimierung ist derzeit von kostenbasiertem Entscheidungsverhalten und entsprechenden Methoden geprägt. Qualitative Kriterien werden nicht oder nicht in hinreichender Weise berücksichtigt. Dies führt oft zu Fehlentscheidungen, die die Unternehmensexistenz gefährden können.

Zielsetzung dieser Arbeit ist die Bereitstellung einer Methode, die die Wertschöpfungsverteilung integriert nach quantitativen und qualitativen Kriterien in bestehenden Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung optimiert.

Dies wird durch den Einsatz der multikriteriellen Optimierung erreicht. Zentrales Element des entwickelten Ansatzes ist eine gemischt-ganzzahlige lineare mathematische Modellierung, die eine integrierte Optimierung nach Kosten, Erfolgspositionen und Risiken zulässt. Die Erzeugung einer optimalen Lösung erfolgt durch softwaretechnische Umsetzung. Basis der Modellierung bildet eine Logik zur Abbildung der Realität. Dort werden Innovationen im Bereich der umfassenden und flexiblen Berücksichtigung von Netzwerkpartnern, von Wertschöpfung und qualitativen Kriterien erzielt. Eine Implementierung in Form einer grafischen Oberfläche unterstützt die Abbildung der Realität. Zur einfachen und aufwandsarmen Anwendung der mathematischen Optimierung wird eine Methode zur Verfügung gestellt, die Sensitivitätsanalysen beinhaltet.

Die Erprobung des entwickelten Ansatzes innerhalb von Fallbeispielen aus der Automobilzulieferindustrie und dem Maschinenbau zeigt die Funktionsfähigkeit. Unternehmen werden befähigt, nachhaltige Entscheidungen hinsichtlich ihrer Wertschöpfungsverteilung zu treffen und damit ihre Wettbewerbsfähigkeit zu steigern und Unternehmensexistenzen zu sichern.

Short summary

Internationalization has created complex production networks, which, for the most part, have evolved over many years, and, taken as a whole, are usually inconveniently fragmented. Therefore, the challenge that companies are faced with at the moment is to optimize existing structures to gain competitive advantages. Current optimization efforts are dominated by cost-based methods and decision-making behavior. Qualitative criteria, however, are not or insufficiently taken into account. Often, this results in wrong decisions which may threaten the existence of a company.

The aim of this work is to provide a method which optimizes the distribution of value-added activities in existing discrete production networks in an integrated manner according to quantitative and qualitative criteria.

This is achieved by a multi-criteria optimization approach. First and foremost, the developed method is based on mixed-integer linear mathematical modeling. It allows for integrated optimization according to costs, success factors, and risks. A software program helps to generate the optimal solution. The modeling technique is based on a specific logic for representing reality. The innovative aspect of this logic is that network partners, value added, and qualitative criteria are considered in a comprehensive and flexible manner. The representation of reality is supported by a graphical user interface. To handle the mathematical optimization procedure in a simple and efficient way, a method is offered which includes sensitivity analyses.

The developed approach has been tested in case studies within the automotive supply and the mechanical engineering industry, demonstrating its usefulness. Companies are empowered to make sustainable choices concerning the distribution of value-added activities and thus enabled to increase their competitiveness and ensure business continuity.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	xv
Abbildungsverzeichnis	xviii
Tabellenverzeichnis	xxi
1. Einleitung	1
1.1. Ausgangssituation	1
1.2. Problemstellung	3
1.3. Zielsetzung und Forschungsfragen	7
1.4. Wissenschaftstheoretische Positionierung und Forschungskonzeption	9
1.5. Aufbau der Arbeit	15
2. Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung	18
2.1. Diskrete Fertigung	18
2.1.1. Der Begriff der diskreten Fertigung	18
2.1.2. Typologien der Fertigung	19
2.1.3. Eingrenzung und Beschreibung der Anwendungsdimension der diskreten Fertigung	21
2.2. Produktionsnetzwerke	22
2.2.1. Der Begriff des Netzwerks	22
2.2.2. Der Begriff des Produktionsnetzwerks	24
2.2.3. Morphologie von Produktionsnetzwerken	25
2.2.4. Eingrenzung und Beschreibung des Gestaltungsbereichs Produktionsnetzwerk	26
2.3. Wertschöpfungsverteilung	29
2.3.1. Der Begriff der Wertschöpfung	29
2.3.2. Die Aufgabenstellung der Wertschöpfungsverteilung	30
2.3.3. Eingrenzung und Beschreibung des Gestaltungsbereichs zur Wertschöpfungsverteilung	33
2.4. Anforderungen an eine Wertschöpfungsverteilung	34

2.5. Das Paradigma des sozio-technischen Systems	36
2.5.1. Der Begriff des sozio-technischen Systems	36
2.5.2. Bedeutung für die Aufgabe der Wertschöpfungsverteilung	37
3. Quantitative und qualitative Kriterien zur Wertschöpfungsverteilung	39
3.1. Der Begriff der Kriterien zur Wertschöpfungsverteilung	39
3.2. Eingrenzung und Beschreibung des Betrachtungsbereichs von Gestaltungskriterien	41
3.3. Anforderungen an eine Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken hinsichtlich der Gestaltungskriterien	44
3.4. Gestaltungskriterien aus Ansätzen zur Wertschöpfungsverteilung	45
3.5. Gestaltungskriterien der Standortplanung und des Risikomanagements	52
3.5.1. Standortfaktoren aus der Standortplanung	52
3.5.2. Risiken aus dem Risikomanagement	56
3.6. Defizitbewertung	59
4. Modellierung und Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien	61
4.1. Die Begriffe der Optimierung und der Modellierung	61
4.2. Anforderungen an die Modellierung und Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien	63
4.3. Modellierung im Kontext der Wertschöpfungsverteilung	64
4.4. Methoden der Optimierung	70
4.5. Das Paradigma der multikriteriellen Optimierung	73
4.5.1. Das multikriterielle Optimierungsproblem	73
4.5.2. Das multikriterielle Optimierungsmodell	74
4.5.3. Methoden der multikriteriellen Optimierung	75
4.5.4. Methodenwahl	77
4.6. Ansätze zur Begegnung von Unsicherheit und Dynamik	78
5. Reflexion bestehender Ansätze	81
5.1. Anforderungen an Ansätze zur Wertschöpfungsverteilung nach quantitativen und qualitativen Kriterien	81
5.2. Ansätze zur Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken nach quantitativen und qualitativen Kriterien	82
5.2.1. Vorgehensmodelle und Bewertungsansätze	83
5.2.2. Multikriterielle Entscheidungsverfahren und Optimierungsmethoden	86
5.2.3. Multikriterielle Optimierungsmodelle	88
5.3. Defizitbewertung und Fazit	91

6. Lösungsansatz und -entwicklung	94
6.1. Lösungsansatz	94
6.2. Vorgehen bei der Entwicklung	97
7. Modelle der Wertschöpfungsverteilung, für Gestaltungskriterien sowie zur Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien	102
7.1. Modell der Wertschöpfungsverteilung	102
7.1.1. Logik zur Abbildung der Wertschöpfungsverteilung	102
7.1.2. Mathematische Modellierung der Wertschöpfungsverteilung	111
7.1.3. Implementierung des Modells der Wertschöpfungsverteilung	123
7.2. Modell für Gestaltungskriterien der Wertschöpfungsverteilung	125
7.2.1. Logik zur Abbildung von Gestaltungskriterien	125
7.2.2. Mathematische Modellierung von Gestaltungskriterien	137
7.2.3. Implementierung des Modells für Gestaltungskriterien	143
7.3. Modell zur Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien	145
7.3.1. Logik zur Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien	145
7.3.2. Mathematische Modellierung zur Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien	148
7.3.3. Implementierung des Modells zur Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien	150
8. Optimierung der Wertschöpfungsverteilung nach quantitativen und qualitativen Kriterien	154
8.1. Modelle zur Optimierung der Wertschöpfungsverteilung nach quantitativen und qualitativen Kriterien in Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung	154
8.1.1. Logik zur Abbildung	154
8.1.2. Mathematische Modellierung	156
8.1.3. Implementierung	160
8.2. Methode zur Anwendung der Optimierungsmodelle	162
8.2.1. Vorgehen zur Datenaufnahme	162
8.2.2. Vorgehen zur Optimierung	177
8.2.3. Vorgehen zur Entscheidungsfindung	180
8.2.4. Implementierung einer grafischen Benutzeroberfläche	184
9. Fallbeispiele zur Anwendung und kritischen Reflexion	187
9.1. Fallbeispiel aus der Automobilzulieferindustrie	188
9.1.1. Datenaufnahme	188
9.1.2. Optimierung	195
9.1.3. Entscheidungsfindung	196

9.2. Fallbeispiel aus dem Maschinenbau	197
9.2.1. Datenaufnahme	198
9.2.2. Optimierung	206
9.2.3. Entscheidungsfindung	208
9.3. Reflexion der mathematischen Modellierung	210
10. Zusammenfassung und Ausblick	212
A. Symbolverzeichnis der verwendeten Variablen und Parameter	215
B. Einordnung von Wertschöpfung in die Struktur von Produktionsnetzwerken	221
C. Einordnung quantitativer und qualitativer Gestaltungskriterien als Erfolgsposition bzw. Risiko	224
D. Zuordnung quantitativer und qualitativer Kriterien zu Aktivitäten der Wertschöpfung	235
Literaturverzeichnis	249

Abkürzungsverzeichnis

AiF	Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e. V.
AM	Absatzmarkt
BCG	Boston Consulting Group
BG	Baugruppe
BM	Beschaffungsmarkt
BVL	Bundesvereinigung Logistik e. V.
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
CPLEX	In der C Programmiersprache implementierter SimPLEX Algorithmus
D	Deutschland
EM	Endmontage
ERP	Enterprise Resource Planning
Fraunhofer IPA	Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA
FuE	Forschung und Entwicklung
GATT	General Agreement on Tariffs and Trade
GB	Großbritannien
ggf.	gegebenenfalls
IBM	International Business Machines Corporation
IGF	Industriellen Gemeinschaftsforschung
ILOG	Intelligence Logiciel

MADM	Multiple Attribute Decision Making
max	maximiere
min	minimiere
MODM	Multiple Objective Decision Making
MV	Magnetventil
NetPlAn	Netzwerk-Planung und -Analyse
OEM	Original equipment manufacturer
OPL	Optimization Programming Language
OR	Operations Research
P	Periode
Per.	Periode
PM	Produktionsmenge
Prod	Produktion
Prod.fam.	Produktfamilie
PROMETHEE	Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations
RdW	Rest der Welt
RiWeKo-Net	Risiko-Werte-Kosten-optimales Produktions-Logistik-Netzwerk
RWTH Aachen	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
spr.fix	sprungfix
Stk	Stück
STO	Standort
technolog.	technologisch
v. a.	vor allem
var.	variabel
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
vgl.	vergleiche
xvi	

VM	Vormontage
Wettbew.	Wettbewerb
WSS	Wertschöpfungsstufe
WSV	Wertschöpfungsverteilung
WZL	Werkzeugmaschinenlabor
Zusamm.bau	Zusammenbau

Abbildungsverzeichnis

1.1.	Evolution der Gestaltung von Produktionsnetzwerken in Anlehnung an Abele, Kluge et al. (2006, S. 7)	1
1.2.	Motive für Rückverlagerungen (Zanker, Kinkel et al. 2013, S. 10)	5
1.3.	Entdeckungszusammenhang der vorliegenden Arbeit	10
1.4.	Wissenschaftstheoretische Einordnung der Paradigmen	11
1.5.	Wissenschaftstheoretische Einordnung der Arbeit in Anlehnung an Ulrich und Hill (1976a, S. 305)	12
1.6.	Forschungsmethodisches Vorgehen in Anlehnung an Kubicek (1977, S. 14)	13
1.7.	Erster Entwurf des heuristischen Bezugsrahmens	14
1.8.	Phasen angewandter Forschung (vgl. Ulrich (2001, S. 195)) und Aufbau der Arbeit	16
2.1.	Anwendungsdimension der diskreten Fertigung dieser Arbeit	22
2.2.	Intraorganisationale Netzwerkstrukturen nach Bartlett (1986) (Kutschker und Schmid 2011, S. 300)	23
2.3.	Morphologie von Produktionsnetzwerken	26
2.4.	Gestaltungsbereich Produktionsnetzwerk dieser Arbeit	27
2.5.	Gestaltungsbereich Produktionsnetzwerk dieser Arbeit in Anlehnung an Kutschker und Schmid (2011, S. 546)	28
2.6.	Umfang des Begriffs Wertschöpfung nach Porter (1999, S. 95) und Günther (2008, S. 173)	30
2.7.	Betrachtungsebenen von Produktionsnetzwerken	31
2.8.	Einordnung der Wertschöpfungsverteilung in die Netzwerkstrukturplanung	32
4.1.	Defizitbewertung von Modelltypen	68
4.2.	Defizitbewertung von Methoden der Optimierung aggregiert in Kategorien	72
4.3.	Defizitbewertung von Methoden der Optimierung	77
4.4.	Szenario-Trichter (Ude 2010, S. 42)	79
5.1.	Anforderungen an eine Optimierung der Wertschöpfungsverteilung nach quantitativen und qualitativen Kriterien in Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung	82

5.2.	Defizitbewertung bestehender Ansätze zur Wertschöpfungsverteilung	92
6.1.	Konzept des Lösungsansatzes zur Wertschöpfungsverteilung	95
6.2.	Grundlegendes Vorgehen bei der Entwicklung	97
6.3.	Schematische Darstellung des Modellierungszyklus mit mathematischer Modellbildung in Anlehnung an Struckmeier (2010, S. 6) und Eck, Garcke et al. (2011, S. 1-3)	99
6.4.	Vorgehen bei der Entwicklung mit daraus resultierender Struktur der folgenden Kapitel	100
7.1.	Umfassendes Verständnis von Wertschöpfung in Anlehnung an Porter (1999, S. 95ff) und Günther (2008, S. 173ff)	104
7.2.	Logik zur Abbildung intraorganisationaler Strukturen	106
7.3.	Logik zur Abbildung von Daten intraorganisationaler Strukturen	107
7.4.	Logik zur Abbildung interorganisationaler Beziehungen	109
7.5.	Verständnis von Wertschöpfung in Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung	110
7.6.	Veranschaulichung der Standortkapazität	118
7.7.	Vorgaben der Absatzmärkte an die Kapazität einer Wertschöpfungsstufe	119
7.8.	Architektur zur Implementierung des Modells zur Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken	124
7.9.	Logik zur Abbildung quantitativer und qualitativer Gestaltungskriterien	127
7.10.	Logik zur Abbildung der Güte einer Wertschöpfungsverteilung	128
7.11.	Berücksichtigung verschiedener Unternehmensstrategien	129
7.12.	Logik zur Einordnung qualitativer Kriterien als Erfolgsposition bzw. Risiko . .	133
7.13.	Verlauf sprungfixer Kosten	139
7.14.	Architektur zur Implementierung des Modells für Gestaltungskriterien	144
7.15.	Logik zur Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien	146
7.16.	Architektur zur Implementierung des Modells zur Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien	153
8.1.	Logik zur Abbildung der Gesamtzusammenhänge bei der Wertschöpfungsverteilung	155
8.2.	Implementierte Modellierung zur Wertschöpfungsverteilung nach quantitativen und qualitativen Kriterien	161
8.3.	Vorgehen bei der Datenaufnahme zur Abbildung der Wertschöpfungsverteilung im Produktionsnetzwerk	162
8.4.	Vorgehen zur Identifikation von Wertschöpfungsstufen	163
8.5.	Fallunterscheidung zur geografischen Bündelung von Märkten	165

8.6.	Vorgehen zur Datenaufnahme von Gestaltungskriterien der Wertschöpfungsverteilung	168
8.7.	Steckbriefvorlage eines qualitativen Kriteriums des Objekttyps Wertschöpfungs-Standort-Kombination	172
8.8.	Konzeption von Szenarien für einen unsicheren Datensatz	175
8.9.	Vorgehen bei der Optimierung	177
8.10.	Entscheidungsvorlage	182
8.11.	Prozess der Entscheidungsfindung	183
8.12.	Benutzeroberfläche zur Abbildung des Produktionsnetzwerks und seiner Wertschöpfungsverteilung	185
8.13.	Screenshot der Benutzeroberfläche zur Datenaufnahme und Ergebnisvisualisierung mit vergrößertem Netzwerkobjekt	186
9.1.	Repräsentation der Anwendungsdimension <i>diskrete Fertigung</i> durch die ausgewählten Fallbeispiele	187
9.2.	Prozessbild zur Identifikation von Wertschöpfungsstufen – Fallbeispiel Automobilindustrie	189
9.3.	Ist-Situation der Wertschöpfungsverteilung – Fallbeispiel Automobilindustrie	190
9.4.	Ergebnis der Datenaufnahme zur Abbildung des Produktionsnetzwerks und seiner Wertschöpfungsverteilung – Fallbeispiel Automobilindustrie	191
9.5.	Ergebnis der Datenaufnahme von Gestaltungskriterien für die Ausgangssituation – Fallbeispiel Automobilindustrie	194
9.6.	Optimale Wertschöpfungsverteilung – Fallbeispiel Automobilindustrie	196
9.7.	Prozessbild zur Identifikation von Wertschöpfungsstufen – Fallbeispiel Maschinenbau	198
9.8.	Ist-Situation der Wertschöpfungsverteilung im Produktionsnetzwerk – Fallbeispiel Maschinenbau	199
9.9.	Prozessbilder <i>Magnetventile</i> der vom Unternehmen vorgegebenen Szenarien zur Identifikation von Wertschöpfungsstufen – Fallbeispiel Maschinenbau	200
9.10.	Ist-Situation und Ergebnis der Datenaufnahme zur Abbildung der Wertschöpfungsverteilung Magnetventile – Fallbeispiel Maschinenbau	201
9.11.	Ergebnis der Datenaufnahme – Fallbeispiel Maschinenbau	204
B.1.	Verständnis von Wertschöpfung in Produktionsnetzwerken diskreter Fertigung	222

Tabellenverzeichnis

1.1.	Zielsetzung der Arbeit in Anlehnung an Bauernhansl (2002, S. 10)	7
3.1.	Einordnung des Betrachtungsbereichs Gestaltungskriterien	43
3.2.	Gestaltungskriterien der Konfiguration globaler Wertschöpfungsnetzwerke (vgl. Ude (2010, S. XXXII-XXXIII))	45
3.3.	Gestaltungskriterien des Global Supply Chain Designs (vgl. Kohler (2008, S.40-59))	46
3.4.	Wandlungstreiber der strategischen Planung globaler Produktionsnetzwerke (vgl. Moser (2014, S. 91))	47
3.5.	Gestaltungskriterien der benchmarkbasierten Netzwerkoptimierung (vgl. Ebensperger und Vogel (2012, S. 1f))	47
3.6.	Gestaltungskriterien des strategischen Managements globaler Produktionsnetzwerke (vgl. Friedli, Heinzen et al. (2011, S. 611))	48
3.7.	Gestaltungskriterien globaler Produktionsstrategien (vgl. Schmidt (2011, S. 78-80))	49
3.8.	Gestaltungskriterien der Produktionsstufen- und Logistikgestaltung (vgl. Nyhuis und Drochelmann (2008, S. 124-163))	49
3.9.	Gestaltungskriterien aus Ansätzen zur Wertschöpfungsverteilung	51
3.10.	Standortfaktoren der Standortplanung	55
3.11.	Risikokriterien des Risikomanagements	58
7.1.	Kostenmodell zur Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken	130
7.2.	Überprüfung des Kostenmodells auf Vollständigkeit	131
7.3.	Modell qualitativer Kriterien zur Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken – Teil 1	135
7.4.	Modell qualitativer Kriterien zur Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken – Teil 2	136
8.1.	Potenzielle Eingabeszenarien der Sensitivitätsanalysen	176
9.1.	Kostenmodell – Fallbeispiel Automobilindustrie	192
9.2.	Relevante qualitative Kriterien – Fallbeispiel Automobilindustrie	193

9.3.	Identifikation relevanter qualitativer Kriterien – Fallbeispiel Maschinenbau . . .	203
9.4.	Datensätze der Sensitivitätsanalyse sowie der vom Unternehmen vorgegebenen Szenarien – Fallbeispiel Maschinenbau	205
C.1.	Matrix zur Einordnung quantitativer und qualitativer Gestaltungskriterien . . .	224
D.1.	Zuordnung qualitativer Kriterien der Wertschöpfungs-Standort-Kombinationen zu den Wertschöpfungsaktivitäten	238
D.2.	Zuordnung qualitativer Kriterien interner Interdependenzen zu den Wertschöpfungsaktivitäten	241
D.3.	Zuordnung qualitativer Kriterien der Interdependenzen vom Beschaffungsmarkt zu den Wertschöpfungsaktivitäten	244
D.4.	Zuordnung qualitativer Kriterien der Interdependenzen zum Absatzmarkt zu den Wertschöpfungsaktivitäten	247

1. Einleitung

1.1. Ausgangssituation

Unternehmen sind seit Jahrzehnten mit verschiedenen Wellen der Internationalisierung konfrontiert (Prinz und Bauernhansl 2014, S. 61), (Berger 2002, S. 21), (Krystek und Zur 2002, S. 21), die sich auf unterschiedliche Weise auf die Struktur des Produktionsnetzwerks auswirken (vgl. Abbildung 1.1).

Ausgelöst durch das Inkrafttreten des „General Agreement on Tariffs and Trade“ (GATT) 1948 (Welfens 2005, S. 642f) und die dadurch in Gang gebrachte Liberalisierung der Außenwirtschaftsbeziehungen zahlreicher Länder stieg vor allem seit den 70er Jahren der internationale Handel massiv an (Bundeszentrale für politische Bildung 2013, S. 2). Gleichzeitig wurden erste Direktinvestitionen getätigt (Bundeszentrale für politische Bildung 2009a, S. 44), die global verteilte autonome Produktionsstätten zur Folge hatten. In den 1980er und 90er Jahren ermöglichten der technologische Fortschritt (Kutschker und Schmid 2011, S. 193) und die stark sinkenden Rohölpreise (Bundeszentrale für politische Bildung 2009b, S. 6) Verlagerungen von ausgewählten Prozessschritten der Produktion (Gundlach 2011, S. 10). Im Fokus stand die Sen-

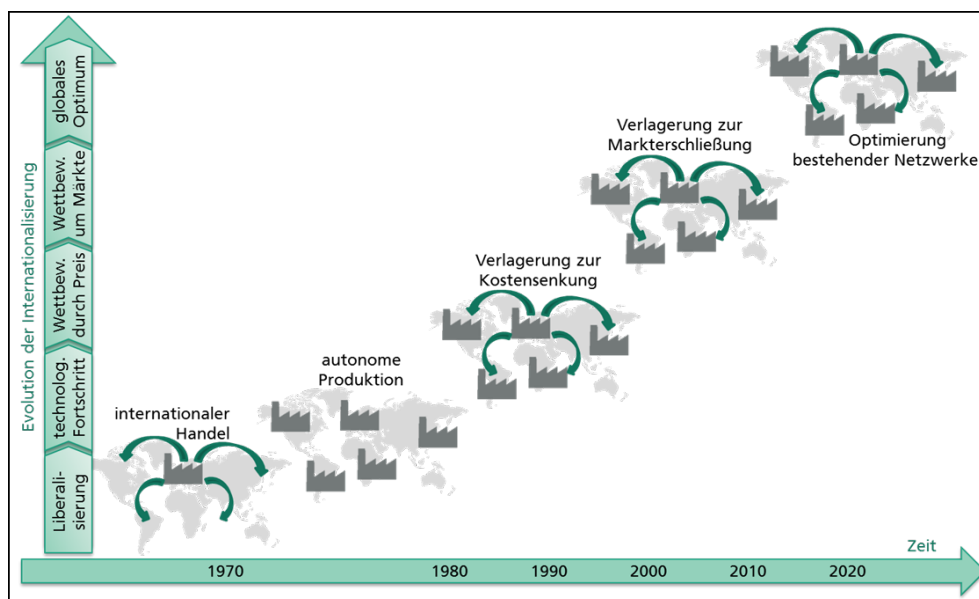


Abbildung 1.1.: Evolution der Gestaltung von Produktionsnetzwerken in Anlehnung an Abele, Kluge et al. (2006, S. 7)

kung der Produktionskosten durch niedrige Löhne und Gehälter. Diese Internationalisierungsentwicklungen mündeten in einer verschärften Wettbewerbssituation (Porter 1989, S. 18f), die sich v. a. auf zwei Weisen äußerte: Zum einen forderte der Markt die Produktion „vor Ort“, so dass bestehende Fabriken zugekauft oder neue Produktionsstandorte eigenständig aufgebaut wurden. Zum anderen intensivierte sich der Kostendruck, dem mit der kompletten oder teilweisen Verlagerung von Wertschöpfungsprozessen in Low-Cost Countries begegnet wurde (Spindelndreier, Bauernhansl et al. 2015, S. 6), (Lanza und Moser 2012, S. 291). Durch diese Verlagerungen, Akquisitionen und Neuaufbauten wuchsen die Produktionsnetzwerke zu globalen und komplexen Gebilden (Lanza und Moser 2012, S. 291), (Friedli, Heinzen et al. 2011, S. 610). In solchen Strukturen operieren knapp ein Drittel der im Ausland aktiven deutschen Unternehmen (Treier, Nothnagel et al. 2012, S. 4).

Trotz der klar verfolgten Motive der Markterschließung sowie der Kostenreduktion wurde die Struktur in den wenigsten Fällen langfristig strategisch und mit Blick auf das gesamte Netzwerk geplant (Spindelndreier, Bauernhansl et al. 2015, S. 13), (Jacob 2006, S. 6). Zusätzlich wurden Entscheidungen von Nachahmeverhalten, Bauchgefühl und persönlichem Machtstreben der Manager beeinflusst (Moser 2014, S. 3), (Horváth, Zahn et al. 2007, S. 22). Gelegenheiten zur Akquisition eines Unternehmens sowie zur Standortgründung auf einer zum Angebot stehenden Fläche wurden ohne fundierte Vergleichsrechnungen ergriffen (Abele, Kluge et al. 2006, S. 27). Insbesondere für die Automobilzulieferindustrie war es selbstverständlich, dem Wunsch eines Herstellers nach der Nähe seiner Zulieferer zum Montagewerk mit Inbetriebnahme eines zusätzlichen Produktionsstandorts nachzukommen (Spindelndreier, Bauernhansl et al. 2015, S. 6). Auf diese Weise entstanden in aneinandergereihten Einzelentscheidungen historisch gewachsene Netzwerkstrukturen, die ganzheitlich betrachtet unvorteilhaft fragmentiert sind (Schmidt 2011, S. 75), (Abele, Kluge et al. 2006, S. 1), (Jacob 2006, S. 6). Beispielsweise können sich kostspielige Überkapazitäten (Gleich 2013, S. 159) oder eine erhöhte Verwundbarkeit bzw. verringerte Widerstandsfähigkeit des Netzwerks (Hohrath 2013, S. 4) ergeben. In den letzten fünf Jahren nahmen Standortverlagerungen in ihrer Häufigkeit ab (Zanker, Kinkel et al. 2013, S. 5), (Bronner und Förderl-Schmid 2014), und haben den niedrigsten Stand seit Beginn ihrer Messung erreicht (Zanker, Kinkel et al. 2013, S. 5). Unternehmen konzentrieren sich vermehrt auf ihr internes Produktionsnetzwerk und versuchen Potenziale aus der Optimierung dieser internen Strukturen zu schöpfen (Kinkel und Maloca 2009, S. 1, 3), (Prinz und Bauernhansl 2013, S. 103).

Dies spiegelt sich auch in den Medien wider. Meldungen über Veränderungen am bereits bestehenden Produktionsnetzwerk dominieren die Schlagzeilen. Daimler beispielsweise investiert über eine Milliarde Euro in das bereits bestehende Werk in Bremen (Daimler 2014). Dort wird die Produktion der C-Klasse als weltweites Kompetenzzentrum ausgebaut (Daimler 2014). Hiermit geht die Verlagerung der C-Klassen-Produktion von Sindelfingen nach Bremen einher (Pretzlaff 2014). Sindelfingen hingegen übernimmt die Montage des SL (Tagesschau 2012). Die

ALNO-Gruppe verlagert die Produktion von Küchen der Marke Piatti von der Schweiz an den Hauptsitz in Pfullendorf. Die Standorte in der Schweiz konzentrieren sich auf die Produktion von Stahlküchen (Schulze-Ferebee 2014). Der Glashersteller Schott zentralisiert einen Teil der Produktion von optischem Glas an seinem Stammsitz in Mainz. Davon betroffen ist der Standort Duryea in den USA, an dem dieser Teil der Produktion abgezogen wird. Die Produktion von Laserglas, Infrarot-Glas und anderen spezifischen optischen Gläsern bleibt dort bestehen (Ruggiero 2014). Caterpillar bündelt die Produktion von Schiffsmotoren an seinen Standorten in Rostock und China. Dazu wird die Motorenproduktion am Standort Kiel eingestellt, der dennoch „das weltweite Kompetenzzentrum [...] für Schiffsmotoren und Motoren für den Einsatz im Bereich Ölförderung“ mit Gießerei und Komponentenfertigung bleibt (Genoux 2014). Ebenso prüfte Ford die Verlagerung eines Teils der Produktion des Ford Fiesta von Köln an einen bereits bestehenden Standort in Rumänien (Kobylka 2014), entschied sich allerdings gegen diese Veränderung (Meyenburg 2014). Grundsätzlich ist zu erkennen, dass alle Branchen und Unternehmensgrößen betroffen sind.

Auch bei zukünftigen Investitionsentscheidungen wird eine Weiterführung des Trends der Zurückhaltung in der geografischen Ausbreitung erwartet (Zanker, Kinkel et al. 2013, S. 11). Wettbewerbsvorteile können vielmehr innerhalb des bestehenden Netzwerks realisiert werden (Spindelndreier, Bauernhansl et al. 2015, S. 12), so dass die Fragestellung der Optimierung der bereits bestehenden Netzwerkstrukturen durch die optimale Verteilung der Wertschöpfung an Bedeutung gewinnt (Spindelndreier, Bauernhansl et al. 2015, S. 10), (Abdul Rahman, Schatz et al. 2013, S. 656). Derzeit „verschenken [Unternehmen] im weltweiten Wettbewerb erhebliche Potenziale“ (Abele, Kluge et al. 2006, S. 1), (Spindelndreier, Bauernhansl et al. 2015, S. 10). Mögliche Einsparpotenziale durch die optimale Gestaltung des Produktionsnetzwerks werden auf bis zu 45 % geschätzt – bei einer derzeitigen Realisierung von weniger als 10 % (Friedli, Heinzen et al. 2011, S. 610). Daher stellt die optimale Ausrichtung des Produktionsnetzwerks einen bedeutenden Wettbewerbsvorteil dar (Abdul Rahman, Schatz et al. 2013, S. 656). Die Gestaltung effizienter globaler Wertschöpfungsstrukturen wird als wesentliche Kompetenz produzierender Unternehmen gesehen (Moser 2014, S. 3), (Abele, Kluge et al. 2006, S. 1).

1.2. Problemstellung

Die Optimierung der Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken birgt potenzielle Fehlentscheidungen in sich (Schmidt 2011, S. 71, 73), (Prinz und Bauernhansl 2015, S. 112). Dies ist keine Seltenheit, wie die hohe Anzahl an gescheiterten Verlagerungen zeigt (Zanker, Kinkel et al. 2013, S. 6), die unternehmensinterne Verlagerungen von Wertschöpfungsprozessen beinhalten. 10 % der Betriebe holen den verlagerten Teil der Produktion bereits nach etwa 2 bis 2,5 Jahren wieder zurück; 17 % nach etwa 4,5 Jahren (Kinkel, Maloca et al. 2009, S. 15). Damit wird jede vierte bis fünfte Verlagerung innerhalb von fünf Jahren rückgängig gemacht

(Zanker, Kinkel et al. 2013, S. 6). Insgesamt kam 2012 „auf jeden vierten Verlagerer ein Rückverlagerer“ (Zanker, Kinkel et al. 2013, S. 5f). Aus Sicht der Rückverlagerer sind nur 15 % der Fälle keine Reaktion auf eine in den letzten 4 bis 5 Jahren vorausgegangene Veränderung der Netzwerkstrukturen (Kinkel, Maloca et al. 2009, S. 15f, 50). Daraus wird deutlich, dass Rückverlagerungen selten eine langfristig angelegte Reaktion auf Entwicklungstrends sind, sondern meist eine Korrektur von Fehlentscheidungen (Kinkel, Maloca et al. 2009, S. 16, 50).

Diese Misserfolge bei der Optimierung der Netzwerkstruktur wirken sich gravierend auf die Leistungsfähigkeit und Finanzkraft von Unternehmen aus (Snyder 2006, S. 547), (Emmrich 2002, S. 332). Die Rückführung der verlagerten Wertschöpfung erfordert eine erneute Reorganisation der Prozesse, Ablauforganisation und Raumaufteilung (Schulte 2002, S. 224). Dabei kommt es wegen remanenter Kosten zu weiteren finanziellen Einbußen (Horváth, Zahn et al. 2007, S. 24). Zudem gehen mit vielen Verlagerungen enttäuschte Kundenerwartungen beispielsweise bezüglich Flexibilität, Lieferfähigkeit oder Qualität einher, die zu Verlusten in den Marktanteilen führen können (Kinkel, Maloca et al. 2009, S. 50). In der Folge kann die Unternehmensexistenz gefährdet sein und Insolvenz drohen (Krebs 2012, S. 153f), (Gillies 2008, S. 38). Dabei kommen nach Wildemann kleine und mittlere Unternehmen zwar „zumeist deutlich schneller und ausgeprägter in eine finanzielle Schieflage“, aber auch Großunternehmen sind diesem Risiko ausgesetzt (Gillies 2008, S. 36).

Ein Grund für solch gravierende Fehlentscheidungen ist ein meist rein kostenbasiertes Entscheidungsverhalten (Prinz und Bauernhansl 2015, S. 112), (Kinkel 2009, S. 36). Obwohl die Vergangenheit zeigt, dass Lohn- und Lohnnebenkostenvergleiche oder Länderrankings nicht ausreichen¹ (Emmrich 2002, S. 331), entscheiden viele Unternehmen in erster Linie anhand dieser Kriterien über ihre Wertschöpfungsverteilung im Netzwerk (Spindelndreier, Bauernhansl et al. 2015, S. 10f), (Kinkel, Maloca et al. 2009, S. 2). Dies spiegelt sich im Ergebnis der Studie des Fraunhofer-Instituts für Systemtechnik und Innovationsforschung ISI in Karlsruhe wider, das die Reduktion der Personalkosten deutlich vor der Markterschließung und der Kundennähe als Top-1-Motiv für Verlagerungen zeigt (Zanker, Kinkel et al. 2013, S. 9). Die Studie des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung IPA in Kooperation mit der Boston Consulting Group (BCG) zeigt das gleiche Bild in der Automobilzulieferindustrie: Verlagerungen finden in erster Linie zur Begegnung des Kostendrucks statt. An zweiter Stelle folgt die Nähe zum Kunden (Spindelndreier, Bauernhansl et al. 2015, S. 5). Dabei werden zum einen Potenziale überschätzt (Spindelndreier, Bauernhansl et al. 2015, S. 10), (Horváth, Zahn et al. 2007, S. 19), (Kinkel, Maloca et al. 2009, S. 31) und zum zweiten herrschende Risiken verkannt (Kinkel und Maloca 2009, S. 2), (Kinkel, Maloca et al. 2009, S. 2), (Spindelndreier, Bauernhansl et al. 2015, S. 5).

¹Personalkosten spielen innerhalb des produzierenden Gewerbes zwar in einigen Branchen eine bedeutende Rolle, allerdings betragen diese meist nur weniger als 20 % der Gesamtkosten (Manyika, George et al. 2013).

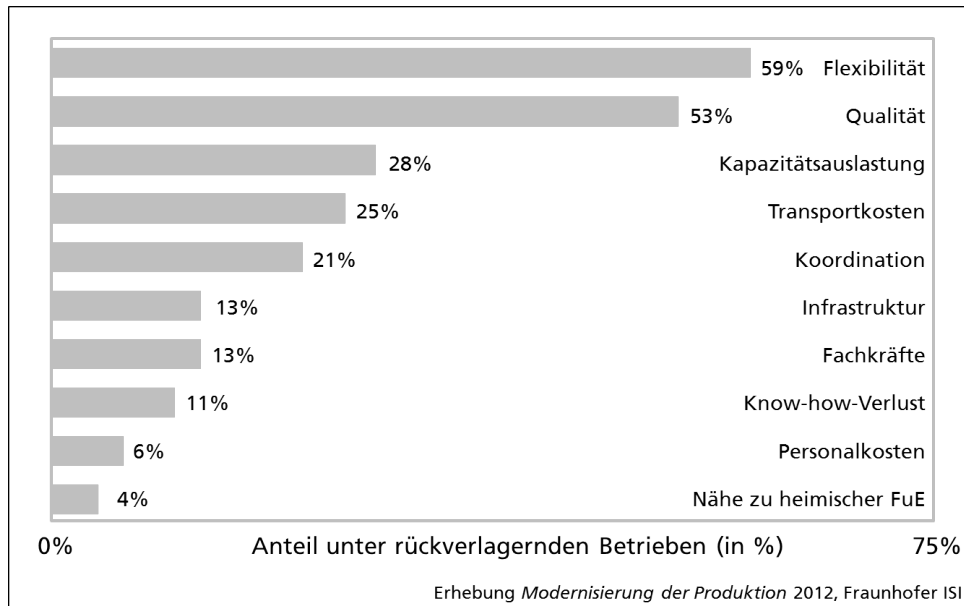


Abbildung 1.2.: Motive für Rückverlagerungen (Zanker, Kinkel et al. 2013, S. 10)

Über diese und weitere Missstände in der derzeitigen Planung der Wertschöpfungsverteilung geben die in Abbildung 1.2 dargestellten Gründe für Rückverlagerungen Aufschluss (Kinkel und Maloca 2009, S. 7). Diese Motive zeigen auf, welche Kriterien derzeit nicht bzw. nicht in angemessenem Ausmaß in die Entscheidungen von Managern über die Netzwerkstruktur integriert werden (Kinkel, Maloca et al. 2009, S. 4, 25), (Kinkel und Maloca 2009, S. 7). Bemerkenswert ist, dass dabei qualitative, nicht direkt monetär bewertbare Kriterien wie Einbußen in der Flexibilität oder Qualitätsprobleme mit deutlichem Abstand die Liste der Rückverlagerungsgründe anführen (Prinz und Bauernhansl 2013, S. 104). Kostenfaktoren treten lediglich in Form von Transportkosten bzw. abgeschlagen als Personalkosten auf. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich die nicht betrachteten qualitativen Kriterien ebenfalls auf die Kosten auswirken (Emmrich 2002, S. 335). Beispielsweise können Qualitätsmängel in hohen und unterschätzten Aufwendungen für Sondertransporte oder für Qualitätssicherung, -kontrolle und Betreuung der Standorte mit den verlagerten Wertschöpfungsprozessen münden. Dies wirkt sich direkt auf die Transport- und Personalkosten aus. Damit treten Kostenfaktoren auch deshalb als Gründe zur Rückverlagerung auf, weil die qualitativen Kriterien und ihre Auswirkungen nicht bzw. nicht ausreichend in die Entscheidungen mit einfließen (Prinz und Bauernhansl 2013, S. 104). Insgesamt wird deutlich, dass qualitative Kriterien bei der Planung von Wertschöpfungsveränderungen derzeit nicht oder nicht in adäquater Weise berücksichtigt werden (Ude 2010, S. 2). Dies bestätigen auch empirische Untersuchungen, die in der betrieblichen Praxis ein in erster Linie kostenbasiertes Entscheidungsverhalten aufweisen (Kinkel 2009, S. 36), das zu Planungsfehlern führt (Horváth, Zahn et al. 2007, S. 33), (Kinkel, Maloca et al. 2009, S. 2).

Mittlerweile ist bei Entscheidungen über Wertschöpfungsveränderungen ein Trend zu markt- und kundenorientierten Strategien zu erkennen (Spindelndreier, Bauernhansl et al. 2015, S. 6f),

(Kinkel und Maloca 2009, S. 11). Unternehmensberatungen fördern diese Tendenz². Zudem steigt „in einer Zeit, in der die Krisenzyklen immer kürzer werden“, allmählich das Risikobewusstsein vieler Unternehmen (Coface Deutschland 2012, S. 6). Es ist also nur eine Frage der Zeit, dass Methoden zur Wertschöpfungsverteilung, die qualitative Kriterien mitberücksichtigen, auch von Planern aus der betrieblichen Praxis nachgefragt werden – zumal eine höhere Erfolgswahrscheinlichkeit von methodengestützten Entscheidungen auch in einer Studie vom International Performance Research Institute IPRI in Stuttgart nachgewiesen wurde (Horváth, Zahn et al. 2007, S. 22, 30).

Allerdings mangelt es an wissenschaftlichen Ansätzen zur Optimierung der bestehenden Wertschöpfungsstrukturen, die neben den Kostenaspekten zusätzlich qualitative Kriterien integrieren (Prinz und Bauernhansl 2014, S. 63). Bis heute stehen bei der Entwicklung von Methoden die Kostenaspekte im Fokus, so dass für die kostenoptimierte Verteilung der Wertschöpfung zahlreiche Ansätze existieren³. Seit 2005 bringen einige wenige Wissenschaftler das Thema Wertschöpfungsverteilung mit qualitativen Kriterien in Verbindung⁴. Insgesamt ist festzustellen, dass bei keiner Methode eine umfassende Integration der qualitativen Kriterien erfolgt (Kohler 2008, S. 4), (Ude 2010, S. XXXII), (Moser 2014, S. 47). Eine umfangreiche Betrachtung von qualitativen Faktoren bietet der Ansatz von Nyhuis und Drochelmann (2008, S. 124-163). Allerdings verfolgt dieser, wie auch andere Ansätze, z. B. der von A.T. Kearney, keine integrierte Betrachtungsweise von quantitativen und qualitativen Kriterien (vgl. Nyhuis und Drochelmann (2008, S. 125) und Schmidt (2011, S. 76, 78ff)). Beispielsweise werden quantitative Kriterien in Form von Eurobeträgen qualitativen Kriterien auf einer Skala aus natürlichen Zahlen lediglich gegenübergestellt (vgl. Ebensperger und Vogel (2012, S. 2)), so dass keine Vergleichbarkeit zwischen diesen entsteht. Diese Vergleichbarkeit können multikriterielle Entscheidungs- und Optimierungsverfahren herstellen. Diese kommen in bereits bestehenden Arbeiten zum Einsatz⁵. Neben der vollständigen Integration von qualitativen Faktoren fehlt diesen Ansätzen aber entweder eine praktikable oder optimale Lösung. Kohler und Guillen optimieren nach lediglich zwei bzw. drei Kriterien (vgl. Kohler (2008, S. 4), Guillèn, Mele et al. (2005, S. 1536)). Moser setzt detailliertes Know-how beim Entscheider voraus und verwendet ein sehr aufwändiges Vorgehen mit zahlreichen Simulationen und Optimierungen mit vergleichsweise hohen Rechenzeiten (vgl. Moser (2014, S. 64ff, 105f)). Ude, Mourtzis und Altiparmak liefern keine stabilen Optima

²McKinsey empfiehlt einen „total factor performance“-Ansatz, der sich nicht nur auf die Kosten, sondern auch auf zukünftige Entwicklungen bezieht (Manyika, George et al. 2013).

³Übersichten über kostenbasierte Ansätze finden sich in Moser (2014, S. 46), Ude (2010, S. 54), Jacob (2006, S. 30) und Meyer (2006, S. 80).

⁴Moser (2014, S. 46) Übersicht verdeutlicht, welche Ansätze neben quantitativen Kriterien qualitative Kriterien berücksichtigen. Darüber hinaus existieren weitere Ansätze, die sowohl quantitative als auch qualitative Kriterien berücksichtigen, wie beispielsweise die von Ebensperger und Vogel (2012), Mourtzis, Doukas et al. (2012), Nyhuis und Drochelmann (2008), Schmidt (2011).

⁵Übersichten über Ansätze aus dem Bereich der multikriteriellen Verfahren finden sich in Moser (2014, S. 46) und Kohler (2008, S. 75f).

(vgl. Ude (2010, S. 93), Mourtzis, Doukas et al. (2012, S. 428), Altiparmak, Gen et al. (2006, S. 196)).

Die kritische Betrachtung der Methoden zeigt, dass bis heute kein geeigneter Ansatz zur Optimierung der bestehenden Netzwerkstrukturen existiert. Die zahlreichen Fehlentscheidungen in der Praxis machen hingegen deutlich, dass ein entsprechender Bedarf besteht (Horváth, Zahn et al. 2007, S. 30).

1.3. Zielsetzung und Forschungsfragen

Zielsetzung dieser Arbeit ist die Bereitstellung einer Methode, die die Wertschöpfungsverteilung integriert nach quantitativen und qualitativen Kriterien in bestehenden Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung optimiert. Mittels mathematischer Modellierung soll die optimale Verteilung ermittelt werden, indem alle bereits im Netzwerk enthaltenen Wertschöpfungsstufen hinsichtlich ganzheitlicher sowie modularer Verschiebung innerhalb der vorhandenen Produktionsstandorte untersucht werden.

In der Wissenschaft herrscht innerhalb der Produktion eine weitestgehende Trennung in die beiden Disziplinen der Prozesstechnik sowie der diskreten Fertigung (Mersch, Behnen et al. 2011, S. 7). Da in der Prozessindustrie in der Regel aufeinanderfolgende Prozessschritte einer starren und engen zeitlichen Vorgabe folgen müssen (Mersch, Behnen et al. 2011, S. 9) und daher lediglich in Ausnahmefällen in einem Produktionsnetzwerk örtlich verteilt sein können, fokussiert die vorliegende Arbeit auf die diskrete Fertigung. Zudem liegt der Anwendungsbereich der Optimierungsmodelle in der strategischen Unternehmensplanung und dient der reaktiven oder proaktiven Entscheidungsunterstützung hinsichtlich der optimalen Aufstellung der Wertschöpfungsverteilung im eigenen Produktionsnetzwerk (vgl. Anwendungsdimension in Tabelle 1.1).

Anwendungsdimension	<ul style="list-style-type: none"> - Diskrete Fertigung - Strategische Unternehmensplanung - Reaktives und proaktives Handeln - Entscheidungsunterstützung
Gestaltungsdimension	<ul style="list-style-type: none"> - Erweiterter Umfang an Gestaltungskriterien (quantitative und qualitative Kriterien) - Erweiterter Betrachtungsrahmen von Produktionsnetzwerken (internes Netzwerk inklusive Einflüsse des Beschaffungs- und Absatzmarkts) - Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien
Ergebnisdimension	<ul style="list-style-type: none"> - Optimale Wertschöpfungsverteilung je nach Eingabeszenario (Unternehmensstrategie, Annahme über zukünftige Entwicklungen, Annahme bei unsicheren Daten) - Transparente und vergleichbare Kosten, Risiken und Erfolgspositionen - Entscheidungsfähigkeit über eine nachhaltige Wertschöpfungsverteilung

Tabelle 1.1.: Zielsetzung der Arbeit in Anlehnung an Bauernhansl (2002, S. 10)

Die beschriebene Zielsetzung und Anwendungsdimension führen zu folgender zentralen Forschungsfrage, die es zu beantworten gilt:

„Wie kann die Wertschöpfungsverteilung von Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung unter Berücksichtigung quantitativer und qualitativer Kriterien optimiert werden?“

Ein wesentlicher Aspekt der Entwicklung ist die Erweiterung der bisher gängigen quantitativen Kriterien um qualitative Kriterien in einem umfassenden Umfang. Dazu zählen neben gängigen Kennzahlen wie Produktivität, Qualität oder Durchlaufzeit weitere Kriterien wie z. B. die Motivation der Mitarbeiter, die Modernität eines Produktionsstandorts oder das Image. Berücksichtigt werden sollen sowohl Risiken als auch Potenziale – sogenannte positive Erfolgspositionen – wie z. B. die Verfügbarkeit von qualifiziertem Personal. Um dieses Ziel zu erreichen, muss eine Auseinandersetzung mit folgender Unterforschungsfrage 1 erfolgen:

„Anhand von welchen quantitativen und qualitativen Kriterien lässt sich die Güte der Wertschöpfungsverteilung erklären und bestimmen?“

Einige der quantitativen und qualitativen Kriterien betreffen auch den Absatz- oder den Beschaffungsmarkt des zu optimierenden Produktionsnetzwerks. Daher wird der Betrachtungsrahmen bisheriger Ansätze erweitert, indem beschaffungsseitig die Einflüsse der Lieferanten, Maschinenhersteller, Logistik- sowie Entwicklungsdienstleister und absatzseitig Einflüsse von Endkunden, Produzenten sowie Konkurrenten in Betracht gezogen werden. Somit ergibt sich in Bezug auf den erweiterten Betrachtungsrahmens des Produktionsnetzwerks folgende Unterforschungsfrage 2:

„Wie lässt sich die Wertschöpfungsverteilung von Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung ganzheitlich beschreiben und abbilden?“

Kernelement stellt die Optimierung dar. Sie soll anhand der integrierten Betrachtung von quantitativen und qualitativen Kriterien das Gesamtoptimum ermitteln. Der diffizilen Vergleichbarkeit von quantitativen und qualitativen Kriterien wird mit einem multikriteriellen Optimierungsansatz begegnet, der erstmalig ein sowohl praktikables als auch stabiles Ergebnis liefern soll. Hieraus ergibt sich folgende Unterforschungsfrage 3:

„Wie lässt sich ein stabiles Gesamtoptimum nach integriert betrachteten quantitativen und qualitativen Kriterien erzeugen?“

Diese drei Gestaltungsdimensionen sollen zu gemischt-ganzzahligen linearen Optimierungsmodellen führen, die die Realität über eine mathematische Modellierungssprache abbilden und mithilfe eines Operations Research Solvers eine optimale Lösung erzeugen.

Das Ergebnis soll, wie in Tabelle 1.1 zusammengefasst, ein mögliches Zukunftsszenario der optimalen Wertschöpfungsverteilung darstellen. Anhand von Eingabeszenarien sollen verschiedene Unternehmensstrategien, Entwicklungen in den Daten und Annahmen bei unsicheren Daten

wie z. B. einem Teil der qualitativen Kriterien durchgespielt werden können. Dabei weisen die jeweils ermittelten Zukunftsszenarien die quantitativen und qualitativen Kriterien der neuen Wertschöpfungsverteilung transparent und vergleichbar aus und dienen damit als Entscheidungsunterstützung. Den größten Mehrwert der Modellierung stellt daher die umfassende und integrierte Berücksichtigung von quantitativen und qualitativen Gestaltungskriterien, verbunden mit einer ganzheitlichen Optimierung, dar. Damit wird Unternehmen ermöglicht, nachhaltige Entscheidungen hinsichtlich ihrer Wertschöpfungsverteilung zur Steigerung der Netzwerkeffizienz zu treffen. Dies führt neben der Stabilisierung der Kundenbeziehungen zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit. Zudem werden Fehlentscheidungen vermieden und damit Unternehmensexistenzen gesichert.

1.4. Wissenschaftstheoretische Positionierung und Forschungskonzeption

Aufbauend auf dem Entdeckungszusammenhang, der das Vorverständnis der Autorin strukturiert, erfolgt die wissenschaftstheoretische Einordnung der Arbeit. Diese bildet die Grundlage für die Konzeption des forschungsmethodischen Vorgehens.

Entdeckungszusammenhang

Der Entdeckungszusammenhang besteht aus drei wesentlichen Elementen (vgl. Bauernhansl (2002, S. 13)). Zunächst prägen Erfahrungen das Wissen und Verständnis der Verfasserin. Ebenso führen bestimmte Leittheorien – sogenannte Paradigmen – zu persönlichen Überzeugungen, die verfolgt werden. Letztendlich geben bestimmte wissenschaftliche Ausarbeitungen entscheidende Impulse. Wie das Vorverständnis der Autorin die vorliegende Arbeit beeinflusste, wird in Abbildung 1.3 dargestellt und im Folgenden beschrieben.

Innerhalb des Forschungsprojekts *NetPlAn – Netzwerk-Planung und -Analyse* wurde am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA eine Methode zur Optimierung der Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken entwickelt. Keine Rolle spielte dabei das Paradigma des sozio-technischen Systems. Dieses stellt nicht die technischen – also messbaren – Vorgänge eines Unternehmens in den Vordergrund, sondern fokussiert auf die Interaktion zwischen Mensch, Organisation und den sogenannten harten Faktoren (Wiendahl 2008, S. 282). Überzeugt von dieser Theorie der Bedeutung der sozialen Einflüsse auf die Vorgänge im Unternehmen, entstand bei der Autorin die Idee, die dieser Arbeit zugrunde liegt: die Integration qualitativer Kriterien in die Bewertung und Optimierung der Wertschöpfungsverteilung von Produktionsnetzwerken⁶.

⁶Diese Idee spiegelt sich in der zentralen Forschungsfrage aus 1.3 wider.

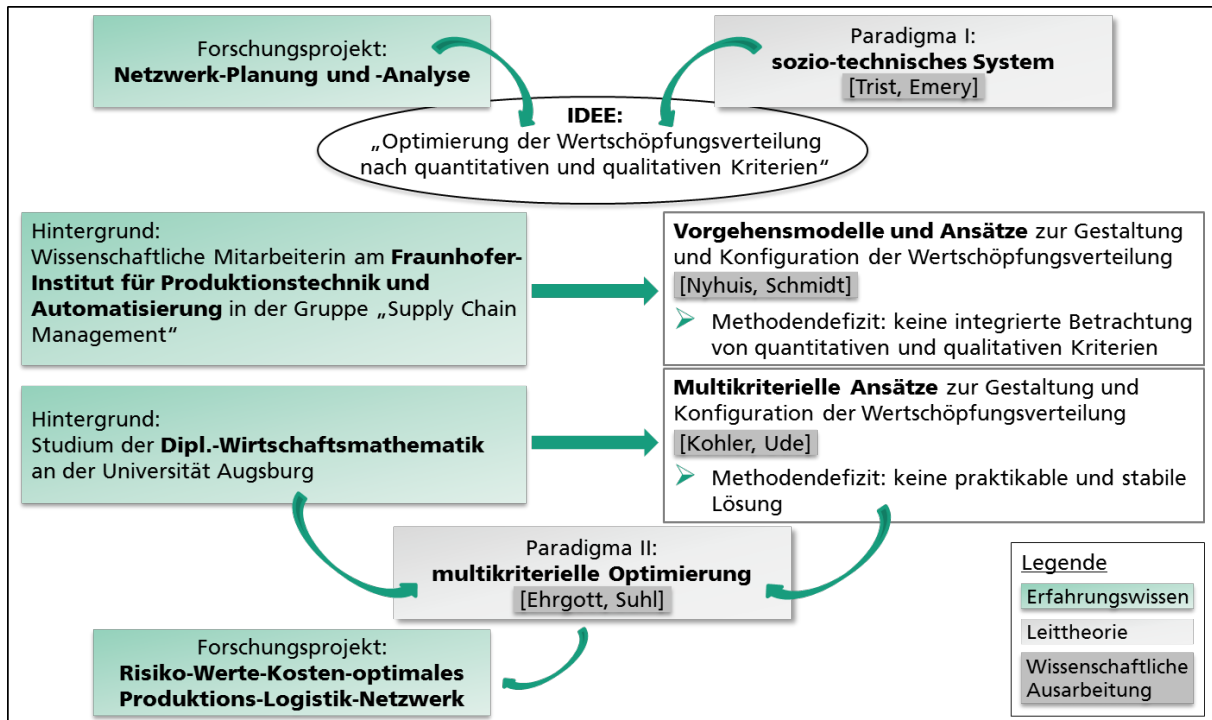


Abbildung 1.3.: Entdeckungszusammenhang der vorliegenden Arbeit

Die Erfahrungen aus der wissenschaftlichen Arbeit im Bereich Supply Chain Management am Fraunhofer IPA führten die Verfasserin zunächst zu Vorgehensmodellen und Ansätzen zur Gestaltung und Konfiguration der Wertschöpfungsverteilung. Dabei erwiesen sich die Arbeiten von Nyhuis und Drochelmann (2008) und A.T. Kearney (Schmidt 2011) als bedeutsam, da diese qualitative Kriterien bereits in einem relativ hohen Umfang behandeln und die Autorin in diesem Bereich prägten. Allerdings weisen diese Arbeiten ein Methodendefizit auf, weil sie die integrierte Betrachtung von quantitativen und qualitativen Kriterien vernachlässigen. Aufgrund ihres Studiums der Wirtschaftsmathematik war der Autorin bekannt, dass die Schule der multikriteriellen Ansätze diesem Defizit begegnen kann. Auch in diesem Bereich wurden bereits einige wenige existierende Arbeiten zur Gestaltung und Konfiguration der Wertschöpfungsverteilung identifiziert. Kohler (2008) und Ude (2010) inspirierten die Verfasserin zwar hinsichtlich der Modellierung von Wertschöpfungsnetzwerken und qualitativen Faktoren, doch auch hier wurden entscheidende Methodendefizite aufgedeckt: Kohlers Methode kann ausschließlich zwei Kriterien verarbeiten und Udes Ansatz liefert keine stabile Lösung.

Diese Methodendefizite führten die Verfasserin zu einem noch tieferen Einstieg in die Materie der Mathematik. Daraus ergab sich eine zweite Leittheorie der multikriteriellen Optimierung. Diese beschäftigt sich unter Einsatz von Methoden der mathematischen Optimierung mit der Lösung von realen Problemen mit multikriteriellen Zielsystemen und ist in erster Linie durch die wissenschaftlichen Arbeiten von Ehrgott (2005) geprägt. Die Verfolgung dieses Paradigmas schien der Autorin erfolversprechend, um eine stabile Lösung für die Aufgabenstellung

der Wertschöpfungsverteilung nach quantitativen und qualitativen Kriterien zu erzielen. Dabei wurde sie v. a. vom Ansatz des Goal Programming (vgl. Suhl und Mellouli (2009, S. 121f), Romero, Tamiz et al. (1998), Ogryczak (1994)) ermutigt, diese Leittheorie weiter zu verfolgen.

Wissenschaftstheoretische Einordnung

Anhand der beiden Paradigmen des sozio-technischen Systems und der multikriteriellen Optimierung lässt sich die vorliegende Arbeit wissenschaftstheoretisch einordnen. Die multikriterielle Optimierung entstammt, wie in Abbildung 1.4 dargestellt, vorwiegend der Mathematik (Hanne 1998, S. 1). Das Verständnis eines Unternehmens als sozio-technisches System hat seinen Ursprung in den Sozialwissenschaften und wurde vom VDI in die Ingenieurwissenschaften übertragen und dort verankert (Ulich 1993, S. 36f). Obwohl die beiden Paradigmen ihren Schwerpunkt in unterschiedlichen Wissenschaftsdisziplinen haben, verbindet sie dennoch eine gemeinsame Vergangenheit. Beide entstammen aus dem im zweiten Weltkrieg entwickelten Systemansatz (Krallmann, Frank et al. 1996, S. 5), (Ulich 1993, S. 36f), als Mathematiker zur Lösung militärischer Entscheidungsprobleme der Handlungs- bzw. Sozialwissenschaften eingesetzt wurden (Krallmann, Frank et al. 1996, S. 5). Als methodenorientierte Theorie entwickelte sich das Operations Research, das mathematische Modelle zur Lösung ökonomischer Probleme einsetzt und aus dem sich die multikriterielle Optimierung als eigene Disziplin abspaltete (Hanne 1998, S. 1). Als sozialwissenschaftliche Theorie entstand das Konzept des sozio-technischen Systems (Ulich 1993, S. 36f). Dieses wurde in den Kontext der Ingenieurwissenschaften überführt (Ulich 1993, S. 36f).

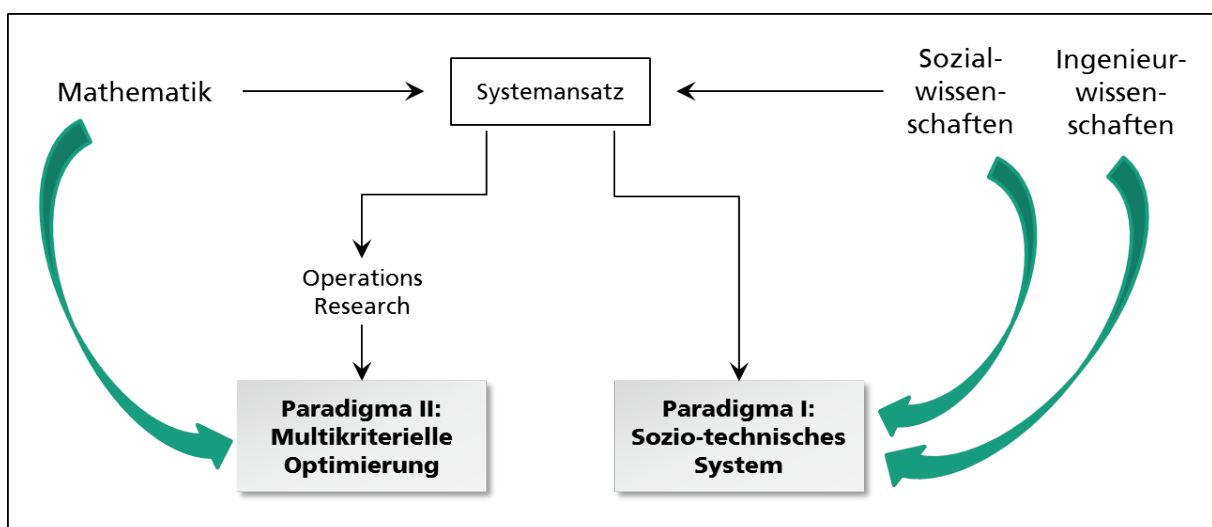


Abbildung 1.4.: Wissenschaftstheoretische Einordnung der Paradigmen

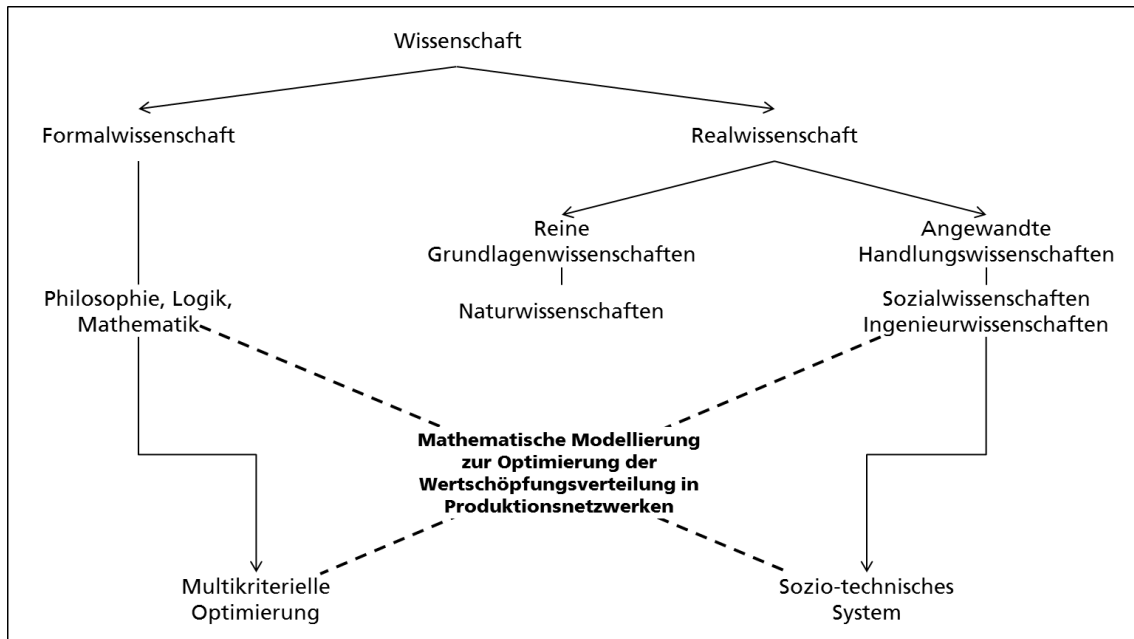


Abbildung 1.5.: Wissenschaftstheoretische Einordnung der Arbeit in Anlehnung an Ulrich und Hill (1976a, S. 305)

Somit befasst sich die vorliegende Arbeit mit einer Problemstellung an der Schnittstelle zwischen Mathematik und Ingenieurwissenschaften (vgl. Abbildung 1.5). Die Methoden stammen vorwiegend aus der Mathematik und damit aus den Formalwissenschaften⁷. Der Untersuchungsgegenstand des sozio-technischen Systems liegt hingegen in den Ingenieurwissenschaften. Diese beschäftigen sich überwiegend mit Aufgaben der angewandten Handlungswissenschaften⁸ (Ulrich und Hill 1976a, S. 305). Aufgrund der Realitätsnähe und der Aufgabe, menschliche Entscheidungen zur Optimierung von Produktionsnetzwerken zu unterstützen, ist die vorliegende Arbeit in erster Linie in die Handlungswissenschaften einzuordnen. Die Entwicklungen im Bereich der Formalwissenschaften sind dem von Ulrich geprägten Verständnis „Realwissenschaften kommen ohne Formalwissenschaften nicht aus“ (Ulrich und Hill 1976a, S. 306) geschuldet.

Forschungsmethodologie

Die Einordnung der vorliegenden Arbeit in die Handlungswissenschaften führt zu einem eigenständigen Forschungsvorgehen (Zohm 2004, S. 8). Für derartige Probleme im Praxiszusam-

⁷Die Formalwissenschaften beschäftigen sich im Gegensatz zu den Realwissenschaften mit der Entwicklung von Zeichensystemen (Ulrich und Hill 1976a, S. 305). Darunter fallen neben der Mathematik die Philosophie, die Logik sowie im speziellen die Wissenschaftslogik (Ulrich und Hill 1976a, S. 305).

⁸Die angewandten Handlungswissenschaften bilden zusammen mit den reinen Grundlagenwissenschaften die Realwissenschaften, die die „Beschreibung, Erklärung und Gestaltung empirisch wahrnehmbarer Wirklichkeitsausschnitte“ zum Inhalt haben (Ulrich und Hill 1976a, S. 305). Die Handlungswissenschaften selbst beschäftigen sich mit der „Analyse menschlicher Handlungsalternativen“ (Ulrich und Hill 1976a, S. 305) als einzelner Mensch, in der Interaktion mit anderen Personen sowie als gesamte Gesellschaft (Zohm 2004, S. 6). Hierzu zählen die Sozialwissenschaften mit der Betriebswirtschaftslehre sowie die Ingenieurwissenschaften (Ulrich und Hill 1976a, S. 305).

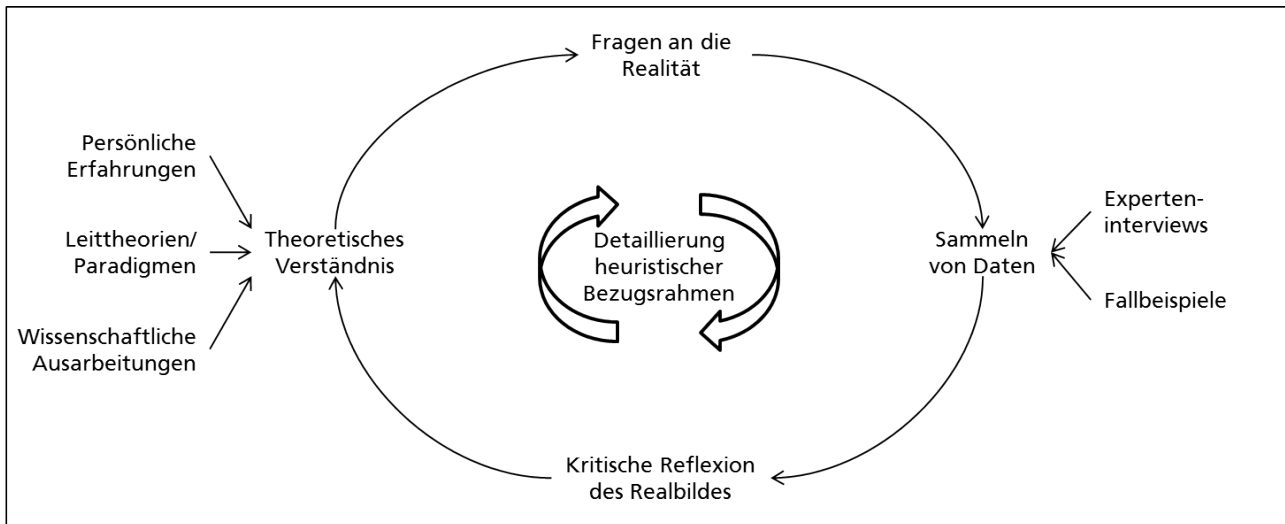


Abbildung 1.6.: Forschungsmethodisches Vorgehen in Anlehnung an Kubicek (1977, S. 14)

menhang stellt die explorative Forschungsmethodologie die gängige Forschungskonzeption dar (Kubicek 1977, S. 13). Auslösepunkt dieses Prozesses ist eine „unbegründete Antizipation“, eine „Intuition“ oder ein „Einfall“, die auf keiner Entstehungslogik beruhen (Popper 1999, S. 91ff). Diese gilt es grundsätzlich in Form von Folgerungen, aufgestellten Sätzen, Aussagesystemen mit Behauptungscharakter oder Fragen in der Realität zu detaillieren bzw. zu überprüfen (Popper 1999, S. 87f, 91f), (Kubicek 1977, S. 16, 18), (Ulrich und Hill 1976b, S. 349). Die gewonnenen Erkenntnisse gehen in eine Weiterentwicklung des ursprünglichen Einfalls ein (Popper 1999, S.92), (Kubicek 1977, S. 16), (Ulrich und Hill 1976b, S. 347).

Konkretisiert wird dieses Vorgehen von Kubicek (1977). Dabei bildet, wie in Abbildung 1.6 dargestellt, ein heuristischer Bezugsrahmen die Grundlage des Forschungsvorgehens (Kubicek 1977, S. 16). Dieser umfasst die relevanten Analyseeinheiten, deren Dimensionen sowie Annahmen über deren Zusammenhänge (Kubicek 1977, S. 18). Die Detaillierung und Überarbeitung dieses heuristischen Bezugsrahmens erfolgt im Verlauf der Arbeit innerhalb eines iterativen Lernprozesses (Kubicek 1977, S. 28). Fragen an die Realität, die Sammlung von Daten sowie die anschließende kritische Reflexion des modellierten Realbildes führen zu einem erweiterten theoretischen Verständnis, das sich auf den heuristischen Bezugsrahmen und damit auf die Fragen an die Realität auswirkt (Kubicek 1977, S. 28).

Der dieser Arbeit zugrunde gelegte Bezugsrahmen ist in Abbildung 1.7 dargestellt. Dieser ergibt sich aus dem beschriebenen Vorverständnis aus persönlichen Erfahrungen, Paradigmen sowie wissenschaftlichen Ausarbeitungen anderer Autoren (vgl. Kubicek (1977, S. 16)). Um das heuristische Potenzial des Bezugsrahmens möglichst groß auszulegen (vgl. Kubicek (1977, S. 20)), wird für diese Arbeit im ersten Schritt auf die Eingrenzung der Lösungstheorien durch die identifizierten Paradigmen verzichtet.

Zur iterativen Weiterentwicklung des Bezugsrahmens stehen für die Fragen an die Realität und das Sammeln von Daten Ansprechpartner mehrerer Unternehmen aus unterschiedlichen

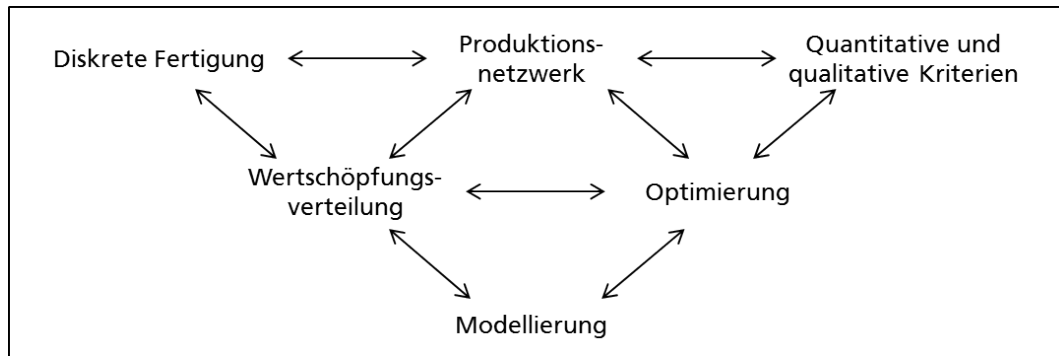


Abbildung 1.7.: Erster Entwurf des heuristischen Bezugsrahmens

Branchen zur Verfügung. Innerhalb der Unternehmen werden Vertreter aus allen für die Aufgabenstellung relevanten Bereichen einbezogen. Zur Informationsbeschaffung werden persönliche Interviews, Dokumentenanalysen, Workshops zur Initiierung von bereichsübergreifenden Diskussionen sowie Feedbackanalysen in Form von unternehmensübergreifenden Lenkungsgruppen eingesetzt (vgl. Kubicek (1977, S. 25ff)). Die definierten Forschungsfragen geben die Richtung sowohl der Fragen an die Realität als auch der Datensammlung vor.

Es gilt, dieses erarbeitete Erfahrungswissen über kritische Reflexion und theoretisches Verständnis in Form von Begriffen, Annahmen, Modellen oder weiteren Fragen in den heuristischen Bezugsrahmen zu integrieren (Kubicek 1977, S. 16). Gemäß dem dieser Arbeit zugrunde gelegtem Verständnis nach Ulrich können dabei Forschungsaktivitäten folgender Aufgabenstellungen zum Einsatz kommen (vgl. Ulrich und Hill (1976b, S. 347f)): Innerhalb der terminologisch-deskriptiven Aufgabenstellung ergibt sich eine „Beschreibung von Forschungsobjekten“ (Ulrich und Hill 1976b, S. 347). Darauf aufbauend lassen sich in einer nachfolgenden Iteration induktiv hypothetische Zusammenhänge zwischen diesen Objekten ableiten, die es empirisch zu untersuchen gilt (empirisch-induktive Aufgabenstellung) (Ulrich und Hill 1976b, S. 347). Eine weitere Iteration führt diese überprüften Zusammenhänge analytisch-deduktiv in ein Modell über (Ulrich und Hill 1976b, S. 347). Dieses gilt es, gemäß der iterativen Forschungskonzeption ebenfalls in einer empirisch-induktiven Aufgabenstellung der Realisierungsversuche zu prüfen und gegebenenfalls anzupassen (Ulrich und Hill 1976b, S. 348).

Insgesamt findet die explorative Erprobung für die vorliegende Arbeit ihren Höhepunkt in den beiden Fallbeispielen aus Kapitel 9.

Die Umsetzung des konzeptionierten Forschungsprozesses erfolgte innerhalb des von der Autorin geleiteten Forschungsprojekts *RiWeKo-Net – Ein Risiko-Werte-Kosten-optimales Produktions-Logistik-Netzwerk*⁹. Dieses widmete sich u. a. der Herausforderung, die leicht widersprüchlichen Paradigmen des sozio-technischen Systems mit dem Fokus auf qualitativen Aspekten und der

⁹Das IGF-Vorhaben RiWeKo-Net der Forschungsvereinigung Bundesvereinigung Logistik e. V. (BVL) wurde über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e. V. (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

multikriteriellen Optimierung mit der – auf eindeutig vorgegebenen Daten beruhenden – exakten mathematischen Lösung zu vereinen. Dabei dient die Sensitivitätsanalyse als Hilfestellung. Sie macht es möglich, über verschiedene Eingabeszenarien von z. B. unsicheren qualitativen Daten Lösungsszenarien zu erzeugen, die untereinander verglichen und dadurch interpretiert werden können.

1.5. Aufbau der Arbeit

Die Struktur der Arbeit ergibt sich, wie in Abbildung 1.8 dargestellt, aus den von Ulrich (2001, S. 195) beschriebenen Phasen der angewandten Forschung. Innerhalb dieser Phasen orientiert sich der Aufbau der Arbeit thematisch an den in Kapitel 1.3 beschriebenen Unterforschungsfragen sowie der zentralen Forschungsfrage. Entlang der Unterforschungsfragen gilt es,

1. die Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung,
2. die quantitativen und qualitativen Kriterien zur Wertschöpfungsverteilung sowie
3. die Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien

zu behandeln. Die Ergebnisse münden in der Optimierung der Wertschöpfungsverteilung nach quantitativen und qualitativen Kriterien in Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung.

Innerhalb dieses ersten einleitenden Kapitels wurde die praxisrelevante Problemstellung erfasst. Basierend auf der Ausgangssituation wurde über die spezifische Problemstellung die Zielsetzung sowie die wissenschaftliche Forschungskonzeption der Arbeit dargelegt.

Kapitel 2 bis 5 dienen der Darstellung von Theorien der Grundlagenwissenschaften und Verfahren der Formalwissenschaften, aus denen Rückschlüsse auf den Anwendungszusammenhang gezogen werden sollen. Kapitel 2 widmet sich den Grundlagen der Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung. Auf Basis bestehender Theorien werden der Gestaltungsbereich eingegrenzt und erste Anforderungen an die Methode abgeleitet. Darüber hinaus wird das Paradigma des sozio-technischen Systems vertieft, das die Notwendigkeit der Berücksichtigung von quantitativen und qualitativen Kriterien verdeutlicht und somit zu Kapitel 3 überleitet. Dort führen die Grundlagen zu Gestaltungskriterien zur Eingrenzung des Betrachtungsbereichs und zu weiteren Anforderungen an die Methode. Des Weiteren umfasst Kapitel 3 eine Defizitbewertung der Gestaltungskriterien von Ansätzen der Wertschöpfungsverteilung sowie eine Analyse von potenziellen Gestaltungskriterien aus Theorien und Verfahren der Standortplanung und dem Risikomanagement. Kapitel 4 widmet sich der Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien sowie der damit verbundenen Modellierung. Dies beinhaltet Grundlagen zur Modellierung und Optimierung, aus denen sich weitere Anforderungen an die Methode ergeben. Detailliert wird auf die multikriterielle Optimierung eingegangen. Abschließend werden Ansätze zur Begegnung von Unsicherheit und Dynamik vorgestellt. Anhand

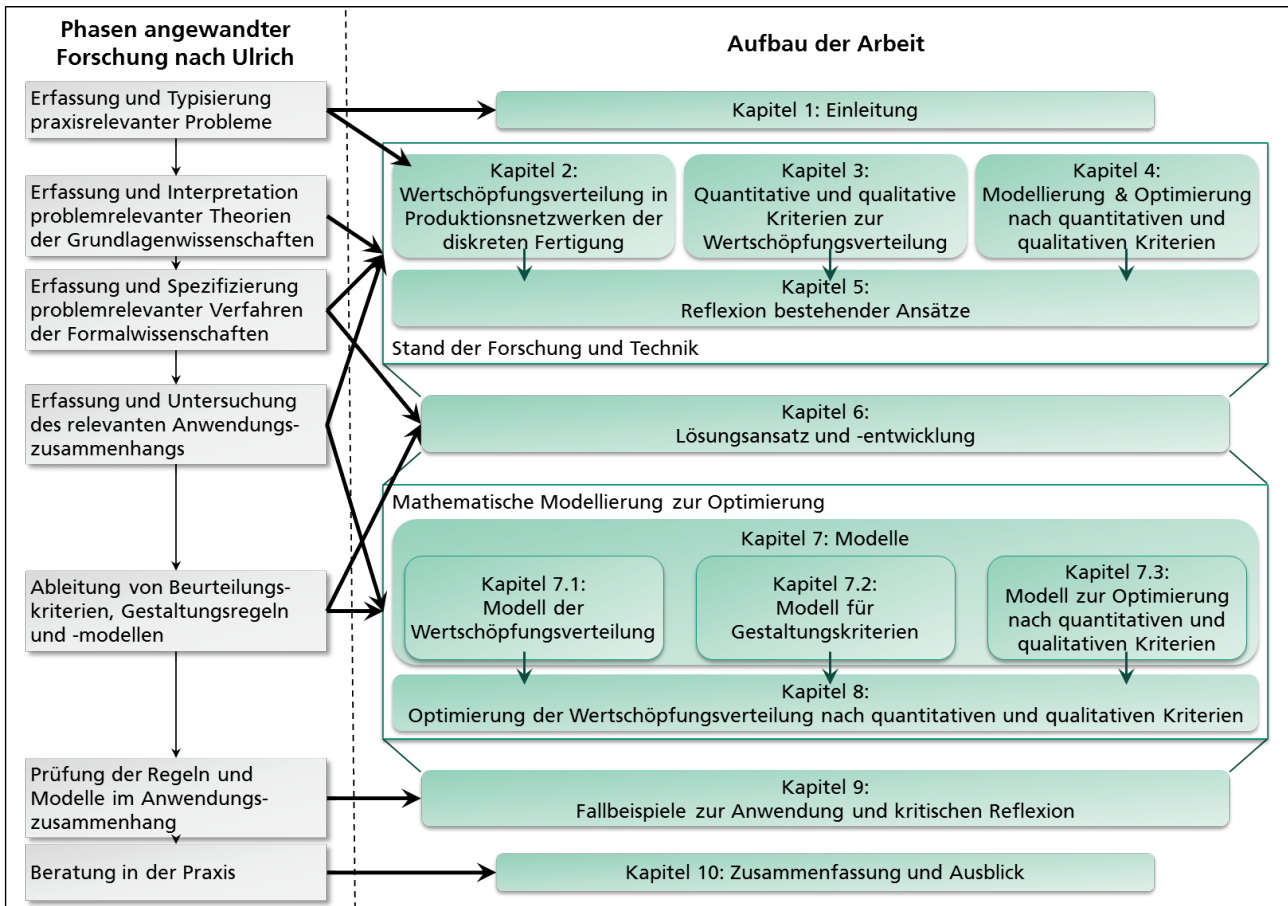


Abbildung 1.8.: Phasen angewandter Forschung (vgl. Ulrich (2001, S. 195)) und Aufbau der Arbeit

der erarbeiteten Anforderungen an die Methode erfolgt in Kapitel 5 die Bewertung und der Defizit ausweis bestehender Verfahren zur Wertschöpfungsverteilung.

In Kapitel 6 fließen die aus den bestehenden Verfahren der Formalwissenschaften gewonnenen Erkenntnisse in die Konzeption des Lösungsansatzes und der Lösungsentwicklung ein. Dabei entstehen gemäß den Forschungsphasen nach Ulrich erste Gestaltungsregeln und -modelle.

Diese werden in Kapitel 7 und 8 detailliert, wobei der in den Kapiteln 2 bis 5 konkretisierte Anwendungszusammenhang zu berücksichtigen ist. Kapitel 7 widmet sich ausschließlich der mathematischen Optimierung. Analog zu den Unterforschungsfragen werden ein Modell der Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung, ein Modell für quantitative und qualitative Gestaltungskriterien der Wertschöpfungsverteilung sowie ein Modell zur Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien entwickelt. Dazu werden jeweils drei Schritte herangezogen: Entwicklung einer Logik zur Abbildung der Realität, mathematische Modellierung und Implementierung. Kapitel 8 dient der Beschreibung der zusammenggeführten mathematischen Optimierungsmodelle zur Wertschöpfungsverteilung nach quantitativen und qualitativen Kriterien in Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung sowie der Methode ihrer Anwendung.

Die Prüfung der Methode inklusive der enthaltenen Optimierungsmodelle im Anwendungszusammenhang erfolgt in Kapitel 9. Zwei Fallbeispiele, die die jeweiligen Extreme des Gestaltungsbereichs darstellen, dienen der Anwendung der Optimierungsmodelle sowie der zugehörigen Methode. Neben der Bewertung der durch die Anwendungen erzielten Ergebnisse werden die Modelle und Methode anhand der in Kapitel 5 zusammengefassten Anforderungen kritisch reflektiert.

Kapitel 10 fasst die Inhalte der Arbeit zusammen. Dabei wird auf die Anwendbarkeit in der Praxis eingegangen und ein Ausblick auf mögliche Weiterentwicklungen gegeben.

2. Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung

Das Kapitel zur Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung dient der Grundlagenbildung dieser Arbeit. Die Auseinandersetzung mit den Begriffen der diskreten Fertigung und des Produktionsnetzwerks führt zur Eingrenzung der Anwendungsdimension sowie des Gestaltungsbereichs dieser Arbeit. Anschließend wird die Aufgabe der Wertschöpfungsverteilung diskutiert und fokussiert. Aus diesem Verständnis für die Aufgabenstellung mit ihrem Gestaltungsbereich ergeben sich erste Anforderungen an die Methode. Abschließend wird als weitere Grundlage das Paradigma des sozio-technischen Systems erläutert.

2.1. Diskrete Fertigung

2.1.1. Der Begriff der diskreten Fertigung

Die Definition der diskreten Fertigung erfolgt anhand der Abgrenzung zur Prozesstechnik. Zentrales Unterscheidungsmerkmal der beiden Disziplinen der Produktion ist das herzustellende Produkt (Mersch, Behnen et al. 2011, S. 8). In der diskreten Fertigung werden Festkörper mit einer definierbaren Formhaftigkeit hergestellt (Mersch, Behnen et al. 2011, S. 10), (Brede 2005, S. 137). Diese werden Stückgüter genannt (Brede 2005, S. 137) und sind zählbar (Bakir, Krückhans et al. 2013, S. 18). Daher wird bei dieser Disziplin auch von Stückgutproduktion gesprochen. Die Prozesstechnik dient der Herstellung von formlosen Produkten wie Gasen, Flüssigkeiten und Schüttgütern (Mersch, Behnen et al. 2011, S. 8), (Bakir, Krückhans et al. 2013, S. 18) und wird auch als Verfahrenstechnik oder verfahrenstechnische Industrie bezeichnet (Bakir, Krückhans et al. 2013, S. 18). Diese Unterschiede in den Produkten haben folgende Auswirkungen auf den Herstellungsprozess:

In der diskreten Fertigung können innerhalb eines Bearbeitungsschritts Produkte mit unterschiedlichen Merkmalen verarbeitet und hergestellt werden (Mersch, Behnen et al. 2011, S. 10), während in der Prozesstechnik alle Elemente eines Produkts auf die gleiche Weise umgewandelt werden müssen und damit innerhalb einer Charge die gleichen Eigenschaften besitzen (Mersch,

Behnen et al. 2011, S. 8). Dabei können die Prozesse nicht beliebig unterbrochen werden und unterliegen einer starren Reihenfolge sowie einem vorgegebenen Zeitablauf (Mersch, Behnen et al. 2011, S. 9). In der diskreten Fertigung hingegen ist ein Vertauschen von Bearbeitungsschritten in der Regel möglich (Mersch, Behnen et al. 2011, S. 10). Der Transport ist von der Bearbeitung getrennt und erfolgt flexibel in frei wählbarer Reihenfolge (Mersch, Behnen et al. 2011, S. 10). In der Prozessindustrie ist das Transport- und Lagersystem in die Produktion integriert, da sich während der Transport- und Lagerzeit die Produkte verändern können (Mersch, Behnen et al. 2011, S. 9). Daher erfolgt Transport und Lagerung starr in geschlossenen Systemen und aufgrund der Minimierung von Reinigungsschritten in einer definierten Produktfolge (Mersch, Behnen et al. 2011, S. 9f).

Deswegen sind in der Prozessindustrie aufeinanderfolgende Prozessschritte in der Regel nicht in einem Produktionsnetzwerk örtlich verteilt. Somit ist die vorliegende Arbeit in erster Linie für die diskrete Fertigung relevant und fokussiert darauf. Branchen, die typischerweise diskrete Fertigung anwenden, sind der Maschinenbau (Bakir, Krückhans et al. 2013, S. 18) und die Automobilindustrie.

Im Folgenden soll die Anwendungsdimension diskrete Fertigung für die Fragestellung der Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken weiter eingegrenzt werden. Hierzu kommen ausgewählte Merkmale der Fertigung zum Einsatz.

2.1.2. Typologien der Fertigung

Zur Klassifizierung der Fertigung existieren folgende Merkmale.

Eine Möglichkeit zur Einteilung der Fertigung stellt die Anzahl der gefertigten Produkte dar. Dabei werden die sogenannten *Fertigungstypen* der Einzel-, Serien-, Sorten- und Massenfertigung unterschieden.

- Die Einzelfertigung bedient kundenindividuelle Aufträge, so dass in der Regel kein Auftrag einem anderen gleicht (Sydow und Möllering 2009, S. 76). Daraus ergibt sich eine Fertigung mit Losgröße 1, die beispielsweise im Anlagenbau auftreten kann (Sydow und Möllering 2009, S. 76).
- Das andere Extrem stellt die Massenfertigung dar (Sydow und Möllering 2009, S. 77). Die Massenfertigung zeichnet sich durch sehr hohe Auflagen bzw. sehr große Lose für ein spezifisches Produkt aus (Sydow und Möllering 2009, S. 76), die zu Beginn der Fertigung noch nicht bekannt und festgelegt sind (Corsten und Gössinger 2009, S. 37). Dies rührt von einer in der Regel anonymen, marktorientierten Fertigung (Sydow und Möllering 2009, S. 76) wie beispielsweise in der Lebensmittelindustrie (Wöhe und Döring 2005, S. 406).

- Zwischen Einzel- und Massenfertigung liegt die Variantenfertigung, die in Serien- und Sortenfertigung unterschieden wird (Sydow und Möllering 2009, S. 77), (Wöhe und Döring 2005, S. 406). Serien dienen der Herstellung von Produktvarianten, in deren Fertigungsprozess unterschiedliche Techniken und damit in der Folge verschiedene Anlagen eingesetzt werden (Sydow und Möllering 2009, S. 77) wie beispielsweise in der Automobilindustrie (Wöhe und Döring 2005, S. 406).
- In der Sortenfertigung weisen die Produkte hingegen keine „herstellungs- oder rohstoffbedingten Unterschiede“ auf (Sydow und Möllering 2009, S. 77), so dass alle auf den gleichen Anlagen produziert werden können (Wöhe und Döring 2005, S. 406). Dies tritt beispielsweise bei Produkten auf, die sich ausschließlich in der Größe unterscheiden. Ein weiteres Beispiel stellen Produkte mit ausschließlich unterschiedlichen Leistungen wie z. B. Batterien dar (Sydow und Möllering 2009, S. 77).

Eng zusammenhängend mit dem Fertigungstyp ist die Unterscheidung der *Absatzstruktur* in auftragsorientierte und marktorientierte Fertigung.

- Bei auftragsorientierter Fertigung erfolgt die Fertigung erst nach Eingang des Kundenauftrags (Corsten und Gössinger 2009, S. 30). Dies ist in der Regel in der Einzelfertigung der Fall (Corsten und Gössinger 2009, S. 38).
- Marktorientiert erfolgt die Fertigung bevor ein konkreter Kaufvertrag vorliegt (Corsten und Gössinger 2009, S. 30). Die Massenfertigung erfolgt in der Regel nach diesem Prinzip (Corsten und Gössinger 2009, S. 38).

Ein weiteres Merkmal zur Klassifizierung der Fertigung stellt der *Organisationstyp des Fertigungsablaufs* dar (Wöhe und Döring 2005, S. 406). Grundkonzepte sind Werkstattfertigung und Fließfertigung.

- In einer Werkstattfertigung werden die Betriebsmittel mit „gleichen oder gleichartigen Funktionen“ laut dem Verrichtungsprinzip zusammengehörig angeordnet (Corsten und Gössinger 2009, S. 30), (Wöhe und Döring 2005, S. 406f). „Gleiche Aufgaben – und mit ihnen entsprechend dedizierte Maschinen und qualifiziertes Personal – werden räumlich in Werkstätten zusammengefasst“ (Sydow und Möllering 2009, S. 77).
- Erfolgt die Organisation der Betriebsmittel anhand des Fertigungsablaufs der Produkte spricht man von Fließfertigung (Wöhe und Döring 2005, S. 406). „Die Betriebsmittel und Arbeitsplätze werden hier so angeordnet, dass das einzelne Produkt die Fertigung möglichst ohne Unterbrechung und mit möglichst wenigen Zwischentransporten durchläuft. Die Planung erfolgt hier orientiert am Produkt- oder Objektprinzip“ (Wöhe und Döring 2005, S. 407).

Eine zusätzliche Unterscheidung kann anhand der *örtlichen Verlagerbarkeit* getroffen werden. Dabei ist eine Fertigung ortsgebunden, wenn die Betriebsmittel zum Produkt gebracht werden müssen. Beispiele sind Baustellen oder die Fertigung von Schiffen oder Großmaschinen (Wöhe und Döring 2005, S. 407).

Eine *einsatzorientierte Typisierung* ermöglicht eine Unterscheidung in materialintensive, arbeitsintensive und kapitalintensive Fertigung (Corsten und Gössinger 2009, S. 29).

Weitere Merkmale zeigt die sehr ausführliche Übersicht von Corsten und Gössinger (2009, S.29). Diese spielen für die vorliegende Aufgabenstellung und deren Einordnung keine entscheidende Rolle.

2.1.3. Eingrenzung und Beschreibung der Anwendungsdimension der diskreten Fertigung

Basierend auf den Merkmalen der Fertigungstypologie aus dem vorangegangenen Kapitel 2.1.2 erfolgt eine Eingrenzung der Anwendungsdimension der diskreten Fertigung für die Fragestellung der Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken.

Fertigungstyp

Produktionsnetzwerke treten in der Regel bei Variantenfertigern auf (Franken 2004, S. 65). Massenfertiger agieren basierend auf Skaleneffekten (Stotko 2005, S. 36) und fertigen ihr Produkt meist auf einer Spezialmaschine (Reichwald, Piller et al. 2009, S. 243) oder zumindest in einem durchgängigen Prozess innerhalb eines Standorts. Bei einem Einzelfertiger hingegen ist der Fertigungsprozess für jedes Produkt individuell (Stotko 2005, S. 36). Die dadurch entstehende „Spezifität, Unsicherheit und Unregelmäßigkeit der Transaktionen“ (Thomas 2008, S. 158) macht eine örtliche Verteilung in einem Produktionsnetzwerk ineffizient (Franken 2004, S. 65). In dieser Arbeit wird daher die Anwendungsdimension auf Serien- und Sortenfertiger der diskreten Fertigung begrenzt.

Örtliche Verlagerbarkeit

Beim Merkmal der örtlichen Verlagerbarkeit ist die vorliegende Aufgabenstellung ausschließlich für ortsungebundene Fertigung relevant. Andernfalls wäre die Verteilung der Wertschöpfung über die ortsgebundene Fertigung bereits festgelegt. Daher wird die Anwendungsdimension der diskreten Fertigung auf die ortsungebundene Fertigung eingeschränkt.

Alle anderen Merkmale der Absatzstruktur, Organisation der Fertigung und vorherrschenden Einsatzfaktoren können bei der Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung in all ihren Ausprägungen auftreten und sind daher bei der Lösungsentwicklung zu berücksichtigen. Somit ist die Anwendungsdimension der diskreten Fertigung über die in Abbildung 2.1 dargestellten Ausprägungen der Fertigungstypologie definiert.

Merkmal	Ausprägung			
Fertigungstyp	Einzelfertigung	Serienfertigung	Sortenfertigung	Massenfertigung
Absatzstruktur	auftragsorientiert		marktorientiert	
Organisation der Fertig.	Werkstattfertigung		Fließfertigung	
Örtliche Verlagerbarkeit	ortsgebundene Fertigung		ortsungebundene Fertigung	
Vorherrsch. Einsatzfaktor	materialintensiv	arbeitsintensiv	kapitalintensiv	
			ist inbegriffen	ist nicht inbegriffen

Abbildung 2.1.: Anwendungsdimension der diskreten Fertigung dieser Arbeit

2.2. Produktionsnetzwerke

2.2.1. Der Begriff des Netzwerks

Im betriebswirtschaftlichen Kontext stellt ein Netzwerk eine Organisationsstruktur zwischen Unternehmen bzw. Unternehmenseinheiten dar (Kutschker und Schmid 2011, S. 535, 1453). Dabei wird zwischen intraorganisationalen und interorganisationalen Netzwerken unterschieden (Kutschker und Schmid 2011, S. 535, 1453).

Intraorganisationale Netzwerke

Intraorganisationale Netzwerke stellen eine Koordinationsform unternehmensinterner Aktivitäten (Macharzina 1999, S. 373ff) – entweder verschiedener Standorte eines Unternehmens (Ude 2010, S. 8) oder der Tochtergesellschaften eines Konzerns (Perlitz 2011, S. 629, 632-636) – dar und zeichnen sich durch ein weitgehend homogenes Zielsystem sowie definierte Koordinationsmechanismen aus (Ude 2010, S. 8).

Für die organisatorische Struktur von intraorganisationalen Netzwerken werden in der Literatur verschiedene Ansätze vorgeschlagen¹ (Perlitz 2011, S. 632), (Kutschker und Schmid 2011, S. 535). Alle diese Ansätze stellen jeweils nur diejenige Form eines intraorganisationalen Netzwerks dar, die aus Sicht des Autors als die idealtypische Struktur verstanden wird (Kutschker und Schmid 2011, S. 309). Ausschließlich das Konzept von Bartlett (1986) führt wie in Abbildung 2.2 dargestellt mehrere Formen von intraorganisationalen Netzwerken auf, die sich wie folgt definieren (Kutschker und Schmid 2011, S. 535), (Perlitz 2011, S. 632):

- Die koordinierte Föderation steht für die globale Multiplikation der heimischen Kompetenz und damit für weltweite Lernfähigkeit (Kutschker und Schmid 2011, S. 300).

¹Besonders nennenswert sind das Konzept der Heterarchie von Hedlund (1986), das Konzept der polyzentrischen Struktur nach der Münchner Schule um Kirsch (1997, S. 245-310), das interne Netzwerk nach Miles und Snow (1992), die Diversified Multinational Corporation DMNC – auch multifokale Unternehmung genannt – nach Doz und Prahalad (1991, 1993) sowie die horizontale Organisation nach White und Poynter (1989).

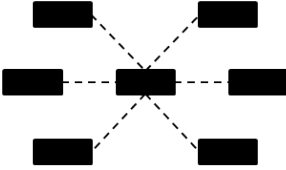
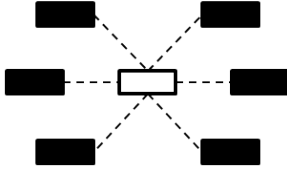
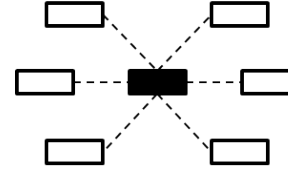
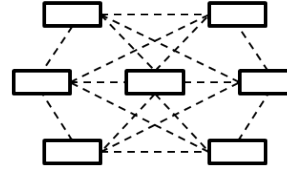
Koordinierte Föderation	Dezentralisierte Föderation	Zentralisierte Knotenpunktstruktur	Integriertes Netzwerk
Übertragung heimischer Technologien auf andere Märkte mit lokalen Anpassungen	Differenzierung der Leistungen entsprechend der Erfordernisse lokaler Märkte	Kostengünstige, exportorientierte Wettbewerbsposition	Differenzierung, Standardisierung und Übertragung
			

Abbildung 2.2.: Intraorganisationale Netzwerkstrukturen nach Bartlett (1986) (Kutschker und Schmid 2011, S. 300)

- Bei der dezentralen Föderation hingegen ist, abhängig von den lokalen Märkten, eine Differenzierung der lokalen Kompetenz notwendig (Kutschker und Schmid 2011, S. 300).
- Die zentralisierte Knotenpunktstruktur wiederum steht für globale Effizienz. Von einem kostengünstigen Produktionsstandort aus wird in alle Märkte exportiert (Kutschker und Schmid 2011, S. 300).
- Über ein integriertes Netzwerk können die spezifischen Charakteristika der zuvor genannten Organisationsformen – weltweite Lernfähigkeit, lokale Anpassungsfähigkeit sowie globale Effizienz – parallel realisiert werden (Kutschker und Schmid 2011, S. 298). Dies wird zum einen durch eine „differenzierte Behandlung“ von Geschäftsbereichen, Funktionen, Regionen oder Tochtergesellschaften und zum anderen durch rege Interdependenzbeziehungen zwischen den Organisationseinheiten sowie zur Zentrale erzielt (Kutschker und Schmid 2011, S. 536). Damit löst sich das integrierte Netzwerk sowohl von zentralistischen als auch von dezentralen Strukturen (Kutschker und Schmid 2011, S. 536). In Folge handeln die Tochtergesellschaften bzw. die einzelnen Produktionsstandorte nicht mehr nach einer auf ihre Organisationseinheit beschränkten Sichtweise, sondern ordnen ihr Handeln der Erwirtschaftung eines Optimums für das gesamte Netzwerk unter (Zentes, Swoboda et al. 2004, S. 197).

Bei der koordinierten Föderation, der dezentralisierten Föderation sowie der zentralisierten Knotenpunktstruktur handelt es sich um „Vorstufen ‚echter‘ Netzwerke“ (Zentes, Swoboda et al. 2004, S. 195). Die vierte Form des integrierten Netzwerks hingegen stellt ein echtes Netzwerk dar, das in seiner Extremform die Struktur der koordinierten bzw. dezentralisierten Föderation oder der zentralen Knotenpunktstruktur annehmen kann. Diese integrierten Netzwerke sind zentraler Gestaltungsbereich der Arbeit und entsprechen dem Verständnis intraorganisationaler Netzwerke.

Unternehmen mit einem intraorganisationalen Netzwerk agieren grundsätzlich gleichzeitig in interorganisationalen Netzwerken (Kutschker und Schmid 2011, S. 545), so dass deren Einflüsse nicht vernachlässigt werden dürfen (Herm 2006, S. 16). Interorganisationale Netzwerke werden daher ebenfalls thematisiert.

Interorganisationale Netzwerke

„Interorganisationale Netzwerke bezeichnen Verflechtungen zwischen rechtlich und wirtschaftlich selbständigen Unternehmen“ (Perlitz 2011, S. 630). Hierbei handelt es sich um freiwillige, relativ intensive, meist langfristige und auch stabile Beziehungen zwischen zwei oder mehreren Unternehmen (Kutschker und Schmid 2011, S. 538, S. 1453). Dabei kann es sich nach Kutschker um langfristige Lieferverträge im Rahmen von Abnehmer-Zulieferer-Kooperationen und Wertschöpfungspartnerschaften, um Franchisesysteme oder Joint Ventures sowie um strategische Allianzen handeln (Kutschker und Schmid 2011, S. 539).

Netzwerke mit einer interorganisationalen Struktur werden von den meisten Autoren mithilfe eines „Markt-Hierarchie-Kontinuums“ (Bauernhansl 2002, S. 37) eingeordnet (Kutschker und Schmid 2011, S. 539). In den Extremen steht der freie Markt, der eine offene Zusammenarbeit ohne feste Bindung zulässt (Sydow 2005, S. 103) und über den Preis geregelt wird (Bauernhansl 2002, S. 37), gegenüber der Hierarchie, in der Unternehmen zu einer rechtlichen Einheit verschmelzen (Wöhe und Döring 2005, S. 286). Dazwischen findet sich Kooperation in jeglicher Form, von mündlichen Absprachen über schriftliche Verträge bis hin zu Kapitalbeteiligungen².

2.2.2. Der Begriff des Produktionsnetzwerks

Die Produktion stellt für die deutsche Volkswirtschaft eine Schlüsselgröße dar (Brecher, Jeschke et al. 2011, S. 19). Hierzu gehören laut dem REFA-Verband „alle an der Herstellung von Erzeugnissen beteiligten Bereiche eines Unternehmens: Entwicklung, Produktionsorganisation, Beschaffung, Fertigung und Qualitätswesen“. Westkämper erweitert die Definition der Produktion als Herstellungsprozess um die Aktivitäten des Erhaltens und Recyclens von Produkten sowie die Betreuung des gesamten Produkt-Lebenszyklus und erwähnt explizit, dass es sich sowohl um materielle als auch um immaterielle Produkte handeln kann (Westkämper 2006, S. 24).

Mithilfe dieser Definitionen sowie der bereits erfolgten Begriffsklärung des Netzwerks kann eine Definition des Begriffs Produktionsnetzwerk erfolgen. Ein Produktionsnetzwerk ist ein Netzwerk zwischen Unternehmen bzw. Unternehmenseinheiten, das primär dem Ziel der Produktion von Sach- bzw. Dienstleistungen (Sydow und Möllering 2009, S. 17) dient (Schröder 2003, S. 33). Dabei werden die Produktionen dieser verschiedenen organisatorischen Einheiten zu einer umfassenden Produktion zusammengeführt (Schönsleben 2011, S. 12). Ein Produkti-

²vgl. zu Kooperationen Bauernhansl (2002, S. 35-41), Rautenstrauch, Generotzky et al. (2003, S. 5)

onsnetzwerk kann alle in Kapitel 2.2.1 aufgeführten organisatorischen Formen annehmen. Die koordinierte Föderation tritt zum Beispiel in Form von Produktionsinseln (vgl. Shi und Gregory (1998, S. 203)), die dezentralisierte Föderation in Form von lokaler Produktion (vgl. Abele, Kluge et al. (2006, S. 171f)) oder eines regionalen Netzes (vgl. Shi und Gregory (1998, S. 203)), die zentralisierte Knotenpunktstruktur in Form einer Weltfabrik (vgl. Abele, Kluge et al. (2006, S. 170f)) und ein integriertes Netzwerk in Form von Hub-and-Spoke (vgl. Abele, Kluge et al. (2006, S. 172)) oder eines Netzes (vgl. Haas und Obst (2012, S. 253)) auf. Interorganisationale Netzwerke umfassen beispielsweise Zuliefernetzwerke (vgl. Haas und Obst (2012, S. 253)), Ketten (vgl. Abele, Kluge et al. (2006, S. 172f)) sowie Projektnetzwerke, innerhalb derer der Kunde durch die Übernahme der endgültigen Fertigstellung des Endprodukts an der Wertschöpfung beteiligt wird (vgl. Kaphahn und Lücke (2006, S. 440, 446))³.

Fast synonym zum Begriff des Produktionsnetzwerks kommt in der Literatur der Begriff des Wertschöpfungsnetzwerks zum Einsatz (Herm 2006, S. 16f). Auch hier gibt es kein eindeutiges Begriffsverständnis (Ude 2010, S. 9), (Herm 2006, S. 16). Bemerkenswert ist, dass in den Augen einiger Autoren Wertschöpfungsnetzwerke auf Aktivitäten fokussieren und von Unternehmensgrenzen unabhängig sind (vgl. Miroschedji (2002, S. 205ff), Bausch (2003, S. 81ff), Stepping (2007, S. 8f), Stengel (1999, S. 18ff)). Eine Abgrenzung hin zu Produktionsnetzwerken wird über einen erweiterten Betrachtungsumfang der Wertschöpfungsnetzwerke argumentiert, die vorgelagerte Bereiche wie Entwicklung und Konstruktion, begleitende Tätigkeiten wie Transport oder Kommissionieren sowie nachgelagerte Bereiche wie Service umfassen (Herm 2006, S. 17). Im Vergleich mit der bereits aufgeführten Definition von Produktion ergeben sich keine Unterschiede.

Das Verständnis von Produktionsnetzwerken soll für diese Arbeit noch enger gefasst werden. Dazu ist die Betrachtung typischer Merkmale von Produktionsnetzwerken hilfreich.

2.2.3. Morphologie von Produktionsnetzwerken

Während der Auseinandersetzung mit den Begrifflichkeiten in den Kapiteln 2.2.1 und 2.2.2 wurden Produktionsnetzwerke bereits in intra- und interorganisationale Netzwerke eingeteilt und die Merkmale des „Markt-Hierarchie-Kontinuums“ sowie des materiellen oder immateriellen Outputs genannt. Diese Dimensionen werden in Abbildung 2.3 dargestellt und um weitere in der Literatur gängige Merkmale ergänzt, die sowohl auf intra- als auch interorganisationale Netzwerke zutreffen und für die Eingrenzung des Betrachtungsbereichs Produktionsnetzwerk im Rahmen dieser Arbeit relevant sind.

Der *räumliche Aspekt* spiegelt die geographische Ausdehnung des Netzwerks wieder. Diese kann sich auf einen Ort beschränken (lokal) oder sich über eine Region (regional), ein Land (national) oder über dessen Grenzen hinaus (international) erstrecken (Fleischer 1997, S. 17).

³Eine sehr gute Übersicht über die verschiedenen Produktionsnetzwerktypen liefert Haas und Obst (2012, S.252-254)

Merkmal	Ausprägung		
Netzwerkgrenze	intraorganisational	interorganisational	
Integrationsgrad	Hierarchie	Kooperation	Markttransaktion
Produkte	materiell	immateriell	
Räumlicher Aspekt	lokal	regional	national international
Dynamik	stabil	dynamisch	
Richtung	horizontal	vertikal	lateral
Interdependenzen	sequentiell	reziprok	gepoolt

Abbildung 2.3.: Morphologie von Produktionsnetzwerken

Die *Dynamik* eines Netzwerks kann stabil oder dynamisch sein. Stabilität steht für langfristige bzw. dauerhafte Beziehungen zwischen den Netzwerkpartnern (Sydow und Möllering 2009, S. 263). Dynamische Netzwerke bilden sich in unregelmäßigen Abständen aus einem Pool von Partnern für eine begrenzte Zeitdauer (Sydow und Möllering 2009, S. 263).

Die *Richtung* der Zusammenarbeit kann vertikal, horizontal und lateral bzw. diagonal erfolgen (Kinkel 2009, S. 213). Eine vertikale Zusammenarbeit findet mit vor- oder nachgelagerten Wertschöpfungsstufen, eine horizontale über die gleiche Wertschöpfungsstufe und eine laterale branchenübergreifend statt (Kinkel 2009, S. 213).

Die *Interdependenzen* zwischen den Netzwerkmitgliedern verlaufen reziprok, sequenziell oder gepoolt. Bei wechselseitigem Austausch von „Inputs und Outputs“ zwischen Unternehmenseinheiten spricht man von reziproker Interdependenz. Im Gegensatz dazu stellt bei sequentiellen Interdependenzen der Output einer Einheit den Input einer anderen Einheit dar. Eine gepoolte Interdependenz tritt auf, wenn eine Unternehmenseinheit von einer anderen indirekt über eine weitere Einheit abhängt (Zentes, Swoboda et al. 2004, S. 197f).

Weitere Merkmale wie die Bestandsdauer eines Netzwerks oder die Organisations- bzw. Führungsstruktur des Netzwerks (Schröder 2003, S. 30ff) dienen ausschließlich der Einordnung von interorganisationalen Netzwerken und sind daher für den Zweck der Eingrenzung und Beschreibung des Gestaltungsbereichs dieser Arbeit nicht geeignet.

2.2.4. Eingrenzung und Beschreibung des Gestaltungsbereichs Produktionsnetzwerk

Wie in Kapitel 1.1 dargelegt, zielt diese Arbeit auf Unternehmen, die in einem komplexen – meist historisch gewachsenem – intraorganisationalen Netzwerk produzieren. Dabei operieren diese wie jedes Unternehmen zudem in interorganisationalen Beziehungen. Daher setzt sich der Gestaltungsbereich Produktionsnetzwerk aus den intraorganisationalen Strukturen sowie den interorganisationalen Beziehungen zusammen. Beide lassen sich jeweils anhand der im voraus-

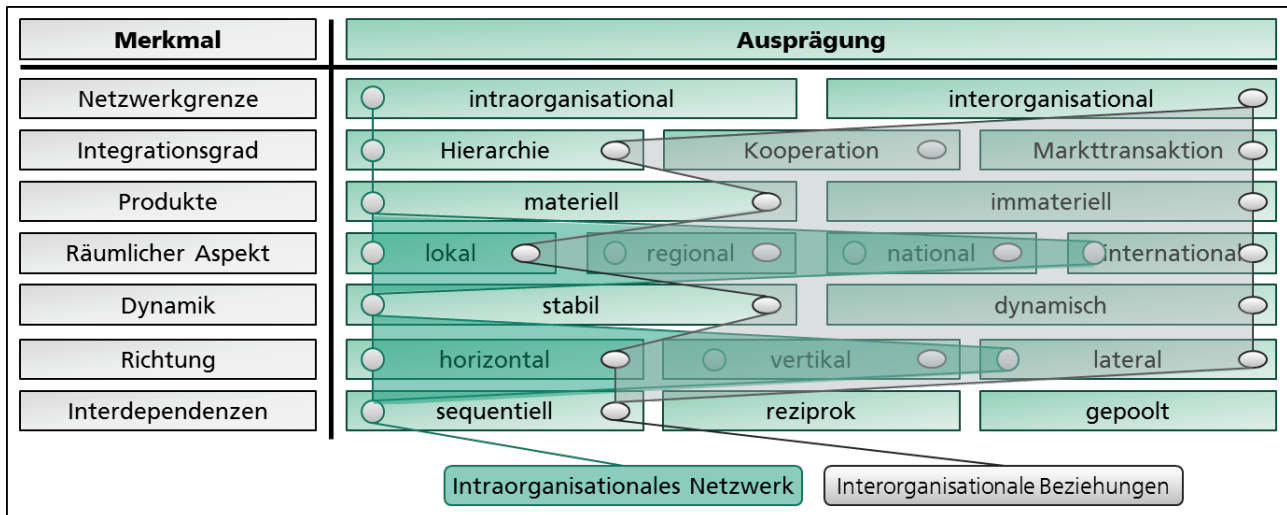


Abbildung 2.4.: Gestaltungsbereich Produktionsnetzwerk dieser Arbeit

gegangenen Kapitel 2.2.3 aufgeführten Merkmale aus der Produktionsnetzwerk-Morphologie wie folgt beschreiben (vgl. Abbildung 2.4):

Integrationsgrad

Intraorganisational werden integrierte Netzwerke betrachtet, die aus verschiedenen Standorten bzw. unterschiedlichen Tochtergesellschaften bestehen. Diese bilden eine rechtliche Einheit und verkörpern damit den Integrationsgrad der Hierarchie. Der Gestaltungsbereich des interorganisationalen Netzwerks umfasst hingegen alle Beziehungen von der bindungsfreien Transaktion bis zum Joint Venture; beginnend eine Stufe vor der Grenze zum intraorganisationalen Netzwerk, d. h. beim sogenannten 1st-Tier, und beim direkten Kunden des intraorganisationalen Netzwerks endend.

Produkte

Im Rahmen der diskreten Fertigung wird die Produktion im intraorganisationalen Netzwerk auf die Herstellung von Sachleistungen begrenzt. Als Beziehungspartner können hingegen beschaffungsseitig Lieferanten, Maschinenhersteller, Logistik- und Entwicklungsdienstleister sowie absatzseitig Endkunden, Produzenten und Konkurrenten auftreten. Daher umfassen die interorganisationalen Beziehungen zusätzlich immaterielle Produkte wie beispielsweise Entwicklungs- oder Logistikdienstleistungen.

Räumlicher Aspekt

Sowohl unternehmensintern als auch unternehmensübergreifend werden internationale Netzwerke adressiert. Da diese Ausprägung die höchste Komplexität aufweist, liegen nationale, regionale und lokale Netzwerke ebenfalls im Gestaltungsbereich.

Dynamik

Bei der Optimierung bestehender Produktionsnetzwerke sollen die einzelnen Standorte bzw. Tochtergesellschaften sowie die im Netzwerk zu erbringende Wertschöpfung erhalten bleiben. Somit finden intraorganisational ausschließlich stabile Netzwerke Berücksichtigung. Änderungen in den intraorganisationalen Strukturen können eine Anpassung der interorganisationalen Beziehungen auslösen. Wird zum Beispiel ein Produktionsschritt an einen anderen Standort verschoben, sind davon die Lieferbeziehungen direkt betroffen. Dies kann einen Wechsel von Netzwerkpartnern und damit Veränderungen im interorganisationalen Netzwerk zur Folge haben. Daher zeichnet das interorganisationale Netzwerk eine gewisse Dynamik aus.

Richtung

Da in einem intraorganisationalen Netzwerk die Standorte bzw. Tochtergesellschaften sowohl innerhalb desselben Produktionsschritts als auch produktionsstufenübergreifend kooperieren, sind sowohl vertikale als auch horizontale Beziehungen Inhalt der Optimierung. Werden innerhalb eines unternehmensinternen Produktionsnetzwerks Produkte unterschiedlicher Branchen hergestellt, kann auch für diese lateralen Beziehungen das Optimierungspotenzial ermittelt werden. Dies entspricht allerdings innerhalb der Aufgabenstellung der Wertschöpfungsverteilung in intraorganisationalen Netzwerken der Optimierung von horizontalen sowie vertikalen Beziehungen. Interorganisational werden „echte“ laterale, vertikale und horizontale Beziehungen berücksichtigt.

