

5

Logistik und Supply Chain Management

Logistikmanagement

Herausforderungen, Chancen und Lösungen
Band III

Eric Sucky, Björn Asdecker, Alexander Dobhan,
Sabine Haas, Jonas Wiese (Hrsg.)

LM 11 BAMBERG



UNIVERSITY OF
BAMBERG
PRESS

**& PRODUKTION
LOGISTIK**

Schriftenreihe
Logistik und Supply Chain Management

Schriftenreihe
Logistik und Supply Chain Management

Herausgegeben von

Prof. Dr. Eric Sucky
Björn Asdecker
Alexander Dobhan
Sabine Haas
Jonas Wiese

Band 5



University of Bamberg Press 2011

Logistikmanagement

Herausforderungen, Chancen & Lösungen
Band III

Eric Sucky
Björn Asdecker
Alexander Dobhan
Sabine Haas
Jonas Wiese
(Hrsg.)



University of Bamberg Press 2011

Bibliographische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Informationen sind im Internet über <http://dnb.ddb.de/> abrufbar

Dieses Werk ist als freie Onlineversion über den Hochschulschriften-Server (OPUS; <http://www.opus-bayern.de/uni-bamberg/>) der Universitätsbibliothek Bamberg erreichbar. Kopien und Ausdrücke dürfen nur zum privaten und sonstigen eigenen Gebrauch angefertigt werden.

Herstellung und Druck: Digital Print Group, Nürnberg
Umschlaggestaltung: Dezernat Kommunikation und Alumni

© University of Bamberg Press Bamberg 2011
<http://www.uni-bamberg.de/ubp/>

ISSN: 2191-2424
ISBN: 978-3-86309-025-8 (Druck-Ausgabe)
eISBN: 978-3-86309-026-5 (Online-Ausgabe)
URN: urn:nbn:de:bvb:473-opus-3418

Schriftenreihe

Logistik und Supply Chain Management

Herausgegeben von

Prof. Dr. Eric Sucky

Björn Asdecker

Alexander Dobhan

Sabine Haas

Jonas Wiese

Kontakt:

Univ.-Prof. Dr. Eric Sucky, Otto-Friedrich-Universität Bamberg,
Lehrstuhl für BWL, insb. Produktion und Logistik,
Feldkirchenstr. 21, 96052 Bamberg

Das erfolgreiche Management sowohl unternehmensinterner als auch unternehmensübergreifender Wertschöpfungsprozesse, Wertschöpfungsketten und ganzer Wertschöpfungsnetzwerke basiert im Besonderen auf dem zielgerichteten Einsatz von bestehenden und weiterentwickelten Methoden und Konzepten des Produktions- und Logistikmanagements sowie des Operations Research, dem Einsatz von innovativen Informations- und Kommunikationstechnologien sowie theoretischen und praktischen Erkenntnissen des Kooperationsmanagements. Die Schriftenreihe dient der Veröffentlichung neuer Forschungsergebnisse auf den Gebieten Logistik und Supply Chain Management. Aufgenommen werden Publikationen, die einen Beitrag zum wissenschaftlichen Fortschritt in Logistik und Supply Chain Management liefern.

Geleitwort

Sehr geehrte Damen und Herren,
liebe Teilnehmerinnen und Teilnehmer an der Logistik-
management 2011,

der Schwerpunkt Produktion und Logistik an der Otto-Friedrich-Universität Bamberg steht abgesehen von einer exzellenten Qualität der Lehre vor allem für den Transfer wissenschaftlicher Erkenntnisse und Methoden in die Praxis. Die Schnittstelle zwischen Theorie und Praxis aktiv zu beleben und mitzugestalten, ist ein wichtiges Ziel des Lehrstuhls, der sich spezialisiert hat auf die Planung, Organisation und Steuerung von Material- und Warenflüssen, insbesondere auf die Koordination von Lieferketten. Es freut mich daher umso mehr, dass wir in diesem Jahr die 7. Konferenz Logistikmanagement ausrichten dürfen. Ich bin gespannt auf interessante Präsentationen und Vorträge zum aktuellen Forschungsstand der betriebswirtschaftlichen Logistik und zum Supply Chain Management.

Nachdem in den vergangenen Jahren Orte wie Dresden, Regensburg oder Hamburg Gastgeber der Konferenz waren, sind wir uns der Größe der Fußstapfen bewusst, in die wir treten. Ich danke Prof. Dr. Eric Sucky und seinem ganzen Lehrstuhlteam sehr herzlich für die Organisation der Veranstaltung.

Allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern wünsche ich fruchtbringende Einsichten und Gespräche!



Prof. Dr. theol. Dr. phil. habil. Godehard Ruppert
Präsident der Otto-Friedrich-Universität Bamberg



(Foto: David Ebener)

II Geleitwort

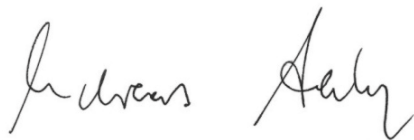
Als Oberbürgermeister freue ich mich sehr, dass die 7. Konferenz Logistikmanagement vom 28. bis 30. September in Bamberg stattfindet. Alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer heiße ich herzlich willkommen in unserer schönen Stadt, die seit 1993 zum UNESCO Welterbe zählt und jährlich rund zwei Millionen Touristen begeistert.

Bamberg ist aber nicht nur Weltkulturerbe, sondern auch ein prosperierender Wirtschaftsstandort mit zirka 47.000 abhängig Beschäftigten. Logistik ist hier ein wichtiger Erfolgsfaktor, da sie die sinnvolle und wirtschaftliche Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Branchen, einzelnen Unternehmen oder Unternehmensbereichen – auch international und weltweit – erst möglich macht.

Bamberg ist ein idealer Standort für erfolgreiche Konferenzen. Die Stadt bietet zahlreiche Möglichkeiten, den Austausch in entspannter und konstruktiver Atmosphäre zu intensivieren. Schon so manche Geschäftsbeziehung oder geniale Idee hat ihren Anfang in einer unserer gemütlichen Brauereigaststätten oder „auf dem Keller“ genommen. Ich hoffe, die Konferenz lässt Ihnen daher noch genug Zeit, logistische Herausforderungen von einer ganz anderen Seite kennen zu lernen: taktisches Einverleiben der leckeren fränkischen Brotzeiten und süffigen Bamberger Biere.

Es grüßt Sie herzlich

Ihr



Andreas Starke

Oberbürgermeister der Stadt Bamberg



Sehr geehrte Konferenzteilnehmer,

die Leitlinie dieser Bundesregierung ist es, Mobilität zu ermöglichen, anstatt sie zu behindern. Im Interesse einer in die Zukunft gerichteten Güterverkehrspolitik ist dafür zu sorgen, dass der Transport von Gütern effizient und umweltgerecht gestaltet und multimodal ausgerichtet wird. Mit dem Aktionsplan Güterverkehr und Logistik haben wir gemeinsam mit Unternehmen und Verbänden Maßnahmen erarbeitet, die diese Ziele nachdrücklich verfolgen.

Die Herausforderungen dabei sind vielfältig: Es geht darum, den Logistikstandort Deutschland zu stärken, die Effizienz aller Verkehrsträger zu steigern und die Stärken aller Verkehrsträger durch optimal vernetzte Verkehrswege bestmöglich zur Geltung zu bringen. Außerdem müssen wir die Vereinbarkeit von Verkehrswachstum mit Umwelt- und Klimaschutz fördern und gute Arbeits- und Ausbildungsbedingungen im Transportgewerbe unterstützen.

Für die nächsten Jahre steht die Effizienzsteigerung des Gesamtverkehrsnetzes und des Zusammenspiels aller Verkehrsträger im Vordergrund. Wir setzen deutliche Akzente auf die Beseitigung von Engpässen sowie den Ausbau von Verkehrsknotenpunkten und Hauptachsen, aber auch von Hinterlandanbindungen. Dazu gehört auch die Entwicklung einer neuen Grundkonzeption für die Bundesverkehrswegeplanung mit Kriterien dafür, welche Projekte vorrangig umzusetzen sind.



Andreas Scheuer

Dr. Andreas Scheuer

Koordinator der Bundesregierung für Güterverkehr
und Logistik

Vorwort der Herausgeber

Die vorliegenden Tagungsbände (Band I – Band III) dokumentieren die Ergebnisse der Konferenz Logistikmanagement 2011 (LM11), die vom 28. bis 30. September 2011 an der Otto-Friedrich-Universität in Bamberg stattfand. Nach Bremen (1999), Aachen (2001), Braunschweig (2003), Dresden (2005), Regensburg (2007) und Hamburg (2009) war die Otto-Friedrich-Universität Bamberg der siebte Gastgeber dieser zweijährig stattfindenden Tagung der Wissenschaftlichen Kommission Logistik (WK Logistik) im Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V. (VHB).

An den drei Veranstaltungstagen erwarteten die Teilnehmer mehr als 70 Vorträge aus Forschung und Best Practice in Logistik und Supply Chain Management, Podiumsdiskussionen, Workshops für den wissenschaftlichen Nachwuchs sowie ein attraktives Rahmenprogramm. Die Tagung Logistikmanagement 2011 bot somit ein Forum für die Präsentation und Diskussion des aktuellen Forschungsstandes der betriebswirtschaftlichen Logistik und des Supply Chain Managements.

Gerade in wirtschaftlich schwierigen Zeiten gilt es, die Zukunftsfähigkeit von Unternehmen und ganzen Wertschöpfungsketten zu erhalten, indem die Herausforderungen in der Logistik und dem Supply Chain Management aufgegriffen, Chancen herausgearbeitet und konkrete Lösungen ermittelt werden. Um diesem thematischen Schwerpunkt „Logistikmanagement – Herausforderungen, Chancen & Lösungen“ gerecht zu werden und die gesamte Breite der Forschung in der betriebswirtschaftlichen Logistik zu erfassen, wurden in Zusammenarbeit mit dem Konferenzkomitee mehr als 20 Tracks formuliert, für die Beiträge eingereicht werden konnten. Neben der klassischen Einreichungsform, welche neben dem Konferenzvortrag auch einen Beitrag für das Tagungsband umfasste, konnte auch „presentation only“ gewählt werden, d. h. eine reine Vortragspräsentation ohne begleitenden Beitrag für das Tagungsband. Sämtliche Einreichungen wurden auf Basis der Extended Abstracts begutachtet.

Während im Rahmen der Konferenz Logistikmanagement 2011 einzelne Tracks zu thematisch verbundenen Vortragssessions zusammengefasst wurden, ist in den vorliegenden Tagungsbänden bewusst auf eine solche Untergliederung verzichtet worden. Dadurch soll insbesondere dem prozess-, funktions- oder systemübergreifenden Charakter der behandelten Themen Rechnung getragen werden. Gerade in der etablierten Bezeichnung Supply Chain Management – ein vielleicht wenig glücklich gewählter Terminus – zeigt sich der Ansatz zu reintegrieren, was zuvor abgegrenzt, separiert und zerlegt wurde. Die in den vorliegenden Tagungsbänden zusammengestellten Beiträge geben unserer Meinung nach einen hervorragenden Überblick über den gegenwärtigen Forschungsstand der betriebswirtschaftlichen Logistik und des Supply Chain Managements. Die Zusammenstellung und Reihenfolge der Beiträge erfolgte wertungsfrei und ohne den Anspruch auf eine umfassende Abgrenzung der behandelten Themenbereiche.

Wir sind vielen Freunden, Kollegen, Unterstützern und Förderern zu Dank verpflichtet, ohne deren Hilfe und Mitarbeit die erfolgreiche Durchführung der Konferenz Logistikmanagement 2011 nicht möglich gewesen wäre. Zunächst bedanken wir uns bei den Autorinnen und Autoren, die mit hervorragenden Beiträgen und engagierten Vorträgen die Tagung mit Leben füllten. Herzlich bedanken wir uns auch bei den Mitgliedern des Programmkomitees, die den thematischen Rahmen der Konferenz gestalteten sowie bei den Gutachterinnen und Gutachtern, die unter größter Termindisziplin die eingereichten Beiträge beurteilten.

Des Weiteren gilt ein besonderer Dank den fünf hochkarätigen Referenten, Wolfgang Heyder, Manager der Brose Baskets Bamberg, Dr. Peter von Wartenberg, Senior Vice President der Bosch Solar Energy AG, Uwe Lübbermann, Geschäftsführer Premium-Cola sowie dem Logistik-Experten Prof. Peter Klaus, die mit ihren Keynotes die Tagung maßgeblich angereichert haben.

Für ihre Unterstützung bedanken wir uns bei dem Vorsitzenden der Wissenschaftlichen Kommission Logistik im Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., Prof. Dr. Frank Schultmann, seinem Stellvertreter Prof. Dr. Udo Buscher sowie bei der Nachwuchsobfrau der Wissenschaftlichen Kommission Logistik im VHB, Prof. Dr. Inga-Lena Darkow, die im Rahmen der Tagung mit großem Engagement den Workshop „Publish or Perish – Die Entwicklung einer geeigneten Publikationsstrategie“ für den wissenschaftlichen Nachwuchs organisiert und durchgeführt hat.

Herzlich bedanken wir uns bei Dr. Andreas Scheuer, Parlamentarischer Staatssekretär des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung und Koordinator der Bundesregierung für Güterverkehr und Logistik, der spontan bereit war, die Schirmherrschaft für die Konferenz Logistikmanagement 2011 zu übernehmen.

Bei dem Präsidenten der Otto-Friedrich-Universität Bamberg, Prof. Dr. theol. Dr. phil. habil. Godehard Ruppert, und dem Oberbürgermeister der Stadt Bamberg, Andreas Starke, bedanken wir uns für ihre Grußworte im Rahmen der Eröffnungsveranstaltung. Ihr Engagement ist auch ein Zeichen für den wahrgenommenen Stellenwert der Tagung.

Dank gilt der Otto-Friedrich-Universität Bamberg, in deren Räumen die Konferenz stattfand sowie allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Tagungsbüros, der Presseabteilung, der Verwaltung, des Rechenzentrums sowie der Haustechnik der Otto-Friedrich-Universität Bamberg, die uns immer mit Rat und Tat beiseite standen. Dem Verlag University of Bamberg Press danken wir für die professionelle und unkomplizierte Zusammenarbeit bei der Erstellung der Tagungsbände.

Ein herzlicher Dank gebührt den Sponsoren, die es durch ihren Einsatz und ihr Engagement erst ermöglicht haben, die Tagung in einem angemessenen Umfeld durchführen zu können. Im Einzelnen bedanken wir uns bei Capgemini Consulting, Ofa Bamberg GmbH, Bongrain Gruppe Deutschland, Redpoint Consulting AG, Andreae-Noris Zahn AG, Robert Bosch GmbH, HDE-Logistik GmbH sowie L-S-B Broadcast Technologies GmbH.

VI Vorwort

Auch bedanken wir uns nachdrücklich bei unseren Medienpartnern, VerkehrsRundschau, DVV Media Group GmbH, Logistik Heute und BuR - Business Research, für ihre großzügige Unterstützung.

Schließlich möchten wir allen Helfern des Lehrstuhls für Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Produktion und Logistik, der Otto-Friedrich-Universität Bamberg während der drei Konferenztage danken, allen voran Frau Roswitha Laukenmann, die durch ihre freundliche und hilfsbereite Art für einen reibungslosen Ablauf der Veranstaltung sorgten.

Bamberg im September 2011

Eric Sucky
Björn Asdecker
Alexander Dobhan
Sabine Haas
Jonas Wiese

Konferenzkomitee

Prof. Dr. Dorit Bölsche (HS Fulda)
Prof. Dr. Udo Buscher (TU Dresden)
Prof. Dr. Inga Lena Darkow (EBS Wiesbaden)
Prof. Dr. Jan Dethloff (HS Bremen)
Prof. Dr. Ralf Elbert (TU Darmstadt)
Prof. Dr. Michael Eßig (UniBW München)
Prof. Dr. Martin Josef Geiger (HSU Hamburg)
Prof. Dr. Ralf Gössinger (TU Dortmund)
Prof. Dr. Karl Inderfurth (Uni Magdeburg)
Prof. Dr. Alf Kimms (Uni Duisburg/Essen)
Prof. Dr.-Ing. Herbert Kopfer (Uni Bremen)
Prof. Dr. Herbert Kotzab (Uni Bremen)
Prof. Dr. Rainer Lasch (TU Dresden)
Prof. Dr. Dirk Chr. Mattfeld (TU Braunschweig)
Prof. Dr. Stefan Minner (Uni Wien)
Dr. Alexander Pflaum (Fraunhofer SCS)
Prof. Dr. Richard Pibernik (EBS Wiesbaden)
Dr. Jörn Schönberger (Uni Bremen)
Prof. Dr. Frank Schultmann (KIT Karlsruhe)
Prof. Dr. Stefan Seuring (Uni Kassel)
Prof. Dr. Thomas Stefan Spengler (TU Braunschweig)
Prof. Dr. Wolfgang Stölzle (Uni St. Gallen)
Prof. Dr. Eric Sucky (Uni Bamberg)
Prof. Dr. Stephan Wagner (ETH Zürich)
Prof. Dr. Carl Marcus Wallenburg (WHU Vallendar)

Vorwort zu Band III

Die vorliegenden Tagungsbände (Band I – Band III) dokumentieren die Ergebnisse der Konferenz Logistikmanagement 2011 (LM11), die vom 28. bis 30. September 2011 an der Otto-Friedrich-Universität in Bamberg stattfand. An den drei Veranstaltungstagen erwarteten die Teilnehmer mehr als 70 Vorträge aus Forschung und Best Practice in Logistik und Supply Chain Management, Podiumsdiskussionen, Workshops für den wissenschaftlichen Nachwuchs sowie ein attraktives Rahmenprogramm. Die in den Tagungsbänden zusammengestellten Beiträge geben unserer Meinung nach einen hervorragenden Überblick über den gegenwärtigen Forschungsstand der betriebswirtschaftlichen Logistik und des Supply Chain Managements.