Insgesamt ergibt sich somit der in Abbildung 2.5 visualisierte Gestaltungsbereich.

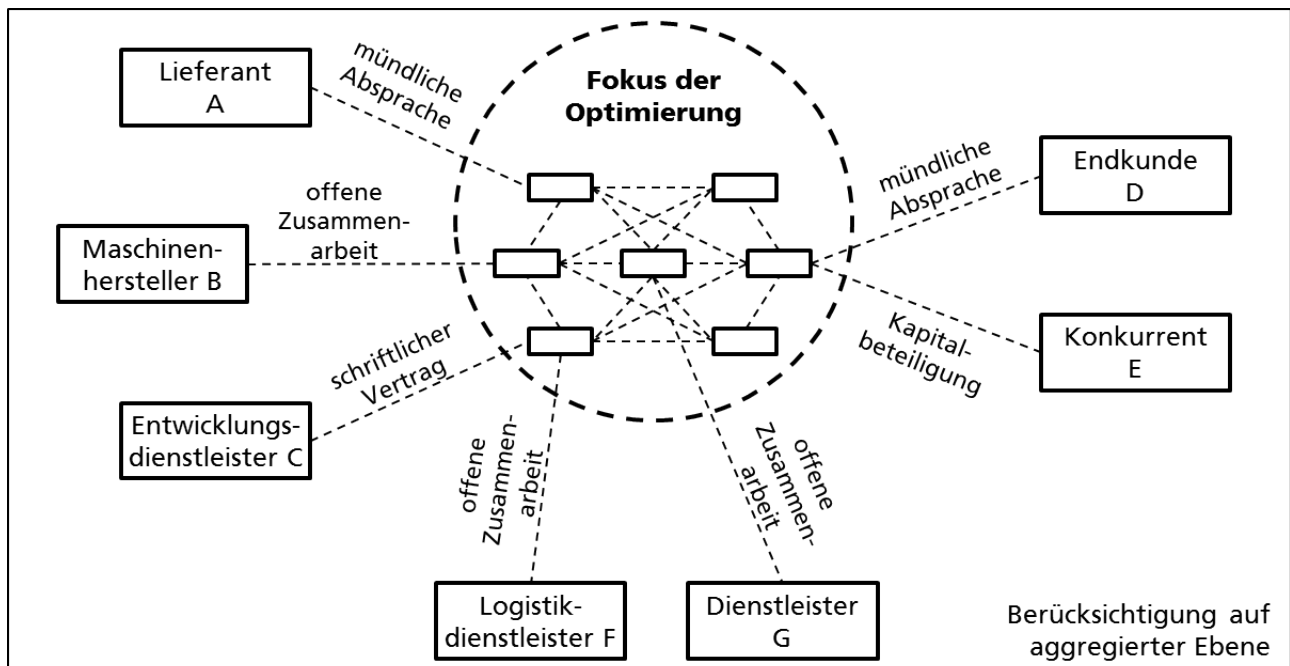


Abbildung 2.5.: Gestaltungsbereich Produktionsnetzwerk dieser Arbeit in Anlehnung an Kutschker und Schmid (2011, S. 546)

Interdependenzen

Innerhalb der vorliegenden Arbeit wird sowohl im intraorganisationalen als auch im interorganisationalen Netzwerk ausschließlich von sequenziellen Interdependenzen ausgegangen.

2.3. Wertschöpfungsverteilung

2.3.1. Der Begriff der Wertschöpfung

Der Begriff der Wertschöpfung stammt ursprünglich aus der Nationalökonomie und wurde bei der Wertschöpfungsrechnung zur Analyse von Volkswirtschaften eingesetzt (Stepping 2007, S. 8). Daher ist es nicht verwunderlich, dass der Begriff in den Wirtschaftswissenschaften nicht eindeutig besetzt ist und sich zwei unterschiedliche Interpretationen herauskristallisiert haben (Ude 2010, S. 7).

Einerseits steht Wertschöpfung statisch betrachtet für das „Ergebnis eines wertschaffenden Prozesses“ (Ude 2010, S. 7). Dabei ist Wertschöpfung „ein Maß für eine Input/Output-Relation und [...] die Leistungsfähigkeit einer Wirtschaftseinheit, wie z. B. einer Volkswirtschaft, eines Unternehmens oder eines Teilbereichs eines Unternehmens“ (Herm 2006, S. 165) und ist als „Umsatz abzüglich zugekaufter bewerteter Vorleistungen“ definiert (Mirow 2002, S. 112).

Andererseits wird in der dynamischen Sichtweise der Herstellungsprozess an sich (Sydow und Möllering 2009, S. 58) als wertschaffend aufgefasst (Ude 2010, S. 7), so dass Wertschöpfung für den „Prozess des Schaffens von Mehrwert durch Bearbeitung“ steht (Sydow und Möllering 2009, S. 62). Damit ist die Wertschöpfung eines Unternehmens „eine Funktion über die Zeit und verkörpert den Wert, der den bezogenen Gütern hinzugefügt wird“ (Westkämper 2006, S. 33ff).

Letzteres Prozessverständnis liegt der Aufgabenstellung der Wertschöpfungsverteilung zugrunde und wird daher in dieser Arbeit verwendet.

Inhaltlicher Umfang von Wertschöpfung

Ebenso wird der Umfang der Wertschöpfung in der Literatur kontrovers diskutiert. Das in der Literatur dominierende und in Abbildung 2.6 links dargestellte Modell der Wertschöpfungskette von Porter – meist Portersche Wertkette genannt – umfasst die Primäraktivitäten Eingangslogistik, Operationen (Produktion), Ausgangslogistik, Marketing und Vertrieb sowie Kundendienst und die Sekundäraktivitäten Unternehmensinfrastruktur, Personalwirtschaft, Technologieentwicklung sowie Beschaffung (Porter 1999, S. 95).

Auch Zentes untergliedert sogenannte Leistungsprozesse in Kern- und Supportprozesse. Allerdings unterscheidet er eine dritte Kategorie der Führungsprozesse (Zentes, Swoboda et al. 2004, S. 164).

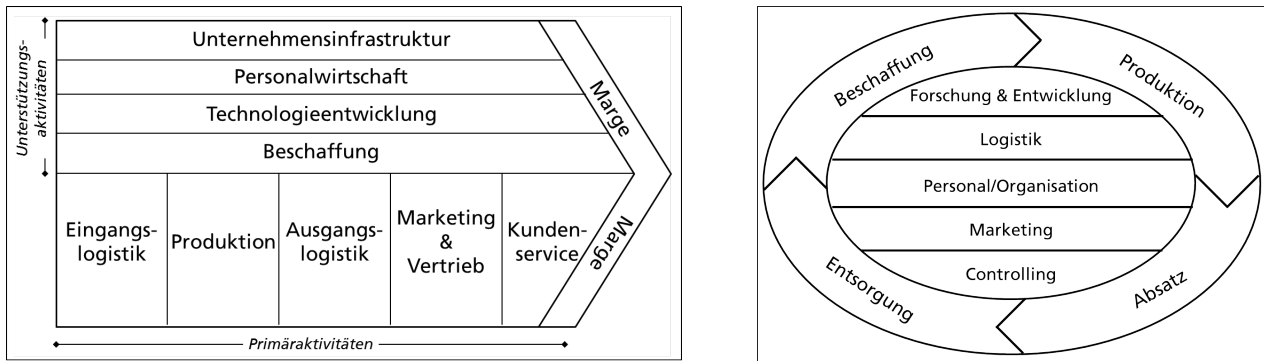


Abbildung 2.6.: Umfang des Begriffs Wertschöpfung nach Porter (1999, S. 95) und Günther (2008, S. 173)

Gemäß einer Weiterentwicklung der Porterschen Wertkette durch Günther stellen in dem in Abbildung 2.6 rechts gezeigten Wertschöpfungskreis Beschaffung, Produktion, Absatz und Entsorgung die Primäraktivitäten dar (Günther 2008, S. 173). Logistik, Personal und Organisation, Forschung und Entwicklung, Marketing sowie Controlling zählen zu den Sekundäraktivitäten (Günther 2008, S. 189).

Nach Sydow kann Wertschöpfung grundsätzlich in jedem Funktionsbereich eines Unternehmens erbracht werden, wobei der Autor auch auf eine mögliche Wertvernichtung hinweist (Sydow und Möllering 2009, S. 62).

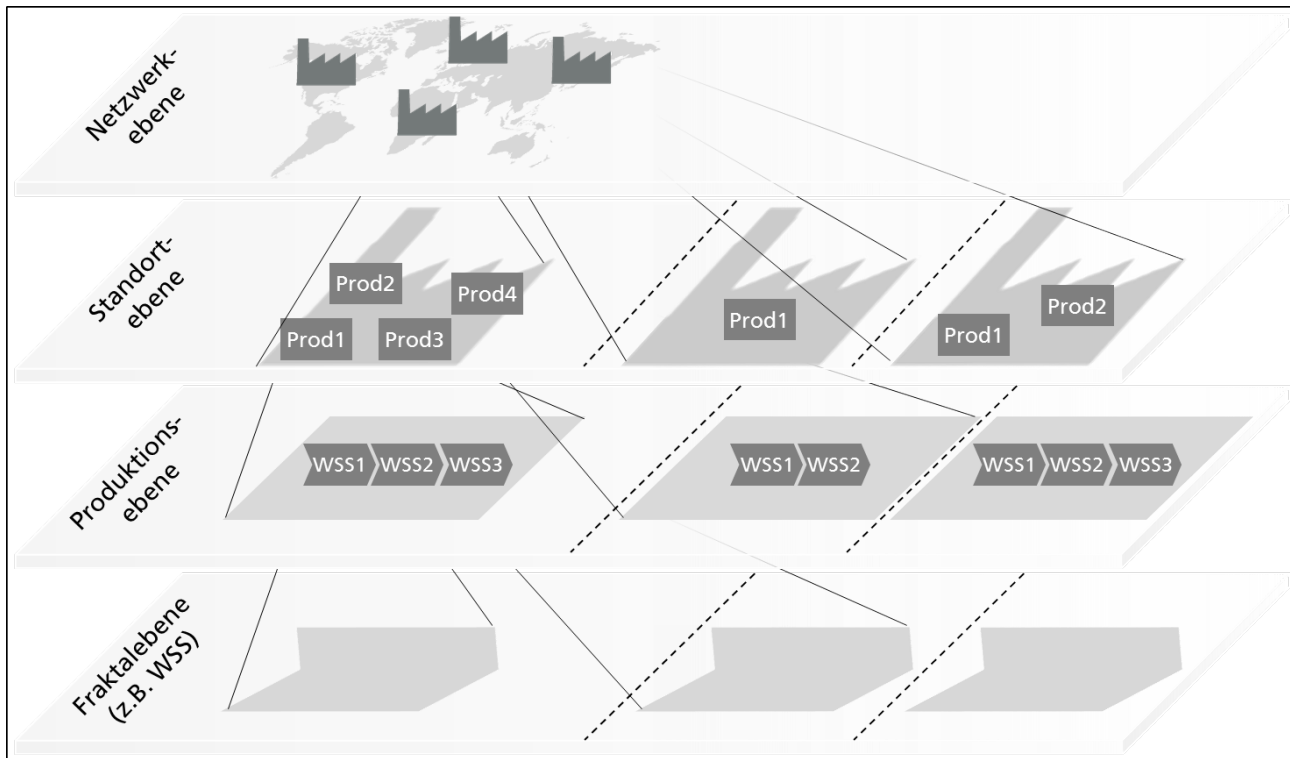
Zur Erlangung eines umfassenden Verständnisses von Wertschöpfung, bezogen auf den definierten Gestaltungsbereich, orientiert sich diese Arbeit sowohl an dem gängigen Verständnis nach Porter als auch an dessen Weiterentwicklung durch Günther.

2.3.2. Die Aufgabenstellung der Wertschöpfungsverteilung

Die Aufgabenstellung der Wertschöpfungsverteilung lässt sich aus dem Verständnis der Verteilung der Produktion ableiten: In der produktorientierten Sicht werden Produktteile oder -komponenten und in der prozessorientierten Sicht einzelne Wertschöpfungsstufen der Produktion den Standorten zugeordnet (Schellberg 2002, S. 146), (Eversheim, Schellberg et al. 2000, S. 37f). In der ressourcenorientierten Sicht werden Anlagen oder Mitarbeiter auf die Standorte verteilt (Herm 2006, S. 20). Wertschöpfungsverteilung entspricht daher einer prozessorientierten Streuung der Produktion auf verschiedene Standorte und wird thematisch der Planung von Produktionsnetzwerken zugeordnet.

Betrachtungsebenen bei der Planung von Produktionsnetzwerken

Eversheim unterscheidet bei der Gestaltung und im Betrieb von Produktionsnetzwerken zwischen den in Abbildung 2.7 dargestellten Betrachtungsebenen Netzwerk und Standort (Eversheim, Schellberg et al. 2000, S. 40). In der weiterführenden Literatur wird zudem eine dritte Ebene



Abkürzungen: Prod: Produktion; WSS: Wertschöpfungsstufe

Abbildung 2.7.: Betrachtungsebenen von Produktionsnetzwerken

ne der Produktion beschrieben⁴. Warnecke detailliert im Sinne eines Fraktalen Unternehmens Produktionsnetzwerke weiter⁵. Dabei könnte beispielsweise eine für eine bestimmte Wertschöpfungsstufe verantwortliche dezentrale Unternehmenseinheit ein sogenanntes Fraktal verkörpern (vgl. Abbildung 2.7) (Warnecke und Braun 1999, S. 25). Ein Fraktal stellt eine eigenständig handelnde Organisationseinheit dar, die sich selbst im Rahmen der vom „Unternehmen als Ganzes“ vorgegebenen Ziele organisiert und optimiert (Warnecke und Braun 1999, S. 20). Diesem Verständnis folgend, werden auf der Netzwerkebene strategische Vorgaben erzeugt, innerhalb derer sich die darunterliegenden Ebenen selbst optimieren. Dies dient der Reduzierung des Spannungsfelds zwischen Planungs- und Wertorientierung aus dem „Polylemma der Produktion“⁶, da die Planungstiefe sinkt (Warnecke und Braun 1999, S. 11).

Gemäß Kapitel 1.3 zielt die Anwendungsdimension dieser Arbeit auf die strategische Unternehmensplanung. Daraus ergibt sich eine Fokussierung auf die Netzwerkebene.

⁴vgl. Schellberg (2002, S. 22-24), Merchiers (2008, S. 73), Jacob (2006, S. 14), Fleischer, Herm et al. (2004, S.473), Constantinescu, Abdul Rahman et al. (2012, S. 123)

⁵vgl. Warnecke und Braun (1999)

⁶Das Polylemma der Produktion basiert auf den beiden Dimensionen der Produktions- und Planungswirtschaftlichkeit. Die Gegenpole der Produktionswirtschaftlichkeit bilden die „Massenproduktion (Economies of Scale) und die Fertigung kundenindividueller Produkte (Economies of Scope)“. Zusammen mit den Gegenpolen Planungs- und Wertorientierung der Planungswirtschaftlichkeit spannen diese das Polylemma der Produktion auf (Brecher, Jeschke et al. 2011, S. 21f). Eine ausführliche Definition und Auseinandersetzung mit der Thematik findet sich in Brecher (2011).

Detaillierte Einordnung der Wertschöpfungsverteilung in die strategische Planung von Produktionsnetzwerken

Die strategische Planung von Produktionsnetzwerken umfasst die Netzwerkstrukturplanung sowie die Planung der zwischenbetrieblichen Logistik (Schellberg 2002, S. 22-24). Dabei steht die Netzwerkstrukturplanung im Vordergrund. Einflüsse der Logistik werden im Kontext der Optimierung der Netzwerkstruktur berücksichtigt, eine Optimierung des Logistiknetzwerks an sich, z. B. der Lage seiner Lager, findet nicht statt.

Hauptaufgabe der Netzwerkstrukturplanung ist die Standortplanung (Schellberg 2002, S. 14), die sich in die Standortwahl und die Standortstrukturplanung aufgliedert (vgl. Abbildung 2.8) (Merchiers 2008, S. 75). Die Standortwahl beschäftigt sich mit der „Auswahl eines geographischen Standortes“ (Merchiers 2008, S. 75f). Dies entspricht dem Footlose-Networks-Ansatz, bei dem permanent nach neuen günstigeren Standorten gesucht wird (Ferdows 2008, S. 150). Im Gegensatz dazu basiert der Rooted-Networks-Ansatz auf einer Optimierung innerhalb bestehender Standorte (Ferdows 2008, S. 150) und entspricht der Standortstrukturplanung, die in dieser Arbeit verfolgt wird.

Die Standortstrukturplanung kommt aus prozessorientierter Sicht dem Wertschöpfungsmanagement gleich (vgl. Zentes, Swoboda et al. (2004, S. VII)).

Das Wertschöpfungsmanagement umfasst innerhalb der für diese Arbeit relevanten Ebene der Gestaltung und Führung von Wertschöpfungsprozessen die Bestimmung der Transaktionsform, die Netzwerkkonfiguration sowie die Festlegung der Koordination (Zentes, Swoboda et al. 2004, S. 8, 72). Bei der Bestimmung der Transaktionsform wird zwischen den Polen Eigenerstellung und Fremdbezug entschieden (Zentes, Swoboda et al. 2004, S. 8f, 73) und dadurch die Anzahl der internen Produktionsstufen festgelegt. Die Thematik der Koordination behandelt die Abstimmung zwischen verstreuten Wertschöpfungsaktivitäten in Bezug auf deren Ausmaße und Form der Informationsübermittlung (Zentes, Swoboda et al. 2004, S. 9). Kern des Wertschöpfungsmanagements bildet die Netzwerkkonfiguration, die gemäß der Definition von Zentes als

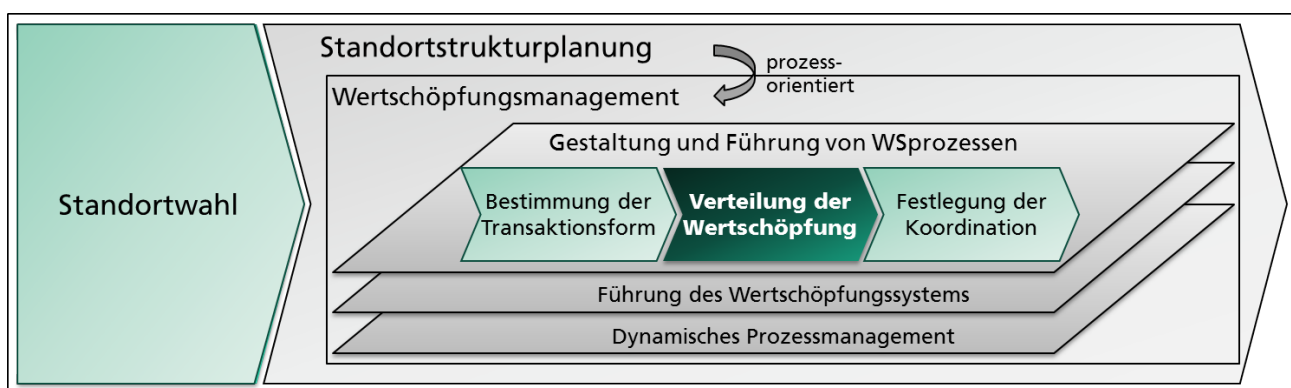


Abbildung 2.8.: Einordnung der Wertschöpfungsverteilung in die Netzwerkstrukturplanung

„geografische Verteilung der Wertschöpfungsaktivitäten“ (Zentes, Swoboda et al. 2004, S. 8) einer prozessorientierten Sicht und damit der Aufgabe der Wertschöpfungsverteilung entspricht.

Die Aufgabe der Wertschöpfungsverteilung

Gemäß dieser Einordnung und Abgrenzung der Thematik der Wertschöpfungsverteilung können zwei Aufgaben definiert werden:

- die Zuordnung von vorgegebenen Prozessen zu bestehenden Standorten sowie
- die langfristige Kapazitätsallokation zu den Standorten (Ude 2010, S. 9).

Die zu ermittelnde Kapazitätsallokation soll die Massenproduktion mit Skaleneffekten bei einem gleichzeitigen Potenzial zum Wandel ermöglichen (Warnecke und Braun 1999, S. 19f) und somit das Spannungsfeld zwischen Economy of Scales und kundenindividueller Produktion aus dem „Polylemma der Produktion“ (Brecher, Jeschke et al. 2011, S. 21f) reduzieren. Die Aufgabe der Markt- und Beschaffungsallokation, bei der Märkte sowie Zulieferer bestimmten Standorten zugewiesen werden, (Ude 2010, S. 9) ist nicht direkt Teil der Wertschöpfungsverteilung. Die Einflüsse dieser Beziehungen müssen allerdings berücksichtigt werden.

2.3.3. Eingrenzung und Beschreibung des Gestaltungsbereichs zur Wertschöpfungsverteilung

Im Folgenden wird das geschaffene Verständnis von Wertschöpfungsverteilung im Kontext von Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung zusammengefasst.

Wertschöpfungsverteilung steht für die „geografische Verteilung von Wertschöpfungsaktivitäten“ (Zentes, Swoboda et al. 2004, S. 8) und entspricht somit einer prozessorientierten Verteilung der Produktion. Damit wird der Begriff der Wertschöpfung in diesem Zusammenhang als Prozess verstanden. Der Umfang der Wertschöpfung innerhalb dieser Arbeit orientiert sich an der Definition von Porter (1999, S. 95) sowie deren Erweiterung durch Günther (2008, S. 173).

Die Aufgabenstellung der Wertschöpfungsverteilung wird in dieser Arbeit als strategische Fragestellung der Ebene „Netzwerk“ aufgefasst. Ausgehend von Ferdows (2008, S. 150) Rooted-Networks-Ansatz bezieht sich die Wertschöpfungsverteilung ausschließlich auf den Umbau von bereits im intraorganisationalen Netzwerk bestehenden Fertigungsprozessen innerhalb der aktuell im Unternehmen vorhandenen Standorte. Somit sind sowohl Standortwahl als auch Outsourcing von der Thematik der Wertschöpfungsverteilung ausgeschlossen. Vielmehr wird im vertikalen Sinne überprüft, ob eine Aufsplittung von Wertschöpfung auf mehrere Standorte bzw. eine Zusammenlegung von Wertschöpfung an einem Standort von Vorteil ist. Horizontal gilt es, die Wege von Produkten durch das Netzwerk zu hinterfragen.

Des Weiteren sind Beziehungen ins interorganisationale Netzwerk im Gestaltungsbereich ausgeführt. Änderungen in der intraorganisationalen Wertschöpfung können eine Anpassung der interorganisationalen Struktur hinsichtlich der zum Netzwerk gehörenden Partner bedeuten. Eine konkrete Partnerauswahl liegt dabei nicht im Umfang des Gestaltungsbereichs, sondern lediglich der Vergleich des bisherigen Partnermarkts mit dem zukünftigen Partnermarkt für die veränderte intraorganisationale Struktur. Damit wird die Aufgabe der Markt- und Beschaffungsallokation auf einer aggregierten Ebene abgedeckt.

2.4. Anforderungen an eine Wertschöpfungsverteilung

Aus dem definierten Anwendungs- und Gestaltungsbereich sowie der erläuterten Aufgabe der Wertschöpfungsverteilung ergeben sich die im Folgenden aufgeführten Anforderungen an eine Methode zur Wertschöpfungsverteilung.

Anforderungen an die Methode hinsichtlich des Ergebnisses

Gemäß der in Kapitel 2.3.2 hergeleiteten Definition der Aufgabe der Wertschöpfungsverteilung muss die Methode die Zuordnung von Prozessen zu Standorten, die langfristige Kapazitätsallokation der Standorte sowie die grobe Markt- und Beschaffungsallokation leisten. Übergeordnet soll die Methode nach der Auseinandersetzung mit den Betrachtungsebenen bei der Planung von Produktionsnetzwerken in Kapitel 2.3.2 auf die strategische Netzwerkebene fokussieren.

Strategische Gestaltung eines Netzwerks

Insgesamt soll die Methode der Gestaltung eines Produktionsnetzwerks im Sinne einer strategischen Entscheidung dienen. Hierbei sind lediglich Informationen in adäquater Anzahl und angemessenem Detaillierungsgrad zu verwenden, die mit einem vertretbaren Aufwand bereitgestellt werden können.

Zuordnung von Prozessen zu Standorten

Als zentrales Ergebnis wird eine Zuordnung von Fertigungsprozessen zu den jeweiligen Standorten erwartet.

Langfristige Kapazitätsallokation zu den Standorten

Über die Zuordnung von Prozessen zu Standorten hinaus gilt es, für die jeweiligen Prozess-Standort-Allokationen die erforderlichen Kapazitäten zu bestimmen. Dabei handelt es sich um die für einen längeren Zeitraum physisch zu installierenden Kapazitäten, die operativ gewissen Schwankungen unterliegen.

Markt- und Beschaffungsallokation auf aggregierter Ebene

Im Fall von Änderungen im intraorganisationalen Netzwerk soll eine entsprechende Überprüfung der Allokation der zugehörigen Beschaffung sowie des Absatzes erfolgen. Dabei reicht dies in einer aggregierten Form aus und muss nicht auf Netzwerkpartnerebene erfolgen.

Anforderungen an die Methode hinsichtlich des Gestaltungsbereichs

Zentrale Anforderungen hinsichtlich des Gestaltungsbereichs sind die Fokussierung auf das intraorganisationale Netzwerk (vgl. Kapitel 2.2.4) mit einem weitreichenden Verständnis von Wertschöpfung (vgl. Kapitel 2.3.3) sowie die umfassende Integration interorganisationaler Einflüsse (vgl. Kapitel 2.2.4).

Stabiles intraorganisationales Produktionsnetzwerk

Gemäß Kapitel 2.2.4 soll als intraorganisationales Netzwerk ein stabiles, integriertes Netzwerk untersuchbar sein. Ein Netzwerk gilt als stabil, wenn sowohl die Standorte bzw. Tochtergesellschaften als auch die zu erbringende Wertschöpfung in Form der bestehenden Fertigungsprozesse innerhalb des intraorganisationalen Netzwerks fix bleiben.

Dynamisches interorganisationales Netzwerk

Darüber hinaus muss die Methode interorganisational Anpassungen der Netzwerkstruktur ermöglichen. Änderungen im intraorganisationalen Netzwerk, beispielsweise eine Wertschöpfungsverlagerung, machen in der Regel Anpassungen im interorganisationalen Netzwerk, zum Beispiel einen Lieferantenwechsel, erforderlich, um die interorganisationalen Einflüsse optimal an die intraorganisationale Struktur anzupassen.

Umfassende interorganisationale Beziehungen

Zu den interorganisationalen Beziehungen sind alle Beziehungen von der Markttransaktion bis zum Joint Venture sowie alle Netzwerkpartner, die an der Wertschöpfung beteiligt sind, zu zählen. Dabei kann es sich unter anderem um Partner handeln, die immaterielle Produkte beisteuern. Insgesamt können dies beschaffungsseitig Lieferanten, Maschinenhersteller, Logistik- sowie Entwicklungsdienstleister und absatzseitig Endkunden, Produzenten sowie Konkurrenten sein.

Umfassendes Verständnis von Wertschöpfung

Wertschöpfung gilt es, nach Kapitel 2.3.3 in einem weitreichenden Umfang von Primär- und Sekundäraktivitäten abzudecken. Dazu muss die Methode das prozessorientierte Verständnis von Wertschöpfung nach Porter (1999, S. 95), ergänzt um jenes von Günther (2008, S. 173), umfassen.

Internationalität

Basierend auf Kapitel 2.2.4 muss die Methode eine Untersuchung beliebiger geografisch international verteilter Netzwerke ermöglichen.

Serien- und Sortenfertigung der diskreten Fertigung

Der definierten Anwendungsdimension aus Kapitel 2.1.3 folgend, sollen Anwendungsfälle der diskreten Fertigung bedient werden. Dabei soll der Gestaltungsbereich die Eigenheiten sowohl einer Serien- als auch einer Sortenfertigung integrieren.

2.5. Das Paradigma des sozio-technischen Systems

Produktionsnetzwerke wurden bisher gemäß dem in der Literatur gängigen Verständnis erklärt. In dieser Arbeit wird allerdings das herkömmliche Verständnis von Produktionsnetzwerken erweitert, indem die Autorin Produktionsnetzwerke als sozio-technische Systeme versteht. Eine Begriffsklärung zum sozio-technischen System sowie seine Bedeutung für die Aufgabenstellung der Wertschöpfungsverteilung sind Inhalt dieses Abschnitts.

2.5.1. Der Begriff des sozio-technischen Systems

In der Systemtheorie wird unter dem Begriff des Systems eine geordnete Gesamtheit von Elementen verstanden, zwischen denen Beziehungen bestehen oder hergestellt werden können (Krallmann, Frank et al. 1996, 6). Somit kann ein Unternehmen als ein System aufgefasst werden, in dem der Austausch von Energie, Gütern und Informationen die Beziehungen darstellen (Krallmann, Frank et al. 1996, S. 7). Ein System besteht aus Sub- bzw. Teilsystemen und ist in ein Super- bzw. Umsystem eingebettet (Schröder 2003, S. 40).

Der Systemansatz als Teil der Systemtheorie integriert die horizontalen und vertikalen Relationen zwischen den Systemen (Schröder 2003, S. 40), d. h. zwischen den Teilsystemen sowie den Teilsystemen und dem Umsystem. Damit handelt es sich um einen „gesamthaften Ansatz für das Verständnis eines Systems“ (Krallmann, Frank et al. 1996, S. 5). Diese Herangehensweise entstand während des zweiten Weltkriegs, als Mathematiker und Physiker militärische Operationen zu optimieren suchten (Krallmann, Frank et al. 1996, S. 5) und sich damit zwischen den Formalwissenschaften der Mathematik und den angewandten Handlungswissenschaften bewegten.

Aus der Anwendung des integrierten Systemansatzes auf Betriebe entstand in den 1950er- und 60er-Jahren in Europa das Konzept des sozio-technischen Systems (Ulich 1993, S. 36f). Maßgeblich an der Entwicklung beteiligt war das englische Tavistock Institute, das sich während eines acht Jahre andauernden Projekts im Kohlebergbau mit diesem Thema beschäftigte (Ulich 2011, S. 85) (vgl. Trist und Bamforth (1951), Emery (1959)). Im Jahr 1989 wurde das sozio-technische System beim VDI integriert (Ulich 1993, S. 36f).

Das Ziel eines sozio-technischen Systems ist die Sicherstellung des langfristigen Systemerhalts (Krallmann, Frank et al. 1996, S. 7). Ein sozio-technisches System gilt als offenes System, das neben den internen Relationen auch Beziehungen zwischen dem Betrieb und seinem externen

Umfeld berücksichtigt (Emery 1959, S. 2). Zum externen Umfeld zählen z. B. das Angebot an Personal, Ressourcen oder Technologien sowie neue Märkte (Emery 1959, S. 3). Des Weiteren besteht ein Betrieb nach dem Konzept des sozio-technischen Systems aus einem sozialen und einem technischen Teilsystem (Ulich 1993, S. 32). Das technische Teilsystem umfasst das Material, die Maschinen und das Land, also die Besitztümer des Unternehmens (Emery 1959, S. 2). Das soziale Teilsystem besteht aus den „Menschen mit ihren Qualifikationen und Bedürfnissen“ (Ulich 1993, S. 32).

Nach dem sozio-technischen Gedanken ist das Gestaltungsziel die integrierte Optimierung der beiden Teilsysteme. „Nur eine gemeinsame und gleichzeitige Optimierung des technischen und des sozialen Teilsystems [führt] zum gewünschten wirtschaftlichen Erfolg“ (Ulich 1993, S. 37). An diesem umfassenden Konzept müssen sich auch rechnergestützte Lösungen orientieren und bei ihrer Optimierungsaufgabe die drei Dimensionen des sozio-technischen Systems, die jeweils Beziehungen zum Umfeld umfassen, – Technik, Mitarbeiter und Organisation – synchron berücksichtigen (Ulich 1993, S. 36). Eine solche integrierte Optimierung erzielt auch unter Kostenaspekten ein bedeutend verbessertes Ergebnis (Ulich 1993, S. 33).

2.5.2. Bedeutung für die Aufgabe der Wertschöpfungsverteilung

Die Systemtheorie bietet mit ihrer Analyse von Strukturen, Verknüpfungen, Wirkungs- und Verhaltenszusammenhängen in Systemen eine Grundlage für die optimale Gestaltung einer Unternehmensstruktur (Schröder 2003, S. 40). So baut auch die Aufgabe der Wertschöpfungsverteilung als prozessorientierte Verteilung der Produktion an Standorte auf einem gewissen Systemverständnis auf. Ein erstes Verständnis für diese Arbeit wurde bereits über die Definition des Gestaltungsbereichs Produktionsnetzwerk gegeben, das einem offenen System entspricht. Im Weiteren wird ein Produktionsnetzwerk als sozio-technisches System aufgefasst⁷. Analog zu einem Unternehmen besteht das technische Teilsystem des Produktionsnetzwerks aus dem Material, den Maschinen sowie den Standorten (Emery 1959, S. 2). Das soziale Teilsystem besteht aus allen Mitarbeitern (Ulich 1993, S. 32). Das Umfeld setzt sich aus dem Beschaffungs- und dem Absatzmarkt mit seinen Märkten für Dienstleistung, Produktionsmaterial und -mittel, Kapital sowie Arbeit zusammen (Schröder 2003, S. 34).

Diese Aspekte eines sozio-technischen Systems müssen bei der Aufgabe der Wertschöpfungsverteilung berücksichtigt werden. Dabei kann das aus der Theorie des sozio-technischen Systems entstandene MTO-Konzept von Ulich – auch MTO-Analyse genannt – bei der Umsetzung helfen (Ulich 2011, S. 86). MTO steht für Mensch, Technik und Organisation, die drei Dimensionen des sozio-technischen Systems (Krallmann, Frank et al. 1996, S. 1). MTO bedeutet, das Unternehmen in seiner Ganzheit zu sehen, indem „Mensch, Technik und Organisation in ihrer gegenseitigen Abhängigkeit und ihrem Zusammenwirken verstanden werden“ (Ulich 2011,

⁷Die Ansätze von Brosze und Schröder verstehen ein Produktionsnetzwerk ebenfalls als sozio-technisches System (vgl. Brosze, Bauhoff et al. (2009, S. 16), Schröder (2003, S. 85)).

S. 86). Um dieses Verständnis zu erlangen, sind Kriterien notwendig, die unter Anwendung des MTO-Ansatzes in die Ebenen Unternehmen, Organisationseinheit, Gruppe und Individuum eingeteilt werden. Im Bereich des Unternehmens gehen beispielsweise Unternehmensziele, Marktposition, Produkte und Produktionsbedingungen, Personalstruktur, Technikeinsatz, Qualitätsmanagement, Innovationsverhalten sowie Lohnsystem und Arbeitszeitmodelle in die kriterienorientierte Bewertung ein (Ulich 2011, S. 86f). Da es sich bei den Kriterien in erster Linie um weiche Einflussfaktoren handelt, wird deutlich, dass ein sozio-technisches System nicht allein über quantitative Kriterien beschrieben werden kann. Vielmehr stehen qualitative Kriterien im Vordergrund, so dass deren Einsatz unumgänglich ist.

3. Quantitative und qualitative Kriterien zur Wertschöpfungsverteilung

Inhalt dieses Kapitels ist die intensive Auseinandersetzung mit quantitativen und qualitativen Kriterien zur Wertschöpfungsverteilung. Dies umfasst im ersten Teil Grundlagen wie Definition und Eingrenzung des Betrachtungsbereichs von Kriterien sowie sich aus den Grundlagen ergebende Anforderungen. Im zweiten Teil wird der Stand der Technik hinsichtlich konkreter Kriterien untersucht und damit ein tieferes Verständnis geschaffen. Ausgehend von einigen Ansätzen aus dem Bereich der Wertschöpfungsverteilung, die hauptsächlich quantitative Kriterien beinhalten, wird der Untersuchungsbereich auf die Disziplinen der Standortplanung und des Risikomanagements ausgeweitet, die sich seit längerer Zeit mit qualitativen Kriterien auseinandersetzen. Dies ermöglicht eine abschließende Defizitbewertung der Ansätze zur Wertschöpfungsverteilung hinsichtlich der verwendeten Kriterien.

3.1. Der Begriff der Kriterien zur Wertschöpfungsverteilung

Nach dem Brockhaus wird der Begriff des Kriteriums als ein „unterscheidendes Merkmal“ definiert (Paulick 2003a, S. 510). Bezogen auf die Aufgabenstellung der Wertschöpfungsverteilung gilt es, potenzielle Wertschöpfungsverteilungen in einem vorgegebenen Produktionsnetzwerk zu unterscheiden. Daher werden Kriterien zur Wertschöpfungsverteilung eingesetzt, um ein Produktionsnetzwerk abhängig von der im Netzwerk herrschenden Wertschöpfungsverteilung zu charakterisieren und ihre Güte anzugeben.

Eine derartige Beurteilung basiert auf den Werten der Kriterien (Hochheimer 2011, S. 145). Somit sind für diese Arbeit solche Kriterien relevant, deren Wert oder Zustand sich abhängig von der Wertschöpfungsverteilung ändert. Da diese Kriterien ausschlaggebend für die Optimierung der Wertschöpfungsverteilung und damit für die Gestaltung des Produktionsnetzwerks sind,

wird in dieser Arbeit synonym zum Begriff des Kriteriums der Begriff des Gestaltungskriteriums verwendet¹.

In der Wissenschaft wird im Hinblick auf Messbarkeit zwischen quantitativen und qualitativen Kriterien unterschieden (Schindler 2015, S. 22).

Quantitative und qualitative Gestaltungskriterien

Im Allgemeinen werden unter quantitativen Kriterien Größen verstanden, die direkt durch Zahlenwerte in bekannten Messeinheiten bestimmbar sind (Krebs 2012, S. 15), (Rosenkranz und Mißler-Behr 2005, S. 39), d. h. zum Beispiel gemessen, gewogen oder abgezählt werden können (Schrader 2009, S. 6). In einer enger gefassten Definition lassen sich quantitative Kriterien ohne Umwege in Geldeinheiten bewerten (Krieg 2003, S. 80). Daher ist nach diesem Verständnis quantitativ synonym zu direkt monetär bewertbar.

Qualitative Kriterien hingegen lassen sich nicht direkt über Zahlen erfassen (Krebs 2012, S. 15) und sind daher in der Regel nur schwer messbar (Abele, Kluge et al. 2006, S. 39). Sie werden in Worten (Schindler 2015, S. 22) oder über Umwege wie z. B. Expertenschätzungen in Zahlen einer Skala ohne gängiger Messeinheit beschrieben (Schindler 2015, S. 22), (Krebs 2012, S. 15). In Abgrenzung zur Definition der quantitativen Kriterien als direkt monetär bewertbare Kriterien, werden qualitative Kriterien als nicht direkt monetär bewertbare Kriterien verstanden (Krieg 2003, S. 80).

Es gilt, diese allgemein gefassten Definitionen von quantitativen und qualitativen Kriterien in den Kontext der Wertschöpfungsverteilung zu setzen. In Bezug auf die Gestaltung von Produktionsnetzwerken finden sich Begriffsklärungen von quantitativen und qualitativen Kriterien in erster Linie in der Standortplanung, wo sie synonym mit den Begriffen der harten und weichen Standortfaktoren bezeichnet werden (vgl. Grabow, Henckel et al. (1995, S. 63)). Deren gängigste Definition ist die von (Hansmann 1974) (Kinkel 2009, S. 57, 58f): Bei quantitativen Standortfaktoren kann der Beitrag zum Unternehmenserfolg durch analytische Entscheidungsmodelle bzw. quantitative Bewertungsinstrumente direkt gemessen werden; die Zielbeiträge der qualitativen Standortfaktoren müssen hingegen von Planungs- und Entscheidungsträgern subjektiv geschätzt und durch heuristische Entscheidungsmodelle bewertet werden (Hansmann 1974, S. 91). Dazu eignen sich vergleichende Checklisten- oder Scoring-Verfahren sowie Risikoindizes (Kinkel 2009, S. 62). Grabow ergänzt die Definition qualitativer Kriterien, indem er weiche Kriterien entweder als Faktoren mit direkten Auswirkungen auf das Unternehmen und

¹In der Literatur zur Wertschöpfungsverteilung von Produktionsnetzwerken finden sich verschiedene Begrifflichkeiten für diese Kriterien. Kohler (2008) spricht von „Aspekten“, Nyhuis und Drochelmann (2008, S. 133-147) von „Schlüssel-“ bzw. „Einflussfaktoren“. Ude (2010) orientiert sich an „Kennzahlen“ und definiert für seinen Ansatz „Zielkriterien“. Ebensperger und Vogel (2012) verwenden „Bewertungskriterien“, während Friedli, Heinzen et al. (2011) den von Pümpin geprägten Begriff der „strategischen Erfolgspositionen“ (Friedli, Heinzen et al. 2011, S. 611) sowie den Begriff der „Dimensionen“ einsetzen. Eine wissenschaftliche Herleitung der jeweiligen Begriffe nehmen die Autoren nicht vor.

schwerer Messbarkeit oder als Faktoren mit keinen oder nur geringen direkten Auswirkungen, aber mit erheblichen indirekten Auswirkungen z. B. über die Arbeitsmotivation oder die Verfügbarkeit von Arbeitskräften charakterisiert (Grabow, Henckel et al. 1995, S. 64). Zudem geht Grabow davon aus, dass eine klare Abgrenzung zwischen weichen und harten Standortfaktoren nicht möglich ist (Grabow, Henckel et al. 1995, S. 64).

Um in dieser Arbeit eine klare Abgrenzung zwischen quantitativen und qualitativen Kriterien zu vollziehen, werden quantitative Kriterien als direkt monetär bewertbare Kriterien und qualitative Kriterien als nicht direkt monetär bewertbare Kriterien definiert. Die qualitativen Kriterien umfassen Kriterien mit direkten und indirekten Auswirkungen gleichwertig.

3.2. Eingrenzung und Beschreibung des Betrachtungsbereichs von Gestaltungskriterien

Die Spezifizierung des Betrachtungsbereichs von Kriterien zur Wertschöpfungsverteilung baut auf den Definitionen von quantitativen und qualitativen Kriterien auf.

Im Bereich der Gestaltung von Produktionsnetzwerken setzt sich die Standortplanung am längsten mit qualitativen Kriterien auseinander. Dabei ist in jüngster Zeit zu beobachten, dass die Disziplin des Risikomanagements Einzug in eine sogenannte „risikoorientierte Standortplanung“ hält (Weig 2008, S. 36). Analog zu dieser Bewegung gilt es, bei der Wertschöpfungsverteilung Risiken innerhalb der qualitativen Kriterien gesondert zu berücksichtigen (vgl. Hinkel (2006)).

Definition Risiko

Allgemein wird ein Risiko als Gefahr definiert, einen Schaden oder Verlust zu erleiden (Paulick 2003c, S. 745). In der gängigen Literatur sind hauptsächlich die folgenden zwei Begriffsverständnisse von Bedeutung: Die ursachenbezogene Risikodefinition geht von unvollständigen Informationen zum Zeitpunkt der Entscheidung aus, während die wirkungsbezogene Definition sich auf die negative Abweichung von einem Ziel bezieht (Pfohl 2008, S. 8f). Beide Spezifizierungen werden in Amanns Definition von Risiken als „künftige Entwicklungen und Ereignisse [...], die aufgrund unvollkommener Information die Nichterreichung der Ziele auf Unternehmens- und Supply-Chain-Ebene bewirken können“ zusammengeführt (Vahrenkamp und Siepermann 2007, S. 14f). Dieser Definition folgend, wird in der vorliegenden Arbeit ein Risiko als ein Ereignis verstanden, von dem nicht sicher ist, ob und – wenn überhaupt – in welcher Intensität es eintritt, d. h. ein Ereignis mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit und einer Schadenshöhe. Beispiele für Risiken stellen Änderungen in der Gesetzgebung, Wechselkursschwankungen oder Naturkatastrophen dar.

Definition Erfolgsposition

Im Umkehrschluss stellt das Gegenteil eines Risikos ein zwar qualitatives, aber in jedem Fall eintretendes bzw. das Unternehmen grundsätzlich betreffendes Kriterium dar. Darunter fallen Gesetzgebung, Wechselkurs oder Flexibilität der Produktion. In Anlehnung an den von Pümpin eingeführten Begriff der strategischen Erfolgspositionen² ist ein derartiges Kriterium innerhalb dieser Arbeit als *Erfolgsposition* definiert. Der Wert einer Erfolgsposition kann sich aufgrund von Veränderungen in der Wertschöpfungsverteilung ändern, wenn eine Wertschöpfungsstufe z. B. in ein anderes Land mit einer anderen Gesetzgebung, einem anderen Wechselkurs oder einem anderen Verständnis für Flexibilität verlagert wird. Erfolgspositionen können innerhalb einer vorgegebenen Skala von Experten geschätzt werden, die zum Vergleich von Wertschöpfungsszenarien ausreicht.

Abgrenzung von Risiken und Erfolgspositionen

Eine klare Einordnung eines Kriteriums als Risiko oder Erfolgsposition kann in bestimmten Fällen nur situationsbezogen erfolgen (Prinz und Bauernhansl 2013, S. 106), da manche Kriterien sowohl den Risiken als auch den Erfolgspositionen zugeordnet werden können. Ein Beispiel ist das Kriterium der Beschaffungsqualität. Kennt das Unternehmen seine Lieferanten und deren Qualität so gut, dass es sich sicher sein kann, dass die angedachten Änderungen in der Wertschöpfungsstruktur keinen bzw. einen dem Unternehmen bekannten Einfluss auf die Beschaffungsqualität haben, kann der Entscheider den Faktor Beschaffungsqualität als Erfolgsposition einordnen. Kann das Unternehmen die Auswirkungen der bevorstehenden Änderungen auf die Beschaffung nicht vorhersehen, z. B. weil neue Lieferanten eingesetzt werden müssen, geht das Unternehmen das Risiko der Verringerung der Beschaffungsqualität ein.

Neben der Spezifizierung von qualitativen Kriterien als Risiken und Erfolgspositionen ist die folgende Unterscheidung von Kriterien erforderlich.

Kriterien mit positiven bzw. negativen Auswirkungen

Der Einsatz von Gestaltungskriterien in dieser Arbeit dient der Optimierung der Wertschöpfungsverteilung. Dazu müssen die Werte der Kriterien mit positiver Wirkung maximiert und solche mit negativer Wirkung minimiert werden. Eine Unterscheidung in Kriterien mit positiven sowie negativen Auswirkungen auf das Unternehmen ist daher zwingend erforderlich.

In mehreren Ansätzen zur Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken wird zwar von Stärken und Schwächen (Friedli, Heinzen et al. 2011, S. 612) bzw. Chancen und Risiken (Nyhuis und Drochelmann 2008, S. 220) gesprochen, allerdings bietet eine konkrete Unterscheidung ausschließlich der Ansatz von Ebersperger und Vogel (2012). Dieser trennt die qualitative Bewertung von einer Risikoanalyse.

²Für Pümpin stellen strategische Erfolgspositionen Fähigkeiten dar, die ein Unternehmen in die Lage versetzen, „längerfristig überdurchschnittliche Ergebnisse zu erzielen“ (Pümpin 1992, S. 28), (Friedli, Heinzen et al. 2011, S. 611). Eine aggregierte Aufzählung von Fähigkeiten findet sich in Pümpin und Prange (1991, S. 253).

	Quantitative Kriterien	Qualitative Kriterien	
		Risiko	Erfolgsposition
Positive Auswirkungen			X
Negative Auswirkungen	X	X	

Tabelle 3.1.: Einordnung des Betrachtungsbereichs Gestaltungskriterien

Insgesamt ergibt sich für diese Arbeit die in Tabelle 3.1 dargestellte und im Folgenden beschriebene Unterteilung des Betrachtungsbereichs der Gestaltungskriterien. Zum einen wird in quantitative, d. h. direkt monetär bewertbare Kriterien, in qualitative Risikokriterien sowie in qualitative Erfolgspositionen und zum anderen in Kriterien mit positiven bzw. negativen Auswirkungen unterschieden. Dabei ist im Fall der quantitativen, direkt monetär bewertbaren Kriterien das Ziel der Minimierung offensichtlich, so dass diese den Kriterien mit negativer Wirkung zugeordnet werden. Bei den qualitativen Kriterien stellt sich dieser Sachverhalt nicht eindeutig dar. Allerdings sind Risikokriterien in der Regel mit negativen Auswirkungen verbunden und werden daher diesen zugeordnet. Ebenso haben Erfolgspositionen vorwiegend positive Wirkung. Zudem kann ein in jedem Fall eintretender Mangel, wie unzureichende Flexibilität in der Produktion, über eine entsprechende positive Formulierung des Kriteriums, beispielsweise „vorhandene Flexibilität in der Produktion“, zusammen mit einer geringen Bewertung als Erfolgsposition so formuliert und bewertet werden, dass es diese zu maximieren gilt. Analoges gilt für Risikokriterien mit positiven Auswirkungen, wie beispielsweise die positiv zu bewertende Chance, nicht oder ausschließlich in äußerst seltenen Fällen von Naturkatastrophen betroffen zu sein, die einem niedrig bewerteten Risiko entspricht.

Zusammenfassend ist daher im Kontext von Wertschöpfungsverteilung neben der in Kapitel 3.1 mit den Definitionen einhergehenden Unterscheidung zwischen quantitativen und qualitativen Kriterien die Trennung zwischen Kriterien mit positiver und negativer Wirkung entscheidend. Quantitative Kriterien sind Kriterien mit negativer Wirkung. Qualitative Kriterien treten in Form von Risiken als Kriterien mit negativer Wirkung sowie in Form von Erfolgspositionen als Kriterien mit positiver Wirkung auf.

Inhaltlicher Umfang

Inhaltlich ergibt sich damit ein Betrachtungsbereich, der Kriterien aus den Bereichen der Wertschöpfungsverteilung, der Standortplanung sowie des Risikomanagements umfasst. Dabei sind ausschließlich Kriterien aufzunehmen, die die Aufgabenstellung der Wertschöpfungsverteilung betreffen bzw. auf diese übertragbar sind und im Gestaltungsbereich des Produktionsnetzwerks der diskreten Fertigung liegen.

3.3. Anforderungen an eine Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken hinsichtlich der Gestaltungskriterien

Aus dem in den vorherigen Kapiteln 3.1 und 3.2 definierten sowie eingegrenzten und beschriebenen Betrachtungsbereich der Gestaltungskriterien ergeben sich die im Folgenden aufgeführten Anforderungen an eine Methode zur Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken.

Quantitative und qualitative Zielkriterien

Aus Kapitel 3.1 ergibt sich die zentrale Anforderung an die Methode, mit sowohl quantitativen als auch qualitativen Kriterien umzugehen. Diese dienen der Charakterisierung der Güte einer Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung und stellen damit Zielkriterien dar.

Trennung von Kriterien mit positiver Wirkung und Kriterien mit negativer Wirkung

Gemäß Kapitel 3.2 gilt es, insbesondere qualitative Kriterien in Kriterien mit negativer und Kriterien mit positiver Wirkung zu unterscheiden und diese jeweils getrennt voneinander auf entsprechende Weise zu verarbeiten. Damit geht die Unterscheidung in Risiken, die ausschließlich mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit eintreten, und in Erfolgspositionen, die in jedem Fall eintreten, einher. Risiken sind so zu formulieren, dass sie Kriterien mit negativer Auswirkung darstellen, während Erfolgspositionen derart zu definieren sind, dass sie sich positiv auswirken.

Umfassendes Verständnis von Gestaltungskriterien

Des Weiteren wird über den inhaltlichen Umfang des Betrachtungsbereichs aus Kapitel 3.2 die Berücksichtigung von Kriterien in einem umfassenden Verständnis gefordert. Darunter fallen beispielsweise Kriterien der Standortplanung sowie des Risikomanagements, die die Aufgabe der Wertschöpfungsverteilung betreffen.

Flexible Berücksichtigung von Kriterien

Erfahrungsgemäß sind für jeden Anwendungsfall andere Kriterien in unterschiedlicher Gewichtung von Bedeutung. Daher muss die Methode die Möglichkeit eines flexiblen Einsatzes von spezifischen, individuell gewichteten Kriterien ermöglichen.

Strategien der Unternehmen sowie Entscheider

Eine zusätzliche Anforderung der Berücksichtigung verschiedener Strategien ergibt sich aus folgendem Sachverhalt: Die Arbeit mit qualitativen Kriterien ist eng an die jeweilige Unternehmensstrategie gebunden. Unternehmen, die die Qualitätsführerschaft anstreben, müssen mehr Wert auf qualitative Kriterien legen als Unternehmen mit dem Ziel der Kostenführerschaft. Ebenso treibt jeden Entscheider eine andere Motivation zur Wertschöpfungsverteilung. Bei der

Standortwahl wurden von Grabow fünf Typen von Entscheidern identifiziert: Wichtignehmer, Hardliner, Polarisierete, Lagebewusste und Bescheidene (Grabow, Henckel et al. 1995, S. 240f). Die unterschiedlichen Strategien von Unternehmen und Entscheidern sollten in der Methode Berücksichtigung finden.

3.4. Gestaltungskriterien aus Ansätzen zur Wertschöpfungsverteilung

Das in den vorangegangenen Abschnitten entwickelte grundlegende Verständnis für Gestaltungskriterien ermöglicht die Analyse von Ansätzen zur Wertschöpfungsverteilung hinsichtlich der eingesetzten Kriterien. Dabei stehen aufgrund des in Kapitel 1.2 erläuterten Defizits eines vorwiegend kostenbasierten Entscheidungsverhaltens die qualitativen Kriterien im Fokus. Somit werden zur Analyse lediglich Ansätze herangezogen, die neben Kostenaspekten auch in einem gewissen Umfang qualitative Kriterien berücksichtigen. Hierzu gehören die multikriteriellen Ansätze von Ude (2010), Kohler (2008) und Moser (2014) sowie die Bewertungsansätze von Ebensperger und Vogel (2012), A.T. Kearney (Schmidt 2011), Friedli, Heinzen et al. (2011) und Nyhuis und Drochelmann (2008). Im Folgenden wird lediglich auf die Gestaltungskriterien der jeweiligen Methoden eingegangen.

Gestaltungskriterien der Konfiguration globaler Wertschöpfungsnetzwerke nach Ude

Ude orientiert sich bei der Integration von qualitativen Kriterien an Kennzahlensystemen aus der Literatur (Ude 2010, S. XXXII). Aus den wissenschaftlichen Schriften von Beamon (1999), Gunasekaran, Patel et al. (2001), Gunasekaran und Kobu (2007) sowie Kaplan und Norton

Kosten	Zeiten	Lieferperformance	Flexibilität	Qualität	Sonstiges
<ul style="list-style-type: none"> - Return of Investment - Herstellkosten - Ausschusskosten - Lagerhaltungskosten - Overheadkosten - Wertschöpfung - Transportkosten - Garantiekosten - Landed Cost - Einmalaufwand für Umgestaltung 	<ul style="list-style-type: none"> - Produktentwicklungszeit - Auftragsbearbeitungszeit - Reaktionszeit des Netzwerks - Durchlaufzeit Produktion - Prozessdauern - Vorhersagegenauigkeit - Beschaffungszeit - Termineinhaltung - Disposition 	<ul style="list-style-type: none"> - Lieferzeit - Termintreue - Lieferzuverlässigkeit - Einhaltung der Kundenspezifikation - Kundenzufriedenheit 	<ul style="list-style-type: none"> - Lieferterminflexibilität - Produktivität - Kapazitätsauslastung - Produktvariabilität - Produktionsflexibilität - Stückzahlflexibilität - Variantenflexibilität 	<ul style="list-style-type: none"> - Ausschussrate - Nacharbeitsrate - wahrgenommene Qualität des Produkts 	<ul style="list-style-type: none"> - Wahrgenommener Wert des Produkts - Image - Einhaltung der Vorschriften - Einhaltung sozialer Standards - Mitarbeiterzufriedenheit

Tabelle 3.2.: Gestaltungskriterien der Konfiguration globaler Wertschöpfungsnetzwerke (vgl. Ude (2010, S. XXXII-XXXIII))

(2008), die die Balanced Scorecard behandeln, leitet Ude die fünf „Key Performance Indicators für Wertschöpfungsnetzwerke“ ab: Kosten, Zeiten, Lieferperformance, Flexibilität und Qualität (Ude 2010, S. XXXIIf). Diese werden um die Kategorie Sonstiges ergänzt (Ude 2010, S. XXXIIf). Zu jedem Indikator werden verschiedene Zielkriterien definiert (Ude 2010, S. XXXII), die in Tabelle 3.2 aufgeführt sind.

Gestaltungskriterien des Global Supply Chain Designs nach Kohler

Kohlers Ausgangspunkt hinsichtlich der Gestaltungskriterien ist die Typologisierung von Internationalisierungsstrategien nach Kaufmann und Panhans (2006, S. 53) (Kohler 2008, S. 38).

Aus den darin aufgeführten Handelshemmnissen bei der Erschließung neuer Märkte greift Kohler die internationalen Aspekte Logistik, Gewinnbesteuerung, Zölle, Local-Content-Bestimmungen und Wechselkurse heraus, die er in seine Methode zum Global Supply Chain Design neben dem Kriterium der Faktorkosten integriert (Kohler 2008, S. 40 - 59). Was Kohler unter den jeweiligen Aspekten versteht, ist in Tabelle 3.3 zusammengefasst.

Faktorkosten und -produktivitäten	Internationale Logistik	Gewinnbesteuerung, Verrechnungspreise und Subventionen	Zölle und Zollrück-erstattungen	Local Content-Bestimmungen	Wechselkurse
<ul style="list-style-type: none"> - Arbeitskosten - Beschaffungskosten - Kapitalkosten - Energiekosten 	<ul style="list-style-type: none"> - Logistikkosten: Transportkosten, Bestandskosten, Lagerkosten, Verpackungskosten, Systemkosten - Logistikleistung: Lieferzeit, Lieferzuverlässigkeit, Lieferqualität, Lieferflexibilität, Informationsfähigkeit Beeinflusst von: <ul style="list-style-type: none"> - Transportentfernung - Transportmittel - Administrativer Aufwand 	<ul style="list-style-type: none"> - Gewinnbesteuerung - Transferpreise - Subventionen: Steuererleichterungen, Schenkungen, direkte Geldzahlungen 	<ul style="list-style-type: none"> - Zollsätze abhängig von: Zielland, Ursprungsland, Warengruppe, Kaufpreis der Ware - Zollverfahren: Überführung in den zollrechtlichen freien Verkehr, Zolllagerverfahren, aktive Veredelung, passive Veredelung 	<ul style="list-style-type: none"> - Kosten lokal hergestellter Zukäufe inkl. Transport- und Versicherungskosten - inländischer Transporteure - Kosten lokaler Eigenfertigung - Verkaufspreis 	<ul style="list-style-type: none"> - Ökonomisches Risiko bei Export/Import, Kreditbeschaffungsmaßnahmen

Tabelle 3.3.: Gestaltungskriterien des Global Supply Chain Designs (vgl. Kohler (2008, S.40-59))

Gestaltungskriterien der strategischen Planung globaler Produktionsnetzwerke nach Moser

Moser setzt in seinem Ansatz folgende Zielkriterien ein: Kosten, Lieferzeit, Qualität, Flexibilität, Koordination, Marktnähe und Standortqualifikation (Moser 2014, S. 49). Auf deren Herkunft geht er nicht ein, sondern konzentriert sich vielmehr auf die Integration von Wand-

Politisch-rechtliche Rahmenbedingungen	Umwelt	Lieferanten	Kunden	Wettbewerber
<ul style="list-style-type: none"> - Politische Stabilität - Steuern - Local-Content-Anforderungen - Handelshemmnisse (Zölle) 	<ul style="list-style-type: none"> - Wechselkurse - Tarifvereinbarungen - Lohnkosten - Demografischer Wandel 	<ul style="list-style-type: none"> - Produktqualität - Zulieferer - Materialpreis - Rohölpreis/ Energiepreis 	<ul style="list-style-type: none"> - Nachfrage (Volumen) - Kundenindividuelle Anforderungen (Varianten) 	<ul style="list-style-type: none"> - Anzahl Wettbewerber - Produktinnovation - Wettbewerberpreis

Tabelle 3.4.: Wandlungstreiber der strategischen Planung globaler Produktionsnetzwerke (vgl. Moser (2014, S. 91))

lungstreibern. Für diese stellt er die fünf Klassen politisch-rechtliche Rahmenbedingungen, Umwelt, Lieferanten, Kunden und Wettbewerber mit den in Tabelle 3.4 aufgeführten Beispielen an Wandlungstreibern zur Verfügung (Moser 2014, S. 91).

Gestaltungskriterien der benchmarkbasierten Netzwerkoptimierung nach Ebensperger

Ebensperger unterscheidet hinsichtlich der Gestaltungskriterien zwischen einer finanziellen Bewertung, qualitativen Bewertungskriterien und einer Risikobetrachtung (Ebensperger und Vogel 2012, S. 1), die in Tabelle 3.5 aufgeführt sind.

Finanzielle Bewertung	Qualitative Bewertungskriterien	Risikobetrachtung
<ul style="list-style-type: none"> - Laufende Kosten <ul style="list-style-type: none"> - Personalkosten: Löhne, Gehälter, Lohnnebenkosten - Material- und Logistikkosten - IT-Kosten - Externe Services - Interne Umlagen - Währungs- und Wechselkurse - Berücksichtigung von Effizienz- und Produktivitätssteigerungen - Einmalkosten der Umsetzung <ul style="list-style-type: none"> - Investitionen: Neuanschaffung von Anlagen, Gebäudeerweiterungen, sonstige Infrastruktur wie Grundstücke oder Informationstechnologie - Umzugskosten: Kosten des Produktions- und Administrations-transfers, Fertigungsvorlaufkosten, Kosten für Zulassungsänderungen - Stilllegungskosten bei Verkauf/Management-Buy-Out: Erlöse, Start-Investment oder bei Werkschließung: Sonderzahlungen für Abfindungen, Bleibepremien, HR- und Rechtsberatung, Gerichts- und Rückbaukosten 	<ul style="list-style-type: none"> - Vorhandene Standortkompetenzen und -ausstattung: Kompetenz, Produktivität, Effizienzsteigerungspotenzial - Marktseitige Umfeldfaktoren - Regulatorische Rahmenbedingungen: z.B. Genehmigungen, Bearbeitungsdauer - Strategische Aspekte 	<ul style="list-style-type: none"> - Interne Risiken <ul style="list-style-type: none"> - Wirtschaftliche/terminliche und technische Risiken - Effekte auf die Belegschaft (Change Management, Identität) - Risiken in der Marktbedienung - Externe Risiken <ul style="list-style-type: none"> - Marktseitige, soziokulturelle, politische und Währungsrisiken - Mögliche regulatorische Hürden - Reaktionen der Aktionäre

Tabelle 3.5.: Gestaltungskriterien der benchmarkbasierten Netzwerkoptimierung (vgl. Ebensperger und Vogel (2012, S. 1f))

Für die Bewertung der qualitativen Kriterien wird wie bei Ude auf Scoring-Modelle zurückgegriffen (Ebensperger und Vogel 2012, S. 1). Für die finanzielle Bewertung werden ein detaillierter Business Case sowie Benchmark-Vergleiche herangezogen (Ebensperger und Vogel 2012, S. 1f). Risiken werden hinsichtlich Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadenshöhe bewertet (Ebensperger und Vogel 2012, S. 2).

Gestaltungskriterien des strategischen Managements globaler Produktionsnetzwerke nach Friedli

Der Ansatz von Friedli beruht auf dem Abgleich von Stärken und Schwächen (Friedli, Heinzen et al. 2011, S. 612), die damit Entscheidungs- und Gestaltungsdimensionen darstellen (Friedli, Heinzen et al. 2011, S. 610-612). Dabei geht Friedli von einer übergeordneten Zielsetzung der Strategie – den sogenannten strategischen Erfolgspositionen – aus (Friedli, Heinzen et al. 2011, S. 610f). In Tabelle 3.6 sind sowohl die strategischen Erfolgspositionen als auch die Entscheidungs- und Gestaltungsdimensionen aufgeführt.

Strategische Erfolgspositionen	<ul style="list-style-type: none"> - Qualität - Kosten - Liefergeschwindigkeit und -treue - Flexibilität
Entscheidungs- und Gestaltungsdimensionen	<ul style="list-style-type: none"> - Zugang zu Märkten und Kunden - Nähe zu Wettbewerbern - Zugang zu Rohstoffen, Lieferanten - Zugang zu kostengünstigen und qualifizierten Arbeitskräften - Sozio-politische Faktoren: Steuervergünstigungen, Subventionsprogramme, Möglichkeit der Wechselkurssicherung - Skaleneffekte, Verbundeffekte, Reduzierung von Doppelarbeit - Mobilität von Produkten, Prozessen, Personal - Mobilität von Produktionsvolumen: Flexibilität durch Vorhalten von Kapazitäten - Externes Wissen, Lernen: Zugang zu heterogenem verteilten Wissen und dessen rasche Verbreitung - Imagefaktoren

Tabelle 3.6.: Gestaltungskriterien des strategischen Managements globaler Produktionsnetzwerke (vgl. Friedli, Heinzen et al. (2011, S. 611))

Ist-Informationen zu den einzelnen Entscheidungskriterien, d. h. Stärken und Schwächen des aktuellen Netzwerks, werden in einer funktionsübergreifend besetzten Workshop-Reihe ermittelt. Die in Zukunft zu erzielenden Werte der Entscheidungsdimensionen werden aus der Unternehmensstrategie abgeleitet (Friedli, Heinzen et al. 2011, S. 612).

Kriterien der Gestaltung globaler Produktionsstrategien nach A.T. Kearney

A.T. Kearney unterscheidet Gestaltungsrichtlinien und Bewertungskriterien (Schmidt 2011, S.76). Die fünf wesentlichen Gestaltungsrichtlinien sind in Tabelle 3.7 beschrieben (vgl. (Schmidt 2011, S. 78-80)). Die Bewertungskriterien konzentrieren sich auf wirtschaftliche Aspekte wie Kosten- oder Margenvorteile, Einmalkosten und Amortisation sowie den Nettobarwert (Schmidt 2011, S. 81).

Marktkomplexität und Produktreife	Faktorkostenvorteile und Transportaufwand	„Kritische Massen“-Technologien und Skaleneffekte	Globale Zuliefermärkte	Projektion makroökonomischer Rahmenbedingungen
<ul style="list-style-type: none"> - Lokalspezifische Anforderungen - Art der Kundenbeziehung - Reife des Produkts - Komplexität einer vom Leitwerk entfernten Produktion eines Produkts 	<ul style="list-style-type: none"> - Faktorkosten - Transportkosten - Transportmodus - Auswirkungen auf das gebundene Kapital 	<ul style="list-style-type: none"> - Alternative Produktionsverfahren - Minimale Volumen, die an Standorten gebündelt werden müssen für Wirtschaftlichkeit und Vorteile der Verfahren und Skaleneffekte - Wettbewerbsfähigkeit gegenüber Lieferanten 	<ul style="list-style-type: none"> - Kostenvorteile durch lokale Beschaffung - Aufwand für Anpassung der Stücklisten und Materialspezifikation - Komplexitätstreibende Wirkung auf Produktentwicklung und Ersatzteilwirtschaft - Verfügbarkeit und Leistungsfähigkeit der lokalen Lieferantemärkte - Gesamtkosten und Risiken der resultierenden Lieferkette 	<ul style="list-style-type: none"> - Marktvolumen - Lohnkosten, Logistikkosten, Wechselkurse, Rohstoffkosten, etc. für 5-10 Jahre - Allgemeines Geschäftsrisiko - Steuerliche und zollrechtliche Aspekte - Qualitätsniveau - Produktivität

Tabelle 3.7.: Gestaltungskriterien globaler Produktionsstrategien (vgl. Schmidt (2011, S. 78-80))

A.T. Kearney geht davon aus, dass in Großunternehmen die notwendigen Daten vorhanden sind. Zusätzlich liefern Beratungsunternehmen oder auch öffentlich zugängliche Quellen entsprechende Informationen (Schmidt 2011, S. 80).

Gestaltungskriterien der Produktstufen- und Logistikgestaltung nach Nyhuis

In der Produktstufen- und Logistikgestaltung von Nyhuis kommen entlang der verschiedenen Bausteine des Ansatzes entsprechende Gestaltungskriterien zum Einsatz, die in Tabelle 3.8 dargestellt sind.

Ist-Aufnahme	Entwicklung von Zukunftsszenarien	Potenzialfeldanalyse	Gestaltung von Soll-Konzepten	Bewertung von Soll-Konzepten
<ul style="list-style-type: none"> - Kennzahlen des Wertstromdesigns wie Bestände, DLZ, Arbeitszeiten, Ausschussquoten, Transportdefekte, -dauer und -distanz - Kosten des Total Cost of Ownership 	<ul style="list-style-type: none"> - Markt- und Kundenaspekte - Struktur und Strategie der Wettbewerber - Politische Rahmenbedingungen - Lieferantenkriterien - Produkt - Technologie - Strategische Richtlinien des UNs - Produktionskonzepte - Ziele des UNs - Finanzielle Rahmenbedingungen - Weitere Faktoren von Hernandez 	<ul style="list-style-type: none"> - Allgemeine länder-, regions- bzw. städtebezogene Kriterien wie Verfügbarkeit von Arbeitskräften, Lohnniveau, Infrastruktur, Kriminalität, verfügbare Rohstoffe - Lieferantenbezogene Kriterien - Wettbewerbsbezogene Kriterien 	<ul style="list-style-type: none"> - Regionale Unterschiede wie Arbeitseinstellung, Akzeptanz von Managern, persönliche Fähigkeit und Begabung von Arbeitskräften 	<ul style="list-style-type: none"> - bereits aufgeführte Kriterien

Abkürzungen: DLZ – Durchlaufzeit; UN – Unternehmen

Tabelle 3.8.: Gestaltungskriterien der Produktionsstufen- und Logistikgestaltung (vgl. Nyhuis und Drochelmann (2008, S. 124-163))

Als Hilfestellung bei der Bewertung dieser Kriterien gibt Nyhuis mögliche Datenquellen an. Darunter fallen statistische Ämter, eigene Niederlassungen, kostenpflichtige Portale im Internet, Branchenverbände, Literatur, Partnerfirmen, Kontakte aus Gremien und Arbeitskreisen, spezialisierte Dienstleister sowie Ergebnisse aus eigenen Recherchen wie beispielsweise Lieferantenbesuche (Nyhuis und Drochelmann 2008, S. 139).

Zur Wertschöpfungsverteilung eingesetzte Gestaltungskriterien

Die Analysen der Gestaltungskriterien der jeweiligen Ansätze zur Wertschöpfungsverteilung ergeben die in Tabelle 3.9 dargestellte Übersicht. Dort sind die Kriterien, die aktuell im Themengebiet der Wertschöpfungsverteilung Einsatz finden, auf aggregierter Ebene zusammengeführt.

3.4. Gestaltungskriterien aus Ansätzen zur Wertschöpfungsverteilung

Gestaltungskriterien	Detaillierung / Aggregation		Ude	Kohler	Moser	Ebens- perger	Friedli	AT Kearney	Nyhuis	
Kosten	Faktor- und Logistikkosten	Laufende Kosten	x	x ²	x	x	x	x	x	
	Rohstoffkosten							x ³		
	Einmalkosten der Umsetzung			x						
Zeiten			x						(x ⁴)	
Lieferperformance / Logistikleistung			x	x ²	(x)		(x)			(x ⁴)
Flexibilität			x		x		x			
Qualität / Qualitätsniveau / Ausschussquoten			x		x		x	x ³		x ⁴
Sonstige Kriterien ¹			x				(x)			
Gewinnbesteuerung, Subventionen / sozio-politische Faktoren	Politisch-rechtliche Rahmenbedingungen			x	x		x	x ³	x	
Zölle			x				x ³			
Local-Content-Bestimmungen			x							
Politische Stabilität										
Wechselkurse				x			x	x ³		
Tarifvereinbarungen, Lohnkosten, demografischer Wandel	Umwelt				x					(x ⁵)
Koordination					x					
Marktnähe	Marktseitige Umfeldfaktoren / Markt- und Kundenaspekte				x	x			x	x
Kunden / Markt komplexität und Produktreife					x			x		
Zugang zu Märkten und Kunden								x		
Marktvolumen										
Standortqualifikation / -kompetenz					x	x		(x ³)		
Lieferanten / globale Zuliefer- märkte					x		(x)	x		x
Wettbewerber					x		(x)			(x)
Regulatorische Rahmenbedingungen						x				
Strategische Aspekte / strategische Richtlinien des UNs / Ziele des UNs						x				x
Interne und externe Risiken						x		(x ³)		
Zugang zu Rohstoffen / verfügbare Rohstoffe							x			x ⁵
Zugang zu Arbeitskräften / Verfügbarkeit von Arbeitskräften							x			x ⁵
Skalen- und Verbundeffekte / "Kritische Massen"-Technologien							x	x		
Mobilität von Produkten, Prozessen, Personal, Produktionsvolumen / Technologie, Produktionskonzept							x			x
Externes Wissen							x			
Bestände										x ⁴
Infrastruktur										x ⁵
Kriminalität										x ⁵
Regionale Unterschiede										x

Legende

¹Sonstige Kriterien = wahrgenommener Wert des Produkts, Image, Einhaltung der Vorschriften und sozialen Standards, Mitarbeiterzufriedenheit

²Internationale Logistik = Logistikkosten, Logistikleistung

³Projektion makroökonomischer Rahmenbedingungen = Marktvolumen, Lohn-, Logistik-, Rohstoffkosten, Wechselkurse, allgemeines Geschäftsrisiko, steuerliche und zollrechtliche Aspekte, Qualitätsniveau, Produktivität

⁴Kennzahlen des Wertstromdesigns = Bestände, Durchlaufzeit, Arbeitszeiten, Ausschussquoten, Transportdefekte, -dauer und -distanz

⁵Allgemeine länder-, regions- bzw. städtebezogene Kriterien = Verfügbarkeit von Arbeitskräften, Lohnniveau, Infrastruktur, Kriminalität, verfügbare Rohstoffe

Tabelle 3.9.: Gestaltungskriterien aus Ansätzen zur Wertschöpfungsverteilung

3.5. Gestaltungskriterien der Standortplanung und des Risikomanagements

Qualitative Kriterien werden bei der Optimierung der Wertschöpfungsverteilung erst seit Kurzem berücksichtigt, was Grund zur Annahme gibt, dass relevante Kriterien bisher vernachlässigt wurden. Daher werden im Folgenden Ansätze aus Disziplinen analysiert, die ebenfalls Kriterien zur Gestaltung von Produktionsnetzwerken beinhalten und damit Hinweise auf bisher vernachlässigte Gestaltungskriterien bei der Wertschöpfungsverteilung liefern können. Darunter fällt die Standortplanung, die sich seit Jahrzehnten neben quantitativen mit qualitativen Standortfaktoren befasst. Außerdem bietet das Risikomanagement, insbesondere in der Supply Chain, die Möglichkeit, Risiken in Produktionsnetzwerken zu identifizieren, die mit einer Veränderung in der Wertschöpfungsverteilung einhergehen bzw. durch eine optimale Gestaltung der Wertschöpfung reduziert werden könnten.

3.5.1. Standortfaktoren aus der Standortplanung

Die Standortplanung beschäftigt sich im Rahmen der Standortwahl mit der Auswahl eines neuen Standorts für ein Unternehmen bzw. einen Unternehmensbereich (Merchiers 2008, S. 76). Damit tangiert die Standortplanung die Fragestellung der Wertschöpfungsverteilung, die die Auswahl eines optimalen schon bestehenden Standorts für eine Wertschöpfungsstufe beinhaltet. Daher gilt es bei der folgenden Analyse von Ansätzen der Standortplanung, weitere für die Wertschöpfungsverteilung relevante Gestaltungskriterien zu identifizieren. Die Analyse beruht in erster Linie auf den Ansätzen von Kinkel und Abele, den führenden Wissenschaftlern im Bereich der Standortplanung. Diese Ansätze werden im Folgenden hinsichtlich ihrer sogenannten Standortfaktoren thematisiert, anhand derer Länder, Regionen oder Städte bewertet werden. Im Anschluss werden Kriterien aus weiteren Ansätzen ergänzt.

Standortfaktoren nach Kinkel

Kinkel kategorisiert Standortfaktoren in Produktions-, Markt- und Performancefaktoren (Kinkel 2009, S. 61). Faktoren einer vierten Kategorie des Netzwerkbedarfs, beispielsweise Kooperationsbedarfe, nehmen auf diese Einfluss (Kinkel 2009, S. 61). Diese vier Kategorien sind weiter in für Unternehmen zentrale Kriterienbündel gegliedert (Kinkel 2009, S. 62).

Konkrete Standortfaktoren nennt Kinkel entlang von Internationalisierungsstrategien. Je nach Strategie stehen andere Standortfaktoren im Vordergrund (Kinkel 2009, S. 63): Bei der Strategie der Markterschließung sind Marktfaktoren wie realistisches Marktpotenzial oder Aufwand für den Aufbau hinreichender Marktkenntnisse besonders wichtig (Kinkel 2009, S. 66). Allerdings spielen diese Marktfaktoren bei der Wertschöpfungsverteilung aufgrund bereits vorgegebener Absatzmärkte lediglich vereinzelt eine Rolle, beispielsweise hinsichtlich *lokaler Wett-*

bewerbskonzentration oder des *Zugriffs auf eingespielte Vertriebswege oder -netzwerke*. Die Strategie der Kostenreduktion sollte sowohl auf Produktionsfaktoren wie beispielsweise die *Verfügbarkeit und Fluktuation von Arbeitskräften* als auch auf Performancefaktoren wie das *Produktivitätsniveau* beruhen (Kinkel 2009, S. 70). Die Strategie *Following Customer* wird wiederum anhand von Marktfaktoren wie Bedeutung der Schlüsselkunden oder Belastbarkeit der zugesagten Abnahmemenge überprüft (Kinkel 2009, S. 72). Erneut sind für die Aufgabenstellung der Wertschöpfungsverteilung nicht alle von Kinkel aufgeführten Marktfaktoren des *Following Customer* relevant. Auswirkungen auf die *Schlüsselkunden* sowie *Zertifizierungs- und Local-Content-Anforderungen* beispielsweise sollten ebenso bei der Verteilung von Wertschöpfung berücksichtigt werden. Bei der vierten und letzten Strategie der Erschließung von Technologie bzw. Know-how wird hauptsächlich auf Faktoren des Netzwerkbedarfs wie die *Nähe zu innovativen Clustern* fokussiert (Kinkel 2009, S. 75). Neben den erwähnten Beispielen finden sich die weiteren von Kinkel genannten Standortfaktoren in Tabelle 3.10 wieder, sofern diese für die Aufgabenstellung der Wertschöpfungsverteilung relevant sind.

Als Bewertungsmöglichkeiten für qualitative Standortfaktoren werden Checklisten- oder Scoring-Verfahren sowie Risikoindizes vorgeschlagen (Kinkel 2009, S. 62).

Standortfaktoren nach Abele

Abele geht von zwei Hauptmotiven der Globalisierung – Markterschließung und Kostenreduktion – aus (Abele, Kluge et al. 2006, S. 15). Er leitet aus diesen insbesondere die beiden Standortfaktoren *Arbeitskosten* und *Nähe zum Markt* ab, die in der Praxis als am relevantesten gesehen werden (Abele, Kluge et al. 2006, S. 36). Nach Abele spielt für fast alle Unternehmen eine Abweichung in den Arbeitskosten an Standorten innerhalb eines Landes eine untergeordnete Rolle (Abele, Kluge et al. 2006, S. 37). „Ob qualifizierte lokale Mitarbeiter gewonnen, geschult und im Unternehmen gehalten werden können, die eine produktive Fertigung mit hohem Qualitätsniveau aufrechterhalten, ist hingegen weitaus bedeutender“ (Abele, Kluge et al. 2006, S. 37). Diese Kriterien der *Mitarbeiterqualifikation*, *Produktivität* und *Qualität* beeinflussen die Erreichung der sekundären Ziele der Globalisierung. Darunter fallen die günstige „Beschaffung von Zulieferteilen, hochkarätiges Wissen und Qualifikationen und die Vermeidung von unternehmerischen Risiken“ (Abele, Kluge et al. 2006, S. 15).

Aus diesen sekundären Zielen leitet Abele vier Kategorien von Standortfaktoren ab. Unter die Kategorie Produktivität und Skaleneffekte in der Fertigung fallen *physische Produktivität und Fähigkeit* sowie *Skalen- und Verbundvorteile* beispielsweise der *eingesetzten Fertigungstechnik*. Die Kategorie Logistik beinhaltet *Transportkosten*, *Bestandskosten in Form von Kapitalbindung und Werteverfall* sowie die *Nutzung unterschiedlicher Transportmodi*. Externe Faktoren umfassen *Subventionen* und *Steuern, Zölle* und *nichttarifäre Handelshemmnisse* sowie *Währungskurseffekte* und *Risiken für geistiges Eigentum*. Die „Bewältigung der Migration“ konkretisiert sich in *Investitionen*, *Aufwand des Produktionsanlaufs* und *Restrukturierungsaufwand* (Abele,

Kluge et al. 2006, S. 61-102). Diese und weitere Faktoren, die von Abele bei der Detaillierung der jeweiligen Faktoren aufgeführt werden, sind in Tabelle 3.10 dargestellt.

Standortfaktoren aus weiteren Ansätzen

Für die Thematik der Standortwahl existieren zahlreiche weitere Ansätze. Die folgende Analyse dient zur Ergänzung der Standortfaktoren aus den beiden grundlegenden und umfassenden Ansätzen von Kinkel und Abele

Sihn bleibt auf einer groben Ebene und nennt unter dem Motiv der Kostenreduktion die Standortfaktoren *Arbeitskosten*, *Produktivitätsrate*, *Energiekosten* und *Steuerbelastung* sowie unter dem Motiv der Markterweiterung für Erstausrüster den Faktor *Absatz*, für Lieferanten den Faktor *Nähe zum Kunden* (Sihn, Palm et al. 2009, S. 36). Die beiden zuletzt genannten Marktfaktoren spielen ebenfalls bei der Wertschöpfungsverteilung eine Rolle, insbesondere wenn es um die Allokation der finalen Wertschöpfungsstufe wie beispielsweise der Endmontage geht.

Emmrich unterscheidet ebenfalls in die zwei typischen Ziele der globalen Produktionsstandortstrategie: Markterschließung und Kostenreduktion (Emmrich 2002, S. 334). Als Bestimmungsfaktoren bei der Erschließung neuer regionaler Märkte nennt er die zu erwartenden *konjunkturellen und politischen Entwicklungen*, *strukturelle und regionale Veränderungen in den Abnehmerbranchen* sowie den *Globalisierungsgrad der Branche und der Konkurrenten* (Emmrich 2002, S. 334). Diese Faktoren sind analog zu denen von Sihn ebenso bei einer Verteilung der Wertschöpfung relevant. Beim Ziel der Kostenreduktion sind nach Emmrich die Faktoren der vier Umfeldkategorien – (volks-)wirtschaftlicher Bereich, politisch-rechtlicher Bereich, Technik, Infrastruktur und natürliche Umwelt sowie sozio-kultureller Bereich – zu berücksichtigen (Emmrich 2002, S. 334f). Konkrete Faktoren dieser vier Kategorien finden sich in Tabelle 3.10. Dabei handelt es sich um diejenigen, die für die Wertschöpfungsverteilung relevant sind. Zur Quantifizierung der Faktoren schlägt Emmrich sowohl Kosten als auch Kennzahlen vor (Emmrich 2002, S. 336f).

Grabow unterscheidet in seinem umfassenden Standardwerk zum Thema weiche Standortfaktoren in weiche unternehmensbezogene und weiche personenbezogene Faktoren (Grabow, Henckel et al. 1995, S. 67). Unternehmensbezogene Faktoren wirken direkt auf die Unternehmens- und Betriebstätigkeit und beinhalten Faktoren wie *Verhalten der öffentlichen Verwaltung oder von Entscheidungsträgern*, *Arbeitnehmermentalität* und *Wirtschaftsklima* (Grabow, Henckel et al. 1995, S. 67). Personenbezogene Faktoren umfassen „persönliche Präferenzen“ sowohl der Entscheider als auch der Beschäftigten (Grabow, Henckel et al. 1995, S. 67). Hier spielen Landschafts- und Stadtqualität, Wohnsituation, Bildungsmöglichkeiten, Kulturangebot sowie Freizeit- und Erlebnisangebot eine Rolle (Grabow, Henckel et al. 1995, S. 67), die in Tabelle 3.10 unter der *Attraktivität eines Standorts für die Mitarbeiter* zusammengefasst sind. Dort finden sich außerdem die über die genannten Beispiele hinausgehenden Faktoren von Grabow.

Gestaltungskriterien aus Ansätzen zur Wertschöpfungsverteilung	Kinkel	Abele	Sihn	Emmrich	Grabow	Zusätzliche Kriterien aus den Ansätzen der Standortplanung
Faktor- und Logistikkosten	x	x	x	x	x	Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke
Rohstoffkosten		x	x	x	x	nichttarifäre Handelsbarrieren
Einmalkosten der Umsetzung		x	(x)		x	Fluktuation von Arbeitskräften
Zeiten	(x)	x	x			Anlaufzeiten und -kosten / Aufwand des Produktionsanlaufs
Lieferperformance / Logistikleistung		x				Qualifizierungs- und Trainingskosten /-aufwand bzw. Technologieanpassung
Flexibilität		x				Kosten / Aufwand für den Netzwerkaufbau vor Ort
Qualität / Qualitätsniveau / Ausschussquoten	x	x	x			Vertrauen, Motivation, Konflikte am deutschen Stammsitz
Sonstige Kriterien (Image, Einhaltung Vorschriften / Standards, Mitarbeiterzufriedenheit, ...)		x	(x)			(x) Führungsvorteile und neue Kooperationspotenziale mit Kunden
Gewinnbesteuerung, Subventionen / sozialpolitische Faktoren / Sozialgesetzgebung, Rechtssystem, Rechtssicherheit / Umweltschutzaufgaben	x	x	x	(x)	x	Gebundenheit / Abhängigkeit
Zölle	x	x	x		x	Nähe zu innovativen Clustern und führenden FuE-Zentren
Local-Content- / Zertifizierungs-Bestimmungen	x	x	x			Möglichkeiten zum Schutz von Technologien, Patenten, Lizenzen, Marken / Risiken für geistiges Eigentum
Politische Stabilität		x				Sprachbarrieren und Verständigungsprobleme
Wechselkurse	(x)	x	x			Nähe Produktion zu FuE
Tarifvereinbarungen, Lohnkosten, demografischer Wandel	(x)	x				Kooperationspartner mit innovativen Ergänzungsprofil
Koordination / Betreuung, Kommunikation, Kontrolle	x	x	x			x Mitarbeiterqualifikation
Marktnähe / Nähe zum Kunden		x	x	x	x	x Gesamtwirtschaftliche Indikatoren / konjunkturelle und politische Entwicklungen / Wirtschaftsklima
Kunden / Markt komplexität und Produktreife	(x)	x			x	x Soziokultur (Arbeitskultur, Zeitvorstellung, Qualitätsverständnis) / Arbeitnehmermentalität
Zugang zu Märkten und Kunden		x				Innovationsfähigkeit
Marktvolumen / Absatz		x	x	x		Flexibilität bei der Produktpassung
Standortqualifikation / -kompetenz	(x)	(x)	x	(x)		Werteverfall
Lieferanten / globale Zuliefermärkte			x		x	Nutzung unterschiedlicher Transportmodi
Wettbewerber	x	x	x	(x)		Verfügbarkeit und Qualität von Führungskräften
Regulatorische Rahmenbedingungen			x			Streiks
Strategische Aspekte / Strategische Richtlinien des UNs / Ziele des UNs			x			Korruption
Interne und externe Risiken			x			x Distanz
Zugang zu Rohstoffen / Verfügbare Rohstoffe			x			Aufwendungen für die Disposition
Zugang zu Arbeitskräften / Verfügbarkeit von Arbeitskräften	x	x		x	x	x Veränderungen in den Abnehmerbranchen
Skalen- und Verbundeffekte / "Kritische Massen"-Technologien bzw. Fertigungstechnik		x		x		Risiko durch Veränderungen in den gesetzlichen oder politischen Rahmenbedingungen
Mobilität von Produkten, Prozessen, Personal, Produktionsvolumen / Technologie, Produktionskonzept					x	Klima
Externes Wissen						x Entsorgung
Bestände		x				x Verhalten der öffentlichen Verwaltung oder Entscheidungsträger
Finanzielle Rahmenbedingungen						x Attraktivität eines Standorts für die Mitarbeiter
Infrastruktur (Verkehr und Kommunikation)	(x)	x		x	x	x Netzwerke außerhalb von Unternehmen (Verbände, öffentliche Einrichtungen)
Kriminalität						x Planungssicherheit
Regionale Unterschiede						x Modernität

Tabelle 3.10.: Standortfaktoren der Standortplanung

Insgesamt ergibt die Analyse die in Tabelle 3.10 dargestellte Übersicht gängiger Standortfaktoren zur Standortplanung. Diese baut auf der Übersicht der zu Wertschöpfungsverteilung eingesetzten Gestaltungskriterien aus Kapitel 3.4 auf. Die zu diesen Kriterien zusätzlich identifizierten Standortfaktoren finden sich auf der rechten Seite der Tabelle.

3.5.2. Risiken aus dem Risikomanagement

Die Disziplin des Risikomanagements hat die Vermeidung, Kompensation und Bewältigung von Risiken zum Ziel (Spremann 2002, S. 622, 625) und wirkt „untrennbar in die Gesamtsteuerung und Gesamtplanung der Unternehmung hinein“ (Spremann 2002, S. 616). Dies tangiert die Fragestellung der Wertschöpfungsverteilung derart, dass je nach Ausrichtung der Wertschöpfungsverteilung in einem Produktionsnetzwerk Risiken vermindert, vermieden oder neu entstehen können (Abele, Kluge et al. 2006, S. 84). Durch die in den letzten Jahrzehnten vermehrt eingetretenen Risiken wie Tsunamis, Wirtschafts- und Finanzkrisen sowie Atomunfälle, die den reibungslosen Ablauf des Produktionsnetzwerks gefährden, gewann der Themenbereich des Risikomanagements, insbesondere des Supply-Chain-Risikomanagements, an Bedeutung (Schatz, Mandel et al. 2010, S. 9).

In der Praxis konkret auftretende Supply-Chain-Risiken werden in der Literatur selten thematisiert – im Vordergrund steht die Kategorisierung von Risiken. Im Folgenden werden Arbeiten analysiert, die sich zumindest beispielhaft mit spezifischen Risiken der jeweiligen Kategorien befassen. Bevorzugt wurden Veröffentlichungen ausgewählt, die eine umfangreiche Literaturübersicht konkreter Risiken beinhalten.

Risiken nach Pfohl

Pfohl gibt eine ausführliche Literaturübersicht über verschiedene Möglichkeiten zur Kategorisierung von Risiken (Pfohl 2008, S. 22). Er selbst verfolgt eine ursachenorientierte Risikokategorisierung und gliedert Risiken wie folgt: innerhalb eines fokalen Unternehmens; außerhalb eines fokalen Unternehmens, aber innerhalb der Supply Chain und außerhalb der Supply Chain (Pfohl 2008, S. 23f). Risiken innerhalb eines fokalen Unternehmens umfassen Prozessrisiken wie beispielsweise die *Verzögerung der Produktion* und Steuerungsrisiken wie *falsch geplante Losgrößen*. Risiken außerhalb eines fokalen Unternehmens und innerhalb der Supply Chain gliedern sich in Versorgungsrisiken wie *Ausfall eines Schlüssellieferanten* und Nachfragerisiken wie *modische oder saisonale Nachfrageänderungen*. Bei Risiken außerhalb der Supply Chain handelt es sich um Umfeldrisiken, z.B. *Naturkatastrophen*, *Terroranschläge* oder *Veränderungen gesetzlicher Vorschriften* (Pfohl 2008, S. 23f).

Risiken nach Wagner

Wagner arbeitet mit fünf Kategorien (Wagner 2007, S. 63). Unter absatz- bzw. kundenseitigen Risiken versteht Wagner insbesondere das Risiko der *Abweichung der Vorhersage vom tatsächlichen Bedarf*. Dem gegenüber stehen beschaffungs- bzw. lieferantenseitige Risiken, z. B. *Qualitätsmängel beschaffter Teile* oder die *mangelnde Fähigkeit des Lieferanten, Änderungen oder Innovationen zu übernehmen*. Bürokratische Risiken umfassen *administrative Hindernisse wie Zoll- oder Handelsbeschränkungen* oder die *Einführung von Straßenbenutzungsgebühren*. Infrastrukturelle Risiken beinhalten den *Ausfall eigener Produktionsanlagen* oder der *IT-Infrastruktur*. In die letzte Kategorie der Katastrophenrisiken fallen u. a. *politische Instabilität* und *Bürgerkriege* (Wagner 2007, S. 64ff). Weitere von Wagner innerhalb dieser Kategorien identifizierten Risiken, die über die genannten Beispiele hinausgehen, finden sich in Tabelle 3.11.

Risiken nach Ziegenbein

Ziegenbein orientiert sich bei der Klassifizierung von Supply-Risiken am SCOR-Modell zur Umsetzung einer ursachenbezogenen Strukturierung (Ziegenbein 2007, S. 23). Entsprechend gibt es fünf Kategorien, die anhand von Praxisbeispielen konkretisiert werden (Ziegenbein 2007, S. 25): Die Kategorien Beschaffung, Produktion, Lieferung und Rückführung beinhalten jeweils *Qualitäts-, Verzögerungs-, Ausfall- und Kostenrisiken* (Ziegenbein 2007, S. 26ff); Planungsrisiken umfassen eine *ungenauere oder ungeeignete Planung* (Ziegenbein 2007, S. 26).

Zur Identifikation von Risiken eines Unternehmens stellt Ziegenbein Supply-Chain-Risiko-Checklisten bereit (Ziegenbein 2007, S. 185ff).

Risiken nach Thom

Thom führt wirkungsbezogene und ursachenbezogene Kategorisierung zu einer ganzheitlichen zusammen (Thom 2008, S. 37). Dabei ergeben sich folgende Kategorien: Beschaffung, Produktion, Absatz, externes Umfeld und System (Thom 2008, S. 97). Seine Differenzierung der Kategorien anhand konkreter Risikofaktoren, die in Tabelle 3.11 dargestellt sind, beruht auf Fallstudien und Industrieinterviews. Dabei unterscheidet Thom zwischen Risikoursachen und -feldern und geht sowohl auf Risiken im Produktionsnetzwerk als auch in der Logistik ein (Thom 2008, S. 91-101).

Risiken nach Moder

Moder kategorisiert seine über ausführliche Literaturrecherche gewonnenen und in der Industrie auf Praxis-Relevanz validierten Supply Risiken (Moder 2008, S. 100-105) in drei Kategorien (Moder 2008, S. 108): Innerhalb der Kategorie Organisation sind Risiken wie *Betrug* oder *Disposition* angesiedelt. In der Kategorie Netzwerk werden Risiken der *Abhängigkeit von Lieferanten*, des *geistigen Eigentums* sowie der *Zusammenarbeit* genannt. In die dritte Kategorie der Umwelt

Risikokategorien		Risikofaktoren	Pfohl	Wagner	Ziegenbein	Thom	Moder
Risiken innerhalb eines fokalen Unternehmens	Prozessrisiken / Produktionsrisiken	Verzögerung der Produktion	x		x	x ²	x ⁶
		Qualitätsmängel in der Produktion			x	x ²	x ⁶
		Erhöhter Kostenanfall in der Produktion			x	x ²	x ⁶
		Mangelnde Liquidität					x
		Ramp-Up					x
	Steuerungs- / Planungsrisiken / organisatorische	Mangelhaftes Risikomanagement					x
		Falsch geplante Losgrößen	x				
		Ungenauere Planung / und Steuerung			x	x	(x) ⁴
	Infrastrukturelle Risiken	Ungeeignete Planung / und Steuerung			x		
		Ausfall eigener Produktionsanlagen / Ausfall in der Produktion		x	x	x ²	x ⁶
Ausfall / Risiken eigener IT-Infrastruktur			x		x	x	
Risiken außerhalb eines fokalen Unternehmens und innerhalb der Supply Chain / Netzwerkrisiken	Lieferantenseitige Risiken	Streik der Belegschaft / Arbeitskämpfe		x			x
		Ausfall eines (Schlüssel-)Lieferanten / Ausfall in der Beschaffung	x	x	x	(x) ¹	(x) ⁵
		Qualitätsmängel beschaffter Teile / Beschaffungsqualität		x	x	(x) ¹	(x) ⁵
		Mangelnde Fähigkeit, Änderungen oder Innovationen zu übernehmen		x			
		Kapazitätsbeschränkungen der Beschaffungsmärkte		x			
		Opportunistisches Verhalten von Lieferanten		x			
		Abhängigkeit von Lieferanten		x			x
		Verzögerung in der Beschaffung				x	(x) ¹
	Nachfragerisiken / Absatz- bzw. kundenseitige Risiken	Anstieg der Beschaffungskosten				x	
		Lagerisiko				x	(x) ⁷
		Risiken bei der Lieferantenauswahl					x
		Modische oder saisonale Nachfrageänderungen	x				
		Abweichung der Vorhersage vom tatsächlichen Bedarf		x			x
		Ausfall des Produktverkaufs				x	
		Risiko bei der Produktlagerung				x	(x) ⁷
	Liefererisiken	Produkthaftung				x	x
		Mangelnde Liquidität des Kunden					x
		Qualitätsmängel bei der Belieferung des Kunden				x	x ³
		Verzögerung bei der Belieferung des Kunden				x	x ³
		Ausfall bei der Belieferung des Kunden				x	x ³
	Rückführungsrisiken	Erhöhter Kostenanfall bei der Belieferung des Kunden				x	x ³
		Qualitätsmängel bei der Rückführung				x	
		Verzögerung bei der Rückführung				x	
		Ausfall in der Rückführung				x	
	Allgemeine Netzwerkrisiken	Erhöhter Kostenanfall bei der Rückführung				x	
Weitergabe von geistigem Eigentum						x	
Störung/Ausfall fremder IT-Infrastruktur						x	
Mängel im Vertrag						x	
Risiken außerhalb der Supply Chain	Umfeldrisiken / Katastrophenrisiken / Umweltrisiken	Mängel in der Zusammenarbeit					x
		Naturkatastrophen	x	x		x	x
		Terroranschläge	x	x		x	x
		Veränderungen gesetzlicher Vorschriften	x			x	
		politische Instabilität		x			x
		Bürgerkriege		x			x
	Bürokratische Risiken / organisatorische Risiken	volkswirtschaftliche Schäden		x			x
		Marktrisiken				x	x
		Währungsrisiko					x
		Administrative Hindernisse wie Zoll- oder Handelsbeschränkungen / Import- oder Exportkontrollen		x			x
		Einführung von Straßenbenutzungsgebühren		x			
		Umweltrechtliche Regelungen wie Einführung von Rücknahmesysteme		x			
Betrug						x	

Legende

¹Lieferrisiko, Transportrisiko

²Risiken durch Produktionsfaktoren, Produktionsprozess

³Transportrisiko, Distributionsrisiko

⁴Disposition

⁵Beschaffungslogistik, Single Source, Global Sourcing

⁶Produktivität, Prozesse

⁷Veralterung

Tabelle 3.11.: Risikokriterien des Risikomanagements

fallen Risiken von *Krieg oder Terrorismus*, *Volkswirtschaft* oder *Währung* (Moder 2008, S. 110). Diese und weitere von Moder identifizierten Risiken finden sich in Tabelle 3.11.

Die in den genannten Arbeiten aufgeführten konkreten Risiken sind in Tabelle 3.11 zusammengefasst. Sie gibt eine Übersicht gängiger Risiken, die im Risikomanagement Verwendung finden.

3.6. Defizitbewertung

In den beiden vorangegangenen Abschnitten 3.4 und 3.5 wurde der Forschungsstand bezüglich der Berücksichtigung von Gestaltungskriterien im Bereich Wertschöpfungsverteilung sowie Standortplanung und Risikomanagement aufgezeigt. Im Folgenden wird auf die Defizite der Ansätze zur Wertschöpfungsverteilung hinsichtlich der Verwendung von qualitativen Kriterien eingegangen. Dabei ist insbesondere ein Vergleich mit Gestaltungskriterien aus den themennahen Bereichen hilfreich.

Im ersten Schritt zeigt der im Abschnitt 3.4 in Tabelle 3.9 zusammengefasste Forschungsstand gängiger Gestaltungskriterien in Ansätzen zur Wertschöpfungsverteilung die jeweiligen Defizite der einzelnen Methoden hinsichtlich der Verwendung von Kriterien deutlich: Jeder Ansatz lässt wesentliche Kriterien anderer Ansätze vermissen.

Zudem sticht bei der Analyse des Betrachtungsumfangs aller Kriterien heraus, dass Risiken nicht zum Umfang der Gestaltungskriterien gehören. Ausnahmen bilden der Ansatz von Ebensperger bzw. das allgemeine Geschäftsrisiko aus dem Ansatz von A.T. Kearney. Dies ist in erster Linie darauf zurückzuführen, dass die Existenz von Faktoren mit positivem und negativem Einfluss zwar in mehreren der beschriebenen Ansätze erwähnt, doch eine konkrete Unterscheidung in Erfolgspotenziale und Risiken außer bei Ebensperger nicht vorgenommen wird. Ohne diese Unterscheidung lassen sich Risiken nur sehr schwer in den Betrachtungsumfang integrieren und werden daher vernachlässigt.

Die Analyse des in Abschnitt 3.5.1 in Tabelle 3.10 aufgeführten Forschungsstands im Bereich der Standortplanung ergibt, dass gängige Kriterien in allen derzeitigen Ansätzen zur Wertschöpfungsverteilung vernachlässigt werden. Darunter fallen die Nähe der Produktion zur Forschung und Entwicklung, Abhängigkeit/Gebundenheit, Fluktuation von Arbeitskräften, Sprachbarrieren und Verständigungsprobleme. Die Relevanz dieser Standortfaktoren für die Entscheidung über die Wertschöpfungsverteilung ist ohne weitere Nachforschungen erkennbar.

Ebenso wird ersichtlich, dass die in Abschnitt 3.5.2 in Tabelle 3.11 aufgeführten Risiken keine Berücksichtigung bei den derzeitigen Ansätzen zur Wertschöpfungsverteilung finden. Über eine Veränderung der globalen Wertschöpfungsstrukturen könnten allerdings einige Risiken vermieden und weitere Risiken zumindest vermindert werden (Abele, Kluge et al. 2006, S. 84), (Prinz 2012, S. 119), weshalb Risikofaktoren bei der Fragestellung nach der optimalen Wertschöpfungsverteilung berücksichtigt werden sollten.

Zusammenfassend ist hinsichtlich der Gestaltungskriterien zur Wertschöpfungsverteilung festzustellen, dass einige Ansätze im Bereich der Wertschöpfungsverteilung neben Kostenaspekten erste qualitative Kriterien zum Einsatz bringen. Gestaltungskriterien aus dem Bereich der Standortplanung und des Risikomanagements zeigen auf, dass eine umfassende Berücksichtigung von Kriterien im Bereich der Wertschöpfungsverteilung noch lange nicht erreicht ist und geben Hinweise, welche weiteren Kriterien relevant sind. Daher mündet diese Defizitbewertung in der in Abschnitt 1.3 bereits erwähnten Unterforschungsfrage „Anhand von welchen quantitativen und qualitativen Kriterien lässt sich die Güte der Wertschöpfungsverteilung erklären und bestimmen?“

4. Modellierung und Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien

Die Berücksichtigung von quantitativen und qualitativen Kriterien hat Auswirkungen auf die Optimierung sowie die damit verbundene Modellierung. Dieser Herausforderung widmet sich das folgende Kapitel. Nach einer Begriffseinführung werden Anforderungen an die Modellierung und Optimierung identifiziert. Anhand von Modellen zur Abbildung der Wertschöpfungsverteilung wird der für diese Arbeit geeignete Modelltyp bestimmt. Auf dem ausgewählten Modelltyp aufbauend werden Methoden zur Optimierung vorgestellt. Die Auswahl der geeigneten Methode führt zum Paradigma der multikriteriellen Optimierung, das anschließend mit seinen Methoden detailliert wird. Ansätze zur Begegnung von Unsicherheit und Dynamik schließen das Kapitel ab.

4.1. Die Begriffe der Optimierung und der Modellierung

Nach dem Brockhaus wird der Begriff der Optimierung einerseits in seiner Allgemeinheit und andererseits bezogen auf das Fachgebiet der Mathematik definiert (vgl. Paulick (2003b, S. 652)).

Allgemein bedeutet Optimierung die „optimale Festlegung von Größen, Eigenschaften, zeitlichen Abläufen u. a.“ (Paulick 2003b, S. 652), wobei optimal für bestmöglich steht (Scholze-Stubenrecht 2000, S. 711). Abweichend von dieser Definition wird der Begriff der Optimierung zudem im Sinne der Verbesserung eingesetzt. Demnach steht Optimierung für das Auffinden einer besseren, aber nicht zwingend der besten Lösung.

In der Mathematik wird Optimierung als das „Aufsuchen des kleinsten (Minimierung) oder größten (Maximierung) Wertes einer mathematischen Funktion mehrerer Veränderlicher“ verstanden (Paulick 2003b, S. 652), (Suhl und Mellouli 2009, S. 19). Neben exakten Verfahren, die das tatsächliche Optimum liefern, werden auch heuristische Verfahren verwendet (Ude 2010, S. 46). Heuristiken suchen möglichst gute Lösungen mit vertretbarem Rechenaufwand (Suhl und Mellouli 2009, S. 13).

Für den Lösungsansatz dieser Arbeit besteht aufgrund des Paradigmas der multikriteriellen Optimierung der Anspruch, das exakte Optimum aufzufinden.

Grundlage einer Optimierung bildet die Modellierung (vgl. Herm (2006, S. 18)). Dabei wird die Realität vereinfacht in einem Modell abgebildet (Arnold, Isermann et al. 2008, S. 36), (Wiendahl 2008, S. 280). Durch Reduzieren und Abstrahieren werden komplexe Zusammenhänge der Realität transparent gemacht (Arnold, Isermann et al. 2008, S. 36), (Wiendahl 2008, S. 280), (Krallmann, Frank et al. 1996, S. 12). Somit ist ein Modell ein „abstraktes System, das ein anderes (meist reales) System in vereinfachter Weise“ veranschaulicht (Krallmann, Frank et al. 1996, S. 12). Dies dient der Unterstützung von Entscheidungen beim Entwurf und Betrieb des realen Systems (Wiendahl 2008, S. 280). Drei Merkmale zeichnen ein solches Modell aus (Wiendahl 2008, S. 280), (Stachowiak 1973, S. 13ff):

1. Das Abbildungsmerkmal sagt aus, dass Modelle Abbildungen sind, die künstliche oder natürliche Originale repräsentieren, dabei aber nur eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Urbild aufweisen (Krallmann, Frank et al. 1996, S. 13).
2. Das Verkürzungsmerkmal weist darauf hin, dass in einem Modell nicht alle Merkmale des Originals enthalten sind, sondern nur diejenigen, die dem Ersteller des Modells relevant erscheinen (Wiendahl 2008, S. 280).
3. Letztlich spricht das pragmatische Merkmal den Zweck und das Ziel der Modellierung an (Wiendahl 2008, S. 280f). Dabei wird in Beschreibungs-, Erklärungs- und Entscheidungsmodelle unterschieden (Krallmann, Frank et al. 1996, S. 16f).
 - In Beschreibungsmodellen wird die aktuelle Situation zur Problemerkennung verdeutlicht (Krallmann, Frank et al. 1996, S. 16).
 - Mithilfe von Erklärungsmodellen werden Auswirkungen hypothetischer Handlungsmaßnahmen anhand der Verknüpfung von Größen abgebildet und erklärt (Wegehaupt 2004, S. 68).
 - Entscheidungsmodelle hingegen dienen der selbständigen Ermittlung von Handlungsmaßnahmen anhand von Zielgrößen, Restriktionen und Entscheidungsvariablen (Krallmann, Frank et al. 1996, S. 17).

Aus diesen definierten Modelltypen gilt es, den für diese Arbeit geeigneten Typ zu identifizieren. Dazu ist die Formulierung von Anforderungen an die Modellierung und Optimierung erforderlich.

4.2. Anforderungen an die Modellierung und Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien

Die in Kapitel 3 erfolgten Festlegungen für quantitative und qualitative Kriterien bringen, basierend auf den im vorangegangenen Kapitel 4.1 durchgeführten Begriffsklärungen, folgende Besonderheiten für die Optimierung und Modellierung mit sich:

Mehrere Zielgrößen

Quantitative Kriterien sind in Kapitel 3.1 als direkt monetär bewertbar definiert. Bei qualitativen Kriterien handelt es sich hingegen um nicht direkt monetär bewertbare Größen, die in der Regel anhand von Skalen ohne Einheitswerte gemessen werden (vgl. Kapitel 3.1). Aufgrund der unterschiedlichen Einheiten quantitativer und qualitativer Kriterien sind diese nicht in einer einheitlichen Zielgröße vereinbar. Die Modellierung muss demnach mehrere Zielgrößen beinhalten, die es jeweils zu optimieren gilt.

Zu minimierende und zu maximierende Ziele

Bei dieser Optimierung ist zu berücksichtigen, dass gewisse Zielgrößen zu minimieren und andere zu maximieren sind. Daher wurde bereits in Kapitel 3.2 eine Unterscheidung der qualitativen Kriterien in Kriterien mit positiver Wirkung – sogenannte Erfolgspositionen – sowie in Kriterien mit negativer Wirkung in Form von Risiken vorgenommen. Die Erfolgspositionen gilt es zu stärken, d. h. deren Werte zu maximieren; die Risiken dagegen möglichst gering zu halten, d. h. deren Werte zu minimieren.

Integrierte und synchrone Optimierung

Dabei soll gemäß dem sozio-technischen Gedanken aus Kapitel 2.5 die Optimierung „gemeinsam und gleichzeitig“ erfolgen (Ulich 1993, S. 37), da Zielgrößen in der Regel konkurrieren. Verbessert sich der Wert einer Zielgröße, bewirkt dies meist eine Verschlechterung der Werte anderer Zielgrößen (Collette und Siarry 2003, S. 21). Daher bringt der Übergang von einer Alternative zu einer anderen in der Regel sowohl Verbesserungen als auch Verschlechterungen einzelner Ziele mit sich (Ude 2010, S. 10). Um ein gesamtheitliches Optimum zu erzeugen, ist die integrierte und synchrone Betrachtung aller Zielgrößen erforderlich.

Normierter Vergleich von Zielwerten

Eine weitere Voraussetzung für die fundierte Ermittlung eines solchen gesamtheitlichen Optimums stellt der bewusste und verantwortungsvolle Umgang mit den Werten der verschiedenen Zielgrößen dar. Diese umfassen zum einen unterschiedliche Einheiten wie beispielsweise Euro und Skalen von 0 bis 10. Zum anderen treten unterschiedliche Größenordnungen auf, z. B. Infrastrukturkosten eines Standorts im Vergleich zu Produktionskosten eines Prozessschritts. Es

gilt, diese Werte vergleichbar zu machen. Dabei können beispielsweise Normierungsverfahren unterstützen.

Flexibilität gegenüber Strategien

Wie in Kapitel 3.3 beschrieben, hängen die Zielgrößen von den Strategien der Unternehmen und Entscheider ab. Daher muss die Methode gegenüber den jeweiligen unternehmensspezifischen sowie personenbezogenen Strategien flexibel bleiben.

Angemessenes Know-how und Aufwand des Entscheiders

Insgesamt darf die Methode dem Entscheider nicht zu viel abverlangen. Sowohl das benötigte Know-how des Entscheiders als auch dessen Aufwand muss gering gehalten werden.

Integrierte und synchrone Berücksichtigung des Gestaltungs- und Betrachtungsbereichs

Über die Zielgrößen hinaus gilt es, den Gestaltungs- und Betrachtungsbereich in die Modellierung und Optimierung zu integrieren. Dem Ziel der exakten Optimierung folgend müssen wie bei den Zielgrößen die gesamten Umfänge des Gestaltungs- und Betrachtungsbereichs integriert und synchron berücksichtigt werden. Wird nur eine variable Größe innerhalb des Gestaltungsbereichs bereits vor der Optimierung festgelegt – wie dies bei einer Vorauswahl von Szenarien der Fall ist – könnte so die bestmögliche Lösung ausgeschlossen und das Optimum nicht erreicht werden.

Angemessener Aufwand der Methode

Die umfassende synchrone Berücksichtigung birgt die Gefahr, einen hohen Aufwand bei der Optimierung, beispielsweise in Form von langen Rechenzeiten, zu verursachen. Dieser sollte trotz Einhaltung aller Anforderungen angemessen sein.

Stabiles Optimum

Abschließende Anforderung an die Methode stellt die Erzeugung eines stabilen Ergebnisses in Form des exakten Optimums dar.

Im Folgenden gilt es, durch entsprechende Modellierung und Optimierung allen Anforderungen gerecht zu werden.

4.3. Modellierung im Kontext der Wertschöpfungsverteilung

Als erster Schritt zur Erfüllung der im vorangegangenen Kapitel 4.2 definierten Anforderungen dient der folgende Abschnitt. Ziel ist es, basierend auf den Anforderungen die für diese Arbeit geeignete Form der Modellierung festzulegen. Dabei wird anhand des pragmatischen Merkmals in Beschreibungs-, Erklärungs- und Entscheidungsmodelle unterschieden. Zur Verdeutlichung

der einzelnen Modelltypen werden ausgewählte, bereits existierende Modelle zur Abbildung einer realen Wertschöpfungsverteilung herangezogen. Dies ermöglicht die Auswahl des geeigneten Modelltyps im Zwischenfazit.

Beschreibungsmodelle zur Wertschöpfungsverteilung

Im Bereich der Wertschöpfungsverteilung stellen das Supply-Chain-Operations-Reference-Modell (SCOR-Modell), das Global Value Stream Design, die Wertketten bzw. das Wertsystem nach Porter und der Global Footprint die bedeutendsten Beschreibungsmodelle dar.

Das *SCOR-Modell* dient der formalen Beschreibung von Wertschöpfungsketten (Kaplan und Norton 1996, S. 26-28), (Supply Chain Council 2005, S. 1f). Dabei kann das Modell sowohl unternehmensintern als auch unternehmensübergreifend von den „Lieferanten der Lieferanten“ (Mandel 2012, S. 19) bis zum Endkunden (Herm 2006, S. 174) eingesetzt werden (Mandel 2012, S. 19). Wertschöpfungsprozesse werden auf vier Ebenen erfasst (Mandel 2012, S. 20), (Herm 2006, S. 175) und können mithilfe von Kennzahlen bewertet werden. Herm setzt diese Methode zur Abbildung von Netzwerken ein, indem er mehrere Wertschöpfungsketten überlagernd darstellt (vgl. Herm (2006, S. 175)).

Das *Global Value Stream Design* basiert auf der Methode des Wertstromdesigns¹ und einigen Ansätzen aus dem Extended Value Stream². Mithilfe des Global Value Stream Designs können unternehmensübergreifend sowohl Produktions- als auch Logistikprozesse einer Produktfamilie über eine gesamte Wertschöpfungskette vom Rohstofflieferanten bis zum Endkunden über Symbole und Kennzahlen grafisch beschrieben werden (Nyhuis und Drochelmann 2008, S. 127f). Die Darstellung eines Produktionsnetzwerks erfolgt wiederum durch die Überlagerung von Wertschöpfungsketten mehrerer Produktfamilien.

Die *Wertkette nach Porter* dient der Identifikation von Wettbewerbsvorteilen (Porter 1999, S. 93). Durch die Gliederung eines Unternehmens in „Wertaktivitäten“ (Porter 1999, S. 68) können deren Kostenverhalten sowie vorhandene und potenzielle Differenzierungsquellen (Porter 1999, S. 63) strukturiert beschrieben werden. Über die Einbettung mehrerer Wertketten in ein Wertsystem werden Produktionsnetzwerke inklusive Lieferanten- und Abnehmerwertkette übersichtlich grafisch dargestellt (Porter 1999, S. 63f).