Um diesem thematischen Schwerpunkt „Logistikmanagement – Herausforderungen, Chancen & Lösungen“ der Konferenz gerecht zu werden und die gesamte Breite der Forschung in der betriebswirtschaftlichen Logistik zu erfassen, wurden in Zusammenarbeit mit dem Konferenzkomitee 24 Tracks formuliert.

Im vorliegenden Tagungsband (Band III) finden sich die Beiträge zu den folgenden Tracks:

- Supply Chain Collaboration
- Supply Chain Coordination
- Supply Chain Management.
- Supply Chain Risk Management
- Supply Chain Management in der Forstwirtschaft
- Closed-Loop Supply Chain Management
- Future Scenarios for Logistics and Supply Chains

Bamberg im September 2011

Eric Sucky
Björn Asdecker
Alexander Dobhan
Sabine Haas
Jonas Wiese

Inhaltsverzeichnis

Multi-Agent Based Evaluation of Collaborative Planning Concepts in Heterarchical Supply Chains	1
Bernd Hellingrath und Peer Küppers	
The Role of Supply Chain Integration for Operating Successfully in Emerging Markets: A Contingency Approach Considering Dynamism and Complexity	23
Daniel Rief, Kathrin Jankowski und Carl Marcus Wallenburg	
Experimentelle Untersuchung der verhandlungsbasierten Losgrößenplanung	43
Alexander Dobhan	
Spieltheoretische Analyse der werbungsbezogenen Zusammenarbeit von Hersteller und Händler	65
Gerhard Aust und Udo Buscher	
How to determine a supply chain initiative's value contribution? A simulation-based approach	87
Erik Hofmann und Philip Wessely	
Distributive Justice in Supply Chains – Fair Distribution of Collectively Earned Profits in Supply Chains	115
Susanne Jene und Stephan Zelewski	
Prävention von Transportschäden durch den Einsatz von Sensor-Telematik-Systemen aus der Versicherungsperspektive	133
Alexander C.H. Skorna, Christoph Bode und Andreas P. Hinz	
Biomasselogistik: Herausforderungen und Chancen für Unternehmen, Netzwerke und Regionen	159
Ina Ehrhardt und Holger Seidel	
Risiko im Versorgungsnetzwerk Holzbiomasse	175
Peter Rauch, Hermann Hahn, Manfred Gronalt und Peter Schwarzbauer	

An activity based potential analysis of forest product supply chains	191
Herbert Kotzab, Troels Troelsen und Kjell Suadicani	
Simultane Produktionsplanung von Neu- und aufgearbeiteten Produkten mit steuerbaren Rückflüssen: Ein spieltheoretischer Ansatz	207
Carolin Pescht und Udo Buscher	
Kapazitätsdimensionierung in Closed-Loop Supply Chains	227
Ralf Gössinger und Sandra Hallek	
Antizipative Logistikplanung in der variantenreichen Serienfertigung der Automobilindustrie durch Bewertung dynamischer Logistikkomplexität	251
Annika Lechner und Axel Wagenitz	
Frühwarnsystem – Robuste Logistiksysteme durch Kooperation in Netzwerken	271
Ralf Elbert und Jan Tränkner	

Multi-Agent Based Evaluation of Collaborative Planning Concepts in Heterarchical Supply Chains

Bernd Hellingrath

Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik und Logistik

Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Leonardo-Campus 3, 48149 Münster

bernd.hellingrath@ercis.uni-muenster.de

Peer Küppers

Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik und Logistik

Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Leonardo-Campus 3, 48149 Münster

peer.kueppers@ercis.uni-muenster.de

Abstract

Decentralized coordination and – as part of this research area – collaborative planning concepts are of major importance in today's production and logistics networks and subject to current supply chain management (SCM) research. Despite the need for suchlike approaches in practice it is still more a research area and practical applications of decentralized concepts including experiences of their appropriateness in real heterarchical supply chains are still missing. This paper presents a multi-agent based framework that aims at supporting research on the development of new collaborative planning concepts and promoting the step from a research domain to practical applications of decentralized coordination approaches. It allows for modeling and especially the information system-based evaluation of collaborative planning approaches in different heterarchical supply chain scenarios. The motivation, idea and architecture of the framework are presented. Furthermore, a concrete application of the framework, i.e. the evaluation of a current collaborative planning concept, is demonstrated.

1 Motivation and Problem Description

Today, producing companies are facing a highly dynamic competitive environment which requires effective and efficient business processes in order to meet customer needs adequately. Measures like the concentration on core competencies aiming at this issue have led to a high division of labor and hence a growing number of legally independent participants in the process of providing products to the ultimate customer. The resulting inter-organizational network – commonly denoted as supply chain (SC) – consists of several autonomous companies which cannot necessarily be forced to follow decisions or plans of a superordinate unit. Thus, the effective and efficient management and hence *coordination* of such SCs cannot be achieved in the same way as in hierarchical organizations which can be controlled by one dominant actor.

Coordination mechanisms for *hierarchical* SCs have been researched intensely, resulting in the development and practical application of sophisticated supply chain management (SCM) methods, e.g. implemented in advanced planning systems.¹ However, these hierarchical coordination approaches cannot be applied to heterarchical SCs due to several reasons. Companies in a heterarchical SC are generally involved in several networks with conflicting claims, e.g. on a company's resources. If applied in such a situation, central hierarchical coordination methods would have to extend their scope from a local decision and planning domain to various decision domains of different SCs. Extending the scope, e.g. by incorporating local decision variables into a central optimization model, requires the revelation of potentially sensitive data, e.g. about local cost structures. Therefore, participation in suchlike coordination mechanisms is not desirable for all SC actors.² This problem is linked to the potential unwillingness to share private information and abandon local decision autonomy, since both aspects might result in a competitive advantage for other SC partners.³

Several approaches in current SCM research address the aspects and peculiarities of *heterarchical* SCs in the development of adequate coordination mechanisms.⁴ Especially approaches in the domain of collaborative planning (CP) promise to meet the requirements imposed by heterarchical SCs with respect to decision autonomy and privacy of information. CP aims to achieve coordinated behavior by “the alignment of future activities of SC members, hence the coordination of plans”⁵. This heterarchical coordination intends to overcome the restrictions of traditional hierarchical planning concepts regarding the practical applicability in SCs, while simultaneously improving

¹ For an introduction to advanced planning cf. Stadler/Kilger (2008).

² Cf. Holmstrom et al. (2002), p. 40.

³ For a discussion and details on the inappropriateness of hierarchical coordination concepts in heterarchical supply chains cf. Breiter et al. (2009), pp. 4–5.

⁴ Overviews and approaches to classify decentralized coordination concepts are provided by, e.g., Breiter et al. (2009), Stadler (2009) or Kilger et al. (2008).

⁵ Stadler (2009), p. 5.

the heterarchical SC's performance compared to the uncoordinated situation being present, e.g. in currently applied successive planning approaches.

With respect to the representation and information system (IS) based implementation of suchlike decentralized coordination mechanisms, *multi-agent systems* (MAS) promise to meet the specific requirements induced by heterarchical structures.⁶ Heterarchical SCs consist of several autonomous actors following their own objectives while being interdependent and linked by physical, financial and informational flows. Thus, interactions between autonomous companies are a major constituent in such distributed networks. MAS provide a “natural metaphor”⁷ for their representation and a technological basis to handle interactions between the SC actors. The suitability and an overview of MAS in SCM is discussed, e.g., in Moyaux et al. (2006). Consequently, MAS provide an elaborate means to represent and implement CP approaches in IS.

This paper presents parts of a multi-agent based modeling and evaluation framework for CP concepts being developed at the Chair for Information Systems and SCM at the University of Münster. The *Framework for Intelligent Supply Chain Operations* (FRISCO)⁸ aims at supporting scientific research in the domain of CP and intends to assist CP concepts in their move from being primarily a research domain to their practical application in heterarchical SCs. The paper focuses on those components of FRISCO that are concerned with the evaluation of CP concepts. The evaluation will be presented by conducting an exemplary application of the framework to one concrete CP coordination concept. The collaborative *Demand and Capacity Network Planning* (DCNP) has been developed to allow for coordinating demanded and offered capacities in the built-to-order (BTO) parts of large production and logistics networks as being existent, e.g., in the automotive industry.⁹ These SCs are characterized by a large number of configurable product variants and hence large parts of these SCs – spreading the planning domains of several autonomous companies – follow a BTO production strategy.

The paper's intention is on the one hand to demonstrate the reasonability of CP concepts for the coordination of heterarchical SCs. This is conducted by evaluating one concrete CP approach and comparing its results to those of a comparable optimal, yet practically inapplicable optimization model. The evaluation relies on the application of the FRISCO framework and hence it is on the other hand intended to present parts of the research on this framework in detail. Its ability to model and especially evaluate the concrete DCNP concept as well as arbitrary CP concepts is meant to be shown.

The paper is structured as follows. Chapter 2.1 provides an introduction and a short overview of the state-of-the-art in research on CP. Furthermore, the collaborative DCNP coordination concept will be introduced in chapter 2.2. Here, the general idea and the fundamental intra- and inter-organizational planning, interaction and negotia-

⁶ Cf. Breiter et al. (2009), pp. 30–31.

⁷ Moyaux et al. (2006), p. 12.

⁸ Cf. Hellingrath et al. (2009b) and Hellingrath/Böhle (2010).

⁹ Cf. Hellingrath/Hegmanns (2010).

tion processes are presented. In chapter 3, an introduction to the FRISCO framework is provided including an overview of the general approach (3.1) and especially details on its MAS-based modeling and evaluation components (3.2). Chapter 4 deals with the actual evaluation of the collaborative DCNP concept in FRISCO. After shortly presenting the required MAS-models of the coordination approach (4.1), the concrete evaluation results of the decentralized approach in an exemplary SC scenario will be discussed (4.2). Afterwards, a comparable optimization model for the network-wide demand and capacity planning will be introduced and its results will be compared to those of the collaborative DCNP concept in order to provide an imprint of the decentralized coordination approach's performance (4.3). The paper concludes in chapter 5 with a summarizing evaluation of the presented research results and an outlook on future research to be conducted in this context.

2 Collaborative Planning in Heterarchical Supply Chains

2.1 *Fundamentals of Heterarchical Supply Chains and Collaborative Planning*

The performance of today's SCs is not determined by a single enterprise's activities, but relies on the whole network's effectiveness and efficiency. Due to the inherent high division of labor between autonomous yet in their actions highly interdependent actors, heterarchical networks entail special requirements on SC coordination mechanisms compared to hierarchical SCs.

CP concepts address these requirements by avoiding centralized planning or decision making units and relying on coordination based on mutual agreement without the revelation of private information and loss of local decision autonomy. CP can be defined as a "joint decision making process for aligning plans of individual SC members with the aim of achieving coordination [...]"¹⁰. The respective concepts cope with the need for coordination which is induced by inter-related tasks in heterarchical networks by inter-connecting the respective actors' planning domains. This inter-organizational planning process depends on the object of coordination (e.g. collaborative production planning) and the SC structure which is intended to be supported (e.g. multi-tier, build-to-order production and logistics networks) and hence different approaches to decentralized coordination by CP have evolved in recent years.¹¹ These approaches share several characteristics, especially with respect to the connection of local planning and optimization processes to a SC-wide, inter-organizational and decentralized coordination process.

The actual course of the coordination process is highly dependent on the CP concept. A generic CP cycle has been proposed by KILGER ET AL.¹² Decentralized coordination

¹⁰ Stadtler (2009), p. 6.

¹¹ Examples of current CP concepts are Dudek (2009) or Hegmanns (2010). For an overview of the state-of-the-art in decentralized coordination and CP see, e.g., Breiter et al. (2009) or Stadtler (2009).

¹² Cf. here and in the following Kilger et al. (2008), p. 276.

approaches following the concept of CP require the high-level *definition* of the collaborative relationship including, e.g., the collaboration's goals, affected business objects, time horizon, actor relations etc. Furthermore, detailed descriptions of *local planning activities* and their respective interrelations to the inter-organizational *exchange of data* (including the determination of exchangeable, i.e. uncritical information) are required. Since the idea of CP is based on mutual agreement between the actors of the SC, the identification and handling of *exceptional situations* has to be constituted in order to allow for reactions upon changed circumstances in the SC. Following the coordination and *negotiation* of plans, the SC-wide agreed plans are *executed* and the performance of the network with respect to *performance* indicators can be measured. This allows for an evaluation of benefits and the identification of potential perils or instabilities of the CP approach.

Summarized, CP coordination processes address the requirements of heterarchical SCs in their respective approach and furthermore include mechanisms to achieve SC-wide superior plans and stable situations, e.g. by relying on compensation payments.¹³ The FRISCO framework that is presented in this paper aims at providing a generic means to support the development and evaluation of arbitrary CP approaches and therefore has to meet the specific requirements arising from the underlying concepts and mechanisms of CP. The framework's constituents are presented in chapter 3 in detail. Since the utilization of FRISCO – especially with respect to its evaluation components – is discussed by applying a concrete, exemplary CP concept, this approach is introduced in the following section.

2.2 *The Collaborative Demand and Capacity Network Planning (DCNP) Concept*

Current practices in production and logistics networks, e.g. in the automotive sector, show that long-term contracts specify relatively fixed performance agreements between the network's actors, e.g. with respect to the provision of capacity.¹⁴ Suchlike long-term agreements imply inflexibilities in the case of demand variations, leading to unsatisfied demand and/or inefficiencies in the production processes due to capacity under-utilization. These aspects are a major issue in build-to-order (BTO) production and logistics networks which simultaneously require on-time demand fulfillment as well as cost efficient production processes. In case of demand variations, an over- or under-utilization of contractually agreed capacities is likely to occur, inducing on the one hand opportunity costs due to unfulfilled demand or additional costs in case of late deliveries. On the other hand the under-utilization of resources leads to opportunity costs especially in case of large resource investments.

The collaborative DCNP concept aims at solving this issue by providing mechanisms to improve the match between demanded and required capacity in inter-organizational, multi-tier production and logistics networks. Three kinds of SC actors that can participate in the coordination mechanism are distinguished: build-to-stock (BTS) suppliers

¹³ Cf. Kilger et al. (2008), p. 278.

¹⁴ Cf. Schuh (2006), p. 94.

constitute the upstream “ends” and BTO-driven original equipment manufacturers (OEM) the downstream “ends” of the coordinated SC. BTO suppliers are intermediaries which source from BTS (or other BTO) suppliers and supply OEMs (or again other BTO suppliers). The concept is based on the idea of CP as described above and hence coordination is achieved by mutual agreement without the revelation of private, sensitive information and loss of local decision autonomy of the coordinated SC actors. The aforementioned phases of CP are defined in several intra- and inter-organizational processes, i.e. concepts and methods for local domain planning, the exchange of information and exception handling are provided and described in detail.¹⁵

On the one hand, the planning concept requires performance agreements between companies which specify the planned capacity provided from a supplier to its customer in the mid-term planning horizon between 3 and 24 months. On the other hand, the concept defines procedures that automatically identify and solve conflict situations, i.e. detect capacity shortages (or oversupply situations respectively) and help to overcome them by a decentralized negotiation and adaptation of network-wide plans including temporary changes of the performance agreements (cf. fig. 1). Demand for capacity is monitored at each stage for each supplier and compared to the previously specified performance agreements in order to be able to identify violations of the agreed capacity corridors, i.e. exceptional circumstances.

Besides monitoring the performance agreements, the collaborative DCNP concept defines inter-organizational procedures to resolve occurring contract violations. These procedures are intended to be performed automatically in order to achieve a network-wide, mutually agreed adaptation of capacities to the current demand situation. The concept achieves this decentralized coordination via bilateral negotiations between the actors on multiple stages of the network. The automated negotiations contain the exchange of requests and responses regarding adaptations of plans, i.e. performance agreements, and invoke several local planning processes in order to determine the adaptations’ effects on an actor’s local plans. Compensation payments for the reservation of additional or cancellation of unnecessary capacities provide a means for the acceptance of locally unfavorable plans. Thus, incentives for participation are integrated into this coordination mechanism, i.e. globally (SC-wide) preferable plans can be achieved in the collaborative DCNP concept.

The inter-organizational planning processes adjust the bilateral performance agreements continuously to the current demand situation by solving the aforementioned capacity agreement violations. This negotiation process involves multiple rounds of planning and information exchange in order to achieve a network-wide feasible and agreed plan. HEGMANNNS defined a negotiation protocol describing the flow of messages in the different phases between the participating actors including the respective actors’ negotiation states throughout the coordination process.¹⁶

¹⁵ Cf. Hegmanns (2010), pp. 119–202.

¹⁶ Cf. Hegmanns (2010), pp. 131–143.

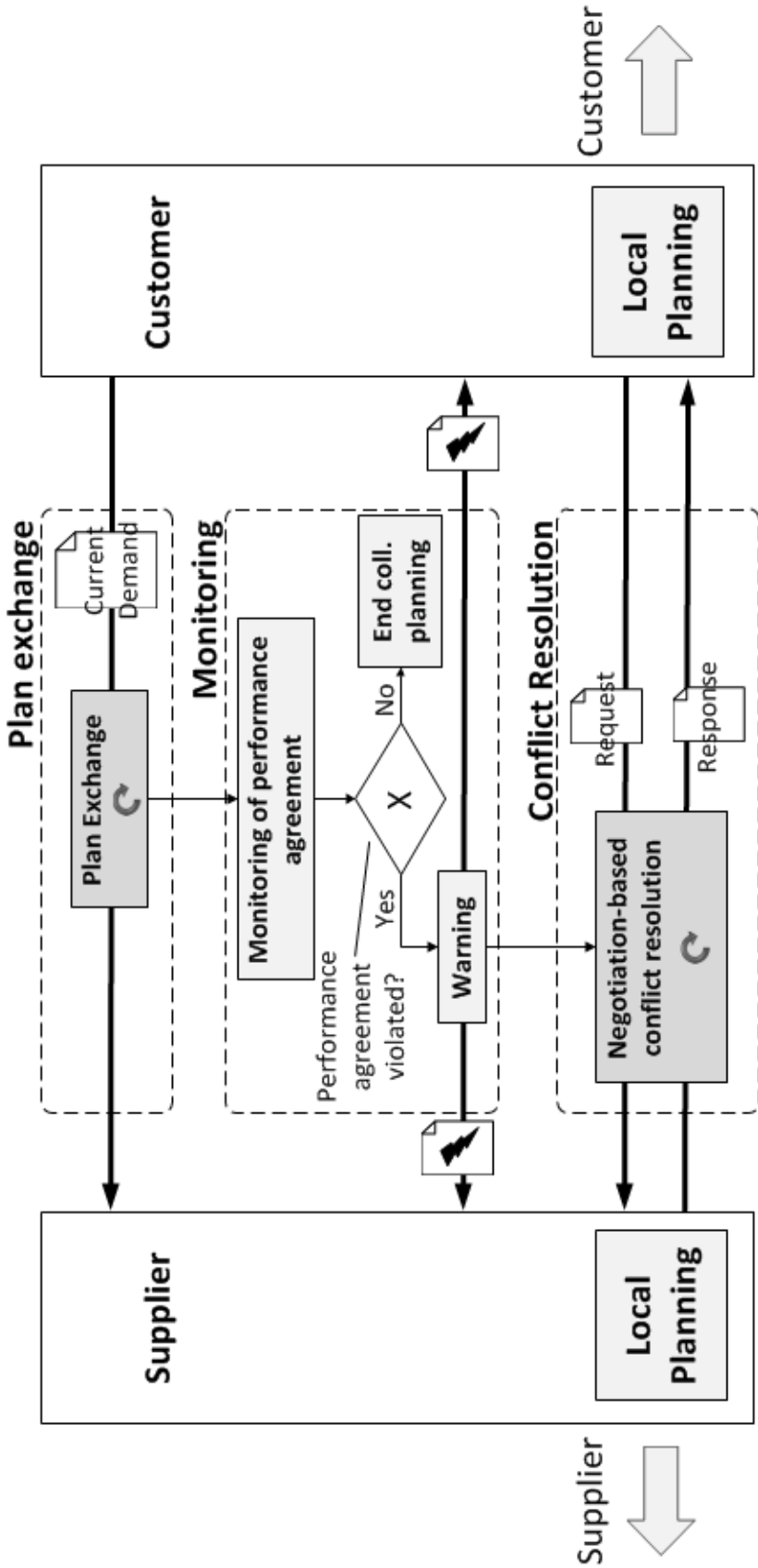


Fig. 1: Inter-organizational planning in the collaborative DCNP concept (source: Hellingrath/Hegmanns 2010, p. 19)

As discussed in chapter 1, MAS provide the concepts to represent the heterarchical network structure, the interaction processes and the information flows between the different SC participants in the described collaborative DCNP approach. Furthermore, they provide a technological basis to implement the coordination concept in an IS. Thus, before discussing the MAS-based evaluation of the collaborative DCNP approach by means of FRISCO, the next chapter describes the basic idea, goals and architecture of this framework.

3 An MAS-Based Framework for Collaborative Planning Concept Evaluation

3.1 Overview and High-Level Goals

The ultimate goal of our research on FRISCO is to support the scientific research in the domain of CP and to pave the way for these decentralized coordination mechanisms from being primarily a research domain to their practical applications in real SCs. The framework approaches this goal by providing an environment that supports the conceptual development of new or identification of existing decentralized coordination concepts. Furthermore, capabilities for modeling and evaluating these concepts – especially in the domain of CP – for arbitrary heterarchical SC environments are included.¹⁷ FRISCO therefore consists of several parts which fulfill the respective requirements in the different phases of developing and evaluating a CP approach. Fig. 2 depicts a high-level overview of the FRISCO approach by highlighting its tasks and components in supporting CP development and setting them into relation to the previously discussed generic CP cycle (cf. chapter 2.1).

The framework's tasks can be distinguished on the one hand into core tasks which are intended to provide in-depth support for developing and evaluating CP concepts and on the other hand indirect tasks which are currently covered in less detail and hence subject to future research on the framework.

The need for CP concepts results as discussed above from the inefficiency of currently applied coordination mechanisms in combination with the infeasibility of centralized optimization approaches in heterarchical SCs. Thus, before developing a new or applying an existing CP concept, the *potential for improvement* (either from the concrete practical or the more general research perspective) by CP has to be identified. Our research on FRISCO does not explicitly address this issue but provides indirect support by summarizing the state-of-the art in research and practice of CP and SC collaboration.

Since CP approaches rely on collaborations between the participating SC actors, a clear understanding and definition of the concepts' underlying *collaboration agreement* is required.

¹⁷ FRISCO focuses thereby on concepts from the domain of “collaborative planning and control” Breiter et al. (2009), p. 14. Thus it is not intended to explicitly support coordination mechanisms like contract models (cf. Breiter et al. (2009), pp. 8–14).

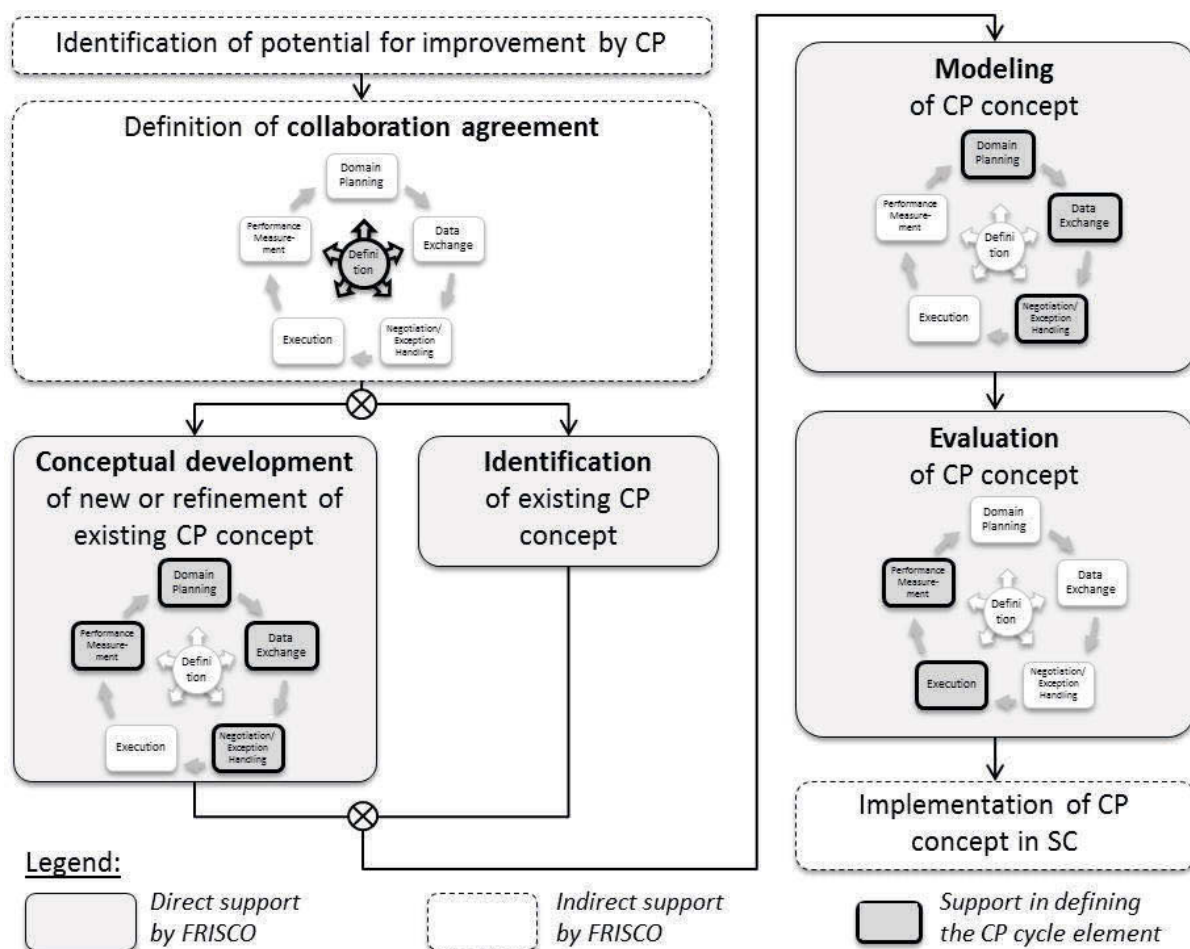


Fig. 2: High-level overview of the FRISCO task support in the course of developing CP approaches

This includes descriptions of its major goals, expected benefits for the actors and the SC, the actors' interrelations and roles, high-level business processes and information and financial flows. The definition of CP goals including performance indicators is especially required with respect to the measurement of its benefits and stability¹⁸. These issues are highly dependent on the business case to be improved. FRISCO supports the respective aspects indirectly by summarizing experiences and suggestions from research and practice in this context.¹⁹

Having defined the major goals of the aspired CP concept and a respective collaboration agreement, the next step lies in either *identifying an existing* suitable CP concept or refining an existing or *developing a new concept* that suits the requirements being defined in the previous phases. FRISCO provides guidance in the identification of ex-

¹⁸ CP concepts intend to improve the whole SC's performance and therefore situations may occur in which an actor is put in a worse position compared to, e.g., local optimization methods. Stability in this context is therefore understood as the explicit incorporation of "fairness" (Stadler (2009), p. 23) into the concept (e.g. via side-payments) in order to reach stable win-win situations. STADTLER confers this issue high importance for the practical acceptance of CP (cf. Stadler (2009), pp. 23–27).

¹⁹ For the definition of collaboration agreements see, for example, Kuhn/Hellingrath (2002), pp. 175–196 or Kilger et al. (2008), pp. 275–277. A definition of the collaboration agreement for the application of collaborative DCNP is presented in Hegmanns (2010), p. 99.

isting concepts by means of a categorization of state-of-the-art CP approaches.²⁰ Furthermore, the conceptual development of new approaches is supported. On the one hand this includes the identification of appropriate domain planning, data exchange and negotiation/conflict resolution concepts.²¹ On the other hand, the selection of adequate performance indicators allowing for measuring the CP concept's benefits is provided by FRISCO.²²

In order to provide a means for the efficient evaluation of CP concepts, FRISCO includes an IS-based environment accounting for the respective tasks. These tasks comprise on the one hand means for *modeling* CP concepts in order to allow for a formal and unambiguous description of the underlying processes. On the other hand, an evaluation environment allows for executing CP concepts in different scenarios in order to *evaluate* the expected benefits for the investigated SCs. These two tasks constitute a major part of FRISCO and lie in the focus of this paper.

The execution and performance measurement steps of the CP cycle are performed in a testing rather than a productive SC environment. Thus, FRISCO does not provide an IS-based solution or architecture for the *implementation* of a CP concept in real SCs. However, the concrete implementation is indirectly supported due to the chosen approach of a model-driven development (MDD) in FRISCO. MDD in case of FRISCO means that the conceptual CP models can be automatically translated to executable code for the IS-based evaluation environment. Hence these models could also be a basis for the generation of IS-based implementations of CP in real SCs.

3.2 *The Modeling and Evaluation Environment*

As discussed above, the requirements on an IS imposed by CP can be reasonably met by MAS concepts and thus FRISCO follows an *MAS-based approach*. In order to be able to efficiently cope with differently shaped CP mechanisms beyond the mere modeling, an approach following *MDD* was chosen. The goal is to provide an environment that allows for modeling the complex structures and processes of CP concepts and furthermore using these models in order to automatically create executable code for an efficient IS-based evaluation of the CP approaches in different scenarios.

Modeling MAS and the automated transformation of models to executable code has been researched intensely in the MAS context and several approaches have evolved.²³ The current version of FRISCO²⁴ has therefore been extended by MDD mechanisms and linked to an existing modeling language for MAS.²⁵ This Domain Specific Modeling Language for MAS (DSML4MAS) provides all required concepts for a representa-

²⁰ The identification is especially based on Stadler (2009) and Breiter et al. (2009).

²¹ The development and selection of appropriate concepts is especially based on Breiter et al. (2009).

²² The selection of appropriate performance indicators is especially based on Keller/Hellingrath (2007).

²³ For an overview cf. Nunes et al. (2009).

²⁴ A previous version of FRISCO is described in, e.g., Hellingrath et al. (2009b).

²⁵ Cf. Hahn et al. (2009).

tion of arbitrary CP approaches, especially with respect to the graphical definition of complex interaction protocols required in CP. Furthermore, translation rules are provided that allow the transformation of conceptual MAS models to executable code which can be run on an MAS runtime environment.

Derived from the general requirements of CP concepts and the intended support to define the different parts of the generic CP cycle (see chapters 2.1 and 3.1), the modeling and evaluation parts of FRISCO contain several components that are depicted in fig. 3 and described in the following.

SCM-related *ontologies* provide the knowledge basis for CP approaches and allow the representation of, e.g., sourcing relations, manufacturing resources or demand plans.²⁶ Furthermore, FRISCO contains reference models and implementations of agents that are capable of representing different SC actors (e.g. manufacturers, logistic service providers etc.). These agents comprise exemplary and extendable actor-dependent local planning activities, e.g. for production planning. The inter-organizational processes of a CP concept are defined in the interaction protocol component of FRISCO. Since CP concepts do not necessarily rely on existing protocols the efficient and extendible definition of inter-organizational processes in protocols is of major importance. The framework furthermore is intended to offer a methodology that guides its application throughout all phases, i.e. from SC and CP concept modeling to an evaluation by executing the agent code on the MAS-platform.

The knowledge-related part of FRISCO, i.e. the SCM and CP related ontologies and their transformation to data structures that can be used in an agent runtime environment, is described in Hellingrath et al. (2009b) and Hellingrath et al. (2009a). The definition of the agents' behaviors and the inter-organizational coordination processes has been conducted in previous versions of FRISCO based on behavior descriptions in workflows.²⁷ In order to increase the efficiency of the CP modeling and evaluation process, the current version of FRISCO being presented in this paper follows an adapted approach in analogy to MDD (indicated in fig. 3). Thus, the models of internal agent behavior (e.g. local optimization) and the descriptions of inter-organizational coordination processes (e.g. negotiation protocols) can automatically be translated to executable Java code. This approach dramatically reduces development and programming efforts in order to evaluate a CP concept in an IS.

In order to show and evaluate the correct operation of CP concepts in different scenarios, FRISCO includes a means to simulate the business processes and hence the CP coordination mechanisms' execution in the evaluation environment. This has been achieved by modeling a "simulation protocol" (also in DSML4MAS) which all agents participate in and which is controlled by a "simulation agent". It allows triggering the agents each period, i.e. the intra- and inter-organizational processes defined in the CP concept are executed in a definable scenario consecutively over multiple periods.

²⁶ Cf. Hellingrath et al. (2009a).

²⁷ Cf. Böhle et al. (2010).