Der *Global Footprint* eines Unternehmens beschreibt anhand von Faktorkosten und Leistungsqualität (Geissbauer und Schuh 2014, S. 15) die gesamte Wertschöpfungskette von der Konstruktion bis zum Service (Geissbauer und Schuh 2014, S. 4). Mithilfe dieses Beschreibungsmodells lassen sich verschiedene Szenarien eines Produktionsnetzwerks mit z. B. gebündelter oder ausgelagerter Wertschöpfung darstellen und vergleichen (Geissbauer und Schuh 2014, S. 15). Roland Berger Strategy Consultants und das WZL der RWTH Aachen haben

¹Zum Wertstromdesign vgl. Erlach (2007)

²Der Betrachtungsbereich des Extended Value Stream geht bereits über einen Standort hinaus, allerdings liegt das Ziel in der Konzentration aller Aktivitäten auf einen Standort (Nyhuis und Drochelmann 2008, S. 127).

den Global Footprint gemeinsam vertieft und erweitert und setzen ihn zur Optimierung von Produktionsnetzwerken ein (vgl. Harre (2006), Merchiers (2008)).

Erklärungsmodelle zur Wertschöpfungsverteilung

Erklärungsmodelle treten innerhalb der Aufgabenstellung der Wertschöpfungsverteilung in Form von Simulationsmodellen auf (vgl. Wiendahl (2011, S. 30)). Im Folgenden wird auf ausgewählte Ansätze eingegangen, die die Rolle von Simulationsmodellen im Kontext der Wertschöpfungsverteilung verdeutlichen. Übersichten weiterer Simulationsmodelle im Bereich der Wertschöpfungsnetze finden sich bei Ude (2010, S. 50f) und Merchiers (2008, S. 112).

Hagedorns *Modellgestützte Planung und Kontrolle von Produktionsstandorten* ist einer der ersten Ansätze zur Wertschöpfungsverteilung mit Simulationsmodell. Dabei handelt es sich um eine Entscheidungsunterstützung zur Senkung von Produktionskosten (Hagedorn 1994, S. 3) durch die verbesserte „räumliche Verteilung der Produktionsstandorte sowie [...] räumliche Verteilung der Ressourcen auf diese Standorte“ (Hagedorn 1994, S. 2). Das Simulationsmodell dient der Generierung und Bewertung von „Aussagen über die Konsequenzen vorgegebener Alternativen“ (Hagedorn 1994, S. 5).

Persson und Olhagers *Performance simulation of supply chain designs* bewertet alternative Produktionsnetzwerkstrukturen hinsichtlich Qualität, Durchlaufzeiten und Kosten (Persson und Olhager 2002, S. 231). Dabei wird ein besseres Verständnis der Zusammenhänge zwischen den Parametern erzielt (Persson und Olhager 2002, S. 231).

Udes *Entscheidungsunterstützung für die Konfiguration globaler Wertschöpfungsnetzwerke* umfasst ein simulationsgestütztes Bewertungsverfahren. Dieses dient der Abbildung von Produktionsnetzwerken und deren Bewertung hinsichtlich quantitativer Zielgrößen (Ude 2010, S. 84). Zur Wertschöpfungsverteilung kommt ein Vorgehensmodell zum Einsatz, in dem zunächst verschiedene Alternativen erarbeitet werden, die anschließend getrennt voneinander einer Simulation unterzogen werden.

Insgesamt wird ersichtlich, dass Simulationsmodelle dynamische Prozesse in ihren „Wirkzusammenhängen und Zeitmechanismen“ abbilden (Niemeyer 1990, S. 437), um komplexe über die Zeit auftretende Zusammenhänge erklären zu können (Arnold, Isermann et al. 2008, S. 74). Dabei kommen Zielgrößen zum Einsatz, die im vorgegebenen Zeitraum erfasst und statistisch ausgewertet werden (Arnold, Isermann et al. 2008, S. 74). Auf diese Weise kann eine Bewertung vorhandener oder zukünftiger Situationen stattfinden (Ude 2010, S. 50). Im Kontext der Wertschöpfungsverteilung wird das Verhalten verschiedener zuvor ermittelter Alternativen, z. B. potenzieller Wertschöpfungsverteilungen eines Produktionsnetzwerks, über einen bestimmten Zeitraum mithilfe des Modells durchgespielt, d. h. simuliert (Kohler 2008, S. 69), (Arnold, Isermann et al. 2008, S. 74). Derart können verschiedene Alternativen bewertet und verglichen werden (Kohler 2008, S. 69).

Entscheidungsmodelle zur Wertschöpfungsverteilung

Die Erfassung von Entscheidungsmodellen erfolgt in Form mathematischer Optimierungsmodelle. Diese werden im Bereich der Produktionsnetzwerke zahlreich eingesetzt. Literaturübersichten finden sich in Lambiase, Mastrocinque et al. (2013, S. 4ff), Moser (2014, S. 46), Ude (2010, S. 54), Bundschuh (2008, S. 133-154), Kohler (2008, S. 75f) und Jacob (2006, S. 30). Im Folgenden wird auf ausgewählte Optimierungsmodelle eingegangen.

Yans *Strategic model for supply chain design* schlägt eine von Lieferanten über Produzenten bis zu Distributionslagern aus strategischer Sicht kostenoptimale Verteilung der Produktion vor (Yan, Yu et al. 2003, S. 2135). Dabei kommt ein gemischt-ganzzahliges Optimierungsmodell zum Einsatz. Über Nebenbedingungen werden die Stücklisten sowie die Zusammenhänge zwischen den Netzwerk-Entitäten abgebildet (vgl. Yan, Yu et al. (2003)).

Jacobs *Quantitative Optimierung dynamischer Produktionsnetzwerke* dient der „Entscheidungsvorbereitung einer strategischen Neuausrichtung des Produktionsnetzwerks eines Unternehmens“ (Jacob 2006, S. 7). Ein lineares gemischt-ganzzahliges Optimierungsmodell ermittelt das wirtschaftliche Optimum der zeitlichen und örtlichen Allokation von Produktionskapazitäten (Jacob 2006, S. 8, 79f). Die Beziehungen zu den Lieferanten sind inbegriffen (Jacob 2006, S. 8).

Tsiakis *Optimal production allocation and distribution supply chain networks* entsprechen optimal konfigurierten Produktions- und Distributionsnetzwerken (Tsiakis und Papageorgiou 2008, S. 468). Diese werden anhand eines linearen gemischt-ganzzahligen Optimierungsmodells ermittelt, das sowohl operative Restriktionen zur Qualität, Produktion und Beschaffung als auch finanzielle Parameter berücksichtigt (vgl. Tsiakis und Papageorgiou (2008)).

Leungs *Robust optimization model for multi-site production planning problem* unterstützt in erster Linie die standortübergreifende Produktionsplanung bei aktuellen Rahmenbedingungen wie Produktionskapazitäten oder Belegschaftsstand (Leung, Tsang et al. 2007, S. 224). Allerdings optimiert das nichtlineare Modell durch den Einsatz von Strafparametern auch die Produktionsnetzwerkstrategie bezüglich zukünftig erforderlicher Kapazitäten oder der Belegschaft. Ergebnis ist ein kostenoptimaler Plan (vgl. Leung, Tsang et al. (2007)).

Insgesamt wird deutlich, dass das Aufstellen von mathematischen Optimierungsmodellen einen mächtigen Formalismus darstellt, durch den beliebige reale Optimierungsprobleme vereinfacht abgebildet und anhand von Algorithmen gelöst werden können (Shapiro 1993, S.373), (Suhl und Mellouli 2009, S. 6). Dabei wird das Modell mithilfe der Mathematik eigenen Objekten wie Variablen, Termen, Gleichungen, Ungleichungen und anderen Relationen formuliert (Kallrath 2002, S. 6). Darüber wird eigenständig die beste Lösung erzeugt (Kohler 2008, S. 69).

		Beschreibungsmodelle	Erklärungsmodelle	Entscheidungsmodelle
methodisch	Mehrere Zielgrößen	●	●	●
	Zu minimierende Ziele sowie zu maximierende Ziele	●	●	●
	Integrierte und synchrone Optimierung	○	○	●
	Normierter Vergleich von Zielwerten	◐	◐	◐
	Flexibilität gegenüber Strategien	◐	◐	◐
	Angemessenes Know-how und Aufwand des Entscheiders	●	●	●
	Integrierte und synchrone Berücksichtigung des gesamten Gestaltungs- und Betrachtungsbereichs	○	○	●
	Angemessener Aufwand der Methode	●	●	●
	Stabiles Optimum	○	○	●

● möglich ◐ durch Weiterentwicklung möglich ○ nicht möglich

Abbildung 4.1.: Defizitbewertung von Modelltypen

Zwischenfazit

Die Konkretisierung der Modelltypen verdeutlicht den Einsatzzweck der jeweiligen Modelle. Dies ermöglicht die in Abbildung 4.1 dargestellte und im Folgenden beschriebene Bewertung der Modelltypen anhand der Anforderungen aus Kapitel 4.2.

Beschreibungs- und Erklärungsmodelle befassen sich lediglich mit vordefinierten Situationen und können daher ausschließlich über ein stufenweises Vorgehen zur Entscheidungsunterstützung bei Aufgaben mit dem Ziel der Verbesserung beitragen. Eine exakte Optimierung zur Erzeugung eines stabilen Optimums hingegen wird ausschließlich mithilfe eines Entscheidungsmodells erreicht. Ebenso kann ein stufenweises Vorgehen den Anforderungen der synchronen Berücksichtigung aller Umfänge des Gestaltungs- und Betrachtungsbereichs sowie der integrierten Berücksichtigung mehrerer Zielgrößen bei der Optimierung nicht gerecht werden. Daher erfordert der dieser Arbeit zugrundeliegende Anspruch an die Optimierung sowie Modellierung den Einsatz eines Entscheidungsmodells. Dies nimmt grundsätzlich die Form eines mathematischen Optimierungsmodells an.

Um der Beantwortung der in Abschnitt 1.3 formulierten Unterforschungsfrage 2: „Wie lässt sich die Wertschöpfungsverteilung von Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung ganzheitlich beschreiben und abbilden?“ auf methodischem Weg einen Schritt näher zu kommen, werden im Folgenden Grundlagen zur mathematischen Modellierung gelegt.

Mathematische Optimierungsmodelle

Ein Optimierungsmodell besteht aus einer Zielfunktion und Restriktionen, die jeweils Variablen enthalten (Kallrath 2002, S. 1). Die Zielfunktion stellt eine Funktion dar, deren Maximum oder Minimum bestimmt werden soll (Collette und Siarry 2003, S. 17), (Kallrath 2002, S. 1). Die Restriktionen – auch Nebenbedingungen genannt – erfassen den Bereich, auf dem die Zielfunktion betrachtet werden soll (Kallrath 2002, S. 1), indem sie Bedingungen an die Variablen stellen (Collette und Siarry 2003, S. 17). Die Variablen repräsentieren die in der Realität zu treffenden Entscheidungen (Kallrath 2002, S. 1) und werden daher auch Entscheidungsvariablen genannt.

Optimierungsmodelle können anhand der Eigenschaften ihrer Elemente – Zielfunktion, Restriktionen und Variablen – klassifiziert werden (Collette und Siarry 2003, S. 20). Variablen können reelle sowie ganzzahlige Werte oder Werte aus einer vorgegebenen Menge annehmen. Handelt es sich bei den Variablen um reelle, kontinuierliche Zahlen, spricht man von einem kontinuierlichen Optimierungsmodell (Collette und Siarry 2003, S. 20). Sind die Variablen ganzzahlig, lautet die Bezeichnung ganzzahliges oder diskretes Modell (Collette und Siarry 2003, S. 20). Nehmen die Variablen ausschließlich eine vordefinierte endliche Menge von Zahlen an, handelt es sich um ein kombinatorisches Modell (Collette und Siarry 2003, S. 20). Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal liegt in der Zielfunktion und den Restriktionen. Sind diese linear, wird auch das Modell als linear bezeichnet (Collette und Siarry 2003, S. 20). Eine quadratische Zielfunktion oder Restriktion spiegelt sich im quadratischen Optimierungsmodell, eine nichtlineare Zielfunktion oder Restriktion im nichtlinearen Optimierungsmodell wider (Collette und Siarry 2003, S. 20).

Die Form der Zielfunktion, der Restriktionen und der Variablen zusammengefasst betrachtet, wird in allgemeine, lineare, lineare ganzzahlige und lineare gemischt-ganzzahlige Optimierungsmodelle unterschieden. Bei einem allgemeinen Optimierungsmodell existieren weder für die Zielfunktion und die Restriktionen noch für die Variablen Einschränkungen. Das lineare Optimierungsmodell enthält ausschließlich reelle Variablen und zeichnet sich durch eine lineare Zielfunktion und lineare Restriktionen aus. Das lineare ganzzahlige Optimierungsmodell unterscheidet sich vom linearen Optimierungsmodell durch die Ganzzahligkeit der Variablen. Das lineare gemischt-ganzzahlige Optimierungsmodell enthält sowohl reelle als auch ganzzahlige Variablen sowie eine lineare Zielfunktion und lineare Restriktionen (Kallrath 2002).

In den 50er-Jahren kristallisierte sich ein weiteres Unterscheidungsmerkmal heraus, als Optimierungsmodelle mit mehreren Zielfunktionen aufkamen. Seither wird in monokriterielle und multikriterielle Optimierungsmodelle unterschieden. Multikriterielle können analog der monokriteriellen Optimierungsmodelle alle beschriebenen Formen von allgemein bis linear gemischt-ganzzahlig annehmen.

4.4. Methoden der Optimierung

Den Anforderungen aus Kapitel 4.2 gilt es bei der Optimierung ebenfalls gerecht zu werden. Daher werden in diesem Kapitel 4.4 anhand der Anforderungen die für diese Arbeit geeigneten Methoden der Optimierung auf eine Kategorie eingegrenzt.

In Kapitel 4.3 wurden Entscheidungsmodelle in Form von mathematischen Optimierungsmodellen als Basis der Optimierung identifiziert. Vorgehensweisen und Bewertungsansätze, die auf Beschreibungsmodellen beruhen, sowie Simulationsansätze und szenariobasierte Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen, deren Grundlage Erklärungsmodelle darstellen, scheiden daher als Lösungsmethoden aus.

Das Lösen mathematischer Optimierungsmodelle erfolgt mithilfe mathematischer Optimierungsmethoden (Jacob 2006, S. 25), (Ude 2010, S. 46). Diese weisen den Entscheidungsvariablen des Modells Werte derart zu, dass die Zielfunktion ihr Optimum erreicht (Kallrath 2002, S. 1). Entsprechend wird bei realer Anwendung die Situation so angepasst, dass die Zielgröße einen maximalen bzw. minimalen Wert annimmt (Jacob 2006, S. 25f).

Als mathematische Optimierungsmethoden kommen exakte Verfahren oder Heuristiken zum Einsatz (Herm 2006, S. 49), (Ude 2010, S. 46).

Exakte mathematische Optimierungsmethoden

Exakte Verfahren liefern in jedem Fall die optimale Lösung.

Der *Simplex-Algorithmus*³ ist die „älteste und bekannteste“ Methode zur Lösung linearer Optimierungsmodelle (Suhl und Mellouli 2009, S. 44) und wurde als erstes Verfahren in diesem Bereich computerbasiert implementiert (Suhl und Mellouli 2009, S. 21). Zwei Phasen kennzeichnen den Algorithmus: Die erste Phase dient dem Auffinden einer zulässigen Lösung, die in der zweiten Phase solange verbessert wird, bis das Optimum erreicht ist (Suhl und Mellouli 2009, S. 45). Es existieren zahlreiche Variationen und Verbesserungen des Simplex-Algorithmus.

Das *Innere-Punkte-Verfahren*⁴ stellt eine solche Weiterentwicklung des Simplex-Algorithmus dar. Der Simplex-Algorithmus fokussiert lediglich auf die Ränder des Lösungsraums. Im Gegensatz dazu bezieht die Innere-Punkte-Methode ebenso die innerhalb des Lösungsraums liegenden Punkte in die Betrachtung mit ein (Suhl und Mellouli 2009, S. 45). Abhängig von der Modellstruktur stellt entweder die Innere-Punkte-Methode oder der Simplex-Algorithmus das effizientere Verfahren dar (Suhl und Mellouli 2009, S. 46).

Das *Backtracking* wird im Fall linearer gemischt-ganzzahliger Optimierungsmodelle eingesetzt (Suhl und Mellouli 2009, S. 144). Das Aufsuchen der optimalen Lösung erfolgt schrittweise, indem den jeweiligen Variablen testweise Werte zugewiesen werden und der mit diesen Werten erzielte Zielfunktionswert berechnet wird. Sollte sich das Festlegen eines Werts einer Variablen

³vgl. Borgwardt (2001, S. 83-142), Suhl und Mellouli (2009, S. 46-64)

⁴vgl. Borgwardt (2001, S. 171-182)

als nicht vorteilhaft erweisen, kann dieses zurückgenommen und an der Stelle der bereits getroffenen Entscheidung mit einer abweichenden Entscheidung erneut begonnen werden (Suhl und Mellouli 2009, S. 142). Auf diese Weise kann der sich aufspannende Suchbaum abgearbeitet werden, bis die optimale Lösung gefunden ist.

Das *Branch-and-Bound-Verfahren*⁵ ermöglicht das effizientere Durchsuchen eines solchen Suchbaumes. Beim Branching wird strukturiert diejenige Variable ausgewählt, die als nächstes untersucht wird (Suhl und Mellouli 2009, S. 142). Das Bounding schneidet mithilfe von Schranken Teiläste des Suchbaums ab, so dass diese nicht weiter durchsucht werden müssen (Suhl und Mellouli 2009, S. 142).

*Schnittebenenverfahren*⁶ dienen dem Lösen von linearen ganzzahligen sowie linearen gemischt-ganzzahligen Optimierungsmodellen (Borgwardt 2001, S. 392, 394). Im ersten Schritt wird auf die Bedingungen der Ganzzahligkeit verzichtet und über ein Verfahren für lineare Optimierungsmodelle eine Lösung erzeugt (Borgwardt 2001, S. 393). Erfüllt die Lösung nicht die Ganzzahligkeitsbedingungen, wird diese durch eine zusätzliche Ungleichung – eine sogenannte Schnittebene – abgeschnitten (Borgwardt 2001, S. 393). Das angepasste Modell wird erneut gelöst und solange um Schnittebenen ergänzt, bis eine Lösung ermittelt wird, die alle Bedingungen der Ganzzahligkeit erfüllt (Borgwardt 2001, S. 393f).

Diese Methoden sind in sogenannten Solvern als Software implementiert.

Heuristische mathematische Optimierungsmethoden

Liegt kein lineares Optimierungsmodell vor oder nimmt das Auffinden der optimalen Lösung zu viel Zeit in Anspruch, kommen Heuristiken zum Einsatz. Diese suchen nach einer möglichst guten Lösung.

Greedy-Methode steht für „gierige Methode“, da nach einem klar vorgegebenen Schema schrittweise irreversible Entscheidungen getroffen werden (Suhl und Mellouli 2009, S. 138). Ein Entscheidungskriterium kann beispielsweise der größte Nutzen darstellen. Diese Methode erzielt ausschließlich für ausgewählte Probleme wie die Bestimmung eines minimalen Spannbaums in einem Graphen das Optimum (Suhl und Mellouli 2009, S. 139).

Beim *Divide-and-Conquer* wird das Gesamtproblem in Teile zerlegt. Die Lösungen dieser Teilprobleme werden wieder zu einer Gesamtlösung zusammengeführt (Suhl und Mellouli 2009, S. 139). Das Verfahren kann in mehreren Stufen erfolgen und daher eine lange Rechenzeit zur Folge haben (Suhl und Mellouli 2009, S. 139).

Unter *Eröffnungs- und Verbesserungsverfahren* werden Heuristiken zusammengefasst, die über zwei Phasen verfügen. In der ersten Phase erfolgt durch ein Eröffnungsverfahren das Auffinden einer zulässigen Lösung. Diese wird in einer zweiten Phase verbessert. Im Gegensatz zum Simplex-Algorithmus kann in diesen Fällen allerdings keine optimale Lösung gefunden werden

⁵vgl. Borgwardt (2001, S. 384-392), Suhl und Mellouli (2009, S. 151-158)

⁶vgl. Borgwardt (2001, S. 392-404)

(Suhl und Mellouli 2009, S. 140). Je nach Problemart unterscheiden sich sowohl die jeweiligen Eröffnungs- als auch die Verbesserungsverfahren.

Unter *naturanaloge Algorithmen* fallen genetische Algorithmen, neuronale Netze, Simulated Annealing oder Ameisensysteme. Ihnen ist gemein, dass sie „Analogien zu Naturphänomenen“ aufweisen (Suhl und Mellouli 2009, S. 142). Detaillierte Beschreibungen der jeweiligen Algorithmen finden sich in (Joeressen und Sebastian 1998, S. 210ff), (Nissen 1997, S. 33ff), (Rimscha 2014, S. 65ff, 159ff) und (Nahrstedt 2012, S. 215ff).

Heuristiken werden meist eigens für das spezifisch vorliegende Problem programmiert.

Zwischenfazit

Die Auseinandersetzung mit sowohl exakten als auch heuristischen mathematischen Optimierungsmethoden führt zu der in Abbildung 4.2 dargestellten Bewertung.

In Heuristiken wird schrittweise vorgegangen, so dass diese die Anforderung der integrierten und synchronen Berücksichtigung des gesamten Gestaltungs- und Betrachtungsbereichs nicht erfüllen. Daher wird kein stabiles Optimum erzeugt. Da dieses allerdings innerhalb dieser Arbeit den Anspruch an eine Optimierung darstellt, müssen exakte Verfahren zum Einsatz kommen. Diese sind idealerweise in einer kommerziellen Software implementiert.

	Anforderungen	Exakte mathematische Optimierungsmethoden	Heuristische mathematische Optimierungsmethoden
methodisch	Mehrere Zielgrößen	◐	◐
	Zu minimierende Ziele sowie zu maximierende Ziele	◐	◐
	Integrierte und synchrone Optimierung	◐	◐
	Normierter Vergleich von Zielwerten	◐	◐
	Flexibilität gegenüber Strategien	◐	◐
	Angemessenes Know-how und Aufwand des Entscheiders	●	●
	Integrierte und synchrone Berücksichtigung des gesamten Gestaltungs- und Betrachtungsbereichs	●	○
	Angemessener Aufwand der Methode	●	●
	Stabiles Optimum	●	○

● möglich ◐ eingeschränkt möglich ○ nicht möglich

Abbildung 4.2.: Defizitbewertung von Methoden der Optimierung aggregiert in Kategorien

Grundsätzlich sind die Verfahren auf das Lösen von Optimierungsmodellen mit lediglich einer Zielfunktion ausgelegt. Allerdings ist es möglich, die exakten mathematischen Optimierungsmethoden auch in der multikriteriellen Optimierung anzuwenden (vgl. (Ehrgott 2005, S. 151ff)). Da die Anforderung der Berücksichtigung mehrerer unterschiedlicher Zielgrößen für diese Arbeit den Einsatz eines multikriteriellen Optimierungsmodells erfordert, wird im Folgenden auf die Disziplin der multikriteriellen Optimierung näher eingegangen. Dies ermöglicht erste Erkenntnisse zur Beantwortung der Unterforschungsfrage 3 „Wie lässt sich ein stabiles Gesamtoptimum nach integriert betrachteten quantitativen und qualitativen Kriterien erzeugen?“

4.5. Das Paradigma der multikriteriellen Optimierung

Die multikriterielle mathematische Optimierung beschäftigt sich mit dem Lösen multikriterieller Optimierungsmodelle und wird auch als Multiple Objective Decision Making (MODM)⁷ bezeichnet (vgl. Ehrgott (2005), Collette und Siarry (2003)). Hierfür werden im Folgenden die Grundlagen gelegt. Dabei wird auf multikriterielle Optimierungsprobleme, -modelle und -methoden eingegangen.

4.5.1. Das multikriterielle Optimierungsproblem

Kinkel beschreibt das Dilemma eines multikriteriellen Problems beispielhaft mit folgender Frage aus der Standortplanung: Welche Entscheidung ist zu treffen, „wenn die Bewertung für Standort A einen hohen Nutzwert aber geringen Kapitalwert ergibt, während für Standort B ein hoher Kapitalwert aber geringer Nutzwert ermittelt wird“? (Kinkel 2009, S. 39).

Diese Frage bringt einige der folgenden sechs Merkmale zum Ausdruck, über die sich gemäß Ude (2010, S. 19) ein multikriterielles Optimierungsproblem charakterisieren lässt:

- „Die Entscheidungssituation hat mehrere Ziele.
- Die Ziele stehen üblicherweise in einem Zielkonflikt.
- Für gewöhnlich werden die Ziele mit unterschiedlichen, untereinander unvergleichbaren Maßstäben gemessen.
- Die Lösung des Entscheidungsproblems wird durch Berechnung oder durch Auswahl der besten Lösung herbeigeführt.

⁷MODM grenzt sich innerhalb der Problemstellungen mit mehrfacher Zielsetzung vom Multiple Attribute Decision Making (MADM) ab (Hanne 1998, S. 13). Dabei behandelt die Klasse des MADM Fragestellungen mit diskretem Lösungsraum, die nicht über ein klassisches mathematisches Optimierungsmodell abgebildet werden können (Hanne 1998, S. 13) und daher mit eigens für diese Spezialform entwickelten sogenannten multiattributiven Verfahren gelöst werden müssen. Der Ausgangspunkt einer abzählbaren Menge von Alternativen entspricht zudem nicht der Fragestellung der Wertschöpfungsverteilung, die eine unendliche Anzahl an verschiedenen Formen annehmen kann.

- Der Entscheidungsträger ist eine Einzelperson oder eine Gruppe.
- Die Entscheidungen können bei Sicherheit oder bei Unsicherheit betrachtet werden.”

Die Aufgabe der Wertschöpfungsverteilung stellt ein solches multikriterielles Entscheidungsproblem dar (Bauernhansl und Schellberg 1999, S. 4). Dieses gilt es, als multikriterielles Optimierungsmodell wie folgt zu formulieren.

4.5.2. Das multikriterielle Optimierungsmodell

Ein multikriterielles Optimierungsmodell ist ein mathematisches Optimierungsmodell, das sich durch mehrere Zielfunktionen auszeichnet und sich über folgende Elemente definiert:

- die Menge der zulässigen Lösungen – der sogenannten Entscheidungsvariablen – X
- den Zielfunktionsvektor $f = (f_1, \dots, f_k) : X \rightarrow \mathbb{R}^k$
- mit dem Lösungsraum \mathbb{R}^k
- die geordnete Menge \mathbb{R}^p mit der Ordnungs-Relation $\prec: (\mathbb{R}^p, \preceq)$
- der Transformationsfunktion ϑ , die den Zielfunktionsvektor von \mathbb{R}^k in einen geordneten Raum transformiert (z. B. (\mathbb{R}^p, \preceq)), in dem ein Vergleich durch den Einsatz der Ordnungs-Relation \preceq möglich ist (Ehrgott 2005, S. 17).

Somit lässt sich ein multikriterielles Optimierungsproblem wie folgt darstellen (Collette und Siarry 2003, S. 20).

$$\text{minimiere } f(x)$$

unter

$$g(x) \leq 0$$

$$h(x) = 0$$

mit $x \in \mathbb{R}^n, f(x) \in \mathbb{R}^k, g(x) \in \mathbb{R}^m, h(x) \in \mathbb{R}^o$.

Aufgrund des Zielfunktionsvektors $f(x)$ besitzt das Problem k Zielfunktionen. Die Transformationsfunktion dient der Umformulierung eines multikriteriellen Optimierungsmodells in ein anderes multikriterielles Optimierungsmodell, für das eine Lösungsmethode bereits existiert oder entwickelt werden kann (Collette und Siarry 2003, S. 231). Dieser Vorgang nennt sich Transformationsprozess (Collette und Siarry 2003, S. 231). Dabei wird über die Transformationsfunktion eine Verbindung zwischen dem Lösungsraum und der geordneten Menge hergestellt (Ehrgott 2005, S. 17).

Transformationsfunktionen sind somit zusammen mit den Lösungsmethoden von Optimierungsmodellen fester Bestandteil der Methoden der multikriteriellen Optimierung.

4.5.3. Methoden der multikriteriellen Optimierung

Multikriterielle Optimierungsmethoden zeichnen sich durch die Verarbeitung mehrerer Zielfunktionen aus. Diese Methoden beziehen sich sowohl auf den Transformationsprozess als auch auf die Methode zur Lösung des Modells.

Methoden zur Transformation

Innerhalb des Transformationsprozesses gibt es zwei grundlegende Strategien für den Umgang mit Zielfunktionen (Collette und Siarry 2003, S. 234). Zum einen kann die Mehrzielfunktion beibehalten und nicht aggregiert werden (Collette und Siarry 2003, S. 234). Zum anderen kann mit oder ohne Einsatz von Restriktionen eine Einzielfunktion erzeugt werden (Collette und Siarry 2003, S. 234). Dies wird als aggregierender Ansatz bezeichnet (Collette und Siarry 2003, S. 234).

Folgende Methoden verwenden aggregierende Ansätze:

Die *weighted-sum-Methode* zählt zu den ersten Methoden der multikriteriellen Optimierung. Mittels einer gewichteten Summierung werden die Kriterien der verschiedenen Zielfunktionen zu einem Gesamtziel aggregiert (Hanne 1998, S.1). Dabei spiegeln die Gewichtungen das individuelle Weltbild des Entscheiders wider (Wieser 2004, S. 18).

Die *Keeney-Raiffa-Methode* verwendet in der aggregierten Zielfunktion dieselben Daten wie die *weighted-sum-Methode*. Allerdings erfolgt die Aggregation mittels Multiplikation statt Summierung (Collette und Siarry 2003, S. 54).

Die *ε -Constraint-Methode* ist die bekannteste Methode, die mit Schwellen- bzw. Mindestwerten – sogenannten Anspruchsniveaus – je Zielkriterium arbeitet (vgl. Hanne (1998, S. 19f)). Über entsprechende Restriktionen werden bis auf eines alle Zielkriterien auf mindestens diese vordefinierten Anspruchsniveaus gezwungen (Ehrgott 2005, S. 98). Optimiert wird lediglich nach dem verbleibenden Kriterium, so dass eine Einzielfunktion entsteht (Ehrgott 2005, S. 98).

Hybride Methoden bedienen sich zweier Standard-Methoden. Die bekannteste aggregierende hybride Methode führt ε -Constraint-Methode und *weighted-sum-Methode* zusammen. Dies resultiert in einer gewichteten Zielfunktion sowie auf Anspruchsniveaus basierenden Restriktionen für alle Zielkriterien (Ehrgott 2005, S. 101).

Das *Compromise Programming* fällt in die Klasse der Referenzpunkt-Methoden (Ehrgott 2005, S. 122), die eine nicht zulässige Ideallösung als Referenzpunkt einsetzt (Hanne 1998, S. 20). Diese Ideallösung ist entweder vom Entscheider durch aus seiner Sicht absolut optimale Werte der einzelnen Zielkriterien vorgegeben (Moser 2014, S. 24) oder durch Werte aus Einzel-Optimierungen bestimmt (Suhl und Mellouli 2009, S. 120). Im *Compromise Program-*

ming wird der Abstand zu dieser Ideallösung minimiert (Hanne 1998, S. 20). Als Abstandsmetrik werden bevorzugt Blockabstand, Euklidischer Abstand oder Tschebyscheff-Abstand eingesetzt (Hanne 1998, S. 20). Daher entstehen in der Regel nichtlineare Optimierungsmodelle.

Das *Goal Programming* ist „einer der ältesten und wichtigsten [...] Ansätze basierend auf Referenzwerten“ (Hanne 1998, S. 21). Dabei stellen Referenzwerte analog zum Compromise Programming absolute optimale Werte der einzelnen Zielkriterien dar, die bei der integrierten multikriteriellen Optimierung in der Regel nicht erreicht werden können (Hanne 1998, S. 20). Um dennoch möglichst nahe an diese Referenzwerte bzw. Goals heranzureichen, werden Restriktionen eingeführt (Suhl und Mellouli 2009, S. 121f). Diese setzen die jeweiligen Zielfunktionen $f_i(x)$ mithilfe sogenannter Schlupfvariablen u_i und v_i mit ihren Referenzwerten r_i über $f_i(x) - u_i + v_i = r_i$ in Verbindung (Suhl und Mellouli 2009, S. 122), (Hanne 1998, S. 21). Diese Überschreitungen u_i und Unterschreitungen v_i der Ziele r_i durch den Funktionswert $f_i(x)$ gilt es zu minimieren (Suhl und Mellouli 2009, S. 122). Dies erfolgt, indem die transformierte Zielfunktion entweder die Summe der Abweichungen der jeweiligen Zielkriterien von den Goals oder die maximale Abweichung aus allen Abweichungen minimiert (Suhl und Mellouli 2009, S. 122).

Sowohl diese durch Aggregation der Zielfunktionen angepassten Optimierungsmodelle als auch die nicht aggregierten Modelle gilt es im Folgenden zu lösen.

Lösungsmethoden

Für nicht aggregierte Modelle können als Lösungsmethoden ausschließlich Heuristiken eingesetzt werden. Neben den in Abschnitt 4.4 vorgestellten heuristischen Verfahren werden im Bereich der multikriteriellen Optimierung vorzugsweise Simulated Annealing, Tabu Search und genetische Algorithmen eingesetzt (Collette und Siarry 2003, S. 115).

Zum Lösen der zu einem monokriteriellen Modell aggregierten Optimierungsmodelle können die für mathematische Optimierungsmodelle beschriebenen exakten und heuristischen Optimierungsmethoden eingesetzt werden (vgl. Abschnitt 4.4).

Zwischenfazit

Gemäß dem Zwischenfazit aus Abschnitt 4.4 sollen exakte Verfahren zum Einsatz kommen. Da nicht aggregierende Ansätze lediglich mittels Heuristiken gelöst werden können, erfordert der Einsatz exakter Verfahren eine aggregierende Transformationsmethode. Entsprechend wird in dieser Arbeit eine aggregierende Transformationsmethode mit einer exakten Lösungsmethode kombiniert.

4.5.4. Methodenwahl

Aus den im vorangegangenen Abschnitt aggregierenden Methoden zur Transformation soll die für die nach quantitativen und qualitativen Kriterien integrierte Optimierung geeignetste ermittelt werden.

In Abbildung 4.3 sind die Methoden zur Transformation anhand der in 4.2 formulierten Anforderungen hinsichtlich ihrer Eignung bewertet.

Die Bewertung macht deutlich, dass die Anforderung des normierten Vergleichs von Zielwerten ein entscheidendes Kriterium darstellt. Dies wird von keiner der Transformationsmethoden im vollen Umfang erfüllt. In der Regel werden absolute Werte von Größen unterschiedlicher Einheiten und Größenordnungen eingesetzt. Lediglich Compromise und Goal Programming arbeiten mit Abständen bzw. Unter- und Überschreitungen zu einer Vergleichsgröße. Dies entspricht zwar nicht einer Normierung, dennoch können die Ergebnisse damit deutlich verbessert werden. Zudem besitzen die beiden Methoden großes Potenzial, eine Normierung zu integrieren. Da für beide Methoden hybride Methoden existieren, die Flexibilität gegenüber Strategien ermöglichen, kommen Compromise und Goal Programming in die engere Auswahl.

	Anforderungen	Weighted-sum-Methode	Keeney-Raiffa-Methode	Epsilon-Constraint-Methode	Hybrides Epsilon-Constraint mit weighted-sum	Compromise Programming	Goal Programming
methodisch	Mehrere Zielgrößen	●	●	●	●	●	●
	Zu minimierende Ziele sowie zu maximierende Ziele	●	●	●	●	●	●
	Integrierte und synchrone Optimierung	●	●	◐	●	●	●
	Normierter Vergleich von Zielwerten	○	○	○	○	◐	◐
	Flexibilität gegenüber Strategien	●	●	◐	●	◐	◐
	Angemessenes Know-how und Aufwand des Entscheiders	●	●	●	●	●	●
	Integrierte und synchrone Berücksichtigung des gesamten Gestaltungs- und Betrachtungsbereichs	●	●	●	●	●	●
	Angemessener Aufwand der Methode	●	●	●	●	○	●
	Stabiles Optimum	●	●	●	●	◐	●

● trifft voll zu ◐ trifft teilweise zu ○ trifft nicht zu

Abbildung 4.3.: Defizitbewertung von Methoden der Optimierung

Im Vergleich von Compromise und Goal Programming fällt ins Gewicht, dass im Compromise Programming vorwiegend nichtlineare Modelle entstehen, die ausschließlich mit spezifischer Software zu lösen sind (Romero, Tamiz et al. 1998, S. 990). Dabei liegen die Rechenzeiten deutlich über denen linearer Modelle des Goal Programming. Des Weiteren konnten beim Compromise Programming konzeptionelle Inkonsistenzen festgestellt werden (Romero, Tamiz et al. 1998, S. 986). Im Rahmen dieser Arbeit wird daher der Einsatz des Goal Programming gewählt. Auch Entscheider bevorzugen aufgrund der intuitiv verständlichen Philosophie das Goal Programming gegenüber dem Compromise Programming (Romero, Tamiz et al. 1998, S. 986).

4.6. Ansätze zur Begegnung von Unsicherheit und Dynamik

Eng verbunden mit der Optimierung von realen Problemen ist der Umgang mit Unsicherheiten und dynamischen Vorgängen. Dieser Herausforderung begegnen die Ansätze der Sensitivitätsanalyse, Szenarioanalyse sowie der stochastischen Optimierung, auf die im Folgenden eingegangen wird.

Sensitivitätsanalyse

Die Sensitivitätsanalyse dient der Untersuchung von Unsicherheiten (Kohler 2008, S. 88). Dabei stellt die Sensitivität ein Maß dafür dar, „wie empfindlich die Ergebnisse hinsichtlich der Veränderung einer oder mehrerer Einflussgrößen reagieren“ (Ude 2010, S. 41), (Wolke 2008, S. 25).

Die Sensitivitätsanalyse erfolgt in drei Schritten (Hungenberg 2008, S. 306): Im ersten Schritt werden die zentralen Größen identifiziert, deren Bewertung auf Annahmen beruhen, (Hungenberg 2008, S. 306) z. B. zukünftige Wechselkurse oder Mitarbeitermotivation. Im zweiten Schritt wird festgelegt, welche Abweichungen auftreten können (Hungenberg 2008, S. 306), ehe im dritten Schritt der Einfluss der veränderten Größen auf das Ergebnis berechnet wird (Kohler 2008, S. 88).

Mithilfe von Sensitivitätsanalysen kann die Qualität von erarbeiteten Modellen und insbesondere deren Robustheit gegenüber unsicheren Daten getestet werden (Geldermann 2006, S. 135). Dabei können sogenannte Insensitivitätsintervalle ermittelt werden, in deren Bereiche sich ein Ergebnis robust verhält⁸ (Ude 2010, S. 41).

Szenarioanalyse

Ziel der Szenarioanalyse ist die Untersuchung von Auswirkungen zukünftiger Entwicklungstrends auf das Ergebnis (Burschel 2004, S. 364). Dabei bildet ein Szenario eine „mögliche zu-

⁸vgl. Mareschal (1988)

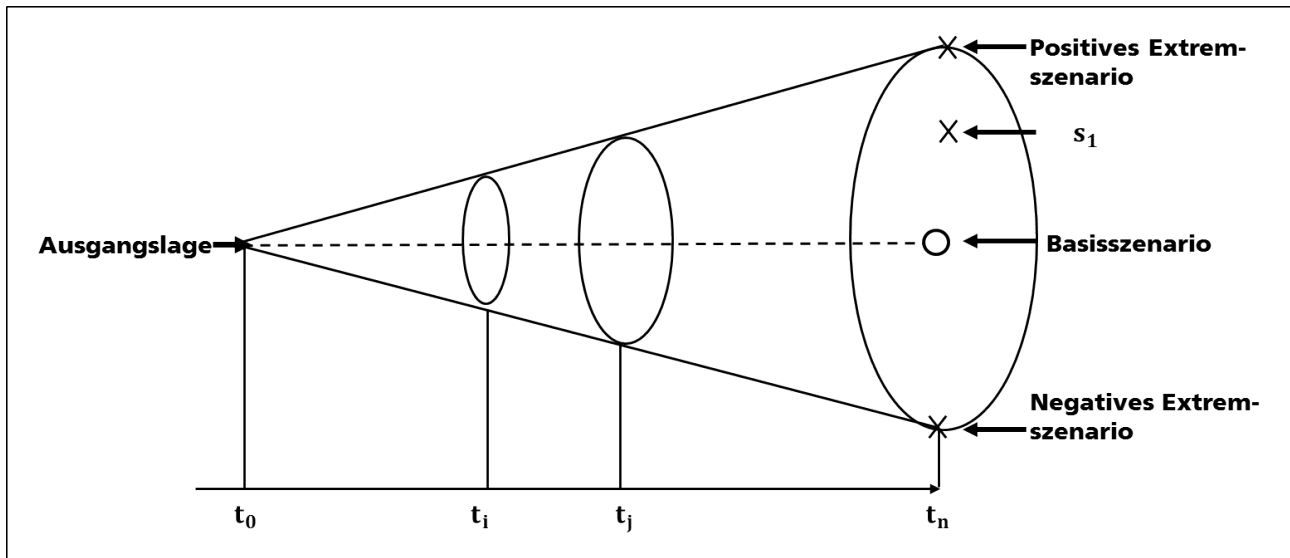


Abbildung 4.4.: Szenario-Trichter (Ude 2010, S. 42)

künftige Situation” ab (Ude 2010, S. 42). Diese lässt sich aus dem sogenannten Szenario-Trichter (vgl. Abbildung 4.4) ableiten, der vom gegenwärtigen Zeitpunkt aus den Entwicklungsverlauf aufzeigt (Ude 2010, S. 42). Mit fortschreitender Zeit weist dieser Verlauf eine immer größere Unsicherheit auf (Ude 2010, S. 42).

Die Szenarioanalyse erfolgt in fünf Phasen (Gausemeier, Fink et al. 1995, S. 100): In der *Szenario-Vorbereitung* wird der Betrachtungsbereich in Form eines Gestaltungsfelds, d. h. des Untersuchungsgegenstands, sowie eines Szenariofelds, d. h. der zu untersuchenden Kriterien, festgelegt (Gausemeier, Fink et al. 1995, S. 99f, 102), (Ude 2010, S. 43). Innerhalb des Szenariofelds werden Schlüsselkriterien mittels der anschließenden *Szenariofeld-Analyse* identifiziert (Gausemeier, Fink et al. 1995, S. 102), (Ude 2010, S. 43). Für diese werden in der folgenden Phase der *Szenario-Prognostik* Zukunftsprojektionen entworfen, aus deren Kombinationen in der vierten Phase mithilfe verschiedener Analysen *Szenarien gebildet* und dokumentiert werden (Gausemeier, Fink et al. 1995, S. 102). Die Auswirkungen dieser Szenarien auf das Ergebnis werden in der letzten Phase des *Szenario-Transfers* ermittelt (Gausemeier, Fink et al. 1995, S. 102).

Damit dient die Szenarioanalyse der Sicherstellung eines zukunftsrobusten Ergebnisses (Gausemeier, Fink et al. 1995, S. 102).

Stochastische Optimierung

Sind für die Unsicherheiten Wahrscheinlichkeitsverteilungen bekannt, kann die stochastische Optimierung eingesetzt werden (Stephan 2010, S. 18). Dabei handelt es sich um eine Teildisziplin der mathematischen Optimierung, deren Optimierungsmodelle wiederum in zwei wesentliche Klassen eingeteilt werden können (Stephan 2010, S. 18).

Stochastische Modelle mit probabilistischen Nebenbedingungen integrieren die Unsicherheit direkt in die Restriktionen des mathematischen Optimierungsmodells, so dass die jeweiligen Nebenbedingungen nur mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit erfüllt werden müssen (Kall und Wallace 1994, S. 41ff). Daher besteht für eine Lösung nicht mehr der Anspruch, dass diese für alle Restriktionen in allen Szenarien zulässig ist (Koberstein 2014). Stattdessen dürfen Nebenbedingungen in einem Teil der Szenarien verletzt werden (Koberstein 2014). Die Klasse des entwickelten Optimierungsmodells entscheidet, ob eine effiziente Lösung des Problems möglich ist (Koberstein 2014). Meist sind diese Modelle jedoch schwer lösbar (Koberstein 2014).

Zwei- und mehrstufige stochastische Modelle mit Kompensation bauen auf eine zeitpunktbezogene mehrstufige Vorgehensweise. Entscheidungen der ersten Stufe werden zu Beginn des Planungszeitraums, wenn noch alle Unsicherheiten bestehen, getroffen und fixiert (Koberstein 2014). Weitere reaktive Entscheidungen werden nach dem Bekanntwerden von zuvor unsicheren Werten getroffen (Stephan 2010, S. 18). „Zweistufige lineare stochastische Programme können für eine diskrete Menge von Szenarien in vielen Fällen effizient gelöst werden“, während „mehrstufige-, ganzzahlige und nicht-lineare stochastische Programme [...] oft nicht oder nur unter hohem Aufwand [...] für praktisch relevante Problemgrößen lösbar“ sind (Koberstein 2014).

Zwischenfazit

Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der Optimierung. Daher wird für die Untersuchung von Unsicherheiten die einfachste und aufwandsärmste Methode der Sensitivitätsanalyse eingesetzt. Mithilfe dieser kann anhand von nach Dateneingabe variierenden Optimierungsläufen die Qualität des Optimierungsergebnisses überprüft werden.

5. Reflexion bestehender Ansätze

Das Kapitel der Reflexion beinhaltet die Analyse und Bewertung bestehender Ansätze. Diese basiert auf den in den vorangegangenen Kapiteln identifizierten Anforderungen, die zunächst konsolidiert werden. Nach Beschreibung und Analyse der Ansätze folgt deren Bewertung auf Grundlage der konsolidierten Anforderungen.

5.1. Anforderungen an Ansätze zur Wertschöpfungsverteilung nach quantitativen und qualitativen Kriterien

Die Anforderungen an eine Modellierung zur Optimierung der Wertschöpfungsverteilung nach quantitativen und qualitativen Kriterien in Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung wurden jeweils in den vorangegangenen Kapiteln identifiziert. In Kapitel 2 ergaben sich aus der Eingrenzung der Aufgabenstellung der Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung sowohl Anforderungen an das Ergebnis als auch Anforderungen hinsichtlich des Gestaltungsbereichs (vgl. Kapitel 2.4). Die mit der Verfolgung des Paradigmas eines sozio-technischen Systems verbundene Integration von quantitativen und qualitativen Kriterien führte zu weiteren Anforderungen. So ließen sich in Kapitel 3 aus der Definition des Betrachtungsbereichs der Gestaltungskriterien in Kapitel 3.3 zusätzliche Anforderungen an den Gestaltungs- und Betrachtungsbereich der Methode ableiten. Des Weiteren wurden in Kapitel 4 aus der Konkretisierung der Optimierung nach sowohl quantitativen als auch qualitativen Kriterien Anforderungen hinsichtlich der Methode ersichtlich (vgl. Kapitel 4.2). Zusammenfassend werden die ermittelten Anforderungen an Ansätze zur Optimierung der Wertschöpfungsverteilung nach quantitativen und qualitativen Kriterien in Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung in Abbildung 5.1 dargestellt.

Anforderungen an eine Optimierung zur Wertschöpfungsverteilung nach quantitativen und qualitativen Kriterien in Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung		
... hinsichtlich des Ergebnisses <ul style="list-style-type: none"> – Strategische Gestaltung eines Netzwerks – Zuordnung von Prozessen zu Standorten – Langfristige Kapazitätsallokation zu den Standorten – Markt- und Beschaffungsallokation auf aggregierter Ebene 		
... hinsichtlich des Gestaltungs- und Betrachtungsbereichs <p>Wertschöpfung in Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung</p> <ul style="list-style-type: none"> – Stabiles intraorganisationales Netzwerk – Dynamisches interorganisationales Netzwerk – Umfassende interorganisationale Beziehungen – Umfassendes Verständnis von Wertschöpfung – Internationalität – Serien- und Sortenfertigung der diskreten Fertigung 	Quantitative und qualitative Kriterien <ul style="list-style-type: none"> – Quantitative und qualitative Zielkriterien – Trennung von Kriterien mit positiver Wirkung und Kriterien mit negativer Wirkung – Umfassendes Verständnis von Gestaltungskriterien – Flexible Berücksichtigung von Kriterien – Strategien der Unternehmen sowie Entscheider 	... hinsichtlich der Methode <p>Optimierung</p> <ul style="list-style-type: none"> – Mehrere Zielgrößen – Zu minimierende und zu maximierende Ziele – Integrierte und synchrone Optimierung – Normierter Vergleich von Zielwerten – Flexibilität ggü. Strategien – Angemessenes Know-how und Aufwand des Entscheiders – Integrierte und synchrone Berücksichtigung des Gestaltungs- und Betrachtungsbereichs – Angemessener Aufwand der Methode – Stabiles Optimum

Abbildung 5.1.: Anforderungen an eine Optimierung der Wertschöpfungsverteilung nach quantitativen und qualitativen Kriterien in Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung

5.2. Ansätze zur Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken nach quantitativen und qualitativen Kriterien

Im Folgenden werden ausgewählte Ansätze vorgestellt, die in einem gewissen Maß den Gestaltungsbereich abdecken und sowohl quantitative als auch qualitative Kriterien thematisieren. Darunter fallen unter anderem die in Kapitel 3.4 im Kontext der Gestaltungskriterien aufgeführten Arbeiten. Diese werden erneut aufgegriffen und über die verwendeten Kriterien hinaus hinsichtlich des Ergebnisses, des Gestaltungs- und Betrachtungsbereichs sowie der Lösungsmethode analysiert. Hinsichtlich der zentralen Lösungsmethode wurden im Allgemeinen bei der Auswahl relevanter Ansätze keine Einschränkungen vorgenommen, da – wie aus den Literaturübersichten von Moser (2014, S. 46), Ude (2010, S. 54) und Kohler (2008, S. 75f) zu entnehmen ist – sich lediglich vereinzelt mathematische Optimierungsmodelle im definierten Gestaltungs- und Betrachtungsbereich finden. Daher gliedert sich das vorliegende Kapitel in Bewertungsansätze und Vorgehensmodelle, multikriterielle Entscheidungsverfahren und Optimierungsmethoden sowie multikriterielle Optimierungsmodelle.

5.2.1. Vorgehensmodelle und Bewertungsansätze

Benchmarkbasierte Netzwerkoptimierung nach Ebensperger

Die benchmarkbasierte Netzwerkoptimierung hat die Steigerung der „strategischen Effektivität“ durch die Optimierung der Strukturen auf Netzwerkebene zum Ziel (Ebensperger und Vogel 2012, S. 1). Dies beinhaltet die Entscheidungen über interne Strukturen, Prozesse und Standorte (Ebensperger und Vogel 2012, S. 1). Damit umfasst der Gestaltungsbereich lediglich die eigenen Produktionsstandorte (Ebensperger und Vogel 2012, S. 1). Wertschöpfung hingegen beinhaltet die Prozesse von der Beschaffung bis zur Distribution (vgl. Ebensperger und Vogel (2012, S. 1)). Da sich die Anwendung in der Pharmaindustrie (Ebensperger und Vogel 2012, S. 1) auf die Prozessschritte Formulation und Verpackung beschränkt, konkretisiert Ebensperger weder die Integration der Beschaffung noch der Logistik in seinem Ansatz. Zielkriterien stellen qualitative Bewertungskriterien, Risiken sowie finanzielle Business Cases dar¹ (Ebensperger und Vogel 2012, S. 1f), die je Anwendungsfall anpassbar sind.

Kern der Methode stellen sowohl Vergleiche zwischen potenziellen internen Netzwerkszenarien als auch externe Vergleiche zur Identifizierung von Verbesserungspotenzialen dar (Ebensperger und Vogel 2012, S. 1). Bei Ersterem bildet ein sogenannter Base Case eine Vergleichsbasis (Ebensperger und Vogel 2012, S. 2), mit der alle anderen zur Auswahl stehenden Szenarien verglichen werden. Der Vergleich basiert auf einer transparenten Zusammenstellung monetärer und qualitativer Bewertungen sowie der Risiken je Szenario (vgl. Ebensperger und Vogel (2012, S. 2)). Dabei bleibt die Bewertung getrennt in die drei Teilbereiche der Kosten eines Business Cases, die qualitative Bewertung innerhalb eines Benchmarks sowie die Risikoanalyse. Die Auswahl des geeignetsten Szenarios erfolgt über den visuellen Vergleich der Szenarienebewertungen.

Produktionsstufen- und Logistikgestaltung nach Nyhuis

Die Produktionsstufen- und Logistikgestaltung ist Teil einer Methode zur Gestaltung eines „Globalen Varianten Produktionssystems“ (Nyhuis und Drochelmann 2008, S. 22), die für die Herstellung technologisch anspruchsvoller Produkte in variabler Stückzahl mit hoher Variantenvielfalt bei kleinen und mittleren Unternehmen entwickelt worden ist (Nyhuis und Drochelmann 2008, S. 20). Das Modul der Produktionsstufen- und Logistikgestaltung stellt eine „Vorgehensweise zur Gestaltung eines globalisierungs- und variantengerechten Produktionsnetzwerkes“ dar (Nyhuis und Drochelmann 2008, S. 124). Diese beinhaltet die Identifikation von Produktionsstufen als Beschaffungsstufe, kompetenzgetriebene Eigenfertigungsstufe oder als marktnahe Komplettierungsstufe sowie die Zuordnung dieser Produktionsstufen zu konkreten Standorten (Nyhuis und Drochelmann 2008, S. 141). Der Gestaltungsbereich besteht damit aus eigenen Standorten und Prozessen sowie aus Lieferanten und Markteinflüssen (Nyhuis und Drochelmann 2008, S. 126). Die Wertschöpfung fokussiert stark auf die Produktion einschließlich

¹Eine detaillierte Auflistung der Kriterien wurde bereits in 3.4 zusammengestellt (vgl. Tabelle 3.5 auf Seite 47)

des Material- und Informationsflusses (Nyhuis und Drochelmann 2008, S. 124). Somit liegen Handling-, Logistik-, Transaktions-, Transport-, Bestands-, Qualitäts- sowie Steuerungs- und Systemkosten im Gestaltungsumfang (Nyhuis und Drochelmann 2008, S. 130).

Die Zielkriterien für die Bewertung von Soll-Konzepten beziehen sich auf die Robustheit gegenüber den zukünftigen Veränderungen (Nyhuis und Drochelmann 2008, S. 126, 150). Bewertungsgrößen zur Entwicklung von Soll-Szenarien stellen Kosten eines Total-Cost-of-Ownership-Ansatzes², Durchlaufzeit, die Synchronisation zwischen Beschaffungs-, Produktions- und Logistikprozessen, Produktdaten, die Unternehmensstrategie, Markteinflüsse sowie Standortbewertungen je Produkt, Markt und Produktionsstandort nach Kinkel³ für vorhandene und zukünftige Standorte (Nyhuis und Drochelmann 2008, S. 126, 139) dar. In der Regel sind die konkreten Kriterien individuell wählbar (Nyhuis und Drochelmann 2008, S. 139). Unternehmensstrategien werden flexibel berücksichtigt (Nyhuis und Drochelmann 2008, S. 35).

Nyhuis Vorgehensweise besteht aus den fünf aufeinanderfolgenden Bausteinen Ist-Aufnahme, Entwicklung von Zukunftsszenarien für aufgenommene Inputdaten abhängig von äußeren Einflüssen, Potenzialfeldanalyse, Gestaltung von Soll-Konzepten und Bewertung der Soll-Konzepte (Nyhuis und Drochelmann 2008, S. 124f). Dabei läuft die Gestaltung von Soll-Konzepten wie folgt ab: Zunächst werden Produktionsstufen nach dem Prinzip „Production follows Product“ gebildet (Nyhuis und Drochelmann 2008, S. 140). Diese autonomen Fertigungsprozesse werden mit gleichartigen zusammengefasst und den drei charakteristischen Produktionsstufen Beschaffung, kompetenzgetriebene Eigenfertigung sowie marktnahe Komplettierung zugeordnet (Nyhuis und Drochelmann 2008, S. 141f). Die so gebildeten Produktionsstufen werden anschließend mithilfe von Leitlinien der effizienten Produktion⁴ sowie unter Berücksichtigung von Logistikanforderungen⁵ zu einem Netzwerk verknüpft (Nyhuis und Drochelmann 2008, S. 140).

Gestaltung globaler Produktionsstrategien nach A.T. Kearney

Ziel des Ansatzes von A.T. Kearney stellt ein „nachhaltig wettbewerbsfähiges Produktionsnetzwerk“ durch eine richtige strategische Aufstellung dar (Schmidt 2011, S. 71, 82). Dies wird durch eine entsprechende unternehmensinterne Verteilung von Prozessen zu Standorten (Schmidt 2011, S. 78) unter Berücksichtigung von Markt- und Kundenanforderungen sowie der Verfügbarkeit und Leistungsfähigkeit von Beschaffungsmärkten erreicht (Schmidt 2011, S. 71), (Schmidt 2011, S. 75). Dabei werden Kapazitäten ausschließlich im Zusammenhang mit minimalen Volumen, das gebündelt werden muss, um Skaleneffekte zu erzielen, einbezogen (Schmidt 2011, S. 79). Im Gestaltungsbereich liegen Standorte, Kunden und Beschaffungsmärkte. Wertschöpfung umfasst die Produktionsprozesse, deren vorgelagerte Bereiche ausgegrenzt werden.

²vgl. Nyhuis und Drochelmann (2008, S. 129-131)

³vgl. Kinkel (2009)

⁴vgl. Nyhuis und Drochelmann (2008, S. 143-145)

⁵vgl. Nyhuis und Drochelmann (2008, S. 146f)

Einzigste Ausnahme stellt die Berücksichtigung der Nähe bzw. Entfernung zu Forschung und Entwicklung dar.

Zielkriterien für eine Bewertung von Szenarien sind individuell wählbare wirtschaftliche Effekte rein quantitativer Art (Schmidt 2011, S. 81). Unternehmensspezifisch definierte Gestaltungsrichtlinien sowie qualitative Kriterien aus den Bereichen Marktkomplexität und Produktreife, „Kritische-Massen“-Technologien und Skaleneffekte, globale Zuliefermärkte sowie makroökonomische Rahmenbedingungen kommen bei der Entwicklung von Szenarien zum Einsatz (vgl. Schmidt (2011, S. 78-80) sowie Tabelle 3.7 in Abschnitt 3.4). Über diese qualitativen Aspekte können Unternehmensstrategien in einem vorgegebenen Rahmen flexibel abgebildet werden.

A.T. Kearneys Vorgehensweise gliedert sich in die vier Schritte Ermittlung der Ausgangssituation, Definition von unternehmensspezifischen Gestaltungsrichtlinien und Bewertungskriterien, Ableitung der relevanten Netzwerkszenarien sowie die Bewertung dieser (Schmidt 2011, S. 76). Als entscheidender Schritt wird die Ableitung relevanter Szenarien deklariert, in dessen mangelnder Durchführung A.T. Kearney den Grund für Fehlentscheidungen sieht (Schmidt 2011, S. 78). Daher wird dieser erneut in weitere fünf abgegrenzte Blöcke detailliert (Schmidt 2011, S. 78). Die anschließende Bewertung der entwickelten Szenarien erfolgt anhand einer Simulation (Schmidt 2011, S. 81).

Strategisches Management globaler Produktionsnetzwerke nach Friedli

Friedlis Ansatz dient dem Design und Management von globalen Produktionsnetzwerken (Friedli, Heinzen et al. 2011, S. 610f) und stellt eine Entscheidungsunterstützung für Manager zur „(Weiter-) Entwicklung“ Ihres Produktionsnetzwerks dar (Friedli, Heinzen et al. 2011, S. 610). Dies beinhaltet die „strukturelle, meist langfristige Gestaltung der Standorte und des Netzwerks“ (Friedli, Heinzen et al. 2011, S. 611). Darunter fallen die geografische Ausbreitung und Lokalisierung von Standorten inklusive der dadurch bedingten Materialflüsse sowie die Produkt-, Technologie- und Ressourcenallokation (Friedli, Heinzen et al. 2011, S. 611). Der Gestaltungsbereich umfasst sowohl das interne als auch das externe Unternehmensumfeld (Friedli, Heinzen et al. 2011, S. 611). Das Verständnis von Wertschöpfung wird nicht erläutert. Den Entscheidungs- und Gestaltungsdimensionen ist zu entnehmen, dass der Fokus auf der Produktion liegt. Klassische Zielkriterien stellen Qualität, Kosten, Liefergeschwindigkeit und -treue sowie die Flexibilität dar (Friedli, Heinzen et al. 2011, S. 611). Diese können abhängig der Unternehmensstrategie flexibel eingesetzt und um beliebige Kriterien wie beispielsweise die der Tabelle 3.6 aus Kapitel 3.4 erweitert werden (Friedli, Heinzen et al. 2011, S. 611f).

Die Analyse erfolgt anhand eines „Network Quick-Check“, der die drei Elemente „Strategie, Konfiguration und Koordination“ eines Produktionsnetzwerks beinhaltet (Friedli, Heinzen et al. 2011, S. 610). Dies ermöglicht die Definition von Optimierungsmaßnahmen (Friedli, Heinzen et al. 2011, S. 610), die die drei Ebenen aufeinander abstimmen (Friedli, Heinzen et al. 2011, S. 611). Hierzu ist die Aufnahme des Ist-Netzwerks, dessen Bewertung anhand eines Abgleichs

der Stärken und Schwächen mit der Strategie sowie das Ableiten und Bewerten von Szenarien erforderlich (Friedli, Heinzen et al. 2011, S. 612). Insgesamt ist der Ansatz in einen kontinuierlichen Optimierungsprozess integriert (Friedli, Heinzen et al. 2011, S. 611).

5.2.2. Multikriterielle Entscheidungsverfahren und Optimierungsmethoden

Konfiguration globaler Wertschöpfungsnetzwerke nach Ude

Udes Entscheidungsunterstützung dient der strategischen Anpassung des Netzwerks (Ude 2010, S. 55). Dabei werden sowohl Prozesse als auch Kapazitäten und Märkte Standorten zugeordnet (Ude 2010, S. 8f). Der Gestaltungsbereich umfasst unternehmensinterne Produktionsstandorte, externe Partnern, Zulieferer und Märkte (Ude 2010, S. 55). Im Fokus der Wertschöpfung stehen ausschließlich Produktionsschritte von der Fertigung über die Montage und Endbearbeitung bis zur Fertigstellung inklusive des Versands (Ude 2010, S. 8). Dabei werden neben den Produktionskosten Logistik, Overhead, Material und Transport berücksichtigt (Ude 2010, S. 66f). Zielkriterien sind Produktionskosten, Durchlauf- und Bearbeitungszeiten, CO₂-Emission (Ude 2010, S. 61) sowie für eine weiterführende multikriterielle Bewertung Kriterien in den Kategorien Kosten, Zeiten, Lieferperformance, Flexibilität und Qualität (Ude 2010, S. 102, XXXIIf). Insgesamt kann dieses mehrdimensionale Zielsystem flexibel angepasst werden (Ude 2010, S. XXXII) und somit verschiedene Strategien flexibel abbilden (Ude 2010, S. 135).

Das mehrstufige Verfahren umfasst die Zielplanung, das Ableiten von Netzwerkalternativen, die Simulation der Alternativen sowie ein Entscheidungsverfahren mit Mehrziel-Unterstützung zur Auswahl der am besten geeigneten Alternative (Ude 2010, S. 4f). In der Regel ist der Entscheider intensiv in die Zielplanung sowie die Entwicklung von Alternativen eingebunden (Ude 2010, S. 134ff). Kernelement der Arbeit stellt die Bewertung von global verteilten Wertschöpfungsnetzwerken dar, die sich in die Simulation und ein multikriterielles Entscheidungsverfahren aufteilt (Ude 2010, S. 4). Ude wählt als multikriterielles Entscheidungsverfahren PROMETHEE I und II aus der Klasse des Multiple Attribute Decision Making (MADM) (vgl. Kapitel 4.5), die alle Szenarien in eine Reihenfolge bringen (Hanne 1998, S. 25).

A multi-criteria evaluation of centralized and decentralized production networks nach Mourtzis

Mourtzis befasst sich mit der Bewertung und szenarienbasierten Verbesserung von Produktionsnetzwerken in der Automobilindustrie (Mourtzis, Doukas et al. 2012, S. 427). Im Gestaltungsbereich liegen die Lieferanten, die Werke der Erstausrichter (OEM) sowie die Absatzmärkte in Form von Händlern (Mourtzis, Doukas et al. 2012, S. 428). Das Verständnis von Wertschöpfung umfasst lediglich die Produktion, ergänzt um den Transport. Zielkriterien stellen die Durchlaufzeit, die Produktionskosten, der Umwelteinfluss von Transporten, die Flexibilität

sowie das Jahresproduktionsvolumen dar (Mourtzis, Doukas et al. 2012, S. 427). Die ersten drei Kriterien dienen in normierter Form einer Nutzwertanalyse von Szenarien innerhalb eines Suchalgorithmus. Darüber vorausgewählte Szenarien werden simuliert, um die Flexibilität und das Jahresproduktionsvolumen zu bestimmen (Mourtzis, Doukas et al. 2012, S. 428f).

Strategic Supply Chain Management nach Hübner

Hübner ermittelt die benötigte Anzahl an Werken inklusive deren bestmögliche Standorte, Kapazitäten und Technologien (Hübner 2007, S. 43). Der Einsatzbereich dieser strategischen Netzwerkplanung liegt in der Prozessindustrie (Hübner 2007, S. 44). Der Gestaltungsbereich umfasst lediglich die Produktionswerke sowie Märkte (Hübner 2007, S. 43). Die Wertschöpfung beinhaltet die Material- und Personalbeschaffung, die Produktion und Lagerung, den Transport, die Fixkosten und Investitionen sowie das Marketing und den Vertrieb (Hübner 2007, S. 96ff). Das Zielkriterium der Optimierung stellt der Kapitalwert dar (Hübner 2007, S. 95). Qualitative Kriterien kommen bei der Bewertung von Szenarien sowie bei der Standortwahl zum Einsatz (Hübner 2007, S. 37, 155).

Insgesamt besteht die Methode aus zwei Phasen. In der ersten Phase erfolgt die kostenbasierte Netzwerkoptimierung, die zunächst die Länder der Werke mit deren Kapazitäten und Technologien festlegt (Hübner 2007, S. 44f). Dabei werden durch Veränderungen der Input-Parameter verschiedene Szenarien erzeugt, die jeweils mithilfe von Sensitivitäts- und Risikoanalysen bewertet werden (Hübner 2007, S. 44f). Basierend auf diesen voneinander losgelösten Bewertungen fällt der Entscheider des anwendenden Unternehmens die Entscheidung für ein Szenario (Hübner 2007, S. 45). Das ausgewählte Szenario bildet die Basis der zweiten Phase. Diese dient der Ermittlung der konkreten Standorte innerhalb der ermittelten Länder anhand eines analytischen Hierarchieprozesses (Hübner 2007, S. 37, 153) aus der Klasse des Multiple Attribute Decision Making (MADM) (vgl. Kapitel 4.5).

Design of Global Supply Chain Network with Operational Risks nach Singh

Singhs Ansatz dient der strategischen Gestaltung von Supply Chains hinsichtlich der Standortwahl sowie der Kapazitäten (Singh, Mishra et al. 2012, S. 273). Dabei wird lediglich ein Produktionsschritt sowie eine Periode berücksichtigt (Singh, Mishra et al. 2012, S. 276f). Der Gestaltungsbereich beinhaltet Lieferanten, Produktionsstandorte sowie Märkte (Singh, Mishra et al. 2012, S. 276f). Die Wertschöpfung umfasst Beschaffung, Produktion und Absatz, ergänzt um Fix- und Transportkosten (Singh, Mishra et al. 2012, S. 277ff). Ziel ist die Minimierung der Kosten sowie Risiken. Über die Modellierung der Risiken in Form von Kosten (Singh, Mishra et al. 2012, S. 277ff) entsteht ein monokriterielles Optimierungsmodell (Singh, Mishra et al. 2012, S. 283). Dieses wird eingesetzt, um mit dem Entscheider erarbeitete Szenarien zu optimieren und untereinander zu vergleichen (Singh, Mishra et al. 2012, S. 385).

5.2.3. Multikriterielle Optimierungsmodelle

Global Supply Chain Design nach Kohler

Das Global Supply Chain Design nach Kohler führt zu strategischen Entscheidungen über Beschaffungsmöglichkeiten, Produktionsstandorte sowie Absatzmärkte der unternehmensinternen Wertschöpfung (Kohler 2008, S. 2). Dabei umfasst die Zuordnung von Prozessen zu Standorten Entscheidungen über Kapazitäten (Kohler 2008, S. 3). Im Fokus des Gestaltungsbereichs steht das Unternehmen unter Einbezug seiner Lieferanten und Absatzmärkte (Kohler 2008, S. 2). Zum Wertschöpfungsprozess gehören für Kohler alle Funktionsbereiche der Beschaffung, der Produktion sowie des Absatzes (Kohler 2008, S. 3). Optimierte wird nach zwei Zielgrößen – den Kosten und der Durchlaufzeit (Kohler 2008, S. 4). Darüber hinaus finden internationale Aspekte Berücksichtigung (Kohler 2008, S. 4).

Methodisch bringt Kohler ein mathematisches Optimierungsmodell zum Einsatz (Kohler 2008, S. 4). Die bikriterielle Optimierung erfolgt anhand der ϵ -Methode von Haimes⁶ (Kohler 2008, S. 159). Durch Fixieren des Werts einer der beiden Zielgrößen in den Nebenbedingungen entsteht eine Einziel-Optimierung. Durch das mehrmalige Wiederholen der Einziel-Optimierung mit schrittweiser Senkung des fixierten Werts, erhält man verschiedene Lösungen je nach fixiertem Wert (Kohler 2008, S. 159). Eine Methode zur Auswahl der optimalen Lösung wird nicht vorgestellt.

Strategische Planung globaler Produktionsnetzwerke nach Moser

Im Fokus des Ansatzes von Moser steht die Bestimmung des strategischen Wandlungsbedarfs und -zeitpunkts eines globalen Produktionsnetzwerks aufgrund von Megatrends, die auf das Unternehmen wirken (Moser 2014, S. 4). Dabei werden Prozessschritte mit ihren Kapazitäten über mehrere Zeitpunkte den Standorten zugeordnet (Moser 2014, S. 4). Zudem werden die Transporte aus dem bzw. ins Netzwerk bestimmt (Moser 2014, S. 57). Somit umfasst der Gestaltungsbereich neben den Standorten sowohl Kunden als auch Lieferanten (Moser 2014, S. 48). Das Verständnis von Wertschöpfung führt zur Berücksichtigung von Herstell-, Transport-, Beschaffungs-, Kapitalbindungs-, Overhead- und Implementierungskosten (Moser 2014, S. 59ff). Über die Kostenbetrachtung hinausgehend ist Wertschöpfung auf die Beschaffung und Produktion beschränkt (vgl. Moser (2014, S. 49), Moser (2014, S. 65ff)). Die Zielkriterien umfassen neben den Kosten die sechs vorgegebenen qualitativen Kriterien Lieferzeit, Qualität, Flexibilität, Koordination, Marktnähe und Standortqualifikation (Moser 2014, S. 58). Eine Gewichtung dieser ermöglicht die Berücksichtigung „unternehmensindividueller Präferenzen der Entscheider“ (Moser 2014, S. 86). Flexibilität hinsichtlich unternehmensspezifischer Ziele ist hingegen nicht gegeben. Neben den aufgeführten Zielkriterien werden indirekt weitere qualitative Auswirkungen von sogenannten Wandlungstreibern berücksichtigt (Moser 2014, S. 88).

⁶vgl. Haimes, Lasdon et al. (1971)

Der Ansatz von Moser gliedert sich in die drei Module Optimierung, Unsicherheit und Ablaufsteuerung (Moser 2014, S. 48). Im Optimierungsmodul kommt zur multikriteriellen Optimierung von Produktionsnetzwerken eine hybride skalare Methode aus Compromise Programming und ε -Methode zum Einsatz (Moser 2014, S. 49). Die unterschiedlichen Ziele gehen in Form einer Nutzenfunktion in die Zielfunktion ein und werden auf dem Intervall $[0, 1]$ normiert (Moser 2014, S. 65). Im Unsicherheitsmodul werden Szenarien von Wandlungstreibern und deren zukünftigen Entwicklungen gebildet (Moser 2014, S. 48). Durch die Trennung zwischen Optimierung und Unsicherheitsmodul gehen die Auswirkungen der qualitativen Wandlungstreiber nicht direkt in die Optimierung ein. Die Ablaufsteuerung dient der Ermittlung des Wandlungsbedarfs und -zeitpunkts (Moser 2014, S. 48).

Global Supply Chain Model nach Arntzen

Arntzen stellt ein Modell zur Entscheidungsfindung über die Supply Chain mehrerer Perioden im Spannungsfeld von Produktion und Distribution vor (Arntzen, Brown et al. 1995, S. 69, 71). Der Gestaltungsbereich umfasst das Lieferanten-, Produktions- sowie Distributionsnetzwerk (Arntzen, Brown et al. 1995, S. 74). Wertschöpfung wird als Produktion, Lagerung sowie Handling von Material verstanden, das um Fix- und Transportkosten ergänzt wird (Arntzen, Brown et al. 1995, S. 77). Als Zielkriterien stehen Kosten und Lieferzeit im Fokus (Arntzen, Brown et al. 1995, S. 69). Weitere Kriterien wie Zölle, Local Content und Offset Trade treten lediglich in Form von Nebenbedingungen auf (Arntzen, Brown et al. 1995, S. 71, 75). Das derart formulierte multikriterielle gemischt-ganzzahlige lineare Optimierungsmodell (Arntzen, Brown et al. 1995, S. 69) wird über die Methode der gewichteten Summe (Arntzen, Brown et al. 1995, S. 77) in ein monokriterielles Modell transformiert und gelöst.

Multiobjective Supply Chain Design nach Guillén

Guillén ermittelt die optimale Anzahl sowie Kapazitäten von sowohl existierenden als auch potenziellen Produktionsstandorten (Guillén, Mele et al. 2005, S. 1537) für einen Produktionsschritt über mehrere Zeitintervalle (Guillén, Mele et al. 2005, S. 1535). Innerhalb des Gestaltungsbereichs liegen die Produktionsstätten mit den Lägern sowie die Absatzmärkte mit dem dazugehörigen Distributionssystem (Guillén, Mele et al. 2005, S. 1535). Dementsprechend umfasst die Wertschöpfung die Produktion inklusive Lagerhaltung und Handling, die Distribution inklusive Transport sowie Investitionen (Guillén, Mele et al. 2005, S. 1539). Die Zielfunktionen beinhalten den Kapitalwert, die Kundenzufriedenheit sowie das finanzielle Risiko (Guillén, Mele et al. 2005, S. 1536), die gemäß den Präferenzen des Entscheiders berücksichtigt werden (Guillén, Mele et al. 2005, S. 1536). Über den Einsatz der ε -Constraint-Methode ergibt sich ein monokriterielles Optimierungsmodell (Guillén, Mele et al. 2005, S. 1541), das in kürzester Zeit gelöst werden kann. Aufgrund der zahlreich zu wiederholenden Lösungsermittlung gemäß

der ε -Constraint-Methode sowie des mehrstufigen Verfahrens von deterministischer und stochastischer Optimierung addiert sich die Laufzeit zu einem sehr großen Aufwand auf, bis das Endergebnis ermittelt ist. Zur finalen Entscheidungsfindung wird das Know-how des Entscheiders benötigt (Guillèn, Mele et al. 2005, S. 1537).

A Multi-criteria Optimization Model for Planning of A Supply Chain Network nach Chen

Chens Modell dient der Planung einer Supply Chain von der Produktion bis zum Absatz über mehrere Perioden (Chen, Yuan et al. 2006, S. 2075). Dabei agiert Chen unter der Annahme, dass jedes Produkt vollständig an einem Standort hergestellt wird und daher während seines Herstellungsprozesses nicht den Standort wechselt (Chen, Yuan et al. 2006, S. 2077). Vielmehr fokussiert der Gestaltungsbereich neben den Produktionsstätten und Absatzmärkten auf Lager und Distributionszentren (Chen, Yuan et al. 2006, S. 2075). Die Wertschöpfung umfasst die Produktion, das Handling, die Infrastruktur sowie den Transport (Chen, Yuan et al. 2006, S. 2076). Zielkriterien stellen die Gesamtkosten, die Robustheit der Entscheidung, lokale Anreize sowie die Transportzeit dar (Chen, Yuan et al. 2006, S. 2075) und münden in einem multikriteriellen gemischt-ganzzahligen linearen Optimierungsmodell (Chen, Yuan et al. 2006, S. 2075). Dieses wird in zwei Phasen gelöst. Phase 1 dient der Minimierung der Kosten, bei der gleichzeitig die Werte der anderen Zielgrößen ermittelt werden. Diese werden in Phase 2 verbessert (Chen, Yuan et al. 2006, S. 2078).

Heuristische Algorithmen für die multikriterielle Optimierung von Produktionsnetzwerken nach Altiparmak, Dzupire, Mastrocinque oder Sadrnia

Die Ansätze von Altiparmak, Dzupire, Mastrocinque und Sadrnia zielen auf die strategische Planung von Supply Chains, die Kapazitäten beinhaltet. Außer bei Mastrocinque ist in allen Ansätzen lediglich eine Produktionsstufe berücksichtigt (Mastrocinque, Yuce et al. 2013, S. 5). Den Gestaltungsbereich bilden Lieferanten, Produktionsstandorte, Distributionszentren und Kunden (Altiparmak, Gen et al. 2006, S. 199), (Dzupire und Nkansah-Gyekye 2014, S. 20), (Mastrocinque, Yuce et al. 2013, S. 1), (Sadrnia, Ismail et al. 2013, S. 4). Wertschöpfung versteht jeder Autor unterschiedlich. Altiparmak, Dzupire und Sadrnia arbeiten jeweils mit Fix- und Transportkosten – individuell ergänzt um die Beschaffung (Altiparmak, Gen et al. 2006, S. 199f), die Lagerung (Dzupire und Nkansah-Gyekye 2014, S. 21) oder die Produktion (Sadrnia, Ismail et al. 2013, S. 4). Mastrocinque fokussiert lediglich auf die Produktion (Mastrocinque, Yuce et al. 2013, S. 5). Als Zielkriterien gelten Kosten, Servicegrad und Kapazitätsauslastung (Altiparmak, Gen et al. 2006, S. 199), Kosten und Lieferverspätungen (Dzupire und Nkansah-Gyekye 2014, S. 18), Kosten und Durchlaufzeit (Mastrocinque, Yuce et al. 2013, S. 1) sowie Gesamtkosten und CO₂-Emmission (Sadrnia, Ismail et al. 2013, S. 1), die in allen

Ansätzen zu einem multikriteriellen Optimierungsmodell führen. Dies wird jeweils ohne Transformation über einen Algorithmus gelöst. Altiparmak und Dzupire setzen jeweils einen genetischen Algorithmus ein (Altiparmak, Gen et al. 2006, S. 201ff), (Dzupire und Nkansah-Gyekye 2014, S. 18), während Mastrocinque und Sadrnia auf die Schwarmintelligenz setzen. Mastrocinque entwickelt einen schwarm-basierten Bienen-Algorithmus (Mastrocinque, Yuce et al. 2013, S. 1), Sadrnia einen Suchalgorithmus mit Schwarmintelligenz (Sadrnia, Ismail et al. 2013, S. 1).

5.3. Defizitbewertung und Fazit

Bei den Erläuterungen der bestehenden Ansätze im Abschnitt 5.2 wurde auf die Ergebnisse, den Gestaltungsbereich, den Betrachtungsbereich der Kriterien sowie auf die Methode des jeweiligen Ansatzes eingegangen. Eine Bewertung dieser anhand der in Kapitel 5.1 definierten Anforderungen führt zu der in Abbildung 5.2 dargestellten Übersicht an Defiziten der jeweiligen Ansätze.

Hieraus werden Defizite im Gestaltungsbereich der Ansätze insbesondere bei der Berücksichtigung von interorganisationalen Beziehungen sowie beim Verständnis der Wertschöpfung ersichtlich. Das interorganisationale Umfeld bezieht sich in allen Ansätzen allenfalls auf die Beschaffung von Material und den Absatz. Maschinenbauer sowie Dienstleister z. B. im Bereich der Entwicklung oder in der Logistik werden in allen Ansätzen vernachlässigt. Auch die Wettbewerber gehören selten zum Umfang des Betrachtungsbereichs. Ebenso bezieht sich keiner der bestehenden Ansätze auf eine umfassende Definition von Wertschöpfung. Im Fokus steht die Fertigung. Beschaffung und Distribution werden teilweise berücksichtigt, während vorgelagerte Bereiche oder die Intralogistik in fast allen Ansätzen vernachlässigt werden.

Da der Betrachtungsbereich der Gestaltungskriterien im Sinne des sozio-technischen Paradigmas als entscheidend angesehen wird, wurde dieser bereits ausführlich in Kapitel 3 thematisiert. Die in Kapitel 3.6 zusammengefassten Defizite spiegeln sich auch in der Gesamtübersicht der Abbildung 5.2 wider. Keiner der Ansätze nimmt eine umfassende Berücksichtigung von sowohl quantitativen als auch qualitativen Kriterien vor. Eine Unterscheidung in Kriterien mit positiver Wirkung und Kriterien mit negativer Wirkung wird ausschließlich bei Ebensperger vorgenommen. Im Bereich der Optimierungsmodelle hat dies zur Folge, dass der flexible Einsatz von unternehmensindividuellen Kriterien nicht möglich ist.

Dies gilt analog für die Flexibilität gegenüber Strategien der Unternehmen und Entscheider. In den meisten Ansätzen können zwar vorgegebene Ziele gewichtet werden, allerdings ist keine Optimierungsmethode der bestehenden Ansätze darauf ausgerichtet, die Ziele an die jeweilige individuelle Strategie anzupassen. Im Bereich der Vorgehensmodelle und Bewertungsansätze verhindert das stufenweise Ableiten, Bewerten und Vergleichen von Szenarien weitestgehend sowohl eine integrierte und synchrone Optimierung als auch eine integrierte und synchrone Berücksichtigung des Gestaltungs- und Betrachtungsbereichs. Zudem wird in allen Ansätzen

Kategorie	Anforderungen	Vorgehensmodelle/ Bewertungsansätze				Multikriterielle Ent- scheidungsverfahren				Multikriterielle Optimierungsmodelle						
		AT Kearney Ebens- perger	Friedli	Nyhuis	Hübner	Mourtzis	Singh	Ude	Arntzen	Chen	Guillén	Kohler	Moser	Heu- ristiken	eigener Ansatz	
Ergebnis	Strategische Gestaltung eines Netzwerks	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Zuordnung von Prozessen zu Standorten	●	●	●	●	●	○	●	●	○	○	●	●	○	●	
	Langfristige Kapazitätsallokation zu den Standorten	○	○	○	○	●	●	○	●	●	●	●	●	●	●	
	Markt- und Beschaffungsallokation auf aggregierter Ebene	●	○	○	○	○	●	●	●	○	○	○	●	●	●	
Gestaltungsbereich Produktionsnetzwerk der diskreten Fertigung	Stabiles intraorganisationales Netzwerk	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
	Dynamisches interorganisationales Netzwerk	●	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
	Umfassende interorganisationale Beziehungen	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	Umfassendes Verständnis von Wertschöpfung	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	Internationalität	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
	Serien- und Sortenfertigung der diskreten Fertigung	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
Betrachtungsbereich Kriterien	Quantitative und qualitative Zielkriterien	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
	Trennung von Kriterien mit positiver Wirkung und Kriterien mit negativer Wirkung	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	Umfassendes Verständnis von Gestaltungskriterien	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	Flexible Berücksichtigung von Kriterien	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	Strategien der Unternehmer sowie Entscheider	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
methodisch	Mehrere Zielgrößen	●	●	●	●	●	○	●	●	●	●	○	●	●	●	
	Zu minimierende und zu maximierende Ziele	●	●	●	●	●	○	●	○	●	●	●	●	○	●	
	Integrierte und synchrone Optimierung	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	Normierter Vergleich von Zielwerten	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	Flexibilität gegenüber Strategien	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	Angemessenes Know-how und Aufwand des Entscheiders	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	Integrierte und synchrone Berücksichtigung des Gestaltungs- und Betrachtungsbereichs	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	Angemessener Aufwand der Methode	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
Stabiles Optimum	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		

Abbildung 5.2.: Defizitbewertung bestehender Ansätze zur Wertschöpfungsverteilung

außer in denen von Mourtzis und Moser auf einen normierten Vergleich von Zielkriterien verzichtet. Bei Moser entsteht allerdings durch den Einsatz des Compromise Programming ein nicht-lineares Optimierungsmodell mit erhöhten Rechenzeiten. Zudem setzt Moser ein gehobenes Know-how des Entscheider hinsichtlich der Kenntnis von verschiedensten Minimal- und Maximalwerten von Zielkriterien voraus und erzeugt dadurch für diesen einen gewissen Aufwand. Eine Trennung des Ansatzes in zwei Module führt dazu, dass die Umfänge des Betrachtungsbereichs der Kriterien nur teilweise synchron berücksichtigt sind.

Insgesamt geht aus der Analyse und Bewertung hervor, dass kein geeigneter Ansatz zur Optimierung der Wertschöpfungsverteilung nach quantitativen und qualitativen Kriterien existiert. Der Bedarf an einer derartigen Methode wurde eingangs ausführlich beschrieben (vgl. Kapitel 1.1 und 1.2) und wird durch die Studie „Erfolgsfaktoren der Entwicklung und Produktion in Deutschland“ (vgl. Horváth, Zahn et al. (2007)) verdeutlicht. Darin wurde festgestellt, dass der Erfolg von Standorterweiterungen deutscher Unternehmen direkt mit dem Einsatz von unterstützenden Instrumenten zusammenhängt (Horváth, Zahn et al. 2007, S. 22). Je mehr die Anwendung von Instrumenten dem Unternehmen bedeuteten, umso größer waren die Erfolgchancen (Horváth, Zahn et al. 2007, S. 22). Gleichzeitig ist bekannt, dass zu wenige strukturierte Methoden existieren (Kinkel 2009, S. 36). Daher stellt sich die bereits in Kapitel 1.3 formulierte zentrale Forschungsfrage „Wie kann die Wertschöpfungsverteilung von Produktionsnetzwerken unter Berücksichtigung quantitativer und qualitativer Kriterien optimiert werden?“

6. Lösungsansatz und -entwicklung

Aus den in den vorangegangenen Kapiteln 1 bis 5 gelegten Grundlagen lässt sich ein Konzept für einen Lösungsansatz zur Beantwortung der zentralen Forschungsfrage „Wie kann die Wertschöpfungsverteilung von Produktionsnetzwerken unter Berücksichtigung quantitativer und qualitativer Kriterien optimiert werden?“ ableiten. Zunächst wird dieses Lösungskonzept in Abschnitt 6.1 skizziert, bevor in 6.2 die Vorgehensweise zur Entwicklung des Lösungsansatzes beschrieben wird.

6.1. Lösungsansatz

Bei der Lösungskonzeption kann auf die in den Kapiteln 2 bis 4 gelegten Grundlagen zurückgegriffen werden. Basierend auf dem in Kapitel 2 geschaffenen Verständnis eines Produktionsnetzwerks als sozio-technisches System erfolgte in Kapitel 3 die Einordnung von quantitativen und qualitativen Gestaltungskriterien in drei Kategorien. Hinsichtlich deren Modellierung und Optimierung erwiesen sich in Kapitel 4 Entscheidungsmodelle in Form mathematischer Optimierungsmodelle, deren Lösung mittels exakter Verfahren erfolgt, als am besten geeignet. Dabei ist der Einsatz von Methoden der multikriteriellen Optimierung, insbesondere des Goal Programming, erforderlich. Somit stellt die multikriterielle Optimierung das zentrale Element des Lösungsansatzes dar.

Zur Absicherung von Unsicherheiten in den Daten ergab sich ebenfalls in Kapitel 4 der Einsatz der Sensitivitätsanalyse. Diese sowie die in Kapitel 5 identifizierten Defizite bestehender Ansätze zur Optimierung der Wertschöpfungsverteilung

- einer lediglich ausschnittsweisen Betrachtung des relevanten Gestaltungsbereichs, insbesondere hinsichtlich der Netzwerkpartner sowie dem Verständnis von Wertschöpfung,
- einer nicht umfassenden und inflexiblen Berücksichtigung von Gestaltungskriterien sowie
- eines unangemessenen Aufwands und eines erweiterten Know-hows des Entscheiders verbunden mit einem ungeeigneten Methodeneinsatz für die Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien,

geben Hinweise auf notwendige Bestandteile des Lösungsansatzes, die die multikriterielle Optimierung ergänzen.

Darunter fallen:

- die umfassende und flexible Abbildung des relevanten Gestaltungs- und Betrachtungsreichs sowohl
 - hinsichtlich der Netzwerkpartner und der Wertschöpfung als auch
 - der Gestaltungskriterien sowie
- eine einfache und aufwandsarme Methode zur Anwendung der mathematischen Optimierung und der zugehörigen Sensitivitätsanalyse.

Somit ergibt sich das in Abbildung 6.1 dargestellte Konzept eines Lösungsansatzes mit den drei Elementen Abbildung der Realität, multikriterielle Optimierung und Methode zur Anwendung.

Die Abbildung der Realität umfasst alle für die Wertschöpfungsverteilung relevanten Objekte eines Produktionsnetzwerks. Darunter fallen neben Wertschöpfungsstufen, Standorten und Transport auch die Teilnehmer des Beschaffungs- bzw. Absatzmarkts. Zudem sind alle relevanten Attribute insbesondere der Gestaltungskriterien in Form von Kosten, Risiken und Erfolgspositionen berücksichtigt. Zur Strukturierung aller Informationen dient deren Visualisierung. Daraus ergibt sich die Logik des zugehörigen Datenmodells. Die Abbildung der Realität dient sowohl der Aufnahme der aktuellen Ausgangssituation im Produktionsnetzwerk als auch der Darstellung der optimierten Wertschöpfungsverteilung im Netzwerk. Gegebenenfalls kommt die Abbildung der Realität bei jedem möglichen Szenario der Sensitivitätsanalyse zum Einsatz.

Im Zentrum des Lösungsansatzes steht die multikriterielle Optimierung in Form eines mittels mathematischer Modellierung erzeugten Optimierungsmodells. Aufgrund der drei Zielkriterien Kosten, Erfolgspositionen und Risiken beinhaltet das Modell drei Zielfunktionen – Minimierung der Kosten, Maximierung der Erfolgspositionen und Minimierung der Risiken. Durch den

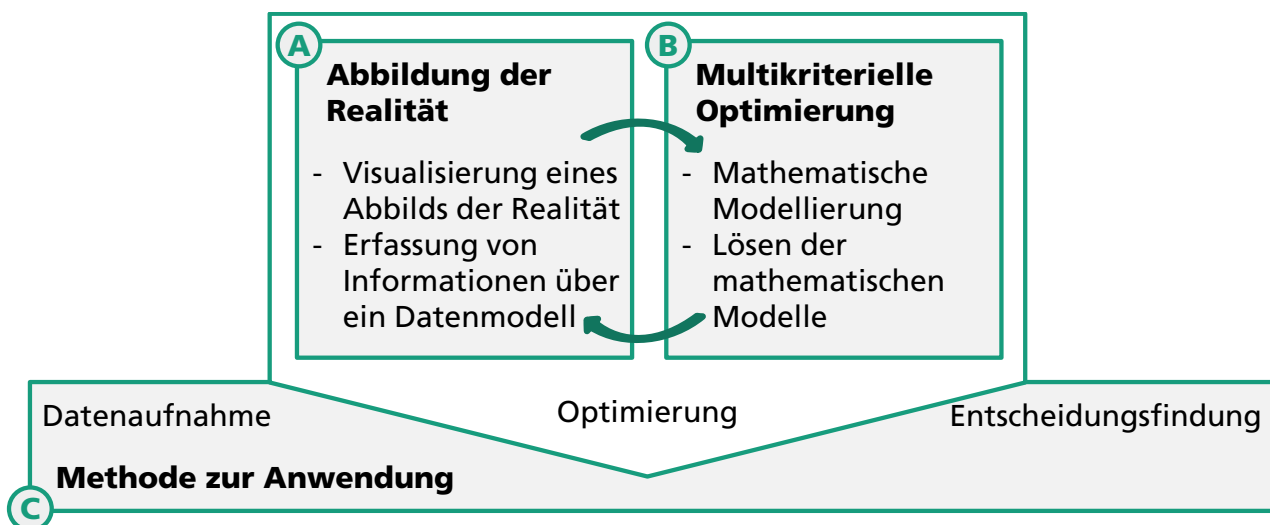


Abbildung 6.1.: Konzept des Lösungsansatzes zur Wertschöpfungsverteilung

Einsatz des Goal Programming lässt sich das multikriterielle Optimierungsmodell in monokriterielle Modelle transformieren. Restriktionen stellen beispielsweise den Materialfluss, die Berücksichtigung von Kapazität und Flexibilität sowie die Deckung der Bedarfe sicher. Insgesamt entstehen gemischt-ganzzahlige lineare Optimierungsmodelle. Deren Lösung erfolgt anhand exakter Verfahren, die bereits in kommerziellen Operations Research Solvern implementiert sind. Als Schnittstelle zu einem solchen Solver kommt eine Modellierungssprache zum Einsatz, in der das entwickelte mathematische Modell in bekannter Form eingegeben werden kann und in die Matrizen-Sprache des Solvers konvertiert wird. Diese Modellierungssprache dient zudem dem Ein- und Auslesen von Daten aus dem Datenmodell zur Abbildung der Realität. Insgesamt ermittelt die multikriterielle Optimierung aus einer aktuellen Ausgangssituation die optimale Wertschöpfungsverteilung.

Für den effizienten Einsatz der multikriteriellen Optimierung, insbesondere innerhalb einer Sensitivitätsanalyse, ist eine Methode zur Anwendung erforderlich. Diese gliedert sich in Datenaufnahme, Optimierung sowie Entscheidungsfindung.

Die Datenaufnahme umfasst:

- die Aufnahme der aktuellen Ausgangssituation im Produktionsnetzwerk in Form der Netzwerkstruktur sowie ausgewählter Gestaltungskriterien,
- die Visualisierung der Ausgangssituation inklusive bewerteter Gestaltungskriterien über mehrere Perioden,
- das Erfassen von potenziellen Netzwerkobjekten inklusive deren Daten über mehrere Perioden, die beim Betreiben des Produktionsnetzwerks anfallen – Investitionen zur Aktivierung möglicherweise zukünftiger Objekte sind im ersten Schritt der Datenaufnahme ausgenommen. Diese dürfen die grundlegende Bewertung einer Situation nicht beeinflussen, um einen gerechten Vergleich zweier Produktionsnetzwerke im laufenden Betrieb sicherzustellen. Ob sich die Realisierung des ermittelten optimalen Produktionsnetzwerks lohnt, wird zu einem späteren Zeitpunkt in der Entscheidungsfindung untersucht,
- die Aufnahme von Rahmenbedingungen für die Optimierung wie beispielsweise Kapazität oder Flexibilität sowie das Festlegen der Kriteriengewichtung sowie
- die Definition verschiedener Eingabeszenarien, die die Unsicherheiten in den Zukunftsdaten sowie qualitativen Daten abbilden.

Zur Ermittlung des Optimierungsergebnisses sind folgende Schritte erforderlich:

- Aufbereitung der Daten für die Optimierung
- Durchführung von Optimierungsläufen
- Aufbereitung des Optimierungsergebnisses

Der abschließende Schritt der Entscheidungsfindung erfolgt über folgende Tätigkeiten:

- Ermittlung der Investitionskosten zur Realisierung der optimierten Wertschöpfungsverteilung
- Durchführung von Sensitivitätsanalysen und Vergleich der Ergebnisse der in der Datenaufnahme gebildeten Eingabeszenarien
- Erstellung von Entscheidungsvorlagen

Übersteigen die Investitionskosten das zur Verfügung stehende Budget oder ergibt sich durch die Einflüsse von veränderten Daten auf die Lösung weiterer Untersuchungsbedarf, wird der Gesamtprozess von der Datenaufnahme an wiederholt. Kostspielige oder unsichere Objekte in der bisherigen Lösung können über Parameter ausgeschlossen, eingeschränkt bzw. angepasst werden. Auf dieser Basis wird erneut die Optimallösung erzeugt und hinsichtlich Investitionskosten und Sensitivität bewertet. Dieser Prozess wird solange durchlaufen, bis die Investitionskosten sowie Einflüsse unsicherer Daten innerhalb eines vorgegebenen Rahmens liegen.

6.2. Vorgehen bei der Entwicklung

Im Grundsatz erfolgt die Entwicklung anhand des in Kapitel 1.4 beschriebenen iterativen Forschungsvorgehens. Es gilt, die Spezifizierung und Überarbeitung des heuristischen Bezugsrahmens mithilfe von Fragen an die Realität voranzubringen.

Diese Fragen an die Realität strukturieren sich, wie in Abbildung 6.2 dargestellt, entlang der Forschungsfragen.

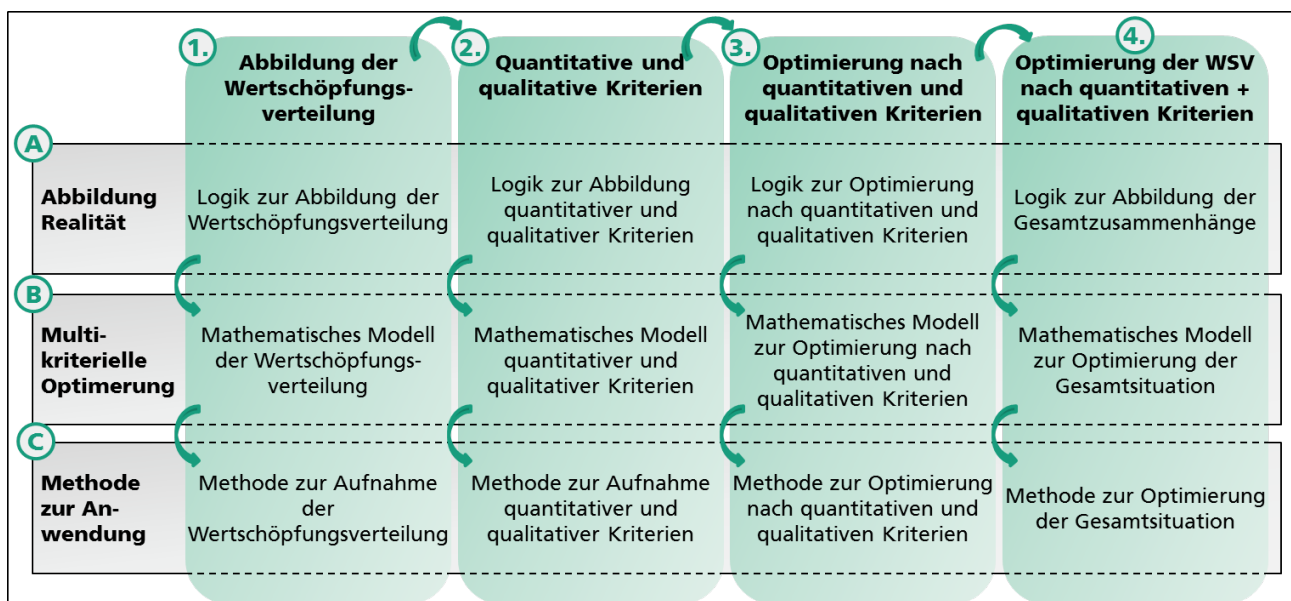


Abbildung 6.2.: Grundlegendes Vorgehen bei der Entwicklung

Basis bilden die drei Unterforschungsfragen aus Kapitel 1.3:

1. „Wie lässt sich die Wertschöpfungsverteilung von Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung ganzheitlich beschreiben und abbilden?“
2. „Anhand von welchen quantitativen und qualitativen Kriterien lässt sich die Güte der Wertschöpfungsverteilung erklären und bestimmen?“ und
3. „Wie lässt sich ein stabiles Gesamtoptimum nach integriert betrachteten quantitativen und qualitativen Kriterien erzeugen?“

Zur Beantwortung dieser Fragen werden jeweils mehrere Iterationen mit spezifischen Fragen durchlaufen, bis die in Kapitel 6.1 aufgezeigten Bestandteile

- Abbildung der Realität,
- multikriterielle Optimierung und
- Methode zur Anwendung

erarbeitet sind.

Anschließend werden die Ergebnisse der jeweiligen Unterforschungsfragen zu einer ganzheitlichen Abbildung, multikriteriellen Optimierung sowie Anwendungsmethode zusammengeführt, die in ihrer Gesamtheit die zentrale Forschungsfrage „Wie kann die Wertschöpfungsverteilung von Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung unter Berücksichtigung quantitativer und qualitativer Kriterien optimiert werden?“ beantworten.

Dabei tritt, wie in Kapitel 6.1 erläutert, die multikriterielle Optimierung als zentrales Element des konzipierten Lösungsansatzes auf. Gleichzeitig stellen die Modellierung und Optimierung entwicklungsintensive Elemente des heuristischen Bezugsrahmens aus Kapitel 1.4 dar, so dass die mathematische Modellierung im Fokus steht.

Die Entwicklung von mathematischen Optimierungsmodellen erfolgt im Allgemeinen anhand des in Abbildung 6.3 dargestellten Modellierungszyklus (Struckmeier 2010, S. 6). Am Anfang des Modellierungszyklus steht ein reales Problem, das mithilfe der Methode zur Modellbildung in einem mathematischen Modell abgebildet wird. Der Einsatz mathematischer Methoden erzeugt eine mathematische Lösung. Die Interpretation der mathematischen Lösung führt zu einer realen Lösung. Diese wird auf ihre Eignung zur Lösung des realen Problems geprüft. Treten dabei Diskrepanzen auf, wird der Modellierungszyklus solange durchlaufen und dabei die erarbeiteten Teilergebnisse angepasst, bis die Überprüfung erfolgreich ist.

In der vorliegenden Arbeit erfolgt die Lösung des mathematischen Modells anhand bestehender und bereits in Softwaretools implementierter Methoden. Daher lassen sich die mathematischen Methoden, die Interpretation sowie die Überprüfung als Implementierung inklusive

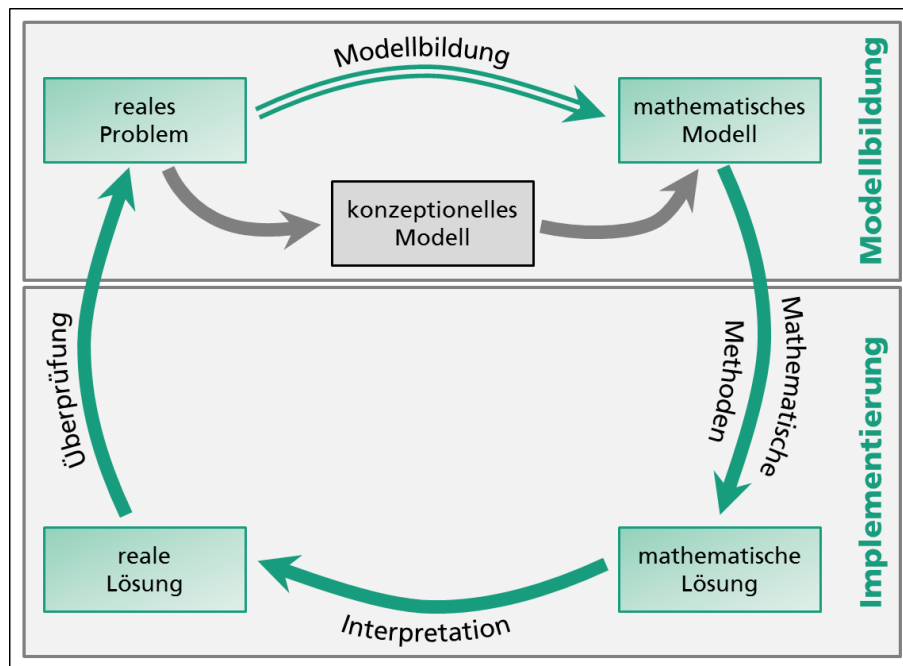


Abbildung 6.3.: Schematische Darstellung des Modellierungszyklus mit mathematischer Modellbildung in Anlehnung an Struckmeier (2010, S. 6) und Eck, Garcke et al. (2011, S. 1-3)

Validierung zusammenfassen. Somit untergliedert sich die Entwicklung der mathematischen Modellierung zur Optimierung und damit der **multikriteriellen Optimierung** in

- Modellbildung und
- Implementierung.

Aufgrund des Schwierigkeitsgrads steht die Modellbildung im Fokus der Entwicklung.

Zur Überführung eines realen Problems in ein mathematisches Modell ist, wie in Abbildung 6.3 dargestellt, ein Zwischenschritt erforderlich (Eck, Garcke et al. 2011, S. 1-3). Da ein Modell die Realität immer vereinfacht wiedergibt (vgl. Abschnitt 4.1), muss zunächst eine Logik darüber entwickelt werden, inwiefern bzw. welche Teile der Realität abgebildet werden sollen. Bei der Entwicklung dieses sogenannten konzeptionellen Modells (Becker und Pfeiffer 2007, S. 1) unterstützen Abbildungs-, Verkürzungs- und pragmatisches Merkmal (vgl. Abschnitt 4.1). Anschließend wird das konzeptionelle Modell anhand von Variablen, Restriktionen und einer Zielfunktion mathematisch formuliert. Ergebnis ist das mathematische Modell einer vereinfachten Realität, das zur Lösung des realen Problems genügt. Damit gliedert sich die **Modellbildung** in die Entwicklung einer

- Logik zur Abbildung in Form eines konzeptionellen Modells sowie die
- mathematische Modellierung.

Somit ergeben sich für die zentrale Entwicklung der multikriteriellen mathematischen Modellierung zur Optimierung die drei Entwicklungsschritte „Logik zur Abbildung“, „mathematische Modellierung“ sowie „Implementierung“. Diese entsprechen den im Kapitel 1.4 aufgezeigten Forschungsaktivitäten nach Ulrich. Dabei stellt die „Logik zur Abbildung der Realität“ eine empirisch-induktive Aufgabenstellung dar. Aufbauend auf den in den vorangegangenen Kapiteln 2 bis 4 terminologisch-deskriptiv erarbeiteten Grundlagen werden in dieser nachfolgenden Iteration induktiv hypothetische Zusammenhänge zwischen den beschriebenen Grundlagenobjekten abgeleitet. In einer weiteren Iteration erfolgt die „mathematische Modellierung“ analytisch-deduktiv, indem die Zusammenhänge der Logik zur Abbildung der Realität in ein Modell überführt werden. Die „Implementierung“ dient empirisch-induktiv der Überprüfung und Anpassung der erarbeiteten Ergebnisse. Dabei wird innerhalb jedes Entwicklungsschrittes die iterative Forschungsmethodologie einmal oder mehrmals angewandt.

Da die Logik zur Abbildung innerhalb der Modellbildung dem Lösungselement der Abbildung der Realität aus Abbildung 6.1 entspricht, ergibt sich insgesamt die in Abbildung 6.4 visualisierte Struktur.

Für die Entwicklung der mathematischen Modellierung zur Optimierung müssen für jede Forschungsfrage die Entwicklung einer Abbildungslogik, die mathematische Modellierung sowie die Implementierung durchlaufen werden. Dabei kann die Implementierung zu einem erneuten Durchlauf des Modellierungszyklus führen. Auch für die Methode zur Anwendung gilt es, entlang der einzelnen Forschungsfragen vorzugehen. Dabei baut diese Methode jeweils auf der mathematischen Modellierung zur Optimierung auf.



Abbildung 6.4.: Vorgehen bei der Entwicklung mit daraus resultierender Struktur der folgenden Kapitel

Dieses Vorgehen gibt die Struktur der folgenden Kapitel vor. Die den drei Unterforschungsfragen zugehörigen mathematischen Optimierungen werden in je einem Abschnitt des Kapitels 7 behandelt, bevor die ganzheitliche Modellierung zur Beantwortung der zentralen Forschungsfrage in Kapitel 8.1 entwickelt wird. Des Weiteren wird in Kapitel 8.2 aufbauend auf der entwickelten Modellierung und dessen Implementierung der Lösungsansatz mit der Methode zur Anwendung von der Datenaufnahme bis zur Entscheidungsfindung finalisiert.

7. Modelle der Wertschöpfungsverteilung, für Gestaltungskriterien sowie zur Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien

Das Kapitel zur Entwicklung und Beschreibung von voneinander losgelösten Modellen der Wertschöpfungsverteilung, für Gestaltungskriterien sowie zur Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien stellt den wesentlichen Schritt der Entwicklung der ganzheitlichen mathematischen Modellierung anhand der in Kapitel 6 beschriebenen Vorgehensweise dar. Den Unterforschungsfragen folgend handelt es sich bei dem Modell zur Abbildung von Produktionsnetzwerken und deren Wertschöpfungsverteilung um den Einstieg in die Entwicklung (vgl. Kapitel 7.1). Im zweiten Schritt erfolgt in Kapitel 7.2 die Entwicklung eines Modells für mögliche Gestaltungskriterien der Wertschöpfungsverteilung. Abschließend wird in Kapitel 7.3 eine Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien modelliert.

Je Modell wird im ersten Schritt eine Logik zur Abbildung der Realität entwickelt. Diese wird anschließend über mathematische Formulierungen modelliert. Der Modellierungszyklus schließt sich mit der Implementierung des jeweiligen Modells.

7.1. Modell der Wertschöpfungsverteilung

7.1.1. Logik zur Abbildung der Wertschöpfungsverteilung

Die Logik zur Abbildung von Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung und deren Wertschöpfungsverteilung zielt auf die Beantwortung der Unterforschungsfrage „Wie lässt sich die Wertschöpfungsverteilung von Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung ganzheitlich beschreiben und abbilden?“ Dabei umfasst die Logik eine geeignete Visualisierung mit einem korrespondierenden Datenmodell als Basis für die mathematische Modellierung. Grundlagen zur „Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung“ wurden in

Kapitel 2 gelegt. Diese mündeten in Anforderungen an einen Ansatz zur Wertschöpfungsverteilung, die die Basis der Entwicklung bilden.

Intraorganisationale Struktur

Gemäß der Anforderung „Konzentration auf ein stabiles intraorganisationales Netzwerk“ liegt der Fokus zunächst auf der intraorganisationalen Struktur. Im Kontext der Aufgabe der Wertschöpfungsverteilung, die als „Zuordnung von Prozessen zu Standorten“ verstanden wird, besteht die intraorganisationale Struktur aus den Basiselementen Prozesse und Standorte.

Bei den Standorten handelt es sich um bestehende Standorte bzw. Tochtergesellschaften des unternehmensinternen Produktionsnetzwerks. Hierbei werden ausschließlich Produktionsstätten berücksichtigt.

Ebenso handelt es sich bei den zuzuordnenden Prozessen um Produktionsprozesse (vgl. Kapitel 2.3.2). Aus der in Kapitel 2.2.2 aufgeführten Definition von Produktion lässt sich ableiten, dass ein Produktionsprozess alle an der Herstellung von Erzeugnissen beteiligten Bereiche eines Unternehmens – von der Entwicklung über die Produktionsorganisation und Fertigung bis zum Qualitätswesen – in Anspruch nimmt. Um eine Zuordnung eines Produktionsprozesses zu einem Standort durchführen zu können, muss dieser Prozess im Sinne einer eigenständig handelnden Organisationseinheit eindeutig abgrenzbar sein. Somit stellt ein Produktionsprozess ein Fraktal dar, das nicht nur einen abgegrenzten Fertigungsprozess umfassen kann, sondern alle diesem Prozess zuarbeitenden Bereiche beinhaltet. Dieser Umfang eines Fraktals in einem Produktionsnetzwerk entspricht dem Umfang von Wertschöpfung im Sinne von Porter und Günther (vgl. Kapitel 2.3.1 und 2.3.2). Im Folgenden wird daher ein Fraktal mit einer Wertschöpfungsstufe gleichgesetzt.

Basiselement Wertschöpfungsstufe Die Detaillierung des Basiselements Wertschöpfungsstufe erfolgt auf Grundlage des in Kapitel 2.3.1 für diese Arbeit definierten Verständnisses von Wertschöpfung nach Porter und Günther. Dabei ergibt sich der Umfang einer Wertschöpfungsstufe durch die in Abbildung 7.1 dargestellte Zusammenführung der beiden Ansätze.

Die Primäraktivitäten Beschaffung, Produktion und Absatz nach Günther werden als Grundbausteine übernommen. Dabei steht die Produktion im Gegensatz zu dem dieser Arbeit zugrundeliegenden Verständnis lediglich für die Herstellungs- und Montageprozesse. Um innerhalb der Arbeit bei einem durchgängigen Begriffsverständnis zu bleiben, wird zwischen Produktion als umfassende Disziplin von der Entwicklung bis zur Qualität und dem Begriff der Fertigung im Sinne von Herstellungs- und Montageprozessen unterschieden. Der Fokus der Arbeit liegt nicht wie bei Günther auf der vierten Primäraktivität Entsorgung im Sinne von geschlossenen Lieferkreisen, bei denen Bestandteile von gebrauchten Endprodukten nach Entsorgung bzw. Recycling

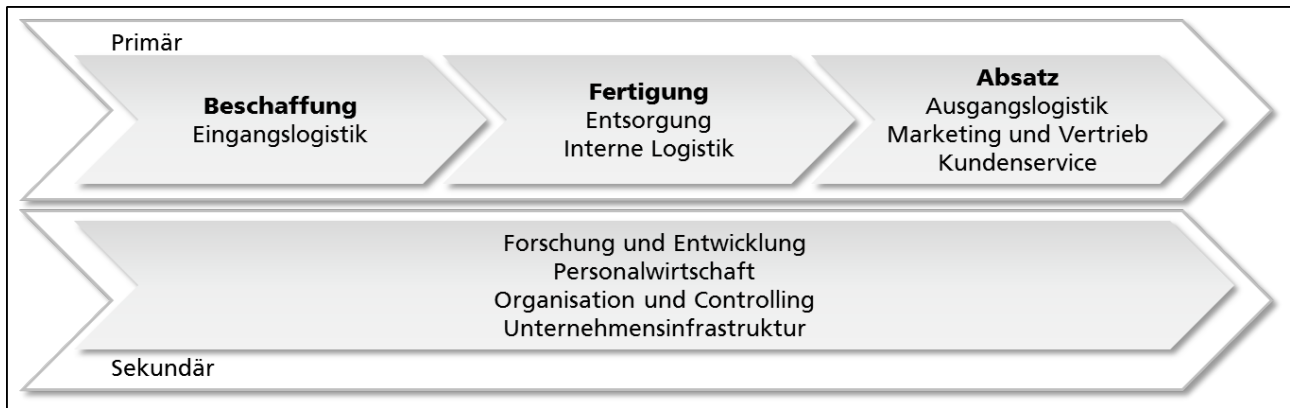


Abbildung 7.1.: Umfassendes Verständnis von Wertschöpfung in Anlehnung an Porter (1999, S. 95ff) und Günther (2008, S. 173ff)

wieder in die Fertigung eingehen¹. Dennoch werden in dieser Arbeit Entsorgungsgebühren wie für Material und Ausschuss sowie die Reduzierung von Beschaffungsmengen durch Rückführung von Material aus Unternehmenssicht berücksichtigt. Die Entsorgung wird dabei dem Grundbaustein Fertigung zugeordnet. Damit können Unternehmen auch ohne Closed-Loop Supply Chain die Entsorgung berücksichtigen. Die Primäraktivitäten Eingangslogistik, Ausgangslogistik, Marketing und Vertrieb sowie Kundenservice nach Porter werden den Grundbausteinen zugeteilt. Zur Eingangslogistik zählen sowohl der Transport vom Lieferanten als auch die internen Prozesse wie Lagerung oder Anlieferung zum Verbauort. Entsprechend umfasst die Ausgangslogistik interne Prozesse und Transporte zum Kunden. Daher wird die Eingangslogistik zur Beschaffung gezählt, die Ausgangslogistik zum Absatz und die interne Ein- und Ausgangslogistik als interne Logistik zur Fertigung. Marketing und Vertrieb sowie Kundenservice betreffen den Absatz. Die verbleibenden Sekundäraktivitäten Forschung und Entwicklung, Personal und Organisation sowie Controlling nach Günther sowie die Sekundäraktivitäten Unternehmensinfrastruktur, Personalwirtschaft und Technologieentwicklung nach Porter werden zusammengeführt zu Forschung und Entwicklung, Personalwirtschaft, Organisation und Controlling sowie Unternehmensinfrastruktur.