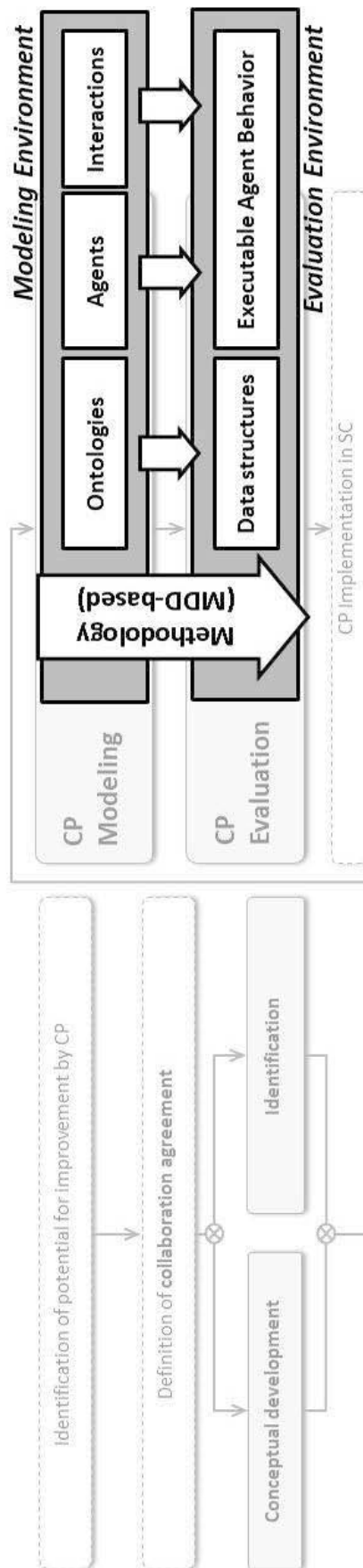


Fig. 3: The modeling and evaluation components of FRISCO in relation to the high-level tasks

4 MAS-Based Evaluation of the Collaborative DCNP Concept

4.1 MAS Models of the Collaborative DCNP Concept

In order to allow for the efficient evaluation of the collaborative DCNP concept, FRISCO requires a conceptual model of its constituents which can afterwards automatically be translated to executable code (cf. fig. 3). These MAS models describing the different aspects of the concept as presented in chapter 2.2 (actor relations and roles, intra-organizational activities, exchanged data, interaction protocols for negotiation) are shortly discussed in the following.

The knowledge-related part of the concept, i.e. ontologies conceptually describing the agents' "understanding" with respect to the representation of, e.g., sourcing relations, bill-of-material structures, resources, etc., can be used as already provided by FRISCO in major parts.²⁸ Thus, the following descriptions focus on the collaborative DCNP specific models that had to be created newly by means of the DSML4MAS environment. The DSML4MAS relies on several views on the different aspects of MAS.²⁹ By means of these views, the DSML4MAS development environment provides all concepts that are required to formally model the collaborative DCNP approach. All required views were developed and instantiated in order to model the concept. The most important models that describe the CP concept are depicted in the following.

As mentioned in chapter 2.2, collaborative DCNP distinguishes three types of actors (BTS/BTO suppliers and OEM) that can participate in the coordination concept. Transferred to the MAS model in DSML4MAS, these are represented by three agents in the so called "agent view". The collaborative DCNP coordination mechanism relies on two roles that can be taken on by its participants: *Supplier* and *Customer*. These roles are reflected in the agent view by permitting the agent types to act in the respective role. The OEM determines the downstream "end" of the production network and is therefore only permitted to act as a *Customer*. Analogously upstream, BTS suppliers constitute the last actors in the coordinated part of the SC, i.e. are only permitted to be a *Supplier*. The multi-tier support of the collaborative DCNP concept is facilitated by allowing BTO suppliers to act as both, *Suppliers* and *Customers*.

The next step in modeling the collaborative DCNP concept is the definition of interactions that can take place in the MAS, i.e. in this case between the *Customer* and *Supplier* roles. This requires the assignment of the two roles to an organizational structure, which is modeled by an organization called *OrganizationDCNP* in the "MAS view". The *OrganizationDCNP* represents one stage of the SC being coordinated by the collaborative DCNP concept. Modeling the organization is the prerequisite for the defini-

²⁸ The ontology is provided by the framework and already contains many SCM-related concepts to represent SCs and described in, e.g., Hellingrath et al. (2009a). Minor extensions being necessary in this part of the framework in order to model the collaborative DCNP concept will not be described in detail here.

²⁹ For details cf. Hahn et al. (2009).

tion of interaction mechanisms taking place in the organization as the participating roles are defined.

Besides the MAS view, an “organization view” is required to define which interactions can be performed within the organization i.e. one stage of the SC. In the collaborative DCNP case, these interactions are modeled by a protocol called *DCNPProtocol* which contains all communication steps of the coordination mechanism (not described in detail here) and is hence related to the *OrganizationDCNP*.

Modeling the intra- and inter-organizational processes of a CP concept by means of DSML4MAS constitutes a large part of the modeling process in FRISCO.³⁰ Since an MDD approach is followed, these models can be translated to source code allowing the execution of the coordination concept in a concrete SC scenario in the MAS runtime environment. The following chapter therefore describes the required steps in evaluating the collaborative DCNP concept by means of FRISCO in a specific SC scenario.

4.2 Evaluation of the Collaborative DCNP Concept in the Supply Chain Scenario

4.2.1 Defining the Supply Chain Scenario

The collaborative DCNP concept allows for the decentralized coordination of demand and capacities in complex multi-tier production networks. In order to demonstrate the evaluation process and its results a simple SC scenario will be used in the following (cf. fig. 4, top). Although this scenario covers the peculiarities of SCs supported by the collaborative DCNP concept, e.g. multi-tier SCs with diverging and converging material flows, its intention is reduced to the comprehensible discussion of the CP methods being presented in this paper.³¹ A BTS supplier constitutes the upstream end of the coordinated SC and supplies two BTO suppliers with part “C”. The BTO suppliers use this part to produce their products “A” and “B” respectively. The OEM produces the final product “P” which is demanded by the ultimate customers.

The SC structure is defined in FRISCO in a scenario definition file (XML-based), describing for example the actors (e.g. produced products, BOM, required and available capacities), their relations including especially sourcing parameters which parameterize the collaboration agreements between the SC actors and further scenario information like the ultimate customers’ demand. This scenario definition therefore relies on and fills in the knowledge-related parts for the evaluation (cf. fig. 3, “data structures”).

³⁰ Besides the described models it is furthermore necessary to define the SC agents’ knowledge in an ontology. This ontology is provided by the framework and already contains many SCM-related concepts to describe SCs, e.g. for sourcing relations, bill-of-material, resources etc. (cf. Hellingrath et al. (2009a)). Extensions being necessary in this part of the framework in order to model a CP approach will not be described in detail here.

³¹ The simplicity of the scenario therefore does not intend to provide results giving insights and recommendations for complex real SC scenarios. It is rather intended for demonstration purposes.

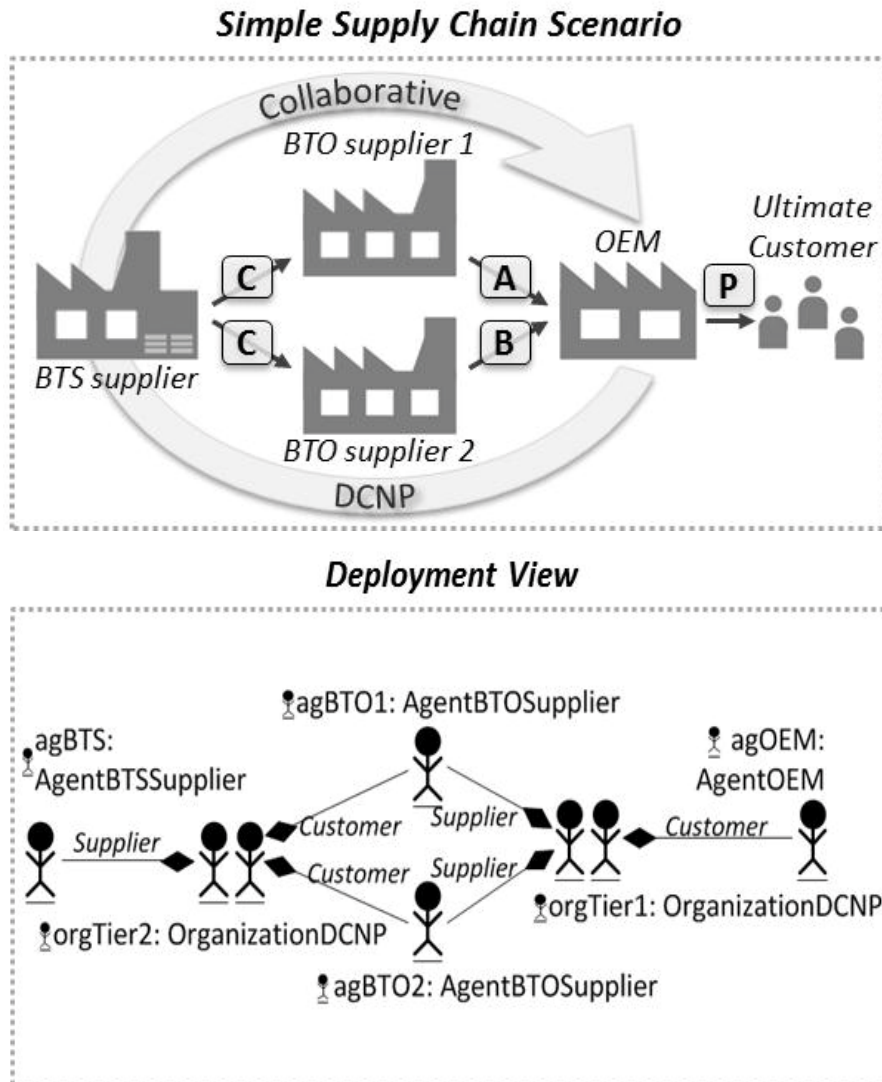


Fig. 4: SC scenario overview (top) and respective deployment view (bottom)

In order to create the concrete “executable agent behavior” (cf. fig. 3) for the IS-based scenario evaluation, it is required to define a deployment view besides the previously described scenario-independent collaborative DCNP models (cf. chapter 4.1). In this deployment view (cf. fig. 4, bottom) the instantiations of SC agents in the scenario determined ($agOEM$, $agBTO1$, $agBTO2$ and $agBTS$). Furthermore, the SC tiers to be coordinated are modeled by creating instantiations of the *OrganizationDCNP* ($orgTier1$ and $orgTier2$) and relating the agents with their respective role (*Customer* or *Supplier*) to them. Thus, in the simple scenario the $orgTier1$ organization for example causes the generation of executable agent code being capable of performing the *DCNPProtocol* (due to the organization-protocol assignment in the organization view, cf. chapter 4.1). Since one *OrganizationDCNP* represents one stage of the SC being coordinated, two organizations are modeled in the deployment view in order to represent the multi-tier structure of the scenario.

4.2.2 Evaluating the Collaborative DCNP in the Supply Chain Scenario

After having defined all scenario specific parameters and the deployment diagram, the automated code generation creates respective agent source code being executable in the multi-agent runtime environment. Due to the added “simulation” capabilities of FRISCO (cf. chapter 3.2) these agents can now be triggered to perform the different steps and phases of the collaborative DCNP in the scenario period by period.

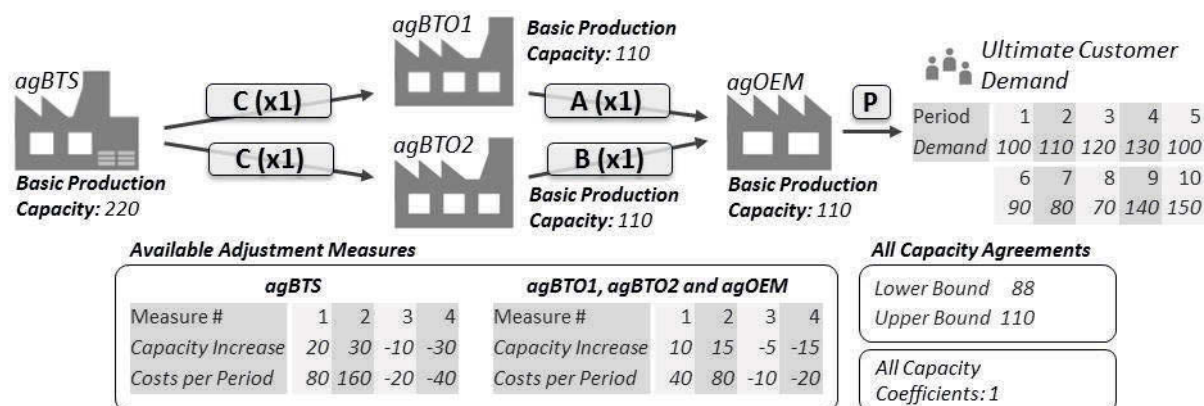


Fig. 5: SC scenario parameters for the Collaborative DCNP

For a comprehensible presentation of the scenario evaluation results – especially with respect to the comparison to the optimization results – simple scenario parameters have been chosen allowing a quick and traceable understanding of the CP effects (cf. fig. 5).

The *agOEM* produces one product (*P*) for which the estimated demand for the next ten periods is given. It is assumed that the products being produced in the SC require one capacity unit at all respective actors, i.e. all capacity coefficients equal 1. Furthermore, the bills-of-material are simple: the production of one unit *P* requires one part of *A* (from *agBTO1*) and one part of *B* (from *agBTO2*). These products themselves require one unit of *C* from *agBTS* per produced item. All BTO-driven actors (*agBTO1*, *agBTO2* and *agOEM*) have a basic production capacity of 110 units per period which can be increased or decreased via four adjustment measures. Adjustment measures in the context of demand and capacity planning can have different characteristics, being e.g. personnel related like overtime or resource related like shifting maintenance activities.³² In case of the simple scenario, the described adjustment measures can be understood as short-term personnel measures (e.g. overtime for capacity increases and short-time work for capacity decreases) without further parameters restricting their implementation like lead times.³³ The *agBTS* has a basic production capacity of 220 and can also rely on four slightly changed adjustment measures to react upon changed capacity demand. Finally, all capacity agreements between the actors have a lower bound of 88 and an upper bound of 110 production capacity units per period.

³² For details cf. Hegmanns (2010), pp. 46–48.

³³ For details on the supported parameters for adjustment measures cf. Hegmanns (2010), p. 152.

Fig. 6 depicts a screenshot of parts of the FRISCO evaluation environment while simulating the collaborative DCNP concept. The so called *SimControlAgent* (left) is used to load or change scenario data and especially while running a scenario trigger period increments. Thus, this agent steers the execution of the FRISCO “simulation protocol” (cf. chapter 3.2). The graphical visualizations of two exemplary agents performing the collaborative DCNP concept are shown in the middle (*agBTS*) and on the right side (*agBTO1*) in fig. 6.

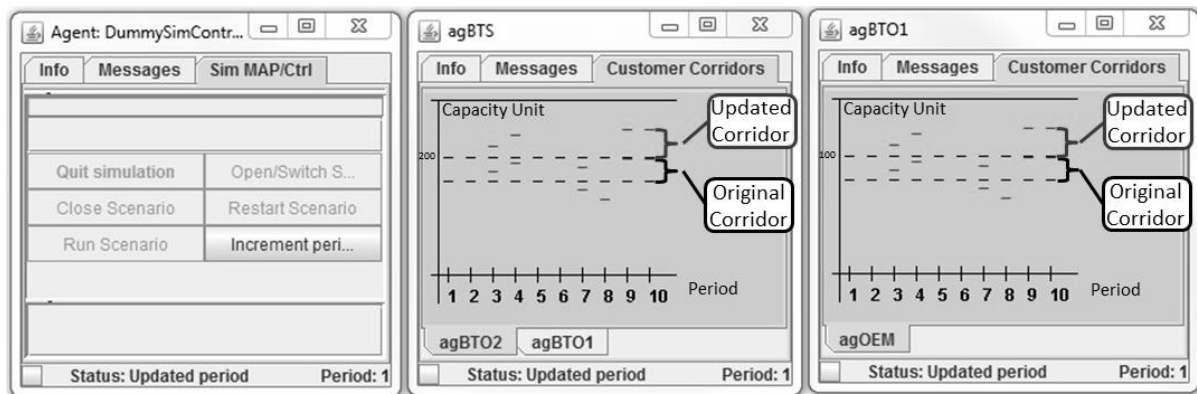


Fig. 6: Annotated screenshot of the FRISCO evaluation environment executing the example SC scenario (excerpt)

One period was simulated, i.e. the ultimate customers requested products from the OEM, which afterwards communicated the resulting capacity demand to its suppliers (*agBTO1* and *agBTO2*). Due to the plan exchange, conflict situations were identified (in periods 3, 4, 7, 8, 9 and 10) and the collaborative DCNP negotiation mechanisms resulted in network-wide adaptations of the capacity corridors in order to meet the capacity demand as good as possible. Grey lines indicate deviations from the original performance agreements (black lines) that result from the automated negotiation processes.³⁴ In order to be able to provide the capacity due to these agreed corridor changes, the actors have to implement different adjustment measures which result in additional costs in the respective periods, adding up in the example to the value of 1450. In order to provide the demanded capacity of 120 units in period 3 for example, the *agBTO1* implements measure 1 i.e. increases its production capacity by 10 units.

Although both BTO suppliers (*agBTO1* and *agBTO2*) plan to implement the available capacity increase measures (1 and 2) in periods 9 and 10, it is observable that the network cannot fulfill the ultimate customer demand in these periods. The adjustment measures do not suffice to provide the required capacity of 140 and 150 units respectively. The collaborative DCNP mechanisms identified these capacity shortages and communicated the maximum possible capacity of 135 in a respective adaption proposal to the *agOEM*. The corridor adaptations in periods 9 and 10 (cf. fig. 6) between *agBTO2* and *agOEM* reflect this reaction.

³⁴ Since the evaluation capabilities of the graphical user interface do not cover all aspects for evaluating the collaborative DCNP concept, further effects of CP – especially implemented adjustment measures and the respective costs – are currently textually printed out.

The execution of the collaborative DCNP scenario in the FRISCO evaluation environment showed the correct functionality of this CP concept (changed capacity agreements) and furthermore gave insights into the required implementation of adjustment measures at all SC actors being necessary to meet the changed demand situation in the planning horizon. Due to the capacity shortages at the BTO suppliers, these actors are not able to fulfill the OEM's capacity demand in the last two periods. It is observable that the corridor of the capacity agreements between *agBTO1/agBTO2* and the *agOEM* can only be increased by 25 capacity units in both periods although 30 and 40 units are required for a complete demand fulfillment. Thus, the collaborative DCNP achieves an overall rate of customer demand fulfillment of approximately 98%.³⁵

4.3 Comparison to an Optimization Model for Centralized Demand and Capacity Planning

Besides the capability to execute and evaluate CP concepts in different SC scenarios, FRISCO is intended to provide means for the comparison of the decentralized coordination results to those of alternative coordination mechanisms. One theoretically advantageous yet in distributed production networks practically inappropriate coordination alternative is a network-wide centralized optimization model (see chapter 1). Due to the assumption of complete information being available to one central coordination unit, this approach's results promise the highest SC efficiency.³⁶ Thus, in order to allow for a better estimation of the improvements by a CP approach, FRISCO is intended to provide concepts and methods for comparing CP performance to the theoretical "upper bound" of performance achievable by central optimization.³⁷

In the case of collaborative DCNP, the following centralized optimization model has been used for comparing CP and central optimization. It has been adapted from the model described in Hegmanns (2010) which in turn is based on the results presented in Pibernik/Sucky (2005).

The objective function (1) includes production costs (containing production costs per period and setup costs), periodic costs for adjustment measures and transportation and inventory holding costs.³⁸ Furthermore, the original model has been extended by a "demand fulfillment" factor which is multiplied with backorder costs and thus allows for the representation and pricing of unfulfilled demand. The restrictions (2) and (3) constitute the flow conservation. Restriction (4) assures that customer demand is ful-

³⁵ The agreed changes to the capacity agreements imply side-payments between the respective actors. This issue has not been presented in detail here. For a discussion cf. Hegmanns (2010), p. 215.

³⁶ Cf. Breiter et al. (2009), p. 4.

³⁷ On the one hand it is intended to provide guidance in identifying and/or defining a comparable centralized optimization model and linking relevant aspects from the CP definitions to this model. On the other hand, these definitions could also be re-used for a comparison to the potentially less efficient coordination by successive planning concepts. Suchlike concepts could easily be modeled and evaluated by means of FRISCO. However, this part of the framework is in an early stage of development.

³⁸ For details cf. Hegmanns (2010), pp. 216–217.

filled by the last stage of the network. The adherence to production capacities including potential increases/decreases due to implemented adjustment measures is provided by (5). Inventory capacities are regarded by (6). The presentation of non-negativity and further constraints (e.g. regarding the correct setting of binary variables) has been omitted in this paper. The descriptions of the variables are provided in tab. 1.

$$\min \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \sum_{k \in K_i} \sum_{n \in N_i} \left[PQ_{i,k,t}^n \cdot ProdCst_{i,k}^n + z_{i,k,t}^n \cdot FixCst_{i,k}^n + \sum_{f \in F_{i,k}} y_{i,k,t}^f \cdot PCst_{i,k}^f \right. \\ \left. + \sum_{k \in K_{i+1}} TQ_{i,k,l,t}^n \cdot TransCst_{i,k,l}^n + IQ_{i,k,t}^n \cdot InvCst_{i,k}^n + \sum_{m \in N_{i-1}} IQ_{i,k,t}^m \cdot InvCst_{i,k}^m \right] \\ + \sum_{t=1}^T \sum_{n \in N_I} (1 - df_{n,t}) \cdot BOCst_n \quad (1)$$

subject to

$$IQ_{i,k,t}^n = IQ_{i,k,t-1}^n + PQ_{i,k,t}^n - \sum_{l \in K_{i+1}} TQ_{i,k,l,t}^n \quad \forall i, n \in N_i, k \in K_i, t \quad (2)$$

$$IQ_{i,k,t}^m = IQ_{i,k,t-1}^m - \sum_{n \in N_i} PQ_{i,k,t}^n \cdot BOMF_{i,m,n} + \sum_{l \in K_{i-1}} TQ_{i-1,l,k,t}^m \quad \forall i, m \in N_{i-1}, k \in K_i, t \quad (3)$$

$$\sum_{k \in K_I} TQ_{i,k,l,t}^n = df_{n,t} \cdot DM_{l,t}^n \quad \forall n \in N_I, l \in K_{I+1}, t \quad (4)$$

$$\sum_{n \in N_i} PQ_{i,k,t}^n \cdot pc_k^n \leq BC_{i,k,t}^{prod} + \sum_{f \in F_{i,k}} y_{i,k,t}^f \cdot incC_{i,k}^f \quad \forall i, k, t \quad (5)$$

$$\sum_{n \in N_i} IQ_{i,k,t}^n \cdot ic_k^n + \sum_{m \in N_{i-1}} IQ_{i,k,t}^m \cdot ic_k^m \leq BC_{i,k,t}^{inv} \quad \forall i, k, t \quad (6)$$

The optimization model's demand and capacity plan results in a significant change of adjustment measure implementation and hence resulting costs compared to the decentralized approach of the collaborative DCNP. The possibility to plan stock volumes of the whole network facilitates a more efficient allocation of required capacity adjustments and eventually leads to costs for adjustment measures of 120 in the scenario. Furthermore, the resulting plan enables a 100% fulfillment of the customer demand.

Summarized, the centralized planning approach provides a more efficient solution with respect to the performance indicators "costs of applied adjustment measures" and "demand fulfillment" in the exemplary SC. Due to complete information, the measures can be optimally allocated to the respective nodes while being capable of fulfilling the expected customer demand adequately. The collaborative DCNP concept allows for an automated adaption of capacities in the network without the revelation of potentially critical information like local cost structures to a central planning unit. Thus, this concept promises to provide a means to coordinate the SC's demand and capacity without requiring information disclosure. However, due to the simplicity of the analyzed scenario, the presented results only provide an indication for the collaborative DCNP concept's effectiveness for heterarchical SCs. The practical applicability still has to be shown with respect to a more complex SC scenario from practice.

<i>Var.</i>	<i>Description</i>	<i>Var.</i>	<i>Description</i>
i	SC tier ($i=1, \dots, I+1$)	t	Period
K_i	Set of nodes on tier i	N_i	Set of products produced on tier i
$df_{n,t}$	Fulfillment of the final customer demand of final product n in period t (in percent)	$BOCst_n$	Costs for unfulfilled demand of product n
$F_{i,k}$	Set of adjustment measures available on node k (tier i)	$y_{i,k,t}^f$	Binary variable indicating that adjustment measure f is implemented on node k (tier i) in period t
$PC_{i,k}^f$	Periodic costs of adjustment measure f on node k (tier i)	$incC_{i,k}^f$	Production capacity increase adjustment measure f on node k (tier i)
$ProdCst_{i,k}^n$	Production costs of product n (tier i) and node k	$PQ_{i,k,t}^n$	Production quantity of product n on node k (tier i) in period t
$pc_{i,k}^n$	Required production capacity for the production of product n on node k (tier i)	$BC_{i,k,t}^{prod}$	Production capacity of node k (tier i) in period t (basic capacity)
$FixCst_{i,k}^n$	Changeover costs for the production of product n and node k (tier i)	$z_{i,k,t}^n$	Binary variable indicating that product n is produced on node k (tier i) in period t
$TransCst_{i,k,l}^n$	Transport costs for product n from node k on (tier i) to node l (tier $i+1$)	$TQ_{i,k,l,t}^n$	Transport quantity of product n from node k (tier i) to node l (tier $i+1$)
$InvCst_{i,k}^n$	Inventory holding costs for final product n on node k (tier i)	$InvCst_{i,k}^m$	Inventory holding costs for intermediate product m on node k (tier i)
$ic_{i,k}^n$	Required inventory capacity of product n on node k (tier i)	$ic_{i,k}^m$	Required inventory capacity of intermediate product m on node k (tier i)
$IQ_{i,k,t}^n$	Inventory quantity of final product n on node k (tier i) in period t	$IQ_{i,k,t}^m$	Inventory quantity of intermediate product m on node k (tier i) in period t
$BOMF_{i,m,n}$	Required quantity of intermediate product m (from tier $i-1$) for the production of final product n (bill-of-material factor)	$BC_{i,k,t}^{inv}$	Inventory capacity of node k (tier i) in period t (basic capacity)
$DM_{I,t}^n$	Ultimate customer demand for product n in period t	M	Large number

Tab. 1: Description of variables in the central demand and capacity optimization model

5 Conclusion

This paper presented research on a framework (FRISCO) for modeling and evaluating CP coordination approaches for heterarchical SCs. The focus lay on the framework's application with respect to one specific CP concept (collaborative DCNP), i.e. an evaluation of the approach's performance in an exemplary SC scenario. It could be shown that the MAS-based approach of representing decentralized SC coordination mechanisms promises to meet the requirements induced by CP. Especially the structure of and relations in heterarchical SCs and the crucial inter-organizational processes in CP approaches proved to be reasonably representable by means of the FRISCO modeling environment. Furthermore, it has been shown that these models can be automatically transformed to scenario-specific agents that can be executed in the FRISCO evaluation environment. This automated code generation provides a major advantage in the consistent and re-usable implementation of CP concepts.

The evaluation has been conducted in a simplified SC scenario. The results show the correct functionality of the collaborative DCNP concept, especially its automated exception handling and negotiation capabilities. Furthermore, the concept's performance has been analyzed with respect to the performance indicators of network-wide adjustment measure costs and customer demand fulfillment. Besides the decentralized approach, a central optimization model has been included in FRISCO to provide an estimation of the "upper performance bound" of CP approaches in the domain of demand and capacity planning. With respect to collaborative DCNP central optimization achieves significant cost reductions for network adjustment measures. However, the collaborative DCNP concept achieves its primary goal to provide a decentralized mechanism that reaches an adaption of network-wide capacities, i.e. a reaction upon customer demand changes without the revelation of private information.

Summarized, the presented proof-of-concept of FRISCO strengthens the argumentation for this approach since the requirements on the framework were shown to be satisfiable. However, the framework is still under development and especially its evaluation component will be extended in future. On the one hand, further research on the measurement of CP performance indicators as well as an extension of the framework's evaluation capabilities is required in order to efficiently support arbitrary CP concepts and provide deeper insights into their effects on SC performance. On the other hand, evaluations of more complex real SC scenarios will have to be conducted in order to allow for more detailed evaluations and profound conclusions of CP concepts' – especially the collaborative DCNP approach's – practical applicability in concrete heterarchical SCs.

6 References

- Böhle, C.; Hellingrath, B.; Dangelmaier, W.; Elskamp, D. (2010): Workflow-based Agents for Supply Chain Management, in: 8th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN2010), IEEE International Conference on Industrial Informatics, Osaka.
- Breiter, A.; Hegmanns, T.; Hellingrath, B.; Spinler, S. (2009): Coordination in Supply Chain Management - Review and Identification of Directions for Future Research, in: Voss, S.; Pahl, J.; Schwarze, S. (Eds.): Logistik Management, Heidelberg.
- Dudek, G. (2009): Collaborative Planning in Supply Chains: A Negotiation-Based Approach, 2nd Ed., Berlin, Heidelberg.
- Hahn, C.; Madrigal-Mora, C.; Fischer, K. (2009): A platform-independent metamodel for multiagent systems, in: Autonomous Agents and Multi-Agent Systems 18 (2), pp. 239–266.
- Hegmanns, T. (2010): Dezentrales Planungs- und Prozesskonzept für ein kollaboratives Bedarfs- und Kapazitätsmanagement in Produktionsnetzwerken, Dortmund.
- Hellingrath, B.; Hegmanns, T. (2010): Dezentrales und kollaboratives Bedarfs- und Kapazitätsmanagement in build-to-order Produktions- und Logistiknetzwerken, in: Delfmann, W. (Ed.): Strukturwandel in der Logistik: Wissenschaft und Praxis im Dialog, 5. Wissenschaftssymposium Logistik 2010, Darmstadt, 16.-17.06., pp. 11–31.
- Hellingrath, B.; Witthaut, M.; Böhle, C.; Brügger, S. (2009a): An Organizational Knowledge Ontology for Automotive Supply Chains, in: Marik, V.; Strasser, T.; Zoitl, A. (Eds.): Hologonic and Multi-Agent Systems for Manufacturing: 4th International Conference on Industrial Applications of Hologonic and Multi-Agent Systems, HoloMAS 2009, Linz, Austria, August 31 - September 2, 2009. Proceedings, Berlin, Heidelberg, pp. 37-46.

- Hellingrath, B.; Böhle, C. (2010): Integrierte agentenbasierte Produktions- und Logistikplanung in der Supply Chain, in: *KI - Künstliche Intelligenz* 24 (2), pp. 115-122.
- Hellingrath, B.; Böhle, C.; van Hueth, J. (2009b): A Framework for the Development of Multi-Agent Systems in Supply Chain Management, in: Sprague, R. H. (Ed.): *Proceedings of the 42nd annual Hawaii International Conference on System Sciences, HICSS '09, Waikoloa, Big Island, Hawaii, 5-8 January 2009*, pp. 1530–1605.
- Holmstrom, J.; Framling, K.; Tuomi, J.; Karkkainen, M.; Ala-Risku, T. (2002): Intelligent product agents: the key to implementing collaboration process networks, in: *International Journal of Logistics Management* 13 (2), pp. 39–50.
- Keller, M.; Hellingrath, B. (2007): Kennzahlenbasierte Wirtschaftlichkeitsbewertung in Produktions- und Logistiknetzwerken, in: Otto, A.; Obermaier, R. (Eds.): *Logistikmanagement: Analyse, Bewertung und Gestaltung logistischer Systeme*, pp. 51-75.
- Kilger, C.; Reuter, B.; Stadtler, H. (2008): Collaborative Planning, in: Stadtler, H.; Kilger, C. (Eds.): *Supply chain management and advanced planning: Concepts, models, software, and case studies*, 4. Aufl., Berlin, pp. 263–284.
- Kuhn, A.; Hellingrath, B. (2002): *Supply Chain Management: Optimierte Zusammenarbeit in der Wertschöpfungskette*, Berlin.
- Moyaux, T.; Chaib-draa, B.; D'Amours, S. (2006): Supply chain management and multiagent systems: an overview, in: Chaib-draa, B.; Müller, J. (Eds.): *Multiagent-Based Supply Chain Management*, Berlin, pp. 1–27.
- Nunes, I.; Cirilo, E.; Lucena, C. J. P.; Sudeikat, J.; Hahn, C.; Gomez-Sanz, J. J. (2009): A Survey on the Implementation of Agent Oriented Specifications, in: Gleizes, M. P.; Gómez-Sanz, J. J. (Eds.): *Agent-oriented software engineering X, AOSE 2009, Budapest, 11-12 May, Berlin*, pp. 169–179.
- Pibernik, R.; Sucky, E. (2005): Master Planning in Supply Chains, in: Günther, H. O.; Mattfeld, D. C.; Suhl, L. (Eds.): *Supply Chain Management und Logistik: Optimierung, Simulation, Decision-Support*, Heidelberg, pp. 69–93.
- Schuh, G. (Ed.) (2006): *Produktionsplanung und -steuerung - Grundlagen, Gestaltung und Konzepte*, 3rd Ed., Berlin.
- Stadtler, H. (2009): A framework for collaborative planning and state-of-the-art, in: *OR Spectrum* 31, pp. 5-30.
- Stadtler, H.; Kilger, C. (Eds.) (2008): *Supply chain management and advanced planning - Concepts, models, software, and case studies*, 4th Ed., Berlin.