Dieser in Abbildung 7.1 skizzierte Umfang von Wertschöpfung ermöglicht das eigenständige Handeln einer solchen Organisationseinheit und erfüllt damit die Anforderung eines „umfassenden Verständnisses von Wertschöpfung“. Die eigenständig handelnde Einheit stellt das Fraktal im Produktionsnetzwerk dar. Dabei muss nicht jedes Fraktal alle Aktivitäten umfassen, z. B. wenn für einen Prozess keine Entsorgung anfällt. Aus dem möglichen Umfang des Fraktals wird deutlich, dass nicht alle Aktivitäten des Fraktals am selben Standort lokalisiert sein müssen, diese Aktivitäten allerdings für die Eigenständigkeit des Fraktals notwendig sind. Als Beispiel dienen die Personalwirtschaft oder Marketing und Vertrieb, die getrennt von der zentralen

¹Diese Aufgabe des „closed loop“ ist für sich bereits eine komplexe Fragestellung. Eine gute Übersicht zu gängigen Ansätzen findet sich in Bansal und Hoffman (2011), Lebreton (2007), Braun, Mandel et al. (2013) und Dyckhoff, Lackes et al. (2004).

Aktivität Fertigung verortet sein können. Dennoch ist die Aufteilung der Aktivitäten auf mehrere Standorte kein Hinderungsgrund für ein eigenständiges Fraktal, das auf diese Aktivitäten selbstständig zugreift bzw. dem diese Aktivitäten anderer Standorte eindeutig zugeordnet sind. Für die Zuordnung eines Fraktals zu einem neuen Standort bedeutet dies, dass nicht nur die Veränderungen der verlagerten Aktivitäten wie beispielsweise der Fertigung, sondern auch die Veränderungen in der Zusammenarbeit mit den „stationären“ Aktivitäten, z. B. Personalwirtschaft oder Marketing und Vertrieb, berücksichtigt werden müssen. Daher sind im Sinne des Verursacherprinzips alle Aktivitäten dem Fraktal – der eigenständig handelnden Organisationseinheit – zuzuordnen und bilden somit eine fundierte Bewertungsgrundlage.

Bisher stand der Umfang eines Fraktals im Fokus. Im Folgenden wird die Abgrenzung eines Fraktals behandelt. Im Zentrum eines Fraktals steht – gemäß dem Umfang von Wertschöpfung – die Fertigung im Sinne von Herstellung und Montage. Fraktale können voneinander abgegrenzt werden, da sie in ihrem Zentrum jeweils spezifische Herstellungs- oder Montageprozesse enthalten. Vor dem Hintergrund der Zuordnung von Prozessen zu Standorten stellen ausschließlich Herstellungs- und Montageprozesse, die losgelöst von ihren vor- und nachgelagerten Prozessen an einem eigenen Standort durchgeführt werden können, zusammen mit ihren zugehörigen unterstützenden Prozessen eine eigenständige Einheit dar. Diese Fraktale sind gleichbedeutend mit der Wertschöpfungsstufe und können mehrere Herstellungs- oder Montageprozesse umfassen.

Wertschöpfungsstufen werden aus Prozesssicht definiert und aggregieren dabei über alle Produkte. Unternehmen, die Produkte mit ähnlicher Produktstruktur in ähnlichen Prozessen produzieren, fällt es leicht, anhand einiger weniger Referenzprodukte ihre Wertschöpfungsstufen zu definieren und alle übrigen Produkte in dieser Struktur repräsentiert zu sehen. Dazu gehören in erster Linie Unternehmen in der Automobilbranche, die große Stückzahlen eines geringen Spektrums an Produktfamilien mit hoher Variantenvielfalt innerhalb einer Produktfamilie herstellen. Für Unternehmen mit breitem Produktspektrum stellen Wertschöpfungsstufen oft ein höheres Aggregationslevel dar. Hier können Wertschöpfungsstufen mehrere Spezialprozesse verschiedener Produkte umfassen, z. B. bei der Wertschöpfungsstufe Endmontage die spezifischen Endmontagen unterschiedlicher Produkte. In solchen Fällen muss bei der Definition der Wertschöpfungsstufen vermehrt auf den Bezug zur Wertschöpfung geachtet werden, um sich nicht in Produktbetrachtungen zu verlieren.

Visualisierung intraorganisationaler Strukturen Mit dem Verständnis abgegrenzter Wertschöpfungsstufen als Fraktale können diese innerhalb einer Matrixstruktur mit den Standorten in Verbindung gebracht werden, um deren Zuordnungen zu visualisieren. Dabei werden die Basiselemente „Wertschöpfungsstufen“ und „Standorte“ – wie in Abbildung 7.2 dargestellt – jeweils auf den Achsen aufgetragen. Die konkrete Zuordnung einer Wertschöpfungsstufe zu einem Standort ergibt ein Objekt eines Produktionsnetzwerks. Dieses wird über eine Markierung im entsprechenden Quadranten abgebildet und mit Wertschöpfungs-Standort-Zuordnung

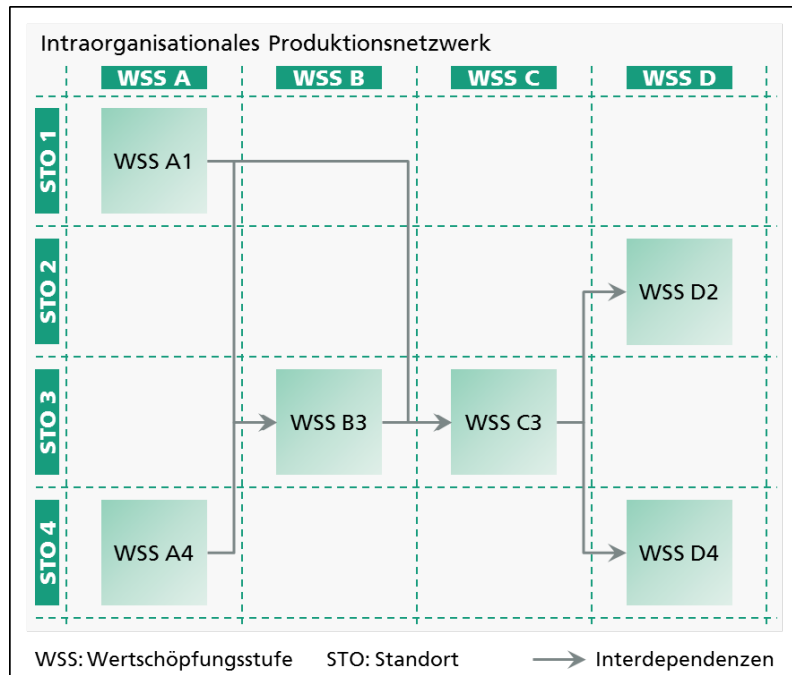


Abbildung 7.2.: Logik zur Abbildung intraorganisationaler Strukturen

bzw. Wertschöpfungs-Standort-Kombination bezeichnet. Darüber hinaus treten prozessorientierte Interdependenzen als weitere Objekte eines Produktionsnetzwerks auf. Diese werden über Pfeile dargestellt, die die Wertschöpfungs-Standort-Zuordnungen verbinden. Übersichtlichkeit ergibt sich aus der Vorgabe, dass Pfeile ausschließlich von links nach rechts verlaufen dürfen. Da ausnahmslos sequentielle Interdependenzen berücksichtigt werden, kann die Vorgabe über die Anordnung der Wertschöpfungsstufen in der sequentiellen Reihenfolge auf der Horizontalen eingehalten werden.

Diese Logik zur Abbildung der Realität dient der Visualisierung der Ist-Situation sowie des Ergebnisses der Optimierung als Soll-Situation und unterstützt damit die Validierung der Ergebnisse aus der Optimierung. Dabei ist die Logik nicht nur auf die Darstellung der Grundstruktur der Wertschöpfungsverteilung eines Produktionsnetzwerks beschränkt, sondern dahingehend ausbaufähig, dass in den markierten Feldern weitere Informationen wie z. B. Mengenangaben oder Bewertungen angezeigt werden können.

Daten intraorganisationaler Strukturen Die Anforderung der „Kapazitätsallokation zu den Standorten“ erweitert die Aufgabe der Wertschöpfungsverteilung als Zuordnung von Wertschöpfungsstufen zu Standorten um die Zuordnung von Produktionsmengen zu Wertschöpfungs-Standort-Kombinationen. Dabei empfiehlt es sich, aufgrund der „Langfristigkeit“ die Produktionsmengen mehrerer Perioden in Betracht zu ziehen. Bei den Produktionsmengen ist wie bei allen weiteren Datenermittlungen zu berücksichtigen, dass es aufgrund der Aggregation über mehrere Produkte zu Ungenauigkeiten im Sinne einer stückgetreuen Detailplanung kommt. In der strategischen Planung ist es üblich, Referenzprodukte zur Ermittlung von Daten zu ver-

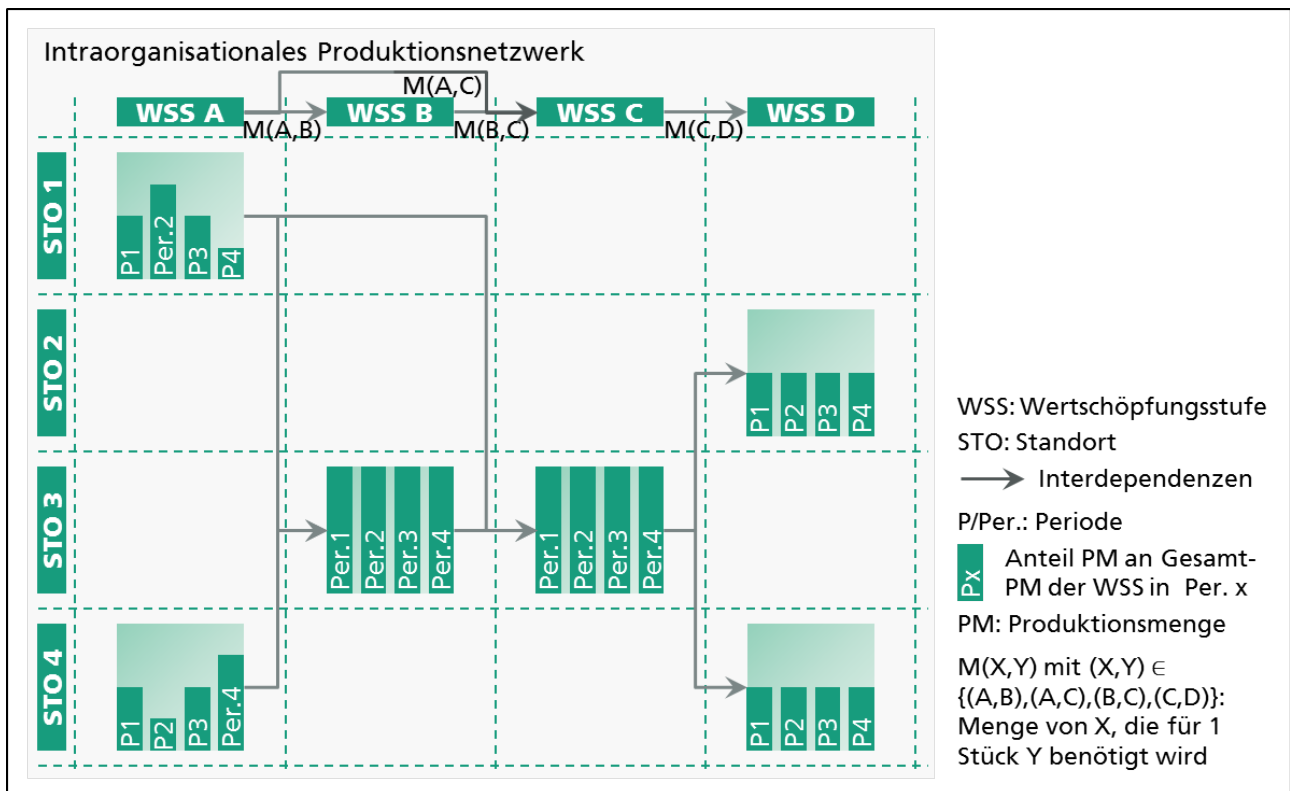


Abbildung 7.3.: Logik zur Abbildung von Daten intraorganisationaler Strukturen

wenden, die gewichtet nach Volumen, Umsatz oder aufgrund einer Normalverteilung in die Berechnungen eingehen. Zukunftsentwicklungen beruhen auf Abschätzungen.

Für die Interdependenzen zwischen Wertschöpfungs-Standort-Kombinationen ist die Mengenangabe, wie viel von einer Wertschöpfungsstufe für die Fertigung eines Stücks nachgelagerter Wertschöpfungsstufen benötigt wird, entscheidend. Da diese Mengenangaben unabhängig vom Standort sind und sich nur auf Wertschöpfungsstufen beziehen, ist diese Information je Verbindung zwischen Wertschöpfungsstufen ausreichend. Dabei stellt die Menge einer Wertschöpfungsstufe A, die für die Fertigung eines Stücks einer nachgelagerten Wertschöpfungsstufe B benötigt wird, eine theoretische Mengenangabe dar. Basis der Ermittlung dieser Mengenangaben bilden die sogenannten Strukturstücklisten repräsentativer Produkte. Strukturstücklisten stellen den strukturellen Aufbau des Produkts in Baugruppen bis zu den Einzelteilen sowie deren Mengen in allen Stufen dar (Westkämper 2006, S. 127f). Da sich die Mengenangaben je Produktfamilie oder sogar je Produkt unterscheiden, vereint die Mengenangabe einer Wertschöpfungsstufe die Informationen aus den Strukturstücklisten verschiedener Produkte und muss damit nicht ganzzahlig sein. Des Weiteren können verschiedene Komponenten einer Wertschöpfungsstufe A gleichzeitig in eine nachgelagerte Wertschöpfungsstufe B eingehen, so dass die Mengenangabe der Summe verschiedener Mengenangaben einer produktspezifischen Strukturstückliste entspricht.

Die beschriebenen Mengendaten können wie in Abbildung 7.3 dargestellt visualisiert werden.

Interorganisationale Einflüsse

Basierend auf der Logik zur Abbildung der intraorganisationalen Struktur eines Produktionsnetzwerks mit seiner Wertschöpfungsverteilung erfolgt die Integration von Einflüssen eines „dynamischen interorganisationalen Netzwerks“. Das bedeutet, dass Änderungen des intraorganisationalen Produktionsnetzwerks, wie die Verschiebung einer Wertschöpfungsstufe von Standort A an Standort B, Änderungen im interorganisationalen Geflecht nach sich ziehen. Beispielsweise stellt sich bei einer derartigen Verlagerung die Frage, ob die bisherigen Lieferanten an den neuen Standort B liefern oder local sourcing betrieben werden soll. Diese Auswirkungen auf die interorganisationalen Strukturen müssen in ihren Alternativen untersucht werden und mit in die Entscheidung über intraorganisationalen Strukturen eingehen. Die Logik zur Abbildung der Realität wird daher wie im Folgenden beschrieben erweitert.

Eine interorganisationale Struktur ergibt sich analog zur intraorganisationalen Struktur aus der Zuordnung von Prozessen zu Standorten. Allerdings steht durch die Fokussierung auf ein stabiles intraorganisationales Netzwerk mit bestehenden Standorten und bestehender Wertschöpfung außer Frage, welche Wertschöpfung vom Beschaffungsmarkt eingekauft bzw. an den Absatzmarkt verkauft wird. Somit ist die Zuordnung von Prozessen zu Beschaffungs- und Absatzmärkten bereits gegeben. Daher steht bei der Zuordnung von Prozessen zu Standorten im interorganisationalen Netzwerk das Basiselement Standort im Fokus. Da lediglich eine „Allokation auf aggregierter Ebene“ basierend auf Änderungen in der intraorganisationalen Struktur gefordert ist, reicht die Berücksichtigung auf einer aggregierten Ebene aus. Daher können die Standorte der Teilnehmer des Beschaffungs- und Absatzmarkts in Regionen, Länder, Kontinente oder benutzerdefinierte Gebiete gebündelt werden. Diese Bündel stellen Basiselemente der interorganisationalen Struktur dar.

Basiselemente des Beschaffungs- und Absatzmarkts Die Anforderung einer „umfassenden Berücksichtigung von interorganisationalen Beziehungen“ mündet in folgendem Umfang des Beschaffungs- und Absatzmarkts. Weder der Beschaffungsmarkt und damit die Teilnehmer einer Region des Beschaffungsmarkts noch der Absatzmarkt und seine Teilnehmer unterliegen Einschränkungen. Im Beschaffungsmarkt können neben klassischen Lieferanten beispielsweise Maschinenhersteller, Entwicklungs- oder Logistikdienstleister berücksichtigt werden, die alle zusammen innerhalb eines regionalen Bündels als Teilnehmer des Beschaffungsmarkts aufgefasst werden. Absatzseitig können neben den Kunden auch Niederlassungen oder Konkurrenten in die Betrachtung mit einbezogen werden. Sollte ein Typ an Netzwerkpartnern von besonderer Bedeutung für die Wertschöpfungsverteilung sein, können separierte Bündel aufgemacht werden. Davon bleibt die bisherige Logik unberührt. Ausschließlich in der Anwendung muss einer ungefähr doppelt so großen Anzahl an Beschaffungs- oder Absatzregionen und den damit verbundenen Interdependenzen entsprochen werden.

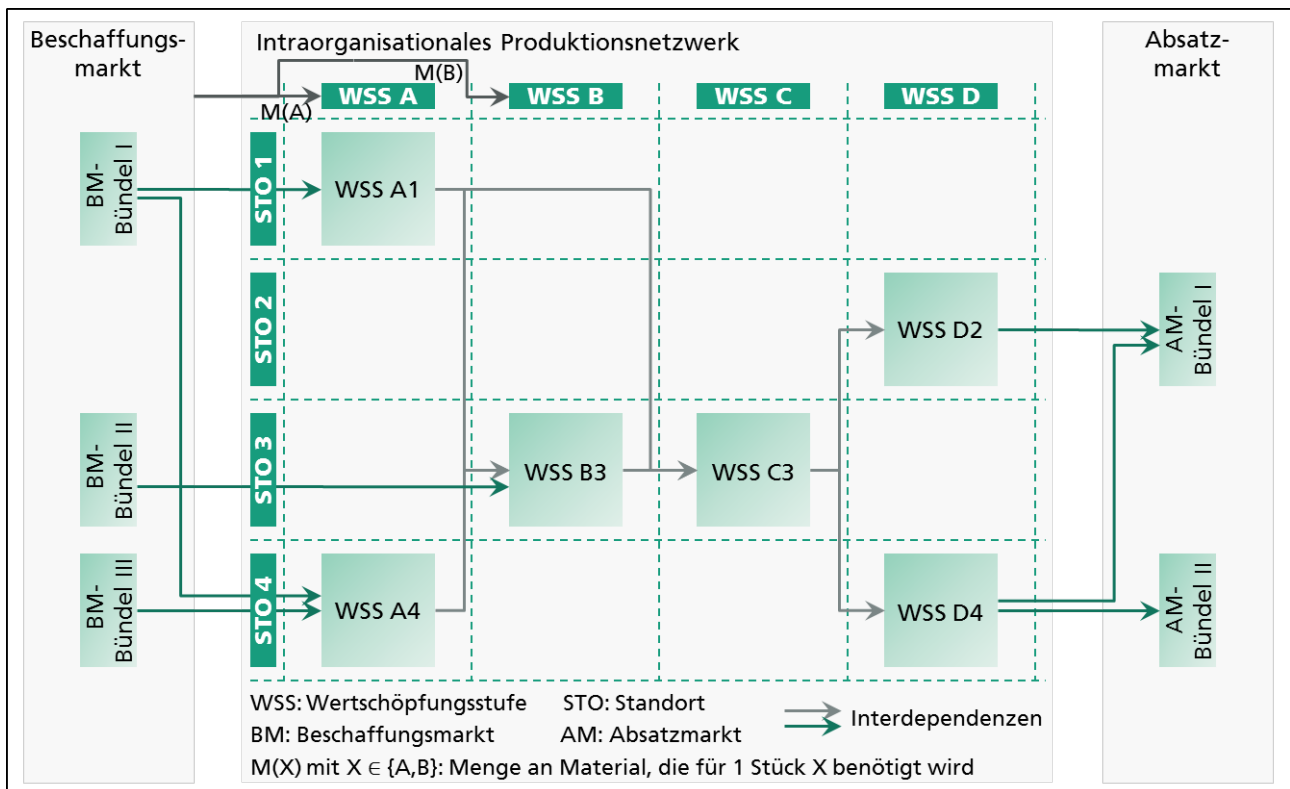


Abbildung 7.4.: Logik zur Abbildung interorganisationaler Beziehungen

Daten interorganisationaler Strukturen Da ausschließlich der Einfluss des interorganisationalen Netzwerks und nicht das interorganisationale Netzwerk selbst untersucht wird, sind ausschließlich die Beziehungen von den definierten Bündeln des Beschaffungsmarkts und zu den Bündeln des Absatzmarkts und nicht die Bündel selbst relevant. Damit gelten lediglich die Interdependenzen als Objekt eines Produktionsnetzwerks. Für diese werden Mengenangaben benötigt, wie viel Material vom Beschaffungsmarkt für die Herstellung einer Komponente einer Wertschöpfungsstufe unabhängig vom Standort benötigt wird. Aufbauend auf Strukturstücklisten kann die benötigte Information analog zu den Mengenangaben der intraorganisationalen Struktur mithilfe der Aggregation sowohl über alle Produktfamilien als auch über alle Materialien erzeugt werden.

Visualisierung interorganisationaler Strukturen Die Visualisierung der interorganisationalen Struktur inklusive deren Mengendaten erfolgt über die in Abbildung 7.4 dargestellte Logik. Darüber wird sowohl die Ist- als auch die Soll-Situation visualisiert. Bei der Verlagerung einer Wertschöpfungsstufe des intraorganisationalen Netzwerks von einem Standort A zu einem Standort B verändern sich die Verbindungen vom Beschaffungsmarkt zumindest hinsichtlich ihrer Senke. Darüber hinaus könnte sich beispielsweise die Anzahl der Teilnehmer einer aktuellen Beschaffungsregion zugunsten einer neuen Region verringern. Diese Änderung der Teilnehmerzahl in den jeweiligen Beschaffungsregionen ist nicht direkt visualisierbar. Über

Mengenverschiebungen auf den Verbindungen von den angesprochenen Beschaffungsregionen wird jedoch die entscheidende Veränderung gemäß der Anforderung der „Absatz- und Beschaffungsmarktallokation auf aggregierter Ebene“ deutlich.

Produktionsnetzwerke und ihre Wertschöpfungsverteilung

Insgesamt ergeben sich die folgenden vier Objekttypen eines Produktionsnetzwerks:

- Die Wertschöpfungs-Standort-Zuordnungen zeigen an, wo welche Wertschöpfungsstufe platziert ist.
- Die Interdependenzen vom Beschaffungsmarkt vermitteln die Information, welche Wertschöpfungs-Standort-Kombination von welchem Beschaffungsmarktbündel versorgt wird.
- Die internen Interdependenzen bilden den Materialfluss innerhalb des intraorganisationalen Produktionsnetzwerks ab, während
- die Interdependenzen zum Absatzmarkt aufzeigen, welche Wertschöpfungs-Standort-Zuordnung in welches Absatzmarktbündel liefert.

Anhand dieser vier Objekttypen lässt sich der definierte Umfang des Basiselements Wertschöpfungsstufe untergliedern. Bestimmte Bereiche der Wertschöpfung weisen eine gewisse Ähnlichkeit mit bestimmten Objekttypen auf. Andere Bereiche der Wertschöpfung tangieren bestimmte Objekttypen nicht. Daraus ergibt sich die im Anhang B begründete und in Abbildung 7.5 dargestellte Zuordnung von Wertschöpfung zu den Objekttypen eines Produktionsnetzwerks der diskreten Fertigung.

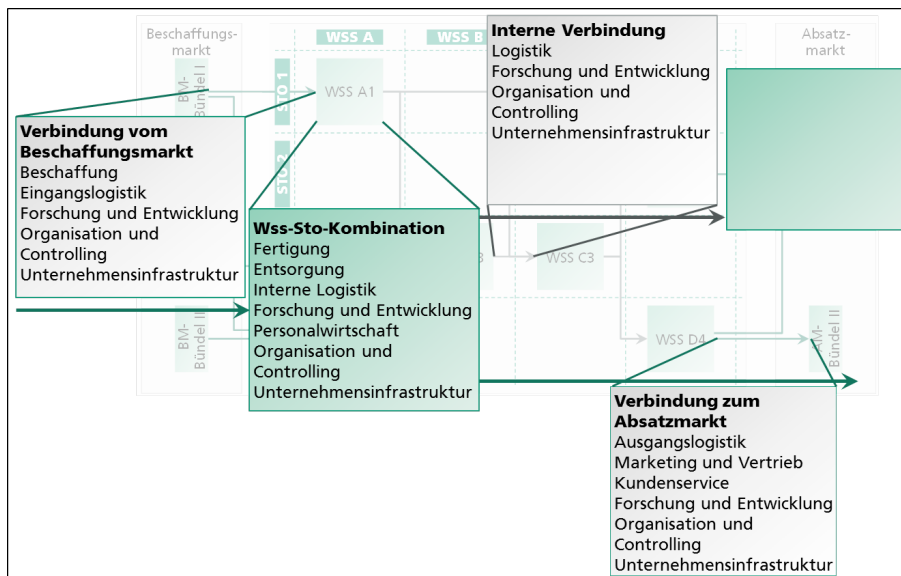


Abbildung 7.5.: Verständnis von Wertschöpfung in Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung

7.1.2. Mathematische Modellierung der Wertschöpfungsverteilung

Die Logik zur Abbildung von Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung und ihrer Wertschöpfungsverteilung ermöglicht das Ableiten der wesentlichen Elemente der mathematischen Modellierung.

Entscheidungsvariablen

Gemäß der Logik wird ein Produktionsnetzwerk maßgeblich von seinen Wertschöpfungs-Standort-Zuordnungen bestimmt. Daher ist bei der Ausrichtung eines Produktionsnetzwerks zu ermitteln, welche Wertschöpfungsstufe an welchem Standort durchgeführt werden soll. Gemäß der Anforderung der „Kapazitätsallokation zu Standorten“ stehen dabei die zugehörigen Mengen im Fokus, die an einer bestimmten Wertschöpfungs-Standort-Kombination produziert werden sollen. Gesucht ist daher die Produktionsmenge einer Wertschöpfungsstufe an einem bestimmten Standort. Beträgt diese Produktionsmenge 0, findet keine Zuordnung der Wertschöpfungsstufe zum Standort statt. Andernfalls gibt die Produktionsmenge an, wie viel Kapazität für die Wertschöpfungsstufe am Standort benötigt wird. Die strategische Perspektive erfordert die Berücksichtigung mehrerer Perioden, in denen sich Inputgrößen wie z. B. Kosten, Kundenbedarfe oder Rahmenbedingungen und damit die optimalen Produktionsmengen der jeweiligen Wertschöpfungs-Standort-Kombinationen über Perioden hinweg verändern können.

Daher sind die Produktionsmengen der Wertschöpfungs-Standort-Kombinationen für mehrere Perioden gesucht, so dass als Variable die Produktionsmenge $x_{w,s,p}$ einer Wertschöpfungsstufe w am Standort s einer Periode p definiert wird mit

- Wertschöpfungsstufen $w \in \{w_1, \dots, w_W\}$, die als Ausprägung die Bezeichnungen der Wertschöpfungsstufen eines Unternehmens annehmen,
- Standorten $s \in \{s_1, \dots, s_S\}$, die als Ausprägung die Bezeichnungen der Standorte eines Unternehmens annehmen und
- Perioden $p \in \{p_1, \dots, p_P\}$, die als Ausprägung die Bezeichnung einer Periode annehmen. Zur besseren Verständlichkeit wird angenommen, dass die Perioden 1 Jahr dauern. Das Modell kann allerdings jede beliebige Periode von beliebiger Dauer verarbeiten.

Neben den Wertschöpfungs-Standort-Kombinationen definiert sich ein Produktionsnetzwerk über deren Verbindungen. Im Fokus stehen wiederum die Mengen, wie viel einer Wertschöpfungsstufe eines Standorts zu welcher Wertschöpfungsstufe eines anderen Standorts transportiert wird. Der strategische Aspekt bleibt ebenfalls wirksam.

Daraus ergibt sich eine zweite Variable $y_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}$, die die Transportmenge von einer Wertschöpfungsstufe w_1 eines Standorts s_1 zu einer anderen Wertschöpfungsstufe w_2 eines anderen Standorts s_2 einer Periode p angibt. Die Indizes haben dabei folgende Bedeutung.

- Die Wertschöpfungsstufe w_1 steht für eine vorangehende Wertschöpfungsstufe.
- Wertschöpfungsstufe w_2 repräsentiert eine nachfolgende Wertschöpfungsstufe.
- Der Standort s_1 steht für einen Standort, an dem die Wertschöpfungsstufe w_1 durchgeführt wird.
- Standort s_2 repräsentiert einen Standort, an dem die Wertschöpfungsstufe w_2 stattfindet.

Die Integration der interorganisationalen Beziehungen erfolgt anhand der Verbindungen vom Beschaffungsmarkt sowie der Verbindungen zum Absatzmarkt. Gemäß der Anforderung der „Markt- und Beschaffungsallokation auf aggregierter Ebene“ im Falle von Änderungen in den intraorganisationalen Strukturen gilt es zu ermitteln, von welchem Beschaffungsmarkt eine Wertschöpfungs-Standort-Zuordnung mit welcher Menge versorgt wird und von welcher Wertschöpfungs-Standort-Kombination welcher Absatzmarkt mit welchen Mengen bedient wird. Hierfür werden als Variablen die Transportmenge $y_{b,w,s,p}^B$ vom Beschaffungsmarkt b zur Wertschöpfungsstufe w eines Standorts s in Periode p sowie die Transportmenge $y_{w,s,a,p}^A$ von der Wertschöpfungsstufe w eines Standorts s zum Absatzmarkt a in Periode p eingeführt. Als neue Indizes treten dabei auf:

- der Beschaffungsmarkt $b \in \{b_1, \dots, b_B\}$, der die Bezeichnungen verschiedener Bündel des Beschaffungsmarkts in Form von Regionen und/oder Teilnehmergruppen wie Lieferanten, Maschinenhersteller, Dienstleister, ... annehmen kann sowie
- der Absatzmarkt $a \in \{a_1, \dots, a_A\}$, der ebenfalls die Bezeichnungen verschiedener Bündel des Absatzmarkts annehmen kann.

Erste Parameter

Die Produktionsmengen bzw. die Kapazitäten des Beschaffungsmarkts sowie die Absatzmengen des Absatzmarkts stellen Vorgaben für das Unternehmen dar und gehen somit als folgende Parameter in das Modell ein:

- $K_{b,w}$ steht für die Kapazität eines Beschaffungsmarkts b , die Wertschöpfungsstufe w zu versorgen. Dabei werden Kapazitätsschwankungen über die Perioden p hinweg vernachlässigt. Entweder kommt die Kapazität der aktuellen Periode, ein Durchschnittswert über die erwarteten Kapazitäten aller Perioden oder das Minimum aus den erwarteten Kapazitäten aller Perioden zum Einsatz.
- $B_{w,a,p}$ gibt den Bedarf des Absatzmarkts a an Wertschöpfung w in Periode p an.

Insgesamt sind somit die wesentlichen Elemente der mathematischen Modellierung der Wertschöpfungsverteilung beschrieben.

Zwischen den Variablen der Wertschöpfungs-Standort-Zuordnungen und den Variablen der Verbindungen bestehen Abhängigkeiten. Diese beruhen in erster Linie auf dem Materialfluss der herzustellenden Produkte. Erstens müssen alle Komponenten, die an einer Wertschöpfungs-Standort-Zuordnung produziert werden, abtransportiert werden. Zweitens müssen für alle zu produzierenden Komponenten einer Wertschöpfungs-Standort-Zuordnung die entsprechenden Materialien und Vorprodukte angeliefert werden. Diese Zusammenhänge können wie folgt als Restriktionen formuliert werden:

Materialflussrestriktionen

Damit alle produzierten Komponenten $x_{w_1, s_1, p}$ einer Wertschöpfungsstufe w_1 eines Standorts s_1 einer Periode p abtransportiert werden, muss diese Produktionsmenge $x_{w_1, s_1, p}$ gleich der Transportmenge $y_{w_1, s_1, \cdot, p}$ sein, die in derselben Periode p von dieser Wertschöpfungs-Standort-Kombination w_1 - s_1 abtransportiert wird. Die strategische Sichtweise erlaubt es, den Ausschuss zu vernachlässigen. Bei den Abtransporten handelt es sich um alle Transportmengen $y_{w_1, s_1, w_2, s_2, p}$ von dieser Wertschöpfungsstufe w_1 des Standorts s_1 zu beliebigen Wertschöpfungsstufen w_2 und beliebigen Standorten s_2 – also um die Summe über diese Transportmengen $\sum_{w_2, s_2} y_{w_1, s_1, w_2, s_2, p}$. Da Wertschöpfungsstufen w_1 nicht zwangsläufig eine nachfolgende Wertschöpfungsstufe haben müssen, sondern direkt an den Absatzmarkt liefern können, entspricht in diesem Fall die Produktionsmenge $x_{w_1, s_1, p}$ der Transportmenge $y_{w_1, s_1, a, p}^A$ von der Wertschöpfungsstufe w_1 des Standorts s_1 zum Absatzmarkt a in Periode p . Um beide Möglichkeiten bzw. auch eine Kombination der Möglichkeiten abzudecken – ein Teil der Komponenten der Wertschöpfungsstufe geht direkt an Kunden, der andere Teil wird intern in einer nachgelagerten Wertschöpfungsstufe weiterverarbeitet –, wird folgende Restriktion 7.1 formuliert:

$$x_{w_1, s_1, p} = \sum_{w_2, s_2} y_{w_1, s_1, w_2, s_2, p} + \sum_a y_{w_1, s_1, a, p}^A \quad \forall w_1, s_1, p \quad (7.1)$$

Somit ist sichergestellt, dass jede produzierte Komponente weitertransportiert wird.

Im Umkehrschluss muss gelten, dass für alle zu produzierenden Komponenten einer Wertschöpfungs-Standort-Zuordnung die entsprechenden Materialien sowie Vorprodukte angeliefert werden. Diese Anlieferungen sind in erster Linie abhängig von der in Kapitel 7.1.1 definierten Mengenangabe M_{w_1, w_2} , wie viel der vorgelagerten Wertschöpfung w_1 für die Produktion eines Stücks der nachfolgenden Wertschöpfung w_2 benötigt wird. Werden neben oder anstatt von Komponenten Material vom Beschaffungsmarkt benötigt, gibt die Mengenangabe M_w^B an, wie viel Material für die Herstellung einer Komponente der Wertschöpfungsstufe w benötigt wird. Bei vielen herzustellenden Komponenten werden sowohl Vorprodukte als auch Materialien benötigt.

Für die Anlieferung von Vorprodukten muss gelten, dass die Anliefermenge $y_{w_1, \cdot, w_2, s_2, p}$ von einer vorgelagerten Wertschöpfung w_1 zur nachfolgenden Wertschöpfungsstufe w_2 des Stand-

orts s_2 in Periode p der Produktionsmenge $x_{w_2,s_2,p}$ der Wertschöpfungsstufe w_2 des Standorts s_2 der Periode p mal der Mengenangabe M_{w_1,w_2} entspricht. Da es sich um die Anliefermenge einer bestimmten Wertschöpfung w_1 unabhängig von welchen Standorten s_1 handelt, wird die Summe der Anliefermengen $\sum_{s_1} y_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}$ über alle Standorte s_1 verwendet.

$$\sum_{s_1} y_{w_1,s_1,w_2,s_2,p} = x_{w_2,s_2,p} \cdot M_{w_1,w_2} \quad \forall w_1, w_2, s_2, p \quad (7.2)$$

Für die Anlieferung von Material vom Beschaffungsmarkt gilt analog, dass die Summe der Anliefermengen $\sum_b y_{b,w,s,p}^B$ von allen Beschaffungsmärkten b zur Wertschöpfungsstufe w am Standort s der Periode p gleich der Produktionsmenge $x_{w,s,p}$ der Wertschöpfungsstufe w am Standort s der Periode p mal der Materialmengenangabe M_w^B sein muss.

$$\sum_b y_{b,w,s,p}^B = x_{w,s,p} \cdot M_w^B \quad \forall w, s, p \quad (7.3)$$

Über die drei Restriktionen (7.1), (7.2) und (7.3) wird sichergestellt, dass der reale Materialfluss vom Beschaffungsmarkt über die Wertschöpfungsstufen des intraorganisationalen Netzwerks bis hin zum Absatzmarkt eingehalten wird.

Beschaffungs- und Absatzmarktrestriktionen

Zusammenhänge zwischen den interorganisationalen Interdependenzen und den Absatz- bzw. Beschaffungsmärkten bestehen über die jeweiligen Bedarfe der Absatzmärkte sowie die jeweiligen Kapazitäten der Beschaffungsmärkte.

Die Bedienung der Absatzmärkte kann folgendermaßen erzwungen werden: Alle Transportmengen $y_{w,\cdot,a,p}^A$, die die Wertschöpfung w unabhängig vom Standort in Periode p zum Absatzmarkt a bringen, müssen den Bedarf $B_{w,a,p}$ des Absatzmarkts a an Wertschöpfung w in Periode p decken. Somit muss die Summe der Transportmengen in einen Absatzmarkt $\sum_s y_{w,s,a,p}^A$ den zum Absatzmarkt gehörenden Bedarf mindestens entsprechen.

$$\sum_s y_{w,s,a,p}^A \geq B_{w,a,p} \quad \forall w, a, p \quad (7.4)$$

Die Liefermengen $y_{b,w,\cdot,p}^B$ eines Beschaffungsmarkts b für eine Wertschöpfung w innerhalb einer Periode p kann möglicherweise kapazitiv beschränkt sein, wenn Materialien für Wertschöpfung w nur in einer gewissen Menge $K_{b,w}$ im Beschaffungsmarkt b zur Verfügung stehen. Daher darf in allen Perioden p die Summe der Liefermengen von einem Beschaffungsmarkt zu einer Wertschöpfungsstufe $\sum_s y_{b,w,s,p}^B$ nicht die Kapazität übersteigen.

$$\sum_s y_{b,w,s,p}^B \leq K_{b,w} \quad \forall b, w, p \quad (7.5)$$

Besteht keine Beschränkung der Kapazität $K_{b,w}$, bewirkt die Belegung von $K_{b,w}$ mit einer beliebig großen Zahl $BigM^2$, dass die Restriktion (7.5) keine Einschränkung auf die Mengen der Beschaffungsverbindungen darstellt. Dass eine kapazitive Einschränkung über die Gesamtmenge eines Beschaffungsmarkts unabhängig der Wertschöpfungsstufe existiert, wird als unrealistisch erachtet und daher nicht weiterverfolgt.

Ebenso spielen Kapazitätsaspekte im intraorganisationalen Netzwerk eine Rolle. Grundsätzlich müssen allerdings keine Kapazitätsbeschränkungen vorliegen. Dann können zum einen Ressourcen in beliebigem Ausmaß aus- und/oder abgebaut werden. Darunter fallen insbesondere die beliebige Erweiterung und das Schließen von Standorten. Zum anderen können an jedem Standort sowohl die Fähigkeiten zur Durchführung aller Wertschöpfungsstufen aufgebaut als auch Fähigkeiten abgebaut werden. Der uneingeschränkte Abbau einer Wertschöpfungsstufe ist möglich, wenn der Standort nicht auf deren Durchführung angewiesen ist, weil z. B. keine Gefahr des Know-how-Abflusses besteht und hochqualifizierte Mitarbeiter anderweitig wirtschaftlich eingesetzt werden können. In der Realität sind meist nicht alle Möglichkeiten gegeben, so dass innerhalb der Modellierung Beschränkungen von Kapazitäten ermöglicht werden müssen.

Kapazitätsrestriktionen

Kapazität kann sich auf zweierlei Fähigkeiten beziehen. Gängig ist die Frage nach dem „Wie viel“ – beispielsweise wie viel Ausbringung eine Ressource hat. Mindestens genauso wichtig ist die Frage nach dem „Was“, zum Beispiel welche Produkte bzw. Varianten die Ressource fertigen kann.

Bei der Aufgabe der Wertschöpfungsverteilung gilt es, die Kapazitäten sowohl der Standorte als auch der Wertschöpfungsstufen wie folgt zu berücksichtigen.

Das „Wie viel“ eines Standorts hängt von der zur Verfügung stehenden Fläche und deren Nutzungsgrad ab. Der Nutzungsgrad wird maßgeblich von den eingesetzten Maschinen und Mitarbeitern beeinflusst. In der Regel werden vorhandene Maschinen umgezogen oder gegebenenfalls Maschinen vom bereits eingesetzten Typ nachgekauft. Unter der Annahme, dass an allen Standorten dieselbe Technologie mit gleichem Automatisierungsgrad eingesetzt wird, bedürfen die Maschinen an dieser Stelle keiner spezifischen Berücksichtigung. Vielmehr gehen diese in die Modellierung des Nutzungsgrads mit einer konstanten durchschnittlichen Ausbringung ein. Allerdings haben Veränderungen im Maschinenpark eines Standorts hinsichtlich der Anzahl einsatzfähiger Maschinen Auswirkungen auf die Fixkosten, die an anderer Stelle in die Modellierung eingehen. Zudem fließen diese Veränderungen losgelöst vom Modell in die Ermittlung der Investitionskosten – als Umzugskosten, Invest, Entsorgungskosten oder Einnah-

²*BigM* steht für eine „hinreichend große Zahl“. Ihr genauer Wert hängt von den Daten einer konkreten Aufgabenstellung ab und ist so groß, dass die entsprechenden realen Daten diesen Wert in keinem Fall erreichen können.

mequelle. Mitarbeiter hingegen können in der Regel nicht umgezogen und bei der Einstellung neuer Mitarbeiter eventuell nicht auf dieselben Qualifikationen zurückgegriffen werden, so dass sich möglicherweise Unterschiede in der Produktivität ergeben. Da die Verfügbarkeit von qualifizierten Mitarbeitern beim „Was“ des Standorts berücksichtigt wird, sollen an dieser Stelle die möglichen Unterschiede im Produktivitätsniveau vernachlässigt werden. Die durch den Aufbau bzw. Abbau von Mitarbeitern verursachten Kosten müssen wiederum in die Investitionsberechnungen integriert werden. Unter diesen Annahmen stellt die Fläche des Standorts mit dessen Nutzungsgrad in Form der Maschinenausbringung den begrenzenden Faktor dar.

Die Fläche eines Standorts gilt im strategischen Sinn als begrenzt, wenn ein Ausbau des Standorts nicht oder nur in einem begrenzten Maß möglich ist. In diesem Fall muss die Fläche, die die Produktion der gesamten Menge $x_{w,s,p}$ des Standorts s über alle Wertschöpfungsstufen w während einer Periode p benötigt, kleiner gleich der zur Verfügung stehenden Fläche K_s^{max} sein. Um die für die Produktion benötigte Fläche berechnen zu können, muss bekannt sein, wie viel Fläche F_w die Produktion eines Stücks einer bestimmten Wertschöpfung w benötigt. Diese ist abhängig vom Nutzungsgrad, der bereits als konstant definiert wurde. Somit wird ein gleichmäßiger Flächenverbrauch F_w je Stück angenommen. Damit lautet die Standortkapazitätsrestriktion zur Berücksichtigung einer Obergrenze der Standortfläche folgendermaßen:

$$\sum_w (x_{w,s,p} \cdot F_w) \leq K_s^{max} \quad \forall s, p \quad (7.6)$$

Die Fläche eines Standorts kann nicht nur durch begrenzte Ausbaumöglichkeiten beschränkt, sondern aufgrund von Unverkäuflichkeit oder der fehlenden Möglichkeit, Teile der Flächen zu vermieten, als Besitz K_s^{min} vorgegeben sein. Für diesen Besitz fallen auch im Falle der Nichtnutzung in jeder Periode Fixkosten $K_o_s^{fix}$ je ungenutztem Quadratmeter an. Da es sich um eine Grundsatzentscheidung handelt, ob ein Standort leer steht oder genutzt wird, wird hier ein durchschnittlicher Wert für alle Perioden angenommen. Nun gilt es, die ungenutzte Fläche $F_{s,p}^u$ je Standort s in jeder Periode p zu bestimmen und die für diese Fläche anfallenden Kosten zu minimieren. Die ungenutzte Fläche $F_{s,p}^u$ eines Standorts s in Periode p ergibt sich aus der Subtraktion der für die Produktion benötigten Fläche $\sum_w (x_{w,s,p} \cdot F_w)$ von der Mindestfläche K_s^{min} . Durch die Definition der ungenutzten Fläche $F_{s,p}^u$ als nichtnegative Zahl wird verhindert, dass die ungenutzte Fläche negative Werte der Subtraktion annimmt. Dies wird über folgende Restriktionen (7.7) und (7.8) realisiert.

$$F_{s,p}^u \geq K_s^{min} - \sum_w (x_{w,s,p} \cdot F_w) \quad \forall s, p \quad (7.7)$$

$$F_{s,p}^u \geq 0 \quad \forall s, p \quad (7.8)$$

Die anfallenden Kosten für ungenutzte Fläche je Standort s und Periode p ergibt sich aus der Multiplikation der ermittelten ungenutzten Fläche $F_{s,p}^u$ mit dem Fixkostensatz $K_o_s^{fix}$. Durch

die Integration dieser Kosten für alle Standorte s und Perioden p in die Zielfunktion, die Kosten und weitere qualitative Werte minimiert, wird erzwungen, dass die jeweiligen ungenutzten Fläche $F_{s,p}^u$ in (7.7) den minimalen Wert annehmen. Die Integration erfolgt über folgenden Term (7.9).

$$\min \sum_{s,p} F_{s,p}^u \cdot K_o_s^{fix} \quad (7.9)$$

Die Fixkosten der nicht als begrenzt angenommenen Ressourcen Maschinen und Mitarbeiter sowie weitere Fixkosten gehen in Form von Gestaltungskriterien in die Zielfunktion ein.

Das „Was“ eines Standorts bezieht sich innerhalb der Wertschöpfungsverteilung auf die Fähigkeit, welche Wertschöpfungsstufen durchgeführt werden können bzw. müssen. Für einen Standort s kann gelten, dass dieser nicht in der Lage ist und zukünftig auch nie sein wird, eine bestimmte Wertschöpfungsstufe w durchzuführen, weil z. B. die dafür notwendige Kompetenz am Standort fehlt und nicht aufgebaut werden kann. Ist eine Standort-Wertschöpfungs-Kombination nicht möglich, kann dies durch eine Kapazität $K_{w,s}^{max}$ am Standort s für Wertschöpfungsstufe w von 0 ausgedrückt werden. Mithilfe $K_{w,s}^{max}$ kann auch eine obere Grenze für die Produktionsmenge einer Wertschöpfungsstufe w am Standort s realisiert werden, wenn zum Beispiel qualifiziertes Personal nur begrenzt zur Verfügung steht. Soll keine Einschränkung für die Produktionsmenge einer Wertschöpfungs-Standort-Kombination gelten, wird $K_{w,s}^{max}$ gleich $BigM$ gesetzt. Somit kann die am Standort s produzierte Menge $x_{w,s,p}$ der Wertschöpfungsstufe w für alle Perioden p kleiner gleich der maximal verfügbaren Kapazität $K_{w,s}^{max}$ gesetzt werden:

$$x_{w,s,p} \leq K_{w,s}^{max} \quad \forall w, s, p \quad (7.10)$$

Ebenso kann aus vorangegangenen Untersuchungen bekannt sein, dass ein Standort s eine bestimmte Wertschöpfungsstufe w ausführen sollte, da beispielsweise die Wertschöpfungsstufe w die Kernkompetenz des Standorts s darstellt. Dies kann über eine Mindestkapazität $K_{w,s}^{min}$ der Wertschöpfungsstufe w am Standort s realisiert werden. Besteht keine Vorgabe für eine Wertschöpfungs-Standort-Kombination wird $K_{w,s}^{min}$ gleich 0 gesetzt. Somit kann die Produktionsmenge $x_{w,s,p}$ der Wertschöpfungsstufe w am Standort s für alle Perioden p größer gleich der Mindestkapazität $K_{w,s}^{min}$ der Wertschöpfungsstufe w am Standort s gesetzt werden:

$$x_{w,s,p} \geq K_{w,s}^{min} \quad \forall w, s, p \quad (7.11)$$

Abbildung 7.6 fasst die Kapazitätsrestriktionen für die Standorte zusammen.

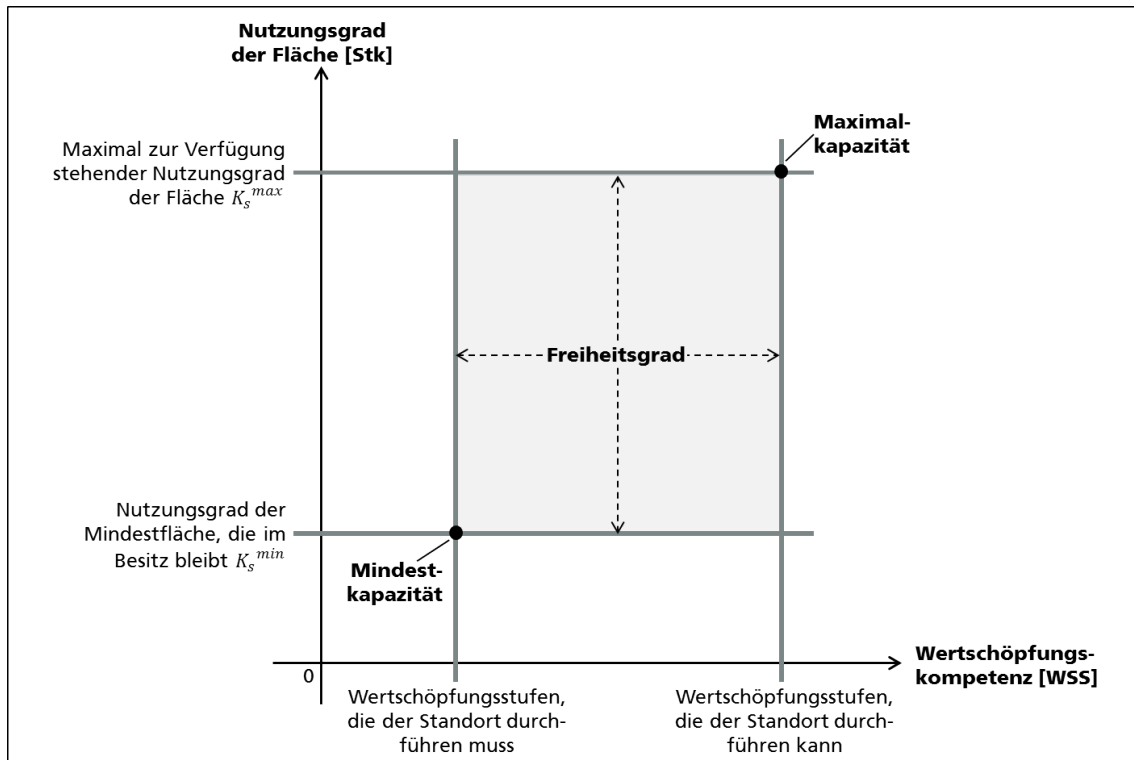


Abbildung 7.6.: Veranschaulichung der Standortkapazität

Neben den Standorten können die Wertschöpfungsstufen bzw. die Ressourcen von Wertschöpfungsstufen kapazitiv beschränkt sein. Im Folgenden wird daher auf Kapazitätsrestriktionen der Wertschöpfungsstufen eingegangen, indem wieder die beiden Dimensionen „Absatz“ und „Variantenvielfalt“ unterschieden werden.

Der Absatz einer Wertschöpfungsstufe ist in Form der Bedarfe der Absatzmärkte vorgegeben. Da die Möglichkeit des Outsourcing eines Teils der Wertschöpfungsstufe ausgeschlossen ist (vgl. Kapitel 2.3.3), müssen je Wertschöpfungsstufe so viele Ressourcen zur Verfügung stehen, dass die Absatzmenge bedient werden kann. Daher muss die Ausbringungskapazität einer Wertschöpfungsstufe der Absatzmenge entsprechen und darf keinen Kapazitätsrestriktionen unterliegen.

Die Produktvielfalt einer Wertschöpfungsstufe ist ebenfalls anhand der Bedarfe vorgegeben, so dass das „Was“ einer Wertschöpfungsstufe eindeutig definiert ist. Auch hier dürfen keine Restriktionen bzgl. einer Wertschöpfungskompetenz vorliegen.

Abbildung 7.7 verdeutlicht die Vorgaben der Absatzmärkte, denen die Kapazität einer Wertschöpfungsstufe begegnen muss. Unter der Annahme, dass Transport-Speditionen alle Aufträge und Auftragsmengen bedienen, werden Kapazitätsrestriktionen für Transporte vernachlässigt.

Insgesamt werden mit den Kapazitätsrestriktionen größtmögliche Kapazitätsfenster festgelegt, innerhalb derer ein Standort bzw. eine Wertschöpfungs-Standort-Kombination produzieren

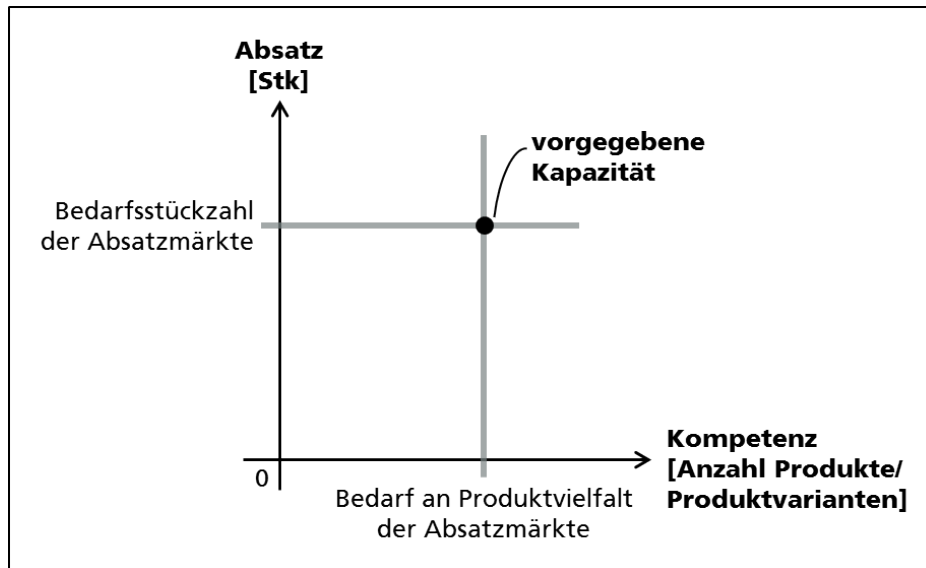


Abbildung 7.7.: Vorgaben der Absatzmärkte an die Kapazität einer Wertschöpfungsstufe

kann. Diese Fenster umfassen den möglichen Aufbau derzeit nicht vorhandener Flächen mit den zugehörigen Ressourcen bzw. das Freisetzen vorhandener Flächen und entsprechender Ressourcen an bestimmten Standorten. Zusätzlich ist darüber der Umzug vorhandener Ressourcen einer Wertschöpfungsstufe von einem Standort zu einem anderen Standort mit dem dazu notwendigen Personalauf- bzw. -abbau abgedeckt. Da diese Veränderungen nur in größeren zeitlichen Abständen erfolgen können, werden zusätzliche Restriktionen benötigt, die die Schwankungen der Produktionsmengen einer Wertschöpfungs-Standort-Kombination über den zeitlichen Verlauf hinweg limitieren. Daher werden im Folgenden sogenannte Flexibilitätsrestriktionen eingeführt.

Flexibilitätsrestriktionen

Aus strategischer Sicht bezieht sich die Flexibilität auf die Schwankungen der Produktionsmengen von Periode zu Periode. Dabei stehen im Falle der Wertschöpfungsverteilung nicht die durch die Bedarfe vorgegebenen Schwankungen im Mittelpunkt, denen in jedem Fall mithilfe der Bedarfsrestriktion (7.4) begegnet wird. Vielmehr gilt es, die Schwankungen, die durch die periodisch wiederkehrenden Umverteilungen der Wertschöpfung entstehen können, in den Fokus zu rücken. Werden derartige Schwankungen nicht beschränkt, kann eine Wertschöpfungsverteilung entstehen, die in der Praxis wirtschaftlich nicht umsetzbar ist. Beispielsweise kann die Produktionsmenge einer Wertschöpfungs-Standort-Zuordnung von 160.000 Stück in Periode eins in der zweiten Periode auf 0 reduziert werden, um in Periode drei wieder auf 160.000 Stück zu steigen, während an einem zweiten Standort dieselbe Wertschöpfung von 0 auf 160.000 Stück und zurück auf 0 schwankt. Daher wird Flexibilität für die Aufgabe der Wertschöpfungsverteilung wie folgt verstanden: Flexibilität ist ein Maß, um wie viel sich die Produktionsmengen der jeweiligen Wertschöpfungs-Standort-Kombinationen aufgrund einer neuen Wertschöpfungs-

verteilung von einer Periode auf die nächstfolgende Periode nach oben oder unten verändern können, ohne dass Baumaßnahmen, aufwändige Umzüge oder gravierende Personalveränderungen notwendig sind. Diese kann ein Netzwerk lediglich in angemessener Anzahl über den gesamten Betrachtungszeitraum verarbeiten.

Die Flexibilität $Flex_{p_V, p_N}$ von einer vorangehenden Periode p_V zu einer direkt nachfolgenden Periode p_N in dem beschriebenen strategischen Sinn wird für alle Wertschöpfungs-Standort-Kombinationen identisch angenommen. Diese drückt sich in einer Prozentzahl aus, die sich auf die Produktionsmenge x_{w, s, p_V} der vorangehenden Periode p_V bezieht. Dabei ist diese sowohl für Produktionsmengensteigerungen als auch Produktionsmengenrückgänge einzusetzen. Beispielsweise dürfen bei einer zulässigen Flexibilität von 10 % von Periode eins zu Periode zwei die Produktionsmengen der jeweiligen Wertschöpfungs-Standort-Kombinationen um höchstens 10 % zu- bzw. abnehmen.

Ausgehend von dieser Flexibilität $Flex_{p_V, p_N}$ je Vorgängerperiode p_V und direkter Nachfolgeperiode p_N muss einerseits die Produktionsmenge x_{w, s, p_N} einer Wertschöpfungsstufe w eines Standorts s der Folgeperiode p_N kleiner gleich der Produktionsmenge x_{w, s, p_V} dieser Wertschöpfungsstufe w des Standorts s der Vorgängerperiode p_V plus der zulässigen prozentualen Flexibilität $Flex_{p_V, p_N}$ von dieser Produktionsmenge x_{w, s, p_V} sein (vgl. Restriktion (7.12)).

$$x_{w, s, p_N} \leq x_{w, s, p_V} + Flex_{p_V, p_N} \cdot x_{w, s, p_V} \quad \forall w, s, p_V, p_N \mid p_N = p_{V+1} \quad (7.12)$$

Andererseits muss die Produktionsmenge x_{w, s, p_N} dieser Wertschöpfungsstufe w des Standorts s der Folgeperiode p_N größer gleich der Produktionsmenge x_{w, s, p_V} der Wertschöpfungsstufe w des Standorts s der direkten Vorgängerperiode p_V minus der zulässigen prozentualen Flexibilität $Flex_{p_V, p_N}$ der Produktionsmenge x_{w, s, p_V} sein (vgl. Restriktion (7.13)).

$$x_{w, s, p_N} \geq x_{w, s, p_V} - Flex_{p_V, p_N} \cdot x_{w, s, p_V} \quad \forall w, s, p_V, p_N \mid p_N = p_{V+1} \quad (7.13)$$

Abhängig von der Wertschöpfungsstufe w kann innerhalb des gesamten Betrachtungszeitraums eine bestimmte Anzahl an Verletzungen $V_w^{zul.}$ des Flexibilitätskorridors zulässig sein. Beispielsweise existieren Wertschöpfungsstufen, die einfach umzuziehen sind und daher in einem Zeitraum von zehn Jahren dreimal umgezogen werden können, wohingegen Wertschöpfungsstufen existieren, deren Verschiebung aufwändig und teuer ist und deren Verletzung des Flexibilitätskorridors bei zehn Jahren auf eins limitiert ist. Aus Modellierungssicht geben ganzzahlige Parameter für die Anzahl der zulässigen Verletzungen $V_w^{zul.}$ des Flexibilitätskorridors an, wie oft je Wertschöpfungsstufe w die entwickelten Restriktionen (7.12) und (7.13) von einer Vorgängerperiode p_V zu einer direkten Nachfolgeperiode p_N an jedem Standort s außer Kraft gesetzt werden dürfen.

Restriktion (7.12) hätte keine Auswirkung auf die Produktionsmenge x_{w, s, p_N} einer Wertschöpfungsstufe w eines Standorts s der Nachfolgeperiode p_N , wenn zu der Produktionsmenge

x_{w,s,p_V} der zugehörigen Vorgängerperiode p_V und dessen potenzieller Produktionsmengensteigerung $Flex_{p_V,p_N} \cdot x_{w,s,p_V}$ eine beliebig große Zahl $BigM$ addiert würde. Wird $BigM$ mit einer nicht-negativen ganzzahligen Hilfsvariablen v_{w,s,p_V} multipliziert, die im Normalfall auf den Wert 0 gezwungen wird und nur in Ausnahmefällen einen Wert größer 0 annehmen kann, kann mithilfe dieser Hilfsvariablen die Beschränkung der Produktionsmenge x_{w,s,p_N} der Nachfolgeperiode p_N bzw. die Verletzung dieser Beschränkung gesteuert werden. Dabei existiert die Hilfsvariable v_{w,s,p_V} nur für die Vorgängerperioden $p_V \in \{p_1, \dots, p_{P-1}\}$.

$$x_{w,s,p_N} \leq x_{w,s,p_V} + Flex_{p_V,p_N} \cdot x_{w,s,p_V} + BigM \cdot v_{w,s,p_V} \quad \forall w, s, p_V, p_N \mid p_N = p_{V+1} \quad (7.14)$$

Je Wertschöpfungsstufe w sind über den gesamten Betrachtungszeitraum und damit über alle Perioden die vorgegebene ganzzahlige Anzahl $V_w^{zul.}$ der Ausnahmefälle zulässig. Somit muss die Summe über alle Vorgängerperioden $p_V \in \{p_1, \dots, p_{P-1}\}$ der nicht-negativen ganzzahligen Hilfsvariablen v_{w,s,p_V} je Wertschöpfungsstufe w kleiner gleich der vorgegebenen Anzahl $V_w^{zul.}$ an Verletzungen sein.

$$\sum_{p_V \in \{p_1, \dots, p_{P-1}\}} v_{w,s,p_V} \leq V_w^{zul.} \quad \forall w, s \quad (7.15)$$

Zusätzlich soll die Anzahl der tatsächlich auftretenden Verletzungen des Flexibilitätskorridors nicht nur kleiner als die zulässige Anzahl sein, sondern in ihrer Gesamtheit möglichst gering gehalten werden. Dies wird erreicht, indem die Summe über alle Hilfsvariablen $\sum_{w,s,p_V \in \{p_1, \dots, p_{P-1}\}} v_{w,s,p_V}$ aller Wertschöpfungsstufen w aller Standorte s aller Vorgängerperioden p_V als Summand in eine Zielfunktion mit aufgenommen wird, die alle Werte minimiert.

$$\min \sum_{w,s,p_V \in \{p_1, \dots, p_{P-1}\}} v_{w,s,p_V} \quad (7.16)$$

Dieselbe Hilfsvariable v_{w,s,p_V} steuert ebenfalls die potenziellen Verletzungen der Restriktion (7.13). Daher kann diese analog zur Restriktion (7.12) um die Subtraktion einer beliebig großen Zahl $BigM$, die wiederum mit der Hilfsvariablen v_{w,s,p_V} multipliziert wird, erweitert werden.

$$x_{w,s,p_N} \geq x_{w,s,p_V} - Flex_{p_V,p_N} \cdot x_{w,s,p_V} - BigM \cdot v_{w,s,p_V} \quad \forall w, s, p_V, p_N \mid p_N = p_{V+1} \quad (7.17)$$

Bei einer Produktionsmenge von 0 in der vorangehenden Periode findet immer eine Verletzung des Flexibilitätskorridors statt, um in der nachfolgenden Periode auf eine Produktionsmenge größer 0 zu gelangen; unabhängig davon wie groß die Schwankung in der Produktionsmenge tatsächlich ist. Da der Neuaufbau einer Wertschöpfungsstufe an einem Standort immer mit einem hohen Aufwand verbunden ist, entspricht dieser Effekt innerhalb der Modellierung einem

realitätsnahen Abbild. Somit werden mithilfe der drei Flexibilitätsrestriktionen (7.14), (7.15) und (7.17) sowie des Terms der Zielfunktion (7.16) Schwankungen in den Produktionsmengen, die durch die periodisch wiederkehrenden Umverteilungen der Wertschöpfung entstehen, kontrolliert und sowohl in deren Umfang als auch deren Anzahl beschränkt und minimiert.

Analog sollen derartige Schwankungen in den Beschaffungsmengen beschränkt werden. Selten sind Beschaffungsmärkte bereit, in Periode eins eine große Menge an Wertschöpfung zu liefern, die in Periode zwei vollständig abgebaut wird, um in Periode drei wieder die ursprünglich große Menge derselben Wertschöpfung zur Verfügung zu stellen. Daher wird eine Beschaffungsflexibilität $Flex_{p_V, p_N}^B$ von einer Vorgängerperiode p_V zu einer direkten Nachfolgeperiode p_N eingeführt, die über alle Beschaffungsmärkte b und alle Wertschöpfungsstufen w sowohl für Mengensteigerungen als auch Mengenreduzierungen identisch angenommen wird. Diese Flexibilitätskorridore je Beschaffungsmarkt b und Wertschöpfungsstufe w dürfen innerhalb des Betrachtungszeitraums wiederum zu einer bestimmten Anzahl $VB_{b,w}^{zul.}$ je Beschaffungsmarkt b und Wertschöpfungsstufe w unabhängig vom Standort s verletzt werden. Daher muss einerseits die Summe über alle Standorte s der Beschaffungsmenge y_{b,w,s,p_N}^B von einem Beschaffungsmarkt b zu einer Wertschöpfungsstufe w der nachfolgenden Periode p_N kleiner gleich der Summe über alle Standorte s der Beschaffungsmenge y_{b,w,s,p_V}^B desselben Beschaffungsmarkts b zur selben Wertschöpfungsstufe w der direkt vorangehenden Periode p_V plus der zulässigen prozentualen Flexibilität $Flex_{p_V, p_N}^B$ von dieser Beschaffungsmenge y_{b,w,s,p_V}^B plus einer hinreichend großen Zahl $BigM$ sein, die mithilfe der Hilfsvariablen v_{b,w,p_V}^B je Beschaffungsmarkt b zur Wertschöpfungsstufe w für Periode p_V aktiviert bzw. deaktiviert werden kann.

$$\sum_s y_{b,w,s,p_N}^B \leq \sum_s y_{b,w,s,p_V}^B + Flex_{p_V, p_N}^B \cdot \sum_s y_{b,w,s,p_V}^B + BigM \cdot v_{b,w,p_V}^B \quad \forall b, w, p_V, p_N \mid p_N = p_{V+1} \quad (7.18)$$

Andererseits muss diese Summe über alle Standorte s der Beschaffungsmenge y_{b,w,s,p_N}^B von einem Beschaffungsmarkt b zu einer Wertschöpfungsstufe w der nachfolgenden Periode p_N größer gleich der Summe über alle Standorte s der Beschaffungsmenge y_{b,w,s,p_V}^B desselben Beschaffungsmarkts b zur selben Wertschöpfungsstufe w der direkt vorangehenden Periode p_V minus der zulässigen prozentualen Flexibilität $Flex_{p_V, p_N}^B$ von dieser Beschaffungsmenge y_{b,w,s,p_V}^B minus einer hinreichend großen Zahl $BigM$ sein, die mithilfe der Hilfsvariablen v_{b,w,p_V}^B je Beschaffungsmarkt b zur Wertschöpfungsstufe w für Periode p_V aktiviert bzw. deaktiviert werden kann.

$$\sum_s y_{b,w,s,p_N}^B \geq \sum_s y_{b,w,s,p_V}^B - Flex_{p_V, p_N}^B \cdot \sum_s y_{b,w,s,p_V}^B - BigM \cdot v_{b,w,p_V}^B \quad \forall b, w, p_V, p_N \mid p_N = p_{V+1} \quad (7.19)$$

Die nicht-negativen ganzzahligen Hilfsvariablen v_{b,w,p_V}^B , die angeben, ob die Beschaffungsflexibilität des Beschaffungsmarkts b zur Wertschöpfungsstufe w von Periode p_V zur direkten

Nachfolgeperiode p_N verletzt wird, sind in ihrer Summe über die Vorgängerperioden $p_V \in \{p_1, \dots, p_{P-1}\}$ hinweg je Beschaffungsmarkt b einer Wertschöpfungsstufe w durch die zulässige Anzahl an Verletzungen $VB_{b,w}^{zul.}$ der Beschaffungsflexibilität beschränkt.

$$\sum_{p_V \in \{p_1, \dots, p_{P-1}\}} v_{b,w,p_V}^B \leq VB_{b,w}^{zul.} \quad \forall b, w \quad (7.20)$$

Zudem wird die Anzahl der tatsächlich auftretenden Verletzungen der Beschaffungsflexibilität wiederum mithilfe eines Terms, der in die Zielfunktion integriert wird, minimiert.

$$\min \sum_{b,w,p_V \in \{p_1, \dots, p_{P-1}\}} v_{b,w,p_V}^B \quad (7.21)$$

Auf diese Weise können analog zu den Schwankungen der Produktionsmengen Schwankungen in den Beschaffungsmengen, die durch die periodisch wiederkehrenden Umverteilungen der Wertschöpfung entstehen, kontrolliert und in Umfang sowie Anzahl beschränkt und minimiert werden.

7.1.3. Implementierung des Modells der Wertschöpfungsverteilung

Dem Modellierungszyklus aus Kapitel 6.2 folgend wird die in Kapitel 7.1.2 entwickelte mathematische Modellierung der Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung implementiert. Dies erfolgt über eine Modellierungssprache, die das Modell inklusive entsprechender Daten für einen Operations Research Solver aufbereitet. Die Parametrisierung mit den Daten ist über eine Datenschnittstelle zu Tabellenkalkulationsprogrammen oder Datenbanken möglich. Insgesamt entsteht somit die in Abbildung 7.8 dargestellte und im Folgenden erläuterte Architektur.

Die Modellierungssprache dient der Realisierung der mathematischen Formulierungen aus Kapitel 7.1.2. Grundlage stellt dabei die Definition der Indizes, Parameter und Variablen dar. Die Indizes Wertschöpfungsstufen, Standorte, Perioden, Beschaffungsmärkte und Absatzmärkte werden als strings angelegt. Als Parameter treten die Mengenangaben aus den Stücklisten, Bedarfe, Kapazitäts- und Flexibilitätsangaben sowie die Hilfsgröße *BigM* auf. Die Variablen Produktionsmenge, Transportmenge, Beschaffungsmenge und Absatzmenge sind als positive Gleitzahl gekennzeichnet. Die Formulierung der Restriktionen erfolgt analog der mathematischen Schreibweise. Die in einer Zielfunktion zu ergänzenden Terme werden bei dieser ersten Implementierung vernachlässigt. Ergebnis stellt das in einer sogenannten Modelldatei gespeicherte mathematische Modell dar.

Eine zweite Datei dient der Handhabung von Daten. Zur Bereitstellung für das mathematische Modell werden die Daten entweder direkt in die Datei eingegeben oder aus externen Programmen eingelesen. In der vorliegenden Arbeit wurden aufgrund der Anwenderfreundlichkeit die Daten eingelesen. In diesem Fall stellt ein Befehl innerhalb der Datendatei eine Verbindung

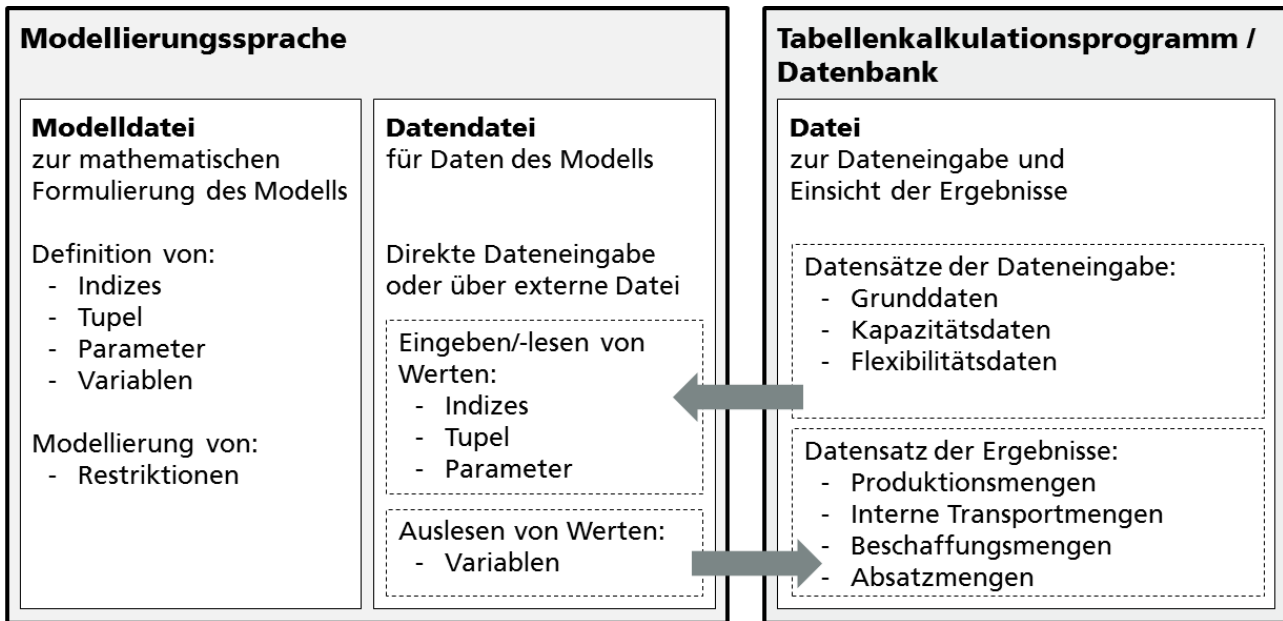


Abbildung 7.8.: Architektur zur Implementierung des Modells zur Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken

mit einer externen Datei her. Zudem wird für jeden Index und jeden Parameter angegeben, von wo die zugehörigen Daten einzulesen sind. Dieses Vorgehen macht die Definition von Hilfstupeln notwendig, die eine Kombination mehrerer Indizes, z. B. eine Wertschöpfungsstufen-Standort-Perioden-Kombination, zu einem Index vereint. Des Weiteren unterstützt die Datendatei die Ausgabe von Ergebnissen. Hierfür wird festgelegt, an welche Position die Werte aller Variablen in der externen Datei geschrieben werden sollen.

Für den gewählten Fall ist eine Datei zur Datenein- und -ausgabe erforderlich. In dieser sind für jeden Index die Werte gespeichert, die er annehmen kann. Für jeden Parameter liegt je Indexwert bzw. je Hilfstupelausprägung die entsprechende Angabe vor. Die Hilfstupel dienen dabei als übersichtliche Hilfestellung für die Dateneingabe und werden von dort direkt der Datendatei zur Verfügung gestellt. Zur Datenausgabe der Ergebnisse der Variablen sind in einem neuen Datensatz die Hilfstupel vorbereitet, so dass das ausgelesene Ergebnis sofort interpretierbar ist.

Um den Aufwand der Dateneingabe für den Entscheider gering zu halten, sind bestimmte Daten mit definierten Werten vorbelegt. Darunter fallen in erster Linie Kapazitäts- und Flexibilitätsparameter. Begrenzende Kapazitätsgrößen wie die maximale Kapazität eines Standorts, eines Beschaffungsmarkts oder einer Wertschöpfungs-Standort-Kombination sind mit *BigM* vorbelegt, so dass der Anwender lediglich Daten eingeben muss, wenn eine Kapazitätsbeschränkung vorliegt. Im Umkehrschluss sind Mindestkapazitäten mit dem Wert 0 belegt. Analog sind die Flexibilität und die erlaubte Anzahl an Flexibilitätsüber- bzw. -unterschreitungen wiederum auf *BigM* gesetzt. Beide Parameter können vom Entscheider abgeändert werden. Bei der

Festlegung der Flexibilität gilt es, die bereits durch die Bedarfe vorgegebenen Schwankungen miteinzubeziehen.

Des Weiteren ist zur Unterstützung bei der Lösung des Modells die Möglichkeit gegeben, die Mengen ausgewählter Transportwege direkt auf 0 zu setzen. Dies ist insbesondere für solche Wege relevant, die in der Realität nicht auftreten, wie beispielsweise der Transport von einer nach- zu einer vorgelagerten Wertschöpfungsstufe. Die Realisierung erfolgt über folgende Kapazitätsrestriktionen:

$$y_{w_1, s_1, w_2, s_2, p} \leq K_{w_1, s_1, w_2, s_2, p}^{max} \quad \forall w_1, s_1, w_2, s_2, p \quad (7.22)$$

$$y_{b, w, s, p}^B \leq K_{b, w, s, p}^{max} \quad \forall b, w, s, p \quad (7.23)$$

$$y_{w, s, a, p}^A \leq K_{w, s, a, p}^{max} \quad \forall w, s, a, p \quad (7.24)$$

Bei der Erstellung der Datenvorlage wird deutlich, dass eine große Menge an Variablen im Modell benötigt wird. Insbesondere die Transportmengenvariable $y_{w_1, s_1, w_2, s_2, p}$ tritt aufgrund ihres 5-stelligen Index in großer Anzahl auf. Daher kann bei außergewöhnlich großem Gestaltungsbereich manche Software an ihre Grenzen stoßen. In solchen Sonderfällen ist dies bei der Auswahl der Software zu berücksichtigen. In der Regel sind allerdings wie in den vorliegenden Anwendungsfällen gängige Tabellenkalkulationsprogramme ausreichend.

7.2. Modell für Gestaltungskriterien der Wertschöpfungsverteilung

Dieser Abschnitt widmet sich der Beantwortung der Unterforschungsfrage „Anhand welcher quantitativen und qualitativen Kriterien lässt sich die Güte der Wertschöpfungsverteilung erklären und bestimmen?“ Die Entwicklung einer Logik zur Abbildung von quantitativen und qualitativen Gestaltungskriterien in Kapitel 7.2.1 legt dafür die Grundlagen. Darauf aufbauend wird in Kapitel 7.2.2 die Logik mithilfe mathematischer Formulierungen modelliert. Die Implementierung der Modellierung in Kapitel 7.2.3 schließt das vorliegenden Unterkapitel ab.

7.2.1. Logik zur Abbildung von Gestaltungskriterien

Grundlagen sowie Literaturübersichten zu „quantitativen und qualitativen Kriterien zur Wertschöpfungsverteilung“ waren Inhalt des Kapitels 3. Daraus konnten Anforderungen an einen Ansatz zur Wertschöpfungsverteilung nach quantitativen und qualitativen Kriterien in Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung hergeleitet werden, die im Folgenden die Entwicklung der Logik zur Abbildung der Realität dominieren.

Quantitative und qualitative Kriterien

Zentrale Anforderung an die Gestaltungskriterien stellt die Berücksichtigung sowohl „quantitativer als auch qualitativer Kriterien“ dar. Quantitative Kriterien sind in Kapitel 3.1 als direkt monetär bewertbar und qualitative Kriterien als nicht direkt monetär bewertbar definiert. Damit werden quantitative Kriterien in einer anderen Einheit als qualitative Kriterien quantifiziert. Dies hat zur Folge, dass Bewertungen quantitativer Kriterien nicht direkt mit Bewertungen qualitativer Kriterien mittels einer einheitlichen Kennzahl zusammengeführt werden können. Viele Autoren bewerten aus diesem Grund qualitative Kriterien monetär über indirekte Wege (vgl. Jacob (2006, S. 42-68), Kohler (2008, S. 40-59)). Da diese Versuche sich in der Praxis nicht bewährt haben, wird in dieser Arbeit bei der Abbildung von quantitativen und qualitativen Gestaltungskriterien die Logik verfolgt, sich nicht auf eine Kennzahl zu beschränken. Quantitative Kriterien dürfen wie qualitative Kriterien auf die bewährte Art und Weise quantifiziert werden und sind getrennt voneinander zu führen.

Innerhalb der qualitativen Kriterien sollen „sowohl Kriterien mit positiver Auswirkung als auch Kriterien mit negativer Auswirkung“ Berücksichtigung finden. In Kapitel 3.2 sind die Kriterien mit positiver Auswirkung als Erfolgspositionen und die Kriterien mit negativer Auswirkung als Risiken definiert. Die Bewertungen der Erfolgspositionen und der Risiken erfolgen anhand von Skalen (vgl. Kapitel 3.2) und weisen damit dieselbe Einheit auf. Da eine hohe Bewertung bei den Erfolgspositionen positiv, bei den Risiken allerdings negativ interpretiert wird, muss in der Logik zur Abbildung quantitativer und qualitativer Kriterien die Trennung zwischen Erfolgspositionen und Risiken beibehalten werden. Damit bleiben auch die Themen der Erfolgspositionen, mit denen das Unternehmen sich definitiv auseinanderzusetzen hat, und die Bedrohungen der Risiken, die nur mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit eintreten, transparent.

Insgesamt unterscheidet die Logik zur Abbildung von quantitativen und qualitativen Gestaltungskriterien in die Kategorien „Kosten“, „Erfolgspositionen“ und „Risiken“, welche die Attribute der Wertschöpfungsverteilung darstellen.

Visualisierung quantitativer und qualitativer Kriterien Diese Logik der Einteilung der Kriterien in drei Kategorien spiegelt sich in der Visualisierung quantitativer und qualitativer Kriterien wider. Diese erfolgt, wie in Abbildung 7.9 dargestellt, anhand dreier Balken, deren Höhe die Bewertung von Kriterien der jeweiligen Kategorie wiedergibt. Dabei bezieht sich der dargestellte Wert der Kategorie Kosten auf eine auf Geldeinheiten basierende Achse auf der linken Seite. Die Werte der Kategorien Erfolgspositionen und Risiken orientieren sich an der rechten Achse – einer Skala aus natürlichen Zahlen. In der Kategorie Kosten werden die Kosten der einzelnen Kriterien aufsummiert. In den Kategorien Erfolgspositionen und Risiken wird aus den Bewertungen der jeweiligen Kriterien der Durchschnitt gebildet, um in der definierten und

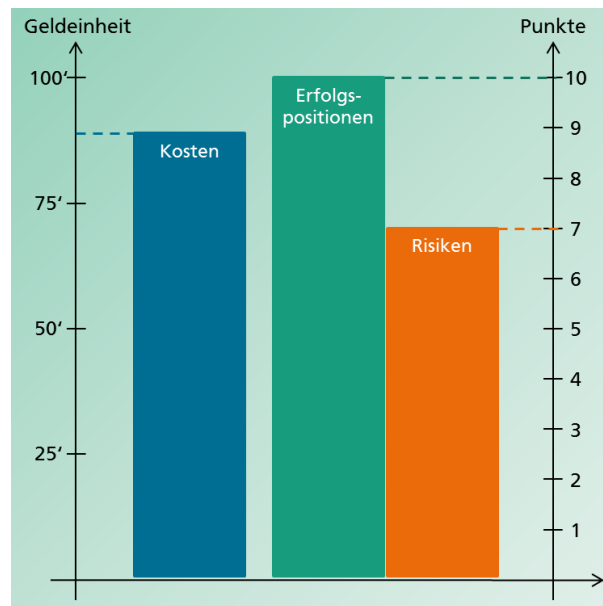


Abbildung 7.9.: Logik zur Abbildung quantitativer und qualitativer Gestaltungskriterien

für den Anwender gewohnten Skala von z. B. 0 bis 10 zu bleiben. In beiden Fällen können die jeweiligen Kriterien innerhalb einer Kategorie gewichtet werden.

Güte einer Wertschöpfungsverteilung

Die identifizierten Attribute Kosten, Erfolgspositionen und Risiken dienen nach Definition der Charakterisierung der Güte einer Wertschöpfungsverteilung. Diese Güte einer Wertschöpfungsverteilung eines Produktionsnetzwerks der diskreten Fertigung ergibt sich aus der Güte der jeweiligen einzelnen Objekte des Produktionsnetzwerks (Prinz und Bauernhansl 2013, S. 107). Darunter fallen die Objekte der in Kapitel 7.1.1 identifizierten Typen Wertschöpfungs-Standort-Zuordnung, interne Interdependenz, Interdependenz vom Beschaffungsmarkt und Interdependenz zum Absatzmarkt. Für die Bewertung der Güte eines Objekts können je Objekttyp innerhalb der drei Attribute verschiedene spezifische Kriterien relevant sein. Zur Ermittlung der Gesamtgüte werden die Kosten aus allen Produktionsnetzwerk-Objekten aufsummiert, während aus den Erfolgspositionen und Risiken aller Objekte ein Durchschnittswert gebildet wird. Auf diese Weise ist die Güte einer Wertschöpfungsverteilung in den drei Kategorien Kosten, Erfolgspositionen und Risiken quantifiziert und stellt somit die Kenngröße dar, die es zu optimieren gilt.

Visualisierung der Güte einer Wertschöpfungsverteilung Die Visualisierung der Güte einer Wertschöpfungsverteilung ergibt sich, wie in Abbildung 7.10 gezeigt, aus der Visualisierung der Güte aller einzelnen Objekte des Produktionsnetzwerks. Für jedes Objekt wird die Güte anhand von Balken visualisiert, deren Höhe die Bewertung der Kosten, Erfolgspositionen und Risiken über mehrere Perioden hinweg darstellen. Diese Art der Abbildung ermöglicht die

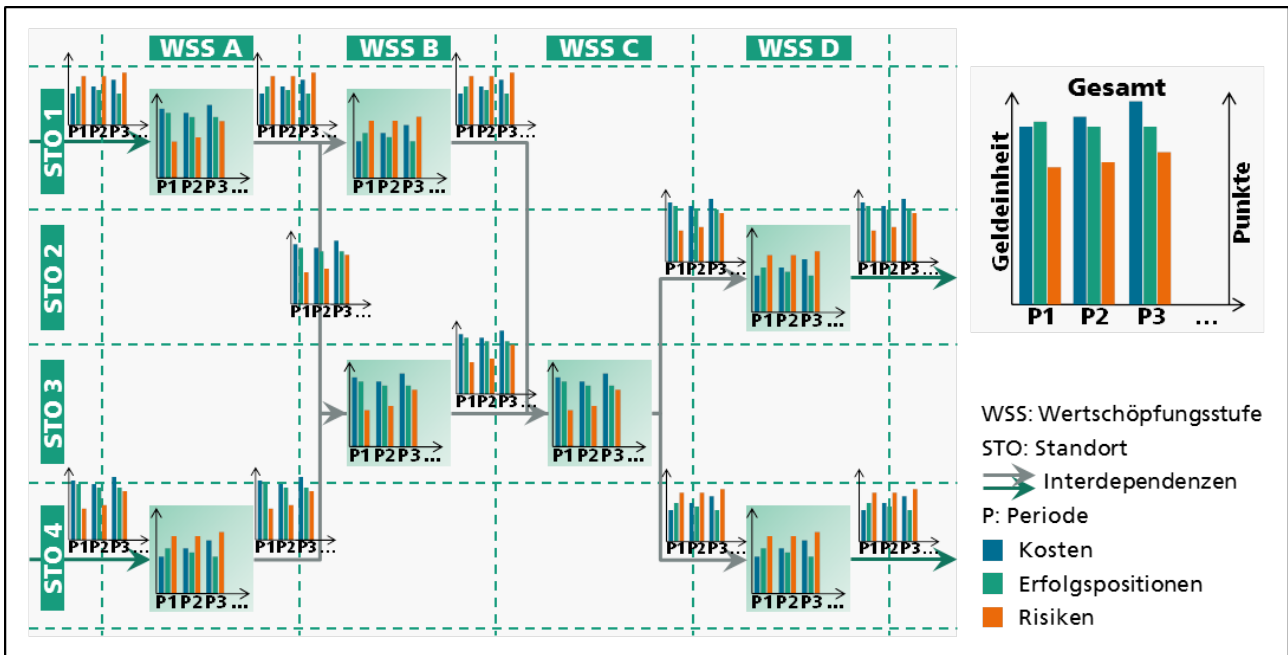


Abbildung 7.10.: Logik zur Abbildung der Güte einer Wertschöpfungsverteilung

Identifikation von Produktionsnetzwerk-Objekten als Kostentreiber, Erfolgspositionen-stark, beispielsweise im Sinne von effizient oder nachhaltig, bzw. als Risikotreiber.

Unternehmens- bzw. Entscheidungsstrategien

Die Trennung von Kosten, Erfolgspositionen und Risiken ermöglicht die Umsetzung der Anforderung „Berücksichtigung verschiedener Strategien der Unternehmen sowie Entscheider“. Hierzu können entsprechend der Strategie die jeweiligen Kriterienkategorien gewichtet werden (vgl. Abbildung 7.11). Strebt ein Unternehmen z. B. die Kostenführerschaft an, steht die Kategorie Kosten mit einer sehr hohen Gewichtung im Fokus. Risikoaverse Entscheider gewichten die Kategorie Risiko sehr hoch, während eine nachhaltige Strategie das Gewicht auf die Erfolgspositionen legt. In der Regel wird die Strategie eines Unternehmens bzw. eines Entscheiders eine beliebige Mischung aus den drei genannten Extremen sein. Diese kann durch die entsprechende Gewichtung der Kategorien Kosten, Erfolgspositionen und Risiken umgesetzt werden.

Ist ein Kriterium innerhalb einer Kategorie besonders bedeutend für ein Unternehmen, können bei der Berechnung des Durchschnittswerts einer Kategorie die einzelnen Kriterien mit unterschiedlichen Gewichtungen eingehen. Da die jeweiligen Kriterien frei wählbar sind, ist eine flexible Abbildung von individuellen Unternehmens- bzw. Entscheidungsstrategien möglich.

Instanziierung der quantitativen und qualitativen Kriterien

Der Fokus der bisherigen Entwicklung der Logik zur Abbildung von Gestaltungskriterien zur Wertschöpfungsverteilung lag auf der strukturierten Betrachtung und Verarbeitung von sowohl

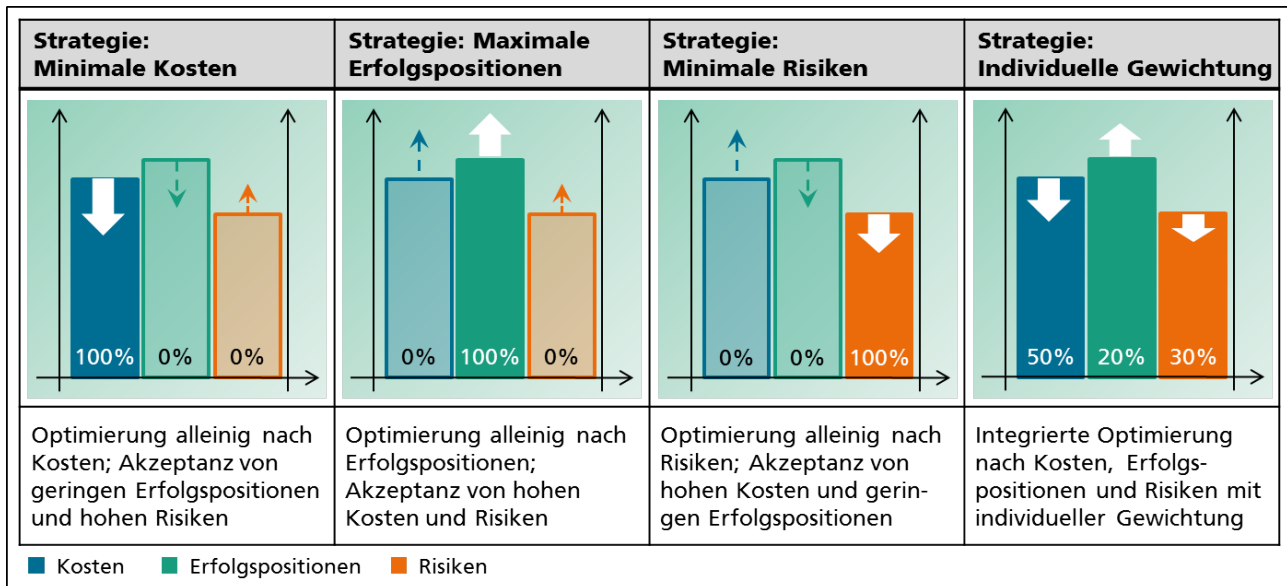


Abbildung 7.11.: Berücksichtigung verschiedener Unternehmensstrategien

quantitativen als auch qualitativen Kriterien und ergab die Kriterienkategorien Kosten, Erfolgspositionen und Risiken. Um zu konkreten Kriterien zu gelangen, gilt es die Kriterienkategorien zu instanzieren. Betrachtungsumfang stellen dabei Kriterien dar, die die Güte der Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken charakterisieren. Allerdings sollen Kriterien über die bisherigen Ansätze hinaus „umfassend berücksichtigt werden“. Dies gelingt, indem relevante Kriterien aus der Standortplanung und dem Risikomanagement integriert werden. Somit gibt der Umfang der Wertschöpfung den inhaltlichen Rahmen der Instanz vor, während die bestehenden Ansätze der Wertschöpfungsverteilung und Ansätze aus der Standortplanung sowie des Risikomanagements konkrete Kriterien liefern.

Kosten Um konkrete Kosten zu identifizieren, wird eine Top-Down-Vorgehensweise gewählt. Aus der in Kapitel 7.1.1 erarbeiteten Zuordnung von Wertschöpfung zu den Objekttypen eines Produktionsnetzwerks lassen sich je Typ die zugehörigen Kosten-Attribute zur Bewertung der Güte ableiten. Zur Absicherung der Vollständigkeit des so entwickelten Kostenmodells erfolgt anschließend eine Überprüfung, ob die in 3.4 und 3.5 identifizierten Kostenkriterien über das Modell abgedeckt sind.

Für eine *Interdependenz vom Beschaffungsmarkt* ergeben sich aus der in Abbildung 7.5 dargestellten Zuordnung Kosten für Beschaffung, Logistik, Forschung und Entwicklung, Organisation und Controlling sowie Infrastruktur. Im Kontext der strategischen Aufgabenstellung der Wertschöpfungsverteilung sind Beschaffungs- und Logistikkosten trotz des Umfassens von Gehältern in Form von variablen Kosten oder beispielsweise im Fall von Staffelpreisen als sprungfixe Kosten³ zu berücksichtigen. Fixkosten einer Beschaffungsinterdependenz können über die Bereiche

³Sprungfixe Kosten bleiben innerhalb vorgegebener Intervalle konstant, während an den Grenzen dieser Intervalle die Kosten sprunghaft ansteigen oder fallen.

Unternehmensinfrastruktur, Organisation und Controlling sowie Forschung und Entwicklung abgebildet werden. Dabei können diese teils als Fixkosten, teils als sprungfixe Kosten auftreten.

An einer *Wertschöpfungs-Standort-Kombination* entstehen nach Kapitel 7.1.1 Kosten für Produktion, Entsorgung, interne Logistik, Forschung und Entwicklung, Personalwirtschaft, Organisation und Controlling sowie Infrastruktur. In der strategischen Perspektive können wiederum Produktions-, Entsorgungs- sowie interne Logistikkosten als variable und/oder sprungfixe Kosten betrachtet werden. Die Fixkosten sind über Forschungs- und Entwicklungs-, Personalwirtschafts-, Organisations- und Controllings- sowie Infrastrukturkosten darstellbar. Diese sind anteilig als Fixkosten oder sprungfixe Kosten den entsprechenden Wertschöpfungs-Standort-Kombinationen zuzuordnen.

Eine *Interdependenz zum Absatzmarkt* ist von Logistik-, Marketing- und Vertriebs-, Kundenservice-, Forschungs- und Entwicklungs-, Organisations- und Controllings- sowie Infrastrukturkosten betroffen. In direkter Abhängigkeit von der zu produzierenden Menge stehen lediglich die Logistikkosten, die als variable oder sprungfixe Kosten eingehen. Kosten aus dem Marketing und Vertrieb sowie Kundenservice werden als Fixkosten bzw. sprungfixe Kosten anteilig den Verbindungen zugerechnet. Änderungen der Absatzverbindung haben zudem Auswirkungen auf die Fixkosten bzw. sprungfixen Kosten der indirekten Bereiche Forschung und Entwicklung,

Objekttyp / Kriterienkategorie	Kosten	fix	spr. fix	var.
Wertschöpfungs-Standort-Kombination	Produktionskosten		x	x
	Entsorgungskosten		x	x
	Interne Logistikkosten		x	x
	Forschungs- und Entwicklungskosten	x	x	
	Personalwirtschaftskosten	x	x	
	Organisations- und Controllingkosten	x	x	
	Infrastrukturkosten	x	x	
Interne Interdependenz	Logistikkosten		x	x
	Forschungs- und Entwicklungskosten	x	x	
	Organisations- und Controllingkosten	x	x	
	Infrastrukturkosten	x	x	
Interdependenz vom Beschaffungsmarkt	Beschaffungskosten		x	x
	Logistikkosten		x	x
	Forschungs- und Entwicklungskosten	x	x	
	Organisations- und Controllingkosten	x	x	
	Infrastrukturkosten	x	x	
Interdependenz zum Absatzmarkt	Logistikkosten		x	x
	Marketing- und Vertriebskosten	x	x	
	Kundenservicekosten	x	x	
	Forschungs- und Entwicklungskosten	x	x	
	Organisations- und Controllingkosten	x	x	
	Infrastrukturkosten	x	x	

Tabelle 7.1.: Kostenmodell zur Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken

Organisation und Controlling, wie z. B. die Planung und Steuerung, sowie die Unternehmensinfrastruktur, wie z. B. die IT-Anbindung.

In der *internen Interdependenz* fallen, basierend auf der Strukturierung nach Abbildung 7.5, Kosten für Logistik, Forschung und Entwicklung, Organisation und Controlling sowie Infrastruktur an. Analog zur Absatzinterdependenz sind lediglich die Logistikkosten in Form von variablen Kosten zu berücksichtigen, die ebenso als sprungfixe Kosten auftreten können. Forschungs- und Entwicklungs-, Organisations- und Controlling- sowie Infrastrukturkosten werden als Fix- oder sprungfixe Kosten gehandhabt.

Insgesamt ergibt sich das in Tabelle 7.1 dargestellte Kostenmodell. Da sowohl in der Wissenschaft als auch in der Industrie die im Modell enthaltenen Kostenpositionen bekannt sind, müssen diese nicht weiter ausgeführt werden.

Das erarbeitete Kostenmodell wurde auf Vollständigkeit überprüft. Die in den Kapiteln 3.4 und 3.5 recherchierten Kostenkriterien wurden dazu, wie in Tabelle 7.2 dargestellt, in das Kostenmodell eingeordnet.

Diese Einordnung von Kriterien aus den Ansätzen der Wertschöpfungsverteilung und der Standortplanung zeigt, dass das entwickelte Kostenmodell alle relevanten Kosten abdeckt. Des Weiteren wurden Investitionskosten gesammelt, die für die abschließende Bewertung der Umsetzbarkeit einer Wertschöpfungsverteilung eine Rolle spielen.

	Kostenkriterien	Kriterien aus Ansätzen zur Wertschöpfungsverteilung und Standortplanung
Wertschöpfungs- Standort-Kombination	Produktionskosten	Faktorkosten, Herstellkosten, Ausschusskosten, Arbeitskosten/Personalkosten/Lohnkosten, Kapitalkosten, Energiekosten
	Entsorgungskosten	
	Interne Logistikkosten	Lagerhaltungskosten, Bestandskosten, Lagerkosten, Verpackungskosten
	Forschungs- und Entwicklungskosten	
	Personalwirtschaftskosten	
	Organisations- und Controllingkosten Infrastrukturkosten	Gemeinkosten am Stammsitz für Betreuung, Koordination, Kommunikation und Kontrolle Overheadkosten, Systemkosten, IT-Kosten
Interne Inter- dependenz	Logistikkosten	Transportkosten, Versicherungskosten
	Forschungs- und Entwicklungskosten	
	Organisations- und Controllingkosten	Gemeinkosten am Stammsitz für Betreuung, Koordination, Kommunikation und Kontrolle
	Infrastrukturkosten	Systemkosten, IT-Kosten
Interdependenz vom Beschaffungs- markt	Beschaffungskosten	Beschaffungskosten, Materialkosten, Kosten für externe Services, Rohstoffkosten
	Logistikkosten	Transportkosten, Versicherungskosten
	Forschungs- und Entwicklungskosten	
	Organisations- und Controllingkosten	Gemeinkosten am Stammsitz für Betreuung, Koordination, Kommunikation und Kontrolle
Interdependenz zum Absatzmarkt	Logistikkosten	Transportkosten, Versicherungskosten
	Marketing- und Vertriebskosten	
	Kundenservicekosten	Garantiekosten
	Forschungs- und Entwicklungskosten	
	Organisations- und Controllingkosten	Gemeinkosten am Stammsitz für Betreuung, Koordination, Kommunikation und Kontrolle
	Infrastrukturkosten	Systemkosten, IT-Kosten
	Investitionskosten	Einmalkosten für Umgestaltung (Investitionen, Umzugskosten, Stilllegungskosten), Anlaufkosten, Qualifizierungs- und Trainingskosten bzw. Kosten für Technologieanpassung, Restrukturierungskosten, Kosten für den Netzwerkaufbau vor Ort, Kosten für den Auf- bzw. Abbau von Mitarbeitern

Tabelle 7.2.: Überprüfung des Kostenmodells auf Vollständigkeit

Die im Kostenmodell verankerte neue Strukturierung der Daten liegt Unternehmen in der Regel nicht in dieser Form vor. Die Einzelkosten können durch entsprechende Aggregation den Netzwerkobjekten zugeordnet werden. Für die Zuordnung der Gemeinkosten zu den Wertschöpfungsstufen und Interdependenzen ist eine prozentuale Aufteilung, beispielsweise über eine Anpassung oder Erweiterung des Betriebsabrechnungsbogens, erforderlich.

Qualitative Kriterien Da qualitative Kriterien im Bereich der Wertschöpfungsverteilung einen gewissen Neuheitsgrad aufweisen, wird zur Instanziierung der qualitativen Kriterien eine Bottom-Up-Methode gewählt. Basis für die Konkretisierung bilden daher die in den Kapiteln 3.4 und 3.5 recherchierten qualitativen Kriterien aus Ansätzen zur Wertschöpfungsverteilung, der Standortplanung und des Risikomanagements. Diese werden zu qualitativen Kriterien der Wertschöpfungsverteilung zusammengeführt. Anschließend wird anhand der Zuordnung von Wertschöpfung zu Netzwerkobjekten aus Kapitel 7.1.1 überprüft, ob die Kriterien den gesamten Umfang der Wertschöpfung abdecken oder ergänzt werden müssen.

Identifikation von Kriterien Die Zusammenführung der Kriterien erfolgt, indem jedes einzelne Kriterium der verschiedenen Disziplinen als Erfolgspositions- oder Risiko-Attribut identifiziert und gleichzeitig einem oder mehreren Typen der Produktionsnetzwerk-Objekte Wertschöpfungs-Standort-Kombination, interne Interdependenz, Interdependenz vom Beschaffungsmarkt und Interdependenz zum Absatzmarkt zugeordnet wird. Dabei werden die Kriterien entsprechend dem Gestaltungsbereich der Wertschöpfungsverteilung verdichtet.

Bei der Einordnung eines Kriteriums als Erfolgsposition bzw. Risiko wird Folgendes berücksichtigt: Eine Erfolgsposition war in Kapitel 3.2 als ein in jedem Fall eintretendes bzw. bereits grundsätzlich das Unternehmen betreffendes Kriterium, wie z.B. die Gesetzgebung, der Wechselkurs oder die Flexibilität der Produktion, definiert worden. Dagegen wurde ein Risiko als ein Ereignis definiert, von dem nicht sicher ist, ob und wie stark es eintritt, z. B. Änderungen in der Gesetzgebung, Wechselkursschwankungen oder Naturkatastrophen. Daraus ergibt sich die in Abbildung 7.12 dargestellte Logik der Einordnung: Ist ein Kriterium ein Ereignis, das ein Unternehmen treffen kann, aber nicht zwangsläufig eintreten muss, oder ein Zustand, der Auswirkungen zur Folge haben kann, aber nicht muss, handelt es sich um ein Risiko. Ist ein Kriterium ein Ereignis, von dem ein Unternehmen in jedem Fall betroffen ist und das zudem als zweites Charakteristikum mit eigenem oder fremdem Wissen realistisch abschätzbar ist, stellt dieses eine Erfolgsposition dar. Ist ein Kriterium, von dem ein Unternehmen in jedem Fall betroffen ist, allerdings als zweites Charakteristikum nicht mit verlässlichem Erfahrungswissen hinterlegt, geht das Unternehmen das Risiko ein, falsche Annahmen zu treffen. So kann ein in jedem Fall eintretendes Kriterium unerwartet negative Auswirkungen haben und damit zu einem Problemfeld werden. In diesem Fall stellt das Kriterium ein Risiko dar.

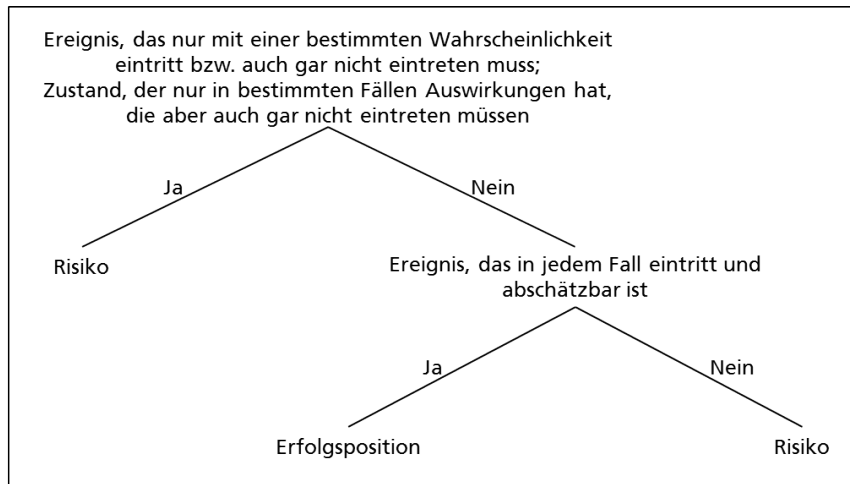


Abbildung 7.12.: Logik zur Einordnung qualitativer Kriterien als Erfolgsposition bzw. Risiko

Wie in Kapitel 3.2 am Beispiel der Beschaffungsqualität beschrieben, existieren Kriterien, die je nach Kenntnisstand des Unternehmens entweder als Erfolgsposition oder als Risiko auftreten. Ähnliches kann auch bei der Abgrenzung von monetären zu qualitativen Kriterien passieren. Vermeintlich direkt monetär bewertbare Kriterien treten als qualitative Kriterien auf, wenn diese im anwendenden Unternehmen nicht monetär quantifiziert werden. Beispielsweise werden die Kosten für Ausschuss nicht immer ermittelt und aufgenommen.

Neben der Einordnung des Kriteriums als Erfolgsposition bzw. Risiko erfolgt gleichzeitig die Zuordnung zu den Typen an Produktionsnetzwerk-Objekten. Da ein Kriterium als Attribut für die Ermittlung der Güte mehrerer Objekttypen relevant sein kann, ist eine Zuordnung zu mehreren Objekttypen möglich. Hierzu zählt zum Beispiel das Kriterium der Umwelt, das die Güte sowohl einer Wertschöpfungs-Standort-Kombination als auch aller Interdependenzen beeinflusst, so dass dieses Kriterium allen vier Typen zugeordnet wird.

Ein Spezialfall stellt die Zuordnung zur Interdependenz zum Absatzmarkt dar. Bei der Wertschöpfungsverteilung sind im Gegensatz zu einer Standortentscheidung sowohl die Absatzmärkte als auch die Absatzzahlen gegeben. Kriterien, die die Entscheidung zur Be- oder Nichtbelieferung eines Absatzmarkts beeinflussen, wie z. B. Zahlungsmoral der Kunden oder stark schwankende Kundennachfragen, spielen daher bei der Wertschöpfungsverteilung keine Rolle. Allerdings kann eine veränderte Interdependenz zu diesem Absatzmarkt ein derartiges Kriterium begünstigen oder beeinträchtigen. Beispielsweise kann eine Interdependenz mit geringer Distanz gegebenenfalls besser mit stark schwankenden Kundennachfragen umgehen als eine Interdependenz, die per Schiff oder Flugzeug bedient werden muss.

Im Zusammenspiel der Einordnung von Kriterien in Attributkategorie und Produktionsnetzwerk-Objekttyp fällt Folgendes auf: Bei den internen Objekttypen Wertschöpfungs-Standort-Kombination und interne Interdependenz sind die Kriterien in der Regel abschätzbar, so dass diese alleinig als Erfolgsposition eingeordnet werden. Dieselben Kriterien in den Objekttypen Interdependenz vom Beschaffungsmarkt und Interdependenz zum Absatzmarkt können

abschätzbar, aber auch völlig ungewiss sein, so dass in diesen Objekten die Kriterien sowohl als Erfolgsposition als auch als Risiko eingestuft werden.

Anhand dieser Hilfsmittel werden alle Kriterien der bestehenden Ansätze aus der Wertschöpfungsverteilung, der Standortplanung sowie des Risikomanagements sowohl als Erfolgsposition bzw. Risiko eingeordnet als auch den entsprechenden Typen von Produktionsnetzwerk-Objekten zugeordnet. Die Einordnung der einzelnen Kriterien aus den drei Disziplinen ist im Anhang C detailliert beschrieben und bildet die Basis für das weitere Vorgehen.

Prüfen auf Vollständigkeit Im zweiten Schritt wird die Vollständigkeit der gesammelten Kriterien anhand des Umfangs der Wertschöpfung überprüft. Dazu werden die Kriterien in den Umfang der Wertschöpfung eingeordnet, indem sie den Wertschöpfungsaktivitäten zugeordnet werden. Da sowohl die Kriterien aus den derzeit existierenden Ansätzen der Wertschöpfungsverteilung, der Standortplanung sowie des Risikomanagements den Produktionsnetzwerk-Objekttypen zugeordnet wurden, als auch der Umfang der Wertschöpfung in die Objekttypen eingeordnet wurde, kann anhand der jeweiligen Netzwerkobjekttypen vorgegangen werden, die Kriterien der verschiedenen Disziplinen den Aktivitäten der Wertschöpfung zuzuordnen.

Dabei ist eine Zuordnung ein und desselben Kriteriums zu mehreren Aktivitäten möglich, wenn dieses wie im Beispiel der Termineinhaltung mehrere Aktivitäten betrifft, wie z. B. Produktion, interne Logistik, Forschung und Entwicklung sowie Organisation, und dieses je nach Aktivität unterschiedliche Werte annehmen kann. Im Beispiel kann die Produktion termintreu sein, während die Logistik regelmäßig Termine nicht einhält. Im Gegensatz dazu existieren Kriterien, die zwar mehrere Aktivitäten betreffen, sich aber lediglich auf deren Gesamtergebnis beziehen. Hierzu gehört beispielsweise das Kriterium der Auftragsbearbeitungszeit, die sich über die Produktion, interne Logistik, gegebenenfalls die Forschung und Entwicklung bis zur Organisation zieht. Ebenso fallen Kriterien wie Liefertermintreue oder Lieferperformance darunter. In diesen Fällen wird das Kriterium ausschließlich der letzten Aktivität im Prozess, die das Ergebnis abzuliefern hat, zugeordnet. In den aufgeführten Beispielen sowie in fast allen weiteren Fällen handelt es sich bei der letzten Aktivität um die Organisation. Neben aktivitäten-übergreifenden Kriterien, die der Organisation zugeordnet werden, treten Kriterien auf, die alle Aktivitäten in ihrer Gesamtheit betreffen. Für diese Kriterien wird die zusätzliche Kategorie „Alle Aktivitäten“ eingeführt. Darunter fallen Kriterien wie Strategie-Opportunität, Wettbewerber oder Steuern.

Aufbauend auf den formulierten Zuordnungsregeln werden je Produktionsnetzwerk-Objekttyp die Kriterien den Aktivitäten der Wertschöpfung zugeordnet. Diese Zuordnung ist in Anhang D ausführlich dargestellt und liefert die Grundlage des Gesamtergebnisses.