The Role of Supply Chain Integration for Operating Successfully in Emerging Markets: A Contingency Approach Considering Dynamism and Complexity

Daniel Rief

Kuehne-Foundation Chair of International Logistics Networks,
Technische Universität Berlin, Straße des 17. Juni 135, 10623 Berlin,
rief@ilnet.tu-berlin.de

Kathrin Jankowski

Kuehne-Foundation Chair of Logistics and Services Management,
WHU – Otto Beisheim School of Management, Burgplatz 2, 56179 Vallendar,
kathrin.jankowski@whu.edu

Carl Marcus Wallenburg

Kuehne-Foundation Chair of Logistics and Services Management,
WHU – Otto Beisheim School of Management,
Burgplatz 2, 56179 Vallendar,
wallenburg@whu.edu

Abstract

To cope with growing competition and cost pressure in a globalized world, companies from industrialized countries like Germany are forced to extend their area of operations to Emerging Markets (e.g., China). As the concept of supply chain integration is claimed to work as an appropriate strategy when applied to such challenging conditions of uncertainty by prior research, the question of external process integration has often been answered with a “the more the better” approach. However, as in the past, research findings for conditions of environmental uncertainty and varying supply chain partners have been contradicting, growing evidence suggests that uncertainty cannot be seen as a homogeneous concept. Thus, we use structural equation modeling to analyze the positive effects of external process integration on firm performance when applied to German manufacturing companies in the context of environmental dynamism or complexity in the Emerging Market of China.

1 Introduction

To cope with growing competition and cost pressure in a globalized world, companies are forced to extent their area of operations to new markets.¹ This is especially the case for companies from industrialized countries (e.g., Germany), having to deal with growing production costs in their home markets.² In this context, China as a typical example of an Emerging Market³ seems to offer promising opportunities for further development,⁴ as it has become one of the “key manufacturing hubs” in recent years.⁵ Nevertheless, in Emerging Markets such opportunities are tied to challenging contextual conditions,⁶ which lead to a high level of uncertainty as perceived by managers. Under such uncertain conditions, the question of supply chain integration (SCI) arises.⁷ Most researchers argue SCI to be an appropriate strategy to ensure high performance levels, even if being confronted with uncertainty,⁸ thus following a “the more the better” approach.⁹ However, we claim that a more differentiated view on SCI is needed to better understand the assumed positive effects external integration with suppliers and/or customers has on firm performance.¹⁰

In their critical examination of SCI literature Fabbe-Costes/ Jahre (2008) suggest contingency theory to offer an adequate theoretical background to further determine the contexts in which supply chain integration is able to enfold its proclaimed positive effects on performance.¹¹ Although the subject of environmental uncertainty, risk, or turbulence is prominent in supply chain literature, terms like flexibility, adaptability, and agility are as popular as they are heterogeneously understood,¹² resulting in conflicting and even controversial research findings.¹³ Prior research suggests that environmental uncertainty cannot be seen as a homogeneous, one-dimensional construct, but has to be examined more differentiated.¹⁴ Therefore, we distinguish the concept of environmental uncertainty into its two well established dimensions of simple-complex, and

¹ Vgl. Hutchinson et al. (2007), S. 98.

² Rammer/ Schmiele (2009), S. 18.

³ Vgl. Luo (2001), S. 456; Luo (2003), S. 1316.

⁴ Luo (2003), S. 1316.

⁵ Chen/ Daugherty/ Roath (2009), S. 67.

⁶ Khanna/ Palepu (2010), S. 6; Luo (2001), S. 452; Kinra/ Kotzab (2008), S. 292.

⁷ Vgl. Flynn et al. (2010), S. 58.

⁸ E.g. Fynes et al. (2004), S. 182/ 183; Stonebraker/ Liao (2004), S. 1043; Wong et al. (2010), S. 3/4; Richey Jr. et al. (2009), S. 828; Yin et al. (2010), S. 321.

⁹ Frohlich/ Westbrook (2001), S. 187; vgl. Vgl. Fabbe-Costes/ Jahre (2008), S. 131; Vickery et al. (2003), S. 524.

¹⁰ Kim (2006), S. 247; Lin et al. (2010), S. 323; vgl. Chen/ Daugherty/ Landry (2009), S. 27.

¹¹ Fabbe-Costes/ Jahre (2008), S. 145; vgl. Boon-itt/ Wong (2011), S. 254.

¹² Vgl. e.g. Kinra/ Kotzab (2008), S. 287; Power (2005), S. 253; Tang/ Tomlin (2008), S. 15; Luo (2001), S. 456; Hülsmann et al. (2008), S. 15; Manuj/ Mentzer (2008), S. 193.

¹³ Vgl. Lee et al. (2009), S. 190.

¹⁴ Vgl. Lee et al. (2009), S. 191.

static-dynamic environments introduced by Duncan (1972).¹⁵ Based on this, we will be able to show potentially different performance outcomes of SCI when applied to the two varying dimensions of uncertainty.

Concerning the performance outcomes of SCI, prior research has used a wide range of direct or indirect performance measures.¹⁶ Especially under conditions of uncertainty that companies are confronted with in Emerging Markets, flexibly serving customers' needs and quickly reacting to market changes is crucial to overall firm success.¹⁷ Therefore, we argue distribution service performance (DSP) to play a key role by mediating the proposed positive effect of SCI on overall firm performance composed of market and financial performance.

In a nutshell, we use contingency theory, analyzing German manufacturing companies that have entered the Emerging Market of China to show the impacts of environmental uncertainty, induced by complexity and dynamism, on the performance outcomes of external process integration with supply chain partners.

This paper is structured as follows: The next section offers a differentiated discussion on the performance effects of SCI. This is followed by a description of the empirical research approach that utilizes a large-scale survey, before outlining the results. After a discussion of our findings, we finally offer implications for managers and further research.

2 Conceptual Development

2.1 *Supply Chain Integration (SCI) Concept*

The concept of SCI can directly be derived from the definition of supply chain management.¹⁸ It refers to the close collaboration between supply chain partners, including the linkage of major business functions and processes.¹⁹ In this paper we focus on external process integration, which is defined by Chen et al. as referring "to the management of various sets of activities that aims at seamlessly linking relevant business processes (...) across firms and eliminating duplicate or unnecessary parts of the processes for the purpose of building a better-functioning supply chain".²⁰ The overall positive effects of SCI on performance²¹ have long been extended to the context of environmental uncertainty, as researchers claim supply chain integration to improve a

¹⁵ Duncan (1972), S. 314, 316.

¹⁶ Vgl. Flynn et al. (2010), S. 60.

¹⁷ Stank et al. (2001), S. 35, Germain/ Iyer (2006), S. 45.

¹⁸ Vgl. Fabbe-Costes/ Jahre (2008), S. 131; Richey Jr. et al. (2010), S. 238; compare also for the 2008 definition by the Global Supply Chain Forum: Supply chain management is defined as "the integration of key business processes, from original supplier to end-user, to provide products, services and information", vgl. Hsu et al. (2008), S. 297.

¹⁹ Vgl. Chen/ Daugherty/ Landry (2009), S. 27; Boon-itt/ Wong (2011), S. 254.

²⁰ Chen/ Daugherty/ Roath (2009), S. 66.

²¹ Kim (2006), S. 247; Lin et al. (2010), S. 323; vgl. Chen/ Daugherty/ Landry (2009), S. 27.

company's responsiveness by enhancing access to relevant and timely information.²² As Emerging Markets like China provide a challenging context to managers because of their newness and different market, cultural, and sociological background, the concept of SCI is of special interest when applied to this uncertain surroundings.²³

Apart from context factors, there have also been efforts to gain a more detailed view on the integration of specific supply chain partners by examining them separately. But while the differentiation between integration with customers (downstream) and suppliers (upstream) is quite common in academic literature, there have been only few attempts so far to gain deeper insights concerning the performance effect of integrating processes with logistics service providers (LSP).²⁴ Flynn et al. state that customer integration is positively related to customer satisfaction, whereas supplier integration has a positive effect on product development as well as on effective supplier communication.²⁵ Boon-itt/ Wong claim that establishing a close cooperation to a firm's customer provides insights to its markets and products, and enables the organization to efficiently respond to its customer's needs. Additionally, integration with suppliers may work as an enabler of improved coordination concerning delivery times and batches and therefore be positively related to performance.²⁶ As to LSPs, their integration can play a major role in fulfilling customer's needs by achieving competence in transport and warehousing and therefore improving distribution services.²⁷

We argue the integration of LSPs to provide the connection to both a company's suppliers and its customers, completing overall SCI. Consequently, to gain a more detailed view on their performance outcomes, this paper views the three dimensions of SCI (customer, supplier, and LSP integration) separately.

2.2 *Performance Outcomes of External Process Integration*

A broad consensus seems to exist on the fact that supply chain integration has a positive effect on firm performance.²⁸

While the distinction of firm performance into financial and market performance is widely accepted in academic literature,²⁹ some researches argue financial performance to be considered most important as the maximization of shareholder value should be seen as the top goal of organizations. Others claim this view to be too simplistic and

²² Richey Jr. et al. (2009), S. 828; vgl. Lin et al. (2010), S. 321; Wong et al. (2010), S. 3/4.

²³ Wang/ Kess (2006), S. 469.

²⁴ E.g. Boon-itt/ Wong (2011), S. 255/ 256; Flynn et al. (2010), S.60; Vickery et al. (2003), S. 524; Jayaram/ Tan (2010), S. 265.

²⁵ Flynn et al. (2010), S. 60.

²⁶ Boon-itt/ Wong (2011), S. 255/ 256.

²⁷ Chen/ Daugherty/ Landry (2009), S. 36; Jayaram/ Tan (2010), S. 265.

²⁸ E.g. Kim (2006), S. 243; Flynn et al. (2010), S. 66.

²⁹ E.g. Droge et al. (2004), S. 559; Hsu et al. (2008), S. 300; Richey Jr. et al. (2010), S. 246; Homburg/ Pflesser (2000), S. 452.

propose mediation.³⁰ In their 2003 study Vickery et al. found the positive effect of supply chain integration on financial performance to be mediated by what they called customer service.³¹ Droge et al. (2004) stated firm performance – consisting of market share and financial performance – to be influenced by so-called intermediate performance outcomes. These were defined as time to market, time to product and responsiveness.³² Boon-itt/ Wong (2011) claim customer delivery performance to be affected positively by supply chain integration.³³ The relation of these contributions lies in their focus on flexibly fulfilling customer's needs, which is crucial to overall firm performance,³⁴ as it enables companies to gain more market share, as well as to improve their financial performance.³⁵ DSP, which can be defined as effectively responding to key customers' needs by providing desired quantities and timely delivery of products on a consistent basis,³⁶ implies quick reaction to customers' wants and thus serves as an intermediary performance outcome and plays a key mediating role between integrating processes in form of SCI and firm performance.³⁷

H1_{a-c}: Distribution service performance serves as a key mediator between a) supplier, b) customer, and c) LSP integration and overall firm performance.

With respect to the interrelation of the two firm performance dimensions, improved market performance in terms of, for example, higher market share and the attraction of new customers will generally result in better overall financial performance as it has been shown in many empirical studies. Thus, we hypothesize a corresponding positive effect.³⁸

H2: Market performance has a positive effect on financial performance.

2.3 Contingency Effects on the link between Supply Chain Integration and Performance

Contingency theory argues that concerning questions of organization there is no "one size fits all".³⁹ Therein, a contingency is defined as "any variable that moderates the effect of an organizational characteristic on organizational performance".⁴⁰ Accordingly, companies have to match their structures to the demands of their environments

³⁰ Vgl. Flynn et al. (2010), S. 60.

³¹ Vickery et al. (2003), S. 535.

³² Droge et al. (2004), S. 559.

³³ Boon-itt/ Wong (2011), S. 255.

³⁴ Germain/ Iyer (2006), S. 45; vgl. Stank et al. (2001), S. 32.

³⁵ Vgl. Vickery et al. (2003), S. 526; Fugate et al. (2010), S. 47, 55.

³⁶ Compare for Stank et al. (2001), S. 35.

³⁷ Compare also for Germain/ Iyer (2006), S. 45.

³⁸ Vgl. Narver/ Slater (1990), S. 20/21.

³⁹ Vgl. Flynn et al. (2010), S. 59.

⁴⁰ Donaldson (2001), S. 7.

as under specific environmental conditions different approaches of integration should result in different performance outcomes.⁴¹ One of these so-called context or contingency factors that has received much attention recently is uncertainty.⁴² However, as mentioned above, prior findings concerning the performance outcome of SCI in case of high uncertainty have been conflicting.⁴³ Therefore and to gain a better comprehension of the underlying effects, we further distinguish uncertainty into the two dimensions of dynamism and complexity as introduced by Duncan (1972).⁴⁴

Pursuant to his argumentation the static-dynamic dimension “indicates the degree to which the factors of the decision unit’s [...] environment remain basically the same over time” and are not part of a continual process of change. Thus, dynamism represents the degree as well as the frequency of change.⁴⁵ Duncan’s view was supplemented by Child (1972) who added the sub dimension of predictability or regularity of changes occurring to further determine the concept.⁴⁶ Complementing dynamism, Duncan claimed uncertainty to be composed of a simple-complex dimension.⁴⁷ Accordingly, a complex environment is defined regarding to the number, heterogeneity as well as the number of relations between the elements a company has to cope with.⁴⁸

In the academic literature it is often stated that the greater the turbulence (respectively dynamism) of an environment, the stronger the need for SCI. It is argued that this would enable a company to immediately react to trends in changing environments by close SC cooperation.⁴⁹ We do not support this view:

The definition of dynamism implies fast and rather fundamental changes in intermittent intervals.⁵⁰ Yet, in fast changing environments flexibility, and especially its aspect of adaptability is crucial for fulfilling customer’s needs when being confronted with future changes.⁵¹ Here, integration is not an effective approach: Implementing SC process integration means to align (i.e., adapt) processes in and across firms. This again implicates that frequent and extensive coordination efforts have to be coped with. Having to deal with a fast changing environment, companies are seeking to diminish their (already extensive) coordination efforts rather than enlarging them.

Furthermore, supply chain process integration embeds at least a certain amount of standardization as processes have to be aligned and coordination requirements have to

⁴¹ Stonebraker/ Liao (2006), S. 38; Vgl. Fynes et al. (2004), S. 179; Patel (2011), S. 143.

⁴² Vgl. Boon-itt/ Wong (2011), S. 254; Fynes (2004), S. 179.

⁴³ Vgl. Lee et al. (2009), S. 190.

⁴⁴ Duncan (1972), S. 314, 316; vgl. Schreyögg (2008), S. 258; Welge/ Al-Laham (2008), S. 296.

⁴⁵ Duncan (1972), S. 316.

⁴⁶ Schreyögg (2008), S. 260.

⁴⁷ Duncan (1972), S. 316.

⁴⁸ Vgl. Schreyögg (2008), S. 258; Hülsmann et al. (2008), S. 16; Luo (2001), S. 455/ 456.

⁴⁹ E.g. Stonebraker/ Liao (2004), S. 1046; Fynes et al. (2004), S. 183; Richey Jr. et al. (2009), S. 828.

⁵⁰ Duncan (1972), S. 316; vgl. Schreyögg (2008), S. 260.

⁵¹ Tang/ Tomlin (2008), S. 15; Jahre/ Fabbe-Costes (2005), S. 146.

be diminished. On the one hand, this facilitates the access to a company's supply chain partner's knowledge and allows for timely sharing of relevant information.⁵² On the other hand, it significantly reduces flexibility and binds a company to its supply chain partners. When being confronted with fundamental and unpredictable environmental changes, this creates the following lock-in situation: The alignment of processes and the sharing of timely information require close coordination and specific investments in the planning and information system, which have been shown to be essential for effective implementation of SCI.⁵³ This, in turn, creates high transaction costs and barriers to change supply chain partners as sunk costs rise. But being confronted with a dynamic environment the ability to, for example, change a supply network can be essential.⁵⁴

In organization literature an organic, loosely-coupled structure is seen as appropriate in dealing with dynamic environments as it facilitates flexibility and adaptability.⁵⁵ But if a company is bound by supply chain process integration, such fast adaptation is impossible. Consequently, there exists a trade-off between flexibility and integration.

H3_{a-c}: The more dynamic an environment, the lower the direct positive effect of supply chain process integration with a) suppliers, b) customers, and c) LSPs on distribution service performance.

Complexity was identified by Duncan as the second dimension of contextual uncertainty.⁵⁶ We argue that supply chain process integration has a positive effect on performance when applied to such contingencies.

Implementing supply chain process integration implies the alignment of processes⁵⁷ which is achieved through standardization. This, in turn, implicates to simplify information and channel the focus of the company on the most important issues.⁵⁸ Close cooperation with supply chain partners will help organizations to facilitate the valuation of information regarding to those relevant. This is especially the case when dealing with the challenges of an Emerging Market (e.g., China): Being confronted with a different cultural surrounding, a language which most Europeans are not able to understand and a non-transparent legal and social context,⁵⁹ orientation and guidance by local supply chain partners is not only welcome, but often even necessary.⁶⁰ This is espe-

⁵² Vgl. Li et al. (2006), S. 426.