Aus der Zusammenführung der Zuordnungen je Typ der Netzwerkobjekttyp ergibt sich das in den Tabellen 7.3 und 7.4 dargestellte Modell qualitativer Kriterien zur Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken. Ausführliche Erläuterungen zu den jeweiligen Kriterien sind

7.2. Modell für Gestaltungskriterien der Wertschöpfungsverteilung

	Aktivitäten	Erfolgsposition	Risiken
Wertschöpfungs-Standort-Kombination	Produktion	Prozessdauern, Durchlaufzeit, Reaktionszeit, Termineinhaltung, Zuverlässigkeit, Produktionsflexibilität, Produktivität, Kapazitätsauslastung, Mobilität von Produkten / Prozessen / Personal / Technologien / ..., Qualität / Qualitätsniveau, Standortqualifikation / -kompetenz, Bestände, Technologieanpassung, Werteverfall, Klima, Modernität, sprachliche Verständigung,	Sprachliche Verständigung, Verzögerung der Produktion, erhöhter Kostenanfall in der Produktion, Ausfall eigener Produktionsanlagen / Ausfall in der Produktion, Lagerrisiko, umweltrechtliche Regelungen
	Entsorgung	Qualität / Qualitätsniveau, Standortqualifikation / -kompetenz, Klima, Modernität, sprachliche Verständigung, umweltrechtliche Regelungen	Sprachliche Verständigung, umweltrechtliche Regelungen
	Interne Logistik	Prozessdauern, Reaktionszeit, Termineinhaltung, Zuverlässigkeit, Qualität / Qualitätsniveau, Standortqualifikation / -kompetenz, Bestände, Werteverfall, Klima, Modernität, sprachliche Verständigung, umweltrechtliche Regelungen	Sprachliche Verständigung, Lagerrisiko, umweltrechtliche Regelungen
	Forschung und Entwicklung	Produktentwicklungszeit, Prozessdauern, Reaktionszeit, Termineinhaltung, Qualität / Qualitätsniveau, Nähe Produktion zu FuE / Nähe zu innovativen Clustern und FuE-Zentren, Innovationsfähigkeit, Klima, Modernität, sprachliche Verständigung	Sprachliche Verständigung
	Personalwirtschaft	Prozessdauern, Reaktionszeit, Zuverlässigkeit, Qualität / Qualitätsniveau, Standortqualifikation / -kompetenz, Tarifvereinbarungen / Lohnkosten / demografischer Wandel, Zugang zu Arbeitskräften / Verfügbarkeit von Arbeitskräften, Qualifizierung und Training, Mitarbeiterqualifikation, Modernität, sprachliche	Sprachliche Verständigung, Fluktuation von Arbeitskräften
	Organisation und Controlling (inkl. Produktion, interne Logistik, ggfls. Forschung und Entwicklung)	Auftragsbearbeitungszeit, Prozessdauern, Reaktionszeit, Termineinhaltung, Zuverlässigkeit, Lieferperformance / Logistikleistung, Lieferterminflexibilität, Qualität / Qualitätsniveau, Standortqualifikation / -kompetenz, Bestände, Werteverfall, Aufwendungen für die Disposition, Modernität, Anlaufzeiten und -kosten / Aufwand des Produktionsanlaufs, sprachliche Verständigung, Umgang mit unerwarteten oder stark schwankenden	Anlaufzeiten und -kosten / Aufwand des Produktionsanlaufs, sprachliche Verständigung, ungenaue Planung und Steuerung, ungeeignete Planung und Steuerung, falsch geplante Losgrößen, Lagerrisiko, Umgang mit unerwarteten oder stark schwankenden Kundennachfragen
	Infrastruktur	Zuverlässigkeit, Qualität / Qualitätsniveau, Klima, Modernität, umweltrechtliche Regelungen	Ausfall / Risiken eigener IT-Infrastruktur, umweltrechtliche Regelungen
	Alle Aktivitäten	Wahrgenommener Wert des Produkts, Image, Einhaltung der Vorschriften und sozialen Standards, Mitarbeiterzufriedenheit, Gewinnbesteuerung / Subventionen / sozio-politische Faktoren, Local-Content-Bestimmungen, politische Stabilität, Wettbewerber, regulatorische Rahmenbedingungen, Strategie-Opportunität, externes Wissen, Kriminalität, regionale Unterschiede, Vertrauen / Motivation / Konflikte, wirtschaftliche Entwicklung, Verhalten der öffentlichen Verwaltung oder Entscheidungsträger, Kooperationspotenzial und Netzwerkaufbau, Möglichkeiten zum Schutz von Technologien / Patenten / Lizenzen / Marken, Soziokultur / Mentalität, Korruption,	Politische Instabilität, Kriminalität, regionale Unterschiede, Kooperationspotenzial und Netzwerkaufbau, Risiken für geistiges Eigentum, Soziokultur / Mentalität, Korruption, Veränderungen in den gesetzlichen oder politischen Rahmenbedingungen, Streiks, mangelnde Liquidität, mangelhaftes Risikomanagement, Naturkatastrophen, Betrug
Interne Interdependenz	Logistik	Reaktionszeit, Termineinhaltung, Zuverlässigkeit, Nachhaltigkeit, Umwelt, Zölle	
	Forschung und Entwicklung	Reaktionszeit, Termineinhaltung, Koordination, Klima, sprachliche Verständigung	Koordination, sprachliche Verständigung
	Organisation und Controlling (inkl. Logistik, ggfls. Forschung und Entwicklung)	Reaktionszeit, Termineinhaltung, Zuverlässigkeit, Lieferperformance/Logistikleistung, Lieferterminflexibilität, Bestände, Koordination, Werteverfall, Aufwendungen für die Disposition, nichttarifäre Handelsbarrieren, Nutzung unterschiedlicher Transportmodi, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, Anlaufzeiten und -kosten / Aufwand des Produktionsanlaufs, sprachliche Verständigung, Umgang mit unerwarteten oder stark schwankenden Kundennachfragen, Güte der Zusammenarbeit, Einführung von	Koordination, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, Anlaufzeiten und -kosten / Aufwand des Produktionsanlaufs, sprachliche Verständigung, ungenaue Planung und Steuerung, Lagerrisiko, Umgang mit unerwarteten oder stark schwankenden Kundennachfragen, Mängel in der Zusammenarbeit, Einführung von Straßenbenutzungsgebühren, Währungsrisiko
	Infrastruktur	Zuverlässigkeit, Koordination, Klima, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, umweltrechtliche Regelungen	Koordination, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, Ausfall/Risiken eigener IT-Infrastruktur, umweltrechtliche Regelungen
	Alle Aktivitäten	Image, Mitarbeiterzufriedenheit, Einhaltung der Vorschriften und sozialen Standards, politische Stabilität, Kriminalität, regionale Unterschiede, Vertrauen / Motivation / Konflikte, Distanz, Soziokultur / Mentalität, Korruption, politisch-rechtliche Rahmenbedingungen, Betrug, administrative Hindernisse	politische Instabilität, Kriminalität, regionale Unterschiede, Soziokultur / Mentalität, Korruption, Veränderungen in den gesetzlichen oder politischen Rahmenbedingungen, Streiks, mangelhaftes Risikomanagement, Naturkatastrophen, Qualitätsmängel bei der Rückführung, Verzögerung bei der Rückführung, Ausfall in der Rückführung, erhöhter Kostenanfall bei der Rückführung,

Tabelle 7.3.: Modell qualitativer Kriterien zur Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken – Teil 1

	Aktivitäten	Erfolgsposition	Risiken
Interdependenz vom Beschaffungsmarkt	Beschaffung	Reaktionszeit, Termineinhaltung, Zuverlässigkeit, Produktionsflexibilität, Koordination, Bestände Beschaffungszeit, Zugang zu Rohstoffen / verfügbare Rohstoffe, Zölle, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, sprachliche Verständigung, Werteverfall, nichttarifäre Handelsbarrieren, Nutzung unterschiedlicher Transportmodi, Klima, Modernität, Wechselkurse, Einführung von Straßenbenutzungsgebühren, umweltrechtliche Regelungen, Kapazitätsbeschränkungen der Beschaffungsmärkte, opportunistisches Verhalten von Lieferanten	Reaktionszeit, Termineinhaltung, Zuverlässigkeit, Produktionsflexibilität, Koordination, Bestände Beschaffungszeit, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, sprachliche Verständigung, Werteverfall, Ausfall eines (Schlüssel-)Lieferanten / Ausfall in der Beschaffung, Verzögerung in der Beschaffung, Anstieg der Beschaffungskosten, Risiken bei der Lieferantenauswahl, Lagerrisiko, Währungsrisiko, Einführung von Straßenbenutzungsgebühren, umweltrechtliche Regelungen, Kapazitätsbeschränkungen der Beschaffungsmärkte, opportunistisches Verhalten von Lieferanten, Umweltrisiken
	Eingangslogistik	Reaktionszeit, Termineinhaltung, Zuverlässigkeit, Koordination, Bestände, Zölle, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, sprachliche Verständigung, Werteverfall, nichttarifäre Handelsbarrieren, Nutzung unterschiedlicher Transportmodi, Klima, Modernität, Einführung von Straßenbenutzungsgebühren, umweltrechtliche Regelungen	Reaktionszeit, Termineinhaltung, Zuverlässigkeit, Koordination, Bestände, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, sprachliche Verständigung, Werteverfall, Lagerrisiko, Einführung von Straßenbenutzungsgebühren, umweltrechtliche Regelungen
	Forschung und Entwicklung	Produktentwicklungszeit, Reaktionszeit, Termineinhaltung, Koordination, Aufwand für Anpassung der Stücklisten und Materialspezifikation, Komplexitätstreibende Wirkung auf Produktentwicklung und Ersatzteilwirtschaft, sprachliche Verständigung, Innovationsfähigkeit, Nähe Produktion zu FuE / Nähe zu innovativen Clustern und FuE-Zentren, Klima, Modernität, opportunistisches Verhalten von Lieferanten	Produktentwicklungszeit, Reaktionszeit, Termineinhaltung, Koordination, Aufwand für Anpassung der Stücklisten und Materialspezifikation, Komplexitätstreibende Wirkung auf Produktentwicklung und Ersatzteilwirtschaft, sprachliche Verständigung, Innovationsfähigkeit, opportunistisches Verhalten von Lieferanten
	Organisation und Controlling (inkl. Beschaffung, Logistik, ggfls. Forschung und Entwicklung)	Reaktionszeit, Termineinhaltung, Zuverlässigkeit, Lieferperformance / Logistikleistung, Lieferterminflexibilität, Koordination, Bestände Komplexitätstreibende Wirkung auf Produktentwicklung und Ersatzteilwirtschaft, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, Anlaufzeiten und -kosten / Aufwand des Produktionsanlaufs, sprachliche Verständigung, Werteverfall, nichttarifäre Handelsbarrieren, Nutzung unterschiedlicher Transportmodi, Aufwendungen für die Disposition, Modernität, Wechselkurse, Umgang mit unerwarteten oder stark schwankenden Kundennachfragen, Güte der Zusammenarbeit, Einführung von Straßenbenutzungsgebühren, opportunistisches Verhalten von Lieferanten	Reaktionszeit, Termineinhaltung, Zuverlässigkeit, Lieferperformance / Logistikleistung, Lieferterminflexibilität, Koordination, Bestände, Komplexitätstreibende Wirkung auf Produktentwicklung und Ersatzteilwirtschaft, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, Anlaufzeiten und -kosten / Aufwand des Produktionsanlaufs, sprachliche Verständigung, Werteverfall, Lagerrisiko, Währungsrisiko, Umgang mit unerwarteten oder stark schwankenden Kundennachfragen, Mängel in der Zusammenarbeit, Einführung von Straßenbenutzungsgebühren, opportunistisches Verhalten von Lieferanten
	Infrastruktur	Zuverlässigkeit, Koordination, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, Klima, Modernität, umweltrechtliche Regelungen	Zuverlässigkeit, Koordination, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, Ausfall/Risiken eigener IT-Infrastruktur, umweltrechtliche Regelungen
	Alle Aktivitäten	Einhaltung der Vorschriften und sozialen Standards, Mitarbeiterzufriedenheit, politische Stabilität, Kriminalität, regionale Unterschiede, Verfügbarkeit und Leistungsfähigkeit der Lieferantenmärkte, Lieferanten / globale Zuliefermärkte, wahrgenommener Wert des Produkts, Image, Wettbewerber, Kooperationspotenzial und Netzwerkaufbau, Vertrauen / Motivation / Konflikte, Möglichkeiten zum Schutz von Technologien / Patenten / Lizenzen / Marken, Soziokultur / Mentalität, Korruption, politisch-rechtliche Rahmenbedingungen, Distanz, Unabhängigkeit, Betrug, administrative Hindernisse	Einhaltung der Vorschriften und sozialen Standards, Mitarbeiterzufriedenheit, politische Instabilität, Kriminalität, regionale Unterschiede, Verfügbarkeit und Leistungsfähigkeit der Lieferantenmärkte, Kooperationspotenzial und Netzwerkaufbau, Vertrauen / Motivation / Konflikte, Risiken für geistiges Eigentum, Soziokultur / Mentalität, Korruption, Veränderungen in den gesetzlichen oder politischen Rahmenbedingungen, Streiks, Abhängigkeit, Störung / Ausfall fremder IT-Infrastruktur, Mängel im Vertrag, Qualitätsmängel bei der Rückführung, Verzögerung bei der Rückführung, Ausfall in der Rückführung, erhöhter Kostenanfall bei der Rückführung, mangelhaftes Risikomanagement, Naturkatastrophen, Betrug
Interdependenz zum Absatzmarkt	Ausgangslogistik	Reaktionszeit, Termineinhaltung, Zuverlässigkeit, Koordination, Bestände, Zölle, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, sprachliche Verständigung, Werteverfall, nichttarifäre Handelsbarrieren, Nutzung unterschiedlicher Transportmodi, Klima, Einführung von Straßenbenutzungsgebühren, umweltrechtliche Regelungen	Reaktionszeit, Termineinhaltung, Zuverlässigkeit, Koordination, Bestände, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, sprachliche Verständigung, Werteverfall, Lagerrisiko, Einführung von Straßenbenutzungsgebühren, umweltrechtliche Regelungen,
	Marketing und Vertrieb	Reaktionszeit, Termineinhaltung, Zuverlässigkeit, Koordination, Bestände, Zölle, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, sprachliche Verständigung, Werteverfall, nichttarifäre Handelsbarrieren, Nutzung unterschiedlicher Transportmodi, Klima, Einführung von Straßenbenutzungsgebühren, umweltrechtliche Regelungen, Wechselkurse	Reaktionszeit, Termineinhaltung, Zuverlässigkeit, Koordination, Bestände, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, sprachliche Verständigung, Werteverfall, Ausfall des Produktverkaufs, Qualitätsmängel bei der Belieferung des Kunden, Verzögerung bei der Belieferung des Kunden, Ausfall bei der Belieferung des Kunden, erhöhter Kostenanfall bei der Belieferung des Kunden, Lagerrisiko, Einführung von Straßenbenutzungsgebühren, umweltrechtliche Regelungen, Währungsrisiko
	Kundenservice	Reaktionszeit, Termineinhaltung, Zuverlässigkeit, Koordination, Bestände, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, sprachliche Verständigung, Werteverfall, nichttarifäre Handelsbarrieren, Nutzung unterschiedlicher Transportmodi, Klima, umweltrechtliche Regelungen	Reaktionszeit, Termineinhaltung, Zuverlässigkeit, Koordination, Bestände, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, sprachliche Verständigung, Werteverfall, Lagerrisiko, umweltrechtliche Regelungen
	Forschung und Entwicklung	Reaktionszeit, Termineinhaltung, Koordination, sprachliche Verständigung, Klima	Reaktionszeit, Termineinhaltung, Koordination, sprachliche Verständigung
	Organisation und Controlling (inkl. Vertrieb, Kundenservice, Logistik, ggfls. Forschung und Entwicklung)	Reaktionszeit, Termineinhaltung, Zuverlässigkeit, Lieferperformance / Logistikleistung, Lieferterminflexibilität, Koordination, Bestände, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, Anlaufzeiten und -kosten / Aufwand des Produktionsanlaufs, sprachliche Verständigung, Werteverfall, nichttarifäre Handelsbarrieren, Nutzung unterschiedlicher Transportmodi, Umgang mit unerwarteten oder stark schwankenden Kundennachfragen, Güte der Zusammenarbeit, Einführung von Straßenbenutzungsgebühren, Wechselkurse	Reaktionszeit, Termineinhaltung, Zuverlässigkeit, Lieferperformance / Logistikleistung, Lieferterminflexibilität, Koordination, Bestände, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, Anlaufzeiten und -kosten / Aufwand des Produktionsanlaufs, sprachliche Verständigung, Werteverfall, Lagerrisiko, Umgang mit unerwarteten oder stark schwankenden Kundennachfragen, Mängel in der Zusammenarbeit, Einführung von Straßenbenutzungsgebühren, Währungsrisiko
	Infrastruktur	Zuverlässigkeit, Koordination, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, Klima, umweltrechtliche Regelungen	Zuverlässigkeit, Koordination, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, Ausfall/Risiken eigener IT-Infrastruktur, umweltrechtliche Regelungen
	Alle Aktivitäten	Einhaltung der Vorschriften und sozialen Standards, Mitarbeiterzufriedenheit, politische Stabilität, Kriminalität, regionale Unterschiede, Kunden / Markt Komplexität und Produktreife, Zugang zu Märkten und Kunden, Marktnähe, Marktvolumen, Image, Vertrauen / Konflikte, Möglichkeiten zum Schutz von Technologien / Patenten / Lizenzen / Marken, Soziokultur / Mentalität, Korruption, politisch-rechtliche Rahmenbedingungen, Distanz, Betrug, administrative Hindernisse	Einhaltung der Vorschriften und sozialen Standards, Mitarbeiterzufriedenheit, politische Instabilität, Kriminalität, regionale Unterschiede, Kunden / Markt Komplexität und Produktreife, Zugang zu Märkten und Kunden, Vertrauen / Konflikte, Risiken für geistiges Eigentum, Soziokultur / Mentalität, Korruption, Veränderungen in den gesetzlichen oder politischen Rahmenbedingungen, Streiks, mangelhaftes Risikomanagement, Qualitätsmängel bei der Rückführung, Verzögerung bei der Rückführung, Ausfall in der Rückführung, erhöhter Kostenanfall bei der Rückführung, Umgang mit Störung / Ausfall fremder IT-Infrastruktur, Naturkatastrophen, Betrug

Tabelle 7.4.: Modell qualitativer Kriterien zur Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken – Teil 2

sowohl in Anhang C der Einordnung von Kriterien als Erfolgsposition oder Risiko als auch in Anhang D der Zuordnung von Kriterien zu den Aktivitäten der Wertschöpfung gegeben, so dass alle für das Verständnis des Modells notwendigen Informationen zugänglich sind.

Aus der Darstellung des Modells qualitativer Kriterien zur Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken ergibt sich, dass der Umfang der Wertschöpfung anhand der gesammelten Kriterien aus den Ansätzen der Wertschöpfungsverteilung, der Standortplanung und dem Risikomanagement sehr gut abgedeckt ist. Da sich aus den Aktivitäten der Wertschöpfung keine weiteren Kriterien ergeben, wird das Modell als umfassend angenommen.

7.2.2. Mathematische Modellierung von Gestaltungskriterien

Die Logik zur Abbildung von quantitativen und qualitativen Gestaltungskriterien der Wertschöpfungsverteilung wird im Folgenden dazu eingesetzt, Elemente der mathematischen Modellierung abzuleiten.

Die Logik umfasst Kriterien aus den drei Kategorien Kosten, Erfolgspositionen und Risiken der vier Typen an Produktionsnetzwerk-Objekten, die die Güte einer Wertschöpfungsverteilung charakterisieren. Ziel der Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken ist es, die Güte der Wertschöpfungsverteilung zu maximieren. Bezogen auf die Kriterienkategorien bedeutet die Maximierung der Güte eine Minimierung der Kosten bei simultaner Maximierung der Erfolgspositionen sowie gleichzeitiger Minimierung der Risiken. Aus Sicht der mathematischen Modellierung bedeutet dies, drei Zielfunktionen zu formulieren.

Minimierung der Kosten

Kosten fallen für alle Netzwerkobjekte an. Somit muss die Minimierung der Kosten die Minimierung aller Wertschöpfungs-Standort-Kosten $Ko_{w,s,p}$, die Minimierung der Kosten aller internen Interdependenzen $Ko_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}^I$, die Minimierung der Kosten aller Beschaffungsmarkt-Interdependenzen $Ko_{b,w,s,p}^B$ sowie die Minimierung der Kosten aller Absatzmarkt-Interdependenzen $Ko_{w,s,a,p}^A$ umfassen. Dies wird durch die Minimierung der Summe über alle in den jeweiligen Netzwerkobjekten anfallenden Kosten erreicht, so dass sich folgende Zielfunktion (7.25) ergibt:

$$\min \sum_{w,s,p} Ko_{w,s,p} + \sum_{w_1,s_1,w_2,s_2,p} Ko_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}^I + \sum_{b,w,s,p} Ko_{b,w,s,p}^B + \sum_{w,s,a,p} Ko_{w,s,a,p}^A \quad (7.25)$$

Die Kosten jedes Objekts können variable Kosten Ko^{var} , die abhängig von der Ausbringungsmenge sind, sowie Fixkosten Ko^{fix} , die unabhängig von der Ausbringungsmenge sind, umfassen. Zur Ermittlung der variablen Kosten Ko^{var} werden variable Stückkosten $StKo^{var}$ herangezogen, die mit der Produktions- bzw. Transportmenge des jeweiligen Objekts multipliziert werden. Fixkosten Ko^{fix} fallen lediglich für diejenigen Perioden an, in denen das Produktionsnetzwerk-

Objekt tatsächlich existent ist. Daher wird je Netzwerktyp eine nicht-negative ganzzahlige Variable $z_{w,s,p}$, $z_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}^I$, $z_{b,w,s,p}^B$ bzw. $z_{w,s,a,p}^A$ eingeführt, die über die Werte 0 und 1 anzeigt, in welchen Perioden ein bestimmtes Objekt dieser Typen aktiv ist. Die Deklaration dieser Variablen als Binärvariable wird vermieden. Somit ergeben sich die Fixkosten Ko^{fix} über die Multiplikation der Fixkosten $Ko_{\cdot,\cdot,p}^{fix}$ einer Periode mit der Variable $z_{\cdot,\cdot,p}$. Im Allgemeinen setzen sich damit die Kosten Ko aus den variablen Kosten $StKo^{var} \cdot x$ bzw. $StKo^{var} \cdot y$ und den Fixkosten $Ko^{fix} \cdot z$ zusammen. Je nach Produktionsnetzwerk-Objektyp können die Kosten eines jeden Objekts wie in den folgenden Restriktionen (7.26), (7.27), (7.28) und (7.29) dargestellt detailliert werden.

$$Ko_{w,s,p} = Ko_{w,s,p}^{fix} \cdot z_{w,s,p} + StKo_{w,s,p}^{var} \cdot x_{w,s,p} \quad \forall w, s, p \quad (7.26)$$

$$Ko_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}^I = Ko_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}^{I,fix} \cdot z_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}^I + StKo_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}^{I,var} \cdot y_{w_1,s_1,w_2,s_2,p} \quad \forall w_1, s_1, w_2, s_2, p \quad (7.27)$$

$$Ko_{b,w,s,p}^B = Ko_{b,w,s,p}^{B,fix} \cdot z_{b,w,s,p}^B + StKo_{b,w,s,p}^{B,var} \cdot y_{b,w,s,p}^B \quad \forall b, w, s, p \quad (7.28)$$

$$Ko_{w,s,a,p}^A = Ko_{w,s,a,p}^{A,fix} \cdot z_{w,s,a,p}^A + StKo_{w,s,a,p}^{A,var} \cdot y_{w,s,a,p}^A \quad \forall w, s, a, p \quad (7.29)$$

Für die Variable z sind zusätzliche Restriktionen zu berücksichtigen. Diese Variable z muss für alle nicht-aktiven Netzwerkobjekte auf den Wert 0 gezwungen werden. Andernfalls soll z den Wert 1 annehmen. Ein Objekt ist immer dann nicht aktiv, wenn dessen Produktions- bzw. Transportmenge gleich 0 ist. In diesem Fall nimmt die Variable z mithilfe derjenigen Restriktion den Wert 0 an, in der z kleiner gleich der Menge gesetzt wird. Ab einer Produktions- bzw. Transportmenge größer gleich einem Stück soll z auf den Wert 1 gezwungen werden. Dies gelingt, indem z größer gleich der Dividende aus der Menge und einer hinreichend großen Zahl $BigM$ gesetzt wird, die größer gleich jeder möglicherweise auftretenden Menge sein muss. Ist die Menge ungleich 0, ergibt die Dividende einen Wert größer 0 und kleiner 1, so dass z auf mindestens den Wert 1 gezwungen wird. Aufgrund der Zielfunktion, die alle Kosten minimiert, wird z immer den kleinstmöglichen Wert annehmen.

$$\frac{x_{w,s,p}}{BigM} \leq z_{w,s,p} \leq x_{w,s,p} \quad \forall w, s, p \quad (7.30)$$

$$\frac{y_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}}{BigM} \leq z_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}^I \leq y_{w_1,s_1,w_2,s_2,p} \quad \forall w_1, s_1, w_2, s_2, p \quad (7.31)$$

$$\frac{y_{b,w,s,p}^B}{BigM} \leq z_{b,w,s,p}^B \leq y_{b,w,s,p}^B \quad \forall b, w, s, p \quad (7.32)$$

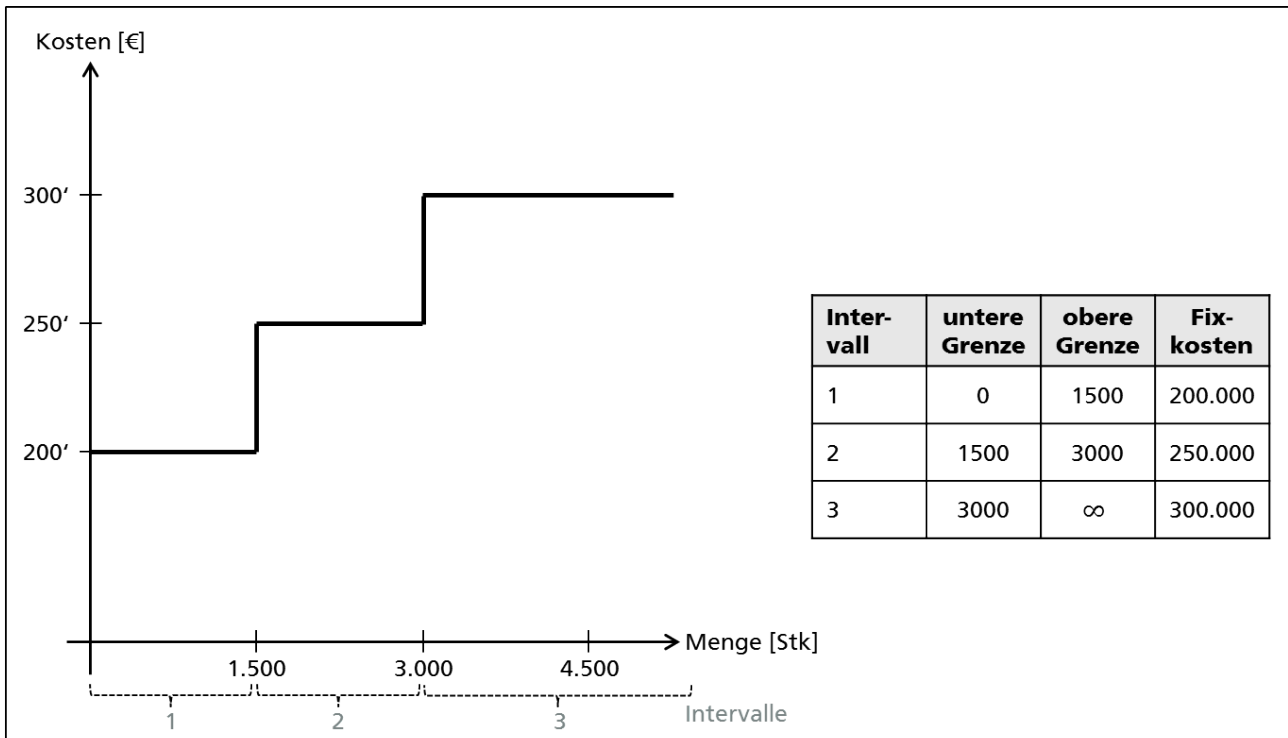


Abbildung 7.13.: Verlauf sprunghafter Kosten

$$\frac{y_{w,s,a,p}^A}{BigM} \leq z_{w,s,a,p}^A \leq y_{w,s,a,p}^A \quad \forall w, s, a, p \quad (7.33)$$

Sprungfixe Kosten Fixkosten treten häufig in Form von sprunghaften Kosten auf. Die Modellierung sprunghafter Kosten wird exemplarisch anhand der Wertschöpfungs-Standort-Kosten beschrieben. Sprunghafte Kosten interner Interdependenzen, Interdependenzen vom Beschaffungsmarkt sowie zum Absatzmarkt lassen sich analog modellieren.

Basis der Modellierung stellen die in Abbildung 7.13 dargestellten Intervalle der Produktionsmengen dar. Hierzu wird ein neuer Index i der Intervalle eingeführt. Ein Intervall definiert sich über die minimale Produktions- bzw. Transportmenge in Form der unteren Grenze UG_i des Intervalls i sowie über die maximale Produktions- bzw. Transportmenge als obere Grenze OG_i des Intervalls i . Des Weiteren sind jedem Intervall i die entsprechenden Kosten $Ko_{w,s,p,i}^{sprunghaft}$ jeder Wertschöpfungsstufe w aller Standorte s in den jeweiligen Perioden p zugeordnet.

Um zuzuordnen, in welches Intervall die Produktionsmenge $x_{w,s,p}$ fällt, wird erneut eine nicht-negative ganzzahlige Hilfsvariable $z_{w,s,p,i}^{sprunghaft}$ eingeführt, die über die Werte 0 und 1 anzeigt, ob die Produktionsmenge der Wertschöpfungs-Standort-Kombination $w-s$ in Periode p im Intervall i liegt. Erneut wird der Einsatz einer Binärvariablen vermieden. Da die Produktionsmenge $x_{w,s,p}$ ausschließlich in genau einem Intervall i liegen kann, muss die Summe der Hilfsvariablen $z_{w,s,p,i}^{sprunghaft}$ über alle Intervalle i eins ergeben. Eine Ausnahme stellt der Fall dar, in dem die Produktionsmenge $x_{w,s,p}$ gleich 0 ist und daher in keinem Intervall liegt, so dass die

Summe ebenfalls 0 ergeben muss. Dies lässt sich mithilfe der zuvor eingeführten Variablen $z_{w,s,p}$ abbilden, die genau dann den Wert 1 annimmt, wenn die Wertschöpfungsstufe w an Standort s in Periode p aktiv ist, ansonsten den Wert 0. Somit kann die Summe der Hilfsvariablen $z_{w,s,p,i}^{sprungfix}$ über alle Intervalle i gleich der Variablen $z_{w,s,p}$ gesetzt werden, so dass sich folgende Restriktion (7.34) ergibt.

$$\sum_i z_{w,s,p,i}^{sprungfix} = z_{w,s,p} \quad \forall w, s, p \quad (7.34)$$

Zur Bestimmung des Intervalls, in das die Produktionsmenge $x_{w,s,p}$ fällt, wird einerseits das Verhältnis der Produktionsmenge zu den unteren Grenzen der jeweiligen Intervalle und andererseits das Verhältnis zu den oberen Grenzen überprüft.

Ist die untere Grenze UG_i eines Intervalls i größer der Produktionsmenge $x_{w,s,p}$, liegt die Produktionsmenge nicht in diesem Intervall i . Daher muss in diesem Fall die Hilfsvariable $z_{w,s,p,i}^{sprungfix}$ auf den Wert 0 gezwungen werden. Dies ist mithilfe der Differenz aus Produktionsmenge $x_{w,s,p}$ und unterer Grenze UG_i möglich. Da diese im vorliegenden Fallbeispiel kleiner 0 ist und die Hilfsvariable $z_{w,s,p,i}^{sprungfix}$ als nicht-negative ganze Zahl definiert wurde, ist es allerdings nicht möglich, die Hilfsvariable kleiner gleich der Differenz zu setzen, ohne ein unlösbares Problem zu erzeugen. Daher wird mithilfe der Division durch $BigM$ die Differenz auf eine negative Zahl zwischen -1 und 0 normiert, so dass durch die Addition mit 1 eine positive Zahl kleiner 1 entsteht, die somit die Hilfsvariable auf 0 zwingt.

$$z_{w,s,p,i}^{sprungfix} \leq \frac{x_{w,s,p} - UG_i}{BigM} + 1 \quad \forall w, s, p, i \quad (7.35)$$

Ist die untere Grenze UG_i des Intervalls i hingegen kleiner gleich der Produktionsmenge $x_{w,s,p}$, ergibt die Differenz aus Produktionsmenge $x_{w,s,p}$ und unterer Grenze UG_i eine positive Zahl. Durch die Division dieser durch $BigM$ entsteht eine Zahl zwischen 0 und 1 , die nach dem Summieren mit 1 größer gleich 1 ist, und es daher zulässt, dass die Hilfsvariable $z_{w,s,p,i}^{sprungfix}$ den Wert 1 annehmen kann. Ob diese unter der zusätzlichen Berücksichtigung der oberen Grenzen immer noch den Wert 1 annehmen darf, hängt von folgenden analogen Zusammenhängen ab:

Ist die obere Grenze OG_i eines Intervalls i kleiner der Produktionsmenge $x_{w,s,p}$, liegt die Produktionsmenge nicht in diesem Intervall i . Daher muss in diesem Fall die Hilfsvariable $z_{w,s,p,i}^{sprungfix}$ auf den Wert 0 gezwungen werden. Dies ist mithilfe der Differenz aus der oberen Grenze OG_i und der Produktionsmenge $x_{w,s,p}$ möglich. Da diese im vorliegenden Fallbeispiel kleiner 0 ist und die Hilfsvariable $z_{w,s,p,i}^{sprungfix}$ als nicht-negative ganze Zahl definiert wurde, ist es allerdings nicht möglich, die Hilfsvariable kleiner gleich der Differenz zu setzen, ohne ein unlösbares Problem zu erzeugen. Daher wird mithilfe der Division durch $BigM$ die Differenz auf eine negative Zahl zwischen -1 und 0 normiert, so dass durch die Addition mit 1 eine positive Zahl kleiner 1 entsteht, die somit die Hilfsvariable auf 0 zwingt.

$$z_{w,s,p,i}^{sprungfix} \leq \frac{OG_i - x_{w,s,p}}{BigM} + 1 \quad \forall w, s, p, i \quad (7.36)$$

Ist die obere Grenze OG_i des Intervalls i hingegen größer gleich der Produktionsmenge $x_{w,s,p}$, ergibt die Differenz aus oberer Grenze OG_i und Produktionsmenge $x_{w,s,p}$ eine positive Zahl. Durch die Division dieser durch $BigM$ entsteht eine Zahl zwischen 0 und 1, die nach dem Summieren mit 1 größer gleich 1 ist, und es daher zulässt, dass die Hilfsvariable $z_{w,s,p,i}^{sprungfix}$ den Wert 1 annehmen kann.

Insgesamt kann somit die Hilfsvariable $z_{w,s,p,i}^{sprungfix}$ nur den Wert 1 annehmen, wenn sowohl die untere Grenze UG_i des Intervalls i kleiner gleich der Produktionsmenge $x_{w,s,p}$ ist, als auch gleichzeitig die obere Grenze OG_i desselben Intervalls i größer gleich der Produktionsmenge $x_{w,s,p}$ ist. Ist die Produktionsmenge $x_{w,s,p}$ identisch einer Grenze G , sind diese Bedingungen für zwei aufeinanderfolgende Intervalle i mit $G = OG_i$ und $i + 1$ mit $G = UG_{i+1}$ erfüllt. Da es innerhalb der Zielfunktion die zu den jeweiligen Intervallen zugehörigen sprungfixen Kosten $KO_{w,s,p,i}^{sprungfix}$ zu minimieren gilt, wird das vorangehende Intervall i mit den geringeren Kosten ausgewählt.

Als nächster Schritt steht damit die Integration der sprungfixen Kosten in die Zielfunktion an. Um allgemeingültig sowohl Fixkosten als auch sprungfixe Kosten verarbeiten zu können, wird die Zielfunktion bzw. die bisherige Zusammensetzung der Kosten aus Fixkosten $KO_{w,s,p}^{fix} \cdot z_{w,s,p}$ und variablen Kosten $StKO_{w,s,p}^{var} \cdot x_{w,s,p}$ lediglich um die sprungfixen Kosten ergänzt (vgl. Restriktion (7.37)). Dabei werden die sprungfixen Kosten $KO_{w,s,p,i}^{sprungfix}$ jedes Intervalls i mit der Hilfsvariablen $z_{w,s,p,i}^{sprungfix}$ multipliziert und über alle Intervalle i aufsummiert.

$$KO_{w,s,p} = KO_{w,s,p}^{fix} \cdot z_{w,s,p} + StKO_{w,s,p}^{var} \cdot x_{w,s,p} + \sum_i KO_{w,s,p,i}^{sprungfix} \cdot z_{w,s,p,i}^{sprungfix} \quad \forall w, s, p \quad (7.37)$$

Maximierung der Erfolgspositionen

Erfolgspositionen treten auch in allen Netzwerkobjekten auf, so dass die Maximierung der Erfolgspositionen gleichbedeutend mit der Maximierung der Summe aus den Erfolgspositionen aller Wertschöpfungs-Standort-Kombinationen $Ep_{w,s,p}$, den Erfolgspositionen aller internen Interdependenzen $Ep_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}^I$, den Erfolgspositionen aller Beschaffungsmarkt-Interdependenzen $Ep_{b,w,s,p}^B$ sowie der Erfolgspositionen aller Absatzmarkt-Interdependenzen $Ep_{w,s,a,p}^A$ ist. Die jeweilige Erfolgsposition Ep entspricht, wie in Kapitel 7.2.1 beschrieben und in Abbildung 7.9 dargestellt, einem Durchschnittswert für alle Erfolgspositionen des jeweiligen Netzwerkobjekts. Dieser Durchschnittswert hat umso mehr Gewicht, je größer die Produktions- bzw. Transportmenge dieses Objekts ist. Somit werden in der Maximierungsfunktion die Erfolgspositionen mit den entsprechenden Mengen multipliziert.

$$\begin{aligned}
 \max \quad & \sum_{w,s,p} Ep_{w,s,p} \cdot x_{w,s,p} + \sum_{w_1,s_1,w_2,s_2,p} Ep_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}^I \cdot y_{w_1,s_1,w_2,s_2,p} + \\
 & + \sum_{b,w,s,p} Ep_{b,w,s,p}^B \cdot y_{b,w,s,p}^B + \sum_{w,s,a,p} Ep_{w,s,a,p}^A \cdot y_{w,s,a,p}^A \quad (7.38)
 \end{aligned}$$

Die Erfolgspositionen-Durchschnittswerte der jeweiligen Netzwerkobjekte ermitteln sich aus Erfolgspositionen, die analog zu den Kosten in mengenabhängige und mengenunabhängige Kriterien unterschieden werden können. Beispielsweise betrifft die Mitarbeiterqualifikation jedes einzelne produzierte Stück und steigt daher in ihrer Bedeutung, umso größer die Produktionsmenge ist. Im Gegensatz dazu, kann eine Wertschöpfungs-Standort-Zuordnung Auswirkungen auf das Image haben, unabhängig davon welche Stückzahl dort produziert wird. Ohne diese Unterscheidung in mengenabhängige und mengenunabhängige Erfolgspositionen in der Zielfunktion (7.38) gewinnen oder verlieren in Ausnahmefällen einzelne Erfolgspositionen innerhalb des Durchschnittswerts ihren realen Einfluss auf das Ergebnis. Beispielsweise reduziert sich im Fall einer sehr kleinen Menge an einem Netzwerkobjekt über die Multiplikation mit der Menge $x_{w,s,p}$, $y_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}$, $y_{b,w,s,p}^B$ oder $y_{w,s,a,p}^A$ der Einfluss des entsprechenden Erfolgspositionen-Durchschnittswerts auf das Ergebnis, obwohl in der Realität die mengenunabhängigen Kriterien aus dem Durchschnittswert dieses Netzwerkobjekts unabhängig der Menge dieselbe Bedeutung haben sollten. Entscheidend ist diese Abweichung von der Realität in der Regel lediglich in Ausnahmefällen von extrem geringen oder großen Mengen eines Netzwerkobjekts. Daher wird gemäß den Anforderungen eines „angemessenen Aufwands für den Entscheider“ sowie „der Methode“ auf eine Detaillierung der Zielfunktion (7.38) analog der Kostenfunktion verzichtet.

Minimierung der Risiken

Risiken werden analog zu den Erfolgspositionen behandelt, sollen aber im Unterschied dazu minimiert werden. Für die einzelnen Produktionsnetzwerk-Objekte werden gemäß Kapitel 7.2.1 jeweils Durchschnittswerte der dort bestehenden Risiken ermittelt. Die Risiken $Ri_{w,s,p}$ der Wertschöpfungs-Standort-Zuordnungen, die Risiken $Ri_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}^I$ der internen Interdependenzen, die Risiken $Ri_{b,w,s,p}^B$ der Interdependenzen vom Beschaffungsmarkt sowie die Risiken $Ri_{w,s,a,p}^A$ der Interdependenzen zum Absatzmarkt werden wiederum mit den die Objekte durchlaufenden Mengen gewichtet und aufsummiert. Die Minimierung dieser Summe ist Ziel der folgenden Zielfunktion (7.39).

$$\begin{aligned}
 \min \quad & \sum_{w,s,p} Ri_{w,s,p} \cdot x_{w,s,p} + \sum_{w_1,s_1,w_2,s_2,p} Ri_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}^I \cdot y_{w_1,s_1,w_2,s_2,p} + \\
 & + \sum_{b,w,s,p} Ri_{b,w,s,p}^B \cdot y_{b,w,s,p}^B + \sum_{w,s,a,p} Ri_{w,s,a,p}^A \cdot y_{w,s,a,p}^A \quad (7.39)
 \end{aligned}$$

Innerhalb der Risiken existieren ebenfalls mengenabhängige sowie mengenunabhängige Kriterien. Beispielsweise besteht das Risiko der Weitergabe von geistigem Eigentum, sobald 1 Stück an einer Wertschöpfungs-Standort-Zuordnung produziert wird, während die negativen Auswirkungen einer Naturkatastrophe proportional zur betroffenen Menge steigen. Da diese Unterscheidung analog zu den Erfolgspositionen lediglich in Ausnahmefällen Einfluss auf das Ergebnis nimmt, wird sie vernachlässigt.

7.2.3. Implementierung des Modells für Gestaltungskriterien

Im Folgenden werden die erarbeiteten Zielfunktionen inklusive zugehöriger Restriktionen in der Modellierungssprache implementiert. Da Implementierungssoftware lediglich Einziel-Optimierungen durchführen kann, aber dennoch der Modellierungszyklus zur Validierung des Modells für Gestaltungskriterien vollständig durchlaufen werden soll, werden an dieser Stelle drei Modelle zur Minimierung der Kosten, zur Maximierung der Erfolgspositionen sowie zur Minimierung der Risiken formuliert. Dabei wird jeweils auf das in 7.1.3 implementierte Modell der Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken aufgebaut.

Zunächst wird das Modell zur Minimierung der Kosten realisiert. Innerhalb der Modell- und Datendateien wird der Index *Intervalle* ergänzt, der ausschließlich ganzzahlige Werte annimmt und daher als integer definiert wird. Als Parameter des Typs float treten variable Kosten, Fixkosten sowie sprungfixe Kosten je Netzwerkobjekttyp auf. Dabei wird für die sprungfixen Kosten je Objekttyp ein zusätzliches Hilfstupel benötigt. Weitere Parameter stellen die unteren sowie oberen Grenzen der sprungfixen Kosten dar. Des Weiteren werden nicht-negative ganzzahlige Hilfsvariablen je Typ der Produktionsnetzwerk-Objekte benötigt. Hierbei handelt es sich zum Einen um Variablen, die angeben, ob ein Produktionsnetzwerk-Objekt aktiv ist oder nicht, und zum Zweiten um Variablen, die anzeigen, in welches Intervall die ermittelten Produktions- bzw. Transportmengen fallen.

Aufbauend auf diesen Definitionen können innerhalb der Modelldatei die Zielfunktion sowie die zugehörigen Restriktionen formuliert werden. Aus den beiden Ungleichungen der Restriktionen zur Ermittlung, ob gewisse Objekte des Netzwerks aktiv sind (vgl. beispielsweise (7.30)), ergibt sich für eine nicht-ganzzahlige Produktions- bzw. Transportmenge zwischen 0 und 1 aufgrund der Ganzzahligkeit der Variablen z ein Widerspruch. Da in der Realität mit ganzzahligen Mengen gearbeitet wird und die Rechenlaufzeit dies zum aktuellen Zeitpunkt zulässt, werden alle Mengenvariablen vom Typ float auf den Typ integer umgestellt. Dies hat zur Folge, dass die Gleichungen (7.2) und (7.3) zur Modellierung des Materialflusses der nun ganzzahligen Produktions- und Transportmengen bei nicht-ganzzahligen Mengenangaben M_{w_1, w_2} bzw. M_w^B möglicherweise nicht lösbar sind. Dem kann entgegengewirkt werden, wenn das Produkt aus Produktionsmenge und der jeweiligen Mengenangabe jeweils als Hilfsvariable $xM_{w_1, w_2, s, p}$ bzw. $xM_{w, s, p}^B$ eingeführt wird. Werden diese Hilfsvariablen jeweils mithilfe zweier zusätzlicher Restriktionen aufgerundet und in den Restriktionen (7.2) und (7.3) an Stelle des Produkts verwendet,

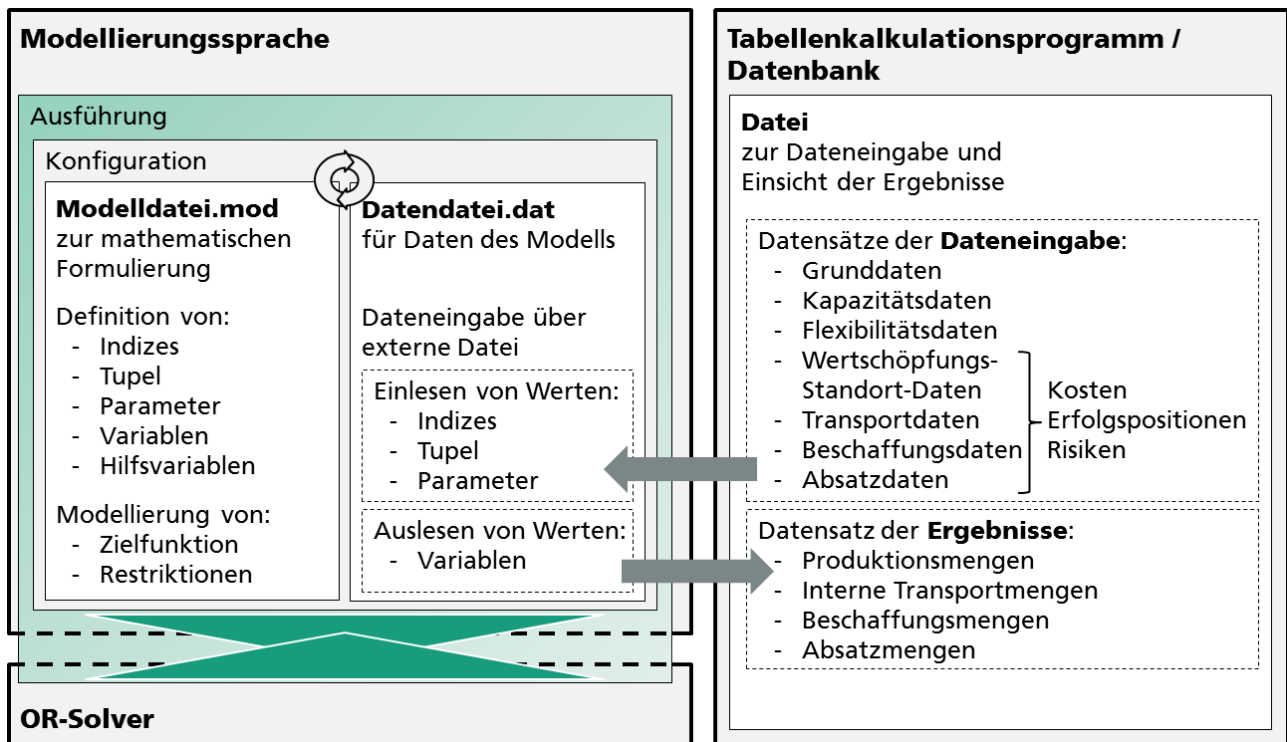


Abbildung 7.14.: Architektur zur Implementierung des Modells für Gestaltungskriterien

enthalten die Gleichungen ausschließlich ganzzahlige Werte und sind damit wieder lösbar. Das Aufrunden der benötigten Produktionsmenge auf eine ganzzahlige Menge entspricht darüber hinaus der Realität.

In der in Kapitel 7.1.3 beschriebenen externen Tabellenkalkulationsdatei werden zusätzliche Datensätze für Wertschöpfungs-Standort-Daten, Transportdaten, Beschaffungs- und Absatzdaten angelegt. Dort finden sich die jeweiligen Hilfstupel mit den zugehörigen Kosten wieder. Der Anwender gibt lediglich die für ihn relevanten Kostenwerte ein. In der Regel liegen entweder Fixkosten oder sprungfixe Kosten vor; in außergewöhnlichen Fällen erfolgt eine Realisierung beider Kostenarten. Alle Kosten, für die keine Werte eingetragen werden, behalten ihren vorbelegten Wert 0 und haben somit keinen Einfluss auf die Gesamtkosten.

Da nun zum ersten Mal ein vollständiges Modell mit Zielfunktion sowie Restriktionen inklusive Daten aufgebaut ist, kann dieses gelöst werden. Hierzu wird in der Modellierungssprache die Modell- und Datendatei innerhalb einer sogenannten Konfiguration verknüpft und mithilfe dieser ausgeführt. Die Ausführung greift nach dem Einlesen der Daten aus der externen Datei auf den OR-Solver zu und löst darüber das mathematische Modell. Die ermittelten Ergebnisse der Produktions-, Transport-, Beschaffungs- und Absatzmengen werden in die externe Datei geschrieben und können so überprüft werden (vgl. Abbildung 7.14).

Bei der Implementierung zeigt sich, dass die Division einer positiven Zahl größer 0 durch $BigM$ den Wert 0 ergeben kann, wenn der Wert für $BigM$ zu groß gewählt wurde. Daher werden für die entsprechenden Restriktionen (7.30), (7.31), (7.32) und (7.33) sowie (7.35) und (7.36)

spezifische maximale Größen für Produktions-, Transport-, Beschaffungs- bzw. Absatzmenge eingesetzt.

Analog zum Modell zur Minimierung der Kosten wurden ein Modell zur Maximierung der Erfolgspositionen und ein Modell zur Minimierung der Risiken implementiert.

7.3. Modell zur Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien

Dieser Abschnitt befasst sich mit der Beantwortung der dritten Unterforschungsfrage „Wie lässt sich ein stabiles Gesamtoptimum nach integriert betrachteten quantitativen und qualitativen Kriterien erzeugen?“ Hierfür wird in Kapitel 7.3.1 mit der Entwicklung und Beschreibung einer Logik zur Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien die Basis gelegt. Darauf aufbauend erfolgt die mathematische Modellierung in Kapitel 7.3.2 sowie die Implementierung in Kapitel 7.3.3.

7.3.1. Logik zur Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien

Die Basis zur „Modellierung und Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien“ wurde in Kapitel 4 geschaffen. Die dort identifizierten Anforderungen an eine Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien bildeten die Grundlage der Bewertung von Lösungsansätzen, die den Einsatz des Goal Programmings ergab (vgl. Kapitel 4.5).

Das Goal Programming gehört zu den Ansätzen, die mehrere Zielfunktionen zu einer Einzelfunktion aggregieren (vgl. Kapitel 4.5.3). Innerhalb der in Kapitel 7.2 entwickelten Modellierung für Gestaltungskriterien der Wertschöpfungsverteilung ergaben sich die drei Zielfunktionen Minimierung der Kosten, Maximierung der Erfolgspositionen und Minimierung der Risiken. Diese gilt es, im Folgenden zusammenzuführen. Gemäß dem in Kapitel 4.5.3 beschriebenen Goal Programming erfolgt dies derart, dass die Abweichungen der verschiedenen Zielkriterien von zu definierenden Zielwerten – den sogenannten Goals – minimiert werden. Eine optimale Wertschöpfungsverteilung erreicht die drei vorgegebenen Zielwerte der Kosten, der Erfolgspositionen sowie der Risiken möglichst genau.

Parametrisierung der Zielwerte

In der Regel werden im Goal Programming die Zielwerte der jeweiligen Zielkriterien von den Entscheidern bestimmt. Im Fall der Wertschöpfungsverteilung sind allerdings aufgrund des Neuheitsgrads in der Berücksichtigung von qualitativen Kriterien die Werte für die Entscheider sehr schwer einzuschätzen. Erstens ist selten bekannt, wie gut die derzeitige Wertschöpfungs-

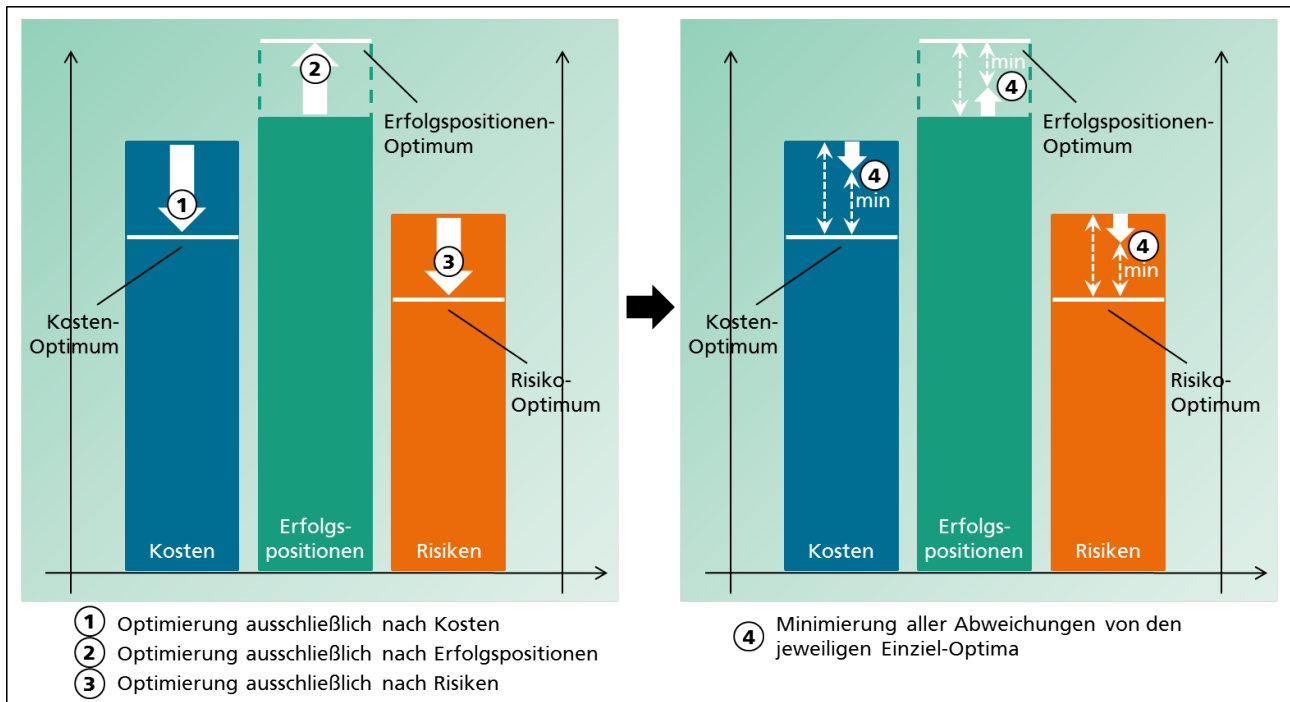


Abbildung 7.15.: Logik zur Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien

verteilung hinsichtlich qualitativer Kriterien aufgestellt ist. Zweitens ist noch seltener bekannt, welche Werte durch eine verbesserte Wertschöpfungsverteilung möglich sind. Daher gilt es einen Weg zu finden, dem Entscheider die Parametrisierung der Zielwerte abzunehmen. Ziel ist es, die Werte auf eine fundierte Art zu ermitteln.

Als Zielwerte eignen sich die Optima einer Einzel-Optimierung (vgl. Kapitel 4.5.3). Eine fundierte Ermittlung erfolgt über Optimierungen der Wertschöpfungsverteilung nach jeweils einem einzelnen Zielkriterium – Kosten, Erfolgspositionen bzw. Risiken. Auf diese Weise ergibt sich aus der Optimierung der Wertschöpfungsverteilung nach Kosten ein Kosten-Optimum sowie eine kostenoptimale Wertschöpfungsverteilung. Die Optimierung der Wertschöpfungsverteilung nach Erfolgspositionen führt zum Erfolgspositionen-Optimum einer erfolgspositionenoptimalen Wertschöpfungsverteilung. Analog lässt sich das Risiko-Optimum zusammen mit einer risikooptimalen Wertschöpfungsverteilung ermitteln. Damit ist bekannt, welche Werte im Idealfall möglich sind. Integriert betrachtet ist im Regelfall die optimale Wertschöpfungsverteilung weder kostenoptimal noch erfolgspositionenoptimal oder risikooptimal. Ziel ist allerdings, dass die Kosten, Erfolgspositionen und Risiken möglichst nahe an deren Optima aus der Einzel-Optimierung liegen. Somit stellen das Kosten-Optimum, Erfolgspositionen-Optimum und Risiko-Optimum die Zielwerte dar.

Aus der Parametrisierung der Zielwerte resultiert das in Abbildung 7.15 dargestellte Vorgehen für die Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien: Zunächst wird die Wertschöpfungsverteilung einzig nach der Zielgröße Kosten optimiert (1) und so das Kosten-Optimum bestimmt. Anschließend wird rein nach Erfolgspositionen optimiert (2) und das

Erfolgspositionen-Optimum ermittelt. Im dritten Schritt wird das Risiko-Optimum berechnet (3), indem die Wertschöpfungsverteilung allein nach Risiken optimiert wird. Die ermittelten Optima stellen als Zielwerte Inputgrößen für eine in der Abbildung 7.15 rechts dargestellte vierte Optimierung dar. Deren Ziel ist es, die Abweichungen von den ermittelten Zielwerten zu minimieren (4) und damit ein integriertes Optimum zu erzeugen.

Minimierung der Abweichungen von den Zielwerten

Beim Goal Programming wird wie in Kapitel 4.5.3 beschrieben „entweder die Summe der Abweichungen der jeweiligen Zielkriterien von den Goals oder die maximale Abweichung aus allen Abweichungen minimiert“. Bei der Summe der Abweichungen werden die Abweichungen in Kosten, in Erfolgspositionen und Risiken in ihrer Summe minimiert. Dadurch wird eine größere Abweichung bei einem Kriterium lediglich dann in Kauf genommen, wenn darüber bessere Werte bei den Abweichungen der anderen beiden Zielgrößen erzielt werden, die dies wiederum ausgleichen. Im Gegensatz dazu werden bei der Minimierung der maximalen Abweichung aus den Abweichungen der drei Kriterien schlechtere Werte bei zwei Kriterien unbegrenzt in Kauf genommen, um einen besseren Wert bei einem Kriterium zu erzeugen. Da alle Abweichungen im Sinne einer minimalen Gesamtabweichung gleichermaßen minimiert werden sollen und nicht das Kriterium mit der größten Abweichung im Fokus der Optimierung stehen soll, wird die Summe der Abweichungen aller drei Kriterien optimiert. Des Weiteren können auf diese Art die in Kapitel 7.2.1 beschriebenen und in den Anforderungen geforderten „unterschiedlichen Strategien“ im Spannungsfeld der Kostenführerschaft, der Nachhaltigkeit und der Risikoaversität berücksichtigt werden. Alle drei Summanden – die Abweichung von den optimalen Kosten, die Abweichung von den optimalen Erfolgspositionen und die Abweichung von den optimalen Risiken – erhalten einen Gewichtungsfaktor. Somit kann jede Unternehmensstrategie von ihren unterschiedlichen Schwerpunkten bezüglich Kosten, Erfolgspositionen und Risiken abgebildet werden.

Die Anforderung „normierter Vergleich von Zielwerten“ insbesondere unterschiedlicher Einheiten gilt es derart umzusetzen, dass Werte der Kosten in Geldeinheiten mit skalenbasierten Werten der Erfolgspositionen und Risiken vergleichbar verarbeitet werden können. Dabei sind sehr unterschiedliche Größenordnungen in den Bewertungen der Kriterien vorprogrammiert, wenn Kosten beispielsweise Werte in Millionenhöhe annehmen, während sich die Werte von Erfolgspositionen und Risiken innerhalb ihrer definierten Skala bewegen. Würde für die Bewertung die absolute Abweichung vom jeweiligen Optimum herangezogen, würden die Abweichungen der Erfolgspositionen und Risiken mit einem im Vergleich zu den Kosten sehr geringen Wert nicht ins Gewicht fallen. Somit würden ausschließlich die Kosten minimiert und sehr schlechte Erfolgspositionen sowie sehr hohe Risiken in Kauf genommen. Kommen hingegen prozentuale Abweichungen zum Einsatz, können z. B. eine Risikozielabweichung von 1 und eine Kostenzielabweichung von 100.000 Euro beide eine Abweichung von 10 % bedeuten. Auf diese Weise

werden Abweichungen von Größen unterschiedlicher Einheiten vergleichbar, so dass alle Kriterien in der Optimierung gleichermaßen berücksichtigt werden. Daher werden bei der Minimierung die prozentualen Abweichungen eingesetzt.

Bei der Ermittlung prozentualer Größen stellt die Bezugsgröße einen entscheidenden Faktor dar. Bei der Wertschöpfungsverteilung liegt es nahe, die jeweiligen Zielwerte der Kriterien als Bezugsgröße einzusetzen. Da es sich bei einem Teil der Zielwerte um Maxima und beim anderen Teil um Minima handelt, liegt darüber allerdings keine einheitliche Messgröße vor. Dies kann dennoch erreicht werden, indem für das Kriterium Erfolgspositionen neben dem bereits bekannten Maximum das Minimum ermittelt wird. Dies kann über eine Einzel-Optimierung erfolgen, die die Erfolgspositionen minimiert. Um diese zusätzliche Modellierung und Optimierung zu vermeiden, werden die Ergebnisse aus den bereits definierten Optimierungen zur Minimierung der Kosten und zur Minimierung der Risiken zur Berechnung einer Untergrenze der Erfolgspositionen genutzt. Dabei werden jeweils die Erfolgspositionen der kosten- sowie risikooptimalen Wertschöpfungsverteilung berechnet und das Minimum daraus bestimmt. Dieses gibt die mindestens möglichen Erfolgspositionen bei optimalen Kosten bzw. optimalen Risiken an und wird als Bezugsgröße angenommen. Somit können die prozentualen Abweichungen aus den jeweiligen absoluten Abweichungen in den einzelnen Kriterien mithilfe der entsprechenden Bezugsgrößen ermittelt werden.

7.3.2. Mathematische Modellierung zur Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien

Die in Kapitel 7.3.1 entwickelte Logik zur Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien baut auf den in 7.2.2 erarbeiteten Zielfunktionen (7.25), (7.38) und (7.39) auf. Zur Aggregation dieser sind die Optima O_k je Zielkriterium k der jeweiligen Einzel-Optimierung erforderlich. Dabei ergibt die Optimierung der Wertschöpfungsverteilung nach minimalen Kosten das Kosten-Optimum $O_{k=Ko}$. Die Maximierung der Erfolgspositionen führt zum Erfolgspositionen-Optimum $O_{k=Ep}$, während die Minimierung der Risiken das Risiko-Optimum $O_{k=Ri}$ ermittelt.

In der aggregierenden Zielfunktion werden Abweichungen ε_k von diesen Zielwerten O_k der jeweiligen Zielkriterien k optimiert. Diese Abweichungen ε_k entstehen dadurch, dass im Regelfall im multikriteriellen Modell durch die integrierte Optimierung aller Kriterien keine der formulierten Funktionen (7.25), (7.38) und (7.39) ihren Optimalwert erreicht. Für die Kosten bedeutet dies, dass in der Regel die Summe über alle Kosten (vgl. (7.25)) größer als der Einzel-Optimalwert $O_{k=Ko}$ ist. Dies ist gleichbedeutend damit, dass die Summe der Kosten gleich dem Optimum $O_{k=Ko}$ plus einer Abweichung $\varepsilon_{k=Ko}$ ist.

$$\sum_{w,s,p} Ko_{w,s,p} + \sum_{w_1,s_1,w_2,s_2,p} Ko_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}^I + \sum_{b,w,s,p} Ko_{b,w,s,p}^B + \sum_{w,s,a,p} Ko_{w,s,a,p}^A = O_{k=Ko} + \varepsilon_{k=Ko} \quad (7.40)$$

Da die Erfolgspositionen maximiert werden, wird im multikriteriellen Modell die Summe über alle Erfolgspositionen (vgl. (7.38)) unter dem Optimalwert $O_{k=Ep}$ der Einzel-Optimierung liegen. Damit entspricht die Summe der Erfolgspositionen dem Optimum $O_{k=Ko}$ minus einer Abweichung $\varepsilon_{k=Ep}$.

$$\begin{aligned} & \sum_{w,s,p} Ep_{w,s,p} \cdot x_{w,s,p} + \sum_{w_1,s_1,w_2,s_2,p} Ep_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}^I \cdot y_{w_1,s_1,w_2,s_2,p} + \\ & + \sum_{b,w,s,p} Ep_{b,w,s,p}^B \cdot y_{b,w,s,p}^B + \sum_{w,s,a,p} Ep_{w,s,a,p}^A \cdot y_{w,s,a,p}^A = O_{k=Ep} - \varepsilon_{k=Ep} \end{aligned} \quad (7.41)$$

Für das Risiko ergibt sich analog zu den Kosten, dass im multikriteriellen Modell die Summe über alle Risiken (vgl. (7.39)) gleich dem Optimum $O_{k=Ri}$ aus der Einzel-Optimierung plus einer Abweichung $\varepsilon_{k=Ri}$ sein wird.

$$\begin{aligned} & \sum_{w,s,p} Ri_{w,s,p} \cdot x_{w,s,p} + \sum_{w_1,s_1,w_2,s_2,p} Ri_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}^I \cdot y_{w_1,s_1,w_2,s_2,p} + \\ & + \sum_{b,w,s,p} Ri_{b,w,s,p}^B \cdot y_{b,w,s,p}^B + \sum_{w,s,a,p} Ri_{w,s,a,p}^A \cdot y_{w,s,a,p}^A = O_{k=Ri} + \varepsilon_{k=Ri} \end{aligned} \quad (7.42)$$

Nun gilt es, innerhalb der Zielfunktion die Abweichungen $\varepsilon_{k=Ko}$, $\varepsilon_{k=Ep}$ und $\varepsilon_{k=Ri}$ zu minimieren.

Diese absoluten Abweichungen ε_k müssen in prozentualer Form in die Zielfunktion eingehen. Als Bezugsgröße BG_k für die prozentuale Berechnung wurden die Minima aus der Einzel-Optimierung definiert (vgl. Kapitel 7.3.1). Somit ergibt sich die prozentuale Abweichung aus der Division der absoluten Abweichung ε_k durch die Bezugsgröße BG_k . Zur Optimierung der Abweichungen wird die Summe der prozentualen Abweichungen $\frac{\varepsilon_k}{BG_k}$ minimiert. Für die Abbildung unterschiedlicher Unternehmensstrategien erhält jeder Summand eine Gewichtung ω_k . Somit entsteht die Zielfunktion (7.43), die die Summe der gewichteten prozentualen Abweichungen minimiert.

$$\min \quad \sum_k \omega_k \cdot \frac{\varepsilon_k}{BG_k} \quad (7.43)$$

Das Modell zur Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien setzt sich aus der Zielfunktion (7.43) und den Restriktionen (7.40), (7.41) und (7.42) zusammen. Dabei tritt ε_k als zusätzliche Variable auf, während O_k , BG_k und ω_k als Parameter auftreten.

Diese Notation des Modells zur Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien lässt sich verbessern, indem die drei Restriktionen (7.40), (7.41) und (7.42) in eine Restriktion integriert werden. Hierzu werden die drei Hilfsvektoren h_k^{Ko} für die Kosten, h_k^{Ep} für die Erfolgspositionen und h_k^{Ri} für die Risiken definiert. Jeder Hilfsvektor nimmt, wie im Folgenden dargestellt, ausschließlich an derjenigen Stelle den Wert 1 an, für dessen Kriterium er steht.

$$\begin{pmatrix} h_{k=Ko}^{Ko} \\ h_{k=Ep}^{Ko} \\ h_{k=Ri}^{Ko} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} h_{k=Ko}^{Ep} \\ h_{k=Ep}^{Ep} \\ h_{k=Ri}^{Ep} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} h_{k=Ko}^{Ri} \\ h_{k=Ep}^{Ri} \\ h_{k=Ri}^{Ri} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (7.44)$$

Des Weiteren wird ein Vektor VZ_k benötigt, der durch einen Vorzeichenwechsel die aus der gleichzeitigen Verarbeitung von Maximierungs- und Minimierungsfunktionen auftretenden Unterschiede in den Gleichungen verarbeiten kann. Hierzu nimmt der Vektor für die Kriterien Kosten und Risiken den Wert 1 an, wohingegen der Wert für das Kriterium Erfolgspositionen -1 beträgt.

$$\begin{pmatrix} VZ_{k=Ko} \\ VZ_{k=Ep} \\ VZ_{k=Ri} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (7.45)$$

Durch die Verwendung dieser Vektoren ist folgende Restriktion (7.46) gleichbedeutend mit den drei ursprünglich formulierten Restriktionen (7.40), (7.41) und (7.42).

$$\begin{aligned} & \left(\sum_{w,s,p} Ko_{w,s,p} + \sum_{w_1,s_1,w_2,s_2,p} Ko_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}^I + \sum_{b,w,s,p} Ko_{b,w,s,p}^B + \sum_{w,s,a,p} Ko_{w,s,a,p}^A \right) \cdot h_k^{Ko} + \\ & + \left(\sum_{w,s,p} Ep_{w,s,p} \cdot x_{w,s,p} + \sum_{w_1,s_1,w_2,s_2,p} Ep_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}^I \cdot y_{w_1,s_1,w_2,s_2,p} + \right. \\ & \left. + \sum_{b,w,s,p} Ep_{b,w,s,p}^B \cdot y_{b,w,s,p}^B + \sum_{w,s,a,p} Ep_{w,s,a,p}^A \cdot y_{w,s,a,p}^A \right) \cdot h_k^{Ep} + \\ & + \left(\sum_{w,s,p} Ri_{w,s,p} \cdot x_{w,s,p} + \sum_{w_1,s_1,w_2,s_2,p} Ri_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}^I \cdot y_{w_1,s_1,w_2,s_2,p} + \right. \\ & \left. + \sum_{b,w,s,p} Ri_{b,w,s,p}^B \cdot y_{b,w,s,p}^B + \sum_{w,s,a,p} Ri_{w,s,a,p}^A \cdot y_{w,s,a,p}^A \right) \cdot h_k^{Ri} = \\ & = O_k + VZ_k \cdot \varepsilon_k \quad \forall k \in \{Ko, Ep, Ri\} \end{aligned} \quad (7.46)$$

7.3.3. Implementierung des Modells zur Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien

Zur Implementierung des mathematischen Optimierungsmodells werden im Folgenden die drei entwickelten Gleichungen (7.40), (7.41) und (7.42) in Ungleichungen umgeschrieben. Anschließend wird aus diesen die zusammenfassende Ungleichung analog zur Gleichung (7.46) abgeleitet.

Die Kosten der multikriteriellen Lösung können definitiv nur größer oder gleich dem Optimalwert der Einzel-Optimierung sein. Daher stellt folgende Ungleichung (7.47) zusammen mit der

Minimierung der Abweichung $\varepsilon_{k=Ko}$ dieselbe Anforderung an die Variablen wie die Gleichung (7.40).

$$\sum_{w,s,p} Ko_{w,s,p} + \sum_{w_1,s_1,w_2,s_2,p} Ko_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}^I + \sum_{b,w,s,p} Ko_{b,w,s,p}^B + \sum_{w,s,a,p} Ko_{w,s,a,p}^A \leq O_{k=Ko} + \varepsilon_{k=Ko} \quad (7.47)$$

Analoges gilt für die Risiken, so dass folgende Ungleichung (7.48) dieselbe Auswirkung auf die Variablen hat wie ursprünglich Gleichung (7.42).

$$\begin{aligned} & \sum_{w,s,p} Ri_{w,s,p} \cdot x_{w,s,p} + \sum_{w_1,s_1,w_2,s_2,p} Ri_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}^I \cdot y_{w_1,s_1,w_2,s_2,p} + \\ & + \sum_{b,w,s,p} Ri_{b,w,s,p}^B \cdot y_{b,w,s,p}^B + \sum_{w,s,a,p} Ri_{w,s,a,p}^A \cdot y_{w,s,a,p}^A \leq O_{k=Ri} + \varepsilon_{k=Ri} \end{aligned} \quad (7.48)$$

Im Gegensatz zu den Kosten und Risiken liegt der Wert der Erfolgspositionen aus der multikriteriellen Optimierung unterhalb des Optimalwerts der Einzel-Optimierung. Daher soll der zu erzielende Wert der Erfolgspositionen größer oder gleich des Optimalwerts minus einer zu minimierenden Abweichung $\varepsilon_{k=Ep}$ sein. Somit kann Gleichung (7.41) durch folgende Ungleichung (7.49) ersetzt werden.

$$\begin{aligned} & \sum_{w,s,p} Ep_{w,s,p} \cdot x_{w,s,p} + \sum_{w_1,s_1,w_2,s_2,p} Ep_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}^I \cdot y_{w_1,s_1,w_2,s_2,p} + \\ & + \sum_{b,w,s,p} Ep_{b,w,s,p}^B \cdot y_{b,w,s,p}^B + \sum_{w,s,a,p} Ep_{w,s,a,p}^A \cdot y_{w,s,a,p}^A \geq O_{k=Ep} - \varepsilon_{k=Ep} \end{aligned} \quad (7.49)$$

Mithilfe einer Multiplikation der letzten Ungleichung (7.49) mit -1 erfolgt die Zusammenführung der drei Ungleichungen. Daraus entsteht folgende Ungleichung als Restriktion.

$$\begin{aligned} & \left(\sum_{w,s,p} Ko_{w,s,p} + \sum_{w_1,s_1,w_2,s_2,p} Ko_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}^I + \sum_{b,w,s,p} Ko_{b,w,s,p}^B + \sum_{w,s,a,p} Ko_{w,s,a,p}^A \right) \cdot h_k^{Ko} + \\ & + (-1) \left(\sum_{w,s,p} Ep_{w,s,p} \cdot x_{w,s,p} + \sum_{w_1,s_1,w_2,s_2,p} Ep_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}^I \cdot y_{w_1,s_1,w_2,s_2,p} + \right. \\ & \left. + \sum_{b,w,s,p} Ep_{b,w,s,p}^B \cdot y_{b,w,s,p}^B + \sum_{w,s,a,p} Ep_{w,s,a,p}^A \cdot y_{w,s,a,p}^A \right) \cdot h_k^{Ep} + \\ & + \left(\sum_{w,s,p} Ri_{w,s,p} \cdot x_{w,s,p} + \sum_{w_1,s_1,w_2,s_2,p} Ri_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}^I \cdot y_{w_1,s_1,w_2,s_2,p} + \right. \\ & \left. + \sum_{b,w,s,p} Ri_{b,w,s,p}^B \cdot y_{b,w,s,p}^B + \sum_{w,s,a,p} Ri_{w,s,a,p}^A \cdot y_{w,s,a,p}^A \right) \cdot h_k^{Ri} \end{aligned}$$

$$\leq VZ_k \cdot O_k + \varepsilon_k \quad \forall k \in \{Ko, Ep, Ri\} \quad (7.50)$$

Diese Restriktion (7.50) gilt es, im Folgenden zusammen mit der Zielfunktion in einer Modellierungssprache umzusetzen. Diese Implementierung des Modells, das integriert nach quantitativen und qualitativen Kriterien optimiert, baut auf den in Kapitel 7.2.3 implementierten Modellen zur Minimierung der Kosten, zur Maximierung der Erfolgspositionen sowie zur Minimierung der Risiken auf. Diese werden bis auf ihre Zielfunktionen vereint. Bei der Zusammenführung der Restriktionen fällt für die Beschränkung der Wertebereiche der Variablen $z_{w,s,p}$, $z_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}^I$, $z_{b,w,s,p}^B$ und $z_{w,s,a,p}^A$ auf $\{0, 1\}$ folgende Nacharbeit an. Im Modell zur Minimierung der Kosten reichten für die Variable $z_{w,s,p}$ die beiden Ungleichungen der Restriktion (7.30) aus, um den erforderlichen Wertebereich zu erhalten:

$$\frac{x_{w,s,p}}{BigM} \leq z_{w,s,p} \leq x_{w,s,p} \quad \forall w, s, p$$

Aufgrund der Minimierung nahm $z_{w,s,p}$ immer den kleinstmöglichen Wert an, so dass keine weitere Begrenzung von oben erforderlich war. Da in der ganzheitlichen Zielfunktion sowohl die Minimierung der Kosten bzw. Risiken als auch die Maximierung der Erfolgspositionen vereint ist, ist nicht mehr sichergestellt, dass $z_{w,s,p}$ durch die Optimierung in jedem Fall den kleinstmöglichen Wert annimmt. Daher muss dieser für jede der Variablen $z_{w,s,p}$, $z_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}^I$, $z_{b,w,s,p}^B$ und $z_{w,s,a,p}^A$ durch eine Restriktion auf 1 begrenzt werden. Dies erfolgt, indem für jede Variable die entsprechende Restriktion $z_{w,s,p} \leq x_{w,s,p} \quad \forall w, s, p$ durch folgende Restriktion (7.51) ersetzt wird.

$$z_{w,s,p} \leq \frac{x_{w,s,p}}{BigM} + (1 - \zeta) \quad \forall w, s, p, \zeta \mid (0 < \zeta < 1) \wedge (\zeta \leq \frac{x_{w,s,p}}{BigM}, \text{ falls } x_{w,s,p} > 0) \quad (7.51)$$

Beträgt die Produktionsmenge $x_{w,s,p}$ 0, wird $z_{w,s,p}$ durch seine Ganzzahligkeit weiterhin auf 0 gezwungen. Liegt eine Produktionsmenge $x_{w,s,p}$ vor, nimmt der Term der rechten Seite der Restriktion Werte größer gleich 1 und kleiner 2 an⁴, so dass $z_{w,s,p}$ größtenteils den Wert 1 annimmt. Aufbauend auf diesen Restriktionen kann die Implementierung erfolgen.

Die Modell- und Datendatei wird um den Index *Kriterium* ergänzt, der als string definiert wird. Als Parameter werden die Optimalwerte der Einzel-Optimierung, die Gewichtung der Kriterien, die Bezugsgröße der Kriterien sowie die Hilfsvektoren zur Realisierung der relevanten Terme und Vorzeichen für das entsprechende Kriterium angelegt. Des Weiteren tritt die Abweichung vom Zielwert des jeweiligen Kriteriums als zusätzliche Variable auf. Mithilfe dieser Erweiterungen können innerhalb der Modelldatei die Zielfunktion und die zugehörige Restriktion formuliert werden.

⁴ ζ steht analog zu *BigM* für eine „hinreichend kleine Zahl“

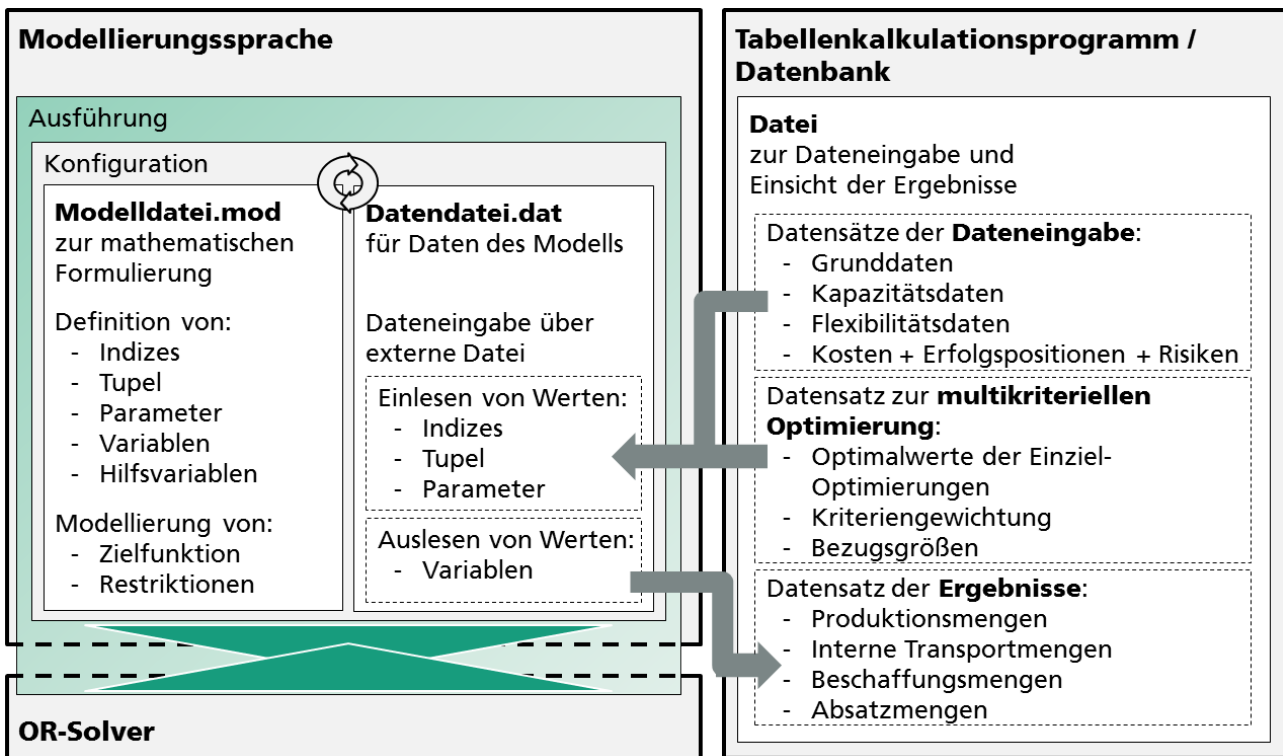


Abbildung 7.16.: Architektur zur Implementierung des Modells zur Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien

In der externen Datei wird ein zusätzlicher Datensatz angelegt, der die neu eingeführten Parameter für die multikriterielle Optimierung mit Daten versorgt. Des Weiteren ergibt die Zusammenführung der Daten aus den in Kapitel 7.2.3 implementierten Modellen Datensätze je Netzwerkobjekt, die jeweils Kosten, Erfolgspositionen und Risiken parallel umfassen.

Analog zu den Einzel-Modellen aus 7.2.3 kann das multikriterielle Modell zur Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien über eine Konfiguration ausgeführt und gelöst werden (vgl. Abbildung 7.16). Dabei wurde festgestellt, dass innerhalb der Zielfunktion in bestimmten Fällen die Division der Abweichung durch die Bezugsgröße $\frac{\varepsilon_k}{BG_k}$ einen derart kleinen Wert ergibt, dass ihn die Modellierungssprache nicht mehr korrekt verarbeitet. Durch die Umformulierung der Zielfunktion von $\min \sum_k \omega_k \cdot \frac{\varepsilon_k}{BG_k}$ in $\min \sum_k \frac{\omega_k}{BG_k} \cdot \varepsilon_k$, können die rein aus Parametern bestehenden Terme $\frac{\omega_k}{BG_k}$ als Inputgrößen vorbehandelt werden. Dabei werden die Terme aller Kriterien mit demselben zu bestimmenden Faktor multipliziert, so dass alle Terme größer 0,01 sind. Somit entstehen Größenordnungen, die jede Software handhaben kann.

8. Optimierung der Wertschöpfungsverteilung nach quantitativen und qualitativen Kriterien

Basierend auf den in Kapitel 7 entwickelten Modellen zur Wertschöpfungsverteilung, für Gestaltungskriterien sowie zur Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien erfolgt im nächsten Abschnitt 8.1 die ganzheitliche mathematische Modellierung zur Optimierung der Wertschöpfungsverteilung nach quantitativen und qualitativen Kriterien in Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung. Ziel der Modellierung ist die Beantwortung der zentralen Forschungsfrage „Wie kann die Wertschöpfungsverteilung von Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung unter Berücksichtigung quantitativer und qualitativer Kriterien optimiert werden?“ Die Modellierung erfolgt erneut anhand der in Kapitel 6 beschriebenen Vorgehensweise entlang des Modellierungszyklus, beginnend bei der Entwicklung einer Abbildungslogik in Kapitel 8.1.1 über die mathematische Modellierung in Kapitel 8.1.2 bis hin zur Implementierung in Kapitel 8.1.3. Auf den entwickelten Modellen aufbauend, wird in Kapitel 8.2 die Vorgehensweise zur Anwendung dieser Optimierungsmodelle konkretisiert.

8.1. Modelle zur Optimierung der Wertschöpfungsverteilung nach quantitativen und qualitativen Kriterien in Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung

8.1.1. Logik zur Abbildung

Die Logik zur Abbildung der realen Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung mit ihren quantitativen und qualitativen Kriterien zum Zweck der Optimierung ist auf der in Kapitel 7.1.1 beschriebenen Struktur des Produktionsnetzwerks mit seinen Objekten Wertschöpfungs-Standort-Kombinationen, internen Interdependenzen und Interde-

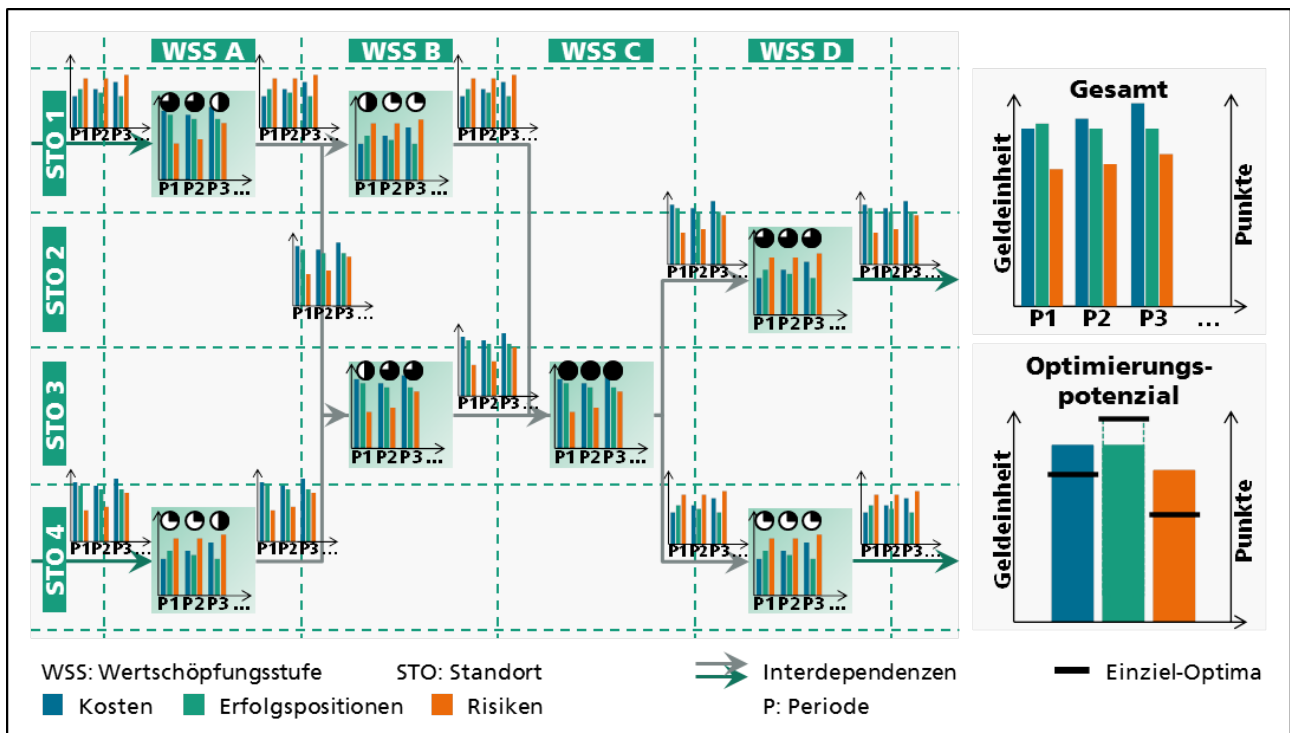


Abbildung 8.1.: Logik zur Abbildung der Gesamtzusammenhänge bei der Wertschöpfungsverteilung

pendenzen vom Beschaffungs- sowie zum Absatzmarkt begründet. Die Visualisierung der aktuellen Verteilung der Wertschöpfung anhand von Produktionsmengen der jeweiligen Wertschöpfungs-Standort-Kombinationen erfolgt, wie in Abbildung 8.1 dargestellt, in Form von Kuchendiagrammen. Dabei handelt es sich bei den Produktionsmengen sowohl um Echtdateen als auch um Prognosewerte zukünftiger Perioden. Bei allen Mengenangaben stellt die Stückzahl die führende Einheit dar. Dennoch ist der Einsatz anderer Einheiten wie Gewicht, Volumen oder Stunden möglich. Für diese erfolgt innerhalb der Abbildungslogik eine Umrechnung in die führende Einheit der Stückzahl.

Darüber hinaus beinhaltet die Logik zur Abbildung die Attribute der Objekte in Form der Gestaltungskriterien. Diese sind, wie in Kapitel 7.2.1 erläutert, innerhalb der den Objekten zugehörigen Diagrammen visualisiert. Dabei sind unterschiedliche Einheiten der Kriterienkategorien Kosten, Risiken und Erfolgspositionen zu verarbeiten, die sich allerdings jeweils auf die das Objekt betreffende Menge beziehen. Kosten sind daher in Geldeinheiten pro Gesamtstückzahl des Objekts angegeben. Bei der Datenaufnahme bezieht sich in der Regel zumindest ein Teil der Kriterienwerte auf eine einzelne abgegrenzte Einheit, beispielsweise die Stückkosten. Daher müssen diese Größen auf die zugehörige Gesamtstückzahl umgerechnet werden.

Neben der Abbildung von Daten der aktuell vorliegenden Wertschöpfungsverteilung ermöglicht die Logik ebenso die Abbildung zusätzlicher Daten von potenziellen Netzwerkobjekten. Hierzu wird die nachgefragte Produktionsmenge einer Wertschöpfungsstufe auf alle für die Wertschöpfungsstufe potenziellen Standorte gleichverteilt, so dass sich die Daten der Gestal-

tungskriterien entsprechend anpassen. Somit sind diese visuell vergleichbar und stellen einen ersten Schritt zur Beantwortung der zentralen Forschungsfrage „Wie kann die Wertschöpfungsverteilung von Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung unter Berücksichtigung quantitativer und qualitativer Kriterien optimiert werden?“ dar.

Als weitere Funktion umfasst die Abbildungslogik die in Kapitel 7.3.1 beschriebene Logik zur Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien. In einem Diagramm außerhalb der Produktionsnetzwerkstruktur werden die Gesamtwerte der Gestaltungskriterien aller Netzwerkobjekte der aktuell visualisierten Wertschöpfungsverteilung aufsummiert dargestellt. In einem weiteren Diagramm derselben Form werden die im Netzwerk möglichen Einzel-Optima der Kostenminimierung, Erfolgspositionenmaximierung sowie Risikominimierung gekennzeichnet. Daraus lässt sich das Optimierungspotenzial der visualisierten Wertschöpfungsverteilung ablesen.

Insgesamt umfasst die Logik die in Abbildung 8.1 dargestellte transparente Visualisierung sowie eine entsprechende Datenstruktur mit den erläuterten Besonderheiten. Gleichzeitig führt diese Logik zu den Indizes, Variablen und Parametern der mathematischen Modellierung.

8.1.2. Mathematische Modellierung

Kernelement der mathematischen Modellierung ist das gesamthafte Modell zur Optimierung der Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung, das integriert nach mehreren Kriterien optimiert.

Multikriterielles Modell der Wertschöpfungsverteilung zur Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien

Zentraler Term der Zielfunktion stellt die in Kapitel 7.3.2 entwickelte Zielfunktion zur Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien dar. Des Weiteren beinhaltet die Zielfunktion die in Kapitel 7.1.2 identifizierten Terme zur Minimierung der ungenutzten Fläche sowie der Verletzungen von Flexibilitätsgrenzen. Letztere dienen lediglich dazu, negative Nebenerscheinungen zu verhindern. Da der für die Entscheidung zentrale Term zur Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien einen sehr kleinen Wert annehmen kann, ist dieser erste Term mit einer ausreichend großen Zahl zu multiplizieren, um ihm das entscheidende Gewicht zu verleihen.

$$\begin{aligned}
 \min \quad & \left(\text{BigM} \cdot \sum_k \frac{\omega_k}{\mathbf{BG}_k} \cdot \varepsilon_k \right) + \sum_{s,p} F_{s,p}^u \cdot K O_s^{fix} + \\
 & + \sum_{w,s,p_V \in \{p_1, \dots, p_{P-1}\}} v_{w,s,p_V} + \sum_{b,w,p_V \in \{p_1, \dots, p_{P-1}\}} v_{b,w,p_V}^B \quad (8.1)
 \end{aligned}$$

Die Restriktionen beinhalten

- den Zusammenhang aller drei Gestaltungskriterien zur Zielfunktion in Form der in Kapitel 7.3.3 dargestellten Ungleichung sowie zusätzlicher Restriktionen
 - zur Bestimmung, wann Fixkosten anfallen, sowie
 - zur Ermittlung, in welcher Form sprungfixe Kosten auftreten,
- die Modellierung des Materialflusses mit der dazu erforderlichen
 - Anpassung des Produkts aus Produktionsmenge und Mengen- bzw. Materialangabe,
- die Beschaffungs- und Absatzmarktvorgaben in Form von
 - beschränkten Kapazitäten der Beschaffungsmärkte sowie
 - definierten Bedarfen der Absatzmärkte,
- die Kapazitätsbeschränkungen hinsichtlich
 - des Nutzungsgrads der Fläche der jeweiligen Standorte,
 - der Kompetenzen der jeweiligen Standorte sowie
 - irrealer Interdependenzen und
- die Flexibilitätsbeschränkungen hinsichtlich
 - der Flexibilität von Wertschöpfungs-Standort-Objekten sowie
 - der Beschaffungsflexibilität.

Zur Verwendung dieses multikriteriellen Modells wird je Kriterienkategorie ein Zielwert in Form des Optimums einer jeweiligen Einziel-Optimierung vorausgesetzt. Somit werden zur Optimierung der Wertschöpfungsverteilung nach quantitativen und qualitativen Kriterien drei weitere mathematische Modelle benötigt.

Modell zur Minimierung der Kosten

Das Modell zur Minimierung der Kosten dient der Ermittlung des Kosten-Optimums O^{Ko} . Basis stellt das in Kapitel 7.2.2 entwickelte Modell dar. Dessen Zielfunktion wird um die in Kapitel 7.1.2 identifizierten Terme zur Minimierung der ungenutzten Fläche sowie der Verletzungen von Flexibilitäts Grenzen erweitert:

$$\min \quad O^{Ko} + \sum_{s,p} F_{s,p}^u \cdot Ko_s^{fix} + \sum_{w,s,p_V \in \{p_1, \dots, p_{P-1}\}} v_{w,s,p_V} + \sum_{b,w,p_V \in \{p_1, \dots, p_{P-1}\}} v_{b,w,p_V}^B \quad (8.2)$$

$$\text{unter} \quad O^{Ko} = \sum_{w,s,p} Ko_{w,s,p} + \sum_{w_1,s_1,w_2,s_2,p} Ko_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}^I + \sum_{b,w,s,p} Ko_{b,w,s,p}^B + \sum_{w,s,a,p} Ko_{w,s,a,p}^A \quad (8.3)$$

Die Restriktionen umfassen

- die Detaillierung der Kosten der Zielfunktion in fixe, sprungfixe und variable Kosten,
- die Modellierung des Materialflusses,
- die Beschaffungs- und Absatzmarktvorgaben,
- die Kapazitäts- sowie
- die Flexibilitätsbeschränkungen.

Zusätzlich gilt es, für die Bezugsgöße des multikriteriellen Modells den Wert der Erfolgsposition zu ermitteln. Hierzu dient folgende Restriktion in Form einer Gleichung:

$$\begin{aligned}
 BG^{EPausKo} = & \sum_{w,s,p} Ep_{w,s,p} \cdot x_{w,s,p} + \sum_{w_1,s_1,w_2,s_2,p} Ep_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}^I \cdot y_{w_1,s_1,w_2,s_2,p} + \\
 & + \sum_{b,w,s,p} Ep_{b,w,s,p}^B \cdot y_{b,w,s,p}^B + \sum_{w,s,a,p} Ep_{w,s,a,p}^A \cdot y_{w,s,a,p}^A
 \end{aligned} \tag{8.4}$$

Modell zur Maximierung der Erfolgspositionen

Analog enthält das Modell zur Maximierung der Erfolgspositionen folgende Zielfunktion zur Ermittlung des Erfolgspositionen-Optimums O^{EP} :

$$\max \quad O^{EP} - \sum_{s,p} F_{s,p}^u \cdot Ko_s^{fix} - \sum_{w,s,pV \in \{p_1, \dots, p_{P-1}\}} v_{w,s,pV} - \sum_{b,w,pV \in \{p_1, \dots, p_{P-1}\}} v_{b,w,pV}^B \tag{8.5}$$

$$\begin{aligned}
 \text{unter} \quad O^{EP} = & \sum_{w,s,p} Ep_{w,s,p} \cdot x_{w,s,p} + \sum_{w_1,s_1,w_2,s_2,p} Ep_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}^I \cdot y_{w_1,s_1,w_2,s_2,p} + \\
 & + \sum_{b,w,s,p} Ep_{b,w,s,p}^B \cdot y_{b,w,s,p}^B + \sum_{w,s,a,p} Ep_{w,s,a,p}^A \cdot y_{w,s,a,p}^A
 \end{aligned} \tag{8.6}$$

Weitere Restriktionen sind

- der Materialfluss,
- die Beschaffungs- und Absatzmarktvorgaben,
- die Kapazitäts- sowie
- Flexibilitätsbeschränkungen.

Im Gegensatz zum Modell zur Minimierung der Kosten sind aus diesem Modell keine weiteren Informationen und damit zusätzliche Restriktionen zur Ermittlung der Bezugsgröße für die Erfolgspositionen erforderlich.

Modell zur Minimierung der Risiken

Die Zielfunktion zur Ermittlung des Risiko-Optimums O^{Ri} lautet wie folgt:

$$\min \quad O^{Ri} + \sum_{s,p} F_{s,p}^u \cdot K O_s^{fix} + \sum_{w,s,p_V \in \{p_1, \dots, p_{P-1}\}} v_{w,s,p_V} + \sum_{b,w,p_V \in \{p_1, \dots, p_{P-1}\}} v_{b,w,p_V}^B \quad (8.7)$$

$$\begin{aligned} \text{unter} \quad O^{Ri} = & \sum_{w,s,p} Ri_{w,s,p} \cdot x_{w,s,p} + \sum_{w_1,s_1,w_2,s_2,p} Ri_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}^I \cdot y_{w_1,s_1,w_2,s_2,p} + \\ & + \sum_{b,w,s,p} Ri_{b,w,s,p}^B \cdot y_{b,w,s,p}^B + \sum_{w,s,a,p} Ri_{w,s,a,p}^A \cdot y_{w,s,a,p}^A \end{aligned} \quad (8.8)$$

Über die Restriktionen sind die Modellierung

- des Materialflusses,
- der Beschaffungs- und Absatzmarktvorgaben,
- der Kapazitäts- sowie
- Flexibilitätsbeschränkungen

abgedeckt.

Zur Ermittlung der Bezugsgröße für die Erfolgspositionen dient folgende Restriktion:

$$\begin{aligned} BG^{EPausRi} = & \sum_{w,s,p} Ep_{w,s,p} \cdot x_{w,s,p} + \sum_{w_1,s_1,w_2,s_2,p} Ep_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}^I \cdot y_{w_1,s_1,w_2,s_2,p} + \\ & + \sum_{b,w,s,p} Ep_{b,w,s,p}^B \cdot y_{b,w,s,p}^B + \sum_{w,s,a,p} Ep_{w,s,a,p}^A \cdot y_{w,s,a,p}^A \end{aligned} \quad (8.9)$$

Dabei ergibt sich die tatsächliche Bezugsgröße als Minimum aus dem im Kostenmodell ermittelten Wert der Erfolgspositionen und dem im Risikomodell ermittelten Wert.

Damit sind alle für das multikriterielle Modell erforderlichen Daten der Optimalwerte und Bezugsgrößen ermittelt und die Modellierung ganzheitlich.

8.1.3. Implementierung

Die Implementierung des multikriteriellen Modells in einer Modellierungssprache baut auf dem in Kapitel 7.3.3 implementierten Modell zur Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien auf. Die drei Optimierungsmodelle zur Ermittlung der Einzel-Optima werden in der Modellierungssprache, basierend auf den in Kapitel 7.2.3 implementierten Modellen für Gestaltungskriterien, umgesetzt. Dabei wird jedes der vier Modelle in einer eigenen Modelldatei mit zugehöriger Datendatei implementiert.

In den Modell- und Datendateien aller Modelle wird für die Ergänzung der Zielfunktionsterme der Parameter des Fixkostensatzes je ungenutztem Quadratmeter eines Standorts benötigt. Weitere zusätzliche Parameter für das Kosten- sowie Risikomodell stellen die Erfolgspositionen je Netzwerkobjekt dar. Zur Ermittlung des Kosten-, Erfolgspositionen- und Risiko-Optimums innerhalb der jeweiligen Einzel-Modelle werden Hilfsausdrücke eingesetzt, die zu berechnenden Termen gleichgesetzt werden. Diese Ausdrücke vereinfachen die Schreibweise des Modells. Gleichzeitig können diese direkt ausgelesen und bei späteren Optimierungsläufen als Inputdaten wieder eingelesen werden. Über einen solchen Hilfsausdruck werden ebenfalls die erzielten Erfolgspositionen im Kosten- bzw. Risikomodell berechnet und zur Ermittlung der Bezugsgröße der Erfolgspositionen ausgelesen.

In den Modelldateien wird lediglich die jeweilige Zielfunktion angepasst. Die Restriktionen sind in den entsprechenden Modellen bereits implementiert.

Um auf die Ergebnisse vorangegangener Optimierungsläufe zugreifen zu können, wird für alle Modelle dieselbe Datei zur Dateneingabe eingesetzt. Innerhalb dieser werden die Werte der Parameter – die Fixkostensätze je ungenutztem Quadratmeter der jeweiligen Standorte – angegeben. Des Weiteren wird die Ausgabe der Hilfsausdrücke der Einzel-Optima auf die Position gelegt, von der bereits die Optimalwerte eingelesen wurden. Ebenso werden aus den ausgelesenen Werten der im Kosten- und Risikomodell ermittelten Erfolgspositionen das Minimum und damit die Bezugsgröße der Erfolgsposition ermittelt. Damit speichert die externe Datei alle aus den einzelnen Modellen benötigten Informationen und stellt diese dem ganzheitlichen Modell sowie dem Anwender als Ergebnis zur Verfügung.

Die Ausführung und Lösung der Modelle folgt dem in Abbildung 8.2 dargestellten Mechanismus. Alle für die Optimierung benötigten und zu Beginn der Optimierung bekannten Daten sind in der externen Tabellenkalkulationsdatei bzw. Datenbank gespeichert. Jede Modelldatei stellt mit der zugehörigen Datendatei eine Konfiguration dar. Zunächst werden die Konfigurationen zur Minimierung der Kosten, Maximierung der Erfolgspositionen sowie zur Minimierung der Risiken ausgeführt, wodurch deren jeweilige Ergebnisse in die externe Datei geschrieben und gespeichert werden. Die Ausführungskonfiguration des multikriteriellen Modells kann auf diese und die bereits zu Beginn vorhandenen Daten zugreifen und gelöst werden. Das Ergebnis wird in die externe Datei gespeichert und ist dort einsehbar.

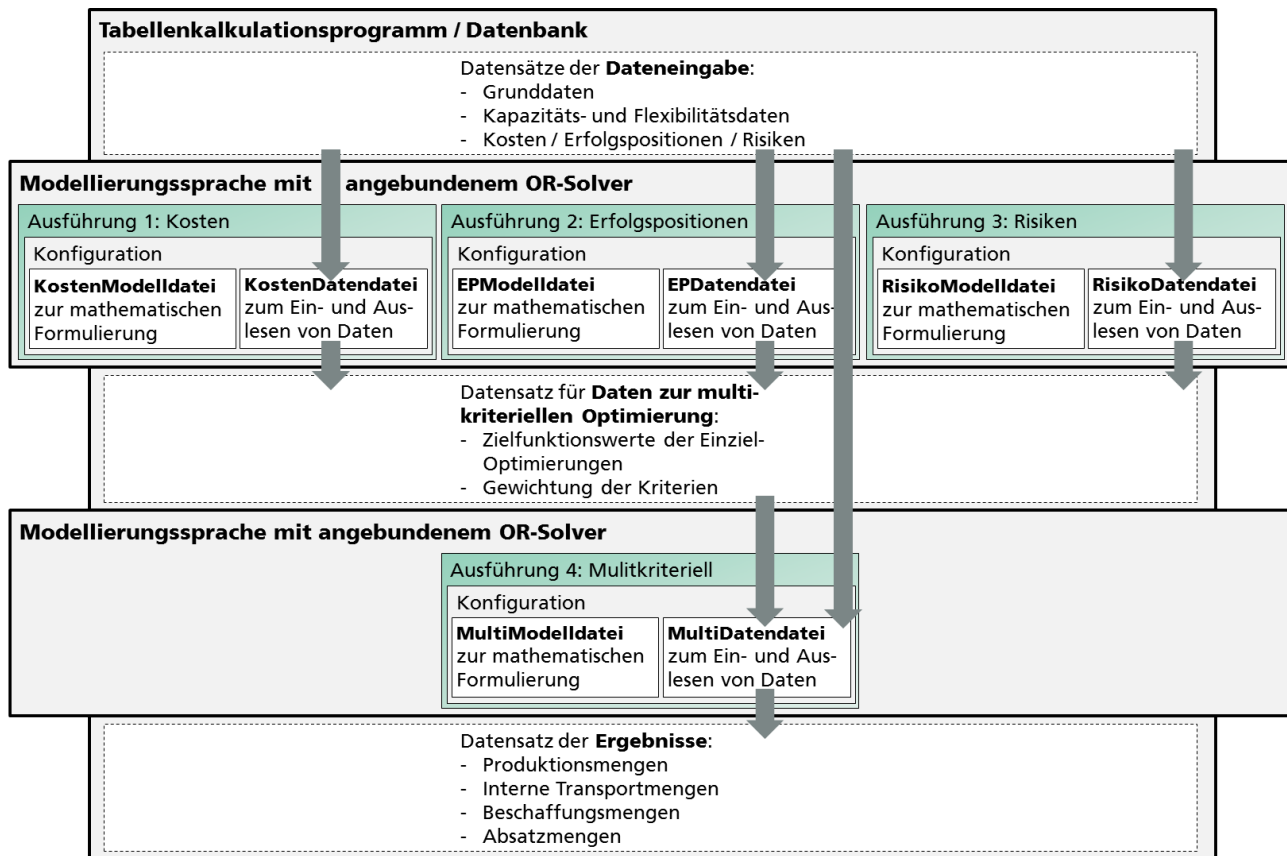


Abbildung 8.2.: Implementierte Modellierung zur Wertschöpfungsverteilung nach quantitativen und qualitativen Kriterien

Bei der konkreten Implementierung fiel die Entscheidung auf den gängigsten Operations Research Solver CPLEX von IBM ILOG. Im Vergleich zu anderen Produkten wie Xpress, Gurobi, LPSolve, LINDO/LINGO, ExcelSolver oder MOSEK weist dieser eine größere Zuverlässigkeit in der Lösung sowie eine höhere Geschwindigkeit bei der Lösungsermittlung auf (Jacob 2006, S. 70). Des Weiteren führen zahlreiche zur Verfügung stehende Schnittstellen zu einer hohen Nutzbarkeit des Solvers. Hierunter fällt die Anbindung verschiedenster Modellierungssprachen. Von den Entwicklern des CPLEX-Solvers wird die Modellierungssprache OPL im Gesamtpaket zusammen mit CPLEX angeboten und betreut. Um Schnittstellenproblematiken zwischen der Modellierungssprache und dem Solver zu vermeiden, wurde dieses Gesamtpaket IBM ILOG CPLEX Optimization Studio Version 12.5.1 zur Lösung des mathematischen Modells gewählt. Die Modellierungssprache bietet Schnittstellen für die Datenein- und -ausgabe zu Datenbanken sowie Tabellenkalkulationsprogrammen. Die Wahl fiel auf Microsoft Excel, da dieses in der Regel in Unternehmen genutzt wird.

Somit erfolgte die konkrete Implementierung in der Modellierungssprache IBM ILOG CPLEX Optimization Studio, die den OR-Solver CPLEX beinhaltet. Im Sinne einer anwenderfreundlichen Dateneingabe sowie Ergebnisinterpretation wurde die Schnittstelle zu Microsoft Excel eingesetzt.

8.2. Methode zur Anwendung der Optimierungsmodelle

Die Methode zur Anwendung der mathematischen Optimierungsmodelle basiert auf dem in Kapitel 6.1 beschriebenen Konzept. Dieses gliedert sich in die drei Schritte Datenaufnahme, Optimierung und Entscheidungsfindung, die in den folgenden Abschnitten 8.2.1, 8.2.2 und 8.2.3 ausgeführt werden.

8.2.1. Vorgehen zur Datenaufnahme

Die Datenaufnahme muss alle für die Optimierung relevanten Inputdaten erfassen. Demnach durchläuft das Vorgehen zur Datenaufnahme analog zu Kapitel 7 die Themen „Abbildung der Wertschöpfungsverteilung¹“, „Gestaltungskriterien der Wertschöpfungsverteilung“ und „Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien“.

Phase I: Abbildung eines Produktionsnetzwerks der diskreten Fertigung und dessen Wertschöpfungsverteilung

Die in Kapitel 7.1.1 entwickelte Logik zur Abbildung der Wertschöpfungsverteilung bzw. eines Produktionsnetzwerks und seiner Wertschöpfungsverteilung bildet die Basis der Datenaufnahme. Daher gilt es – wie in Abbildung 8.3 dargestellt – relevante Wertschöpfungsstufen zu identifizieren (1) und Produktionsstandorte des Unternehmens aufzunehmen (2). Darauf aufbauend ergibt sich die intraorganisationale Netzwerkstruktur über die Aufnahme aktueller Wertschöpfungs-Standort-Kombinationen und deren Verbindungen (3). Darüber hinaus erweitern die zu bündelnden Beschaffungs- und Absatzmärkte sowie deren Verbindungen die intraorganisationale Struktur um interorganisationale Einflüsse (4). Auf dieser Basis definiert sich die Wertschöpfungsverteilung durch das zu ermittelnde aktuelle Mengengerüst (5). Für die

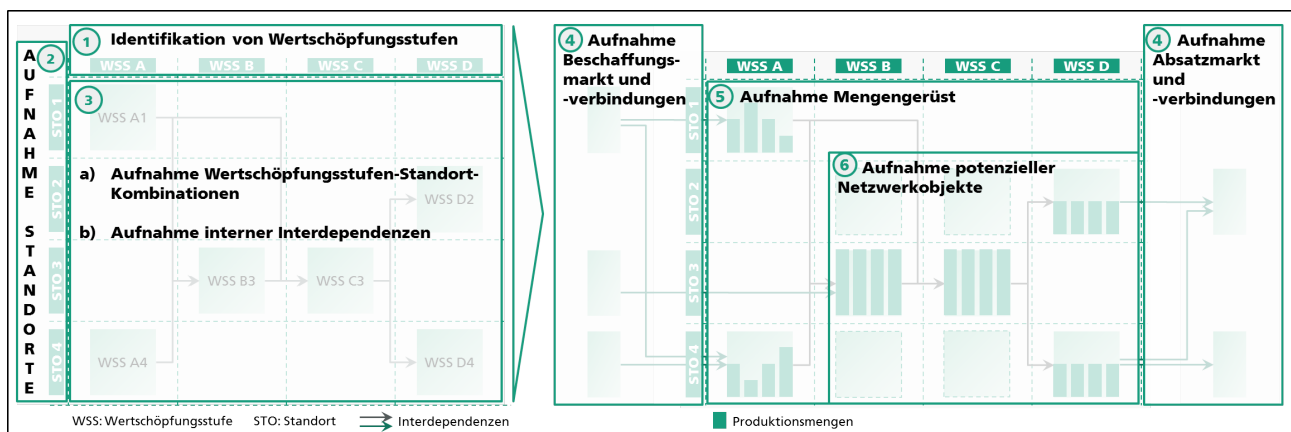


Abbildung 8.3.: Vorgehen bei der Datenaufnahme zur Abbildung der Wertschöpfungsverteilung im Produktionsnetzwerk

¹bzw. „Abbildung eines Produktionsnetzwerks der diskreten Fertigung und dessen Wertschöpfungsverteilung“

Optimierung dieser Wertschöpfungsverteilung sind zusätzliche Netzwerkobjekte zu definieren, die eingerichtet werden und zukünftig zur Verfügung stehen könnten (6).

Die Schritte (2), (3) und (6) lassen sich durch Fragen an einen Unternehmensvertreter erarbeiten; die Schritte (1), (4) und (5) bedürfen dagegen einer detaillierten Vorgehensweise.

(1) Identifikation von Wertschöpfungsstufen Zur Identifikation von Wertschöpfungsstufen dient das in Abbildung 8.4 dargestellte und im Folgenden beschriebene Vorgehen, das sich in die drei Schritte Produktanalyse, Kompetenzanalyse und Prozessanalyse gliedert.

1. Ziel der *Produktanalyse* ist es, den Betrachtungsumfang auf repräsentative Produkte zu beschränken. In einem ersten optionalen Schritt ermöglicht es ein Vorgehen nach dem Pareto-Prinzip, die Produkte beispielsweise auf die umsatzstärksten oder kostenintensivsten 80 Prozent einzugrenzen. Anschließend werden Produkte mit ähnlichen Bestandteilen und Prozessen in Produktfamilien gebündelt und für jede ein Repräsentant definiert.
2. Innerhalb der *Kompetenzanalyse* gilt es, die Produktionsprozesse unabhängig der Produkte aufzunehmen. Ziel ist es, Kompetenzen zu identifizieren. Dabei bilden aufeinanderfolgende Prozessschritte eine Kompetenz, wenn diese so eng miteinander verzahnt sind, dass sie wirtschaftlich in keinem Fall auf zwei unterschiedliche Standorte aufgeteilt werden

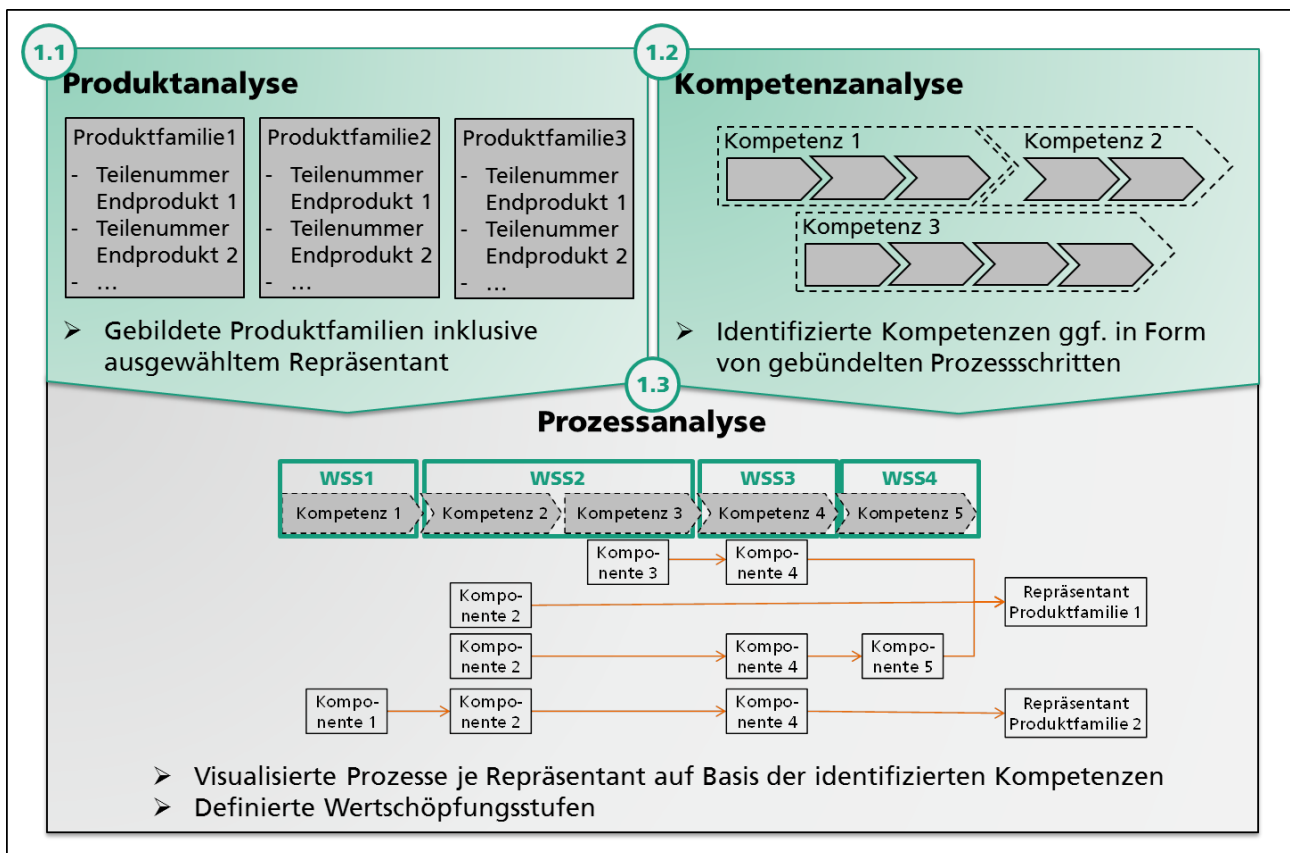


Abbildung 8.4.: Vorgehen zur Identifikation von Wertschöpfungsstufen

können. Dies kann beispielsweise bei Montagelinien oder Produktionszellen mit mehreren Prozessschritten der Fall sein.

3. Aufbauend auf der Produkt- und der Kompetenzanalyse erfolgt die *Prozessanalyse*.

- Diese bezieht sich auf die Prozesse der in der Produktanalyse festgelegten repräsentativen Produkte. Als Basis zur Aufnahme der Prozesse dienen die entsprechenden Stücklisten der ausgewählten Produkte. Ergebnis ist die Abbildung der Prozesse aller Repräsentanten auf dem Detaillierungsgrad der Kompetenzen.
- Abschließend gilt es, anhand des erstellten Prozessbildes zu prüfen, ob Kompetenzen gebündelt werden können. Dies ist in der Regel dann der Fall, wenn aufeinanderfolgende Kompetenzen in keinem repräsentativen Produkt gleichzeitig realisiert werden. Beispielsweise lässt sich, wie in Abbildung 8.4 schematisch dargestellt, die Kompetenz „Vormontage Komponente 2“ mit der Kompetenz „Vormontage Komponente 3“ zur Wertschöpfungsstufe „Vormontage“ zusammenführen, wenn beide Kompetenzen nicht innerhalb eines Repräsentanten in einer Abhängigkeit hinsichtlich ihrer Ausführungsreihenfolge stehen. Die gebündelten Kompetenzen stellen die gesuchten Wertschöpfungsstufen dar.

(2+3) Aufnahme von Produktionsstandorten, aktuellen Wertschöpfungs-Standort-Kombinationen und internen Interdependenzen Die identifizierten Wertschöpfungsstufen lassen sich den existierenden Standorten zuordnen und gemäß der aufgenommenen Prozesse verbinden, so dass die aktuelle intraorganisationale Produktionsnetzwerkstruktur entsteht. Die Dokumentation dieser Aufnahme erfolgt anhand der in Kapitel 7.1.1 beschriebenen und in Abbildung 7.2 dargestellten Visualisierung. Dieses erste Zwischenergebnis führt zu Transparenz und darüber zu ersten Erkenntnissen.

(4) Aufnahme von Beschaffungs- und Absatzmärkten sowie deren Interdependenzen Diese intraorganisationale Struktur lässt sich über die Aufnahme von Beschaffungs- und Absatzmärkten sowie deren Interdependenzen um interorganisationale Einflüsse erweitern. Hierbei reicht nach der Anforderung einer groben Markt- und Beschaffungsallokation eine aggregierte Betrachtung der Märkte aus. Gemäß Kapitel 7.1.1 lässt sich diese zum einen über die vereinheitlichte Betrachtung von mehreren unterschiedlichen Marktteilnehmern realisieren (vgl. 1.). Zum anderen werden die Standorte der Marktteilnehmer geografisch gebündelt (vgl. 2.).

1. In der Regel integrieren sich die verschiedenen Teilnehmer des Beschaffungsmarkts wie z. B. Lieferanten, Maschinenhersteller, Entwicklungs- und Logistikdienstleister in das inhaltliche Bündel Beschaffungsmarkt. Ebenso bilden die Teilnehmer des Absatzmarkts wie beispielsweise Kunden, Niederlassungen und Konkurrenten das Bündel Absatzmarkt. Ist neben den Lieferanten bzw. Kunden hinsichtlich der Verteilung der Wertschöpfung ein

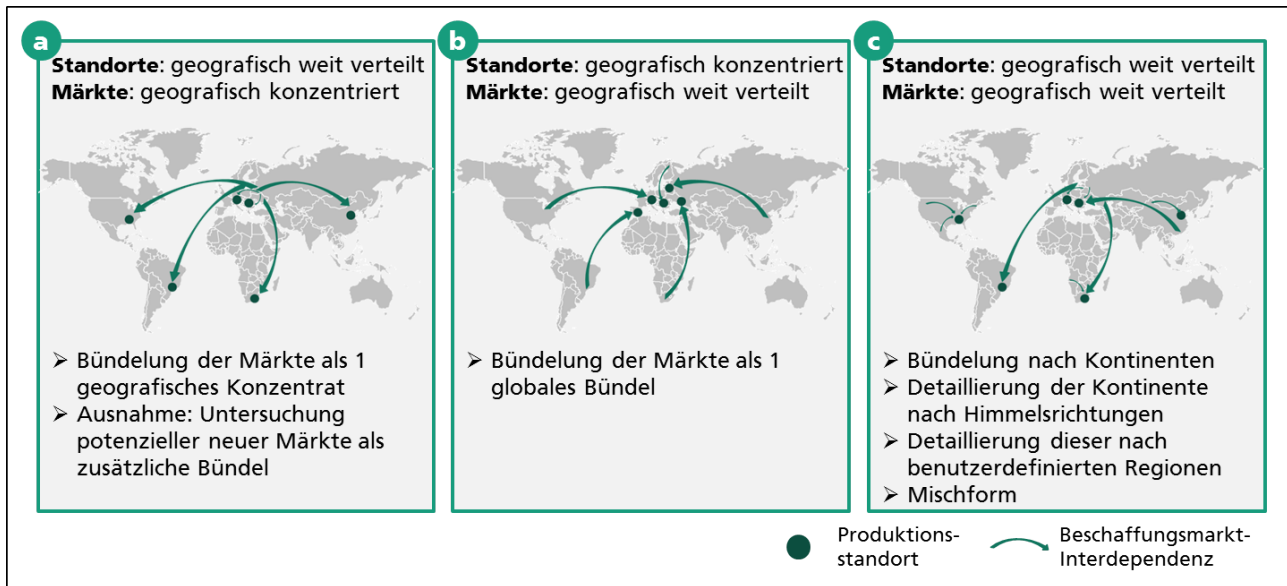


Abbildung 8.5.: Fallunterscheidung zur geografischen Bündelung von Märkten

Teilnehmertyp für das Unternehmen von besonderer Relevanz, gilt es zu prüfen, ob zwischen diesen Teilnehmertypen regional deutlich unterschiedliche Tendenzen in den Gestaltungskriterien bestehen. Soll beispielsweise Beschaffungsmarkt B den aktuellen Beschaffungsmarkt A ersetzen, stellt sich die Frage, ob sich sowohl die Werte der Gestaltungskriterien für Lieferanten als auch jene für Maschinenbauer verbessern. Ist hingegen für einen Teilnehmertyp der alte Beschaffungsmarkt A und für den anderen Teilnehmertyp der neue Beschaffungsmarkt B von entscheidendem Vorteil, empfiehlt sich die Einführung eines separaten inhaltlichen Bündels.

2. Jedes inhaltliche Bündel, beispielsweise Lieferanten, Maschinenausrüster oder Absatzmarkt, umfasst alle Standorte seiner Marktteilnehmer. Diese gilt es jeweils geografisch zu aggregieren. Hierbei unterstützt die in Abbildung 8.5 dargestellte und im Folgenden beschriebene Fallunterscheidung, die je inhaltlichem Bündel separat zu durchlaufen ist. Dabei kann sich für das inhaltliche Bündel A eine andere geografische Aggregation ergeben als für das inhaltliche Bündel B. Beispielsweise sind die Standorte der Lieferanten nach Ländern gebündelt; die Standorte der Maschinenausrüster nach Kontinenten. Grundsätzlich ist bei der geografischen Bündelung immer wieder zu hinterfragen, welcher Detaillierungsgrad im Bezug auf die spezifische Fragestellung gerechtfertigt ist.

- a) Im Fall von geografisch weit verteilten Produktionsstandorten und einem geografisch konzentrierten Markt stellt in der Regel der Markt ein gesamtheitliches Bündel dar. Wenn allerdings die Verlagerung einer bestimmten Wertschöpfungsstufe zur Erschließung neuer Beschaffungs- bzw. Absatzmärkte führen kann, sind diese neuen Märkte separat zu bündeln.

- b) Im Fall von geografisch konzentrierten Produktionsstandorten und geografisch weit verteilten Märkten führen Veränderungen in der konzentrierten Wertschöpfungsverteilung zu keinen entscheidenden Veränderungen in den globalen Interdependenzen vom Beschaffungs- bzw. zum Absatzmarkt. Daher reicht die Berücksichtigung des Markts als ein ganzheitliches Bündel aus.
- c) Im Fall von geografisch weit verteilten Produktionsstandorten und geografisch weit verteilten Märkten muss wie folgt unterschieden werden:
- Sind die Märkte aktuell global verteilt, dienen die Kontinente als Bündelungsmöglichkeit.
 - Ist eine Differenzierung innerhalb der Kontinente erforderlich oder liegen die Märkte aktuell ausschließlich innerhalb eines Kontinents, unterstützen die Himmelsrichtungen die Bündelung. Auf diese Weise würde Europa beispielsweise in Nord-, Süd-, West-, Ost- und Mitteleuropa unterschieden.
 - Weitere Detaillierungen sind auf Regionen-, Länder- und Staatenebene möglich. Diese sind allerdings nur dann sinnvoll, wenn zwischen diesen ein für die Wertschöpfungsverteilung relevanter Unterschied in den Gestaltungskriterien Kosten, Erfolgspositionen oder Risiken auftritt.
 - Sind die aktuellen Märkte grundsätzlich weit verteilt und spielen Märkte einer bestimmten Region eine zentrale Rolle, bietet sich eine Mischform der vorangegangenen Aggregationen an. Allgemein werden die Märkte grob aggregiert, während ausschließlich die ausgewählte Region detailliert gebündelt wird.

Die gebündelten Beschaffungs- und Absatzmärkte werden zusammen mit deren Verbindungen anhand einer grafischen Darstellung dokumentiert. Die Visualisierung erfolgt, wie in Kapitel 7.1.1 beschrieben, anhand einer Erweiterung des bereits abgebildeten intraorganisationalen Netzwerks.

(5) Aufnahme des Mengengerüsts der Wertschöpfungsverteilung Aufbauend auf der Grundstruktur des Netzwerks erfolgt die Aufnahme des zugehörigen Mengengerüsts. Dazu zählen die Mengenangaben für das Material, die zu produzierenden Mengen der einzelnen Wertschöpfungsstufen, die Absatzmengen sowie die Mengenangaben, wie viel einer Wertschöpfungsstufe in die darauffolgenden Wertschöpfungsstufen eingeht. Da diese Daten zusammenhängen, gibt es zwei Möglichkeiten, bei der Datenaufnahme vorzugehen.

1. Die Datenaufnahme erfolgt anhand der Absatz-, Produktions- und Transportmengen. Daraus berechnen sich die theoretischen Mengenangaben.

2. Zur direkten Ermittlung der theoretischen Mengenangaben dienen Stücklisten. Zusammen mit den aufzunehmenden Absatzmengen ergeben sich daraus die Produktionsmengen der einzelnen Wertschöpfungsstufen.

(6) Aufnahme potenzieller Netzwerkobjekte Das Vorgehen bei der Datenaufnahme zur Abbildung des Produktionsnetzwerks und seiner Wertschöpfungsverteilung schließt mit der Aufnahme zukünftiger potenzieller Wertschöpfungs-Standort-Kombinationen. Hierzu wird für jede Wertschöpfungsstufe abgefragt, an welchen Standorten dessen Durchführung zukünftig möglich wäre. In Folge ergeben sich zusätzliche Interdependenzen. Sollten einige dieser Interdependenzen nicht gewünscht sein, können diese ausgeschlossen werden.

Ergebnis der Datenaufnahme zur Abbildung eines Produktionsnetzwerks der diskreten Fertigung und seiner Wertschöpfungsverteilung stellt die Visualisierung sowohl der aktuellen Wertschöpfungsverteilung im Produktionsnetzwerk als auch aller potenziellen Produktionsnetzwerk-Objekte dar.

Phase II: Aufnahme von Gestaltungskriterien der Wertschöpfungsverteilung

Gemäß Kapitel 7.2.1 wird zwischen quantitativen und qualitativen Gestaltungskriterien der Wertschöpfungsverteilung unterschieden. Daher unterteilt sich die Aufnahme der Gestaltungskriterien, wie in Abbildung 8.6 dargestellt, in Aufnahme der Kosten (7) sowie Aufnahme der qualitativen Kriterien (8). Die zukünftigen Entwicklungen dieser Daten sind im abschließenden Schritt des Vorgehens zur Datenaufnahme von Gestaltungskriterien aufzunehmen (9). Alle drei Schritte bedürfen einer zu detaillierenden Vorgehensweise.

(7) Aufnahme der Kosten Die Aufnahme der Kosten basiert auf dem in Kapitel 7.2.1 entwickelten Kostenmodell und erfolgt in den drei Schritten Auswahl relevanter Kostenarten (vgl. 1.), Aufnahme der Ist-Kosten (vgl. 2.) und Aufnahme der Kosten möglicher Netzwerkobjekte (vgl. 3.).

1. Auswahl relevanter Kostenarten

Folgende Regeln dienen als Orientierungshilfe zur Auswahl relevanter Kostenarten aus dem Kostenmodell in Kapitel 7.2.1:

- a) Mindestumfang der Kostenaufnahme stellen die Produktionskosten mit den Logistikkosten der Interdependenzen dar.
- b) Besteht die Möglichkeit, dass durch Verlagerungen für bestimmte Wertschöpfungsstufen alternative Beschaffungsmärkte mit attraktiven Beschaffungskosten in Frage kommen, ist die Berücksichtigung von Beschaffungskosten der Interdependenzen vom Beschaffungsmarkt erforderlich.

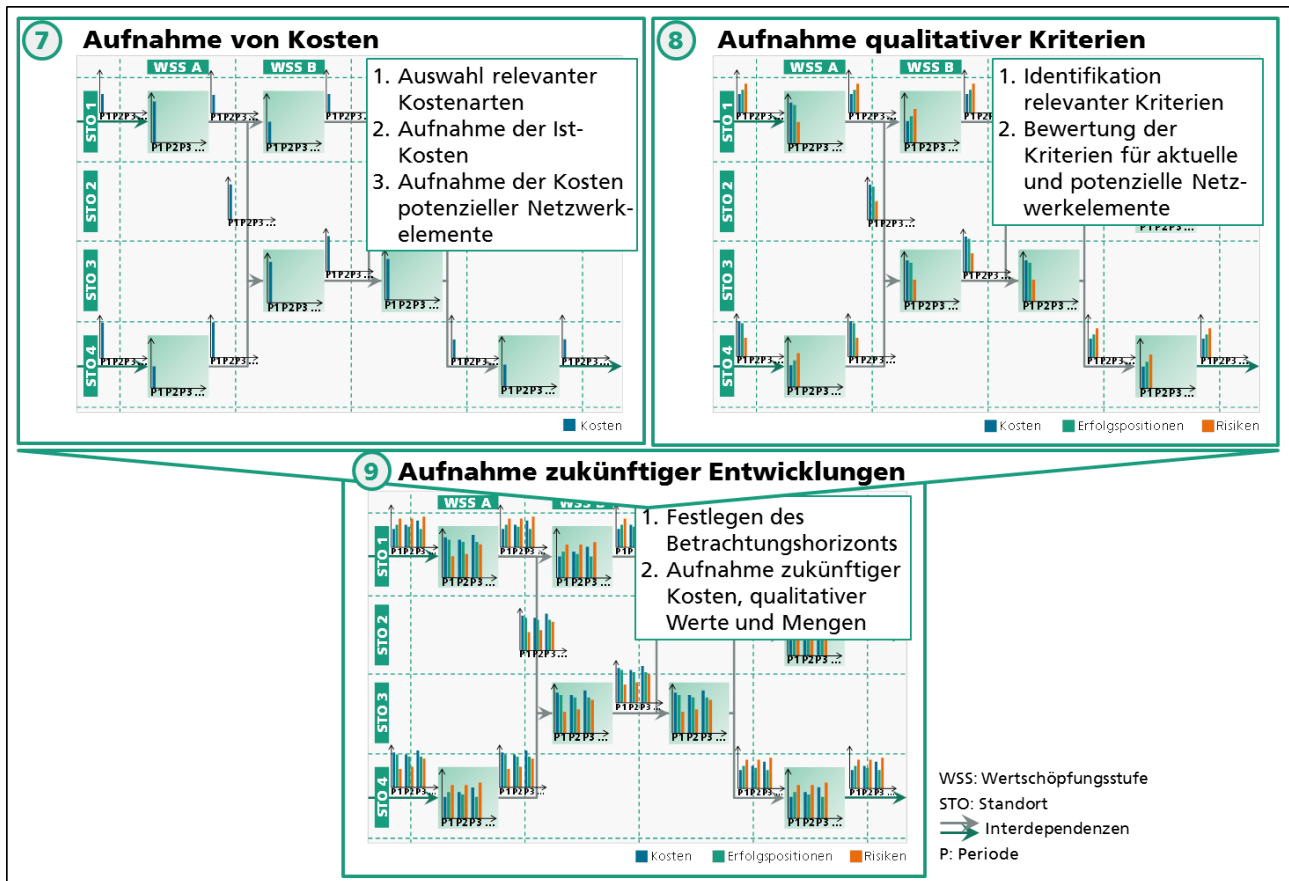


Abbildung 8.6.: Vorgehen zur Datenaufnahme von Gestaltungskriterien der Wertschöpfungsverteilung

- c) Übersteigen die internen Logistikkosten den branchenüblichen Anteil am Umsatz, gilt es diese Kosten zu berücksichtigen. Erfahrungsgemäß liegt dieser Anteil zwischen weniger als 5 % in der Automobilindustrie und mehr als 30 % in der Textilbranche (Jung 2013, S. 20f). Analoges gilt für die Entsorgungskosten, die über 10 % der Logistikgesamtkosten ausmachen (vgl. Hofmann, Lampe et al. (2012, S. 1)).
- d) Die Veränderungen in den Bereichen Forschung und Entwicklung, Personalwirtschaft, Organisation und Controlling, Infrastruktur, Marketing und Vertrieb sowie Kundenservice sind sehr gut über qualitative Kriterien darstellbar. Daher wird in der Regel eine Kostenaufnahme nur dann empfohlen, wenn im Unternehmen bereits entsprechende Daten zur Verfügung stehen. Ist allerdings bekannt, dass ein großer Anteil der insgesamt anfallenden Kosten in diesen Bereichen liegt oder fokussiert die Fragestellung auf einen dieser Bereiche, ist die Kostenaufnahme entsprechend durchzuführen.

Parallel ist zu jeder ausgewählten Kostenart festzulegen, ob diese als variable Kosten, sprungfixe Kosten oder Fixkosten zu berücksichtigen sind. Dabei helfen folgende Grundregeln:

- a) Grundsätzlich sollten alle Kosten soweit möglich als variable Kosten berücksichtigt werden. Erfahrungsgemäß ist dies für Produktions-, Entsorgungs- und Beschaffungskosten sowie interne und externe Logistikkosten möglich. Dabei ist mit möglichen Fixkostenanteilen dieser Kostenarten, beispielsweise den Verwaltungskosten eines eigenen Fuhrparks innerhalb der Logistikkosten, wie folgt umzugehen:
- Sind durch eine veränderte Wertschöpfungsverteilung keine bzw. keine entscheidenden Veränderungen in diesen spezifischen Fixkosten zu erwarten, ist dieser Anteil zu vernachlässigen.
 - Ist es aus strategischer Sicht möglich, diese Fixkosten als variable Kosten zu behandeln, ist die Gesamtsumme des Fixkostenanteils auf die Produktionsmenge herunterzubrechen und zu den variablen Kosten zu addieren.
 - Ist die Behandlung als variable Kosten realitätsfern, sollte – wenn möglich – der spezifische Anteil an Fixkosten in Form von sprungfixen Kosten berücksichtigt werden. Damit untergliedert sich die entsprechende Kostenart in einen variablen und einen sprungfixen Anteil.
 - Andernfalls sind die Anteile den im Kostenmodell definierten Fixkosten für Forschung und Entwicklung, Personalwirtschaft, Organisation und Controlling, Infrastruktur, Marketing und Vertrieb sowie Kundenservice zuzuordnen. Damit bleibt die ursprüngliche Kostenart in Form von variablen Kosten erhalten, während der Fixkostenanteil einer anderen (Fix-)Kostenart zugeordnet wird.
- b) Für die Fixkosten für Forschung und Entwicklung, Personalwirtschaft, Organisation und Controlling, Infrastruktur, Marketing und Vertrieb sowie Kundenservice gilt es, diese entsprechend ihrer Verfügbarkeit entweder als sprungfixe Kosten oder als Fixkosten zu berücksichtigen.

2. *Aufnahme der Ist-Kosten*

Die Aufnahme der Ist-Kosten ist geprägt von der Strukturierung der Kosten gemäß den Netzwerkobjekten der Wertschöpfungs-Standort-Kombinationen, internen Interdependenzen, Interdependenzen vom Beschaffungsmarkt und Interdependenzen zum Absatzmarkt. Diese Datenstruktur ist in der Regel in den ERP-Systemen der Unternehmen nicht direkt vorhanden und muss erzeugt werden. Daher gilt es, für jede ausgewählte Kostenart zu eruieren, wie die Überführung der Systemdaten in die benötigte Form erfolgen kann. Dies ist auf die folgenden zwei Arten möglich:

- a) Die Struktur des ERP-Systems ist geeignet, durch eine entsprechende Kombination der Daten die benötigte Struktur zu erzeugen.

- b) Die benötigte Struktur muss manuell durch abzuschätzende prozentuale Aufteilung von gegebenen Kosten hergestellt werden. Hierzu sind Interviews und/oder Workshops erforderlich.

Der Einstieg in die Kostenaufnahme erfolgt an einem ausgewählten Standort anhand der Pflichtkostenarten. Kann die für diesen Standort eruierte Datenüberführung ebenso an anderen Standorten verwendet werden, wird dort die Datenaufnahme analog ausgerollt. Andernfalls sind entsprechende Formen der Überführung für die jeweiligen Standorte zu ermitteln. Erst anschließend wird analog mit den Kostenarten, die über die Pflichtkostenarten hinausführen, fortgefahren.

3. *Aufnahme der Kosten potenzieller Netzwerkobjekte*

Als Grundlage zur Aufnahme der Daten potenzieller Netzwerkobjekte dienen die Ist-Daten. Je nach gewählter Kostenstruktur bzw. -detaillierung und Datenverfügbarkeit sind verschiedene Möglichkeiten der Aufnahme der Kosten potenzieller Netzwerkobjekte möglich.

- a) Reicht der Detaillierungsgrad der Ist-Daten aus, lassen sich die gesuchten Daten aus den aufgenommenen Daten errechnen. Dabei kann es vorkommen, dass eine zusätzliche Aufnahme einzelner Daten erforderlich ist. Dabei handelt es sich in der Regel um Kosten, für die im Unternehmen bereits Datenmaterial vorliegt.
- b) Ist der Detaillierungsgrad der aufgenommenen Daten nicht ausreichend, sollte die für die Aggregation zuständige Stelle, die in den meisten Fällen im Bereich des Controllings liegt, zu Rate gezogen werden. In der Regel ist diese in der Lage, die Daten der potenziellen Netzwerkobjekte wie eben beschrieben zu errechnen. Nur in seltenen Fällen ist eine Abschätzung der Kosten notwendig.

Ist die Aufnahme der Kosten potenzieller Netzwerkobjekte beispielsweise durch Abschätzungen mit großer Unsicherheit behaftet, empfiehlt es sich, diese innerhalb einer Sensitivitätsanalyse zu berücksichtigen. Für diesen Fall ist neben der bereits getätigten Abschätzung die Aufnahme von Extremwerten in Form von minimal und maximal zu erwartenden Werten relevant.

(8) Aufnahme qualitativer Kriterien Die Basis der Aufnahme qualitativer Kriterien stellen die in Kapitel 7.2.1 gesammelten Kriterien dar. Aus diesen gilt es, die für das Unternehmen relevanten Kriterien zu identifizieren (vgl. 1.). Anschließend erfolgt deren Bewertung parallel für die aktuellen Netzwerkobjekte sowie die potenziellen Objekte (vgl. 2.). Hierzu dienen Workshops mit Teilnehmern aus Geschäftsführung, Produktion der verschiedenen Standorte, Logistik, Qualität, Einkauf sowie Forschung und Entwicklung. Je nach Relevanz für die Wertschöpfungsverteilung ist die Integration weiterer Bereiche wie beispielsweise Personalwirtschaft, Controlling oder IT erforderlich.

1. *Identifikation relevanter qualitativer Kriterien*

- a) Die Sichtung des bestehenden Kriterienkatalogs aus Kapitel 7.2.1 mündet gegebenenfalls in einer Erweiterung um unternehmensspezifische Kriterien des anwendenden Unternehmens.
- b) Zur Handhabung der umfangreichen Sammlung an Kriterien erfolgt eine Gewichtung der Kriterien.
- c) Auf dieser Gewichtung beruht die Eingrenzung auf höchstens 20 Kriterien. Dabei werden zunächst jedem der vier Netzwerkobjekttypen die drei am höchsten gewichteten Erfolgspositionen sowie die drei am höchsten priorisierten Risiken zugeordnet. Anschließend erfolgt die Reduktion dieser 24 Kriterien auf höchstens 20 anhand deren Gewichtungen.

2. *Bewertung der ausgewählten Kriterien für aktuelle und potenzielle Netzwerkobjekte*

- a) In Kapitel 3.1 waren als gängige Bewertungsmethoden für qualitative Kriterien Risikoindizes und Experten-Schätzungen identifiziert worden. Darüber hinaus gilt es an dieser Stelle zu prüfen, ob dem anwendenden Unternehmen für die Bewertung der vorausgewählten Kriterien weitere eigene Möglichkeiten, wie z. B. bereits etablierte Unternehmenskennzahlen, zur Verfügung stehen.
- b) Aus allen identifizierten potenziellen Bewertungsmethoden gilt es, für jedes relevante Kriterium auszuwählen, welche Methoden für dieses spezifisch zur Verfügung stehen und welche unter Berücksichtigung des Aufwands zum Einsatz kommen sollen. Dabei ist der parallele Einsatz von mehreren Methoden möglich und zur Verbesserung der Qualität der Bewertungen in der Regel empfohlen.
- c) Gemäß der festgelegten Auswahl an Bewertungsmethoden erfolgt die Informationsbeschaffung z. B. über Recherche, Interviews und Datenanalysen. Kriterienspezifische Steckbriefe helfen, die gesammelten Informationen zu strukturieren. Hierzu zählen – wie in Abbildung 8.7 für ein Kriterium des Netzwerkobjekttyps Wertschöpfungs-Standort-Kombination dargestellt – eine Beschreibung des Kriteriums, eine Übersicht der Bewertungen aus den unterschiedlichen Bewertungsmethoden sowie Vermerke zu identifizierten Besonderheiten. Je Netzwerkobjekttyp unterscheidet sich die Vorlage für die Bewertungsübersicht.
- d) Auf Basis dieser Steckbriefe erfolgt die Bewertung der qualitativen Kriterien innerhalb eines Workshops. Die Teilnehmer bewerten zunächst für sich die jeweiligen Kriterien. Basierend auf dem Durchschnittswert dieser Einzelbewertungen lässt sich über eine offene Diskussion ein Konsens für die jeweiligen Bewertungen erzeugen.

Steckbrief						
Erfolgsposition / Risiko A des Netzwerkobjekttyps 1						
Beschreibung der Erfolgsposition / des Risikos A						
...						
...						
Bewertung	WSS A Sto 1	WSS B Sto 1	WSS C Sto 1	Sto 2 (WSS A - C)	Sto 3 (WSS A - C)	Sto 4 (WSS A - C)
Index 1 (Report A)	
Index 2 (Report A)	
Index 1 (Report B)	
Experten-Interview (Abteilung A)
Legende: Erfolgsposition: 0 = sehr schlecht, 10 = sehr gut Risiko: 0 = sehr gering; 10 = sehr hoch						
Anmerkungen / Besonderheiten						

Abbildung 8.7.: Steckbriefvorlage eines qualitativen Kriteriums des Objekttyps Wertschöpfungs-Standort-Kombination

Derartige Bewertungen qualitativer Kriterien sind grundsätzlich mit Unsicherheit behaftet. Handelt es sich hierbei um potenzielle Abweichungen in den Bewertungen, deren erwartete Größe möglicherweise Einfluss auf die Wertschöpfungsverteilung nimmt, empfiehlt es sich, dies innerhalb einer Sensitivitätsanalyse zu untersuchen. Hierzu ist neben den Bewertungen im Konsens die Aufnahme der schlechtesten und der besten Bewertungen erforderlich.

(9) Aufnahme zukünftiger Entwicklungen Den Abschluss der Erfassung von Gestaltungskriterien bildet die Aufnahme zukünftiger Entwicklungen. Diese umfasst neben den Entwicklungen in den Kosten und qualitativen Kriterien die erwarteten Entwicklungen im Mengenrüst und gliedert sich in das Festlegen des Betrachtungshorizonts (vgl. 1.) sowie die Aufnahme zukünftiger Kosten, qualitativer Werte und Mengen (vgl. 2.).

1. *Festlegen des Betrachtungshorizonts*

Grundsätzlich sollte eine strategische Entscheidung auf einer Zehnjahresprognose basieren (Spindelndreier, Bauernhansl et al. 2015, S. 13). Stehen Wertschöpfungsverschiebungen ohne entscheidenden Kapazitätszuwachs bzw. -abbau an den jeweiligen Standorten im Vordergrund, ist in Anbetracht des Aufwands für die Datenaufnahme erfahrungsgemäß ein Horizont von fünf Jahren angemessen (vgl. Spindelndreier, Bauernhansl et al. (2015, S. 13)). Ein geringerer Betrachtungshorizont empfiehlt sich ausschließlich bei spezifisch abgegrenzten Fragestellungen oder als Einstieg in die Thematik ohne sofortige Realisierungsabsicht.

2. Aufnahme zukünftiger Kosten, qualitativer Werte und Mengen

- a) Für einige Daten, wie die des Absatzes, liegen in der Regel Zukunftsdaten vor, die direkt aufzunehmen sind.
- b) Für andere sind Abschätzungen notwendig. Diese erfolgen entweder direkt je Datensatz für die zukünftigen Perioden oder über die Bestimmung von prozentualen Anstiegen oder Rückläufen je Periode. Davon sind Daten aller Netzwerkobjekttypen betroffen.

Daten der Zukunft stellen in jedem Fall unsichere Daten dar. Durch die zusätzliche Aufnahme von Extremwerten in Form von negativen und positiven Entwicklungen können diese unsicheren Zukunftsdaten innerhalb einer Sensitivitätsanalyse abgesichert werden.

Das Ergebnis der Datenaufnahme für Gestaltungskriterien der Wertschöpfungsverteilung ist anhand der Abbildungslogik gemäß Abbildung 7.10 aus Kapitel 7.2.1 sowohl für die aktuell vorliegende Wertschöpfungsverteilung als auch für potenzielle Netzwerkobjekte visualisiert und über die zugehörige Datenstruktur dokumentiert.

Phase III: Aufnahme von Daten für die Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien

Nach der Abbildung des Produktionsnetzwerks mit dessen Wertschöpfungsverteilung und der Aufnahme der Gestaltungskriterien sind alle Daten zur Bewertung der Ist-Situation sowie der potenziellen Netzwerkobjekte vorhanden. Um daraus eine realitätsnahe optimale Wertschöpfungsverteilung ableiten zu können, müssen basierend auf Kapitel 7 die herrschenden Rahmenbedingungen (10) und die Gewichtung der Kriterien (11) bekannt sein.

(10) Aufnahme der Rahmenbedingungen Als Rahmenbedingungen gelten Kapazitäten (vgl. 1.) und Flexibilität (vgl. 2.) (vgl. Kapitel 7.1.2). Liegen in dieser Hinsicht keine Einschränkungen vor, entfällt der folgende Teil der Datenaufnahme.

1. Aufnahme der Kapazitäten

Gemäß Kapitel 7.1.2 unterteilt sich die Wertschöpfungskapazität in Flächen- und Stückzahlkapazität. Für die Flächenkapazität sind die Mindest- und/oder Maximalflächen der jeweiligen Standorte relevant. Zusätzlich benötigte Informationen sind Quadratmeterpreis sowie benötigte Fläche für die Durchführung einer bestimmten Wertschöpfungsstufe für 1 Stück unter Berücksichtigung des Nutzungsgrads. Die Aufnahme der Stückzahlkapazität umfasst je Wertschöpfungs-Standort-Kombination Mindest- sowie Maximalkapazitäten. Analog erfolgt die Aufnahme der Beschaffungsmarktkapazitäten je Wertschöpfungsstufe.

2. Aufnahme der Flexibilität

Zur Berücksichtigung der Flexibilität sind sowohl die zulässigen Schwankungen der Produktionsmengen von Periode zu Periode in einer Prozentzahl als auch die Anzahl der zulässigen Verletzungen des Flexibilitätskorridors je Wertschöpfungsstufe anzugeben. Für die Eingrenzung der Schwankungen in den Beschaffungsmengen ist analog die Angabe der zulässigen prozentualen Schwankungen der Beschaffungsmärkte je Wertschöpfungsstufe sowie der zulässigen Verletzungen des Korridors erforderlich.

In der Regel sind Kapazitäten sowie Flexibilitäten in einer strategischen Sichtweise bekannt, so dass es sich nicht um unsichere Daten handelt. Hinsichtlich der Sensitivität einer Wertschöpfungsverteilung können allerdings sogenannte Wenn-Dann-Szenarien von Interesse sein. Beispielsweise gibt die optimale Wertschöpfungsverteilung bei unbegrenzten Kapazitäten oder bei Ausfall der Kapazität eines bestimmten Standorts hilfreiche Aufschlüsse.

(11) Festlegen der Kriteriengewichtung Als Grundlage zur Bestimmung der Kriteriengewichtung dient die Unternehmensstrategie. Anhand dieser lässt sich mithilfe des im Unternehmen vorhandenen Know-hows die spezifische Gewichtung der Kriterien ableiten.

Auch bei der Bestimmung der Gewichtung können Unsicherheiten auftreten. Die Sensitivitätsanalyse erfolgt, indem die Gewichtung eines der Kriterien solange erhöht wird, bis sich eine veränderte Wertschöpfungsverteilung ergibt. Wird dies für alle drei Kriterien durchgeführt, geht daraus das gesuchte Insensitivitätsintervall hervor.

Das Ergebnis der Datenaufnahme zur Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien gibt für die Mengenangaben aus der aktuellen Produktionsnetzwerkstruktur die möglichen Spielräume vor.

Während der Phasen II und III ergeben sich an den ausgewiesenen Stellen Anknüpfungspunkte für Sensitivitätsanalysen. Diese gilt es, in einer zusätzlichen Phase zu strukturieren und in ein Gesamtkonzept zu integrieren.

Phase IV: Konzeption von Sensitivitätsanalysen

Ein ganzheitliches Konzept der Sensitivitätsanalysen basiert auf allen dafür relevanten Datensätzen (12). Darauf aufbauend gilt es, die entsprechenden Eingabeszenarien zu konzipieren (13).

(12) Identifikation relevanter Datensätze Wie bereits in den Phasen II und III verdeutlicht können die Datensätze

- Kosten potenzieller Netzwerkobjekte,

- Bewertungen qualitativer Kriterien,
- zukünftige Entwicklungen in den Kosten, qualitativen Kriterien oder Mengen sowie
- die Gewichtung der Kriterien

mit Unsicherheiten bei der Datenaufnahme behaftet sein. Daher gilt es, diejenigen Datensätze über Sensitivitätsanalysen abzusichern, bei denen während der Datenaufnahme in den Phasen II oder III derart große Unsicherheiten aufgetreten sind, dass durch die potenziellen Abweichungen in den Bewertungen möglicherweise ein Einfluss auf die Wertschöpfungsverteilung zu erwarten ist.

Zusätzlich können weitere sogenannte „Wenn-Dann-Szenarien“ für

- Kapazitäten und Flexibilitäten

relevant sein. Hierbei empfiehlt es sich, zumindest die optimale Wertschöpfungsverteilung bei unbegrenzten Kapazitäten zu ermitteln.

(13) Konzeption von Eingabeszenarien Je identifiziertem Datensatz gilt es, entsprechende Szenarien zu definieren.

- Bei den Datensätzen *Kosten potenzieller Netzwerkobjekte, Bewertungen qualitativer Kriterien* sowie *zukünftige Entwicklungen in den Kosten, qualitativen Kriterien oder Mengen* ist jeweils mit Best-Case- und Worst-Case-Szenarien zu arbeiten. Hierzu muss neben dem in jedem Fall existierenden realistischen Szenario eines mit den günstigsten Werten (Best-Case) sowie eines mit den ungünstigsten Werten für den betrachteten Datensatz (Worst-Case) berücksichtigt werden. Abbildung 8.8 verdeutlicht die drei Szenarien beispielhaft für die zukünftigen Entwicklungen der Kosten und qualitativen Kriterien.

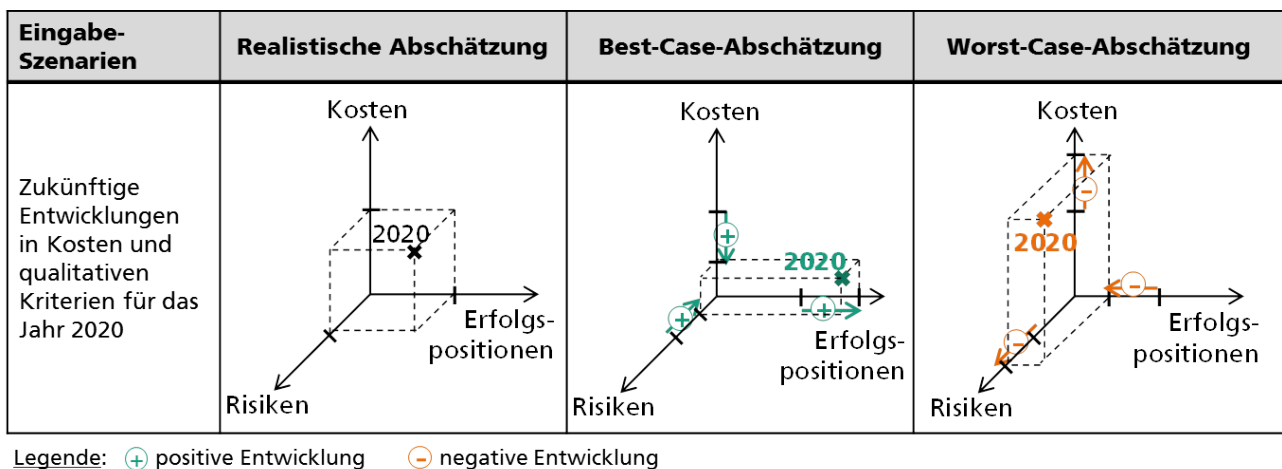


Abbildung 8.8.: Konzeption von Szenarien für einen unsicheren Datensatz

- Bei der *Gewichtung der Kriterien* gilt es, zwischen vier Szenarien – Gleichverteilung, Kosten-Fokus, Erfolgspositionen-Fokus und Risiko-Fokus – zu unterscheiden. Dabei sind die Gewichtungen der jeweiligen Kriterien solange zu erhöhen, bis eine Änderung in der Wertschöpfungsverteilung erzielt wird.
- Szenarien bei *Kapazitäten und Flexibilitäten* dienen der Überprüfung von Auswirkungen eines Kapazitäts- oder Flexibilitätsaus- oder -abbaus auf die Wertschöpfungsverteilung. Anwender, die entsprechende Veränderungen planen, müssen diese in jedem Fall über Szenarien abbilden.

Insgesamt können mehrere Datensätze parallel von Sensitivitätsanalysen betroffen sein. Damit die durch die jeweiligen Extremwerte der einzelnen Datensätze resultierenden Auswirkungen auf die Wertschöpfungsverteilung sich nicht gegenseitig aufheben können, sind die jeweiligen Datensätze getrennt voneinander zu untersuchen. Daher empfiehlt es sich, bei mehr als einem relevanten Datensatz, die entsprechenden Eingabeszenarien mit dem in Tabelle 8.1 dargestellten Format zu strukturieren. Die Tabelle 8.1 verdeutlicht alle Möglichkeiten an Eingabeszenarien für Sensitivitätsanalysen im Kontext der Wertschöpfungsverteilung nach quantitativen und qualitativen Kriterien.

Das Ergebnis der Konzeption von Sensitivitätsanalysen sind die verschiedenen Eingabeszenarien zur Sensitivitätsanalyse. Diese sind je unsicherem Datensatz strukturiert.

Die Erläuterung des weiteren Vorgehens erfolgt in erster Linie anhand des realitätsnahen Szenarios.

	Szenario 1 Realitätsnahes Szenario	Szenario 2 (i.d.R. Best-Case- Szenario)	Szenario 3 (i.d.R. Worst-Case- Szenario)	Szenario 4
Kosten potenzieller Netzwerkobjekte	x	minimale Kosten	maximale Kosten	-
Bewertungen qualitativer Kriterien	x	maximale EP und minimale Risiken	minimale EP und maximale Risiken	-
Zukünftige Entwicklungen	x	minimale Kosten, maximale EP, minimale Risiken und maximale Mengen	maximale Kosten, minimale EP, maximale Risiken und minimale Mengen	-
Gewichtung der Kriterien	gleichverteilt	Kosten-Fokus	Erfolgspositionen-Fokus	Risiko-Fokus
Kapazitäten / Flexibilitäten	x	Unbegrenzte Kapazitäten / Flexibilitäten	Ausschluss vorhandener Kapazitäten / Flexibilitäten	Individuelle Beschränkung oder Erweiterung der realen Kapazitäten / Flexibilitäten

Tabelle 8.1.: Potenzielle Eingabeszenarien der Sensitivitätsanalysen

8.2.2. Vorgehen zur Optimierung

Gemäß dem Lösungsansatz aus Kapitel 6.1 stellt die Optimierung den zentralen Kern der Methode dar. An dieser Stelle kommen die in Kapitel 8.1 finalisierten Optimierungsmodelle zum Einsatz. Dabei ist, wie in Abbildung 8.9 dargestellt, eine Überführung der aufgenommenen Daten in das für die Optimierung benötigte Format erforderlich (Phase I). Erst im Anschluss kann mithilfe der verschiedenen Optimierungsläufe die Ermittlung der optimalen Wertschöpfungsverteilung erfolgen (Phase II). Die erzeugten Daten der optimalen Wertschöpfungsverteilung sind wiederum in das ursprüngliche Datenformat zur Visualisierung zurückzuführen (Phase III).

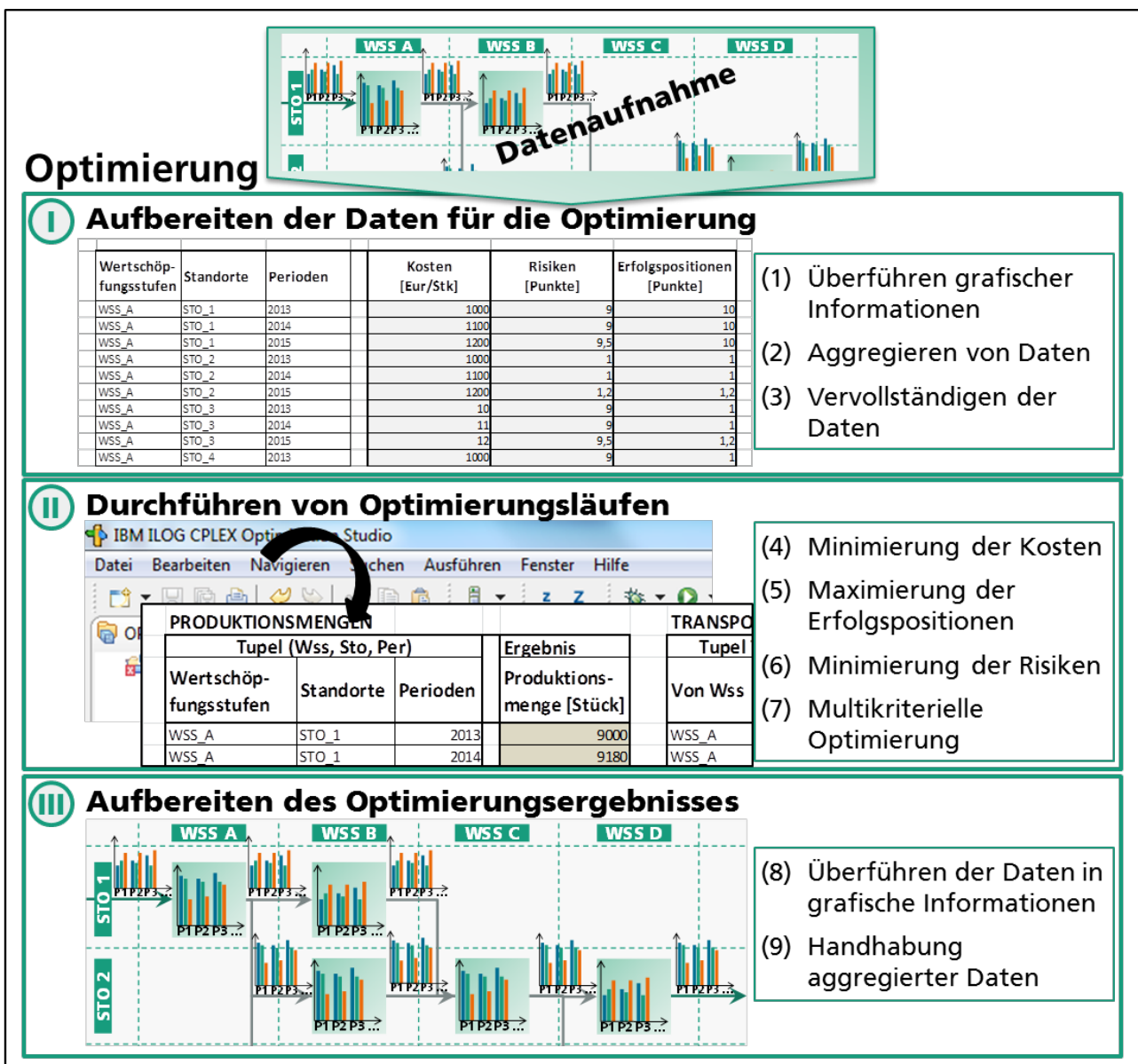


Abbildung 8.9.: Vorgehen bei der Optimierung

Phase I: Aufbereiten der Daten für die Optimierung

Wie in Kapitel 7.1.3, 7.2.3 und 7.3.3 beschrieben, werden die Daten für die Optimierung in einer ganz bestimmten Form aus einer externen Datei eines Tabellenkalkulationsprogramms bzw. einer Datenbank eingelesen. Diese gilt es, aus den aufgenommenen Daten herzustellen. Dabei spielen insbesondere drei Themen eine Rolle: Überführung grafischer Informationen (1), Aggregation von Daten (2) und Bereitstellen optional anzugebender Daten (3).

(1) Überführen grafischer Informationen Gewisse Daten liegen ausschließlich in der für die grafische Darstellung benötigten Form vor. Hierzu gehört die Struktur des Produktionsnetzwerks mit seinen aktuellen und potenziellen Wertschöpfungs-Standort-Kombinationen, internen Interdependenzen sowie Interdependenzen vom Beschaffungs- und zum Absatzmarkt. Innerhalb der Optimierung existieren über die Hilfstapel alle Kombinationen aus Wertschöpfungsstufen und Standorten sowie alle Interdependenzen. Daher kennzeichnet sich dort die Struktur wie folgt: Ist ein Produktionsnetzwerk-Objekt realisierbar, erhält die entsprechende Ausprägung des Hilfstapels den Wert 1, während ein nicht realisierbares Objekt den Wert 0 erhält.

(2) Aggregieren von Daten Die Optimierung benötigt die Daten für Kosten, Erfolgspositionen und Risiken ausschließlich in aggregierter Form. Hierzu werden alle variablen Kosten, die innerhalb eines Netzwerkobjekt für die Produktion bzw. den Transport von 1 Stück in einer bestimmten Periode anfallen, addiert. Aus den Erfolgspositionen sowie aus den Risiken wird für jede Periode jeweils ein Durchschnittswert je Netzwerkobjekt verwendet. Dieser ist bereits aus der Visualisierung bekannt (vgl. Kapitel 7.2.1 Abbildung 7.9). Fixkosten werden je Netzwerkobjekt und Periode aggregiert, während sprungfixe Kosten zusätzlich je Sprungintervall unterschieden werden.

(3) Vervollständigen der Daten Die Datenaufnahme dient ausschließlich für existierende und potenzielle Netzwerkobjekte. Innerhalb der Optimierung werden allerdings Daten für alle Kombinationen aus Wertschöpfungsstufen und Standorten sowie alle Interdependenzen benötigt. Da die zu ergänzenden Netzwerkobjekte bereits durch (1) ausgeschlossen sind, kann hier grundsätzlich jeder Wert angegeben werden. Werden allerdings die Daten der nicht realisierbaren Netzwerkobjekte mit für das Gesamtoptimum ungünstigen Werten belegt, unterstützt dies die Optimierung dabei, schnell zu erkennen, dass dieses Netzwerkobjekt nicht optimal sein kann.

Des Weiteren werden innerhalb des Vorgehens zur Datenaufnahme einige Daten wie beispielsweise die Kapazitäten oder die Flexibilität nur optional angefragt. Sind keine Werte angegeben, erfolgt eine Belegung mit den in Kapitel 7 erwähnten Standardwerten.

Damit sind alle Daten in der für die Optimierung benötigten Form verfügbar.

Phase II: Durchführen von Optimierungsläufen

Basierend auf den zur Verfügung gestellten Daten erfolgt die Optimierung anhand der vier Optimierungsläufe zur Minimierung der Kosten (4), Maximierung der Erfolgspositionen (5), Minimierung der Risiken (6) sowie zur multikriteriellen Optimierung nach Kosten, Erfolgspositionen und Risiken (7).

(4) Minimierung der Kosten Ziel des ersten Optimierungslaufs stellt die Ermittlung des Kosten-Optimums dar. Hierzu wird das in Kapitel 8.1.2 beschriebene Modell zur Minimierung der Kosten ausgeführt. Ergebnis ist die kostenoptimale Wertschöpfungsverteilung mit zugehörigem Zielfunktionswert. Gespeichert wird lediglich das Kosten-Optimum sowie der Wert der Erfolgsposition, der zur Ermittlung dessen Bezugsgröße dient.

(5) Maximierung der Erfolgspositionen Mithilfe des zweiten Optimierungslaufs erfolgt die Berechnung des Erfolgspositionen-Optimums. Hierzu wird das Modell zur Maximierung der Erfolgspositionen ausgeführt. Die ermittelte erfolgspositionenoptimale Wertschöpfungsverteilung ist ausschließlich zu diesem Zeitpunkt einsehbar. Das Erfolgspositionen-Optimum bleibt über die weiteren Optimierungsläufe hinweg verfügbar.

(6) Minimierung der Risiken Im dritten Lauf wird das Risiko-Optimum ermittelt. Hierzu dient das in Kapitel 8.1.2 dargestellte Modell zur Minimierung der Risiken. Ergebnis ist die risikooptimale Wertschöpfungsverteilung mit dem zugehörigen Risiko-Optimum. Neben diesem wird der errechnete Wert der Erfolgspositionen zur Ermittlung der zugehörigen Bezugsgröße gespeichert.

(7) Multikriterielle Optimierung nach Kosten, Erfolgspositionen und Risiken Im abschließenden vierten Lauf kommt das multikriterielle Modell zur Optimierung nach Kosten, Erfolgspositionen und Risiken zum Einsatz. Dies greift die durch die vorangegangenen Optimierungsläufe ermittelten Optima sowie Bezugsgrößen auf und errechnet mithilfe dieser das integrierte Optimum sowie die dazugehörige Wertschöpfungsverteilung. Die ist das Endergebnis und findet sich im Tabellenkalkulationsprogramm bzw. der Datenbank wieder.

Mithilfe dieses Vorgehens lässt sich die optimale Wertschöpfungsverteilung eines eindeutigen Datensatzes ermitteln.

Phase III: Aufbereiten des Optimierungsergebnisses

Um das Endergebnis der Optimierung zu dokumentieren, kommt die Logik zur Abbildung der Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken mit ihren quantitativen und qualitativen Kriterien aus Kapitel 8.1.1 zum Einsatz. Dazu ist zum einen das Umwandeln der Daten in

grafische Informationen (8) und zum anderen das Verarbeiten der Daten in aggregierter Form (9) erforderlich.

(8) Überführen der Daten in grafische Informationen Über die ermittelten Produktions-, Transport-, Beschaffungs- und Absatzmengen sind die aktiven Objekte des Produktionsnetzwerks bekannt und können visualisiert werden. Dies umfasst die Kosten, die sich aus den entsprechenden Mengen und Stückkosten bzw. sprungfixen Kosten unter Addition der Fixkosten berechnen lassen. Die Erfolgspositionen und Risiken werden über ihre bekannten Durchschnittswerte visualisiert.

(9) Handhabung aggregierter Daten Neben der Visualisierung, die auf der aggregierten Ebene erfolgt, können auch Daten auf dem ursprünglichen aufgenommenen Aggregationslevel von Interesse sein. Da sowohl die Detaillierungen der Daten aus der Datenaufnahme als auch die neu verteilten Mengen aus der Optimierung bekannt sind, können die Daten im gewünschten Detaillierungsgrad berechnet werden.

Somit liegt das Ergebnis der optimalen Wertschöpfungsverteilung innerhalb des realitätsnahen Szenarios analog zur Ist-Situation vor.

8.2.3. Vorgehen zur Entscheidungsfindung

Um zu einer Entscheidung bzgl. der Umsetzung einer durch die Optimierung ermittelten Wertschöpfungsverteilung zu gelangen, sind, wie in Kapitel 6.1 aufgeführt, neben den ermittelten laufenden Kosten, Erfolgspositionen und Risiken weitere Informationen erforderlich. Hierzu gehören die Investitionskosten (Baustein I) sowie Aussagen zur Sensitivität (Baustein II) der ermittelten optimalen Wertschöpfungsverteilung. Eine Entscheidungsvorlage (Baustein III) hilft, alle Informationen ganzheitlich zu vermitteln. Im Folgenden wird zunächst auf diese Bausteine der Entscheidungsfindung eingegangen, bevor anschließend der Prozess beschrieben wird.

Baustein I: Ermitteln der Investitionskosten

Im bisherigen Vorgehen wurden keine Investitionskosten berücksichtigt, um die optimale Wertschöpfungsverteilung bei laufenden Kosten zu ermitteln. Damit kann als Ergebnis eine Wertschöpfungsverteilung mit sehr hohem Investitionsbedarf entstehen, das das Optimum lediglich bei sehr großem Budget darstellt. Für die Entscheidung, ob die ermittelte Wertschöpfungsverteilung tatsächlich umgesetzt werden soll, sind daher die Investitionskosten von entscheidender Bedeutung. Daher sind diese hier zu ermitteln. Dabei sind gemäß dem in Kapitel 7.2.1 entwickelten Kostenmodell Einmalkosten für die Umgestaltung – z.B. Investitionen oder Re-

strukturierungskosten –, Anlaufkosten, Qualifizierungs- und Trainingskosten bzw. Kosten für Technologieanpassung sowie Kosten für den Netzwerkaufbau vor Ort zu berücksichtigen.

Neben diesen Investitionskosten spielen Aussagen über die Sensitivität des Ergebnisses eine entscheidende Rolle bei der Entscheidungsfindung.

Baustein II: Durchführen von Sensitivitätsanalysen

Basis der Sensitivitätsanalysen bilden die in Phase IV der Datenaufnahme aus Kapitel 8.2.1 konzipierten Eingabeszenarien. Dabei entspricht das realistische Szenario 1 aller Datensätze dem bereits in der Optimierung in Kapitel 8.2.2 eingesetzten Datensatz. Für alle weiteren Szenarien ist je Datensatz wie folgt vorzugehen:

1. Die Daten für die Optimierung werden zunächst entsprechend Szenario 2 – in der Regel das Best-Case-Szenario – angepasst.
2. Auf Basis dieser Daten erfolgt die Optimierung nach dem in Kapitel 8.2.2 beschriebenen Verfahren.
3. Die Schritte 1 und 2 werden solange wiederholt, bis alle für den gewählten Datensatz konzipierten Szenarien durchlaufen sind.
4. Ist die Wertschöpfungsverteilung aller Szenarien identisch zu der des realitätsnahen Szenarios, können die detaillierten Ergebnisse verworfen und ausschließlich die Information der Insensitivität dokumentiert werden. Unterscheidet sich das Ergebnis eines oder mehrerer Szenarien von dem des realitätsnahen Szenarios, wird die Sensitivität dokumentiert. Bei signifikanten Abweichungen unterstützt die Visualisierung der Wertschöpfungsverteilung die Dokumentation.

Ergebnis der Sensitivitätsanalysen sind Informationen darüber, in welchen Fällen die durch die Optimierung ermittelte Wertschöpfungsverteilung stabil bzw. instabil ist. Dabei werden entscheidende alternative Wertschöpfungsverteilungen visualisiert. Diese Ergebnisse fließen zusammen mit den ermittelten Investitionskosten in eine Entscheidungsvorlage.

Baustein III: Erstellen einer Entscheidungsvorlage

Die Entscheidungsvorlage dient der Zusammenfassung der Ergebnisse und ist wie in Abbildung 8.10 dargestellt aufgebaut. Neben der Beschreibung und Visualisierung der detailliert untersuchten Wertschöpfungsverteilung geben die ermittelten Kosten, Erfolgspositionen und Risiken Aufschluss über die Güte. Dabei unterstützt der Vergleich mit den jeweiligen Werten aus dem Ist-Szenario in Form des zugehörigen Deltas. Unter dem Punkt Investitionskosten werden deren Wert und bei notwendiger Detaillierung deren Ursachen aufgezeigt. Der Block der Sensitivität dient der Dokumentation der Ergebnisse aller untersuchten unsicheren Datensätze.

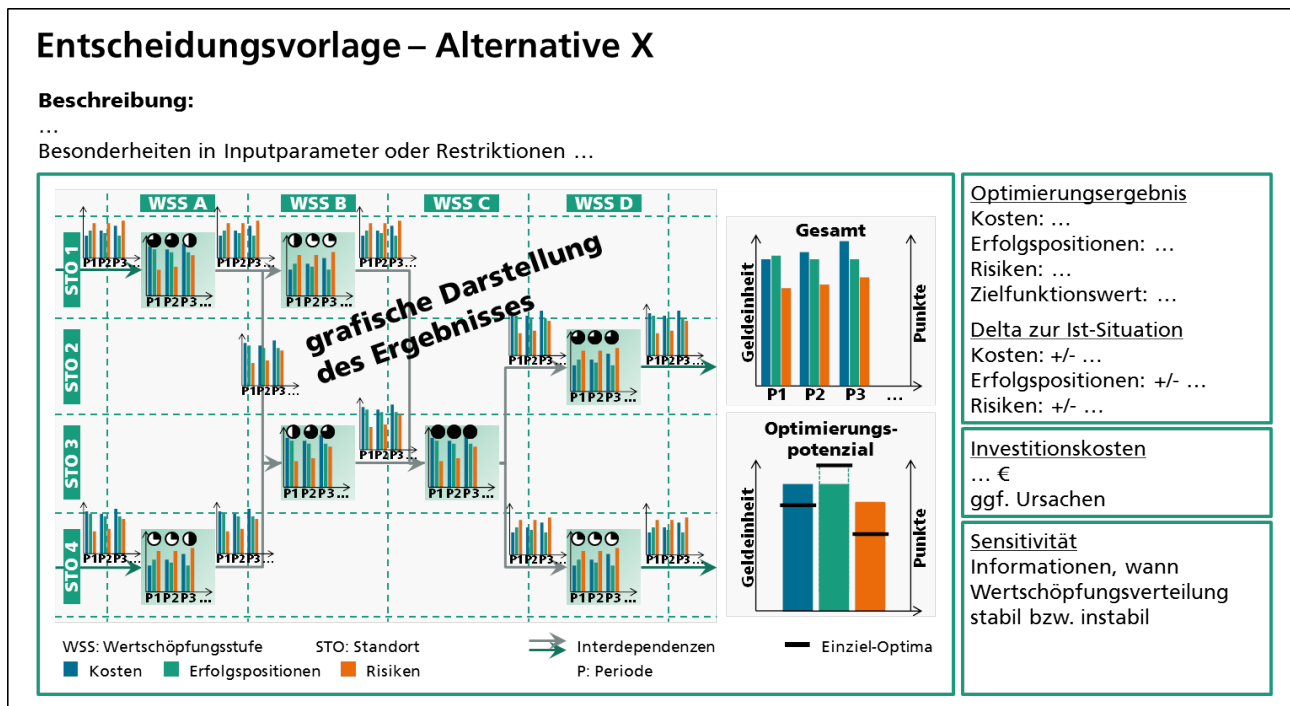


Abbildung 8.10.: Entscheidungsvorlage

Je nach Relevanz nimmt entweder das Thema der Investitionskosten oder das der Sensitivität mehr Raum ein.

Aufbauend auf den erläuterten Elementen der Entscheidungsfindung erfolgt im Weiteren die Beschreibung des Prozesses der Entscheidungsfindung.

Prozess der Entscheidungsfindung

Die Ergebnisse der Investitionskostenermittlung ermöglichen den Einstieg in den in Abbildung 8.11 dargestellten Prozess der Entscheidungsfindung.

1. Übersteigen die Investitionskosten die für die Anpassung der Wertschöpfungsverteilung geplante Budgetgrenze, erfolgt zur Erstellung der Entscheidungsvorlage eine weiterführende Bearbeitung des Investitionsthemas, bis eine Empfehlung zum weiteren Vorgehen abgegeben werden kann. Im Fokus steht dabei die Untersuchung, welche Produktionsnetzwerk-Objekte die entscheidenden Investitionskosten verursachen.

- Werden aufgrund der Sensitivitätsanalysen Änderungen insbesondere in diesen Netzwerkobjekten und dadurch die Identifikation von vielversprechenden alternativen Wertschöpfungsverteilungen erwartet, können anschließend Sensitivitätsanalysen durchgeführt werden.
- In der Regel steht allerdings die Definition von geeigneten Kapazitätsbeschränkungen an, welche die Investitionskosten der verursachenden Netzwerkobjekte begrenzen.

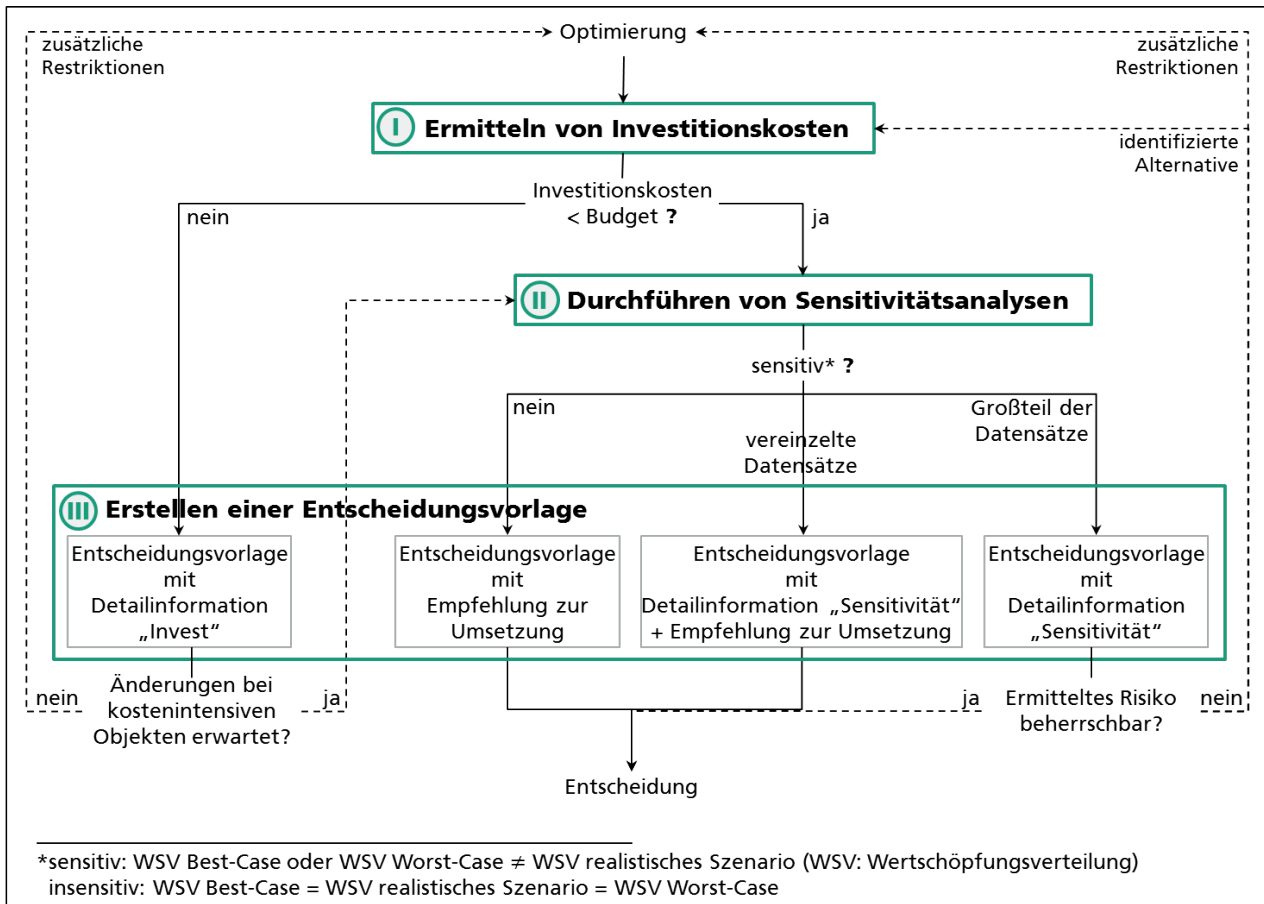


Abbildung 8.11.: Prozess der Entscheidungsfindung

Mit diesen neuen Restriktionen wird nochmals die Phase der Optimierung durchlaufen und anschließend mit dem neuen Ergebnis wiederholt in den Prozess der Entscheidungsfindung eingestiegen. Im weiteren Verlauf dient die optimale Wertschöpfungsverteilung bei nicht begrenztem Budget als Orientierung. Jede Investition, die das Erreichen des Optimalszenarios unterstützt, eröffnet die Möglichkeit, diese optimale Wertschöpfungsverteilung in der weiter entfernten Zukunft doch noch realisieren zu können.

2. Liegen die Investitionskosten innerhalb des Budgets, sind Sensitivitätsanalysen gemäß Baustein II durchzuführen.
 - a) Liegen ausschließlich negative Sensitivitätsanalysen vor, ist die optimale Wertschöpfungsverteilung gefunden. Deren Umsetzung wird empfohlen.
 - b) Ergeben die Sensitivitätsanalysen bei ein oder zwei Eingabeszenarien Abweichungen mit geringen Auswirkungen auf die Kosten, Erfolgspositionen und Risiken, wird dem Entscheider die ermittelte Wertschöpfungsverteilung unter Ausweis des Risikos empfohlen.

- c) Wurden über die Sensitivitätsanalysen signifikante Abweichungen identifiziert und alternative Wertschöpfungsverteilungen ermittelt, ist die Detaillierung des Themas Sensitivität innerhalb der Entscheidungsvorlage erforderlich.
- Lässt sich den Risiken der ermittelten Sensitivität begegnen, wird die ermittelte Wertschöpfungsverteilung mit dem Hinweis auf die identifizierten Risiken empfohlen.
 - Ergibt sich in den Sensitivitätsanalysen eine vielversprechende Alternative, wird diese zur Detaillierung anhand des Prozesses der Entscheidungsfindung empfohlen. Darunter fallen die Ermittlung der Investitionskosten sowie die Sensitivitätsanalysen hinsichtlich der unsicheren Datensätze, aus denen diese Alternative nicht abgeleitet wurde.
 - Zeigt sich die Sensitivität vermehrt in einem bestimmten Produktionsnetzwerk-Objekt und liegen für dieses Objekt eindeutige Präferenzen vor, wird empfohlen, diese Präferenz durch die Definition von Kapazitätsrestriktionen zu unterstützen und den Prozess von der Optimierung ab erneut zu durchlaufen.
 - Liegt keiner der drei genannten Fälle vor, werden aus den gewonnenen Erkenntnissen zusätzliche Restriktionen oder Datensätze abgeleitet. Die Empfehlung lautet, mit diesen den Prozess ab der Optimierungsphase zu wiederholen.

In jedem Fall führt der Prozess der Entscheidungsfindung zu einer optimalen bzw. nahezu optimalen Wertschöpfungsverteilung.

8.2.4. Implementierung einer grafischen Benutzeroberfläche

Neben dem implementierten Optimierungsmodell (vgl. Kapitel 8.1.3) wird die entwickelte Methode zur Anwendung des Modells ebenfalls softwaretechnisch unterstützt. Hierzu wurde für die praktische Durchführung der Datenaufnahme sowie für die Ergebnisdarstellung innerhalb der Entscheidungsfindung eine grafische Benutzeroberfläche implementiert. Dies erfolgte im Rahmen des Forschungsprojekts RiWeKo-Net². Mithilfe der grafischen Benutzeroberfläche kann die Datenfülle gehandhabt werden. Dort können Daten strukturiert eingegeben und bereits gespeicherte Informationen leicht gefunden werden. Die Benutzeroberfläche basiert auf Microsoft Excel und kann daher auf allen Rechnern in der Industrie eingesetzt werden.

Die grundlegenden Funktionalitäten der Benutzeroberfläche sind eingeteilt in *Netzwerk verwalten*, *Kriterien verwalten* und *Szenarien verwalten*.

Die Funktionen im Bereich *Netzwerk verwalten* ermöglichen das Abbilden des Produktionsnetzwerks und seiner Wertschöpfungsverteilung als Basis der Benutzeroberfläche (vgl. Abbildung 8.12). Bei der Eingabe von Wertschöpfungsstufen und Standorten platzieren sich diese

²Risiko-Werte-Kosten-optimales Produktions-Logistik-Netzwerk

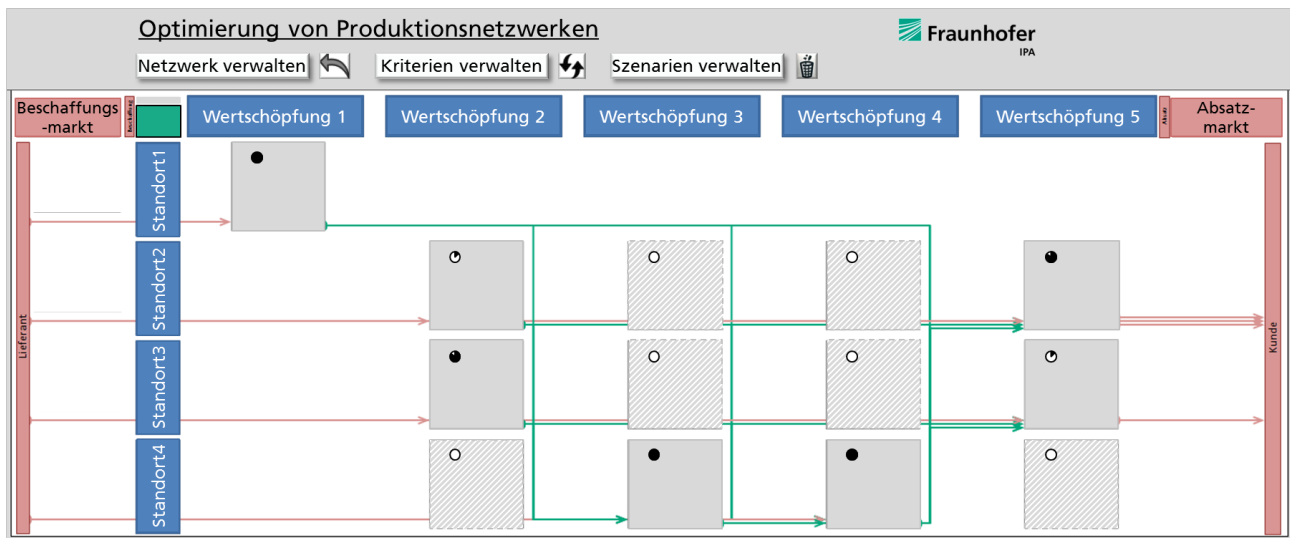


Abbildung 8.12.: Benutzeroberfläche zur Abbildung des Produktionsnetzwerks und seiner Wertschöpfungsverteilung

automatisch horizontal bzw. vertikal und spannen somit die Struktur des Produktionsnetzwerks auf. Dort können die Wertschöpfungs-Standort-Kombinationen sowie die internen Interdependenzen markiert werden. Das Erweitern um Beschaffungs- und Absatzmärkte in Form ihrer jeweiligen Interdependenzen ist ebenso möglich wie das Hinzufügen von potenziellen Netzwerkobjekten. Über Masken, die den jeweiligen Netzwerkobjekten zugehören, erfolgt die Aufnahme der Mengenangaben. Diese werden im Fall von Wertschöpfungs-Standort-Kombinationen über ein Kuchendiagramm dargestellt.

Mithilfe derselben Masken wird die Aufnahme der Gestaltungskriterien ermöglicht. Über die in den Masken verfügbaren Reiter Kosten, Erfolgspositionen und Risiken erfolgt die Eingabe und Verwaltung der zugehörigen Daten über die verschiedenen Perioden des gesamten Betrachtungszeitraums hinweg. Über Berechnungslogiken erfolgt in dem jeweiligen Reiter die Aggregation der Daten für die Optimierung. Die Funktionen im Bereich *Kriterien verwalten* ermöglichen die unternehmensspezifische Anpassung der qualitativen Kriterien sowie deren Gewichtungen. Die Eingabemaske der Kosten orientiert sich am Kostenmodell ohne dessen vollständige Verwendung zu erzwingen. Die Speicherung der Daten erfolgt sowohl in den Masken als auch in Tabellen, die – wenn gewünscht – ebenfalls zur Dateneingabe verwendet werden können. Den größten Mehrwert liefert die Integration der eingegebenen Daten in die bereits beschriebene Visualisierung (vgl. Abbildung 8.13 oben).

Über die Funktionen im Bereich *Szenarien verwalten* ist die Darstellung mehrerer Wertschöpfungsverteilungen untereinander möglich (vgl. Abbildung 8.13), so dass beispielsweise die Ist-Situation direkt mit dem Ergebnis der Optimierung verglichen werden kann. Dazu muss lediglich die Ist-Situation kopiert und deren Produktions-, Transport-, Beschaffungs- und Absatzmengen gemäß dem ermittelten Ergebnis aus der Optimierung angepasst werden.

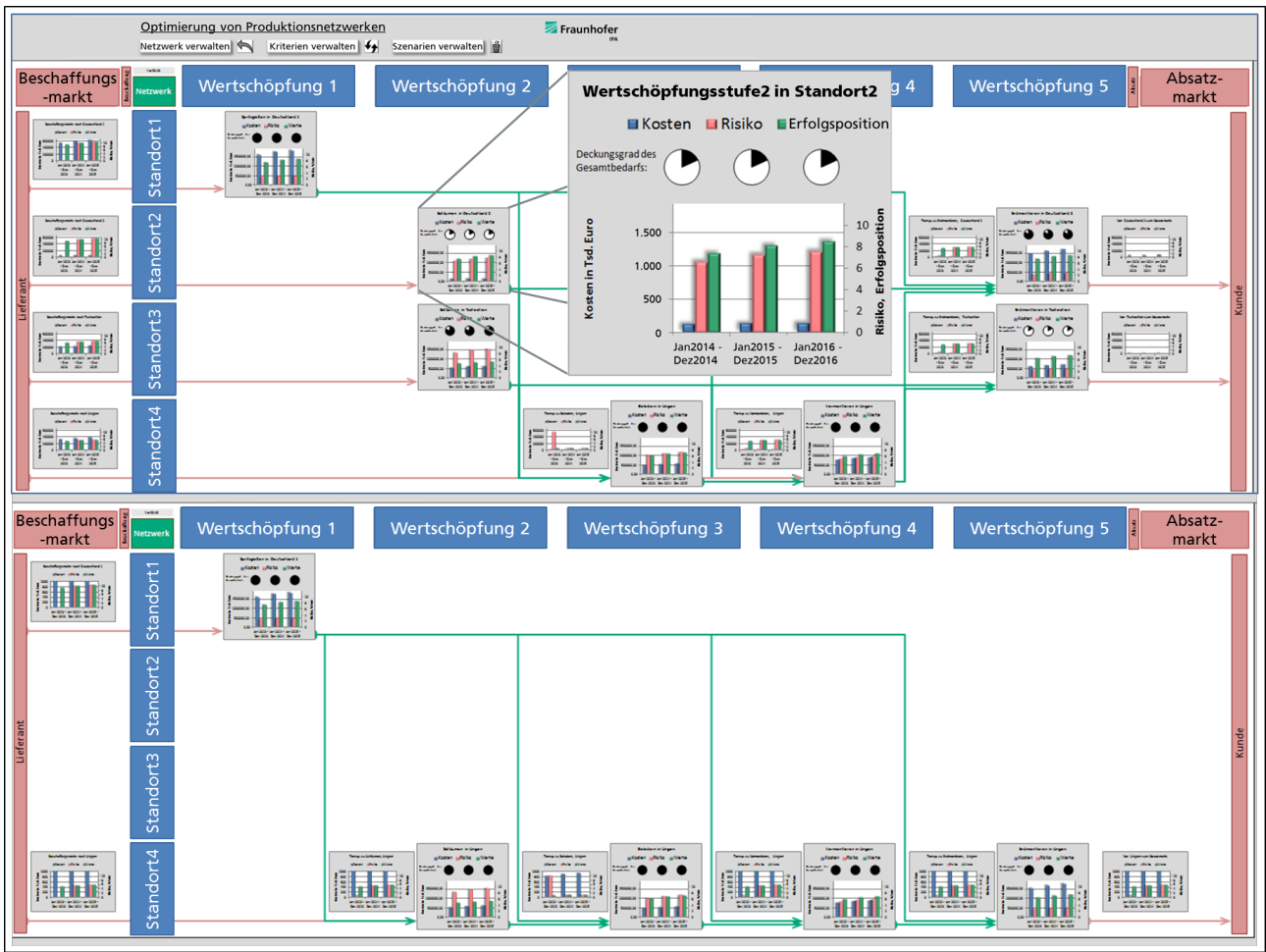


Abbildung 8.13.: Screenshot der Benutzeroberfläche zur Datenaufnahme und Ergebnisvisualisierung mit vergrößertem Netzwerkobjekt

9. Fallbeispiele zur Anwendung und kritischen Reflexion

Die mathematische Modellierung zur Optimierung der Wertschöpfungsverteilung nach quantitativen und qualitativen Kriterien in Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung kam mithilfe der in Kapitel 8.2 vorgestellten Methode bereits in mehreren Fällen in der Industrie zum Einsatz. Um im Folgenden die Anwendungstauglichkeit in der Industrie für die in Kapitel 2.1.3 definierte Anwendungsdimension der diskreten Fertigung zu zeigen, wurden zwei Beispiele ausgewählt. Dabei nimmt jedes der Beispiele, wie in Abbildung 9.1 dargestellt, jeweils die extremen Ausprägungen der Merkmale der Fertigungstypologie an, so dass in der Validierung die gesamte Anwendungsdimension abgedeckt ist. Das erste Fallbeispiel behandelt die Fragestellung der optimalen Wertschöpfungsverteilung im Produktionsnetzwerk eines Serienfertigers aus der Automobilzulieferindustrie. Eine zweite Anwendung beinhaltet den Einsatz des Modells bei einem Unternehmen aus dem Maschinenbau. Dort wird eine spezifische Fragestellung der Wertschöpfungsverteilung aus dem Bereich der Sortenfertigung beantwortet. Abschließend wird die mathematische Modellierung auf Basis der in den Anwendungen gewonnenen Erfahrungen kritisch reflektiert.

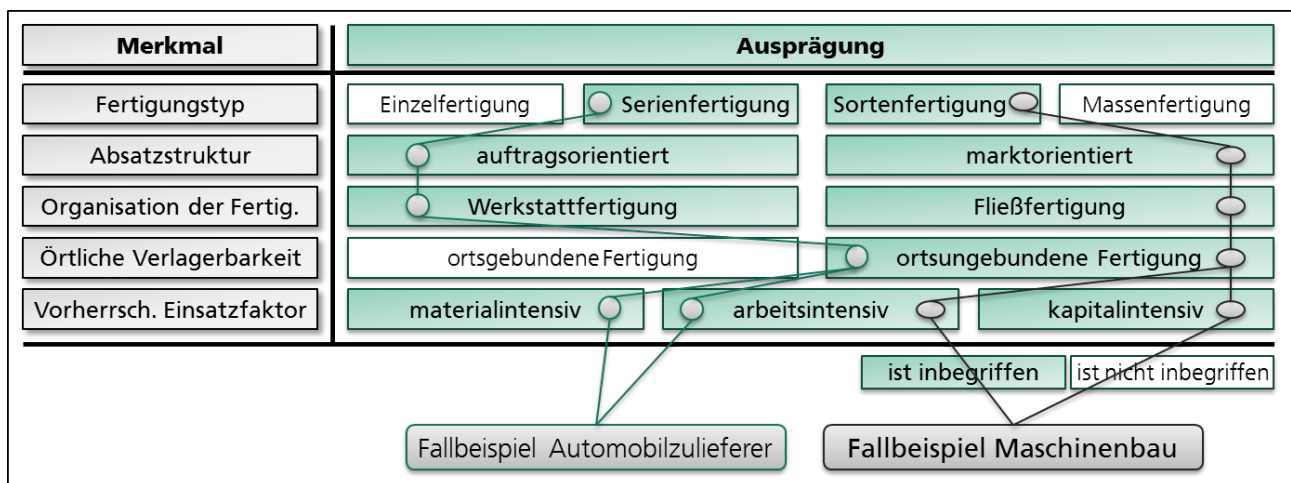


Abbildung 9.1.: Repräsentation der Anwendungsdimension *diskrete Fertigung* durch die ausgewählten Fallbeispiele

9.1. Fallbeispiel aus der Automobilzulieferindustrie

Im ersten Fallbeispiel wurden die entwickelten mathematischen Optimierungsmodelle zur Wertschöpfungsverteilung mithilfe der zugehörigen Anwendungsmethode bei einem Zulieferunternehmen der Automobilbranche angewandt. Das inhabergeführte Unternehmen entwickelt und produziert seit Ende der 1970er-Jahre Leder- und Innenraumteile für Kraftfahrzeuge. Dazu gehören Schaltknäufe und -abdeckungen, Handbremshebel sowie weitere Blenden und Abdeckungen für den Fahrzeuginnenraum. Mit 500 Mitarbeitern an fünf global verteilten Standorten erwirtschaftet das Unternehmen jährlich einen Umsatz von ca. 23 Millionen Euro.

Das Unternehmen produziert, wie in der Automobilzulieferindustrie üblich, in Serien nach Auftragseingang (vgl. Abbildung 9.1). Die ortsungebundene Produktion erfolgt aufgrund der für die Automobilindustrie untypischen hohen Wertschöpfungstiefe innerhalb einer Werkstattfertigung mit geringem Automatisierungsgrad. Daher rührt die hohe Material- und Arbeitsintensität.

Der in der Automobilindustrie vorherrschende Kostendruck sowie der Gewinn von zusätzlichen Projekten zwang das Unternehmen, durch eine Neustrukturierung des historisch gewachsenen Netzwerks Effizienzsteigerungen zu erzielen. Daraus resultierte die Aufgabenstellung, die Wertschöpfung den jeweiligen Standorten optimal zuzuordnen.

Zur Anwendung der Optimierungsmodelle wurden gemäß dem in Kapitel 8.2 erläuterten Vorgehen im ersten Schritt die Daten erhoben.

9.1.1. Datenaufnahme

Phase I: Abbildung des Produktionsnetzwerks und seiner Wertschöpfungsverteilung

Für die **Identifikation von Wertschöpfungsstufen (1)** wurde das in Kapitel 8.2.1 beschriebene Vorgehen eingesetzt.

Die *Produktanalyse* erfolgte auf Basis der umsatzstarken Produkte, die 80 % des Umsatzes ausmachen. Dabei ergab sich eine Einteilung der Produkte in fünf Produktfamilien sowie eine zu vernachlässigende Familie an Durchlaufteilen, die zugekauft und direkt weiterverkauft werden. Einen Sonderfall stellte die mit knapp 70 % umsatzstärkste Familie der Schaltknäufe und -abdeckungen dar. Diese wurde anhand von Merkmalen weiter unterteilt. Produkte mit denselben Merkmalen durchliefen dieselbe Prozesskette. Aus den restlichen Produktfamilien konnte jeweils ein aus Prozesssicht repräsentatives Produkt ausgewählt werden.

Die *Kompetenzanalyse* basierte auf den vom Unternehmen definierten Kernkompetenzen *Kunststoffspritzgießen* sowie die *Polyurethan-Schaumtechnik*. Des Weiteren werden Schaltsäcke aus Kunstleder oder Leder *vormontiert* und bei verschiedenen Komponenten *Belederungen*

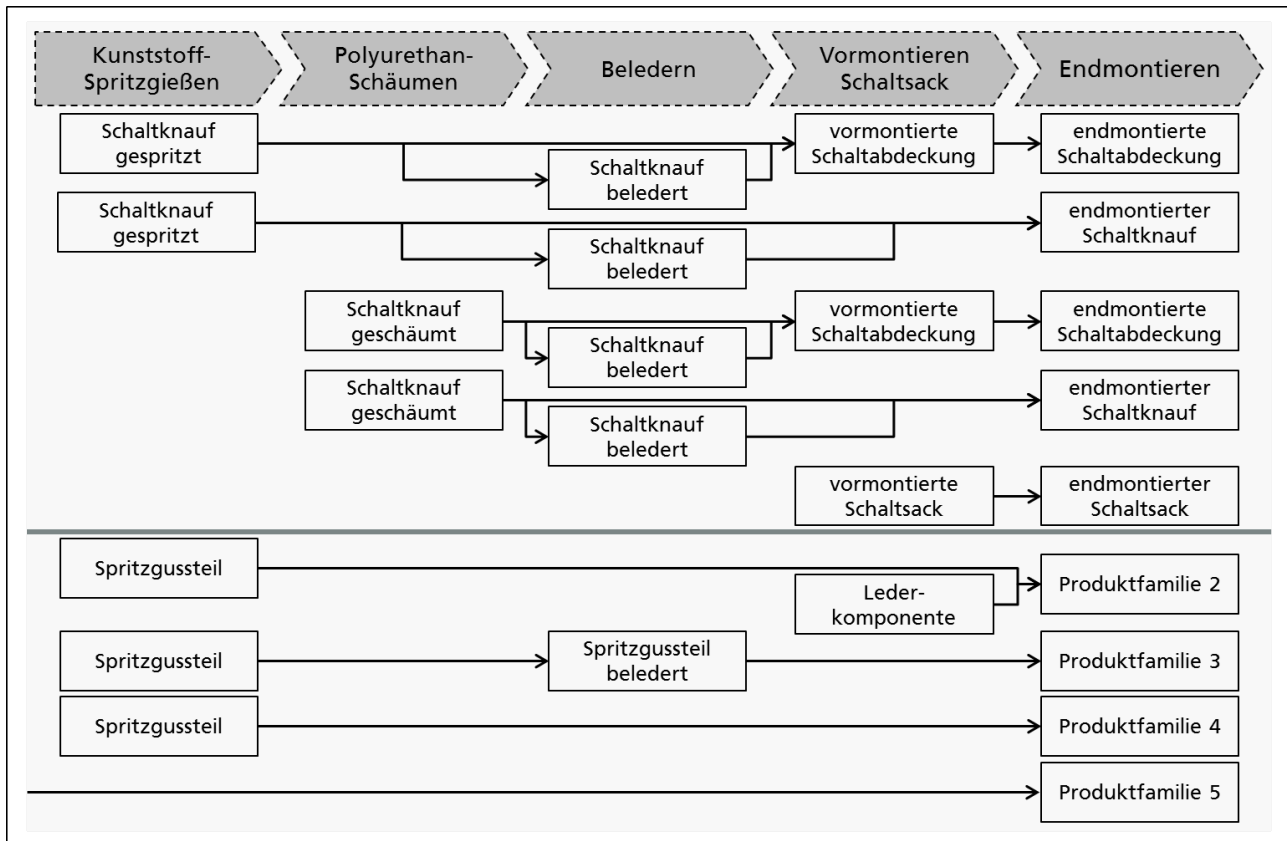


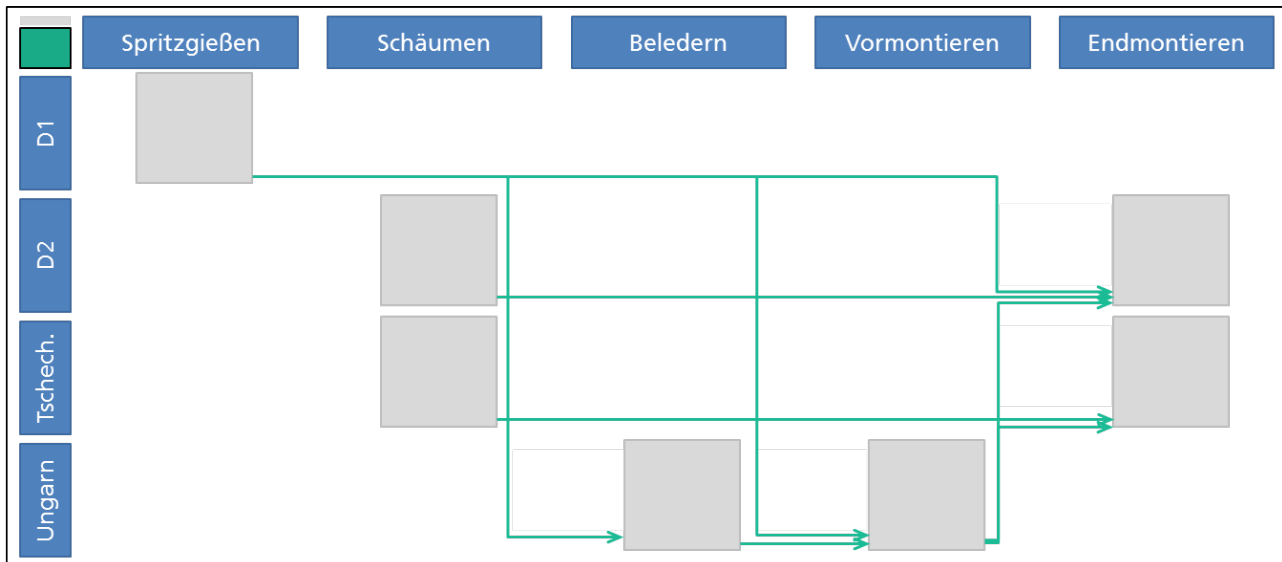
Abbildung 9.2.: Prozessbild zur Identifikation von Wertschöpfungsstufen – Fallbeispiel Automobilindustrie

durchgeführt. Veredelungsprozesse wie Verchromen oder Lackieren werden extern vergeben. Komplettiert werden diese Kernkompetenzen mit der *Endmontage* verkaufsfähiger Produkte.

Auf den Ergebnissen der Produkt- und Kompetenzanalyse aufbauend, ergab die *Prozessanalyse* für die Produktfamilie der Schaltknäufe und -abdeckungen das in Abbildung 9.2 in der oberen Hälfte skizzierte Prozessbild. Die Prozesse der anderen Produktfamilien waren über dieselbe Struktur abbildbar (vgl. untere Hälfte der Abbildung 9.2). Eine Aggregation der Kompetenzen hätte zu einem Verlust wesentlicher Informationen geführt, so dass die fünf Wertschöpfungsstufen *Spritzgießen*, *Schäumen*, *Beledern*, *Vormontieren* und *Endmontieren* definiert wurden.

Die **Aufnahme von Produktionsstandorten, aktuellen Wertschöpfungs-Standort-Kombinationen und internen Interdependenzen (2+3)** führte durch die im Folgenden erläuterten Informationen zu dem in Abbildung 9.3 anhand der implementierten grafischen Oberfläche dargestellten Produktionsnetzwerk.

Die Wertschöpfung war zum Zeitpunkt des Projekts auf mehrere Standorte verteilt. Der Stammsitz des Automobilzulieferers befand sich in Deutschland. Dort wurde seit Gründung in zwei Werken produziert: in einem mit Spritzguss-; im anderen mit Schaumtechnik. Mehr als zehn Jahre später ergab sich die Übernahme eines Unternehmens in Ungarn, das auf Ledertä-



Abkürzungen: D: Deutschland; Tschech.: Tschechien

Abbildung 9.3.: Ist-Situation der Wertschöpfungsverteilung – Fallbeispiel Automobilindustrie

tigkeiten spezialisiert war. Das Produktportfolio wurde ausgebaut und der deutsche Standort für das Schäumen um die Endmontage erweitert. Etwa fünf Jahre darauf wurde ein Standort in Tschechien eröffnet, der einen Teil der Schäumarbeiten sowie der Endmontage übernahm. Die so gewachsene Netzwerkstruktur war Ausgangspunkt für diese Analyse.

Für die Optimierung dieser Wertschöpfungsstruktur wurde anhand des in Kapitel 8.2.1 beschriebenen Vorgehens festgelegt, die **Beschaffungs- und Absatzmärkte in folgender Aggregation (4)** zu berücksichtigen: Unabhängig von der Wertschöpfungsverteilung sind die aktuellen deutschen und osteuropäischen Lieferanten beizubehalten. Um gegebenenfalls in einer über diese Analyse hinausführenden Untersuchung einen möglichen Wechsel zu lokaler Beschaffung untersuchen zu können, wurde in die Beschaffungsmärkte West- und Osteuropa unterschieden. Ebenso sollte die Wertschöpfungsverteilung keinen Einfluss auf die Kunden haben. Aufgrund erwarteter Verschiebungen in den Absatzzahlen zu den jeweiligen OEMs wurde in die Absatzmärkte OEM1, OEM2, OEM3 und OEM4 unterschieden.

Die **Aufnahme und Strukturierung des Mengengerüsts (5)** nach Wertschöpfungsstufen zeigte, dass weniger als 15 % der Schäumarbeiten in Deutschland erfolgte. Bei der Endmontage ergab sich das umgekehrte Bild: Knapp 85 % der Montagetätigkeiten wurden am Standort in Deutschland durchgeführt. Die Absatzzahlen der Ist-Situation identifizierten einen OEM mit einer Abnahmemenge von mehr als 50 %. Die restlichen OEMs teilten sich die Mengen in etwa gleichmäßig auf. Interessant hierbei war, dass diese Verteilung nicht mit der Umsatzverteilung korrelierte. Des Weiteren konnten Transportmengen abgeleitet und die Angaben, wie viel von einer Wertschöpfungsstufe für die Produktion eines Stücks nachgelagerter Wertschöpfungsstufen benötigt wird, ermittelt werden. Da die Allokation von Beschaffungsmärkten nicht im Umfang der Fragestellung beinhaltet war, wurden alle Mengenangaben des Materials auf 1 gesetzt.

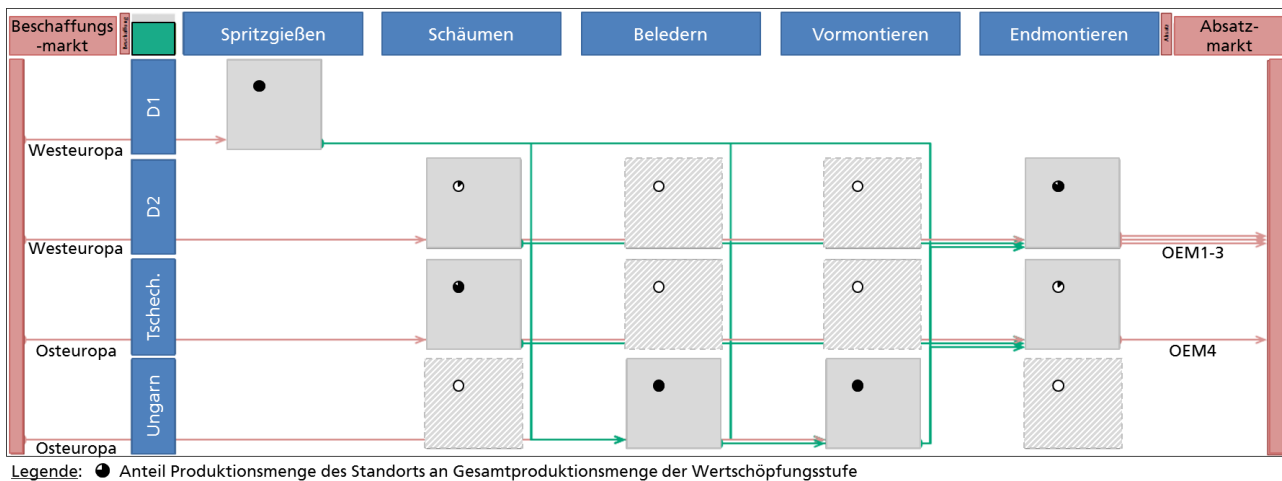


Abbildung 9.4.: Ergebnis der Datenaufnahme zur Abbildung des Produktionsnetzwerks und seiner Wertschöpfungsverteilung – Fallbeispiel Automobilindustrie

Die **Aufnahme zukünftiger potenzieller Wertschöpfungs-Standort-Kombinationen (6)** basierte auf folgendem Verständnis: Unternehmensseitig wurde vermutet, dass die parallele Durchführung der Wertschöpfungsstufen Schäumen und Endmontage an den beiden Standorten Deutschland und Tschechien keine wirtschaftliche Lösung darstellt. Optimierungspotenzial wurde aufgrund der Kosten in der vollständigen Verlagerung der Tätigkeiten nach Tschechien erwartet. In Folge stünde langfristig die Zusammenführung der Wertschöpfungskette durch die Verlagerung der Beledern sowie Vormontage an den Standort in Tschechien zur Diskussion. Dennoch wurden diese vermuteten Soll-Szenarien nicht explizit untersucht, sondern alle Kombinationen unvoreingenommen als Optimierungsmöglichkeit in Betracht gezogen. Ausgenommen war lediglich das Spritzgießen. Diese Kernkompetenz sollte am Standort in Deutschland erhalten und weiter ausgebaut werden, so dass dieser Standort dem Spritzgießen vorbehalten war und für keine weiteren Wertschöpfungsstufen zur Verfügung stand.

Als Ergebnis der Datenaufnahme zur Abbildung des Produktionsnetzwerks und dessen Wertschöpfungsverteilung ergab sich die in Abbildung 9.4 dargestellte Struktur.

Phase II: Aufnahme von Gestaltungskriterien der Wertschöpfungsverteilung

In die Datenaufnahme der Gestaltungskriterien wurde mit **Aufnahme der Kosten (7)** eingestiegen. Hierauf lag im Gegensatz zur Aufnahme qualitativer Kriterien der Fokus des anwendenden Unternehmens, so dass ein vergleichsweise hoher Detaillierungsgrad gewählt wurde.

Als *relevante Kostenarten* wurden daher die in Tabelle 9.1 aufgeführten Kosten identifiziert. Gemäß den Grundregeln konnte der größte Anteil als variable Kosten berücksichtigt werden, wobei einige Kostenarten aus dem Objekt Wertschöpfungs-Standort-Kombination sprungfixe Anteile besitzen. Als Fixkosten wurden alle entsprechenden Kostenarten des Objekts Wertschöpfungs-Standort-Kombination mit einbezogen.

	Theoretisches Kostenmodell	Kostenmodell			
		Fallbeispiel Automobilzulieferer			
		Kostenart	fix	spr. fix	var
Wertschöpfungs-Standort-Kombination	Produktionskosten	Maschinenkosten		x	x
		Personalkosten Produktion		x	
		Qualitätskosten		x	x
	Entsorgungskosten	Entsorgungskosten			x
	Interne Logistikkosten	Interne Logistikkosten für Equipment		x	x
		Personalkosten Lager/Versand		x	
	Forschungs- und Entwicklungskosten	Entwicklungskosten für Equipment	x		
		Personalkosten FuE	x		
Personalwirtschaftskosten	Personalkosten der Personalabteilung	x			
Organisations- und Controllingkosten	Personalkosten FIBU	x			
Infrastrukturkosten	Personalkosten EDV	x			
	Flächenkosten	x			
Interne Interdependenz	Logistikkosten	Transportkosten für Fahrzeuge und Energie			x
		Personalkosten Fuhrpark			x
	Forschungs- und Entwicklungskosten	-			
	Organisations- und Controllingkosten	-			
Interdependenz vom Beschaffungsmarkt	Beschaffungskosten	Materialkosten			x
		Personalkosten Einkauf			x
	Logistikkosten	<i>in Materialkosten enthalten</i>			x
	Forschungs- und Entwicklungskosten	-			
	Organisations- und Controllingkosten	-			
Interdependenz zum Absatzmarkt	Logistikkosten	Transportkosten			x
		Kundenverpackungskosten			x
	Marketing- und Vertriebskosten	Personalkosten Vertrieb			x
	Kundenservicekosten	-			
	Forschungs- und Entwicklungskosten	-			
	Organisations- und Controllingkosten	-			
Infrastrukturkosten	-				

Tabelle 9.1.: Kostenmodell – Fallbeispiel Automobilindustrie

Diese *Kosten* lagen für die *Ist-Situation* an den jeweiligen Standorten vor. Eine Zuordnung zu den jeweiligen Wertschöpfungsstufen der Standorte war systemseitig nicht möglich. Daher erfolgte sie über Interviews. Dabei konnte folgende Besonderheit aufgedeckt werden: Einer der Standorte in Deutschland übernahm Lager-, Entsorgungs- und Qualitätssicherungstätigkeiten für die ausländischen Standorte, deren Kosten alleinig dem Standort in Deutschland zugerechnet wurden. Um jede Wertschöpfungsstufe anhand desselben definierten Umfangs zu bewerten, wurden diese Kosten standortübergreifend auf die verursachenden Wertschöpfungsstufen verteilt.

Die Kostenaufnahme bestätigte die aktuelle Tendenz zur Verteilung der Wertschöpfungsstufen Schäumen und Endmontieren auf die Standorte Deutschland 2 und Tschechien. Die Stückkosten für das Schäumen machten in Tschechien weniger als ein Viertel dieser Kosten in Deutschland aus. Dahingegen war die Endmontage eines Stücks in Deutschland um fast die Hälfte günstiger als in Tschechien.

Durch den Detaillierungsgrad der aufgenommenen Kosten war es möglich, von den vorhandenen Daten der Wertschöpfungsstufen und Standorte auf die *Kosten potenzieller Wertschöpfungs-Standort-Kombinationen und Interdependenzen* zu schließen.

Kriterienkategorie Objekttyp	Erfolgsposition	Risiko
Wertschöpfungs- Standort-Kombination	<ul style="list-style-type: none"> - Qualifikation - Qualität - Motivation - Produktivität - Flexibilität gegenüber Produktionsschwankungen 	<ul style="list-style-type: none"> - Fluktuation - Anlauf - Gesetzesänderung - Geheimhaltung - Flexibilität bei der Integration von neuen Technologien
Interne Interdependenz	<ul style="list-style-type: none"> - Sprachliche Verständigung 	<ul style="list-style-type: none"> - Integration ins Netzwerk
Verbindung vom Beschaffungsmarkt	<ul style="list-style-type: none"> - Nähe zu Maschinenbauer 	
Verbindung zum Absatzmarkt	<ul style="list-style-type: none"> - Nähe zum Absatzmarkt (Distanz) 	<ul style="list-style-type: none"> - Time-to-Market

Tabelle 9.2.: Relevante qualitative Kriterien – Fallbeispiel Automobilindustrie

Parallel zur Kostenaufnahme war die **Aufnahme der qualitativen Kriterien (8)** erfolgt. Vorgabe des anwendenden Unternehmens war es, mit möglichst wenig Aufwand eine grobe Orientierung im Bereich der qualitativen Kriterien zu erhalten. Hilfreich hierbei war, dass sich aus der detaillierten Aufnahme der Kosten insbesondere anhand der Interviews Hinweise auf qualitative Themen ergaben.

Als *relevante Kriterien* wurden daher basierend auf den Erfahrungen aus der Aufnahme der Kosten gemeinsam mit der Geschäftsführung die in Tabelle 9.2 aufgeführten Erfolgspositionen und Risiken festgelegt. Da analog zur Aufnahme der Kosten der Fokus auf dem unternehmensinternen Netzwerk lag, standen die Wertschöpfungs-Standort-Kriterien im Vordergrund. Daher wurden diese vermehrt eingesetzt und im Gegenzug die Anzahl der Kriterien der Interdependenzen reduziert. Insgesamt wurde die festgelegte Anzahl an maximal zu verwendenden Kriterien nicht überschritten.

Zur *Bewertung der qualitativen Kriterien* wurde von der in Kapitel 8.2.1 beschriebenen Vorgehensweise abgewichen. Die langjährigen Erfahrungen eines Mitarbeiters aus dem Controlling ermöglichten die Bewertung der qualitativen Kriterien anhand dessen Schätzung. In enger Abstimmung mit der Geschäftsführung erfolgte die finale Festlegung der Werte.

Für die **zukünftigen Entwicklungen (9)** wurde aufgrund von mangelnder Belastbarkeit weiter in der Zukunft liegender Daten ein *Betrachtungshorizont* von drei Jahren festgelegt, der bereits bei der Abschätzung der qualitativen Kriterien berücksichtigt worden war. Die *Aufnahme zukünftiger Kosten und Mengen* erfolgte ebenfalls durch Vertreter aus dem Bereich Controlling mithilfe von geschätzten prozentualen Anstiegen oder Senkungen.

Ein Ergebnis der Datenaufnahme für Gestaltungskriterien der Wertschöpfungsverteilung ist in Abbildung 9.5 in Form der bewerteten Wertschöpfungsverteilung der Ausgangssituation visualisiert.

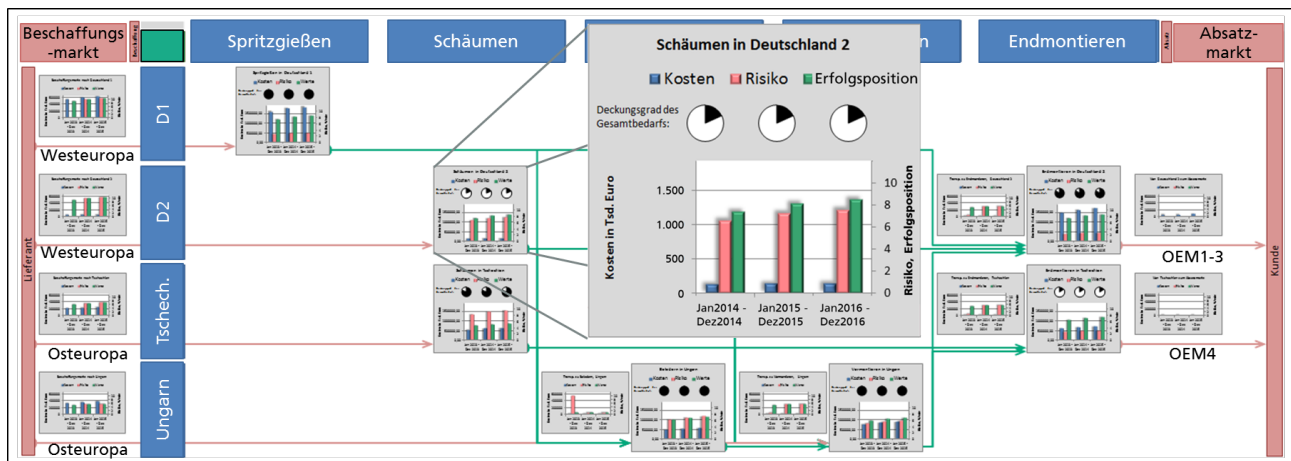


Abbildung 9.5.: Ergebnis der Datenaufnahme von Gestaltungskriterien für die Ausgangssituation – Fallbeispiel Automobilindustrie

Phase III: Datenaufnahme für die Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien

Des Weiteren waren **Rahmenbedingungen (10)** für die Optimierung in Form von Kapazitäten und Flexibilität aufzunehmen. Begrenzte Erweiterungsmöglichkeiten von *Kapazitäten* bestanden ausschließlich an den Standorten in Deutschland. Da dort keine erheblichen Kapazitätswachse erwartet wurden, sollten im ersten Optimierungslauf die Kapazitäten als unbegrenzt angenommen werden. Die *Flexibilität* wurde mit dem Standardwert von 5 % belegt. Innerhalb des Betrachtungshorizonts von drei Jahren war eine zusätzliche Neuausrichtung von Kapazitäten, die den Flexibilitätskorridor von 5 % überschreitet, denkbar.

Die **Gewichtung der Kriterien (11)** wurde anhand der Unternehmensstrategie ausgelegt: In der Automobilzulieferindustrie herrscht ein enormer Kostendruck, so dass die Strategie des anwendenden Unternehmens maßgeblich durch die Kosten beherrscht wurde. Dennoch musste die Lieferfähigkeit sichergestellt und somit Risiken eliminiert werden. Proaktive Nachhaltigkeit stand daher erst an dritter Stelle. Daraus ergab sich eine Gewichtung von Kosten zu Erfolgsposition zu Risiken von 3:1:2.

Phase IV: Konzeption von Sensitivitätsanalysen

Als **zu untersuchender unsicherer Datensatz (12)** wurden ausschließlich die zukünftigen Entwicklungen identifiziert. Die Kosten der potenziellen Netzwerkobjekte konnten anhand der vorliegenden Daten eindeutig kalkuliert werden, ohne dass Abschätzungen durchgeführt werden mussten. Die qualitativen Kriterien wurden als Orientierungshilfe gesehen, so dass kein weiterer Aufwand in deren Detaillierung gesteckt werden sollte. Die Gewichtung war durch die Strategie des Unternehmens über die Geschäftsführung vorgegeben. Ebenso ergab sich in den Kapazitäten und bei der Flexibilität kein ausschlaggebender Spielraum.

Damit war die **Konzeption von Eingabeszenarien (13)** zur Prüfung der Sensitivität der Lösung ausschließlich für die zukünftigen Entwicklungen erforderlich. Gemäß dem Vorgehen aus Kapitel 8.2.1 wurden ein Best- und ein Worst-Case-Szenario berücksichtigt. Als Best-Case-Szenario wurden die günstigsten Entwicklungen hinsichtlich Gesamtkosten, Gesamterfolgspositionen und Gesamtrisiken definiert. Im Worst-Case-Szenario wurden die negativen Entwicklungen dieser Werte angenommen. Die Datenaufnahme erfolgte eigenständig durch das Controlling, das die entsprechenden Entwicklungen abschätzte und als Gesamtwerte aggregierte.

Im weiteren Vorgehen wurde zunächst das realistische Szenario herangezogen.

9.1.2. Optimierung

Das **Aufbereiten der Daten für die Optimierung (1-3)** konnte gemäß den in Kapitel 8.2.2 beschriebenen Methoden erfolgen und ermöglichte die **Durchführung der Optimierungsläufe (4-7)** anhand der entwickelten Optimierungsmodelle.

Dabei führte die Parametrisierung des Modells zur **Minimierung der Kosten (4)** mit den innerhalb des realistischen Szenarios aufgenommenen Daten zu etwa 4.000 Variablen, 6.500 Restriktionen und 14.500 Nicht-Null-Koeffizienten. Die Lösung des instanziierten Modells erfolgte innerhalb weniger Sekunden und ergab als Optimallösung die vom Unternehmen erwartete Stärkung des tschechischen Standorts. Dort sollte das Schäumen im vollständigen Umfang stattfinden. Ebenso konnten durch eine Verlagerung der Wertschöpfungsstufen Beledern und Vormontage von Ungarn nach Tschechien leichte Kostenpotenziale ausgewiesen werden. Die Endmontage hingegen erwies sich am Standort in Ungarn als am kostengünstigsten. Das Spritzgießen blieb wie vorgegeben am Standort in Deutschland erhalten.

Sowohl das Modell zur **Maximierung der Erfolgspositionen (5)** als auch das zur **Minimierung der Risiken (6)** konnte jeweils binnen weniger Sekunden bis zum Optimum gelöst werden. Die Größe des Risikomodells entsprach der des Kostenmodells. Das Modell zur Maximierung benötigt zusätzliche Nebenbedingungen und enthält daher etwa 8.200 Restriktionen und 18.000 Nicht-Null-Koeffizienten. Im Ergebnis beider Modelle sollten die Wertschöpfungsstufen Schäumen, Beledern und Vormontage am Standort in Ungarn stattfinden. Dies ist vor allem auf die Verfügbarkeit von gut qualifizierten Mitarbeitern zurückzuführen, auf die am abgelegenen Standort in Tschechien nicht zurückgegriffen werden kann. Daraus ergeben sich weitere Vorteile in der Qualität, Produktivität und Flexibilität. Bei der Endmontage sprechen die qualitativen Kriterien für den Standort Deutschland. Hier sind es v. a. die Kriterien Time-to-Market und Nähe zum Absatzmarkt, die zu Buche schlagen.

Bei der **multikriteriellen Optimierung (7)** kamen neben den ca. 4.000 Variablen und 8.200 Restriktionen etwa 25.000 Nicht-Null-Koeffizienten zum Einsatz. Wiederum war innerhalb weniger Sekunden das Auffinden der Optimallösung des instanziierten Modells möglich, die zu dem im Folgenden beschriebenen und in Abbildung 9.6 **aufbereiteten Ergebnis (8-9)** führte.

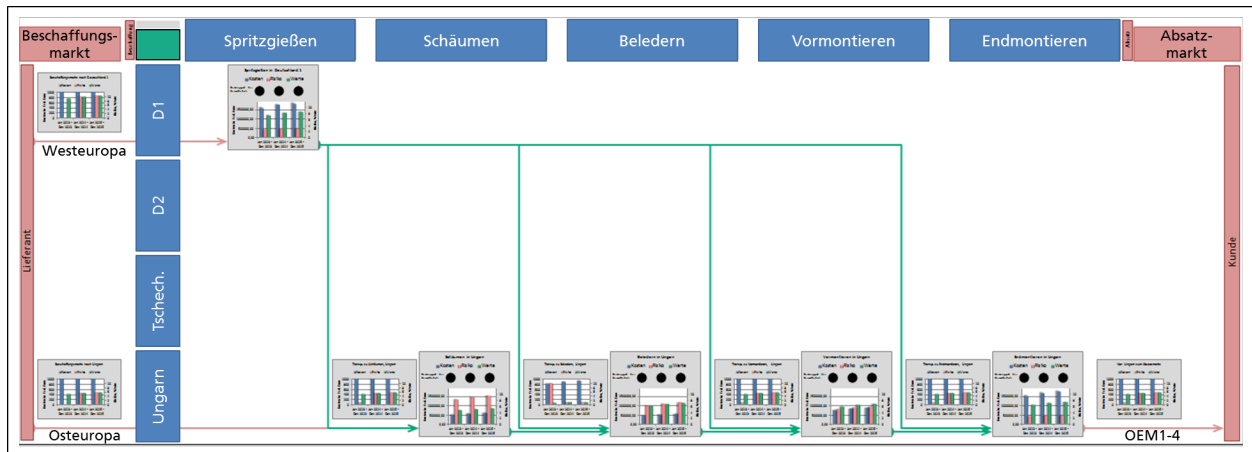


Abbildung 9.6.: Optimale Wertschöpfungsverteilung – Fallbeispiel Automobilindustrie

Beim Schäumen, Beledern und der Vormontage setzte sich der ungarische Standort durch. Dort waren die Kostenunterschiede in Relation zu den gravierenden Abständen der qualitativen Kriterien gering. In der Endmontage hingegen siegten die Kostenpotenziale in Ungarn.

9.1.3. Entscheidungsfindung

Baustein I: Ermitteln der Investitionskosten

Hinsichtlich der Investitionskosten war Folgendes bekannt: Die Flächen am Standort in Ungarn waren für die ermittelten Verlagerungen ausreichend. Die freiwerdenden Flächen in Deutschland und Tschechien sollten im Zuge einer Übernahme von anderen Sparten genutzt werden. Die Ressourcen sollten beibehalten und umgezogen werden. Daher wurden die Investitionskosten in Form von Umzugskosten ermittelt. Diese wiesen keinen von der Geschäftsführung unerwarteten signifikanten Wert auf. Daher war aus dieser Sichtweise das ermittelte Szenario akzeptiert.

Baustein II: Durchführen von Sensitivitätsanalysen

Innerhalb der Sensitivitätsanalysen konnte sowohl das Best-Case- als auch das Worst-Case-Szenario analog zum Szenario der realistischen Abschätzungen durch die verschiedenen Optimierungsläufe mit ähnlichen Rechenzeiten gelöst werden. Die Ergebnisse bestätigten jeweils die Verlagerungstendenz nach Ungarn.

Entscheidungsfindung

Da bereits Verlagerungen mit vorgesehenem Budget geplant waren und das Unternehmen dem zur Verfügung stehenden Datenmaterial ausreichende Qualität zusprach, wurde die Stärkung des Standorts in Ungarn und das Umfunktionieren des Standorts in Tschechien beschlossen. Die Umsetzung erfolgte zeitnah, so dass aktuell in den neuen Strukturen erfolgreich produziert wird.

9.2. Fallbeispiel aus dem Maschinenbau

Um die Nutzbarkeit der Optimierungsmodelle für die gesamte Anwendungsdimension der diskreten Fertigung zu zeigen, wurde ein zweites Fallbeispiel ausgewählt.

Hierbei handelt es sich um ein familiengeführtes Unternehmen, das Produkte und Systemlösungen für die Heizindustrie entwickelt, produziert und vertreibt. Das Produktportfolio reicht von Ventilen, Prüfsystemen für Ventile, Druckregelgeräte über Stellgeräte zur Mehrfachverwendung bis zu Brennermanagementsystemen, Feuerungsautomaten, Gasdruckregelstationen und Gasregelstraßen. Damit kann das Unternehmen gemäß der Klassifikation der Wirtschaftszweige des statistischen Bundesamts Wiesbaden (2008, S. 291-297) als Hersteller von nicht wirtschaftszweigspezifischen Maschinen wie hydraulischen oder pneumatischen Komponenten und Systemen oder von Brennern der Branche des Maschinenbaus zugeordnet werden. Zudem fällt das Unternehmen als Produzent von Mess- und Kontrollinstrumenten für z. B. Heizungen in den Wirtschaftszweig Datenverarbeitungsgeräte, elektronische und optische Erzeugnisse (vgl. Statistisches Bundesamt Wiesbaden (2008, S. 276)). Somit weist das Portfolio im Gegensatz zum ersten Fallbeispiel eine große Produktvielfalt auf. Dahingegen ist die Größe des Unternehmens mit rund 600 Mitarbeitern ähnlich wie in Fallbeispiel 1. Der jährliche Umsatz beträgt mehr als 100 Millionen Euro.