⁵³ Richey Jr. et al. (2009), S. 830.

⁵⁴ Lee (2004), S. 109.

⁵⁵ Christopher/ Holweg (2011), S. 69; Bagchi/ Skjoett-Larsen (2002), S. 8; vgl. Patel (2011), S. 144/145; Wong et al. (2010), S. 25.

⁵⁶ Duncan (1972), S. 314/315.

⁵⁷ Chen/ Daugherty/ Landry (2009), S. 29.

⁵⁸ Chen/ Daugherty/ Roath (2009), S. 67; Stonebraker/ Liao (2006), S. 40; vgl. Richey Jr. et al. (2010), S. 241.

⁵⁹ Lau/ Zhang (2006), S. 779.

⁶⁰ Wang/ Kess (2006), S. 469.

cially the case when having to deal with local content rules, which foreign manufacturing companies in China are obliged to obey.⁶¹ By implementing SCI and relying on the information of supply chain partners, companies are able to significantly reduce the complexity that comes with a new cultural background. This again generates capacity to deal with challenging environmental conditions.⁶²

Furthermore, standardization implies the ability to replicate processes. That clears the way for organizational learning and the chance to generate new competences.⁶³ Concerning the complexity of supply chain relations, process integration might also be able to reduce opportunistic behavior as it is designed to support long-term and stable relations.⁶⁴

H4_{a-c}: The more complex an environment, the higher the direct positive effect of supply chain process integration with a) suppliers, b) customers, and c) LSPs on distribution service performance.

3 Research Methodology

3.1 Sample Design and Measurement Scales

To conduct our research, we followed an empirical large-scale survey approach, collecting data on German manufacturing companies with production operations in China across different industries and SC positions. China was chosen for our study as it has become one of the “key manufacturing hubs in recent years” and therefore is of growing interest for Western companies as well as for researchers.⁶⁵ Furthermore, the country takes a prominent role as one of the so-called Emerging Markets and has already been identified as providing complex and dynamic environmental contingencies, therefore being perfectly suited to conduct our research.⁶⁶

For this study, the constructs for supplier, customer, and LSP integration were adapted from Chen et al. (2009), Braunscheidel and Suresh (2009), and Frohlich and Westbrook (2001).⁶⁷ They were measured using 7-point-Likert type scales, with four items for each construct. The scales referring to the performance measures of market performance, financial performance, and distribution service performance were derived from Homburg and Pflessser (2000), Fugate et al. (2010) as well as Stank et al. (2001). Here, we used three items for each construct.⁶⁸ As concerning to our moderation, we

⁶¹ Vgl. Luo (2001), S. 457, 459.

⁶² Vgl. Patel (2011), S. 144; Ragatz et al. (2002), S. 392.

⁶³ Vgl. Hülsmann et al. (2008), S. 17.

⁶⁴ Vgl. Lee et al. (2009), S. 192.

⁶⁵ Chen/ Daugherty/ Roath (2009), S. 67; Flynn et al. (2010), S. 67.

⁶⁶ Vgl. Luo (2001), S. 453, 455.

⁶⁷ Braunscheidel/ Suresh (2009), S. 138; Chen/ Daugherty/ Roath (2009), S. 71; Frohlich/ Westbrook (2001), S. 189.

⁶⁸ Homburg/ Pflessser (2000), S. 459; Fugate et al. (2010), S. 55; Stank et al. S. 35.

framed the concept of uncertainty regarding to the definition stated by Duncan (1972) and Schreyögg (2008).⁶⁹ The construct of environmental uncertainty can be measured objectively as well as subjectively through the uncertainty perceived by managers. As environmental contingencies only influence a company via their impact on managers' cognition, we decided to focus on perceived, subjectively measured environmental uncertainty in this study (compare also for Appendix A2).⁷⁰

Our research model was tested first in a pre-test with 8 logistics researchers and 5 practitioners. Afterwards, we conducted a web-based survey, available in English.

Our initial sample, derived from a data base, consisted of 2580 managers, whereof 1901 contacts could be validated after deleting all mailing errors. Following the procedure recommended by Larson/ Poist (2004) we used incentives and three friendly reminder e-mails to increase our response rate.⁷¹ 265 managers participated in our study, which equates a response-rate of 13.9%. As most of our respondents held the position of the company's CEO or general manager at the production site in China (54.1%), they were highly qualified to answer our questions. After the deletion of 17 questionnaires because large parts of the data were missing, we had 248 analyzable responses.

The approach of Armstrong/ Overton (1977) was followed to control for nonresponse bias, and the sample split into three equal parts, based on the time of submission. Comparing the means of all items used for this study via t-tests, no indication for a nonresponse bias could be found.⁷²

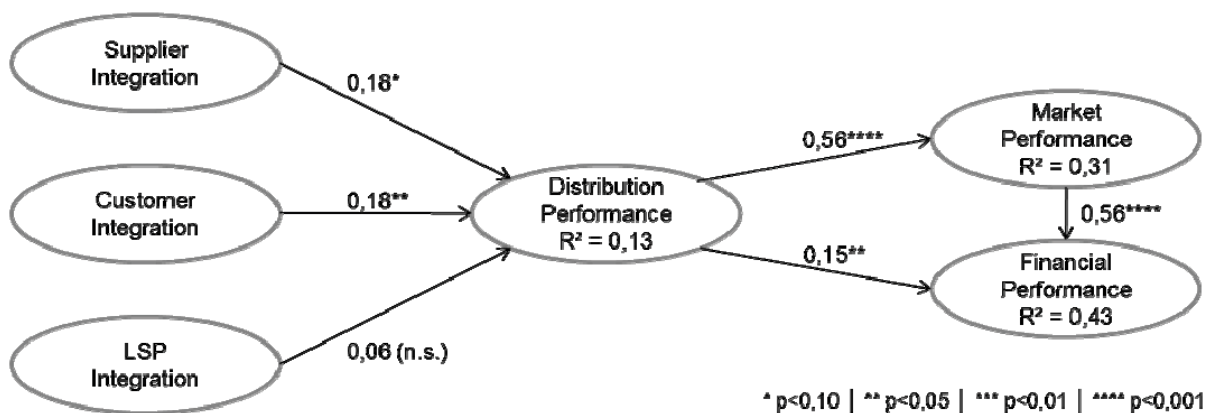


Fig. 1: Integration vs. Performance

3.2 Data Analysis and Results

We chose structural equation modelling to test our hypotheses.

Confirmatory factor analysis for all measurement scales was conducted as proposed by Anderson/Gerbing (1988; compare for Appendix A1).⁷³ Our testing of model fit pro-

⁶⁹ Schreyögg (2008), S. 258, 260.

⁷⁰ Vgl. Schreyögg (2008), S. 261.

⁷¹ Larson/ Poist (2004), S. 73.

⁷² Armstrong/ Overton (1977), S. 397ff.

⁷³ Anderson/ Gerbing (1988), S. 411ff; Bagozzi et al. (1991), S. 429.

vided good results (X^2/DF 2.114 / NFI 0.905 / TLI 0.935 / CFI 0.947 / RMSEA 0.067 / SRMR 0.0991).⁷⁴ Furthermore, we found all factor loadings to be significant at the $p < 0.001$ level, therefore supporting convergent validity for our constructs.⁷⁵

As to the items' reliability, it well exceeds the value of 0.4 recommended by Bagozzi and Baumgartner (1994).⁷⁶ Referring to Bagozzi and Yi (1988), the average variance extracted (AVE) of our constructs is above the cut-off value of 0.5.⁷⁷ Composite reliability (CR) was also tested for, thereby considerably exceeding the proposed 0.6 value.⁷⁸ Additionally, our Cronbach's Alphas also well exceeded the recommended value of 0.7.⁷⁹ Discriminant validity was tested for using the Fornell-Larcker-Criterion, which is fulfilled.⁸⁰ To analyse the effects of supply chain integration on performance, mediation was tested, resulting in full mediation of distribution service performance on market and financial performance.⁸¹

Our results bring forth evidence for the overall positive effect of supply chain integration on performance. Figure 1 shows statistically significant relationships between the integration of suppliers, customers, and DSP as well as between DSP and overall firm performance. In that sense, DSP serves as a mediator between those two dimensions of process integration and overall performance.

Link (Moderation: Dynamism)	Lower (<5) n=158	Higher (≥5) n=90	Significance of Hypothesized Difference in Path Coefficients	Hypothesis
Supplier Integration → Distribution Perf.	0,30	0,02	p<0.10	Supp.
Customer Integration → Distribution Perf.	0,14	0,20	p<0.10	Not supp.
LSP Integration → Distribution Perf.	0,13	-0,02	p<0.10	Supp.
Model Fit: $X^2/DF = 1.467$; NFI = 0,877; TLI = 0,946; CFI = 0,956; RMSEA = 0,044; SRMR = 0,072				

Table 1: Moderation through Environmental Dynamism

Thus, hypotheses H1_a as well as H1_b can clearly be supported. Although the statistical data for H1_c shows a positive relation between LSP integration and distribution service performance, the data is not statistically significant. Accordingly, the hypothesis has to be rejected. The data shown in Figure 1 also provides support for hypothesis H2,

⁷⁴ Hu/ Bentler (1999), S. 1; Browne/ Cudeck (1993), S. 144; Marsh et al. (2004), S. 322.

⁷⁵ Bagozzi et al. (1991), S. 431ff; Anderson et al. (1987), S. 436.

⁷⁶ Bagozzi/ Baumgartner (1994), S. 386-422.

⁷⁷ Bagozzi/ Yi (1988), S. 82; Fornell/ Larcker (1981), S. 46.

⁷⁸ Bagozzi/ Yi (1988), S. 82; compare also for Cheung (2009), S.281.

⁷⁹ Vgl. Duhachek et al. (2005), S. 295.

⁸⁰ Fornell/ Larcker (1981), S. 46.

⁸¹ James et al. (2006), S. 233/234.

showing a significantly positive relation between market performance and financial performance. Model Fit was tested and provided good results (X^2/DF 1.672 / NFI 0.926 / TLI 0.961 / CFI 0.969 / RMSEA 0.052 / SRMR 0.068).

As for environmental contingencies, our findings prove to provide quite interesting insights: According to the results, our hypotheses dealing with the importance of supply chain integration in dynamic or complex environments can only partly be supported. In the context of dynamic environments our results lead to the conclusion that with growing dynamism customer integration tends to become more important in its effect on distribution service performance (c.f. Table 1), which is why hypothesis H3_b is rejected. In contrast, supplier and LSP integration are shown to have a lower impact on distribution service performance in dynamic environments. As we argued above, in contexts of dynamic environments supplier integration becomes less important in its effect on distribution service performance (H3_a). As to LSP integration the results for more dynamic contexts even show a negative relation (H3c). Thus, hypotheses H3a as well as H3c can be supported.

A similar picture is drawn by our findings concerning complex environments. Again, our results state the growing effect of supply chain integration in complex environments when applied to customer integration. This supports hypothesis H4b (c.f. Table 2). However, when it comes to supplier and LSP integration, no evidence can be found to support hypotheses H4a (not significant) and H4c (negative relation).

Link (Moderation: Complexity)	Lower (<5) n=181	Higher (≥5) n=67	Significance of Hypothesized Difference in Path Coefficients	Hypothesis
Supplier Integration → Distribution Perf.	0,21	0,19	p = 0,20	Not supp.
Customer Integration → Distribution Perf.	0,12	0,34	p < 0.10	Supp.
LSP Integration → Distribution Perf.	0,08	0,01	p < 0.10	Not supp.
Model Fit: X^2/DF = 1,624; NFI = 0,868; TLI = 0,930; CFI = 0.944; RMSEA = 0,050; SRMR = 0,068				

Table 2: Moderation through Environmental Complexity

4 Discussion

As prior research suggests,⁸² the overall positive effect of supply chain integration on firm performance is further supported by our results. Furthermore, we show that distribution service performance serves as the key mediator between supply chain integration and financial, and market performance. Thus, our research offers further support

⁸² Kim (2006), S. 364; vgl. Flynn et al. (2010), S. 58; Chen/ Daugherty/ Landry (2009), S. 27; Lin et al. (2010), S. 323.

for the prominent role of logistics services in its positive effect on overall firm performance.⁸³

However, our findings reveal that the question with which supply chain partners specifically to integrate should be attached more importance. Especially the process integration of customers deserves careful attention. Different from our expectations, the importance of supply chain integration with customers does not only grow with rising complexity, but also in dynamism. In contrast, our results indicate a rather negligible effect of LSP, or supplier integration on performance under conditions of high environmental uncertainty.

Our findings clearly state that examining environmental contingencies alone, is not sufficient to draw a differentiated picture of the performance effects of supply chain integration, as it does not explain the prominent role of customer integration.

As Lee (2000) states, supply chains tend to be demand-driven. According to his argumentation, it is customer orders that ultimately drive all actions further conducted by the chain.⁸⁴ As access to customer-related information especially in the challenging context of Emerging Markets is essential, our results implicate that even in highly dynamic environments the trade-off between adaptation, and dependency on the one side and adaptability, and flexibility on the other should be answered in favour of adaptation to the customer.⁸⁵ Support for this argument can be found in the literature, fortifying the overall importance of collaboration with customers for supply chain success.⁸⁶

	Dynamics		Anova (significance of differences)	Complexity		Anova (significance of differences)
	Lower (< 5)	Higher (≥ 5)		Lower (< 5)	Higher (≥ 5)	
Supplier	4.69	4.29	p = 0,013	4.61	4.39	p = 0,216
Customer	4.71	4.29	p = 0,020	4.59	4.47	p = 0,537
LSP	4.36	4.03	p = 0,077	4.23	4.27	p = 0,864

Fig. 2: Integration vs. Environmental Uncertainty

But despite the positive effects which are ascribed to customer integration in literature, further revealing insights can be gained by the comparison of these theoretical implications with supply chain integration reality. When it comes to implementing such practices, most organizations rather hesitantly turn to integration, regardless of the overall benefits described above.⁸⁷ Contrasting theoretical assumptions, our findings show that most managers only adhere to integration when situated in rather stable and simple

⁸³ Green Jr. et al. (2008), S. 324.

⁸⁴ Lee (2000), S. 33.

⁸⁵ Jahre/ Fabbe-Costes (2005), S. 146.

⁸⁶ E.g. Narayanan et al. (2011), S. 13; vgl. Lin et al. (2010), S. 324.

⁸⁷ Fawcett/ Magnan (2002), S. 340.

environmental contingencies (c.f. Figure 2). In case of higher dynamism, managers in reality tend to integrate less with their suppliers and LSP, as well as with their customers. Under circumstances of growing complexity, however, integration is only promoted with regard to a company's LSP. Our results show that in the context of environmental uncertainty, the implementation of integration as promoted by prior research seems to be more an expression of wishful thinking than management reality. But do researchers only overemphasize the need of supply chain integration or how can these gaps between theory and practice be explained?

One possible explication might lie in our collecting of data in the Emerging Market of China. For a Western company, entering the Chinese market does not only add complexity in terms of market behavior, but especially in the matter of submission to specific cultural, respectively sociological restrictions.⁸⁸ In China, relationships are the key to effective collaboration and information gathering.⁸⁹ But establishing successful "guanxi" can be a time-consuming and frustrating activity when not used to dealing with Chinese. Bound to cultural constraints, Western companies might therefore not be able to integrate as much as they should do to efficiently establish supply chain collaboration.

Besides the cultural differences that Western managers have to cope with, infrastructural constraints might offer further explanation for lacking customer integration. This argument also applies to managers already used to, respectively prepared for the challenging cultural context they work in. In their 2010 study Jayaram/ Tan analyzed possible enablers to supply chain integration with 3PL in a Chinese context. In their opinion supply chain integration with 3PL in most cases could not be put into action because it relies on successful information integration.⁹⁰ This, in turn, depends on the existence of reliable IT infrastructure. However, as the Chinese market of logistics service providers is strongly fragmented⁹¹ and so called LSP sometimes in reality consist of a family clan driving ancient looking and rather decrepit trucks, IT infrastructure is not commonly used.⁹² Therefore, in most cases the prerequisites of process integration are not given in this context.

5 Conclusion and Implications

As we have shown in our research on German manufacturing companies in China, the question of supply chain process integration can definitely not be answered with a "the more the better" approach. In this paper we have analyzed supply chain integration individually for different supply chain partners regarding its effect on distribution service performance as the key mediator on firm performance. In framing such integra-

⁸⁸ Boisot/ Child (1999), S. 239.

⁸⁹ Cai/ Yang (2008), S. 67; vgl. Lockström et al. (2010), S. 241; Wang/ Kess (2006), S. 476.

⁹⁰ Jayaram/ Tan (2010); S. 268; vgl. Harland et al. (2007), S. 1234.

⁹¹ Vgl. Luo (2001), S. 458.