Das Unternehmen stand für die Produktfamilie *Magnetventile* vor der Fragestellung, welche Wertschöpfungsprozesse am Stammsitz in Deutschland und welche am erst seit einigen Jahren bestehenden Produktionsstandort in Asien stattfinden sollten. Damit lag der Fokus der Anwendung auf lediglich einem Ausschnitt des Produktionsnetzwerks, was einen höheren Detaillierungsgrad zur Folge hatte. Die Herstellung dieses Ventils fällt in den Bereich des Maschinenbaus und erfolgte, wie bereits in Abbildung 9.1 dargestellt, in einer für diese Branche eher untypischen Sortenfertigung für den anonymen Markt. Dies ermöglichte den Einsatz einer Fließfertigung mit einem vergleichsweise hohen Automatisierungsgrad. Somit ergab sich eine arbeits- und kapitalintensive Produktion.

Das Unternehmen hatte bereits verschiedene Szenarien für die Verteilung der Wertschöpfung im Netzwerk entwickelt, die untersucht werden sollten. Bemerkenswert dabei ist, dass sich die Prozessabläufe zur Herstellung eines Magnetventils an den beiden Standorten unterscheiden. Somit enthielt diese Anwendung mehrere Besonderheiten, die weit über den Standardfall hinausgingen. Ein weiterer Grund, warum die Anwendung als zweites Fallbeispiel ausgewählt wurde.

Um die Optimierungsmodelle einsetzen zu können, erfolgte im ersten Schritt die im Folgenden erläuterte Datenaufnahme.

9.2.1. Datenaufnahme

Phase I: Abbildung des Produktionsnetzwerks und seiner Wertschöpfungsverteilung

Zur Einordnung der konkreten Fragestellung bzgl. des Magnetventils in den Gesamtzusammenhang wurde im ersten Schritt – basierend auf dem vollständigen Produktportfolio – das gesamte Produktionsnetzwerk des Unternehmens abgebildet. Hierzu wurde am deutschen Stammsitz, an dem ausschließlich Produkte und keine Systemlösungen hergestellt werden, das entwickelte Vorgehen zur **Identifikation von Wertschöpfungsstufen (1)** durchgeführt.

Dabei wurden innerhalb der *Produktanalyse* sieben Produktfamilien identifiziert und um die Systemfamilien Systeme und Gasregelstraßen der anderen Standorte ergänzt. Die *Kompetenzanalyse* am deutschen Standort ließ die Einteilung der Produktion in Teilefertigung, Vormontage und Endmontage erkennen. Innerhalb dieser konnten die aus den Prozessschritten der produktfamilien-spezifischen Montagelinie zusammengefassten Kompetenzen weiter aggregiert werden, so dass der in Abbildung 9.7 dargestellte *Prozessablauf* ersichtlich wurde.

Daraus ergaben sich die Wertschöpfungsstufen *Teilefertigung*, *Vormontage 1*, *Vormontage 2*, *Endmontage 1*, *Endmontage 2*, *Zusammenbau 1* und *Zusammenbau 2*, die an verschiedenen **Produktionsstandorten (2)** des Unternehmens durchgeführt werden.

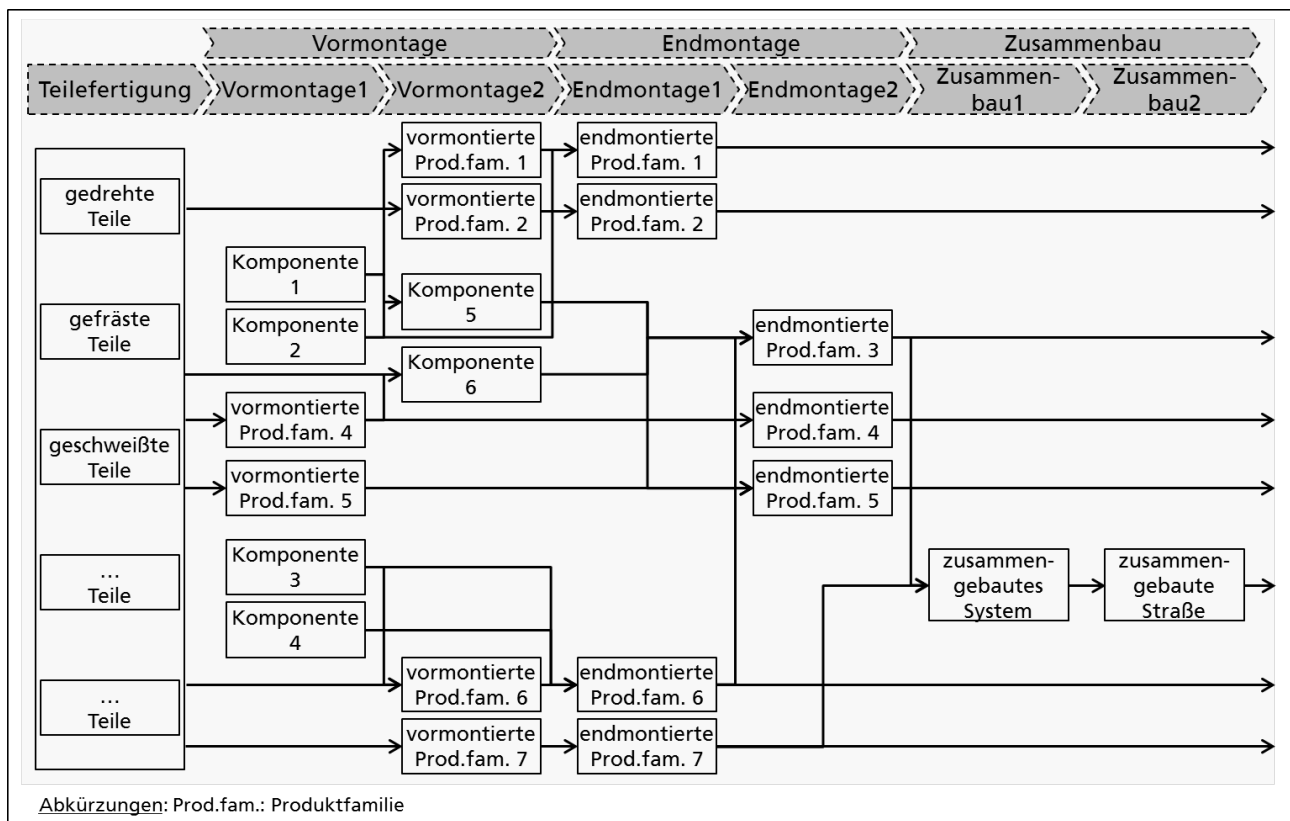
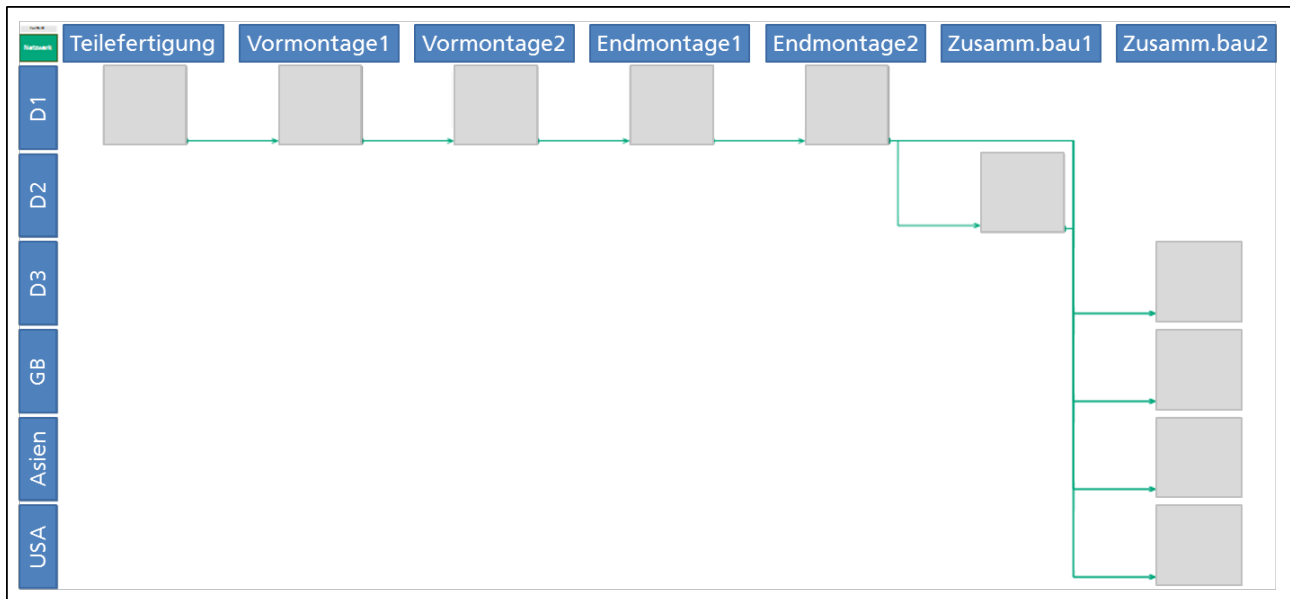


Abbildung 9.7.: Prozessbild zur Identifikation von Wertschöpfungsstufen – Fallbeispiel Maschinenbau



Abkürzungen: Zusamm.bau: Zusammenbau; D: Deutschland ; GB: Großbritannien

Abbildung 9.8.: Ist-Situation der Wertschöpfungsverteilung im Produktionsnetzwerk – Fallbeispiel Maschinenbau

Neben dem Firmensitz in Deutschland sind im Laufe des 50-jährigen Bestehens zwei weitere Produktionsstandorte in Deutschland sowie Produktionsstätten in Großbritannien, Asien und den USA hinzugekommen. Wie im ersten Fallbeispiel führten auch in diesem Unternehmen bei mehreren Fällen persönliche Beziehungen oder Erlebnisse des Firmenbesitzers zu gewissen Standortentscheidungen.

Die **Aufnahme der Wertschöpfungs-Standort-Kombinationen und Interdependenzen (3)** ist in Abbildung 9.8 visualisiert. Zum Zeitpunkt der Untersuchung wurden ausschließlich am Firmensitz in Deutschland Produkte hergestellt. Diese werden in die ganze Welt verkauft oder an die anderen Standorte für den Zusammenbau von Systemen oder Gasregelstraßen geliefert. Systeme werden wiederum ausschließlich an einem Standort in Deutschland hergestellt. Von dort werden alle Absatzmärkte sowie alle Standorte zur Herstellung von Gasregelstraßen beliefert. Damit dienen der dritte Standort in Deutschland sowie alle ausländischen Standorte ausschließlich dem Zusammenbau von Gasregelstraßen. Jeder dieser Standorte bedient seinen zugehörigen Absatzmarkt.

Zur Beantwortung der auf die Produktfamilie Magnetventile fokussierten Fragestellung musste insbesondere aufgrund der Besonderheit der standortspezifischen Prozessabläufe die Abbildung 9.8 des Produktionsnetzwerks und seiner Wertschöpfungsverteilung detailliert werden. Hierzu wurde, aufbauend auf den erzielten Ergebnissen der Prozessanalyse und des ganzheitlichen Produktionsnetzwerks, anhand derselben Vorgehensweise die Wertschöpfungsverteilung der Produktfamilie Magnetventile abgebildet.

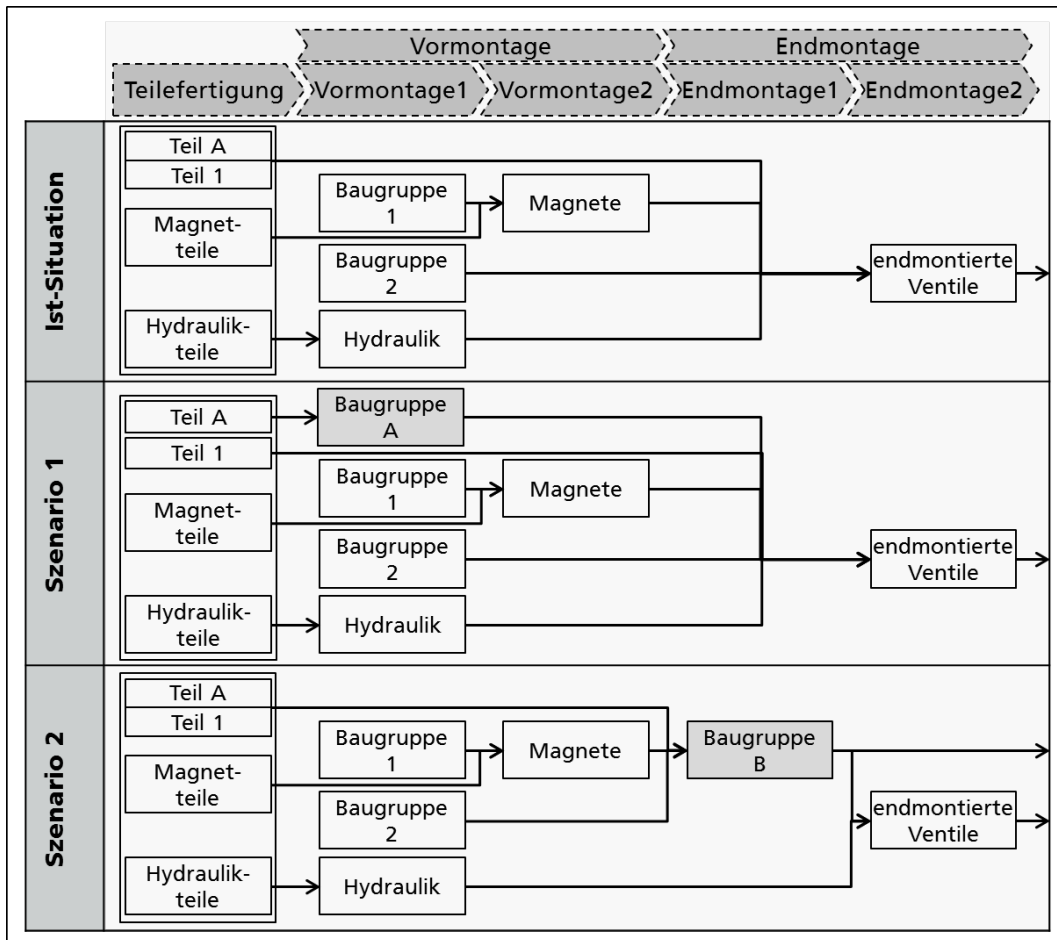


Abbildung 9.9.: Prozessbilder *Magnetventile* der vom Unternehmen vorgegebenen Szenarien zur Identifikation von Wertschöpfungsstufen – Fallbeispiel Maschinenbau

Abbildung der Wertschöpfungsverteilung der Produktfamilie Magnetventile im Produktionsnetzwerk

Die *Prozessanalyse* des Magnetventils ergab den in Abbildung 9.9 oben dargestellten Prozessablauf. Im Gegensatz zum Fallbeispiel aus der Automobilindustrie hatte das anwendende Unternehmen Szenarien entwickelt, die Änderungen im Prozessablauf enthielten. Daher ergab sich der Sonderfall von zwei weiteren alternativen Prozessabläufen. Diese sind in Abbildung 9.9 unterhalb des aktuellen Prozesses dargestellt. Zum einen bestand die Möglichkeit, aus der Endmontage des Magnetventils eine Vormontage einer Baugruppe A herauszulösen, die an einem anderen Standort als die Endmontage stattfinden könnte. Zum anderen war es möglich, eine Baugruppe B losgelöst von der Endmontage vorzumontieren, so dass diese unabhängig von der Endmontage verlagert werden könnte.

Um bei der Wertschöpfungsverteilung alle Eventualitäten berücksichtigen zu können, wurden die **Wertschöpfungsstufen (1)** *Teilefertigung, Vormontage 1 Baugruppe A, Vormontage 1 Baugruppe 1, Vormontage 1 Baugruppe 2, Vormontage 1 Hydraulik, Vormontage 2 Magnete, Endmontage 1 Baugruppe B, Endmontage 2 Magnetventil* definiert.

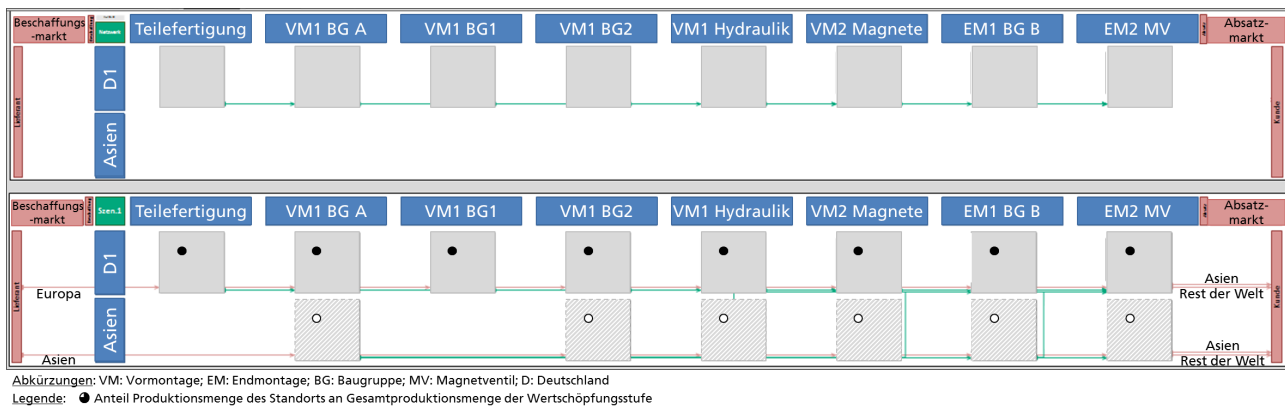


Abbildung 9.10.: Ist-Situation und Ergebnis der Datenaufnahme zur Abbildung der Wertschöpfungsverteilung Magnetventile – Fallbeispiel Maschinenbau

Diese Wertschöpfung fand in der aktuellen Situation wie in Abbildung 9.10 oben skizziert ausschließlich **am Stammsitz in Deutschland (2+3)** statt.

Innerhalb der entwickelten Szenarien waren verschiedene Möglichkeiten an **potenziellen Netzwerkobjekten (6)** diskutiert worden, um einen Teil der Wertschöpfung an den Standort nach Asien zu verlagern (vgl. Abbildung 9.10 unten). Das erste Szenario hatte die Verlagerung ausschließlich einer bestimmten Anzahl an Baugruppen A nach Asien zum Inhalt; die restliche Wertschöpfung sollte in Deutschland bestehen bleiben. Dabei sollten die entsprechenden Teile A der Teilefertigung für die Herstellung der Baugruppe in Asien vor Ort zugekauft und nicht vom deutschen Standort aus transportiert werden. Im zweiten Szenario sollte ein Teil der Baugruppe B in Asien hergestellt werden. Für diese sollten die Magnete und Baugruppe 2 ebenfalls in Asien vormontiert und die restlichen Komponenten wie Baugruppe 1 und Teile der Teilefertigung direkt vom asiatischen Markt zugekauft werden. Das dritte Szenario sieht die Untersuchung einer parallelen Produktion in Asien vor, die Magnete, Hydraulik und Baugruppe 2 vormontiert, die Magnetventile endmontiert und die Baugruppe 1 und alle Teile aus der Teilefertigung zukaufft.

Um das Outsourcing verschiedener Teile der Teilefertigung untersuchen zu können, wurde für die Optimierung die Teilefertigung in die Wertschöpfungsstufen *Teilefertigung Teil A*, *Teilefertigung Teil 1*, *Teilefertigung Magnetteile* und *Teilefertigung Hydraulikteile* detailliert. Zur grafischen Darstellung konnte die bisherige Struktur beibehalten werden.

Zur Analyse dieser Szenarien musste in die **Beschaffungsmärkte (4)** *Asien* und *Europa* unterschieden werden. Als **Absatzmärkte (4)** wurden *Asien* und *Rest der Welt* definiert.

Die **Aufnahme des Mengengerüsts (5)** erfolgte über die im aktuellen Geschäftsjahr erwarteten Produktionsmengen der Endprodukte und die zugehörigen erwarteten Absatzmengen in die jeweiligen Absatzmärkte sowie die aus den vorliegenden Stücklisten ermittelten Mengenangaben, wie viel von einer Wertschöpfungsstufe für die Produktion eines Stücks nachgelagerter

Wertschöpfungsstufen benötigt wird. Daraus errechneten sich die Produktionsmengen je Wertschöpfungsstufe.

Die Festlegung der Mengenangaben des Materials erfolgte mit dem Ziel, durch eine aggregierte Betrachtung aller Zukaufteile einer Wertschöpfungsstufe den Aufwand für die nachfolgende Datenbeschaffung gering zu halten. Daher betrug die Mengenangabe grundsätzlich 1. Ausnahme stellten die Mengenangaben der zum Outsourcing zur Diskussion stehenden Wertschöpfungsstufen dar. Innerhalb dieses Sonderfalls mussten die Daten der Beschaffung in Asien mit den Daten der Produktion und Beschaffung in Deutschland verglichen werden. Dies wurde ermöglicht, indem die Daten jeweils als Wertschöpfungsdaten betrachtet und die Beschaffung mit 0 bewertet wurde. Daher ergab sich für diese Mengenangaben des Materials ein Wert von 0.

Das Ergebnis der Datenaufnahme zur Abbildung des Produktionsnetzwerks und dessen Wertschöpfungsverteilung ist in Abbildung 9.10 unten dargestellt.

Phase II: Aufnahme von Gestaltungskriterien der Wertschöpfungsverteilung

Analog zu Fallbeispiel 1 wurde in die Datenaufnahme mit **Aufnahme der Kosten (7)** eingestiegen.

Da das Unternehmen neue Erkenntnisse vor allem durch die Berücksichtigung qualitativer Kriterien erwartete, wurde bei der Aufnahme der *Kosten* ausschließlich das Mindestmaß als *relevant* angesehen. Dieses umfasste den geforderten Mindestumfang der Produktions- und Logistikkosten. Da die vom Unternehmen vorgegebenen Szenarien Veränderungen in den Beschaffungsmärkten aufwiesen, waren zudem die Beschaffungskosten relevant. Da die Existenz der Standorte sowie die Anzahl der benötigten Ressourcen unabhängig von der Entscheidung über die Wertschöpfungsverteilung war, wurde in allen Bereichen ausschließlich mit variablen Kosten gearbeitet.

Grundsätzlich war das Unternehmen bestrebt, die *Ist-Kosten* in der geforderten Datenstruktur aus der vorhandenen Struktur ihres Systems erzeugen zu können. Dies gelang für alle Kosten der Ist-Situation mit Ausnahme der Logistikkosten in den Absatzmarkt. Diese konnten allerdings aus den Logistikkosten der internen Interdependenzen hergeleitet werden.

Im Weiteren wurde die *Aufnahme der Kosten für potenzielle Netzwerkobjekte* fortgeführt. Da das Unternehmen ihre vorgedachten Szenarien bereits konkretisiert hatte, waren Kalkulationen für die Herstellung von Komponenten in Asien sowie für die Prozessveränderungen am deutschen Standort in Form von neuen Komponenten oder veränderter Herstellung bereits existierender Komponenten im System vorhanden.

Damit konnte die Aufnahme der Kosten finalisiert werden. Daraus geht hervor, dass sowohl die Vormontage der Baugruppe A als auch der Hydraulik am Standort in Deutschland deutlich günstiger ist als in Asien. Dagegen sind die Magnete in Asien kostengünstiger vorzumontieren.

Kriterienkategorie Objekttyp	Erfolgspositionen	Risiken
Wertschöpfungs- Standort-Kombination	<ul style="list-style-type: none"> - Qualität (4) - Qualifikation und Verfügbarkeit von Arbeitskräften (3) - Standards / Methoden am Standort (3) 	<ul style="list-style-type: none"> - Betreuungsaufwand (4) - Fluktuation Arbeitskräfte (0) - Aufwand für das Änderungsmanagement (3)
Interne Transportverbindung	<ul style="list-style-type: none"> - Kommunikation (5) - Bürokratie (1) - Aufwand des Netzwerkaufbaus (2) 	<ul style="list-style-type: none"> - Planungssicherheit (0)
Verbindung vom Beschaffungsmarkt	<ul style="list-style-type: none"> - Qualität (5) - Qualifikation der Mitarbeiter (0) 	<ul style="list-style-type: none"> - Ausfall / Verzögerung bei der Beschaffung (3) - Flexibilität (4)
Verbindung zum Absatzmarkt	<ul style="list-style-type: none"> - Nähe zum Absatzmarkt (2) - Gesetzliche Vorschriften 	<ul style="list-style-type: none"> - Änderung gesetzlicher Vorschriften - Know-how Verlust / Produktpiraterie (1)

Legende: (x): Anzahl an erhaltenen Bewertungspunkten zur Gewichtung der Kriterien

Tabelle 9.3.: Identifikation relevanter qualitativer Kriterien – Fallbeispiel Maschinenbau

Die restlichen Wertschöpfungsstufen verhalten sich aus Kostensicht ähnlich mit einem minimalen Kostenvorteil bei Asien.

Parallel zur Kostenaufnahme erfolgte die **Aufnahme der qualitativen Kriterien (8)**.

Die Identifikation *relevanter Kriterien* erfolgte durch eine Vorauswahl auf 18 Kriterien, die innerhalb eines Workshops mit Vertretern aus Geschäftsführung, Produktionslogistik, Logistik, Controlling sowie Industrial Engineering ergänzt bzw. reduziert und gewichtet werden konnte (vgl. Tabelle 9.3).

Zur *Bewertung der qualitativen Kriterien* waren Steckbriefe erarbeitet und hierfür neben der Sammlung von Indizes und Kennzahlen Interviews mit Vertretern aus den Bereichen Personal, Qualität sowie Forschung und Entwicklung geführt worden. Während der Vorstellung der Steckbriefe erfolgten die individuellen Bewertungen durch die Workshop-Teilnehmer anhand vorbereiteter Formulare. Dabei wurden alle dem Unternehmen zugehörigen Standorte bewertet, was über die konkrete Fragestellung hinausging. Die individuellen Bewertungen wurden zu einem Gesamtbild zusammengeführt. Bei einem Großteil der Bewertungen gab es kaum Abweichungen, so dass hier schnell ein Konsens erzielt wurde. Einige der Bewertungen wurden ausführlich diskutiert und die verschiedenen Auffassungen und Erfahrungen in einer für alle zufriedenstellenden Bewertung zusammengeführt.

Die **zukünftigen Entwicklungen (9)** waren bei Datenaufnahme für die Firma zunächst nicht von Interesse. Dennoch wurden im Software-Tool zur Datenaufnahme drei Perioden mit identischen Daten angelegt, so dass hier schnell und einfach Daten nachträglich eingetragen werden können (vgl. Abbildung 9.11).

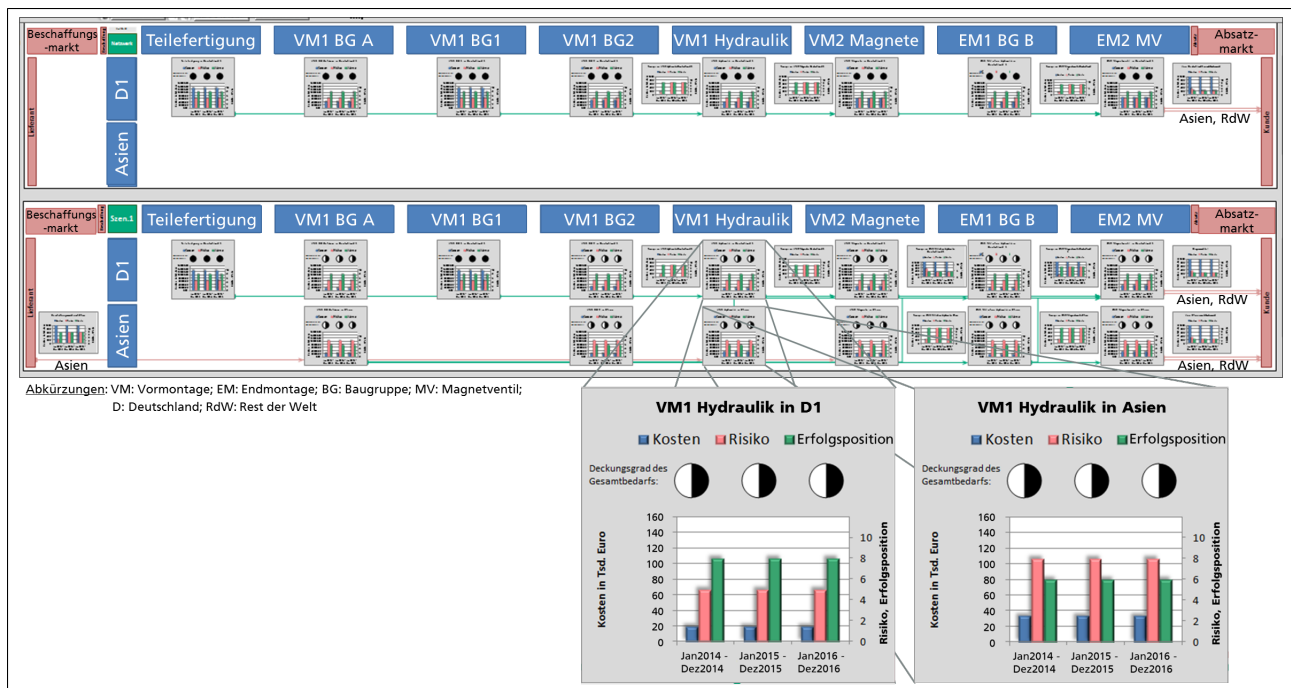


Abbildung 9.11.: Ergebnis der Datenaufnahme – Fallbeispiel Maschinenbau

Das Ergebnis der Datenaufnahme für Gestaltungskriterien der Wertschöpfungsverteilung ist in Abbildung 9.11 visualisiert. Im oberen Teil sind die Daten der aktuellen Wertschöpfungsverteilung, im unteren die aller aktuellen und potenziellen Netzwerkobjekte einsehbar. Zweiteres ist über eine fiktive Wertschöpfungsverteilung mit gleichverteilten Stückzahlen möglich.

Phase III: Datenaufnahme für die Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien

Für die Optimierung wurden des Weiteren **Rahmenbedingungen (10)** zur Berücksichtigung der Kapazitäten und der Flexibilität diskutiert.

Kapazitäten für die Herstellung des Magnetventils waren am Standort Deutschland aufgrund der Ist-Situation zur Genüge vorhanden. Für den Standort Asien bestand für die ausgewählten Wertschöpfungsstufen die Bereitschaft, ausreichend in Kapazitäten zu investieren. Des Weiteren war das Unternehmen offen gegenüber einer vollständigen Verlagerung der zur Diskussion stehenden Wertschöpfungsstufen. Daher wurden die Kapazitäten der potenziellen Wertschöpfungsstufen-Standort-Zuordnungen weder nach oben begrenzt noch Mindestflächen oder -stückzahlen vorgegeben. Ebenso wurde mit den existierenden Beschaffungsinterdependenzen vom Beschaffungsmarkt Europa zu den Wertschöpfungsstufen des Standorts Deutschland sowie vom Beschaffungsmarkt Asien zu den Wertschöpfungsstufen des Standorts Asien verfahren, da weder Kapazitätsbeschränkungen noch Mindestabnahmemengen bekannt waren.

Da keine zukünftigen Entwicklungen aufgenommen worden waren, spielte in der Folge das Thema *Flexibilität* keine Rolle. Daher wurden hierzu keine weiteren Daten aufgenommen.

Die **Festlegung der Gewichtung der Kriterien (11)** wurde hingegen als zentrales Thema angesehen. Da im Unternehmen keine Erfahrung mit der Verwendung und Bedeutung von qualitativen Kriterien vorhanden war, wurden Eingabeszenarien für verschiedene Unternehmensstrategien durchgespielt. Die konkreten Szenarien werden im Folgenden beschrieben.

Phase IV: Konzeption von Sensitivitätsanalysen

Bis auf die Gewichtung der Kriterien wurden keine weiteren **unsicheren Datensätze identifiziert (12)**. Die Kosten potenzieller Netzwerkobjekte waren durch professionelle Kalkulationen abgesichert. Die Bewertungen der qualitativen Kriterien basierten auf Erfahrungen des Unternehmens mit ähnlichen Produktionsanläufen am selben Standort in Asien. Zukünftige Entwicklungen wurden nicht berücksichtigt und Kapazitäten nicht begrenzt.

Die **Konzeption von Eingabeszenarien (13)** für die Gewichtung der Kriterien ergab als Ausgangsszenario eine gleichverteilte Gewichtung von 1:1:1 (Kosten : Erfolgspositionen : Risiken). Im Weiteren sollte die Gewichtung der Kosten solange um 1 erhöht werden, bis eine Veränderung in der Wertschöpfungsverteilung festgestellt werden kann. Dasselbe sollte mit der Gewichtung der Erfolgspositionen sowie der Gewichtung des Risikos durchgeführt werden.

Eine Besonderheit dieses Fallbeispiels stellen die bereits vordefinierten Szenarien dar, die jeweils einzeln untersucht werden sollten. Daher musste zusätzlich in folgende Datensätze unterschieden werden: In Szenario 1 war ausschließlich die Verlagerung der Vormontage Baugruppe A zu untersuchen. Szenario 2 diente der Prüfung einer Verlagerung des Prozesses bis zur Endmontage der Baugruppe B. Erst in Szenario 3 erfolgte die Analyse der parallelen Produktion. Innerhalb jedes Szenarios sollten die durch die Unsicherheit in der Gewichtung der Kriterien entstehenden Eingabeszenarien aufgesetzt werden.

Somit entstanden die in Tabelle 9.4 aufgeführten Datensätze.

Gewichtung (Kosten : Erfolgs- positionen : Risiken)	Gleichverteilt	Kosten- Fokus	Erfolgspositionen -Fokus	Risiko- Fokus
<u>Szenario 1 des UNs:</u> ausschließliche Optimierung der Vormontage BG A	1:1:1	2:1:1, 3:1:1, 4:1:1, ...	1:2:1, 1:3:1, 1:4:1, ...	1:1:2, 1:1:3, 1:1:4, ...
<u>Szenario 2 des UNs:</u> Optimierung der Endmontage 1 Baugruppe B	1:1:1	2:1:1, 3:1:1, 4:1:1, ...	1:2:1, 1:3:1, 1:4:1, ...	1:1:2, 1:1:3, 1:1:4, ...
<u>Szenario 3 des UNs:</u> Optimierung aller potenzieller Kombinationen	1:1:1	2:1:1, 3:1:1, 4:1:1, ...	1:2:1, 1:3:1, 1:4:1, ...	1:1:2, 1:1:3, 1:1:4, ...

Tabelle 9.4.: Datensätze der Sensitivitätsanalyse sowie der vom Unternehmen vorgegebenen Szenarien – Fallbeispiel Maschinenbau

9.2.2. Optimierung

Diese Datensätze hatten aufgrund des Sonderfalls der vom Unternehmen vordefinierten Szenarien bereits Auswirkungen auf das Vorgehen bei der Optimierung. Es ging nicht wie gewöhnlich ausschließlich darum, die Optimallösung des gesamten Systems unter der Annahme der realistischen Abschätzungen aufzufinden, sondern es sollte jedes vordefinierte Szenario hinsichtlich seines „realistischen“ Optimums mit der Kriteriengewichtung 1:1:1 untersucht werden. Daher musste im Gegensatz zum Fallbeispiel aus der Automobilindustrie der Schritt der Optimierung dreimal durchlaufen werden.

Phase I: Aufbereiten der Daten für die Optimierung

Als Einstieg in die Aufbereitung der Daten für die Optimierung diente Szenario 3, das die beiden anderen Szenarien mit einschließt.

Hierbei trat aufgrund der potenziellen Outsourcing-Umfänge im Bereich der Teilefertigung und der Vormontage der Baugruppe 1 eine weitere Besonderheit auf. Wie im Rahmen der Aufnahme des Mengengerüsts bereits erläutert, müssen bei den zum Outsourcing zur Diskussion stehenden Wertschöpfungsstufen die Daten der Beschaffung und Produktion in Deutschland mit den Daten der Beschaffung in Asien verglichen werden. Innerhalb der Optimierung gelingt dies ausschließlich, wenn die genannten Daten einer Wertschöpfungsstufe zugeordnet sind. Damit erfolgte die Modellierung der Wertschöpfungsstufe sowohl am Standort Deutschland, dem die Summe aus Produktions- und ausnahmsweise Beschaffungsdaten zugeordnet wurde, als auch am Standort Asien, der in diesem Sonderfall anhand der Beschaffungsdaten bewertet wurde.

Die weitere Aufbereitung der Daten verlief anhand der in Kapitel 8.2.2 vorgestellten Methoden: **Überführen grafischer Informationen (1)**, **Aggregieren von Daten (2)** sowie **Vervollständigen der Daten (3)**. Die Datensätze der vom Unternehmen vorgegebenen Szenarien 1 und 2 konnten durch Anpassungen der potenziellen Wertschöpfungs-Standort-Kombinationen aufwandsarm erzeugt werden.

Phase II: Durchführen von Optimierungsläufen

Die Durchführung der Optimierungsläufe erfolgte für jedes Szenario separat. Da im vorliegenden Anwendungsfall ausschließlich variable Kosten relevant waren, kamen die entwickelten Optimierungsmodelle ohne Restriktionen für sprungfixe Kosten zum Einsatz. Somit führte die Parametrierung des Modells zur **Minimierung der Kosten (4)** für alle drei Szenarien zur selben Anzahl von ca. 5.500 Variablen, 9.500 Restriktionen und 18.500 Nicht-Null-Koeffizienten. Im Modell zur **Maximierung der Erfolgspositionen (5)** waren aufgrund der Maximierung zusätzliche Restriktionen notwendig, so dass dieses mit ca. 11.500 Restriktionen und 22.500 Nicht-Null-Koeffizienten deutlich größer war. Das Modell zur **Minimierung der Risiken (6)** hingegen entsprach von der Größe her wiederum der des Modells zur Minimierung der Kosten.

Das Modell zur **multikriteriellen Optimierung (7)** erreichte eine ähnliche Anzahl an Variablen und Restriktionen wie das Modell der Erfolgspositionen, unterschied sich allerdings in der deutlich erhöhten Anzahl von etwa 29.000 Nicht-Null-Koeffizienten. Alle Optimierungsläufe konnten innerhalb weniger Sekunden gelöst werden und führten zur gesuchten Optimallösung. Diese Ergebnisse der Optimierungsläufe werden im Folgenden je Szenario vorgestellt.

Szenario 1 In Szenario 1 wurde untersucht, ob die Baugruppe A in Asien vormontiert und die dafür benötigten Teile vom asiatischen Beschaffungsmarkt zugekauft werden sollten.

Die *Minimierung der Kosten* ergab, dass zwar die Vormontage der Baugruppe am Standort in Deutschland bestehen bleiben, das Teil A aus der Teilefertigung allerdings aus dem asiatischen Beschaffungsmarkt zugekauft werden sollte. Aus Kostensicht lohnte sich der Transport des Zukaufteils von Asien gegenüber der Eigenfertigung. Die Realisierung würde gegenüber der Ist-Situation zu einer Kostensenkung von ca. 4% führen.

Weder die *Maximierung der Erfolgspositionen* noch die *Minimierung der Risiken* führte zu einer Veränderung der Wertschöpfungsverteilung gegenüber der Ist-Situation. Alle Wertschöpfungsstufen sollten in vollem Umfang am Standort in Deutschland erhalten bleiben.

Bei einer gleichverteilten Gewichtung der Kriterien Kosten, Erfolgspositionen und Risiken in der *multikriteriellen Optimierung* setzte sich die Wertschöpfungsverteilung der Maximierung der Erfolgspositionen sowie der Minimierung der Risiken durch. Insgesamt sollte daher in Szenario 1 die Wertschöpfung vollständig am Standort Deutschland verbleiben.

Szenario 2 In Szenario 2 sollte die Verlagerung der Endmontage 1 der Baugruppe B untersucht werden. Im Sinne des Szenarios würde diese automatisch die Verlagerung der Vormontagen Baugruppe A, Magnete und Baugruppe 2 mit sich bringen sowie den Zukauf des Teils A, des Teils 1, der Magneteile sowie der Baugruppe 1 vom asiatischen Markt zur Folge haben.

Die *Minimierung der Kosten* ergab eine Abweichung in der vorgedachten Wertschöpfungsverteilung. Baugruppe 1 sollte nicht vom asiatischen Beschaffungsmarkt zugekauft werden, sondern am Standort Deutschland vormontiert und anschließend nach Asien transportiert werden. Des Weiteren lohnte sich durch die nun in Asien angesiedelte Endmontage 1 der Magnetventile die Vormontage der Baugruppe A am Standort Asien. Das Kosten-Optimum verbesserte sich im Vergleich zu Szenario 1 um ca. 20%.

Dahingegen veränderte sich weder bei der *Maximierung der Erfolgspositionen* noch bei der *Minimierung der Risiken* die Wertschöpfungsverteilung im Vergleich zu Szenario 1 bzw. zur Ist-Situation. Alle Wertschöpfungsstufen sollten am Standort in Deutschland verbleiben.

Diese Wertschöpfungsverteilung stellte wiederum das Ergebnis der *multikriteriellen Optimierung* mit der Gewichtung der Kriterien 1:1:1 dar. Die Wertschöpfung sollte am Standort in Deutschland vollständig beibehalten werden.

Szenario 3 Szenario 3 erweiterte Szenario 2 um die noch nicht untersuchten Wertschöpfungsstufen. Die Prämisse lautete, eine komplett autarke parallele Produktion in Asien aufzubauen. Dabei sollte die Vormontage der Hydraulik sowie die gesamte Endmontage der Magnetventile verlagert und die Hydraulikteile vom asiatischen Markt zugekauft werden.

Die *Minimierung der Kosten* ergab auch hier ein anderes Bild. Die Hydraulikteile sollten zwar vom asiatischen Markt zugekauft werden, aber die Vormontage der Hydraulik sowie die Endmontage 2 der Magnetventile sollte nur zu einem gewissen Anteil am Standort Asien erfolgen. Ausschließlich die Menge, die in den asiatischen Absatzmarkt geliefert wird, war für die Produktion in Asien vorgesehen. Die Montagen des größeren Anteils für den Rest der Welt sollten in Deutschland erfolgen. Für die anderen Wertschöpfungsstufen blieb die Verteilung aus Szenario 2 bestehen. Das Kosten-Optimum verbesserte sich nochmals um 3%.

Die Ergebnisse der Optimierungsläufe *Maximierung der Erfolgspositionen*, *Minimierung der Risiken* und *multikriterielle Optimierung* blieben identisch, so dass die Wertschöpfung bei der Gleichgewichtung der Kriterien weiterhin vollständig am Standort Deutschland erhalten bleiben sollte.

Phase III: Aufbereiten des Optimierungsergebnisses

Da die Ergebnisse aller drei Szenarien der Ist-Situation entsprachen, war keine weitere Aufbereitung notwendig.

9.2.3. Entscheidungsfindung

Baustein I: Ermitteln der Investitionskosten

In der aktuellen Situation wurde die Produktfamilie der Magnetventile durchgängig am Standort Deutschland hergestellt. Daher waren dort keine weiteren Investitionen notwendig. Ebenso war am Standort Asien bereits unabhängig von der untersuchten Produktfamilie der Magnetventile investiert worden, so dass im Weiteren keine Investitionskosten berücksichtigt werden mussten.

Baustein II: Durchführen von Sensitivitätsanalysen

Innerhalb der Sensitivitätsanalysen galt es, die verschiedenen Gewichtungen zu untersuchen. Da die Wertschöpfungsverteilung der Erfolgspositionen und Risiken identisch ist, reduzierten sich die drei Kategorien auf zwei Gegenpole: die kostenoptimale Wertschöpfungsverteilung und die nach qualitativen Kriterien optimale Wertschöpfungsverteilung. Daher mussten nur unterschiedliche Verhältnisse zwischen der Gewichtung der Kosten und der Summe aus den Gewichtungen der qualitativen Kriterien untersucht werden. Ausgehend von der bisherigen Gewichtung 1:1:1, die die Kosten halb so hoch gewichtet wie die qualitativen Kriterien, wurde die Gewichtung der Kosten innerhalb der Sensitivitätsanalyse kontinuierlich um 1 erhöht. Daher stellten

ausschließlich die Gewichtungen 2:1:1, 3:1:1, 4:1:1, ... den Untersuchungsraum dar. Analog zur Optimierung konnten je Szenario und Gewichtung mithilfe der entwickelten Optimierungsmodelle die Sensitivitätsanalysen durchgeführt und die entsprechenden Optimallösungen gefunden werden. Hierbei ergaben sich weder Änderungen in der Größe der Modelle noch in den Rechenzeiten. Die erzeugten Ergebnisse sind im Folgenden beschrieben.

Für Szenario 1 ergab sich bei einer Gewichtung von 3:1:1 eine Veränderung in der Wertschöpfungsverteilung. Wurden die Kosten geringer oder gleich zu den qualitativen Kriterien (1:1:1 bzw. 2:1:1) gewichtet, sollte die vollständige Wertschöpfung in Deutschland stattfinden. Bei höherer Gewichtung der Kosten (3:1:1, 4:1:1, ...) sollte das Teil A aus der Teilefertigung aus dem asiatischen Beschaffungsmarkt zugekauft werden.

Bei Szenario 2 fand die Veränderung der Wertschöpfungsverteilung bereits bei einer Gewichtung von 2:1:1 statt. Wurden die Kosten geringer als die qualitativen Kriterien gewichtet (1:1:1), sollten am Standort Deutschland alle Wertschöpfungsstufen durchgeführt werden. Wurden die Kosten gleich oder höher bewertet (2:1:1, 3:1:1, ...), sollten die Vormontagen Baugruppe A, Magnete und Baugruppe 2 sowie die Endmontage 1 der Baugruppe B nach Asien verlagert werden. Diese Wertschöpfungsstufen sollten aus dem asiatischen Beschaffungsmarkt mit Teilen A, Teilen 1 sowie Magnetteilen versorgt werden. Lediglich die Herstellung der Baugruppe 1 war am Standort in Deutschland mit anschließendem Transport nach Asien vorgesehen.

In Szenario 3 erfolgte der Wandel in der Wertschöpfungsverteilung ebenfalls bei der Gewichtung 2:1:1. Wurden die Kosten geringer als die qualitativen Kriterien (1:1:1) gewichtet, sollte die Wertschöpfung vollständig am Standort Deutschland erhalten bleiben. Wurden die Kosten gleich oder höher gewichtet (2:1:1, 3:1:1, ...), sollten wie in Szenario 2 die Vormontagen Baugruppe A, Magnete und Baugruppe 2 sowie die Endmontage 1 der Baugruppe B vollständig nach Asien verlagert werden. Die Vormontage der Hydraulik sowie die Endmontage 2 der Magnetventile hingegen sollte ausschließlich für die Mengen des asiatischen Absatzmarkts am Standort Asien durchgeführt werden. Diese Wertschöpfungsstufen sind mit Teilen A, Teilen 1, Magnet- sowie Hydraulikteilen aus dem asiatischen Beschaffungsmarkt zu versorgen. Lediglich die Baugruppe 1 sollte am Standort Deutschland hergestellt und nach Asien transportiert werden.

Entscheidungsfindung

Da Szenario 3 die Inhalte der Szenarien 1 und 2 abdeckte und zudem im Fall der Kosten den besten Wert erzielte, stand dieses Szenario im Fokus der Entscheidung. Des Weiteren war bereits die Strategie „Asien“ als langfristige Orientierung eingeschlagen. Daher fiel nach Diskussion der zu Szenario 3 **erstellten Entscheidungsvorlagen (Baustein III)** die Wahl auf jene

Wertschöpfungsverteilung, die Verlagerungen nach Asien beinhaltet. Dabei handelte es sich um die kostenoptimale Wertschöpfungsverteilung und das Optimum bei Gleichgewichtung von Kosten und qualitativen Kriterien (2:1:1). Darüber hinaus wurde empfohlen, die vorgegebene in sich geschlossene Fragestellung im Gesamtzusammenhang mit anderen Produktfamilien im gesamten Produktionsnetzwerk zu untersuchen.

Das Projekt schaffte unternehmensseitig ein neues Bewusstsein: Es wurde erkannt, dass in Asien hoher Handlungsbedarf besteht, Risiken reduziert und Erfolgspositionen aufgebaut werden müssen, um in gewohnter Qualität Kunden wirtschaftlich zufriedenstellen zu können. Daher wurden aus den Ergebnissen Maßnahmen abgeleitet, um in den identifizierten Bereichen Verbesserungen zu erzielen. In Zukunft soll die entwickelte Methode bereits zu einem früheren Zeitpunkt eingesetzt werden.

9.3. Reflexion der mathematischen Modellierung

Die Anwendung der mathematischen Modellierung zur Optimierung in den Fallbeispielen hat gezeigt, dass die entwickelten Optimierungsmodelle und das gewählte Vorgehen zu Ergebnissen hoher Qualität führen.

Im Fallbeispiel aus der Automobilzulieferindustrie führte die Optimierung zu einer um 76 % geringeren Abweichung von den Optimalwerten als in der Ist-Situation. Dabei konnten Verbesserungen in allen drei Kriterien erzielt werden: Kosten und Risiken sanken um jeweils 5 %, während die Erfolgspositionen um 4 % anstiegen. Ohne den Einsatz der Optimierungsmodelle hätte das Unternehmen alle Wertschöpfungsstufen bis auf das Spritzgießen nach Tschechien verlagert. Damit wären zwar die Kosten im Vergleich zum Ist um 4 % geringer gewesen; die qualitativen Kriterien und die Abweichung von den Optimalwerten hätten sich allerdings um 9 % bzw. 70 % verschlechtert. Insgesamt konnte daher durch den Einsatz der mathematischen Modellierung ein Mehrwert von 146 % erzeugt werden.

Im Fallbeispiel aus dem Maschinenbau wurde im Vergleich zur Ist-Situation bei einer Krite-riengewichtung von 2:1:1 eine um 20,5 % geringere Abweichung von den drei Optima erreicht. Dabei wurden die Kosten um 23 % gesenkt, während bei den Erfolgspositionen ein um 6 % sowie bei den Risiken ein um 40 % geringerer Wert in Kauf zu nehmen ist. Ohne die Optimierungsmodelle hätte die Bewertung der Kosten, Erfolgspositionen und Risiken der vom Unternehmen vorgedachten Szenarien zu keinem eindeutigen Ergebnis geführt. Hätte sich die Firma für das zweite Szenario mit der aus allen vordefinierten Szenarien geringsten Abweichung entschieden, läge diese dennoch um 19 % über der Abweichung des mit der mathematischen Modellierung erzeugten Optimums.

Ein Vergleich der mathematischen Modellierung mit den in Kapitel 5.1 zusammengeführten Anforderungen an eine Optimierung der Wertschöpfungsverteilung nach quantitativen und qualitativen Kriterien in Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung zeigt, dass die Opti-

mierungsmodelle die identifizierte Lücke im Bereich der Ansätze zur Wertschöpfungsverteilung schließen. Allgemein dient die mathematische Modellierung der strategischen Zuordnung von Wertschöpfungsstufen zu Standorten in Form von Kapazitäten. Des Weiteren erfolgt in der Regel eine Allokation der Beschaffungs- und Absatzmärkte auf aggregierter Ebene.

Die Modellierung umfasst den geforderten Gestaltungsbereich der Wertschöpfung in Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung mit dem Fokus auf dem intraorganisationalen Netzwerk – erweitert um die Einflüsse eines dynamischen interorganisationalen Netzwerks. Dabei wird Wertschöpfung in Anlehnung an Porter und Günther umfassend in Form von Beschaffungs-, Fertigungs-, Absatz- sowie Sekundäraktivitäten verstanden. Verschiedene interorganisationale Beziehungen sind ebenso wie internationale Aspekte weitreichend integriert. Der Einsatz in Serien- und Sortenfertigungen der diskreten Fertigung ist gewährleistet.

Darüber hinaus ermöglicht die Modellierung die Berücksichtigung von quantitativen und qualitativen Kriterien. Dabei werden qualitative Kriterien in Erfolgspositionen mit positiven Auswirkungen, die die Wertschöpfung in jedem Fall betreffen, und in Risiken mit negativen Auswirkungen, die ausschließlich mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit eintreten, unterschieden. Diese Kategorisierung ermöglicht die vollständige und flexible Berücksichtigung aller vom Entscheider gewünschten Kriterien. Unterschiedliche Strategien erfassen die Modelle flexibel über die Auswahl und Gewichtung von Kriterien innerhalb der Kategorien Kosten, Erfolgspositionen und Risiken.

Für die Optimierung finden diese verschiedenen Zielgrößen derart Eingang in die Modellierung, dass diese in ihren unterschiedlichen Einheiten als zu minimierende bzw. zu maximierende Ziele normiert vergleichbar verarbeitet werden. Dabei erfolgt die Optimierung integriert und synchron mit angemessenem Know-how und Aufwand für den Entscheider. Als mathematische Optimierungsmodelle ermöglichen die Modelle ebenso die integrierte und synchrone Berücksichtigung aller Umfänge des Gestaltungs- und Betrachtungsbereichs bei angemessenem Aufwand. Dabei liefert die Optimierung ein stabiles Optimum.

Die gestellten Anforderungen an eine Methode zur Wertschöpfungsverteilung sind somit umfassend und vollständig erfüllt. Die in Kapitel 1.3 aus der Zielsetzung der Arbeit abgeleiteten Forschungsfragen werden durch die entwickelte Lösungsmethode beantwortet.

10. Zusammenfassung und Ausblick

Nach zahlreichen Verlagerungen, Akquisitionen und Neuaufbauten von Standorten produziert heute eine Vielzahl der Unternehmen in Netzwerkstrukturen, die es zu optimieren gilt. Aktuell werden durch eine unvorteilhafte Verteilung der Wertschöpfung erhebliche Potenziale verschenkt. Entscheidet sich ein Unternehmen für die Optimierung einer solchen Wertschöpfungsverteilung, sind Fehlentscheidungen keine Seltenheit. Sie wirken sich gravierend auf die Leistungsfähigkeit und Finanzkraft des Unternehmens aus und können bis zur Insolvenz führen.

Grund für solche Fehler ist ein vorwiegend kostenbasiertes Entscheidungsverhalten, das qualitative Kriterien wie Flexibilität oder Qualität nicht oder nicht in angemessenem Ausmaß berücksichtigt. Dies findet sich ebenso in den wissenschaftlichen Ansätzen: Der Fokus bisheriger Arbeiten liegt auf Kostenaspekten; qualitative Kriterien werden weder umfassend noch integriert berücksichtigt. Daher lag dieser Arbeit das Ziel zugrunde, eine Methode zu entwickeln, die die Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung integriert nach quantitativen und qualitativen Kriterien stabil optimiert. Dies sollte mittels mathematischer Modellierung zur Optimierung erreicht werden. Die Entwicklung erfolgte anhand eines iterativen Forschungsprozesses entlang von identifizierten Forschungsfragen.

Diese betreffen die „Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung“, die „quantitativen und qualitativen Kriterien der Wertschöpfungsverteilung“ sowie die „Modellierung und Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien“. In einem ersten Schritt wurden in diesen Entwicklungsbereichen jeweils der Gestaltungs- bzw. Betrachtungsbereich terminologisch-deskriptiv beschrieben und abgegrenzt sowie Anforderungen an die Methode hergeleitet. Hinsichtlich des Methodeneinsatzes ergab sich die multikriterielle Optimierung in Form des Goal Programming, verbunden mit einer exakten Lösungsmethode. Beim Umgang mit Unsicherheit erwies sich die Sensitivitätsanalyse als am besten geeignet. Die Spiegelung derzeitiger Ansätze zur Wertschöpfungsverteilung an den zusammengeführten Anforderungen verdeutlichte Defizite bei der umfassenden Berücksichtigung der Netzwerkstruktur sowie von Wertschöpfung, der umfassenden und flexiblen Berücksichtigung qualitativer Kriterien sowie einer anwenderfreundlichen ganzheitlichen Methode mit angemessenem Aufwand und benötigtem Know-how des Entscheiders.

Diesen Defiziten wurde in mehreren empirisch-induktiven sowie analytisch-deduktiven Schritten entlang der Forschungsfragen begegnet.

Im Bereich der „Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung“ spielten die Entwicklung und Integration eines umfassenden Verständnisses von Wertschöpfung eine entscheidende Rolle. Als Fraktal umfasst eine Wertschöpfungsstufe Beschaffungs-, Fertigungs-, Absatz- sowie Sekundäraktivitäten. Darin sind Logistik, Entsorgung, Marketing und Vertrieb, Kundenservice, Forschung und Entwicklung, Personalwirtschaft, Organisation und Controlling sowie Unternehmensinfrastruktur inbegriffen. Dies wirkte sich wiederum auf die interorganisationalen Beziehungen aus, die beschaffungsseitig neben den Lieferanten Maschinenhersteller, Logistik- sowie Entwicklungsdienstleister und absatzseitig neben den Endkunden Produzenten sowie Konkurrenten umfassen. Dabei sind im entwickelten Lösungsansatz Beziehungen jeglicher Form von der bindungsfreien Transaktion bis zum Joint Venture möglich.

Bei den „quantitativen und qualitativen Kriterien der Wertschöpfungsverteilung“ wurden qualitative Kriterien in Risiken mit negativer Auswirkung, die ausschließlich mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit eintreten, und Erfolgspositionen mit positiver Auswirkung, die die Wertschöpfung in jedem Fall betreffen, unterschieden. Dies ermöglicht einen flexiblen und unternehmensindividuellen Einsatz von Kriterien innerhalb dieser Kategorien. Über Gewichtungen der einzelnen Kriterien sowie der Kategorien lassen sich beliebige Strategien der Unternehmen sowie Entscheider umsetzen. Für eine umfassende Berücksichtigung von Gestaltungskriterien wurde ein Modell qualitativer Kriterien zur Unterstützung der Kriterienwahl zusammengestellt. Es orientiert sich sowohl an den erweiterten Netzwerkobjekten als auch an den umfassenden Wertschöpfungsaktivitäten aus dem Bereich „Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken der diskreten Fertigung“.

In der „Modellierung und Optimierung nach quantitativen und qualitativen Kriterien“ wurde über die Weiterentwicklung des Goal Programming die Möglichkeit eines normierten Vergleichs von unterschiedlichen Zielkriterien geschaffen. Dabei wird gemäß dem Paradigma des soziotechnischen Systems integriert und synchron sowohl nach allen Zielkriterien als auch unter Berücksichtigung des gesamten Gestaltungs- und Betrachtungsbereichs optimiert. Durch die lineare Modellierung wurde der Aufwand der Methode in Form der Rechenzeit gering gehalten. Dasselbe konnte für das Know-how und den Aufwand des Entscheiders durch den Einsatz von Einzel-Optima erreicht werden.

Ganzheitlich ergab die hier beschriebene Forschungsarbeit eine Logik zur Abbildung der Realität, die mathematische Modellierung sowie eine Methode zur Anwendung. Die Logik zur *Abbildung der Realität* stellt die Basis dar, mit der sich der umfassende Gestaltungs- und Betrachtungsbereich visualisieren und mit Daten belegen lässt. Unterstützt wird sie durch eine in Software implementierte grafische Benutzeroberfläche. Auf dieser Grundlage basiert das Kernelement der Lösung. Die *mathematische Modellierung* formuliert das Abbild der Realität sowie die Zielsetzung einer integriert nach quantitativen und qualitativen Kriterien optimierten Wertschöpfungsverteilung in mathematischer Schreibweise. Diese linearen gemischt-ganzzahligen Optimierungsmodelle sind in kommerzieller Operations Research Software implementiert und

können darüber gelöst werden. Zur Anwendung sowohl der Abbildungslogik als auch der multikriteriellen Optimierung wurde eine *Methode* in Form eines Leitfadens bereitgestellt.

Diese Entwicklungsergebnisse wurden anhand zweier Fallbeispiele validiert. Für einen Serienfertiger aus der Automobilzulieferindustrie konnte die optimale Wertschöpfungsverteilung für das gesamte Produktionsnetzwerk ermittelt werden. Dabei wurden Verbesserungen in allen drei Kriterien erzielt und eine bereits angedachte Fehlentscheidung verhindert. Im zweiten Anwendungsfall war das gesuchte Ergebnis die optimale Wertschöpfungsverteilung für eine ausgewählte Produktfamilie eines Sortenfertigers im Maschinenbau. Dabei wurde die Wertschöpfungsverteilung gemäß der Unternehmensstrategie ausgerichtet. Dies bedeutete eine Verbesserung der Kosten, verbunden mit einer gleichzeitigen Anpassung des Risikoverhaltens sowie der Erfolgspositionen-Strategie. Auch hier konnte die Entscheidung für ein vordefiniertes suboptimales Szenario durch eine Entscheidung für die optimale Wertschöpfungsverteilung ersetzt werden. Vor dem Einsatz der mathematischen Modellierung war dieses Optimum von den Entscheidern nicht in Erwägung gezogen worden.

Insgesamt stellt die umfassende und flexible Berücksichtigung von qualitativen Gestaltungskriterien, verbunden mit einer integrierten und synchronen Optimierung mit angemessenem Aufwand und Know-how des Entscheiders, den größten Mehrwert der Modellierung zur Optimierung dar. Damit wird Unternehmen ermöglicht, nachhaltige Entscheidungen hinsichtlich ihrer Wertschöpfungsverteilung zur Steigerung der Netzwerk-Effizienz zu treffen. Dies führt neben der Stabilisierung der Kundenbeziehungen zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit. Zudem werden Fehlentscheidungen vermieden und damit Unternehmensexistenzen gesichert.

Aufgrund der großen Bedeutung für Unternehmen sind weiterführende Forschungsaktivitäten empfehlenswert. Hierbei wäre die Anwendung des Modells für *Fragestellungen* denkbar, die z. B. In- bzw. Outsourcing umfassen. Ebenso könnte die Optimierung der Wertschöpfungsverteilung unter Berücksichtigung der Rückflüsse von Produkten oder Material aus dem Absatzmarkt in Form einer Closed-Loop Supply Chain erfolgen. Dies würde die Integration von reziproken Interdependenzen in das Optimierungsmodell erfordern. Zudem birgt eine *Detaillierung des Modells* zur Unterscheidung verschiedener Produkte, Materialien oder Technologien das Potenzial, komplexe Vorgänge mit höherer Transparenz modellieren zu können. Da die Rechenzeit des aktuellen Modells für die aufgezeigten Fallbeispiele wenige Sekunden beträgt, sind Detaillierungen des Modells möglich. Diese Rechenzeiten ermöglichen des Weiteren die Weiterentwicklung des Modells für einen *operativen Einsatz* mit dem Ziel, Aufträge in Echtzeit optimal im Produktionsnetzwerk zu verteilen. Dabei wäre eine Kombination mit einer echtzeitfähigen sensorbasierten Datenaufnahme bzw. -aktualisierung sinnvoll.

A. Symbolverzeichnis der verwendeten Variablen und Parameter

Indizes und Indexmengen

$a \in \{a_1, \dots, a_A\}$	Absatzmarkt, der als Wert die Bezeichnung eines Absatzmarkt-bündels annimmt
$b \in \{b_1, \dots, b_B\}$	Beschaffungsmarkt, der als Wert die Bezeichnung eines Beschaffungsmarkt-bündels annimmt
$i \in \{1, 2, \dots, I\}$	Intervall für Produktions- bzw. Transportmengen, das als Bezeichnung einen ganzzahligen Wert annimmt
$k \in \{Ko, Ep, Ri\}$	Kriterium, das die Werte Kosten Ko , Erfolgspositionen Ep und Risiken Ri annimmt
$p \in \{p_1, \dots, p_P\}$	Periode, die als Wert die Bezeichnung einer Periode annehmen kann
p_V	Vorangehende Periode
p_N	Direkt nachfolgende Periode
$s \in \{s_1, \dots, s_S\}$	Standort, der als Wert die Bezeichnung einer der Standorte eines Unternehmens annehmen kann
s_1	Standort, an dem die vorangehende Wertschöpfungsstufe durchgeführt wird
s_2	Standort, an dem die nachfolgende Wertschöpfungsstufe durchgeführt wird
$w \in \{w_1, \dots, w_W\}$	Wertschöpfungsstufe, die als Wert eine Bezeichnung der verschiedenen Wertschöpfungsstufen eines Unternehmens annehmen kann
w_1	Vorangehende Wertschöpfungsstufe
w_2	Nachfolgende Wertschöpfungsstufe

Parameter

$B_{w,a,p}$	Bedarf des Absatzmarkts a an Wertschöpfung w in Periode p
BG_k	Bezugsgröße des Kriteriums k zur Berechnung prozentualer Abweichungen
$BigM$	Hinreichend große Zahl
$Ep_{w,s,p}$	Erfolgsposition einer Wertschöpfungs-Standort-Kombination $w-s$ in Periode p
$Ep_{w,s,a,p}^A$	Erfolgsposition einer Absatzmarkt-Interdependenz von der Wertschöpfungsstufe w eines Standorts s zum Absatzmarkt a in Periode p
$Ep_{b,w,s,p}^B$	Erfolgsposition einer Beschaffungsmarkt-Interdependenz vom Beschaffungsmarkt b zur Wertschöpfungsstufe w eines Standorts s in Periode p
$Ep_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}^I$	Erfolgsposition einer internen Interdependenz von Wertschöpfungsstufe w_1 am Standort s_1 zur Wertschöpfungsstufe w_2 am Standort s_2 in Periode p
F_w	Fläche, die die Produktion von 1 Stück der Wertschöpfungsstufe w unter Berücksichtigung des Nutzungsgrads benötigt
$Flex_{p_V,p_N}$	Flexibilität von einer vorangehenden Periode p_V zu einer direkt nachfolgenden Periode p_N bezogen auf Produktionsmengenschwankungen, die durch die periodisch wiederkehrende Umverteilung der Wertschöpfung entstehen
$Flex_{p_V,p_N}^B$	Beschaffungsflexibilität von einer Vorgängerperiode p_V zu einer direkten Nachfolgeperiode p_N bezogen auf Beschaffungsmengenschwankungen, die durch die periodisch wiederkehrende Umverteilung der Wertschöpfung entstehen
h_k^{Ko}	Hilfsvektor Kosten, der bei $k = Ko$ den Wert 1 annimmt, sonst den Wert 0
h_k^{Ep}	Hilfsvektor Erfolgspositionen, der bei $k = Ep$ den Wert 1 annimmt, sonst den Wert 0
h_k^{Ri}	Hilfsvektor Risiken, der bei $k = Ri$ den Wert 1 annimmt, sonst den Wert 0
K_s^{max}	Maximal zur Verfügung stehende Fläche eines Standorts s – nach Ausschöpfung aller Ausbaumöglichkeiten
K_s^{min}	Mindestfläche eines Standorts s , die im Besitz bleibt und in jedem Fall bezahlt werden muss – nach Ausschöpfung aller Möglichkeiten des Verkaufs und der Vermietung

$K_{w,s}^{max}$	Maximal verfügbare Kapazität am Standort s für Wertschöpfungsstufe w
$K_{w,s}^{min}$	Mindestkapazität der Wertschöpfungsstufe w am Standort s
$K_{b,w}$	Kapazität des Beschaffungsmarkts b , die Wertschöpfungsstufe w zu versorgen
$K_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}^{max}$	Maximal verfügbare Kapazität einer internen Interdependenz von einer Wertschöpfungsstufe w_1 am Standort s_1 zu einer Wertschöpfungsstufe w_2 am Standort s_2 in Periode p
$K_{b,w,s,p}^{max}$	Maximal verfügbare Kapazität einer Beschaffungsmarkt-Interdependenz vom Beschaffungsmarkt b zur Wertschöpfungsstufe w eines Standorts s in Periode p
$K_{w,s,a,p}^{max}$	Maximal verfügbare Kapazität einer Absatzmarkt-Interdependenz von der Wertschöpfungsstufe w eines Standorts s zum Absatzmarkt a in Periode p
$Ko_{w,s,p}$	Kosten einer Wertschöpfungs-Standort-Kombination $w-s$ in Periode p
$Ko_{w,s,a,p}^A$	Kosten einer Absatzmarkt-Interdependenz von der Wertschöpfungsstufe w eines Standorts s zum Absatzmarkt a in Periode p
$Ko_{b,w,s,p}^B$	Kosten einer Beschaffungsmarkt-Interdependenz vom Beschaffungsmarkt b zur Wertschöpfungsstufe w eines Standorts s in Periode p
$Ko_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}^I$	Kosten einer internen Interdependenz von Wertschöpfungsstufe w_1 am Standort s_1 zur Wertschöpfungsstufe w_2 am Standort s_2 in Periode p
Ko_s^{fix}	Fixkosten je ungenutztem Quadratmeter eines Standorts s für eine Periode
$Ko_{w,s,p}^{fix}$	Fixkosten einer Wertschöpfungs-Standort-Kombination $w-s$ in Periode p
$Ko_{w,s,a,p}^{Afix}$	Fixkosten einer Absatzmarkt-Interdependenz von der Wertschöpfungsstufe w eines Standorts s zum Absatzmarkt a in Periode p
$Ko_{b,w,s,p}^{Bfix}$	Fixkosten einer Beschaffungsmarkt-Interdependenz vom Beschaffungsmarkt b zur Wertschöpfungsstufe w eines Standorts s in Periode p
$Ko_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}^{Ifix}$	Fixkosten einer internen Interdependenz von Wertschöpfungsstufe w_1 am Standort s_1 zur Wertschöpfungsstufe w_2 am Standort s_2 in Periode p
$Ko_{w,s,p,i}^{sprungfix}$	Sprungfixe Kosten einer Wertschöpfungs-Standort-Kombination $w-s$ in Periode p für eine Produktionsmenge, die in Intervall i liegt

M_{w_1, w_2}	Mengenangabe, wie viel von Wertschöpfungsstufe w_1 für die Produktion von 1 Stück der nachfolgenden Wertschöpfungsstufe w_2 benötigt wird
M_w^B	Mengenangabe, wie viel Material für die Herstellung einer Komponente der Wertschöpfungsstufe w benötigt wird
O_k	Optimalwert der Einziel-Optimierung nach dem Kriterium k
$O_{k=Ep}$	Erfolgspositionen-Optimum
$O_{k=Ko}$	Kosten-Optimum
$O_{k=Ri}$	Risiko-Optimum
OG_i	Obere Grenze eines Intervalls i in Form der maximalen Produktions- bzw. Transportmenge
ω_k	Gewichtung des Kriteriums k
$Ri_{w,s,p}$	Risiko einer Wertschöpfungs-Standort-Kombination $w-s$ in Periode p
$Ri_{w,s,a,p}^A$	Risiko einer Absatzmarkt-Interdependenz von der Wertschöpfungsstufe w eines Standorts s zum Absatzmarkt a in Periode p
$Ri_{b,w,s,p}^B$	Risiko einer Beschaffungsmarkt-Interdependenz vom Beschaffungsmarkt b zur Wertschöpfungsstufe w eines Standorts s in Periode p
$Ri_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}^I$	Risiko einer internen Interdependenz von Wertschöpfungsstufe w_1 am Standort s_1 zur Wertschöpfungsstufe w_2 am Standort s_2 in Periode p
$StKo_{w,s,p}^{var}$	Variable Stückkosten einer Wertschöpfungs-Standort-Kombination $w-s$ in Periode p
$StKo_{w,s,a,p}^{Avar}$	Variable Stückkosten einer Absatzmarkt-Interdependenz von der Wertschöpfungsstufe w eines Standorts s zum Absatzmarkt a in Periode p
$StKo_{b,w,s,p}^{Bvar}$	Variable Stückkosten einer Beschaffungsmarkt-Interdependenz vom Beschaffungsmarkt b zur Wertschöpfungsstufe w eines Standorts s in Periode p
$StKo_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}^{Ivar}$	Variable Stückkosten einer internen Interdependenz von Wertschöpfungsstufe w_1 am Standort s_1 zur Wertschöpfungsstufe w_2 am Standort s_2 in Periode p
UG_i	Untere Grenze eines Intervalls i in Form der minimalen Produktions- bzw. Transportmenge

$V_w^{zul.}$	Anzahl der zulässigen Verletzungen des Flexibilitätskorridors einer Wertschöpfungsstufe w
$VB_{b,w}^{zul.}$	Anzahl der zulässigen Verletzungen des Flexibilitätskorridors eines Beschaffungsmarkts b zur Wertschöpfungsstufe w
VZ_k	Vektor für Vorzeichenwechsel, der bei $k = Ep$ den Wert -1 annimmt, sonst den Wert 1
ζ	Hinreichend kleine Zahl

Variablen

ε_k	Absolute Abweichung des Werts des Kriteriums k in der ermittelten multi-optimalen Lösung zum Optimalwert O_k aus der Einziel-Optimierung nach Kriterium k
$BG^{EPausKo}$	Bezugsgröße Erfolgsposition, die bei der Minimierung der Kosten ermittelt wird
$BG^{EPausRi}$	Bezugsgröße Erfolgsposition, die bei der Minimierung der Risiken ermittelt wird
$F_{s,p}^u$	Ungenutzte Fläche eines Standorts s in Periode p
O^{Ep}	Erfolgspositionen-Optimum
O^{Ko}	Kosten-Optimum
O^{Ri}	Risiko-Optimum
$v_{w,s,pV}$	Nicht-negative ganzzahlige Hilfsvariable, die anzeigt, ob der Flexibilitätskorridor einer Wertschöpfungsstufe w am Standort s von Periode p_v zur direkt nachfolgenden Periode verletzt ist
$v_{b,w,pV}^B$	Nicht-negative ganzzahlige Hilfsvariable, die anzeigt, ob der Flexibilitätskorridor eines Beschaffungsmarkts b zur Wertschöpfungsstufe w von Periode p_v zur direkt nachfolgenden Periode verletzt ist
$x_{w,s,p}$	Produktionsmenge einer Wertschöpfungsstufe w am Standort s einer Periode p
$xM_{w_1,w_2,s,p}$	Hilfsvariable für das Produkt aus Produktionsmenge $x_{w,s,p}$ und Mengenangabe M_{w_1,w_2}

$xM_{w,s,p}^B$	Hilfsvariable für das Produkt aus Produktionsmenge $x_{w,s,p}$ und Mengenan- gabe M_w^B
$y_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}$	Transportmenge von einer Wertschöpfungsstufe w_1 am Standort s_1 zu einer Wertschöpfungsstufe w_2 am Standort s_2 in Periode p
$y_{w,s,a,p}^A$	Transportmenge von der Wertschöpfungsstufe w eines Standorts s zum Ab- satzmarkt a in Periode p
$y_{b,w,s,p}^B$	Transportmenge vom Beschaffungsmarkt b zur Wertschöpfungsstufe w eines Standorts s in Periode p
$z_{w,s,p}$	Nicht-negative ganzzahlige Variable, die anzeigt, ob die Wertschöpfungs- Standort-Kombination w - s in Periode p aktiv ist
$z_{w,s,a,p}^A$	Nicht-negative ganzzahlige Variable, die anzeigt, ob die Absatzmarkt-Inter- dependenz von der Wertschöpfungsstufe w eines Standorts s zum Absatz- markt a in Periode p aktiv ist
$z_{b,w,s,p}^B$	Nicht-negative ganzzahlige Variable, die anzeigt, ob die Beschaffungsmarkt- Interdependenz vom Beschaffungsmarkt b zur Wertschöpfungsstufe w eines Standorts s in Periode p aktiv ist
$z_{w_1,s_1,w_2,s_2,p}^I$	Nicht-negative ganzzahlige Variable, die anzeigt, ob die interne Interdepen- denz von der Wertschöpfungsstufe w_1 am Standort s_1 zur Wertschöpfungs- stufe w_2 am Standort s_2 in Periode p aktiv ist
$z_{w,s,p,i}^{sprungfix}$	Nicht-negative ganzzahlige Variable, die anzeigt, ob die Produktionsmenge der Wertschöpfungs-Standort-Kombination w - s in Periode p im Intervall i liegt

B. Einordnung von Wertschöpfung in die Struktur von Produktionsnetzwerken

Der in Kapitel 7.1.1 für diese Arbeit definierte Umfang von Wertschöpfung lässt sich den vier Netzwerkobjekttypen Wertschöpfungs-Standort-Kombination, interne Interdependenz, Beschaffungsinterdependenz sowie Absatzinterdependenz zuordnen. Daraus ergibt sich die in Abbildung B.1 dargestellte und im Folgenden begründete Einordnung von Wertschöpfung in den Kontext von Produktionsnetzwerken.

Die Beschaffung mit der Eingangslogistik ist abhängig vom Beschaffungsmarkt und Standort der Wertschöpfungsstufe und wird damit den Interdependenzen vom Beschaffungsmarkt zugeordnet. Fertigung, Entsorgung und interne Logistik betreffen ausschließlich eine Wertschöpfungs-Standort-Kombination und haben keine externen Schnittpunkte. Der Absatz mit Ausgangslogistik, Marketing und Vertrieb sowie Kundenservice ist wiederum abhängig vom Standort der Wertschöpfungsstufe und dem Absatzmarkt, so dass dieser zu den Interdependenzen zum Absatzmarkt zählt.

Die Sekundäraktivitäten können mehrere Objekttypen betreffen. Forschung und Entwicklung kann bei Entwicklungspartnerschaften mit Lieferanten, Maschinenherstellern oder Entwicklungsdienstleistern den Interdependenzen vom Beschaffungsmarkt zugeordnet werden. Gleichzeitig kann diese bei Eigenentwicklung Wertschöpfungs-Standort-Zuordnungen und bei kundenspezifischen Entwicklungen zusätzlich die Interdependenzen zum Absatzmarkt betreffen. Die Personalwirtschaft akquiriert Personal für alle Bereiche von der Beschaffung über die Fertigung bis zum Vertrieb und Kundenservice. Da das Personal unabhängig vom Einsatz in Beschaffung, Wertschöpfung oder Vertrieb einem Standort zugehörig ist, wird die Personalwirtschaft ausschließlich der Wertschöpfungs-Standort-Kombination zugeordnet. Dabei wird vernachlässigt, dass in Einzelfällen Personal für die Beschaffung aus bzw. den Vertrieb in bestimmte Märkte schwieriger zu finden ist. Organisation im Sinne einer Planung und Steuerung sowie Controlling betrifft die Interdependenzen vom Beschaffungsmarkt, die eigene Wertschöpfung je nach Standort sowie die Interdependenzen zum Absatzmarkt. Die Unternehmensinfrastruktur ist entscheidend für die Wertschöpfungs-Standort-Zuordnung. Für die Interdependenzen vom Beschaffungsmarkt und zum Absatzmarkt ist die Infrastruktur in erster Linie im Sinne ei-

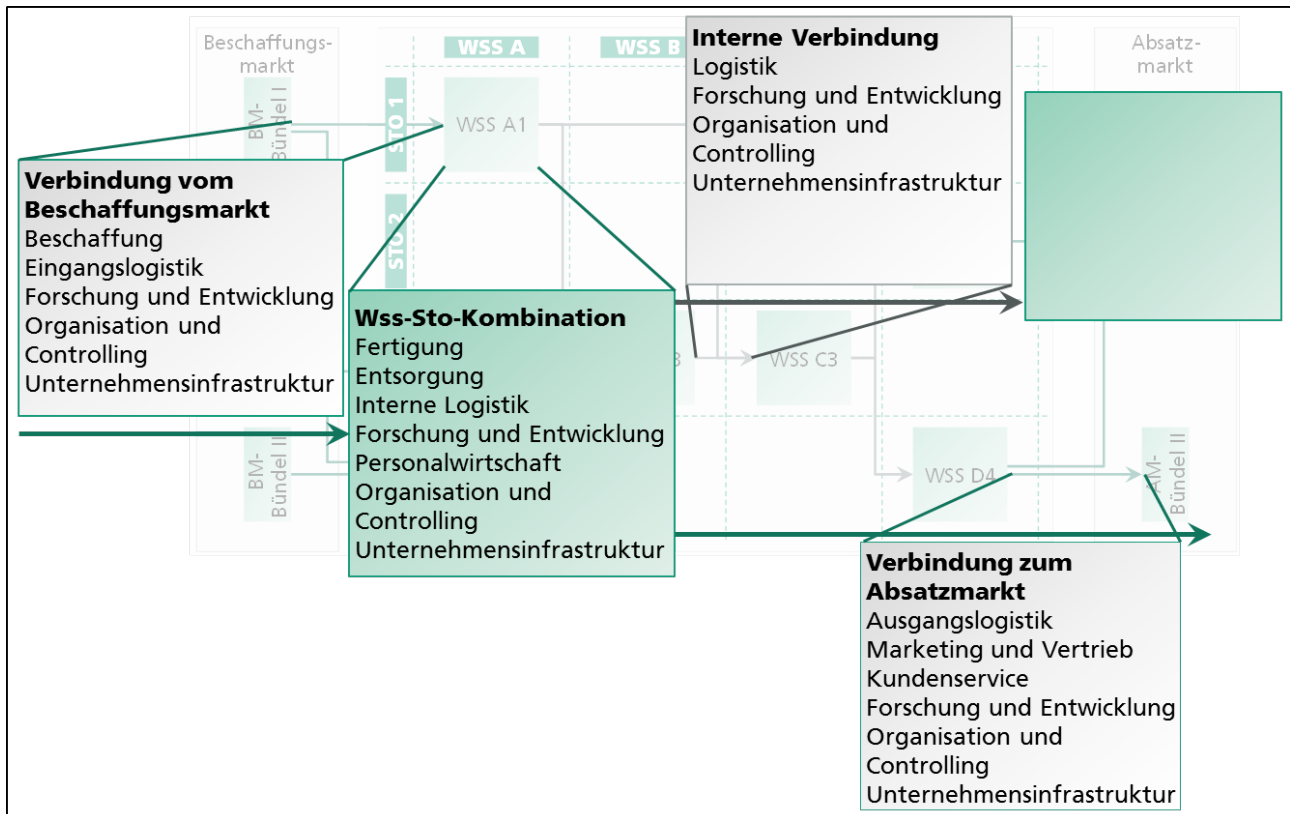


Abbildung B.1.: Verständnis von Wertschöpfung in Produktionsnetzwerken diskreter Fertigung

nes eigenen Fuhrparks relevant. Zudem beeinflusst die IT-Infrastruktur Anbindungen aus dem Beschaffungsmarkt sowie zum Absatzmarkt.

Der Objekttyp der internen Interdependenz stellt eine Zusammenführung der Interdependenzen vom Beschaffungsmarkt sowie zum Absatzmarkt dar. Beschaffung, Marketing und Vertrieb sowie Kundenservice sind allerdings für die interne Interdependenz nicht relevant, da sowohl die interne Beschaffung als auch der interne Absatz durch die Strategie der Wertschöpfungsverteilung vorgegeben ist und daher kein Aufwand für Verhandlungen oder Service anfällt. Die über den Aufwand hinausgehenden Kosten sind in denen anderer Objekte enthalten. Beispielsweise entsprechen die Materialkosten einer internen Interdependenz den Produktionskosten der vorgelagerten Wertschöpfungs-Standort-Kombination und sind daher bereits in die Bewertung des Gesamt-Netzwerks integriert. Forschung und Entwicklung sowie Organisation und Controlling hingegen sind innerhalb einer internen Interdependenz beispielsweise dann betroffen, wenn zwei aus Entwicklungs- oder Produktionssicht eng verbundene Wertschöpfungsstufen geografisch weit voneinander entfernt bzw. zusammengelegt werden. Dies kann zudem, beispielsweise im Falle eines eigenen Fuhrparks, Auswirkungen auf die Unternehmensinfrastruktur haben.

Mit dieser in Abbildung B.1 dargestellten Strukturierung von Wertschöpfung im Produktionsnetzwerk sind weiterhin alle Bereiche der Wertschöpfung einer Wertschöpfungsstufe abgedeckt. Diese ist untergliedert in Wertschöpfung innerhalb einer Wertschöpfungs-Standort-Kombination

sowie die Wertschöpfung aller mit der Wertschöpfungs-Standort-Kombination verbundenen Interdependenzen. Nähere Informationen zu den jeweiligen Bereichen können mithilfe der Gestaltungskriterien Kosten, Erfolgspositionen und Risiken aufgenommen und in den Zuordnungsfeldern innerhalb der Matrix der Logik zur Abbildung eines Produktionsnetzwerks und seiner Wertschöpfungsverteilung visualisiert werden.

C. Einordnung quantitativer und qualitativer Gestaltungskriterien als Erfolgsposition bzw. Risiko

Dieses Kapitel dient der Identifikation der quantitativen und qualitativen Kriterien aus den Ansätzen der Wertschöpfungsverteilung, der Standortplanung und des Risikomanagements als Erfolgsposition bzw. Risiko. Darüber hinaus erfolgt deren Zuordnung zu den für das Kriterium relevanten Typen der Produktionsnetzwerk-Objekte.

Ausgangspunkt stellen die in den Kapiteln 3.4, 3.5.1 und 3.5.2 identifizierten Kriterien der jeweiligen Disziplinen Wertschöpfungsverteilung, Standortplanung und Risikomanagement dar. Je Disziplin werden diese Kriterien einzeln in die in Tabelle C.1 dargestellte Matrix eingeordnet. Diese spannt sich auf aus qualitativen Kriterienkategorien – Erfolgsposition sowie Risiko – und allen Netzwerkobjekttypen – Wertschöpfungs-Standort-Kombination, interne Interdependenz, Interdependenz vom Beschaffungsmarkt sowie Interdependenz zum Absatzmarkt. Die Einordnung erfolgt mithilfe der in Kapitel 7.2.1 beschriebenen Regeln.

Gestaltungskriterien aus Ansätzen zur Wertschöpfungsverteilung

Die einzuordnenden Kriterien aus den Ansätzen zur Wertschöpfungsverteilung sind in Tabelle 3.9 aus Kapitel 3.4 aufgeführt.

Unter dem Kriterium **Zeiten** hatte Ude verschiedene Aspekte zusammengefasst. Daher sind die detaillierteren Kriterien aus Tabelle 3.2 in Kapitel 3.4 bei der Einordnung zu berücksich-

Kriterienkategorie \ Netzwerkobjekttyp	Erfolgsposition	Risiko
Wertschöpfungs-Standort-Kombination		
Interne Interdependenz		
Interdependenz vom Beschaffungsmarkt		
Interdependenz zum Absatzmarkt		

Tabelle C.1.: Matrix zur Einordnung quantitativer und qualitativer Gestaltungskriterien

tigen. Die Auswirkungen der Verortung einer Wertschöpfungsstufe an einem bestimmten und evtl. neuen Standort auf die *Produktentwicklungszeit* kann abgeschätzt und somit als Erfolgsposition einer Wertschöpfungs-Standort-Kombination eingeordnet werden. In Entwicklungspartnerschaften mit Lieferanten haben unterschiedliche Beschaffungsverbindungen Auswirkungen auf die Entwicklungszeit. Bei neuen Lieferanten können diese unbekannt sein. Daher wird die Produktentwicklungszeit zusätzlich beim Objekttyp Interdependenzen vom Beschaffungsmarkt sowohl als Erfolgsposition als auch als Risiko eingeordnet. Die Güte der Auftragsabwicklung kann für einen bestimmten Standort abgeschätzt werden, so dass die *Auftragsbearbeitungszeit* den Erfolgspositionen einer Wertschöpfungs-Standort-Kombination zugeordnet wird. Die Auftragsbearbeitungszeit umfasst die *Prozessdauer* sowie die *Durchlaufzeit*, so dass diese ebenfalls in diesem Quadranten zu sehen sind. *Reaktionszeit* und *Termineinhaltung* können sich sowohl auf die eigene Produktion als auch auf alle Transporte beziehen und werden daher allen vier Objekttypen zugeordnet. Dabei besteht die Möglichkeit, dass bei Verbindungen vom Beschaffungsmarkt mit z. B. neuen Lieferanten sowie bei Verbindungen in den Absatzmarkt mit z. B. neuen Logistikdienstleistern beide Kriterien mit Unsicherheit belegt sind und daher als Risiko auftauchen. Die *Beschaffungszeit* gehört zum Objekttyp Interdependenzen vom Beschaffungsmarkt und kann sowohl als Erfolgsposition als auch als Risiko auftreten. Die *Vorhersagegenauigkeit* wird als *Zuverlässigkeit* bezeichnet und betrifft alle vier Objekttypen. Ähnlich der Reaktionszeit und Termineinhaltung kann das Kriterium Zuverlässigkeit bei den Interdependenzen vom Beschaffungsmarkt und zum Absatzmarkt als Risiko auftreten.

Termineinhaltung und Zuverlässigkeit können unter dem Kriterium **Lieferperformance/Logistikleistung** zusammengefasst und um Qualitätsaspekte ergänzt werden. Diese Performance kann sich auf alle vier Objekttypen beziehen und ist bei den externen Interdependenzen wieder mit Unsicherheiten belegt. Unter **Flexibilität** versteht Ude die *Produktionsflexibilität* mit sowohl der Stückzahl- als auch der Varianten- bzw. Produktflexibilität, die eindeutig einer Wertschöpfungs-Standort-Kombination zugeordnet wird, aber auch eine Erfolgsposition oder ein Risiko des Beschaffungsmarkts sein kann. Diese Produktionsflexibilität ist eng mit der *Produktivität* und *Kapazitätsauslastung* einer Wertschöpfungs-Standort-Zuordnung verbunden, die eine Erfolgsposition darstellt. Des Weiteren umfasst Flexibilität nach Ude die *Lieferterminflexibilität*, die alle Objekttypen betrifft.

Das Kriterium **Qualität/Qualitätsniveau/Ausschussquoten** spiegelt eine Erfolgsposition der Wertschöpfungs-Standort-Zuordnung wider. Unter **Sonstige Kriterien** waren der wahrgenommene Wert des Produkts, Image, Einhaltung der Vorschriften und sozialen Standards sowie Mitarbeiterzufriedenheit zusammengefasst. Der *wahrgenommene Wert des Produkts* hängt in erster Linie an der Wertschöpfungs-Standort-Zuordnung, aber auch an den gewählten Beschaffungsinterdependenzen. Beides ist abschätzbar als Erfolgsposition einzuordnen. Positiv auf das *Image* wirken sich sowohl ein gut gewählter Produktionsstandort als auch kurze Transportwege intern sowie zum Absatzmarkt und vom „richtigen“ Beschaffungsmarkt. Das Image kann

daher als abschätzbar in die Kriterienkategorie Erfolgsposition aller Objekttypen eingeordnet werden. Sowohl die *Einhaltung der Vorschriften und sozialen Standards* als auch die *Mitarbeiterzufriedenheit* sollte Ziel aller Objekttypen sein. Diese sind bei den internen Objekttypen abschätzbar, während bei den externen Objekttypen Unsicherheiten auftreten können.

Innerhalb der *politisch-rechtlichen Rahmenbedingungen* sind **Gewinnbesteuerung, Subventionen/sozio-politische Faktoren** und **Local-Content-Bestimmungen** den Wertschöpfungs-Standort-Kombinationen, **Zölle** dagegen allen Interdependenzen zuzuordnen. Alle Kriterien sind bekannt und werden als Erfolgsposition eingeordnet. Local Content kann ebenso quantitativ über die Kapazitätsrestriktionen umgesetzt werden. **Politische Stabilität bzw. Instabilität** betrifft alle Objekttypen als Erfolgsposition oder Risiko. Bei politischer Stabilität handelt es sich um eine Erfolgsposition. Drohende oder bestehende politische Instabilität, die möglicherweise Auswirkungen auf das Unternehmen hat, stellt ein Risiko dar.

Wechselkurse sind allen Interdependenzen, das Kriterium **Tarifvereinbarungen, Lohnkosten, demografischer Wandel** innerhalb der Kategorie *Umwelt* dagegen den Wertschöpfungs-Standort-Kombinationen zuzuordnen. Von beiden Kriterien ist der jeweils aktuelle Zustand bekannt, so dass es sich um Erfolgspositionen handelt.

Die **Koordination** betrifft alle Interdependenzen und kann abhängig von möglicherweise bestehenden Erfahrungen in der Zusammenarbeit sowohl als Erfolgsposition als auch als Risiko auftreten. Die für die Wertschöpfungsverteilung relevanten *marktseitigen Umfeldfaktoren/Markt- und Kundenaspekte* wie **Marktnähe, Kunden/Marktkomplexität und Produktreife, Zugang zu Märkten und Kunden** sowie **Marktvolumen** haben lediglich auf die Absatzinterdependenzen Einfluss. Dabei sind die Marktnähe und das Marktvolumen abschätzbar, während die Marktkomplexität sowie der Zugang zu diesen nicht unbedingt bekannt sein müssen.

Die **Standortqualifikation/-kompetenz** ist analog zu der bereits unter dem Kriterium Flexibilität behandelten Produktivität als Erfolgsposition einer Wertschöpfungs-Standort-Kombination einzuordnen. Das Kriterium **Lieferanten/globale Zuliefermärkte** gehört zu einer Interdependenz vom Beschaffungsmarkt und kann in Erfahrung gebracht werden, so dass es als Erfolgsposition einer Beschaffungsverbindung auftritt. Dabei lassen sich die Auswirkungen der globalen Zuliefermärkte nach A.T. Kearney anhand folgender Kriterien detaillieren (vgl. Tabelle 3.7 in Kapitel 3.4). Der *Aufwand für Anpassung der Stücklisten und Materialspezifikation*, die *komplexitätstreibende Wirkung auf Produktentwicklung und Ersatzteilwirtschaft* sowie die *Verfügbarkeit und Leistungsfähigkeit der Lieferantenmärkte* sind in der Regel in Erfahrung zu bringen und gelten in diesen Fällen als Erfolgsposition. Allerdings können z. B. neue Beschaffungsmärkte eine Unsicherheit und damit ein Risiko bedeuten.

Abhängig von der Unternehmensstrategie kann die Produktion bzw. Beschaffung an denselben Standorten wie denen der **Wettbewerber** erstrebenswert oder unerwünscht sein. Da in der Regel die Standorte der Marktbegleiter sowie deren Standortplanungen für die kommenden Jahre bekannt sind, wird das Kriterium Wettbewerber als Erfolgsposition in die Objekt-

typen Wertschöpfungs-Standort-Kombination und Beschaffungsverbindung eingeordnet. Die **regulatorischen Rahmenbedingungen** betreffen die jeweiligen Wertschöpfungs-Standort-Kombinationen und zählen dort als abschätzbare Größe zu den Erfolgspositionen. **Strategische Aspekte/strategische Richtlinien des Unternehmens/Ziele des Unternehmens** sind über Kapazitätsrestriktionen als Randbedingungen abbildbar, wenn z. B. eine gewisse Wertschöpfungs-Standort-Kombination nicht erwünscht ist oder eine bestimmte Wertschöpfungs-Standort-Zuordnung aus strategischen Gründen unbedingt erhalten bleiben soll. Eine nicht eindeutige und nicht in Produktionsmengen quantifizierbare Strategie kann über die Erfolgsposition Strategie-Opportunität der Wertschöpfungs-Standort-Zuordnung erfasst werden. **Interne und externe Risiken** werden im Folgenden über die Risikofaktoren aus der Literaturrecherche im Bereich des Risikomanagements spezifiziert, so dass dieses Kriterium an dieser Stelle vernachlässigt wird.

Das Kriterium **Zugang zu Rohstoffen/verfügbare Rohstoffe** betrifft die Beschaffungsinterdependenzen und ist in der Regel ermittelbar. Entsprechend ist der **Zugang zu Arbeitskräften/Verfügbarkeit von Arbeitskräften** eine Erfolgsposition der Wertschöpfungs-Standort-Kombinationen. *Skalen- und Verbundeffekte* werden vom mathematischen Optimierungsmodell automatisch optimiert. Ebenso wurden Technologien bzw. Wertschöpfungsstufen, die erst ab einer *kritischen Masse* an einem bestimmten Standort sinnvoll durchgeführt werden können, bereits in Kapitel 7.1.2 im Rahmen der Kapazitätsrestriktionen berücksichtigt. Dort können für bestimmte Kombinationen Mindestmengen der kritischen Masse angegeben werden. Daher ist das Kriterium **Skalen- und Verbundeffekte/"Kritische Massen"-Technologien** nicht als qualitatives Kriterium zu berücksichtigen.

Die Kriterien **Mobilität von Produkten, Prozessen, Personal, Produktionsvolumen/Technologie, Produktionskonzept** und **externes Wissen** betreffen ausschließlich die Wertschöpfungs-Standort-Kombinationen und treten abschätzbar als Erfolgsposition auf. Das Kriterium **Bestände** kann insbesondere mit der Prozesssicherheit an einer bestimmten Produktionsstätte oder eines Transports zusammenhängen, so dass sich dieses Kriterium auf alle vier Objekttypen bezieht. Intern ist dieses Kriterium abschätzbar; in den Interdependenzen vom Beschaffungsmarkt und zum Absatzmarkt kann das Kriterium z. B. im Fall von neuen Lieferanten bzw. neuen Logistikdienstleistern ein Risiko darstellen. Ebenso betrifft die **Infrastruktur** alle Objekttypen und ist intern bekannt sowie extern durch veröffentlichte Indizes in Erfahrung zu bringen und daher als Erfolgsposition einzuordnen.

Das Kriterium **Kriminalität** betrifft alle Objekttypen und ist als Erfolgsposition einzuordnen, wenn bekannt ist, dass die Kriminalität beispielsweise in Form der Korruption das Unternehmen in jedem Fall trifft. Andernfalls ist die Kriminalität als Risiko einzustufen. Die **regionalen Unterschiede** haben möglicherweise Einfluss auf die Durchführung und das Ergebnis einer Wertschöpfung an einem bestimmten Standort sowie auf die Güte aller Interdependenzen. Dabei kann der Einfluss für manche Unternehmen abschätzbar sein. Für andere

Unternehmen ist der Einfluss unbekannt. Somit wird das Kriterium sowohl als Erfolgsposition als auch als Risiko in alle vier Objekttypen eingeordnet.

Damit wurden alle aus den Ansätzen zur Wertschöpfungsverteilung identifizierten Kriterien eingeordnet.

Gestaltungskriterien der Standortplanung

Die in Kapitel 3.5.1 identifizierten Kriterien aus den Ansätzen der Standortplanung gilt es im Folgenden einzuordnen.

Das Kriterium **Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke** betrifft im weitesten Sinn alle Interdependenzen. In der Regel ist ein Unternehmen von diesem Kriterium in jedem Fall betroffen und da die jeweiligen Ausprägungen des Kriteriums in Erfahrung gebracht werden können, stellt das Kriterium eine Erfolgsposition dar. Hat das Unternehmen keine Erfahrung in einer Interdependenz und erweist sich die Informationsermittlung als schwierig, kann das Kriterium in diesem Fall auch als Risiko auftreten. Das Kriterium **nichttarifäre Handelsbarrieren** wird analog dem Kriterium Zölle allen Interdependenzen als Erfolgsposition zugeordnet. Die **Fluktuation von Arbeitskräften** betrifft lediglich das Objekt Wertschöpfungs-Standort-Kombination und stellt als ein Ereignis, das nur zu einer bestimmten Wahrscheinlichkeit eintritt, ein Risiko dar.

Das Kriterium **Anlaufzeiten und -kosten/Aufwand des Produktionsanlaufs** betrifft alle Objekttypen. Dabei gilt es zu hinterfragen, ob bzw. wie gut eine bestimmte Wertschöpfungs-Standort-Zuordnung oder Interdependenz in der Lage ist, einen Anlauf durchzuführen. Dieses Kriterium stellt für Objekte, die mit Sicherheit immer wieder Anläufen ausgesetzt sind, eine Erfolgsposition dar. Allerdings können ebenso Objekte existieren, die in der Regel nicht für Anläufe, sondern erst nach dem Hochlauf in der Phase der stabilen Produktion eingesetzt werden. Für solche Objekte stellt die Durchführung eines Anlaufs ein Risiko dar, da dieses Ereignis in Ausnahmefällen für dieses Objekt eintreten kann. Damit kann das Kriterium in ein und derselben Auswertung sowohl als Erfolgsposition als auch als Risiko auftreten.

Qualifizierungs- und Trainingskosten/-aufwand bzw. Technologieanpassung fällt als qualitatives Kriterium **Qualifizierung und Training/Technologieanpassung** lediglich in der Wertschöpfungs-Standort-Kombination an und ist als internes Kriterium als Erfolgsposition abschätzbar. Die Kriterien **Kosten/Aufwand für den Netzwerkaufbau vor Ort, Führungsvorteile und neue Kooperationspotenziale mit Kunden, Kooperationspartner mit innovativen Ergänzungsprofil und Netzwerke außerhalb von Unternehmen** werden zu einem Kriterium *Kooperationspotenzial und Netzwerkaufbau* zusammengefasst. Dieses Kriterium betrifft die Wertschöpfungs-Standort-Kombination sowie die Beschaffungsmarktverbindung. In der Regel ist ein Unternehmen von diesem Kriterium in jedem Fall betroffen und da die jeweiligen Ausprägungen des Kriteriums in Erfahrung gebracht werden können, stellt das Kriterium eine Erfolgsposition dar. Für Unternehmen, die gewöhnlich ohne Partner aus-

kommen, kann das Kriterium ein Risiko bedeuten, wenn in nicht vorhersehbaren Fällen Partner benötigt werden, aber durch die geringe Möglichkeit der Kooperation und des Netzwerkaufbaus auf keine zurückgegriffen werden kann.

Vertrauen, Motivation und Konflikte (am deutschen Stammsitz) spielen bei allen Objekten eine Rolle. Sowohl bei den eigenen Wertschöpfungs-Standort-Kombinationen als auch bei der internen Zusammenarbeit ist das Kriterium abschätzbar und damit als Erfolgsposition einzuordnen. Für die Verbindung zum Beschaffungsmarkt ist das Kriterium bei bekannten Beschaffungsmärkten abschätzbar, bei neuen Interdependenzen kann es ein Risiko darstellen. Das Vertrauen des Kunden und das Konfliktmanagement zum Kunden hin sollten vor einer Standortverlagerung eruiert und als Erfolgsposition ermittelt werden. Da dieses Kriterium nicht in jedem Fall ermittelbar ist, bleibt ein Risiko bestehen, z. B. wenn ein Unternehmen sehr viele unterschiedliche und stetig neue Kunden bedient. Das Kriterium **Gebundenheit/Abhängigkeit** ist ein wichtiger Aspekt im Bezug auf den Beschaffungsmarkt. Als Erfolgsposition wird das Kriterium als *Unabhängigkeit* bezeichnet und der Interdependenz vom Beschaffungsmarkt zugeordnet. Das Kriterium *Abhängigkeit* kann auch ein Risiko bedeuten, das bewusst eingegangen wird in der Annahme, dass keine Ereignisse eintreten werden, die Nachteile einer Abhängigkeit zum Tragen bringen. Da die Absatzmärkte als gegeben angesehen und daher in jedem Fall bedient werden, kann bei der Interdependenz zum Absatzmarkt eine eventuelle Abhängigkeit vernachlässigt werden.

Die **Nähe zu innovativen Clustern und führenden FuE-Zentren** sowie die **Nähe Produktion zu FuE** werden parallel innerhalb eines Kriteriums betrachtet. Dieses kann sich sowohl auf die Nähe einer Wertschöpfungs-Standort-Zuordnung zur Eigenentwicklung als auch auf eine Interdependenz vom Beschaffungsmarkt beziehen. In beiden Fällen ist das Kriterium abschätzbar und als Erfolgsposition einzuordnen. Das Kriterium **Möglichkeiten zum Schutz von Technologien, Patenten, Lizenzen, Marken/Risiken für geistiges Eigentum** muss in den drei Objekttypen Wertschöpfungs-Standort-Zuordnung, Interdependenz vom Beschaffungsmarkt und Interdependenz zum Absatzmarkt berücksichtigt werden. Dieses Kriterium sagt zum einen aus, wie gut das Know-how aktuell am Produktionsort oder auf einer Verbindung zu den Partnern gegebenenfalls mithilfe von Maßnahmen geschützt werden kann und stellt somit eine Erfolgsposition dar. Zum anderen tritt es in Form der Risiken für geistiges Eigentum als Risiko auf. **Sprachbarrieren und Verständigungsprobleme** betreffen alle Interdependenzen, aber auch alle Wertschöpfungs-Standort-Kombinationen, die mit der Verwaltung des Stammhauses kommunizieren. Diese Auswirkungen sind ständig präsent, aber nicht immer abschätzbar. Daher wird das Kriterium als *sprachliche Verständigung* sowohl als Erfolgsposition als auch als Risiko eingeordnet.

Das Kriterium **Mitarbeiterqualifikation** betrifft ausschließlich die Wertschöpfungs-Standort-Kombinationen und tritt abschätzbar als Erfolgsposition auf. Analog geht das Kriterium **Gesamtwirtschaftliche Indikatoren/konjunkturelle und politische Entwicklun-**

gen/ Wirtschaftsklima unter der Annahme, dass die Absatzmärkte vorgegeben sind, als Erfolgsposition *wirtschaftliche Entwicklung* der jeweiligen Wertschöpfungs-Standort-Zuordnungen ein. Die **Soziokultur/Mentalität** hat möglicherweise Einfluss auf die Durchführung und das Ergebnis einer Wertschöpfung an einem bestimmten Standort sowie auf die Güte aller Interdependenzen. Dabei kann der Einfluss für manche Unternehmen abschätzbar sein. Für andere Unternehmen ist der Einfluss unbekannt. Somit wird das Kriterium sowohl als Erfolgsposition als auch als Risiko in alle vier Objekttypen eingeordnet. Die **Innovationsfähigkeit** betrifft sowohl die eigenen Wertschöpfungs-Standort-Kombinationen als auch die Interdependenz vom Beschaffungsmarkt. Intern stellt das Kriterium eine Erfolgsposition dar. Auf der Beschaffungsverbindung kann dieses sowohl als Erfolgsposition als auch als Risiko auftreten.

Das Kriterium **Flexibilität bei der Produktpassung** entspricht dem Kriterium *Produktionsflexibilität* im Sinne der Produktvariabilität und ist daher über dieses Kriterium aus den Ansätzen der Wertschöpfungsverteilung bereits abgedeckt. Das Kriterium **Werteverfall** hängt direkt am Kriterium *Bestände* aus den Ansätzen der Wertschöpfungsverteilung. Daher wird der Werteverfall analog zum Bestand als Erfolgsposition einer Wertschöpfungs-Standort-Kombination sowie einer internen Interdependenz und als Erfolgsposition und Risiko der Interdependenzen vom Beschaffungsmarkt sowie zum Absatzmarkt eingeordnet. Bei allen Interdependenzen können mehr oder weniger Möglichkeiten zur **Nutzung unterschiedlicher Transportmodi** bestehen, die in jedem Fall in Erfahrung zu bringen sind. Daher stellt dieses Kriterium eine Erfolgsposition aller Interdependenzen dar. Das Kriterium **Verfügbarkeit und Qualität von Führungskräften** ist ebenso wie die **Attraktivität eines Standorts für die Mitarbeiter** im Kriterium *Zugang zu Arbeitskräften/Verfügbarkeit von Arbeitskräften* aus den Ansätzen der Wertschöpfungsverteilung bzw. *Mitarbeiterqualifikation* enthalten.

Streiks müssen nicht in jedem Fall eintreten, so dass dieses Kriterium zu den Risiken zählt. Dabei betrifft das Kriterium alle Objekttypen. Das Kriterium **Korruption** ist analog zur *Kriminalität* aus den Ansätzen der Wertschöpfungsverteilung als Erfolgsposition und Risiko aller Objekttypen einzuordnen. Das Kriterium **Distanz** wird als Erfolgsposition allen Interdependenzen zugeordnet. **Aufwendungen für die Disposition** fallen sowohl bei der Planung der Wertschöpfung als auch für die interne und externe Materialbeschaffung an. Bei allen drei Objekttypen Wertschöpfungs-Standort-Zuordnung, interne Interdependenz und Interdependenz vom Beschaffungsmarkt kann der Aufwand abgeschätzt und als Erfolgsposition eingeordnet werden.

Das Kriterium **Veränderungen in den Abnehmerbranchen** tritt innerhalb der Risikofaktoren differenziert auf, so dass es an dieser Stelle übersprungen wird. Das **Risiko durch Veränderungen in den gesetzlichen oder politischen Rahmenbedingungen** stellt das Risikopendant zu den *politisch-rechtlichen Rahmenbedingungen* aus den Ansätzen der Wertschöpfungsverteilung dar. Diese betreffen in spezifischer Form alle vier Objekttypen. Das **Klima** betrifft alle vier Objekttypen, in die das Kriterium als Erfolgsposition eingeht. Wenn die

Entsorgung nicht über Kosten quantifizierbar ist, kann dieses Kriterium als Erfolgsposition einer Wertschöpfungs-Standort-Kombination auftreten.

Das **Verhalten der öffentlichen Verwaltung oder Entscheidungsträger** bezieht sich in erster Linie auf den Objekttyp Wertschöpfungs-Standort-Kombination und ist in der Regel in Erfahrung zu bringen. Das Kriterium **Planungssicherheit** ist über das bereits behandelte Kriterium *Zuverlässigkeit* aus den Ansätzen der Wertschöpfungsverteilung abgedeckt. Die **Modernität** spielt sowohl bei einer Wertschöpfungs-Standort-Kombination als auch in der Interdependenz vom Beschaffungsmarkt eine Rolle und ist in beiden Fällen abschätzbar als Erfolgsposition einzuordnen.

Damit wurden alle in Kapitel 3.5.1 identifizierten Kriterien der Standortplanung eingeordnet.

Gestaltungskriterien des Risikomanagements

Die einzuordnenden Kriterien aus dem Risikomanagement sind in Tabelle 3.11 aus Kapitel 3.5.2 dargestellt. Diese untergliedern sich auf aggregierter Ebene in Risiken innerhalb eines fokalen Unternehmens, Risiken außerhalb eines fokalen Unternehmens, aber innerhalb der Supply Chain sowie Risiken außerhalb der Supply Chain. Dabei deuten Risiken innerhalb eines fokalen Unternehmens auf einen Bezug zu den Objekttypen Wertschöpfungs-Standort-Kombination und interne Interdependenz hin, während Risiken außerhalb eines fokalen Unternehmens und innerhalb der Supply Chain sich auf die Objekttypen Interdependenz vom Beschaffungsmarkt bzw. zum Absatzmarkt beziehen. Bei Risiken außerhalb der Supply Chain handelt es sich in der Regel um allgemeine Risiken, die auf alle Objekttypen wirken.

Risiken innerhalb eines fokalen Unternehmens

Prozess-/Produktionsrisiken beziehen sich in der Regel lediglich auf den Objekttyp Wertschöpfungs-Standort-Kombination. Klassische Risiken stellen die **Verzögerung der Produktion** sowie der **erhöhte Kostenanfall in der Produktion** dar. Die Kriterien **Qualitätsmängel in der Produktion** und **Ramp-Up** wurden bereits in den vorangegangenen Abschnitten behandelt und werden analog als *Qualität/Qualitätsniveau/Ausschussquoten* bzw. *Anlaufzeiten und -kosten/Aufwand des Produktionsanlaufs* eingeordnet. Mit den Kriterien **mangelnde Liquidität** und **mangelhaftes Risikomanagement** geht eine Wertschöpfungs-Standort-Kombination im Fall unerwarteter Ereignisse, die Liquidität oder Risikomanagement erfordern, Risiken ein. Darüber hinaus stellt das Kriterium *mangelhaftes Risikomanagement* für alle anderen Objekttypen ein Risiko dar.

Steuerungs-/Planungs-/organisatorische Risiken betreffen in Form **ungenauer Planung und Steuerung** sowie **ungeeigneter Planung und Steuerung** beide Objekttypen der Wertschöpfungs-Standort-Kombination sowie der internen Interdependenz. Abhängig von Planungskompetenz und adäquater IT-Unterstützung an den jeweiligen Wertschöpfungs-Standort-Kombinationen bzw. für die entsprechenden internen Interdependenzen treten dort geringere

oder höhere Risiken auf. **Falsch geplante Losgrößen** zählen hingegen lediglich bei Wertschöpfungs-Standort-Zuordnungen zu den Risiken.

Innerhalb der *infrastrukturellen Risiken* stellt der **Ausfall eigener Produktionsanlagen/Ausfall in der Produktion** ein klassisches Risiko einer Wertschöpfungs-Standort-Zuordnung dar. Der **Ausfall/Risiken eigener IT-Infrastruktur** hingegen betrifft alle Objekttypen. Das Kriterium **Streik der Belegschaft/Arbeitskämpfe** wurde bereits im Abschnitt zu den Standortfaktoren behandelt und wird analog als Risiko aller Objekttypen eingeordnet.

Risiken außerhalb eines fokalen Unternehmens und innerhalb der Supply Chain

Die *Versorgungs-/Beschaffungs-/lieferantenseitige Risiken* treffen ausschließlich auf die Interdependenzen vom Beschaffungsmarkt zu. Dabei stellen die Kriterien **Ausfall eines (Schlüssel-)lieferanten/Ausfall in der Beschaffung**, **Verzögerung in der Beschaffung** sowie **Anstieg der Beschaffungskosten** reine Risiken dar – ebenso wie die **Risiken bei der Lieferantenauswahl**. **Kapazitätsbeschränkungen der Beschaffungsmärkte** können bekannt sein und damit ein Unternehmen in einem abschätzbaren Umfang betreffen. Darüber hinaus können Kapazitätsbeschränkungen in unerwarteter Form auftreten. Daher stellt dieses Kriterium sowohl eine Erfolgsposition als auch ein Risiko der Beschaffungsinterdependenz dar. Etliche Kriterien sind bereits über Kriterien aus der Wertschöpfungsverteilung und Standortplanung abgedeckt. Die **Qualitätsmängel beschaffter Teile/Beschaffungsqualität** sind in dem Kriterium *Lieferperformance/Logistikleistung* der Interdependenz vom Beschaffungsmarkt enthalten. Das Kriterium **mangelnde Fähigkeit, Änderungen oder Innovationen zu übernehmen** ist über die Kriterien *Produktions-, Lieferterminflexibilität* und *Innovationsfähigkeit* repräsentiert; das Kriterium **Abhängigkeit von Lieferanten** ist im Kriterium *Unabhängigkeit* bzw. *Abhängigkeit* enthalten. Analog verhält sich das Kriterium **opportunistisches Verhalten von Lieferanten**, das als Erfolgsposition und Risiko einer Beschaffungsverbindung eingeordnet wird. Auch wenn das **Lagerrisiko** den Beschaffungsrisiken zugeordnet ist, tritt dieses ebenso bei allen anderen Objekttypen auf. Dort werden Bestände mit einem Lagerrisiko vorgehalten, um beispielsweise Prozessunsicherheiten in den internen Interdependenzen oder der Produktion auszugleichen oder um auf kurzfristige Bestellungen von Kunden zu reagieren.

Nachfrage-/Absatz-/kundenseitige Risiken fokussieren auf die Interdependenzen zum Absatzmarkt. Da die Absatzmärkte vorgegeben sind und mit deren Gegebenheiten umgegangen werden muss, sind einige dieser Risiken vernachlässigbar. Hierzu gehören die Kriterien **modische oder saisonale Nachfrageänderungen**, **Abweichung der Vorhersage vom tatsächlichen Bedarf**, **Produkthaftung** und **mangelnde Liquidität des Kunden**. Die beiden erstgenannten Kriterien führen zu einem neuen Kriterium *Umgang mit unerwarteten oder stark schwankenden Kundennachfragen*, das nicht nur die verschiedenen Absatzverbindungen, sondern auch alle Objekte der anderen Typen betrifft. Bei dem Kriterium handelt es sich um eine Erfolgsposition, wenn bekannt ist, dass die Kundennachfrage stark schwankt. Andernfalls stellt sich

die Frage, ob das Unternehmen für dieses Ereignis vorbereitet ist oder ein hohes Risiko beim Umgang mit unerwarteten oder stark schwankenden Kundennachfragen besteht. Der **Ausfall des Produktverkaufs** ist in der Regel ebenfalls als gegeben hinzunehmen. Allerdings können spezifische Interdependenzen zum Absatzmarkt dieses Risiko begünstigen, z. B. bei einer Standortwahl, mit der der Kunde nicht einverstanden ist. Das **Risiko bei der Produktlagerung** ist bereits durch das in allen Objekttypen berücksichtigte Kriterium *Lagerrisiko* abgedeckt.

Die *Lieferrisiken* beziehen sich auf die Lieferung zum Kunden und lassen sich daher den Absatzverbindungen zuordnen. Dabei treten die Kriterien **Qualitätsmängel bei der Belieferung des Kunden**, **Verzögerung bei der Belieferung des Kunden**, **Ausfall bei der Belieferung des Kunden** und **erhöhter Kostenanfall bei der Belieferung des Kunden** als reine Risiken auf. *Rückführungsrisiken* hingegen können in Form von **Qualitätsmängeln bei der Rückführung**, **Verzögerung bei der Rückführung**, **Ausfall in der Rückführung** sowie **erhöhter Kostenanfall bei der Rückführung** auf allen Interdependenzen auftreten.

Allgemeine Netzwerkrisiken weisen auf Risiken in der Zusammenarbeit und damit in den Interdependenzen hin. Dabei stellt die **Störung/Ausfall fremder IT-Infrastruktur** ein Risiko ausschließlich der externen Interdependenz dar, da die interne Interdependenz von eigener IT-Infrastruktur gesteuert wird. Somit wird das Kriterium als Risiko der Interdependenz vom Beschaffungsmarkt sowie der Interdependenz zum Absatzmarkt zugeordnet. Ein Ausfall der IT-Infrastruktur des Kunden in der Verbindung zum Absatzmarkt wird als Gegebenheit gesehen, mit der umgegangen werden muss. Daher wird für diese Interdependenz das Risiko in *Umgang mit Störung/Ausfall fremder IT-Infrastruktur* umbenannt. Das Risiko **Mängel im Vertrag** ist ausschließlich für die Interdependenz vom Beschaffungsmarkt relevant. Intern werden keine Verträge geschlossen. Den Mängeln im Vertrag mit den Kunden ist das Unternehmen gleichermaßen ausgesetzt, unabhängig davon, welche exakte Absatzverbindung besteht. **Mängel in der Zusammenarbeit** können in allen drei Interdependenzen als Risiko sowie auch als Erfolgsposition in Form der *Güte der Zusammenarbeit* auftreten – sofern bekannt ist, bei welchen Interdependenzen Mängel in welchem Ausmaß bzw. eine hohe Güte der Zusammenarbeit bestehen. Die **Weitergabe von geistigem Eigentum** entspricht dem Kriterium *Risiken für geistiges Eigentum* aus der Standortplanung und ist bereits eingeordnet.

Risiken außerhalb der Supply Chain

Umfeld-/Katastrophen-/Umweltrisiken betreffen in der Regel alle Objekttypen. Dabei stellt das Kriterium **Naturkatastrophen** ein Risiko dar. Das Kriterium **Terroranschläge** wird mit den Kriterien **politische Instabilität**, **Bürgerkriege** und **volkswirtschaftliche Schäden** zum Kriterium *politische Instabilität* zusammengefasst, das bereits bei den Kriterien aus den Ansätzen zur Wertschöpfungsverteilung als Erfolgsposition und Risiko aller Objekttypen spezifiziert wurde. Ebenso verhält es sich mit dem Kriterium **Veränderungen gesetzlicher Vorschriften**, das im Umfang der Kriterien der Standortplanung enthalten ist. Das Kriterium **Marktrisiken** kann vernachlässigt werden, da dieses durch die definierten Absatzmärkte

und -zahlen keinen Einfluss auf die Wertschöpfungsverteilung hat und durch die gegebenen Produktionsmengen mehrerer zukünftiger Jahre bereits abgebildet ist. Das Kriterium **Währungsrisiko** betrifft alle Interdependenzen und stellt neben der Erfolgsposition *Wechselkurse* das entsprechende Risiko dar.

Bürokratische/organisatorische Risiken umfassen insbesondere **administrative Hindernisse** wie beispielsweise Zoll- oder Handelsbeschränkungen bzw. Import- oder Exportkontrollen. Diese betreffen analog zu den Veränderungen gesetzlicher Vorschriften alle Objekttypen und stellen als unvermeidliche Gegebenheit eine Erfolgsposition dar. Die **Einführung von Straßenbenutzungsgebühren** betrifft alle Interdependenzen und kann bei bereits erfolgter Bekanntgabe als Erfolgsposition sowie bei Ungewissheit als Risiko auftreten. Entsprechend stellen **umweltrechtliche Regelungen** wie die Einführung von Rücknahmesystemen sowohl eine Erfolgsposition als auch ein Risiko aller Objekttypen dar. Das Kriterium **Betrug** wird in erster Linie als *Korruption* verstanden und diesem Kriterium der Standortplanung zugeordnet.

Damit wurden alle in Kapitel 3.5.2 identifizierten Kriterien aus dem Risikomanagement eingeordnet.

D. Zuordnung quantitativer und qualitativer Kriterien zu Aktivitäten der Wertschöpfung

Aufbauend auf der in Anhang C erarbeiteten Einordnung der Kriterien als Erfolgsposition bzw. Risiko werden in diesem Kapitel die Erfolgspositionen und Risiken den Wertschöpfungsaktivitäten der jeweiligen Typen von Produktionsnetzwerk-Objekten zugeordnet.

Gestaltungskriterien der Wertschöpfungs-Standort-Kombination

Kriterien aus den Ansätzen der Wertschöpfungsverteilung

Die **Produktentwicklungszeit** betrifft ausschließlich die Aktivität Forschung und Entwicklung. Die Auftragsbearbeitung umfasst die Aktivitäten Organisation, Produktion, gegebenenfalls die Forschung und Entwicklung sowie interne Logistik. Da sich die Aktivität Organisation im Sinne der Planung und Steuerung in erster Linie auf die gesamte Auftragsbearbeitung bezieht, wird die **Auftragsbearbeitungszeit** ausschließlich der Organisation zugeordnet. Im Gegensatz dazu kann sich das Kriterium **Prozessdauern** auf jeden einzelnen Prozess und damit auf verschiedene Aktivitäten beziehen, so dass dieses den Aktivitäten Produktion, interne Logistik und Organisation und Controlling zugeordnet wird. Des Weiteren ist die Forschung und Entwicklung z. B. bei Anpasskonstruktionen, die nicht über das Kriterium Produktentwicklungszeit abgedeckt sind, sowie die Personalwirtschaft im Sinne des Prozesses der Mitarbeitergewinnung betroffen. In der Annahme, dass die Dauer der Entsorgung keinen entscheidenden Einfluss auf die Produktion hat, werden zeitbezogene Kriterien für diese Aktivität vernachlässigt. Die **Durchlaufzeit** ist ausschließlich ein Kriterium der Produktion, wohingegen die **Reaktionszeit** wieder alle Prozesse und damit die Aktivitäten Produktion, interne Logistik, Forschung und Entwicklung, Personalwirtschaft sowie Organisation und Controlling berührt. **Termineinhaltung** ist für Produktion, interne Logistik, Forschung und Entwicklung sowie Organisation relevant. In der Personalwirtschaft bestehen meist keine verbindlichen Termine. Das Kriterium **Zuverlässigkeit** wird den Aktivitäten Produktion, interne Logistik, Personalwirtschaft, Organisation sowie Infrastruktur zugeordnet. Da bei der unterstützenden Aktivität Forschung und Entwicklung angenommen wird, dass diese im Ursprung bestehen bleibt und

sich ausschließlich die Beziehungen zu den Primäraktivitäten Beschaffung, Produktion und Absatz verändern, bleiben deren grundlegende Eigenschaften wie z. B. die Zuverlässigkeit erhalten. Damit ergeben sich in diesen Kriterien keine Veränderungen, so dass diese nicht berücksichtigt werden müssen. Die bisher zugeordneten Kriterien wie z. B. die Termineinhaltung werden von der veränderten Zusammenarbeit beeinflusst und können sich dadurch verändern.

Da die **Lieferperformance/Logistikleistung** sowie die **Lieferterminflexibilität** parallel zur Auftragsbearbeitungszeit für das Gesamtergebnis der Aktivitäten Produktion, interne Logistik, Forschung und Entwicklung sowie Organisation steht, werden diese ausschließlich beim Endglied Organisation aufgehängt. Die Kriterien **Produktionsflexibilität, Produktivität, Kapazitätsauslastung** sowie **Mobilität von Produkten, Prozessen, Personal, Produktionsvolumen, Technologien, Produktionskonzepten** sind reine Kriterien der Produktion. Das Kriterium **Qualität/Qualitätsniveau/Ausschussquoten** betrifft jede einzelne Aktivität. Das Kriterium **Standortqualifikation/-kompetenz** hingegen wird bei der Aktivität Forschung und Entwicklung ausgenommen, da diese in ihrem Ursprung erhalten bleibt und sich somit deren Kompetenz nicht verändert. Zudem ist das Kriterium für die Infrastruktur nicht relevant. **Tarifvereinbarungen/Lohnkosten/demografischer Wandel** beeinflussen in erster Linie die Personalwirtschaft; der **Zugang zu Arbeitskräften/Verfügbarkeit von Arbeitskräften** betrifft dagegen fast alle Aktivitäten. Da die Beschaffung von Arbeitskräften in der Verantwortung der Personalwirtschaft liegt, wird das Kriterium über die alleinige Zuordnung zur Personalwirtschaft für alle Bereiche abgedeckt. Die Aktivitäten Produktion, interne Logistik sowie Organisation können mit **Beständen** arbeiten. Das Kriterium **Infrastruktur** ist über die Wertschöpfungsaktivität Infrastruktur abgedeckt und wurde bereits durch die Kriterien *Zuverlässigkeit* und *Qualität/Qualitätsniveau* spezifiziert. Des Weiteren existieren folgende Kriterien, die sich auf alle Aktivitäten in ihrer Gesamtheit beziehen: **Wahrgenommener Wert des Produkts, Image, Einhaltung der Vorschriften und sozialen Standards, Mitarbeiterzufriedenheit, Gewinnbesteuerung/Subventionen/sozio-politische Faktoren, Local-Content-Bestimmungen, Wettbewerber, regulatorische Rahmenbedingungen, Strategie-Opportunität** sowie **externes Wissen**.

Diese werden ergänzt um die Kriterien **politische Stabilität bzw. Instabilität, Kriminalität** und **regionale Unterschiede**, die im Gegensatz zu den bereits genannten reinen Erfolgspositionen als Erfolgsposition sowie als Risiko auftreten können.

Kriterien der Standortplanung

Die Kriterien der Standortplanung stellen in ihrer Mehrheit Erfolgspositionen dar. Das Kriterium *Qualifizierung und Training/Technologieanpassung* wird als **Qualifizierung und Training** analog der *Verfügbarkeit von Arbeitskräften* alleinig der Personalwirtschaft zugeordnet. Die **Technologieanpassung** betrifft die Produktion. Das Kriterium **Nähe der Produktion zu Forschung und Entwicklung/Nähe zu innovativen Clustern und FuE-Zentren** betrifft die Forschung und Entwicklung einer Wertschöpfungsstufe. Die **Mitarbeiterqualifi-**

kation wird ähnlich der Kriterien *Qualifizierung und Training* sowie *Verfügbarkeit von Arbeitskräften* alleinig der Personalwirtschaft zugeordnet. Die **Innovationsfähigkeit** ist bei der Aktivität der Forschung und Entwicklung zu berücksichtigen. Das Kriterium des **Werteverfalls** hingegen betrifft analog zu den *Beständen* die Aktivitäten Produktion, interne Logistik sowie Organisation. **Aufwendungen für die Disposition** schlagen in der Organisation auf. Das **Klima** kann die Produktion, Entsorgung, interne Logistik, Forschung und Entwicklung sowie die Infrastruktur beeinflussen. Die **Entsorgung** tritt als eigenständige Wertschöpfungsaktivität auf und kann daher als Kriterium vernachlässigt werden. Die **Modernität** betrifft ähnlich der Qualität alle Aktivitäten einzeln. Dabei ist die Modernität in der Aktivität Personalwirtschaft als Modernität des Arbeitskräftemarkts zu verstehen. Auch hier existieren wiederum Kriterien, die sich auf alle Aktivitäten in ihrer Gesamtheit beziehen. Hierzu gehören die Kriterien **Vertrauen/Motivation/Konflikte, wirtschaftliche Entwicklung und Verhalten der öffentlichen Verwaltung oder Entscheidungsträger**.

In der Standortplanung treten des Weiteren Kriterien auf, die sowohl als Erfolgsposition als auch als Risiko eingestuft wurden. Das Kriterium **Anlaufzeiten und -kosten/Aufwand des Produktionsanlaufs** kann als Gesamtergebnis der Aktivitäten Produktion, interne Logistik, Forschung und Entwicklung sowie Organisation stehen. Daher wird dieses Kriterium ausschließlich dem Endglied Organisation zugeordnet. Das Kriterium der **sprachlichen Verständigung** kann die Produktion, die Beauftragung der Entsorgung, die interne Logistik, die Zusammenarbeit mit der Forschung und Entwicklung, die Arbeit der Personalwirtschaft und insbesondere die Organisation betreffen. Alle Aktivitäten in ihrer Gesamtheit sind von den Kriterien **Kooperationspotenzial und Netzwerkaufbau, Möglichkeiten zum Schutz von Technologien/Patenten/Lizenzen/Marken** bzw. **Risiken für geistiges Eigentum, Soziokultur/Mentalität, Korruption** sowie **politisch-rechtliche Rahmenbedingungen** bzw. **Veränderungen in den gesetzlichen oder politischen Rahmenbedingungen** betroffen.

Als reine Risiken wurden aus der Standortplanung die Fluktuation von Arbeitskräften sowie Streiks identifiziert. Die **Fluktuation von Arbeitskräften** wird ähnlich der Mitarbeiterqualifikation alleinig der Personalwirtschaft zugeordnet. **Streiks** betreffen alle Aktivitäten in ihrer Gesamtheit.

Kriterien aus dem Risikomanagement

Weitere reine Risiken wurden innerhalb der Disziplin des Risikomanagements identifiziert. Die Risiken **Verzögerung der Produktion, erhöhter Kostenanfall in der Produktion** sowie **Ausfall eigener Produktionsanlagen/Ausfall in der Produktion** gehören zur Aktivität Produktion. Die Risiken **ungenauere Planung und Steuerung, ungeeignete Planung und Steuerung** und **falsch geplante Losgrößen** treten über die Organisation auf, auch wenn diese weitere Aktivitäten betreffen. Nach dem gleichen Prinzip wird das Kriterium **Ausfall/Risiken eigener IT-Infrastruktur** ausschließlich der Infrastruktur zugeordnet. Das **Lagerrisiko** wird

analog zu den *Beständen* den Aktivitäten Produktion, interne Logistik und Organisation zugeordnet. Des Weiteren existieren auch hier Risiken, die alle Aktivitäten betreffen. Diese sind **mangelnde Liquidität, mangelhaftes Risikomanagement** sowie **Naturkatastrophen**.

Auch im Risikomanagement treten Kriterien auf, die sowohl als Erfolgsposition als auch als Risiko eingeordnet werden. Beim **Umgang mit unerwarteten oder stark schwankenden Kundennachfragen** sind die Aktivitäten Produktion, interne Logistik und Organisation beteiligt, so dass das Kriterium dem Endglied Organisation zugeordnet wird. Das Kriterium **umweltrechtliche Regelungen** wird den Aktivitäten Produktion, Entsorgung, interne Logistik und Infrastruktur zugeordnet. Personalwirtschaft und Organisation sind davon nicht betroffen. Innerhalb der Forschung und Entwicklung spielen umweltrechtliche Regelungen eine immer grö-

	Aktivitäten	Erfolgsposition	Risiken
Wertschöpfungs-Standort-Kombination	Produktion	Prozessdauern, Durchlaufzeit, Reaktionszeit, Termineinhaltung, Zuverlässigkeit, Produktionsflexibilität, Produktivität, Kapazitätsauslastung, Mobilität von Produkten / Prozessen / Personal / Technologien / ..., Qualität / Qualitätsniveau, Standortqualifikation / -kompetenz, Bestände, Technologieanpassung, Werteverfall, Klima, Modernität, sprachliche Verständigung,	Sprachliche Verständigung, Verzögerung der Produktion, erhöhter Kostenanfall in der Produktion, Ausfall eigener Produktionsanlagen / Ausfall in der Produktion, Lagerrisiko, umweltrechtliche Regelungen
	Entsorgung	Qualität / Qualitätsniveau, Standortqualifikation / -kompetenz, Klima, Modernität, sprachliche Verständigung, umweltrechtliche Regelungen	Sprachliche Verständigung, umweltrechtliche Regelungen
	Interne Logistik	Prozessdauern, Reaktionszeit, Termineinhaltung, Zuverlässigkeit, Qualität / Qualitätsniveau, Standortqualifikation / -kompetenz, Bestände, Werteverfall, Klima, Modernität, sprachliche Verständigung, umweltrechtliche Regelungen	Sprachliche Verständigung, Lagerrisiko, umweltrechtliche Regelungen
	Forschung und Entwicklung	Produktentwicklungszeit, Prozessdauern, Reaktionszeit, Termineinhaltung, Qualität / Qualitätsniveau, Nähe Produktion zu FuE / Nähe zu innovativen Clustern und FuE-Zentren, Innovationsfähigkeit, Klima, Modernität, sprachliche Verständigung	Sprachliche Verständigung
	Personalwirtschaft	Prozessdauern, Reaktionszeit, Zuverlässigkeit, Qualität / Qualitätsniveau, Standortqualifikation / -kompetenz, Tarifvereinbarungen / Lohnkosten / demografischer Wandel, Zugang zu Arbeitskräften / Verfügbarkeit von Arbeitskräften, Qualifizierung und Training, Mitarbeiterqualifikation, Modernität, sprachliche	Sprachliche Verständigung, Fluktuation von Arbeitskräften
	Organisation und Controlling (inkl. Produktion, interne Logistik, ggfls. Forschung und Entwicklung)	Auftragsbearbeitungszeit, Prozessdauern, Reaktionszeit, Termineinhaltung, Zuverlässigkeit, Lieferperformance / Logistikleistung, Lieferterminflexibilität, Qualität / Qualitätsniveau, Standortqualifikation / -kompetenz, Bestände, Werteverfall, Aufwendungen für die Disposition, Modernität, Anlaufzeiten und -kosten / Aufwand des Produktionsanlaufs, sprachliche Verständigung, Umgang mit unerwarteten oder stark schwankenden	Anlaufzeiten und -kosten / Aufwand des Produktionsanlaufs, sprachliche Verständigung, ungenaue Planung und Steuerung, ungeeignete Planung und Steuerung, falsch geplante Losgrößen, Lagerrisiko, Umgang mit unerwarteten oder stark schwankenden Kundennachfragen
	Infrastruktur	Zuverlässigkeit, Qualität / Qualitätsniveau, Klima, Modernität, umweltrechtliche Regelungen	Ausfall / Risiken eigener IT-Infrastruktur, umweltrechtliche Regelungen
	Alle Aktivitäten	Wahrgenommener Wert des Produkts, Image, Einhaltung der Vorschriften und sozialen Standards, Mitarbeiterzufriedenheit, Gewinnbesteuerung / Subventionen / sozio-politische Faktoren, Local-Content-Bestimmungen, politische Stabilität, Wettbewerber, regulatorische Rahmenbedingungen, Strategie-Opportunität, externes Wissen, Kriminalität, regionale Unterschiede, Vertrauen / Motivation / Konflikte, wirtschaftliche Entwicklung, Verhalten der öffentlichen Verwaltung oder Entscheidungsträger, Kooperationspotenzial und Netzwerkaufbau, Möglichkeiten zum Schutz von Technologien / Patenten / Lizenzen / Marken, Soziokultur / Mentalität, Korruption,	Politische Instabilität, Kriminalität, regionale Unterschiede, Kooperationspotenzial und Netzwerkaufbau, Risiken für geistiges Eigentum, Soziokultur / Mentalität, Korruption, Veränderungen in den gesetzlichen oder politischen Rahmenbedingungen, Streiks, mangelnde Liquidität, mangelhaftes Risikomanagement, Naturkatastrophen, Betrug

Tabelle D.1.: Zuordnung qualitativer Kriterien der Wertschöpfungs-Standort-Kombinationen zu den Wertschöpfungsaktivitäten

ßere Rolle. Da diese wiederum eine grundlegende Eigenschaft der Forschung und Entwicklung darstellen, die sich durch andere Formen der Zusammenarbeit nicht verändert, kann dieses Kriterium für diese Aktivität vernachlässigt werden. Aus dem Kriterium *Korruption/Betrug* wird der **Betrug** analog zur *Korruption* der Gesamtheit aller Aktivitäten zugeordnet.

Dieselbe Zuordnung erfährt die reine Erfolgsposition **administrative Hindernisse**.

Das Ergebnis der beschriebenen Zuordnung von quantitativen und qualitativen Kriterien von Wertschöpfungs-Standort-Kombinationen zu den Aktivitäten der Wertschöpfung ist in Tabelle D.1 visualisiert.

Gestaltungskriterien interner Interdependenzen

Kriterien aus den Ansätzen der Wertschöpfungsverteilung

Bei den Kriterien aus den Ansätzen der Wertschöpfungsverteilung handelt es sich vorwiegend um Erfolgspositionen. Die meisten dieser Erfolgspositionen traten bereits beim Objekttyp der Wertschöpfungs-Standort-Kombination auf, so dass die für diesen Objekttyp bereits durchgeführte Zuordnung Orientierung für die folgende Zuordnung gibt: Die **Reaktionszeit** sowie die **Termineinhaltung** interner Interdependenzen können sich neben Logistik auf Forschung und Entwicklung sowie Organisation beziehen, deren Zeiten sich je nach Entwicklungszusammenhang bzw. Entfernung und Güte der Zusammenarbeit zweier aufeinanderfolgender Wertschöpfungsstufen unterscheiden. Die **Zuverlässigkeit** kann von der Logistik, der Organisation und der Infrastruktur bewertet werden. Die Zuverlässigkeit der Forschung und Entwicklung wurde als grundlegende, sich nicht ändernde Eigenschaft angenommen und daher vernachlässigt. Die **Lieferperformance/Logistikleistung** und **Lieferterminflexibilität** werden dem Endglied Organisation zugeordnet. Das **Image** sowie die **Mitarbeiterzufriedenheit** sind das Ergebnis aller Wertschöpfungsaktivitäten. Ebenso bezieht sich die **Einhaltung der Vorschriften und sozialen Standards** auf alle Aktivitäten in ihrer Gesamtheit. **Bestände** können analog zum Objekttyp Wertschöpfungs-Standort-Kombination in Logistik und Organisation eingesetzt werden.

Als spezifische Kriterien der internen Interdependenz treten die Kriterien Zölle und Wechselkurse auf. **Zölle** werden eindeutig der Logistik zugeordnet, während **Wechselkurse** über das Controlling verwaltet werden.

Kriterien, die sowohl als Erfolgsposition als auch als Risiko auftreten, wurden auszugsweise beim Objekttyp Wertschöpfungs-Standort-Kombination behandelt. Darunter fallen die Kriterien **politische Stabilität bzw. Instabilität**, **Kriminalität** sowie **regionale Unterschiede**, die analog allen Aktivitäten in ihrer Gesamtheit zugeordnet werden.

Ein für die interne Interdependenz spezifisches Kriterium, das sowohl als Erfolgsposition als auch als Risiko auftritt, ist die **Koordination**. Dieses betrifft alle Aktivitäten der internen Interdependenzen einzeln.

Kriterien der Standortplanung

Die meisten Kriterien interner Interdependenzen aus den Ansätzen der Standortplanung waren bereits dem Objekt Wertschöpfungs-Standort-Kombination zugeordnet. Die Erfolgsposition **Vertrauen/Motivation/Konflikte** betrifft alle Aktivitäten in ihrer Gesamtheit. Das Kriterium des **Werteverfalls** hingegen betrifft analog zu den *Beständen* die Aktivitäten Logistik sowie Organisation. Die **Aufwendungen für die Disposition** werden der Organisation zugeordnet. Das **Klima** kann die Logistik, Forschung und Entwicklung sowie die Infrastruktur beeinflussen.

Als spezifische Erfolgspositionen interner Interdependenzen werden die Kriterien **nichttarifäre Handelsbarrieren** sowie **Nutzung unterschiedlicher Transportmodi** der Logistik sowie der Organisation zugeordnet. Die **Distanz** beeinflusst alle Aktivitäten in ihrer Gesamtheit.

Ebenfalls spezifisch für interne Interdependenzen ist das Kriterium **Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke**, das sowohl eine Erfolgsposition als auch ein Risiko darstellen kann. Dieses Kriterium betrifft Logistik, Organisation sowie Infrastruktur.

Die weiteren Kriterien, die sowohl eine Erfolgsposition als auch ein Risiko darstellen können, werden wieder in Anlehnung an die Zuordnung innerhalb der Wertschöpfungs-Standort-Kombinationen eingeordnet. Hierbei wird das Kriterium **Anlaufzeiten und -kosten/Aufwand des Produktionsanlaufs** dem Endglied Organisation zugeordnet. Die **sprachliche Verständigung** betrifft Logistik, Forschung und Entwicklung sowie Organisation, während sich die Kriterien **Soziokultur/Mentalität**, **Korruption** sowie **politisch-rechtliche Rahmenbedingungen** bzw. **Veränderungen in den gesetzlichen oder politischen Rahmenbedingungen** auf alle Aktivitäten in ihrer Gesamtheit beziehen.

Das Risiko **Streiks** betrifft ebenso alle Aktivitäten in ihrer Gesamtheit.

Kriterien aus dem Risikomanagement

Auch die Kriterien interner Interdependenzen aus dem Risikomanagement traten zum Großteil bereits im Objekt Wertschöpfungs-Standort-Kombination auf. Die reinen Risiken **mangelhaftes Risikomanagement** und **Naturkatastrophen** werden analog zur Wertschöpfungs-Standort-Kombination allen Aktivitäten in ihrer Gesamtheit zugeordnet. Dahingegen werden die Risiken **ungenauere Planung und Steuerung** sowie **ungeeignete Planung und Steuerung** ausschließlich der Organisation zugeordnet, während sich der **Ausfall/Risiken eigener IT-Infrastruktur** ausschließlich auf die Infrastruktur bezieht. Ein **Lagerrisiko** kann in der Logistik oder durch die Organisation auftreten.

Neu betrachtet werden innerhalb der reinen Risiken die Rückführungsrisiken **Qualitätsmängel bei der Rückführung**, **Verzögerung bei der Rückführung**, **Ausfall in der Rückführung** sowie **erhöhter Kostenanfall bei der Rückführung**, die sich jeweils auf die interne Interdependenz in ihrer Gesamtheit beziehen.

	Aktivitäten	Erfolgsposition	Risiken
Interne Interdependenz	Logistik	Reaktionszeit, Termineinhaltung, Zuverlässigkeit, Nachhaltigkeit, Umwelt, Zölle	
	Forschung und Entwicklung	Reaktionszeit, Termineinhaltung, Koordination, Klima, sprachliche Verständigung	Koordination, sprachliche Verständigung
	Organisation und Controlling (inkl. Logistik, ggfls. Forschung und Entwicklung)	Reaktionszeit, Termineinhaltung, Zuverlässigkeit, Lieferperformance/Logistikleistung, Lieferterminflexibilität, Bestände, Koordination, Werteverfall, Aufwendungen für die Disposition, nichttarifäre Handelsbarrieren, Nutzung unterschiedlicher Transportmodi, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, Anlaufzeiten und -kosten / Aufwand des Produktionsanlaufs, sprachliche Verständigung, Umgang mit unerwarteten oder stark schwankenden Kundennachfragen, Güte der Zusammenarbeit, Einführung von	Koordination, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, Anlaufzeiten und -kosten / Aufwand des Produktionsanlaufs, sprachliche Verständigung, ungenaue Planung und Steuerung, ungeeignete Planung und Steuerung, Lagerrisiko, Umgang mit unerwarteten oder stark schwankenden Kundennachfragen, Mängel in der Zusammenarbeit, Einführung von Straßenbenutzungsgebühren, Währungsrisiko
	Infrastruktur	Zuverlässigkeit, Koordination, Klima, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, umweltrechtliche Regelungen	Koordination, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, Ausfall/Risiken eigener IT-Infrastruktur, umweltrechtliche Regelungen
	Alle Aktivitäten	Image, Mitarbeiterzufriedenheit, Einhaltung der Vorschriften und sozialen Standards, politische Stabilität, Kriminalität, regionale Unterschiede, Vertrauen / Motivation / Konflikte, Distanz, Soziokultur / Mentalität, Korruption, politisch-rechtliche Rahmenbedingungen, Betrug, administrative Hindernisse	politische Instabilität, Kriminalität, regionale Unterschiede, Soziokultur / Mentalität, Korruption, Veränderungen in den gesetzlichen oder politischen Rahmenbedingungen, Streiks, mangelhaftes Risikomanagement, Naturkatastrophen, Qualitätsmängel bei der Rückführung, Verzögerung bei der Rückführung, Ausfall in der Rückführung, erhöhter Kostenanfall bei der Rückführung,

Tabelle D.2.: Zuordnung qualitativer Kriterien interner Interdependenzen zu den Wertschöpfungsaktivitäten

Bei den Kriterien, die sowohl als Erfolgsposition als auch als Risiko auftreten können, kann sich die Zuordnung ebenfalls an der Handhabung des Kriteriums innerhalb der Wertschöpfungs-Standort-Kombinationen orientieren. Dazu gehören das Kriterium **Umgang mit unerwarteten oder stark schwankenden Kundennachfragen**, das dem Endglied der Organisation zugeordnet wird. Für das Kriterium **umweltrechtliche Regelungen** verbleiben die Aktivitäten Logistik und Infrastruktur. Der **Betrug** wird wiederum dem innerhalb der Standortfaktoren eingeordneten Kriterium der *Korruption* zugeordnet.

Eine der noch nicht beschriebenen Erfolgspositionen bzw. Risiken stellt die **Güte bzw. Mängel in der Zusammenarbeit** dar. Dieses Kriterium tritt in der Logistik, Forschung und Entwicklung sowie in der Organisation auf und wird dem Endglied Organisation zugeordnet. Darüber hinaus ist die **Einführung von Straßenbenutzungsgebühren** für die Logistik und die Organisation relevant. Das **Währungsrisiko** wird analog zu seiner entsprechenden Erfolgsposition *Wechselkurse* aus den Ansätzen der Wertschöpfungsverteilung dem Controlling zugeordnet.

Die reine Erfolgsposition **administrative Hindernisse** wird analog dem Objekt der Wertschöpfungs-Standort-Kombination der Gesamtheit aller Aktivitäten zugeordnet.

Das Ergebnis der beschriebenen Zuordnung von quantitativen und qualitativen Kriterien interner Interdependenzen zu den Aktivitäten der Wertschöpfung ist in Tabelle D.2 visualisiert.

Gestaltungskriterien der Interdependenzen vom Beschaffungsmarkt

Kriterien aus den Ansätzen der Wertschöpfungsverteilung

Ein Großteil der Kriterien der Beschaffungsmarktverbindungen aus den Ansätzen der Wertschöpfungsverteilung wurde bereits im Kontext der Kriterien der Wertschöpfungs-Standort-

Kombination oder der internen Interdependenzen behandelt. Die dort meist als reine Erfolgsposition auftretenden Kriterien stellen im Kontext der Interdependenzen vom Beschaffungsmarkt durch die Unsicherheit neuer, unbekannter Beschaffungsmärkte sowohl Erfolgspositionen als auch Risiken dar. Das Kriterium der **Produktentwicklungszeit** betrifft ausschließlich Forschung und Entwicklung. Die **Reaktionszeit** und **Termineinhaltung** betreffen jeweils Beschaffung, Logistik, Forschung und Entwicklung sowie Organisation. Die **Zuverlässigkeit** bezieht sich auf Beschaffung, Logistik, Organisation und Infrastruktur. Die **Lieferperformance/Logistikleistung** und **Lieferterminflexibilität** wird wieder dem Endglied der Organisation zugeordnet. Die **Produktionsflexibilität** bezieht sich in diesem Kontext auf Lieferanten und damit auf die Beschaffung. Auf alle Aktivitäten in ihrer Gesamtheit beziehen sich die Kriterien **Einhaltung der Vorschriften und sozialen Standards**, **Mitarbeiterzufriedenheit**, **politische Stabilität bzw. Instabilität**, **Kriminalität** sowie **regionale Unterschiede**, während die **Koordination** alle Aktivitäten einzeln betrifft. **Bestände** können sich analog zur Wertschöpfungs-Standort-Kombination sowohl auf die Logistik als auch auf die Organisation beziehen oder im Falle der Beschaffungsverbindung auf Art oder Güte der Beschaffung zurückzuführen sein.

Beschaffungsmarktspezifische Kriterien stellen ebenfalls größtenteils Kriterien dar, die abhängig vom Wissensstand entweder als Erfolgsposition oder als Risiko auftreten können. Das Kriterium der **Beschaffungszeit** wird der Aktivität Beschaffung zugeordnet, die das Endergebnis über die Aktivitäten Beschaffung, Logistik, Organisation und Infrastruktur darstellt. Die beiden Kriterien **Aufwand für Anpassung der Stücklisten und Materialspezifikation** sowie **komplexitätstreibende Wirkung auf Produktentwicklung und Ersatzteilwirtschaft** betreffen Forschung und Entwicklung. Letzteres hat zusätzlich Einfluss auf die Organisation. Die **Verfügbarkeit und Leistungsfähigkeit der Lieferantenmärkte** betrifft alle Aktivitäten in ihrer Gesamtheit.

Als spezifische Erfolgsposition der Beschaffungsmarktverbindung tritt das Kriterium **Lieferanten/globale Zuliefermärkte** auf, das ebenfalls alle Aktivitäten in ihrer Gesamtheit betrifft. Darüber hinaus wird der **Zugang zu Rohstoffen/verfügbare Rohstoffe** dem Endglied Beschaffung zugeordnet.

Analog zu den Kriterien der Wertschöpfungs-Standort-Kombination und der internen Interdependenzen beziehen sich die Kriterien **wahrgenommener Wert des Produkts**, **Image** sowie **Wettbewerber** auf alle Aktivitäten der Beschaffungsmarktverbindung, während **Zölle** der Logistik und Beschaffung sowie **Wechselkurse** dem Controlling und der Beschaffung zugeordnet werden.

Kriterien der Standortplanung

Die Kriterien aus den Ansätzen der Standortplanung werden gemäß den bereits behandelten Kriterien wie folgt zugeordnet: In erster Linie handelt es sich um Kriterien, die als Erfolgsposition sowie als Risiko auftreten. Das Kriterium **Zugriff auf eingespielte Vertriebswe-**

ge und -netzwerke erhält neben den Aktivitäten Logistik, Organisation und Infrastruktur Einfluss auf die Aktivität Beschaffung. Das Kriterium **Anlaufzeiten und -kosten/Aufwand des Produktionsanlaufs** wird als Gesamtergebnis der Aktivitäten Beschaffung, Logistik, Forschung und Entwicklung und Organisation der Aktivität Organisation zugeordnet. Die Kriterien **Kooperationspotenzial und Netzwerkaufbau, Vertrauen/Motivation/Konflikte, Möglichkeiten zum Schutz von Technologien/Patenten/Lizenzen/Marken** bzw. **Risiken für geistiges Eigentum, Soziokultur/Mentalität, Korruption** sowie **politisch-rechtliche Rahmenbedingungen** bzw. **Veränderungen in den gesetzlichen oder politischen Rahmenbedingungen** tangieren alle Aktivitäten einer Beschaffungsmarktverbindung in ihrer Gesamtheit. Die **sprachliche Verständigung** spielt bei den Aktivitäten Beschaffung, Logistik, Forschung und Entwicklung sowie Organisation jeweils eine bedeutende Rolle. Die **Innovationsfähigkeit** wiederum gilt es bei der Aktivität der Forschung und Entwicklung zu berücksichtigen. Der **Werteverfall** kann analog zu *Bestände* in Logistik, Organisation sowie Beschaffung auftreten.

Die reinen Erfolgspositionen **nichttarifäre Handelsbarrieren** sowie **Nutzung unterschiedlicher Transportmodi** werden neben Logistik und Organisation der Beschaffung zugeordnet. Die **Nähe der Produktion zu Forschung und Entwicklung** sowie die **Nähe zu innovativen Clustern und FuE-Zentren** hat Einfluss auf die Forschung und Entwicklungsaktivität der Beschaffungsmarktverbindung. Die **Distanz** betrifft alle Aktivitäten einer Beschaffungsmarktverbindung in ihrer Gesamtheit. **Aufwendungen für die Disposition** schlagen wiederum in der Organisation auf. Das **Klima** kann die Beschaffung, Logistik, Forschung und Entwicklung sowie die Infrastruktur beeinflussen. Die **Modernität** betrifft auch in der Verbindung vom Beschaffungsmarkt alle Aktivitäten einzeln, wobei sich die Moderne der Beschaffung auf die Lieferanten im entsprechenden Beschaffungsmarkt bezieht.

Das reine Risiko **Streiks** betrifft erneut alle Aktivitäten einer Beschaffungsmarktverbindung in ihrer Gesamtheit.

Das einzige für die Beschaffungsmarktverbindung spezifische Kriterium stellt die Erfolgsposition **Unabhängigkeit** mit dem zugehörigen Risiko **Abhängigkeit** dar. Dieses bezieht sich auf alle Aktivitäten in ihrer Gesamtheit.

Kriterien aus dem Risikomanagement

Aus dem Risikomanagement sind spezifische Risiken für Beschaffungsinterdependenzen identifiziert worden. Die Risiken **Ausfall eines (Schlüssel-)lieferanten/Ausfall in der Beschaffung, Verzögerung in der Beschaffung, Anstieg der Beschaffungskosten** sowie **Risiken bei der Lieferantenauswahl** beziehen sich ausschließlich auf die Aktivität Beschaffung, da diese Risiken in anderen Aktivitäten der Beschaffungsverbindung wie z. B. der Logistik über andere Kriterien bereits abgedeckt sind. Die Risiken **Störung/Ausfall fremder IT-Infrastruktur** und **Mängel im Vertrag** betreffen alle Aktivitäten in ihrer Gesamtheit.

Folgende Risiken von Beschaffungsverbindungen traten bereits in den Objekttypen Wertschöpfungs-Standort-Kombination und/oder in den internen Interdependenzen auf. Analog dieser bereits durchgeführten Zuordnungen werden die Risiken **mangelhaftes Risikomanagement, Qualitätsmängel bei der Rückführung, Verzögerung bei der Rückführung, Ausfall in der Rückführung, erhöhter Kostenanfall bei der Rückführung** sowie **Naturkatastrophen** allen Aktivitäten in ihrer Gesamtheit sowie das Risiko **Ausfall/Risiken eigener IT-Infrastruktur** der Infrastruktur zugeordnet. Das **Lagerrisiko** wird ebenso in Anlehnung an bereits bestehende Kategorisierungen der Logistik und Organisation zugeordnet und jeweils um die Aktivität Beschaffung ergänzt.

Das **Währungsrisiko** wird gemäß seiner Erfolgsposition *Wechselkurse* den Aktivitäten Beschaffung und Controlling zugeordnet. Kriterien, die sowohl als Erfolgsposition als auch als Risiko auftreten können, können ebenfalls analog zu den bisherigen Zuordnungen kategorisiert werden. Die Kriterien **Umgang mit unerwarteten oder stark schwankenden Kunden-**

	Aktivitäten	Erfolgsposition	Risiken
Interdependenz vom Beschaffungsmarkt	Beschaffung	Reaktionszeit, Termineinhaltung, Zuverlässigkeit, Produktionsflexibilität, Koordination, Bestände Beschaffungszeit, Zugang zu Rohstoffen / verfügbare Rohstoffe, Zölle, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, sprachliche Verständigung, Werteverfall, nichttarifäre Handelsbarrieren, Nutzung unterschiedlicher Transportmodi, Klima, Modernität, Wechselkurse, Einführung von Straßenbenutzungsgebühren, umweltrechtliche Regelungen, Kapazitätsbeschränkungen der Beschaffungsmärkte, opportunistisches Verhalten von Lieferanten	Reaktionszeit, Termineinhaltung, Zuverlässigkeit, Produktionsflexibilität, Koordination, Bestände Beschaffungszeit, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, sprachliche Verständigung, Werteverfall, Ausfall eines (Schlüssel-)Lieferanten / Ausfall in der Beschaffung, Verzögerung in der Beschaffung, Anstieg der Beschaffungskosten, Risiken bei der Lieferantenauswahl, Lagerrisiko, Währungsrisiko, Einführung von Straßenbenutzungsgebühren, umweltrechtliche Regelungen, Kapazitätsbeschränkungen der Beschaffungsmärkte,
	Eingangslogistik	Reaktionszeit, Termineinhaltung, Zuverlässigkeit, Koordination, Bestände, Zölle, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, sprachliche Verständigung, Werteverfall, nichttarifäre Handelsbarrieren, Nutzung unterschiedlicher Transportmodi, Klima, Modernität, Einführung von Straßenbenutzungsgebühren, umweltrechtliche Regelungen	Reaktionszeit, Termineinhaltung, Zuverlässigkeit, Koordination, Bestände, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, sprachliche Verständigung, Werteverfall, Lagerrisiko, Einführung von Straßenbenutzungsgebühren, umweltrechtliche Regelungen
	Forschung und Entwicklung	Produktentwicklungszeit, Reaktionszeit, Termineinhaltung, Koordination, Aufwand für Anpassung der Stücklisten und Materialspezifikation, komplexitätstreibende Wirkung auf Produktentwicklung und Ersatzteilwirtschaft, sprachliche Verständigung, Innovationsfähigkeit, Nähe Produktion zu FuE / Nähe zu innovativen Clustern und FuE-Zentren, Klima, Modernität, opportunistisches Verhalten von Lieferanten	Produktentwicklungszeit, Reaktionszeit, Termineinhaltung, Koordination, Aufwand für Anpassung der Stücklisten und Materialspezifikation, komplexitätstreibende Wirkung auf Produktentwicklung und Ersatzteilwirtschaft, sprachliche Verständigung, Innovationsfähigkeit, opportunistisches Verhalten von Lieferanten
	Organisation und Controlling (inkl. Beschaffung, Logistik, ggfls. Forschung und Entwicklung)	Reaktionszeit, Termineinhaltung, Zuverlässigkeit, Lieferperformance / Logistikleistung, Lieferterminflexibilität, Koordination, Bestände komplexitätstreibende Wirkung auf Produktentwicklung und Ersatzteilwirtschaft, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, Anlaufzeiten und -kosten / Aufwand des Produktionsanlaufs, sprachliche Verständigung, Werteverfall, nichttarifäre Handelsbarrieren, Nutzung unterschiedlicher Transportmodi, Aufwendungen für die Disposition, Modernität, Wechselkurse, Umgang mit unerwarteten oder stark schwankenden Kundennachfragen, Güte der Zusammenarbeit, Einführung von Straßenbenutzungsgebühren, opportunistisches Verhalten von Lieferanten	Reaktionszeit, Termineinhaltung, Zuverlässigkeit, Lieferperformance / Logistikleistung, Lieferterminflexibilität, Koordination, Bestände, komplexitätstreibende Wirkung auf Produktentwicklung und Ersatzteilwirtschaft, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, Anlaufzeiten und -kosten / Aufwand des Produktionsanlaufs, sprachliche Verständigung, Werteverfall, Lagerrisiko, Währungsrisiko, Umgang mit unerwarteten oder stark schwankenden Kundennachfragen, Mängel in der Zusammenarbeit, Einführung von Straßenbenutzungsgebühren, opportunistisches Verhalten von Lieferanten
	Infrastruktur	Zuverlässigkeit, Koordination, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, Klima, Modernität, umweltrechtliche Regelungen	Zuverlässigkeit, Koordination, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, Ausfall/Risiken eigener IT-Infrastruktur, umweltrechtliche Regelungen
	Alle Aktivitäten	Einhaltung der Vorschriften und sozialen Standards, Mitarbeiterzufriedenheit, politische Stabilität, Kriminalität, regionale Unterschiede, Verfügbarkeit und Leistungsfähigkeit der Lieferantenmärkte / globale Zuliefermärkte, wahrgenommener Wert des Produkts, Image, Wettbewerber, Kooperationspotenzial und Netzwerkaufbau, Vertrauen / Motivation / Konflikte, Möglichkeiten zum Schutz von Technologien / Patenten / Lizenzen / Marken, Soziokultur / Mentalität, Korruption, politisch-rechtliche Rahmenbedingungen, Distanz, Unabhängigkeit, Betrug, administrative Hindernisse	Einhaltung der Vorschriften und sozialen Standards, Mitarbeiterzufriedenheit, politische Instabilität, Kriminalität, regionale Unterschiede, Verfügbarkeit und Leistungsfähigkeit der Lieferantenmärkte, Kooperationspotenzial und Netzwerkaufbau, Vertrauen / Motivation / Konflikte, Risiken für geistiges Eigentum, Soziokultur / Mentalität, Korruption, Veränderungen in den gesetzlichen oder politischen Rahmenbedingungen, Streiks, Abhängigkeit, Störung / Ausfall fremder IT-Infrastruktur, Mängel im Vertrag, Qualitätsmängel bei der Rückführung, Verzögerung bei der Rückführung, Ausfall in der Rückführung, erhöhter Kostenanfall bei der Rückführung, mangelhaftes Risikomanagement,

Tabelle D.3.: Zuordnung qualitativer Kriterien der Interdependenzen vom Beschaffungsmarkt zu den Wertschöpfungsaktivitäten

nachfragen und **Güte bzw. Mängel in der Zusammenarbeit** werden dem Endglied der Organisation zugeordnet. Im Falle von Beschaffungsverbindungen zählen zu dieser Aktivitätskette neben Logistik sowie gegebenenfalls Forschung und Entwicklung auch die Aktivität Beschaffung. Die **Einführung von Straßenbenutzungsgebühren** ist bei Beschaffung, Logistik und Organisation zu berücksichtigen. Das Kriterium **umweltrechtliche Regelungen** betrifft neben den Aktivitäten Logistik und Infrastruktur auch die Beschaffung. Der **Betrug** wird wiederum analog dem innerhalb der Standortfaktoren eingeordneten Kriterium der *Korruption* allen Aktivitäten in ihrer Gesamtheit zugeordnet.

Als beschaffungsspezifische Kriterien, die sowohl Erfolgsposition als auch Risiko darstellen können, beeinflussen die Kriterien **Kapazitätsbeschränkungen der Beschaffungsmärkte** und **opportunistisches Verhalten von Lieferanten** die Aktivität Beschaffung. Letzteres hat zudem Einfluss auf Forschung und Entwicklung sowie Organisation und Controlling.

Die reine Erfolgsposition **administrative Hindernisse** wird der Gesamtheit aller Aktivitäten zugeordnet.

Das Ergebnis der beschriebenen Zuordnung von quantitativen und qualitativen Kriterien der Interdependenzen vom Beschaffungsmarkt zu den Aktivitäten der Wertschöpfung ist in Tabelle D.3 visualisiert.

Gestaltungskriterien der Interdependenzen zum Absatzmarkt

Kriterien aus den Ansätzen der Wertschöpfungsverteilung

Abhängig von der Interdependenz zum Absatzmarkt realisieren Ausgangslogistik, Marketing und Vertrieb, Kundenservice, Forschung und Entwicklung sowie Organisation unterschiedliche **Reaktionszeiten** und Möglichkeiten der **Termineinhaltung**. Die **Zuverlässigkeit** bezieht sich auf Ausgangslogistik, Organisation und Infrastruktur. Werden Vertrieb und Kundenservice lokal aufgebaut, sind auch diese Aktivitäten vom Kriterium Zuverlässigkeit betroffen. Werden die Aktivitäten hingegen am Stammsitz beibehalten, bleibt deren Zuverlässigkeit, wie bei Forschung und Entwicklung, unabhängig davon, welcher Absatzmarkt bedient wird und kann daher vernachlässigt werden. Die **Lieferperformance/Logistikleistung** und **Lieferterminflexibilität** wird als Ergebnis der Aktivitäten Vertrieb, Forschung und Entwicklung, Kundenservice, Ausgangslogistik und Organisation dem Endglied der Organisation zugeordnet. Auf alle Aktivitäten in ihrer Gesamtheit beziehen sich die **Einhaltung der Vorschriften und sozialen Standards, Mitarbeiterzufriedenheit, politische Stabilität bzw. Instabilität, Kriminalität** sowie **regionale Unterschiede**. Die **Koordination** hingegen betrifft wiederum alle Aktivitäten einzeln. **Bestände** können von der Logistik und der Organisation sowie vom Vertrieb und Kundenservice ausgelöst werden.

Über diese bereits bei anderen Objekttypen behandelten Kriterien hinaus betreffen die beiden absatzspezifischen Kriterien **Kunden/Marktkomplexität** und **Produktreife** sowie **Zu-**

gang zu Märkten und Kunden, die sowohl als Erfolgsposition als auch als Risiko auftreten können, alle Aktivitäten in ihrer Gesamtheit.

Weitere spezifische Kriterien stellen reine Erfolgspositionen dar. Die Kriterien **Marktnähe** und **Marktvolumen** beziehen sich ebenfalls auf alle Aktivitäten in ihrer Gesamtheit.

Reine Erfolgspositionen waren ebenso bereits Inhalt anderer Objekttypen. Das **Image** bezieht sich auf die Interdependenz im Allgemeinen. **Zölle** betreffen Ausgangslogistik und Vertrieb; **Wechselkurse** hingegen Controlling und Vertrieb.

Kriterien der Standortplanung

Die Kriterien der anderen Objekttypen beinhalten die Kriterien aus der Standortplanung für die Absatzmarkt-Interdependenz bereits vollständig. Folgende Kriterien treten dabei sowohl als Erfolgsposition als auch als Risiko auf: Der **Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke** unterstützt die einzelnen Aktivitäten Logistik, Organisation, Infrastruktur, Marketing und Vertrieb sowie Kundenservice. Das Kriterium **Anlaufzeiten und -kosten/Aufwand des Produktionsanlaufs** wird wieder dem Endglied Organisation zugeordnet. Die Standortfaktoren **Vertrauen/Konflikte, Möglichkeiten zum Schutz von Technologien/Patenten/Lizenzen/Marken** bzw. **Risiken für geistiges Eigentum, Soziokultur/Mentalität, Korruption** sowie **politisch-rechtliche Rahmenbedingungen** bzw. **Veränderungen in den gesetzlichen oder politischen Rahmenbedingungen** betreffen die Interdependenz in ihrer Gesamtheit und somit alle Aktivitäten. Die **sprachliche Verständigung** beeinflusst wiederum Logistik, Forschung und Entwicklung sowie Organisation. Darüber hinaus sind Marketing und Vertrieb sowie Kundenservice davon betroffen. Der **Werteverfall** tangiert Aktivitäten analog zu *Bestände* aus den Ansätzen der Wertschöpfungsverteilung.

Die Erfolgspositionen **nichttarifäre Handelsbarrieren** sowie **Nutzung unterschiedlicher Transportmodi** werden neben Logistik und Organisation auch Marketing und Vertrieb sowie Kundenservice zugeordnet. Die **Distanz** betrifft alle Aktivitäten in ihrer Gesamtheit. Das **Klima** kann neben Logistik, Forschung und Entwicklung sowie Infrastruktur ebenso Vertrieb sowie Kundenservice beeinflussen.

Das Risiko **Streiks** betrifft alle Aktivitäten in ihrer Gesamtheit.

Kriterien aus dem Risikomanagement

Die für die Absatzinterdependenzen spezifischen Risiken aus dem Risikomanagement sind reine Risiken. Dazu zählen **Ausfall des Produktverkaufs, Qualitätsmängel bei der Belieferung des Kunden, Verzögerungen bei der Belieferung des Kunden, Ausfall bei der Belieferung des Kunden** sowie der **erhöhte Kostenanfall bei der Belieferung des Kunden**, die analog der Zuordnung der beschaffungsspezifischen Kriterien wie *Ausfall in der Beschaffung* oder *Verzögerung in der Beschaffung* zur Aktivität Beschaffung ausschließlich der Aktivität Vertrieb zugeordnet werden.

Die Einordnung weiterer Kriterien, die alle bereits in anderen Objekttypen behandelt wurden, orientiert sich erneut an den erfolgten Zuordnungen. Die reinen Risiken **mangelhaftes Risikomanagement, Qualitätsmängel bei der Rückführung, Verzögerung bei der Rückführung, Ausfall in der Rückführung, erhöhter Kostenanfall bei der Rückführung, Umgang mit Störung/Ausfall fremder IT-Infrastruktur** sowie **Naturkatastrophen** beziehen sich auf alle Aktivitäten in ihrer Gesamtheit. **Ausfall/Risiken eigener IT-Infrastruktur** hingegen sind allein Mängeln an der Infrastruktur geschuldet. Analog zu den *Beständen* wird das **Lagerrisiko** den Aktivitäten Logistik, Organisation, Vertrieb und Kundenservice zugeordnet.

Die Kriterien **Umgang mit unerwarteten oder stark schwankenden Kundennachfragen** sowie **Güte bzw. Mängel in der Zusammenarbeit**, die sowohl als Erfolgsposition als auch als Risiko auftreten, werden dem Endglied Organisation zugeordnet und umfassen damit indirekt neben Logistik, Forschung und Entwicklung und Organisation zudem Vertrieb und Kundenservice. Die **Einführung von Straßenbenutzungsgebühren** ist für Vertrieb, Logistik und Organisation zu berücksichtigen. Das Kriterium **umweltrechtliche Regelungen** betrifft neben den Aktivitäten Logistik und Infrastruktur ebenso Vertrieb sowie Kundenservice.

	Aktivitäten	Erfolgsposition	Risiken
Interdependenz zum Absatzmarkt	Ausgangslogistik	Reaktionszeit, Termineinhaltung, Zuverlässigkeit, Koordination, Bestände, Zölle, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, sprachliche Verständigung, Werteverfall, nichttarifäre Handelsbarrieren, Nutzung unterschiedlicher Transportmodi, Klima, Einführung von Straßenbenutzungsgebühren, umweltrechtliche	Reaktionszeit, Termineinhaltung, Zuverlässigkeit, Koordination, Bestände, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, sprachliche Verständigung, Werteverfall, Lagerrisiko, Einführung von Straßenbenutzungsgebühren, umweltrechtliche Regelungen,
	Marketing und Vertrieb	Reaktionszeit, Termineinhaltung, Zuverlässigkeit, Koordination, Bestände, Zölle, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, sprachliche Verständigung, Werteverfall, nichttarifäre Handelsbarrieren, Nutzung unterschiedlicher Transportmodi, Klima, Einführung von Straßenbenutzungsgebühren, umweltrechtliche Regelungen, Wechselkurse	Reaktionszeit, Termineinhaltung, Zuverlässigkeit, Koordination, Bestände, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, sprachliche Verständigung, Werteverfall, Ausfall des Produktverkaufs, Qualitätsmängel bei der Belieferung des Kunden, Verzögerung bei der Belieferung des Kunden, Ausfall bei der Belieferung des Kunden, erhöhter Kostenanfall bei der Belieferung des Kunden, Lagerrisiko, Einführung von Straßenbenutzungsgebühren, umweltrechtliche Regelungen,
	Kundenservice	Reaktionszeit, Termineinhaltung, Zuverlässigkeit, Koordination, Bestände, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, sprachliche Verständigung, Werteverfall, nichttarifäre Handelsbarrieren, Nutzung unterschiedlicher Transportmodi, Klima, umweltrechtliche Regelungen	Reaktionszeit, Termineinhaltung, Zuverlässigkeit, Koordination, Bestände, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, sprachliche Verständigung, Werteverfall, Lagerrisiko, umweltrechtliche Regelungen
	Forschung und Entwicklung	Reaktionszeit, Termineinhaltung, Koordination, sprachliche Verständigung, Klima	Reaktionszeit, Termineinhaltung, Koordination, sprachliche Verständigung
	Organisation und Controlling (inkl. Vertrieb, Kundenservice, Logistik, ggfls. Forschung und Entwicklung)	Reaktionszeit, Termineinhaltung, Zuverlässigkeit, Lieferperformance / Logistikleistung, Lieferterminflexibilität, Koordination, Bestände, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, Anlaufzeiten und -kosten / Aufwand des Produktionsanlaufs, sprachliche Verständigung, Werteverfall, nichttarifäre Handelsbarrieren, Nutzung unterschiedlicher Transportmodi, Umgang mit unerwarteten oder stark schwankenden Kundennachfragen, Güte der Zusammenarbeit, Einführung von Straßenbenutzungsgebühren,	Reaktionszeit, Termineinhaltung, Zuverlässigkeit, Lieferperformance / Logistikleistung, Lieferterminflexibilität, Koordination, Bestände, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, Anlaufzeiten und -kosten / Aufwand des Produktionsanlaufs, sprachliche Verständigung, Werteverfall, Lagerrisiko, Umgang mit unerwarteten oder stark schwankenden Kundennachfragen, Mängel in der Zusammenarbeit, Einführung von Straßenbenutzungsgebühren, Währungsrisiko
	Infrastruktur	Zuverlässigkeit, Koordination, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, Klima, umweltrechtliche Regelungen	Zuverlässigkeit, Koordination, Zugriff auf eingespielte Vertriebswege und -netzwerke, Ausfall/Risiken eigener IT-Infrastruktur, umweltrechtliche Regelungen
	Alle Aktivitäten	Einhaltung der Vorschriften und sozialen Standards, Mitarbeiterzufriedenheit, politische Stabilität, Kriminalität, regionale Unterschiede, Kunden / Markt Komplexität und Produktreife, Zugang zu Märkten und Kunden, Marktnähe, Marktvolumen, Image, Vertrauen / Konflikte, Möglichkeiten zum Schutz von Technologien / Patenten / Lizenzen / Marken, Soziokultur / Mentalität, Korruption, politisch-rechtliche Rahmenbedingungen, Distanz, Betrug, administrative Hindernisse	Einhaltung der Vorschriften und sozialen Standards, Mitarbeiterzufriedenheit, politische Instabilität, Kriminalität, regionale Unterschiede, Kunden / Markt Komplexität und Produktreife, Zugang zu Märkten und Kunden, Vertrauen / Konflikte, Risiken für geistiges Eigentum, Soziokultur / Mentalität, Korruption, Veränderungen in den gesetzlichen oder politischen Rahmenbedingungen, Streiks, mangelhaftes Risikomanagement, Qualitätsmängel bei der Rückführung, Verzögerung bei der Rückführung, Ausfall in der Rückführung, erhöhter Kostenanfall bei der Rückführung, Umgang mit Störung / Ausfall fremder IT-

Tabelle D.4.: Zuordnung qualitativer Kriterien der Interdependenzen zum Absatzmarkt zu den Wertschöpfungsaktivitäten

Der **Betrug** wird wiederum analog dem innerhalb der Standortfaktoren eingeordneten Kriterium der *Korruption* allen Aktivitäten in ihrer Gesamtheit zugeordnet. Das **Währungsrisiko** wird analog der entsprechenden Erfolgsposition *Wechselkurse* dem Vertrieb und der Organisation zugeordnet.

Die reine Erfolgsposition **administrative Hindernisse** wird der Gesamtheit aller Aktivitäten zugeordnet.

Das Ergebnis der beschriebenen Zuordnung von quantitativen und qualitativen Kriterien der Interdependenzen zum Absatzmarkt zu den Aktivitäten der Wertschöpfung ist in Tabelle D.4 visualisiert.

Literaturverzeichnis

- Abdul Rahman, Schatz et al. (2013) Abdul Rahman, Omar, Schatz, Anja, und Kuch, Benjamin, 2013. Wertschöpfungsverteilung in globalen Produktionsnetzwerken: Engineering-Werkzeug zur strategischen Optimierung, *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* **Jg. 108**(9) S. 656–659
- Abele, Kluge et al. (2006) Abele, Eberhard, Kluge, Jürgen, und Näher, Ulrich (Hrsg.), 2006. *Handbuch Globale Produktion*, München [u.a.]: Hanser, ISBN 3446406107
- Altiparmak, Gen et al. (2006) Altiparmak, Fulya, Gen, Mitsuo, Lin, Lin, und Paksoy, Turan, 2006. A genetic algorithm approach for multi-objective optimization of supply chain networks, *Computers & Industrial Engineering* **Jg. 51**(1) S. 196–215, doi:10.1016/j.cie.2006.07.011
- Arnold, Isermann et al. (2008) Arnold, Dieter, Isermann, Heinz, Kuhn, Axel, Tempelmeier, Horst, und Furmans, Kai (Hrsg.), 2008. *Handbuch Logistik*, Berlin: Springer, 3. Aufl., ISBN 9783540729280
- Arntzen, Brown et al. (1995) Arntzen, Bruce C., Brown, Gerald G., Harrison, Terry P., und Trafton, Linda L., 1995. Global Supply Chain Management at Digital Equipment Corporation, *Interfaces* **Jg. 25**(1) S. 69–93
- Bakir, Krückhans et al. (2013) Bakir, Dennis, Krückhans, Björn, und Meier, Horst, 2013. Ressourceneffizienz am Beispiel der Semi-Batch-Fertigung, *Industrie Management* **Jg. 6**(29) S. 17–29
- Bansal und Hoffman (2011) Bansal, Pratima und Hoffman, Andrew J. (Hrsg.), 2011. *The Oxford Handbook of Business and the Natural Environment*, Oxford Handbooks in Business and Management, Oxford: Oxford University Press, 1. Aufl., ISBN 9780199584451

- Braun, Mandel et al. (2013) Braun, Anja-Tatjana, Mandel, Jörg, und Bauernhansl, Thomas, 2013. Effective Use of Resources in Closed Value Networks, In: Bossomaier, Terry, Bruzzone, Agostino, und Cunha, Gerson (Hrsg.), *The 1st International Workshop on Simulation for Energy, Sustainable Development & Environment (SESDE 2013), September 25-27 2013, Athens, Greece*, Genova: DIME Università, S. 12–15, ISBN 978-88-97999-28-7
- Brecher (2011) Brecher, Christian (Hrsg.), 2011. *Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer*, Heidelberg: Springer, ISBN 9783642206931
- Brecher, Jeschke et al. (2011) Brecher, Christian, Jeschke, Sabina, Schuh, Günther, und Aghassi, Susanne, 2011. Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer, In: Brecher, Christian (Hrsg.), *Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer*, Heidelberg: Springer, S. 17–81, ISBN 9783642206931
- Brede (2005) Brede, Christina, 2005. *Das Instrument der Sauberkeit: Die Entwicklung der Massenproduktion von Feinseifen in Deutschland 1850 bis 2000*, Cottbuser Studien zur Geschichte von Technik, Arbeit und Umwelt, Bd. 26, Münster: Waxmann, ISBN 3830914393
- Bronner und Förderl-Schmid (2014) Bronner, Oscar und Förderl-Schmid, Alexandra, 2014. *Betriebe verlagern Produktion meist innerhalb Europas, 28.05.2014*, Wien: Standard Verlagsgesellschaft m.b.H., URL <http://derstandard.at/2000001634654/Betriebe/verlagern/Produktion/meist/innerhalb/Europas>, zuletzt geprüft: 27.08.2015
- Brosze, Bauhoff et al. (2009) Brosze, Tobias, Bauhoff, Fabian, und Schmidt, Carsten, 2009. High Resoultion Supply Chain Management: Mit Informationstransparenz und organisatorischer Vernetzung zur optimierten Produktion, *UdZ Unternehmen der Zukunft, FIR-Zeitschrift für Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung* (1) S. 15–17

- Bundeszentrale für politische Bildung (2009a)
Bundeszentrale für politische Bildung, 2009. Zahlen und Fakten: Globalisierung: Handel und Investitionen: Ausländische Direktinvestitionen, URL www.bpb.de/files/9QP6W5, zuletzt geprüft: 24.08.2015
- Bundeszentrale für politische Bildung (2009b)
Bundeszentrale für politische Bildung, 2009. Zahlen und Fakten: Globalisierung: Voraussetzungen, URL www.bpb.de/files/8ME2U0.pdf, zuletzt geprüft: 29.08.2015
- Bundeszentrale für politische Bildung (2013)
Bundeszentrale für politische Bildung, 2013. Zahlen und Fakten: Globalisierung: Handel und Investitionen: Entwicklung des grenzüberschreitenden Warenhandels, URL www.bpb.de/files/NHZBV5.pdf, zuletzt geprüft: 29.08.2015
- Bundschuh (2008)
Bundschuh, Markus, 2008. *Modellgestützte strategische Planung von Produktionssystemen in der Automobilindustrie: Ein flexibler Planungsansatz für die Fahrzeughauptmodule Motor, Fahrwerk und Antriebsstrang*, Strategisches Management, Bd. 57, Hamburg: Kovac, ISBN 9783830037941
- Burschel (2004)
Burschel, Carlo, 2004. *Betriebswirtschaftslehre der nachhaltigen Unternehmung*, Lehr- und Handbücher zur ökologischen Unternehmensführung und Umweltökonomie, München: Oldenbourg, ISBN 9783486200331
- Chen, Yuan et al. (2006)
Chen, Cheng-Liang, Yuan, T.Y, Chang, C.Y, Lee, Wen-Cheng, und Ciou, Y.C, 2006. A multi-criteria optimization model for planning of a supply chain network under demand uncertainty, *Computer Aided Chemical Engineering* **Jg. 21** S. 2075–2080, doi:10.1016/S1570-7946(06)80354-8
- Coface Deutschland (2012)
Coface Deutschland (Hrsg.), in Zusammenarbeit mit dem F.A.Z.-Institut, 2012. *Handbuch Länderrisiken 2012: Auslandsmärkte auf einen Blick*, Frankfurt am Main: FAZ Buch, 7. Aufl., ISBN 9783899816310

- Collette und Siarry (2003) Collette, Yann und Siarry, Patrick, 2003. *Multiobjective optimization: Principles and case studies*, Berlin: Springer, ISBN 3-540-40182-2
- Constantinescu, Abdul Rahman et al. (2012) Constantinescu, Carmen, Abdul Rahman, Omar, und Jäger, Jens Michael, 2012. Strategische Fabrikleistungs- und Netzwerkplanung: Referenzmethoden und Engineering-Werkzeuge, *wt Werkstattstechnik online* **Jg. 102**(3) S. 120–124
- Corsten und Gössinger (2009) Corsten, Hans und Gössinger, Ralf, 2009. *Produktionswirtschaft: Einführung in das industrielle Produktionsmanagement*, Lehr- und Handbücher der Betriebswirtschaftslehre, München: Oldenbourg, 12. Aufl., ISBN 9783486587517
- Daimler (2014) Daimler, 2014. Vier Kontinente, eine Leidenschaft: Produktion der C-Klasse startet im Mercedes-Benz Werk Bremen, 04.02.2014, URL <http://media.daimler.com/dcmmedia/0/921/656492/49/1670247/1/0/1/0/0/0/0/1549054/0/1/0/0/0/0/0.html>, zuletzt geprüft: 29.08.2015
- Doz und Prahalad (1991) Doz, Yves L. und Prahalad, Coimbatore K., 1991. Managing DMNCs: A Search for a New Paradigm, *Strategic Management Journal* **Jg. 12** S. 145–164
- Doz und Prahalad (1993) Doz, Yves L. und Prahalad, Coimbatore K., 1993. Managing DMNCs: A Search for a New Paradigm, In: Ghoshal, Sumantra und Westney, D. Eleanor (Hrsg.), *Organization theory and the multinational corporation*, New York: St. Martin's Press, S. 24–50, ISBN 9780333546222
- Dyckhoff, Lackes et al. (2004) Dyckhoff, H., Lackes, Richard, und Reese, J. (Hrsg.), 2004. *Supply chain management and reverse logistics*, Berlin: Springer, ISBN 3540404910
- Dzupire und Nkansah-Gyekye (2014) Dzupire, Nelson Christopher und Nkansah-Gyekye, Yaw, 2014. A Multistage Supply Chain Network Op-

- timization Using Genetic Algorithms, *Mathematical Theory and Modeling* **Jg. 4**(8) S. 18–28
- Ebensperger und Vogel (2012) Ebensperger, Christoph und Vogel, Stephan, 2012. *Benchmarkbasierte Netzwerkoptimierung: Supply Chain Management in der Pharmaindustrie*, Stuttgart: Horváth & Partners Management Consultants
- Eck, Garcke et al. (2011) Eck, Christof, Garcke, Harald, und Knabner, Peter, 2011. *Mathematische Modellierung*, Springer-Lehrbuch, Berlin: Springer, ISBN 978-3-642-18424-6
- Ehrgott (2005) Ehrgott, Matthias, 2005. *Multicriteria Optimization*, Berlin: Springer, 2. Aufl., ISBN 3540213988
- Emery (1959) Emery, Frederick Edmund, 1959. *Characteristics of Sociotechnical Systems*, London: Tavistock Institute of Human Relations, URL http://www.moderntimesworkplace.com/archives/ericssess/sessvol12/STS_Emery.pdf, zuletzt geprüft: 03.09.2015
- Emmrich (2002) Emmrich, Volkhard, 2002. Globale Produktionsstandortstrategien, In: Krystek, Ulrich und Zur, Eberhard (Hrsg.), *Handbuch Internationalisierung*, Berlin: Springer, S. 331–348, ISBN 3-540-67287-7
- Erlach (2007) Erlach, Klaus, 2007. *Wertstromdesign: Der Weg zur schlanken Fabrik*, Berlin: Springer, 1. Aufl., ISBN 3540371788
- Eversheim, Schellberg et al. (2000) Eversheim, Walter, Schellberg, Oliver, und Terhaag, O., 2000. Gestaltung und Betrieb von Produktionsnetzwerken, In: Kaluza, Bernd und Blecker, Thorsten (Hrsg.), *Produktions- und Logistikmanagement in virtuellen Unternehmen und Unternehmensnetzwerken*, Berlin: Springer, S. 35–59, ISBN 9783540676751
- Ferdows (2008) Ferdows, Kasra, 2008. Managing the Envolving Global Production Network, In: Galavan, Robert, Murray, John, und Markides, Costas (Hrsg.), *Strategy, Innovation and Change*, New York: Oxford University Press, S. 149–170

- Fleischer, Herm et al. (2004) Fleischer, Jürgen, Herm, Markus, und Schell, Marc-Oliver, 2004. Wertschöpfung in Netzwerken: Integrierte Planungsmethodik zur Konfiguration von globalen Wertschöpfungsnetzwerken, *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* **Jg. 9** S. 470–476
- Fleischer (1997) Fleischer, Sonja, 1997. *Strategische Kooperationen: Planung - Steuerung - Kontrolle*, Lohmar [u.a.]: Eul, ISBN 9783890125671
- Franken (2004) Franken, Myriam, 2004. *Produktionsplanung und -steuerung in strategischen Netzen: Ein logistikorientierter Koordinationsansatz*, Gabler Edition Wissenschaft: Information - Organisation - Produktion, Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl, 1. Aufl., ISBN 3824480417
- Friedli, Heinzen et al. (2011) Friedli, Thomas, Heinzen, Simone, Mundt, Andreas, und Thomas, Stefan, 2011. Strategisches Management globaler Produktionsnetzwerke: Erschließung des Netzwerkvorteils, *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* **Jg. 106(9)** S. 610–614
- Gausemeier, Fink et al. (1995) Gausemeier, Jürgen, Fink, Alexander, und Schlake, Oliver, 1995. *Szenario-Management: Planen und Führen mit Szenarien*, München: Hanser, ISBN 3446181695
- Geissbauer und Schuh (2014) Geissbauer, Reinhard und Schuh, Günther, 2014. *Global Footprint Design: Die Spielregeln der internationalen Wertschöpfung beherrschen: Gemeinschaftsstudie von Roland Berger Strategy Consultants und dem Lehrstuhl für Produktionssystematik WZL der RWTH Aachen*, München: Roland Berger Strategy Consultants
- Geldermann (2006) Geldermann, Jutta, 2006. *Mehrzielentscheidungen in der industriellen Produktion*, Karlsruhe: Univ.-Verl. Karlsruhe, ISBN 9783866440234
- Genoux (2014) Genoux, Jörn, 2014. Caterpillar in Kiel: Motorenfertigung wird eingestellt, 09.05.2014, *Kieler Nachrichten* URL <http://www.kn-online.de/News/Aktuelle-Nachrichten-Wirtschaft/News-Aktuelle-Nachrichten-Wirtschaft/>

Motorenfertigung/bei/Caterpillar/in/Kiel/
wird/eingestellt, zuletzt geprüft: 30.08.2015

- Gillies (2008) Gillies, Constantin, 2008. Hallo, Deutschland! Qualitätsmängel, Probleme in der Logistik, Fehlplanungen: Aus welchen Gründen Unternehmen ihre Produktionsstätten wieder nach Deutschland holen., *LOGISTIK inside Jg. 10* S. 34–38
- Gleich (2013) Gleich, Ronald, 2013. *Komplexitätscontrolling: Komplexität verstehen, reduzieren und beherrschen*, Freiburg: Haufe, 1. Aufl., ISBN 9783648043424
- Grabow, Henckel et al. (1995) Grabow, Busso, Henckel, Dietrich, und Hollbach-Grömig, Beate, 1995. *Weiche Standortfaktoren*, Schriften des Deutschen Instituts für Urbanistik, Bd. 89, Stuttgart: Kohlhammer, Deutscher Gemeindeverlag, ISBN 978-3-170137349
- Guillèn, Mele et al. (2005) Guillèn, Gonzalo, Mele, Fernando Daniel, Bagajewicz, Miguel, Espuña, Antonio, und Puigjanera, Luis, 2005. Multiobjective supply chain design under uncertainty, *Chemical Engineering Science Jg. 60* S. 1535–1553
- Gunasekaran und Kobu (2007) Gunasekaran, Angappa und Kobu, Bulent, 2007. Performance measures and metrics in logistics and supply chain management: a review of recent literature (1995–2004) for research and applications, *International Journal of Production Research Jg. 45*(12) S. 2819–2840
- Gunasekaran, Patel et al. (2001) Gunasekaran, Angappa, Patel, C., und Tirtiroglu, Erkan, 2001. Performance measures and metrics in a supply chain environment, *International Journal of Operations & Production Management Jg. 21*(1/2) S. 71–87
- Gundlach (2011) Gundlach, Oliver, 2011. *Globale Produktionsnetzwerke: Erreicht die Globalisierung einen Wendepunkt?*, Hamburg: Diplomica, ISBN 978-3-8428-6360-6
- Günther (2008) Günther, Edeltraud, 2008. *Ökologieorientiertes Management: Um-(weltorientiert) Denken in der BWL*, Stuttgart: Lucius & Lucius, ISBN 3825283836

- Haas und Obst (2012) Haas, Michael und Obst, Ngoc Isabell, 2012. Gestaltung von globalen Produktionsnetzwerken: Ein Ansatz zur Berücksichtigung von produkt- und marktspezifischen Bedingungen bei der Planung von Netzwerken, *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* **Jg. 107**(4) S. 250–255
- Hagedorn (1994) Hagedorn, Arnd, 1994. *Modellgestützte Planung und Kontrolle von Produktionsstandorten*, DUV Wirtschaftswissenschaft, Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl, ISBN 978-3824401987
- Haimes, Lasdon et al. (1971) Haimes, Yacov Y., Lasdon, Leon S., und Wismer, D. A., 1971. On a Bicriterion Formulation of the Problems of Integrated System Identification and System Optimization, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* **Jg. 1**(3) S. 296–297
- Hanne (1998) Hanne, Thomas, 1998. *Multikriterielle Optimierung: Eine Übersicht: Diskussionsbeitrag des Fachbereichs Wirtschaftswissenschaften*, Hagen: FernUniversität Hagen, URL <http://deposit.fernuni-hagen.de/238/1/db251.pdf>, zuletzt geprüft: 03.09.2015
- Hansmann (1974) Hansmann, Karl-Werner, 1974. *Entscheidungsmodelle zur Standortplanung der Industrieunternehmen*, Wiesbaden: Gabler, ISBN 9783409341721
- Harre (2006) Harre, Jan, 2006. *Strategische Standortstrukturplanung für multinational produzierende Unternehmen*, Aachen: Shaker, ISBN 3832256857
- Hedlund (1986) Hedlund, Gunnar, 1986. The Hypermodern MNC: A Heterarchy?, *Human Resource Management* **Jg. 25**(1) S. 9ff
- Herm (2006) Herm, Markus, 2006. *Konfiguration globaler Wertschöpfungsnetzwerke auf Basis von Business Capabilities*, Wbk Institut für Produktionstechnik: Forschungsberichte aus dem wbk, Institut für Produktionstechnik, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Bd. 133, Aachen: Shaker, ISBN 3832256571

- Hinkel (2006) Hinkel, Dirk, 2006. *Risikoorientierte Standortstrukturgestaltung mit einem Ansatz zur Modellierung von Risiken*, Dissertationsreihe, Bd. 21, Chemnitz: GUC, Ges. für Unternehmensrechnung und Controlling, ISBN 9783934235472
- Hochheimer (2011) Hochheimer, Norbert, 2011. *Das kleine QM-Lexikon: Begriffe des Qualitätsmanagements aus GLP, GCP, GMP und EN ISO 9000*, Weinheim: Wiley-VCH-Verl, 2. Aufl., ISBN 9783527330768
- Hofmann, Lampe et al. (2012) Hofmann, Erik, Lampe, Kerstin, und Allemann, Kathrin, 2012. Branchenspezifische Logistikkosten: Factsheet zur Logistikmarktstudie 2012, *Logistik & Förder-technik Jg. 10*
- Hohrath (2013) Hohrath, Philipp Alexander, 2013. *Analyse der strategisch und strukturell induzierten Verwundbarkeit von Wertschöpfungsnetzwerken: Eine empirische Untersuchung am Beispiel der Windenergieanlagenindustrie*, Supply Chain, Logistics and Operations Management, Bd. 13, Lohmar: Eul, 1. Aufl., ISBN 9783844102390
- Horváth, Zahn et al. (2007) Horváth, Péter, Zahn, Erich, Krauer, Verena, Seiter, Mischa, und Unsöld, Christian, 2007. *Bleiben, Gehen oder Rückkehren? Ergebnisse der empirischen Studie "Erfolgsfaktoren der Entwicklung und Produktion in Deutschland"*, Research Paper, Bd. 9, Stuttgart: IPRI gGmbH, URL <http://www.gbv.de/dms/zbw/569971519.pdf>, zuletzt geprüft: 03.09.2015
- Hübner (2007) Hübner, Reinhard, 2007. *Strategic supply chain management in process industries: An application to speciality chemicals production networks design*, Lecture notes in economics and mathematical systems, Bd. 594, New York: Springer, ISBN 9783540721802
- Hungenberg (2008) Hungenberg, Harald, 2008. *Strategisches Management in Unternehmen: Ziele - Prozesse - Verfahren*, Lehrbuch, Wiesbaden: Gabler, 5. Aufl., ISBN 3834912603

- Jacob (2006) Jacob, Frank, 2006. *Quantitative Optimierung dynamischer Produktionsnetzwerke*, Aachen: Shaker, ISBN 9783832248185
- Joeressen und Sebastian (1998) Joeressen, Anton und Sebastian, Hans-Jürgen, 1998. *Problemlösung mit Modellen und Algorithmen*, Teubner-Studienbücher : Wirtschaftswissenschaften, Stuttgart: Teubner, ISBN 9783519002116
- Jung (2013) Jung, Michael, 2013. Kennzahlen schaffen Überblick, *LOG.Kompass* (7/8) S. 20–21
- Kall und Wallace (1994) Kall, Peter und Wallace, Stein W., 1994. *Stochastic programming*, Wiley-Interscience series in systems and optimization, Chichester: Wiley, ISBN 9780471951582
- Kallrath (2002) Kallrath, Josef, 2002. *Gemischt-ganzzahlige Optimierung: Modellierung in der Praxis ; mit Fallstudien aus Chemie, Energiewirtschaft, Metallgewerbe, Produktion und Logistik*, Braunschweig: Vieweg, 1. Aufl., ISBN 3322802205
- Kaphahn und Lücke (2006) Kaphahn, Alexandra und Lücke, Thorsten, 2006. Koordination interner Produktionsnetzwerke, In: Schuh, Günther (Hrsg.), *Produktionsplanung und -steuerung*, Berlin: Springer, S. 421–466, ISBN 978-3-540-40306-7
- Kaplan und Norton (1996) Kaplan, Robert S. und Norton, David P., 1996. *The balanced scorecard: Translating strategy into action*, Boston: Harvard Business School Press, ISBN 9780875846514
- Kaplan und Norton (2008) Kaplan, Robert S. und Norton, David P., 2008. *The balanced scorecard: Translating strategy into action*, Boston: Harvard Business School Press
- Kaufmann und Panhans (2006) Kaufmann, Lutz und Panhans, Dirk, 2006. *Managementhandbuch Mittel- und Osteuropa: Wie deutsche Unternehmen Ungarn und Tschechien für ihre globale Strategie nutzen*, Wiesbaden: Gabler, 1. Aufl., ISBN 3834903922

- Kinkel (2009) Kinkel, Steffen, 2009. *Erfolgsfaktor Standortplanung: In- und ausländische Standorte richtig bewerten*, Berlin: Springer, 2. Aufl., ISBN 3540884718
- Kinkel und Maloca (2009) Kinkel, Steffen und Maloca, Spomenka, 2009. *Produktionsverlagerung und Rückverlagerung in Zeiten der Krise*, Modernisierung der Produktion, Mitteilungen aus der ISI-Erhebung, Bd. 52, Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, URL <http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/i/de/pi-mitteilungen/pi52.pdf>, zuletzt geprüft: 03.09.2015
- Kinkel, Maloca et al. (2009) Kinkel, Steffen, Maloca, Spomenka, und Jäger, Angela, 2009. *Produktions- und FuE-Verlagerungen ins Ausland: Verbreitung, Motive und strategische Implikationen für das deutsche verarbeitende Gewerbe*, Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verl., ISBN 3816779832
- Kirsch (1997) Kirsch, Werner, 1997. *Wegweiser zur Konstruktion einer evolutionären Theorie der strategischen Führung: Kapitel eines Theorieprojektes*, Herrsching: Kirsch, 2. Aufl., ISBN 9783882320800
- Koberstein (2014) Koberstein, Achim, 2014. Stochastische Optimierung, 05.09.2013, In: Gronau, Norbert, Becker, Jörg, Kurbel, Karl, Sinz, Elmar, und Suhl, Leena (Hrsg.), *Enzyklopädie der Wirtschaftsinformatik*, Potsdam: Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik und Electronic Government, Universität Potsdam, URL <http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/wi-enzyklopaedie/lexikon/technologien-methoden/Operations-Research/Mathematische-Optimierung/Stochastische-Optimierung>, zuletzt geprüft: 03.09.2015
- Kobylka (2014) Kobylka, Markus, 2014. *Produktionsverlagerung als Auslaufmodell?, 23. Juli 2014*, München: NTTA Data, URL <http://emea.nttdata.com/blog/de/2014/07/>

23/produktionsverlagerung-als-auslaufmodell/,
zuletzt geprüft: 27.08.2015

- Kohler (2008) Kohler, Klaus, 2008. *Global Supply Chain Design: Konzeption und Implementierung eines multikriteriellen Optimierungsmodells für die Gestaltung globaler Wertschöpfungsaktivitäten*, Production and Supply Management, Bd. 2, Estenfeld: CfSM, ISBN 9783941048003
- Krallmann, Frank et al. (1996) Krallmann, Hermann, Frank, H., und Gronau, Norbert, 1996. *Systemanalyse im Unternehmen*, Oldenbourg, ISBN 9783486272031
- Krebs (2012) Krebs, Pascal, 2012. *Bewertung vernetzter Produktionsstandorte unter Berücksichtigung multidimensionaler Unsicherheiten*, Forschungsberichte IWB, Bd. 255, München: Utz, ISBN 978-3831641567
- Krieg (2003) Krieg, Regina C., 2003. *Realisierung von Telearbeit: Erfolgsfaktoren und Gestaltung der Organisationsstruktur*, Gabler Edition Wissenschaft, Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl., 1. Aufl., ISBN 9783824478224
- Krystek und Zur (2002) Krystek, Ulrich und Zur, Eberhard (Hrsg.), 2002. *Handbuch Internationalisierung: Globalisierung - eine Herausforderung für die Unternehmensführung*, Berlin: Springer, 2. Aufl., ISBN 3-540-67287-7
- Kubicek (1977) Kubicek, Herbert, 1977. Heuristische Bezugsrahmen und heuristisch angelegte Forschungsdesigns als Elemente einer Konstruktionsstrategie empirischer Forschung, In: Köhler, Richard (Hrsg.), *Empirische und handlungstheoretische Forschungskonzeption in der Betriebswirtschaftslehre*, Stuttgart: Poeschel, S. 3–36, ISBN 3-7910-0214-7
- Kutschker und Schmid (2011) Kutschker, Michael und Schmid, Stefan, 2011. *Internationales Management*, München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 7. Aufl., ISBN 9783486597134
- Lambiasi, Mastrocinque et al. (2013) Lambiasi, Alessandro, Mastrocinque, Ernesto, Miranda, Salvatore, und Lambiasi, Alfredo, 2013. Strategic Planning and Design of Supply Chains: a Literature Review,

- International Journal of Engineering Business Management* **Jg. 5** S. 1–11, doi:10.5772/56858
- Lanza und Moser (2012) Lanza, Gisela und Moser, Raphael, 2012. Strategic planning of global changeable production networks, In: *45th CIRP CMS 2012, Conference on Manufacturing Systems*, S. 291–297, doi:10.1016/j.procir.2012.07.045
- Lebreton (2007) Lebreton, Baptiste, 2007. *Strategic closed-loop supply chain management: With 23 tables*, Lecture notes in economics and mathematical systems, Bd. 586, Berlin [u.a.]: Springer, ISBN 9783540389071
- Leung, Tsang et al. (2007) Leung, Stephen C.H, Tsang, Sally O.S, Ng, W.L, und Wu, Yue, 2007. A robust optimization model for multi-site production planning problem in an uncertain environment, *European Journal of Operational Research* **Jg. 181**(1) S. 224–238, doi:10.1016/j.ejor.2006.06.011
- Macharzina (1999) Macharzina, Klaus, 1999. *Unternehmensführung: Das internationale Managementwissen - Konzepte - Methoden - Praxis*, Wiesbaden: Gabler, 3. Aufl., ISBN 340963150X
- Mandel (2012) Mandel, Jörg, 2012. *Modell zur Gestaltung von Build-to-Order-Produktionsnetzwerken*, Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung, Bd. 2, Stuttgart: Fraunhofer Verlag, ISBN 9783839604342
- Manyika, George et al. (2013) Manyika, James, George, Katy, und Rasse, Louis, 2013. Get Ready for the New Era of Global Manufacturing, *Harvard Business Review Blog Network* URL http://blogs.hbr.org/cs/2013/01/get_ready_for_the_new_era_of_g.html?utm_medium=linkedin&utm_source=twitterfeed, zuletzt geprüft: 27.08.2015
- Mareschal (1988) Mareschal, Bertrand, 1988. Weight stability intervals in multicriteria decision aid, *European Journal of Operational Research* **Jg. 33**(1) S. 54–64
- Mastrocinque, Yuce et al. (2013) Mastrocinque, Ernesto, Yuce, Baris, Lambiase, Alfredo, und S., Michael, 2013. A Multi-Objective Optimisation

- for Supply Chain Network Using the Bees Algorithm, *International Journal of Engineering Business Management* **Jg. 5** S. 1–11, doi:10.5772/56754
- Merchiers (2008) Merchiers, Andreas, 2008. *Bewertung globaler Standortstrukturalternativen im Maschinenbau*, Produktionssystematik: Ergebnisse aus der Produktionstechnik, Bd. 16, Aachen: Apprimus, ISBN 9783940565242
- Mersch, Behnen et al. (2011) Mersch, Henning, Behnen, Daniel, Schmitz, Dominik, Epple, Ulrich, Brecher, Christian, und Jarke, Matthias, 2011. Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Prozess- und Fertigungstechnik, *at - Automatisierungstechnik* **Jg. 59**(1) S. 7–17, doi:10.1524/auto.2011.0891
- Meyenburg (2014) Meyenburg, Gerhard, 2014. *Ford Fiesta bleibt in Köln: Alle Kosten auf den Prüfstand gestellt, 11.06.2014*, Köln: Heinen-Verlag GmbH, URL <http://www.rundschau-online.de/wirtschaft/ford/fiesta/bleibt/in/koeln/alle/kosten/auf/den/pruefstand/gestellt,15184892,27402672.html>, zuletzt geprüft: 27.08.2015
- Meyer (2006) Meyer, Tobias, 2006. *Globale Produktionsnetzwerke: Ein Modell zur kostenoptimierten Standortwahl*, Aachen: Shaker, ISBN 9783832249434
- Miles und Snow (1992) Miles, Raymond E. und Snow, Charles C., 1992. Causes of failure in network organizations, *California Management Review* **Jg. 34**(4) S. 53ff
- Miroschedji (2002) Miroschedji, Sania Alexander de, 2002. *Globale Unternehmens- und Wertschöpfungsnetzwerke: Grundlagen, Organisation, Gestaltung*, DUV : Wirtschaftswissenschaft, Bd. 41, Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl, 1. Aufl., ISBN 9783824406715
- Mirow (2002) Mirow, Michael, 2002. Globalisierung der Wertschöpfung, In: Krystek, Ulrich und Zur, Eberhard (Hrsg.), *Handbuch Internationalisierung*, Berlin: Springer, S. 107–124, ISBN 3-540-67287-7

- Moder (2008) Moder, Marco, 2008. *Supply Frühwarnsysteme: Die Identifikation und Analyse von Risiken in Einkauf und Supply Management*, Wiesbaden: Gabler, 1. Aufl., ISBN 978-3-8349-1203-9
- Moser (2014) Moser, Raphael, 2014. *Strategische Planung globaler Produktionsnetzwerke: Bestimmung von Wandlungsbedarf und Wandlungszeitpunkt mittels multikriterieller Optimierung*, Wbk Institut für Produktionstechnik: Forschungsberichte aus dem wbk, Institut für Produktionstechnik, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Bd. 185, Aachen: Shaker, ISBN 978-3-8440-2823-2
- Mourtzis, Doukas et al. (2012) Mourtzis, Dimitris, Doukas, Michalis, und Psarommatidis, Foivos, 2012. A multi-criteria evaluation of centralized and decentralized production networks in a highly customer-driven environment, *CIRP Annals - Manufacturing Technology* **Jg. 61**(1) S. 427–430, doi: 10.1016/j.cirp.2012.03.035
- Nahrstedt (2012) Nahrstedt, Harald, 2012. *Algorithmen für Ingenieure: Technische Realisierung mit Excel und VBA*, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2. Aufl., ISBN 9783834816924
- Niemeyer (1990) Niemeyer, Gerhard, 1990. Simulation, In: Kurbel, Karl und Strunz, Horst (Hrsg.), *Handbuch Wirtschaftsinformatik*, Stuttgart: Poeschel, ISBN 9783791004990
- Nissen (1997) Nissen, Volker, 1997. *Einführung in evolutionäre Algorithmen: Optimierung nach dem Vorbild der Evolution*, Wiesbaden: Vieweg, ISBN 9783528054991
- Nyhuis und Drochelmann (2008) Nyhuis, Peter und Drochelmann, Thomas (Hrsg.), 2008. *Globales Varianten-Produktionssystem: Globalisierung mit System*, Garbsen: PZH, Produktionstechn. Zentrum, 1. Aufl., ISBN 9783939026983
- Ogryczak (1994) Ogryczak, Włodzimierz, 1994. A Goal Programming model of the reference point method, *Annals of Operations Research* **Jg. 51**(1) S. 33–44, doi:10.1007/BF02032079

- Paulick (2003a) Paulick, Siegrun [Red.], 2003. Kriterium, In: Paulick, Siegrun [Red.] (Hrsg.), *Der Brockhaus*, Leipzig: F.A. Brockhaus GmbH, S. 510, ISBN 3765316806
- Paulick (2003b) Paulick, Siegrun [Red.], 2003. Optimierung, In: Paulick, Siegrun [Red.] (Hrsg.), *Der Brockhaus*, Leipzig: F.A. Brockhaus GmbH, S. 652, ISBN 3765316806
- Paulick (2003c) Paulick, Siegrun [Red.], 2003. Risiko, In: Paulick, Siegrun [Red.] (Hrsg.), *Der Brockhaus*, Leipzig: F.A. Brockhaus GmbH, S. 745, ISBN 3765316806
- Perlitz (2011) Perlitz, Manfred, 2011. *Internationales Management*, Konstanz: UTB, 6. Aufl., ISBN 3825284816
- Persson und Olhager (2002) Persson, Fredrik und Olhager, Jan, 2002. Performance simulation of supply chain designs, *International Journal of Production Economics* **Jg. 77**(3) S. 231–245, doi: 10.1016/S0925-5273(00)00088-8
- Pfohl (2008) Pfohl, Hans-Christian (Hrsg.), Bundesvereinigung Logistik (BVL) e.V., 2008. *Sicherheit und Risikomanagement in der Supply Chain: Gestaltungsansätze und praktische Umsetzung*, Schriftenreihe Wirtschaft & Logistik, Hamburg: Dt. Verkehrs-Verl., ISBN 387154387X
- Popper (1999) Popper, Karl R., 1999. Logik der Forschung (1935), In: Gadenne, Volker und Visintin, Aldo (Hrsg.), *Wissenschaftsphilosophie*, Freiburg: Alber, Alber-Texte Philosophie, Bd. 5, S. 87–102, ISBN 9783495480052
- Porter (1989) Porter, Michael E., 1989. *Globaler Wettbewerb: Strategien der neuen Internationalisierung*, Wiesbaden: Gabler, ISBN 9783409133326
- Porter (1999) Porter, Michael E., 1999. *Wettbewerbsvorteile (Competitive Advantage): Spitzenleistungen erreichen und behaupten*, Frankfurt: Campus, 5. Aufl., ISBN 3593361787
- Pretzlaff (2014) Pretzlaff, Harry, 2014. *Stuttgarter Autobauer Daimler. Die neue C-Klasse muss ein Renner werden*, Stuttgart: Stuttgarter Zeitung Verlagsgesellschaft

mbH, URL <http://www.stuttgarter-zeitung.de/inhalt.stuttgarter/autobauer/daimler/die/neue/c-klasse/muss/ein/renner/werden.a787be69/9909/4f0e/a416/ebe60c274f8.html>, zuletzt geprüft: 27.08.2015

- Prinz (2012) Prinz, Andrea, 2012. Risikomanagement durch wertorientierte Gestaltung der Supply Chain, In: Verl, Alexander und Bauernhansl, Thomas (Hrsg.), *Fraunhofer-Insitut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Risikomanagement in Produktion und Supply Chain: Lieferanten- und Bestandsrisiken in den Griff bekommen. Fraunhofer IPA Seminar, 13. Juni 2012, Stuttgart*, Stuttgart: FpF - Verin zu Förderung produktions-technischer Forschung, S. 117–127
- Prinz und Bauernhansl (2013) Prinz, Andrea und Bauernhansl, Thomas, 2013. Risk-Value-Cost-based Optimization of Global Value-adding Structures, *Procedia CIRP Jg. 7* S. 103–108, doi:10.1016/j.procir.2013.05.018
- Prinz und Bauernhansl (2014) Prinz, Andrea und Bauernhansl, Thomas, 2014. A Multicriteria Optimization Approach for Risk-Value-Cost optimal Production Networks, In: Langton, Sebastian, Morton, Alec, Geiger, Martin J., und Siebert, Johannes (Hrsg.), *Decision Analysis and Multiple Criteria Decision Making*, Herzogenrath: Shaker, Schriften zur quantitativen Betriebswirtschaftslehre und Wirtschaftsinformatik, S. 61–72, ISBN 9783844029086
- Prinz und Bauernhansl (2015) Prinz, Andrea und Bauernhansl, Thomas, 2015. Optimization of Global Production Network Structures, In: Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart - FKFS (Hrsg.), *15th Stuttgart International Symposium: Volume 2*, Wiesbaden: Springer Vieweg, S. S. 111–121
- Pümpin (1992) Pümpin, Cuno, 1992. *Strategische Erfolgspositionen: Methodik der dynamischen strategischen Unternehmensführung*, Bern: Haupt, ISBN 3-258-04267-5

- Pümpin und Prange (1991) Pümpin, Cuno und Prange, Jürgen, 1991. *Management der Unternehmensentwicklung: Phasengerechte Führung und der Umgang mit Krisen*, St. Galler Management-Konzept, Bd. 2, Frankfurt/Main: Campus, ISBN 3-593-34502-1
- Rautenstrauch, Generotzky et al. (2003) Rautenstrauch, Thomas, Generotzky, Lars, und Bigalke, Tim, 2003. *Kooperationen und Netzwerke: Grundlagen und empirische Ergebnisse*, Lohmar: Eul, 1. Aufl., ISBN 9783899360349
- Reichwald, Piller et al. (2009) Reichwald, Ralf, Piller, Frank, und Ihl, Christoph, 2009. *Interaktive Wertschöpfung: Open Innovation, Individualisierung und neue Formen der Arbeitsteilung*, Wiesbaden: Gabler, 2. Aufl., ISBN 9783834909725
- Rimscha (2014) Rimscha, Markus von, 2014. *Algorithmen kompakt und verständlich: Lösungsstrategien am Computer*, Wiesbaden: Springer Vieweg, 3. Aufl., ISBN 9783658056179
- Romero, Tamiz et al. (1998) Romero, Carlos, Tamiz, Mehrdad, und Jones, Dylan F., 1998. Goal Programming, Compromise Programming and Reference Point Method Formulations: Linkages and Utility Interpretations, *The Journal of the Operational Research Society* **Jg. 49**(9) S. 986–991
- Rosenkranz und Mißler-Behr (2005) Rosenkranz, Friedrich und Mißler-Behr, Magdalena, 2005. *Unternehmensrisiken erkennen und managen: Einführung in die quantitative Planung; mit 54 Tabellen*, Berlin [u.a.]: Springer, ISBN 3540245073
- Ruggiero (2014) Ruggiero, Salvatore, 2014. *SCHOTT strukturiert Werk in Duryea, USA um: Glasproduktion am Standort Duryea wird fortgesetzt, Fertigung ausgewählter optischer Gläser wird nach Deutschland verlagert, 05.11.2014*, Mainz: SCHOTT AG, URL http://www.schott.com/german/news/press.html?NID=com4581&highlighted_text=verlagert+Produktion+in+USA, zuletzt geprüft: 27.08.2015

- Sadrnia, Ismail et al. (2013) Sadrnia, Abdolhossein, Ismail, Napsiah, Zulkifli, Norzima, Ariffin, M. K. A., Nezamabadi-pour, Hossein, und Mirabi, Hamed, 2013. A Multiobjective Optimization Model in Automotive Supply Chain Networks, *Mathematical Problems in Engineering* S. 1–10, doi: 10.1155/2013/823876
- Schatz, Mandel et al. (2010) Schatz, Anja, Mandel, Jörg, und Hermann, Marco, 2010. *Studie Risikomanagement in der Beschaffung 2010: Eingesetzte Strategie und Methoden, organisatorische Verankerung, Bedeutung und Reifegrad des Risikomanagements in der Beschaffung in der Industrie*, Stuttgart: Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, URL http://www.marketing.ch/Portals/0/Wissen/Vertriebspolitik/Logistiksysteme/Studie_Risikomanagement_in_der_Beschaffung_2010_FraunhoferIPA_marketingch.pdf, zuletzt geprüft: 03.09.2015
- Schellberg (2002) Schellberg, Oliver, 2002. *Effiziente Gestaltung von globalen Produktionsnetzwerken*, Aachen: Shaker, ISBN 9783832209940
- Schindler (2015) Schindler, Sebastian, 2015. *Strategische Planung von Technologieketten für die Produktion*, Forschungsberichte IWB, Bd. 294, München: Utz, ISBN 9783831644346
- Schmidt (2011) Schmidt, Bernd C., 2011. Gestaltung globaler Produktionsstrategien, In: Gausemeier, Jürgen und Wiendahl, Hans-Peter (Hrsg.), *Wertschöpfung und Beschäftigung in Deutschland*, Berlin: Springer, S. 71–84, ISBN 3642202039
- Scholze-Stubenrecht (2000) Scholze-Stubenrecht, Werner [Red.], 2000. *Duden, Die deutsche Rechtschreibung: Auf der Grundlage der neuen amtlichen Rechtschreibregeln*, Bd. 1, Mannheim [u.a.]: Dudenverlag, 22. Aufl., ISBN 3411040122
- Schönsleben (2011) Schönsleben, Paul, 2011. *Integrales Logistikmanagement*, Berlin: Springer, ISBN 978-3-642-20380-0

- Schrader (2009) Schrader, Ulrich, 2009. *Statistik: Teil 1, 11.05.2009*, Frankfurt: FH-Frankfurt - University of Applied Sciences, URL <http://de.slideshare.net/ulrichs/statistik-teil-1>, zuletzt geprüft: 27.08.2015
- Schröder (2003) Schröder, Carsten S., 2003. *Aufbau hierarchierarmer Produktionsnetzwerke: Technologiestrategische Option und organisatorische Gestaltungsaufgabe*, Berichte aus dem Produktionstechnischen Zentrum Berlin, Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verlag, ISBN 3-8167-6398-7
- Schulte (2002) Schulte, Anja, 2002. *Das Phänomen der Rückverlagerung: Internationale Standortentscheidungen kleiner und mittlerer Unternehmen*, Wiesbaden: Gabler, ISBN 340912375X
- Schulze-Ferebee (2014) Schulze-Ferebee, Jürgen, 2014. *ALNO AG: Verlagerung der Piatti-Produktion nach Pfullendorf, 13.06.2014*, Pfullendorf: ALNO AG, URL <http://www.alno-ag.de/meldungen/corporate-news/>, zuletzt geprüft: 27.08.2015
- Shapiro (1993) Shapiro, Jeremy F., 1993. Mathematical Programming Models and Methods for Production Planning and Scheduling, In: Graves, S.C, Zipkin, p.h, und Rinnooy Kan, Alexander H.G (Hrsg.), *Logistics of production and inventory*, Amsterdam: North-Holland, S. S.371–443, ISBN 9780444874726
- Shi und Gregory (1998) Shi, Yongjiang und Gregory, Mike, 1998. International manufacturing networks - to develop global competitive capabilities, *Journal of Operations Management* **Jg. 16** S. 195–214
- Sihn, Palm et al. (2009) Sihn, Wilfried, Palm, Daniel, Schmitz, Klaus, und Leitner, René, 2009. *Produktionsstrukturen von Automobilherstellern und ihrer Zulieferer: Gestärkt durch die Krise ; Automotive Region Central and Eastern Europe*, Wien: Fraunhofer Austria, ISBN 3950200932
- Singh, Mishra et al. (2012) Singh, Amit Raj, Mishra, P. K., Jain, Rajeev, und Khurana, M. K., 2012. Design of global supply chain

- network with operational risks, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* **Jg. 60**(1-4) S. 273–290, doi:10.1007/s00170-011-3615-9
- Snyder (2006) Snyder, Lawrence V., 2006. Facility location under uncertainty: A review, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* **Jg. 38**(7) S. 547–564
- Spindelndreier, Bauernhansl et al. (2015) Spindelndreier, Daniel, Bauernhansl, Thomas, Beck, Manfred, Lesmeister, Frank, und Spindelndreier, Daniel, 2015. The Proximity Paradox: Balancing Auto Suppliers' Manufacturing Networks
- Spremann (2002) Spremann, Klaus, 2002. Corporate Risk Management, In: Krystek, Ulrich und Zur, Eberhard (Hrsg.), *Handbuch Internationalisierung*, Berlin: Springer, S. 615–628, ISBN 3-540-67287-7
- Stachowiak (1973) Stachowiak, Herbert, 1973. *Allgemeine Modelltheorie*, Wien: Springer, ISBN 9780387811062
- Statistisches Bundesamt Wiesbaden (2008) Statistisches Bundesamt Wiesbaden (Hrsg.), 2008. *Klassifikation der Wirtschaftszweige*, Reutlingen: SFG - Servicecenter Fachverlage GmbH, URL https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Verzeichnis/KlassifikationWZ08_3100100089004.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft: 03.09.2015
- Stengel (1999) Stengel, Rüdiger von, 1999. *Gestaltung von Wertschöpfungsnetzwerken*, Gabler Edition Wissenschaft: Unternehmensführung & Controlling, Wiesbaden: Dt. Univ.-Verlag, ISBN 9783824469062
- Stephan (2010) Stephan, Holger Andreas, 2010. *Strategic design of flexible automotive production networks: The impact of preferential trade regulations and demand uncertainty*, Borsdorf: Edition Winterwork, ISBN 3942693453

- Stepping (2007) Stepping, Andreas, 2007. *Fabrikplanung im Umfeld von Wertschöpfungsnetzwerken und ganzheitlichen Produktionssystemen: Eine Methode zur Konfiguration von Fabrikplanungsprojekten*, Wbk Institut für Produktionstechnik: Forschungsberichte aus dem wbk, Institut für Produktionstechnik, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Bd. 136, Aachen: Shaker, ISBN 978-3-8322-6275-4
- Stotko (2005) Stotko, Christof M., 2005. *Vertriebseffizienz durch Kundenintegration: Empirische Untersuchung am Beispiel deutscher Hersteller von Werkzeugmaschinen*, Gabler Edition Wissenschaft : Markt- und Unternehmensentwicklung, Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl., 1. Aufl., ISBN 3-8244-8307-6
- Struckmeier (2010) Struckmeier, Jens, 2010. Was ist mathematische Modellierung?, In: Struckmeier, Jens (Hrsg.), *Einführung in die mathematische Modellierung*, Hamburg: Universität Hamburg, Bd. 1, S. 2–20, URL <http://www.math.uni-hamburg.de/home/struckmeier/modsim10/Kap1.pdf>, zuletzt geprüft: 03.09.2015
- Suhl und Mellouli (2009) Suhl, Leena und Mellouli, Taïeb, 2009. *Optimierungssysteme: Modelle, Verfahren, Software, Anwendungen*, Berlin: Springer, 2. Aufl., ISBN 9783642015793
- Supply Chain Council (2005) Supply Chain Council, 2005. *Supply-Chain Operations Reference-model: SCOR Version 7.0 Overview*, Brüssel: Supply Chain Council, URL <http://people.ischool.berkeley.edu/~glushko/IS243Readings/SCOR-Overview.pdf>, zuletzt geprüft: 03.09.2015
- Sydow (2005) Sydow, Jörg, 2005. *Strategische Netzwerke: Evolution und Organisation*, Wiesbaden: Gabler, 6. Aufl., ISBN 9783409139472

- Sydow und Möllering (2009) Sydow, Jörg und Möllering, Guido, 2009. *Produktion in Netzwerken: Make, Buy & Cooperate*, München: Vahlen, 2. Aufl., ISBN 3800636816
- Tagesschau (2012) Tagesschau, 2012. *Mercedes verlagert Produktion: C-Klasse wird aus Sindelfingen abgezogen, 16.11.2012*, Hamburg: tagesschau.de Norddeutscher Rundfunk, URL <http://www.tagesschau.de/wirtschaft/mercedes136.html>, zuletzt geprüft: 27.08.2015
- Thom (2008) Thom, Alexander, 2008. *Entwicklung eines Gestaltungsmodells zum Management von Risiken in Produktionsnetzwerken: Ein Beitrag zum Risikomanagement in der Logistik*, Schriftenreihe Logistik der Technischen Universität Berlin, Bd. 2, Berlin: Universitätsverlag der Technischen Universität Berlin, 1. Aufl., ISBN 978-3-7983-2075-8
- Thomas (2008) Thomas, Peter, 2008. *Mass Customization als Wettbewerbsstrategie in der Finanzdienstleistungsbranche*, Gabler Edition Wissenschaft, Wiesbaden: Gabler, 1. Aufl., ISBN 9783834910981
- Treier, Nothnagel et al. (2012) Treier, Volker, Nothnagel, Ilja, und Borella, Sara [Red.], 2012. *Going International: Erfahrungen und Perspektiven der deutschen Wirtschaft im Auslandsgeschäft: Ergebnisse der IHK-Unternehmensumfrage 2011/2012; Bundesweite Auswertung*, Berlin: DIHK Deutscher Industrie- und Handelskammertag e.V., URL http://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&cad=rja&uact=8&ved=0CDkQFjADahUKEwiF-pn4tNDHAhUCtrQKHd-sA3Q&url=http%3A%2F%2Fwww.dihk.de%2Fressourcen%2Fdownloads%2Fgoing-international-11-12.pdf&ei=JsLiVYXP0ILqUt_ZjqAH&usg=AFQjCNHer26EK9DOSXaATiHMMOTAnVpZsw, zuletzt geprüft: 30.08.2015
- Trist und Bamforth (1951) Trist, Eric L. und Bamforth, Ken W., 1951. Some Social and Psychological Consequences of the Longwall Method of Coal-Getting: An Examination of the Psycholo-

- gical Situation and Defences of a Work Group in Relation to the Social Structure and Technological Content of the Work System, *Human Relations* **Jg. 4**(1) S. 3–38
- Tsiakis und Papageorgiou (2008) Tsiakis, Panagiotis und Papageorgiou, Lazaros G., 2008. Optimal production allocation and distribution supply chain networks, *International Journal of Production Economics* **Jg. 111**(2) S. 468–483, doi:10.1016/j.ijpe.2007.02.035
- Ude (2010) Ude, Jörg, 2010. *Entscheidungsunterstützung für die Konfiguration globaler Wertschöpfungsnetzwerke: Ein Bewertungsansatz unter Berücksichtigung multikriterieller Zielsysteme, Dynamik und Unsicherheit: Dissertation*, Wbk Institut für Produktionstechnik: Forschungsberichte aus dem wbk, Institut für Produktionstechnik, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Bd. 157, Aachen: Shaker, ISBN 3832294147
- Ulich (1993) Ulich, Eberhard, 1993. CIM - eine integrative Gestaltungsaufgabe im Spannungsfeld Mensch, Technik und Organisation, In: Ulich, Eberhard (Hrsg.), *CIM*, Zürich [u.a.]: Verl. der Fachvereine [u.a.], Mensch Technik Organisation, Bd. 1, S. 29–40, ISBN 9783519021575
- Ulich (2011) Ulich, Eberhard, 2011. *Arbeitspsychologie*, Schäffer-Poeschel, ISBN 9783728133700
- Ulrich (2001) Ulrich, Hans, 2001. *Systemorientiertes Management: Das Werk von Hans Ulrich*, Bern: Haupt, studienausg. Aufl., ISBN 9783258063591
- Ulrich und Hill (1976a) Ulrich, Peter und Hill, Wilhelm, 1976. Wissenschaftstheoretisches Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre (Teil I), *WiST Zeitschrift für Ausbildung und Hochschulkontakt* (7) S. 304–309
- Ulrich und Hill (1976b) Ulrich, Peter und Hill, Wilhelm, 1976. Wissenschaftstheoretisches Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre (Teil II), *WiST Zeitschrift für Ausbildung und Hochschulkontakt* (7) S. 345–350

- Vahrenkamp und Siepermann (2007) Vahrenkamp, Richard und Siepermann, Christoph (Hrsg.), 2007. *Risikomanagement in Supply Chains: Gefahren abwehren, Chancen nutzen, Erfolg generieren*, Berlin: Schmidt, ISBN 9783503100415
- Wagner (2007) Wagner, Stephan M., 2007. Empirische Untersuchung von SC-Risiken und SC-Risikomanagement in Deutschland, In: Vahrenkamp, Richard und Siepermann, Christoph (Hrsg.), *Risikomanagement in Supply Chains*, Berlin: Schmidt, S. 59–82, ISBN 9783503100415
- Warnecke und Braun (1999) Warnecke, Hans-Jürgen und Braun, Jochen (Hrsg.), 1999. *Vom Fraktal zum Produktionsnetzwerk: Unternehmenskooperationen erfolgreich gestalten*, Berlin: Springer, ISBN 354064525X
- Wegehaupt (2004) Wegehaupt, Patrick, 2004. *Führung von Produktionsnetzwerken*, Dissertation, RWTH Aachen, Aachen, URL http://publications.rwth-aachen.de/record/59497/files/Wegehaupt_Patrick.pdf?version=2, zuletzt geprüft: 03.09.2015
- Weig (2008) Weig, Sebastian, 2008. *Konzept eines integrierten Risikomanagements für die Ablauf- und Strukturgestaltung in Fabrikplanungsprojekten*, Forschungsberichte / IWB, Bd. 220, München: Utz, ISBN 9783831608232
- Welfens (2005) Welfens, Paul J. J., 2005. *Grundlagen der Wirtschaftspolitik: Institutionen - Makroökonomik - Politikkonzepte*, Berlin: Springer, 2. Aufl., ISBN 9783540212126
- Westkämper (2006) Westkämper, Engelbert, 2006. *Einführung in die Organisation der Produktion*, Berlin: Springer, ISBN 10 3-540-26039-0
- White und Poynter (1989) White, Roderick E. und Poynter, Thomas A., 1989. Organizing for Worldwide Advantage, *Business Quarterly* S. 84–89
- Wiendahl (2008) Wiendahl, Hans-Hermann, 2008. Stolpersteine der PPS - ein sozio-technischer Ansatz für das industrielle Auftragsmanagement, In: Nyhuis, Peter (Hrsg.), *Beiträge zu*

einer Theorie der Logistik, Berlin: Springer, S. 275–304, ISBN 3540756426

- Wiendahl (2011) Wiendahl, Hans-Hermann, 2011. *Auftragsmanagement der industriellen Produktion: Grundlagen, Konfiguration, Einführung*, Berlin [u.a.]: Springer, 1. Aufl., ISBN 3642191495
- Wieser (2004) Wieser, Regina, 2004. *Eine Gegenüberstellung von Bewertungsmethoden für multi-attributive IS-Entscheidungen: Seminar aus Informationswirtschaft im WS 2004 (LV-Nr. 0649)*, Multi-attributive Verfahren der Entscheidungstheorie, Wien: Wirtschaftsuniversität Wien, URL <http://www.brunodefinetti.it/Bibliografia/Eine%20Gegen%FCberstellung%20von%20Bewertungsmethoden%20f%FCr%20multi-attributive%20IS-Entscheidungen.pdf>, zuletzt geprüft: 27.08.2015
- Wöhe und Döring (2005) Wöhe, Günter und Döring, Ulrich, 2005. *Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre*, München: Vahlen, 22. Aufl., ISBN 9783800632541
- Wolke (2008) Wolke, Thomas, 2008. *Risikomanagement*, München [u.a.]: Oldenbourg, 2. Aufl., ISBN 3486587145
- Yan, Yu et al. (2003) Yan, Hong, Yu, Zhenxin, und Edwin Cheng, T.C, 2003. A strategic model for supply chain design with logical constraints: formulation and solution, *Computers & Operations Research* **Jg. 30**(14) S. 2135–2155, doi: 10.1016/S0305-0548(02)00127-2
- Zanker, Kinkel et al. (2013) Zanker, Christoph, Kinkel, Steffen, und Maloca, Spomenka, 2013. *Globale Produktion von einer starken Heimatbasis aus: Verlagerungsaktivitäten deutscher Unternehmen auf dem Tiefstand*, Modernisierung der Produktion, Mitteilungen aus der ISI-Erhebung, Bd. 63, Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, URL <http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/>

docs/i/de/pi-mitteilungen/PI63.pdf, zuletzt
geprüft: 03.09.2015

Zentes, Swoboda et al. (2004)

Zentes, Joachim, Swoboda, Bernhard, und Morschett, Dirk, 2004. *Internationales Wertschöpfungsmanagement*, Vahlen, ISBN 9783800629961

Ziegenbein (2007)

Ziegenbein, Arne, 2007. *Supply Chain Risiken: Identifikation, Bewertung und Steuerung*, Zürich: vdf, Hochsch.-Verl. an der ETH, ISBN 978-3-7281-3166-9

Zohm (2004)

Zohm, Frederik, 2004. *Management von Diskontinuitäten: Das Beispiel der Mechatronik in der Automobilzulieferindustrie*, Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl., 1. Aufl., ISBN 9783824407859

Durch die Internationalisierung entstehen komplexe Produktionsnetzwerke, die – ganzheitlich betrachtet – in der Regel unvorteilhaft fragmentiert sind. In dieser Arbeit wird eine Methode bereitgestellt, die die Wertschöpfungsverteilung in bestehenden Produktionsnetzwerken nicht nur nach quantitativen, sondern auch nach qualitativen Kriterien optimiert.

Dies wird durch den Einsatz der multikriteriellen Optimierung erreicht, die eine integrierte Betrachtung von Kosten, Erfolgspositionen und Risiken zulässt. Weitere Innovationen werden im Bereich der umfassenden und flexiblen Berücksichtigung von Netzwerkpartnern, von Wertschöpfung und qualitativen Kriterien erzielt.

Die entwickelte Methode wird anschaulich an zwei Fallbeispielen aus der Automobilzulieferindustrie und dem Maschinenbau erklärt. Somit werden Unternehmen befähigt, nachhaltige Entscheidungen hinsichtlich ihrer Wertschöpfungsverteilung zu treffen und damit ihre Wettbewerbsfähigkeit zu steigern und Unternehmensexistenz zu sichern.

ISBN 978-3-8396-1078-7



FRAUNHOFER VERLAG