⁹² Jiang (2002), S. 184; Lau/ Zhang (2006), S. 779; Zhou et al. (2008), S. 263; vgl. Koh et al. (2006), S. 457.

tion to the environmental contexts of complexity and dynamism, we found out that even contingency theory does not offer enough insights to explain the performance outcomes of supply chain integration. Our study further reveals that in contrast to current management practice, integrating processes with customers is beneficial. This definitely also is the case when being confronted with growing complexity and dynamism.

It must be added, however, that our research is not free from limitations: First, our study was conducted in the context of the Chinese market. Therefore, we cannot fully exclude the possibility that cultural constraints as well as infrastructural limitations might have led to the negative results derived for supplier and LSP integration. Further research should validate our results in the context of markets other than China, perceived as dynamic and complex.

Furthermore, our research was limited to manufacturing enterprises. A comparison might gain further insights concerning the possible effects of closeness to end-customers, respectively the supply chain position on integration.

Finally, our questionnaire did not include indications concerning the type of relationship, or the time it might have taken to implement supply chain process integration. To enclose such information could provide deeper insights concerning the role of power, mutual trust, or involvement in relationship networks on the implementation of supply chain process integration.

Nonetheless, our research offers a fundamental contribution to existing supply chain integration literature as it highlights the importance of customer integration under conditions of environmental complexity and dynamism, which Western companies operating in Emerging Markets are confronted with.

6 References

- Anderson, J.C.; Gerbing, D.W. (1988): Structural equation modeling in practice: a review and recommended two-step approach, in: *Psychological Bulletin* 103 (3), S. 411-423.
- Anderson, J.C.; Gerbing, D.W.; Hunter, J.E. (1987): On the assessment of unidimensional measurement: internal and external consistency, and overall consistency criteria, in: *Journal of Marketing Research* 24 (4), S. 432-437.
- Armstrong, J.S.; Overton, T.S. (1977): Estimating Nonresponse Bias in Mail Surveys, in: *Journal of Marketing Research* 14 (3), S. 396-402.
- Bagchi, P. K.; Skjoett-Larsen, T. (2002): Organizational integration in supply chains: a contingency approach, in: *Global Journal of Flexible Systems Management* 3 (1), S. 1-10.
- Bagozzi, R.P.; Baumgartner, H. (1994): The evaluation of structural equation models and hypothesis testing, in: Bagozzi, R.P. (Ed.): *Principles of marketing research*, Blackwell, Malden, MA, S. 386-422.
- Bagozzi, R.P.; Yi, Y. (1988): On the evaluation of structural equation models, in: *Journal of the Academy of Marketing Science* 16 (1), S. 74-94.
- Bagozzi, R.P.; Yi, Y.; Phillips, L.W. (1991): Assessing construct validity in organizational research, in: *Administrative Science Quarterly* 36 (3), S. 421-458.
- Boisot, M.; Child, J. (1999): Organizations as adaptive systems in complex environments: the case of China, in: *Organization Science* 10 (3), S. 237-252.

- Boon-itt, S.; Wong, C.Y. (2011): The moderating effects of technological and demand uncertainties on the relationship between supply chain integration and customer delivery performance, in: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 41 (3), S. 253-276.
- Braunscheidel, M.J.; Suresh, N.C. (2009): The organizational antecedents of a firm's agility for risk mitigation and response. Special issue: perspectives on risk management in supply chains, in: *Journal of Operations Management* 27 (2), S. 119-140.
- Brown, M.W.; Cudeck, R. (1993): Alternative ways of assessing model fit, in: Bollen, K.A.; Long, J.S. (Eds.): *Testing structural equation models*, Newbury Park, CA, S. 136-162.
- Cai, S.; Yang, Z. (2008): Development of cooperative norms in the buyer-supplier relationship: the Chinese experience, in: *Journal of Supply Chain Management* 44 (1), S. 55-70.
- Chen, H.; Daugherty, P.; Landry, T.D. (2009): Supply chain process integration: a theoretical framework, in: *Journal of Business Logistics* 30 (2), S. 27-46.
- Chen, H.; Daugherty, P.J.; Roath, A.S. (2009): Defining and operationalizing supply chain process integration, in: *Journal of Business Logistics* 30 (1), S. 63-85.
- Cheung, M.W.L. (2009): Constructing approximate confidence intervals for parameters with structural equation models, in: *Structural Equation Modeling* 16 (2), S. 267-294.
- Christopher, M.; Holweg, M. (2011): "Supply chain 2.0": managing supply chains in the era of turbulence, in: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 41 (1), S. 63-82.
- Donaldson, Lex (2001): *The contingency theory of organizations*. Sage Publications.
- Droge, C.; Jayaram, J.; Vickery, S.K. (2004): The effects of internal versus external integration practices on time-based performance and overall firm performance, in: *Journal of Operations Management* 22, S. 557-573.
- Duhachek, A.; Coughlan, A.T.; Iacobucci, D. (2005): Results on the standard error of the coefficient alpha index of reliability, in: *Marketing Science* 24 (2), S. 294-301.
- Duncan, R. (1972): Characteristics of organizational environments and perceived environmental uncertainty, in: *Administrative Science Quarterly* 17 (3), S. 313-327.
- Fabbe-Costes, N.; Jahre, M. (2008): Supply chain integration and performance: a review of the evidence, in: *The International Journal of Logistics Management* 19 (2), S. 313-327.
- Fawcett, S.E.; Magnan, G.M. (2002): The rhetoric and reality of supply chain integration, in: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 32 (5), S. 339-361.
- Flynn, B.B.; Huo, B.; Zhao, X. (2010): The impact of supply chain integration on performance: A contingency and configuration approach, in: *Journal of Operations Management* 28 (1), S. 58-71.
- Fornell, C.; Larcker, D.V. (1981): Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error, in: *Journal of Marketing Research* 18 (1), S. 39-50.
- Frohlich, M.T.; Westbrook, R. (2001): Arcs of integration: an international study of supply chain strategies, in: *Journal of Operations Management* 19, S. 185-200.
- Fugate, B.S.; Mentzer, J.T.; Stank, T.P. (2010): Logistics performance: efficiency, effectiveness, and differentiation, in: *Journal of Business Logistics* 31(1), S. 43-62.
- Fynes, B.; de Búrca, S.; Marshall, D. (2004): Environmental uncertainty, supply chain relationship quality and performance, in: *Journal of Purchasing and Supply Management* 10, S. 179-190.
- Green Jr., K.W.; Whitten, D.; Inman, R.A. (2008): The impact of logistics performance on organizational performance in a supply chain context, in: *Supply Chain Management: An International Journal* 13 (4), S. 317-327.
- Harland, C.M.; Caldwell, N.D.; Powell, P.; Zheng, J. (2007): Barriers to supply chain information integration: SMEs adrift of eLands, in: *Journal of Operations Management* 25, S. 1234-1254.
- Homburg, C.; Pflesser, C. (2000): A multiple-layer model of market-oriented organizational culture: measurement issues and performance outcomes, in: *Journal of Marketing Research* 37 (4), S. 449-462.

- Hsu, C.-C.; Kannan, V.R.; Tan, K.-C.; Leong, G.K. (2008): Information sharing, buyer-supplier relationships, and firm performance, in: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 28 (4), S. 296-310.
- Hu, L.-T.; Bentler, P.M. (1999): Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: conventional criteria versus new alternatives, in: *Structural Equation Modeling* 6 (1), S. 1-55.
- Hülsmann, M.; Grapp, J.; Li, Y. (2008): Strategic adaptivity in global supply chains – competitive advantage by autonomous cooperation, in: *International Journal of Production Economics* 114, S. 14-26.
- Hutchinson, K.; Alexander, N.; Quinn, B.; Doherty, A.M. (2007): Internationalization motives and facilitating factors: qualitative evidence from smaller specialist retailers, in: *Journal of International Marketing* 15 (3), S. 96-122.
- Jahre, M.; Fabbe-Costes, N. (2005): Adaptation and adaptability in logistics networks, in: *International Journal of Logistics: Research and Applications* 8 (2), S. 143-157.
- James, L.R.; Mulaik, S.A.; Brett, J.M. (2006): A tale of two methods, in: *Organizational Research Methods* 9 (2), S. 233-244.
- Jayaram, J.; Tan, K.-C. (2010): Supply chain integration with third-party logistics providers, in: *International Journal of Production Economics* 125, S. 262-271.
- Jiang, B. (2002): How international firms are coping with supply chain issues in China, in: *Supply Chain Management: An International Journal* 7 (4), S. 184-188.
- Khanna, T.; Palepu, K.G. (2010): *Winning in emerging markets: a road map for strategy and execution*. Harvard Business Press.
- Kim, S.W. (2006): Effects of supply chain management practices, integration and competition capability on performance, in: *Supply Chain Management: An International Journal* 11 (3), S. 241-248.
- Kinra, A.; Kotzab, H. (2008): A macro-institutional perspective on supply chain environmental complexity, in: *International Journal of Production Economics* 115, S. 283-295.
- Koh, S.C.L.; Saad, S.; Arunachalam, S. (2006): Competing in the 21st century supply chain through supply chain management and enterprise resource planning integration, in: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 36 (6), S. 455-465.
- Larson, P.D.; Poist, R.F. (2004): Improving response rates to mail surveys: a research note, in: *Transportation Journal* 43 (4), S. 67-74.
- Lau, K.H.; Zhang, J. (2006): Drivers and obstacles of outsourcing practices in China, in: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 36 (10), S. 776-792.
- Lee, H.L. (2004): The triple-a supply chain, in: *Harvard Business Review*, October, S. 102-112.
- Lee, H.L. (2000): Creating value through supply chain integration, in: *Supply Chain Management Review* September/ October, S. 30-36.
- Lee, P.K.C.; Yeung, A.C.L.; Cheng, T.C.E. (2009): Supplier alliances and environmental uncertainty: an empirical study, in: *International Journal of Production Economics* 120, S. 190-204.
- Li, G.; Lin, Y.; Wang, S.; Yan, H. (2006): Enhancing agility by timely sharing of supply information, in: *Supply Chain Management: An International Journal* 11 (5), S. 425-435.
- Lin, Y.; Wang, Y.; Yu, C. (2010): Investigating the drivers of the innovation in channel integration and supply chain performance: a strategy oriented perspective, in: *International Journal of Production Economics* 127, S. 320-332.
- Lockström, M.; Schadel, J.; Harrison, N.; Moser, R.; Malhotra, M.K. (2010): Antecedents to supplier integration in the automotive industry: a multiple-case study of foreign subsidiaries in China, in: *Journal of Operations Management* 28, S. 240-256.
- Luo, Y. (2003): Industrial dynamics and managerial networking in an Emerging Market: the case of China, in: *Strategic Management Journal* 24 (13), S. 1315-1327.
- Luo, Y. (2001): Determinants of local responsiveness: perspectives from foreign subsidiaries in an emerging market, in: *Journal of Management* 27, S. 451-477.

- Manuj, I.; Mentzer, J.T. (2008): Global supply chain risk management strategies, in: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 38 (3), S. 192-223.
- Marsh, H.W.; Hau, K.-T.; Wen, Z. (2004): In search of golden rules: comment on hypothesis-testing for fit indexes and dangers in overgeneralizing Hu and Bentler's (1999) findings, in: *Structural Equation Modeling* 11 (3), S. 320-341.
- Narayanan, S.; Jayaraman, V.; Luo, Y.; Swaminathan, J.M. (2011): The antecedents of process integration in business process outsourcing and its effect on firm performance, in: *Journal of Operations Management* 29, S. 3-16.
- Narver, J.C.; Slater, S.F. (1990): The effect of a market orientation on business profitability, in: *The Journal of Marketing* 54 (4), S. 20-35.
- Patel, P.C. (2011): Role of manufacturing flexibility in managing duality of formalization and environmental uncertainty in emerging firms, in: *Journal of Operations Management* 29, S. 143-162.
- Power, D. (2005): Supply chain management integration and implementation: a literature review, in: *Supply Chain Management: An International Journal* 10 (4), S. 252-263.
- Ragatz, G.L.; Handfield, R.B.; Petersen, K.J. (2002): Benefits associated with supplier integration in to new product development under conditions of technology uncertainty, in: *Journal of Business Research* 55, S. 389-400.
- Rammer, C.; Schmiele, A. (2009): Drivers and effects of internationalizing innovation by SMEs, in: *IUP Journal of Knowledge Management* 7 (2), S. 18-62.
- Richey Jr., R.G.; Chen, H.; Upreti, R.; Fawcett, S.E.; Adams, F.G. (2009): The moderating role of barriers on the relationship between drivers to supply chain integration and firm performance, in: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 39 (19), S. 826-840.
- Richey Jr., R.G.; Roath, A.S.; Whipple, J.M.; Fawcett, S.E. (2010): Exploring a governance theory of supply chain management: barriers and facilitators to integration, in: *Journal of Business Logistics* 31 (1), S. 237-256.
- Schreyögg, G. (2008): *Organisation. Grundlagen moderner Organisationsgestaltung*, 5th Ed., Wiesbaden.
- Stank, T.P.; Keller, S.B.; Daugherty, P.J. (2001): Supply chain collaboration and logistical service performance, in: *Journal of Business Logistics* 22 (1), S. 29-48.
- Stonebraker, P.W.; Liao, J. (2006): Supply chain integration: exploring product and environmental contingencies, in: *Supply Chain Management* 11 (1), S. 34-43.
- Stonebraker, P.W.; Liao, J. (2004): Environmental turbulence, strategic orientation. Modeling supply chain integration, in: *International Journal of Operations & Production Management* 24 (10), S. 1037-1054.
- Tang, C.; Tomlin, B. (2008): The power of flexibility for mitigating supply chain risks, in: *International Journal of Production Economics* 116, S. 12-27.
- Vickery, S.K.; Jayaram, J.; Droge, C.; Calantone, R. (2003): The effects of an integrative supply chain strategy on customer service and financial performance: an analysis of direct versus indirect relationships, in: *Journal of Operations Management* 21, S. 523-539.
- Wang, L.; Kess, P. (2006): Partnering motives and partner selection. Case studies of Finnish distributor relationships in China, in: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 36 (6), S. 466-478.
- Welge, M.K.; Al-Laham, A. (2008): *Strategisches Management. Grundlagen, Prozesse, Implementierung*, 5th Ed., Wiesbaden.
- Wong, C.Y.; Boon-itt, S.; Wong, C.W.Y. (2010): The contingency effects of environmental uncertainty on the relationship between supply chain integration and operational performance, in: *Journal of Operations Management*, doi:10.1016/j.jom.2011.01.003.
- Zhou, G.; Min, H.; Xu, C.; Cao, Z. (2008): Evaluating the comparative efficiency of Chinese third-party logistics providers using data envelopment analysis, in: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 38 (4), S. 262-279.

Appendix

Appendix A1: Measurement Scales

Item	Mean	S.D.
Supplier Integration		
(Chen/ Daugherty/ Roath 2009; Braunscheidel/ Suresh 2009; Frohlich/ Westbrook 2001)		
(Cronbach's $\alpha = 0.87$, AVE = 0.63, CR = 0.87)		
In the relationship to one of our strategically most important suppliers...		
... we work together to ensure compatibility between related processes.	4.97	1.33
... we use common standards to link each other's processes smoothly.	4.74	1.46
... we work together to seamlessly integrate our cross-organizational processes.	4.23	1.40
... we develop common goals to align process efforts.	4.25	1.59
Customer Integration		
(Chen/ Daugherty/ Roath 2009; Braunscheidel/ Suresh 2009; Frohlich/ Westbrook 2001)		
(Cronbach's $\alpha = 0.90$, AVE = 0.70, CR = 0.90)		
In the relationship to one of our strategically most important customers...		
... we work together to ensure compatibility between related processes.	4.78	1.50
... we use common standards to link each other's processes smoothly.	4.79	1.56
... we work together to seamlessly integrate our cross-organizational processes.	4.32	1.58
... we develop common goals to align process efforts.	4.34	1.66
LSP Integration		
(Chen/ Daugherty/ Roath 2009; Braunscheidel/ Suresh 2009; Frohlich/ Westbrook 2001)		
(Cronbach's $\alpha = 0.91$, AVE = 0.72, CR = 0.91)		
In the relationship to one of our strategically most important LSPs...		
... we work together to ensure compatibility between related processes.	4.52	1.48
... we use common standards to link each other's processes smoothly.	4.41	1.61
... we work together to seamlessly integrate our cross-organizational processes.	4.10	1.55
... we develop common goals to align process efforts.	3.92	1.68
Market Performance (Homburg/ Pflesser 2000)		
(Cronbach's $\alpha = 0.84$, AVE = 0.64, CR = 0.84)		

Appendix A1 Continued

Item	Mean	S.D.
Attaining desired growth	5.10	1.32
Securing desired market share.	5.00	1.31
Attracting new customers.	5.23	1.30
Distribution Service Performance (Stank et al. 2001) (Cronbach's $\alpha = 0.82$, AVE = 0.62, CR = 0.83)		
Meeting quoted or anticipated delivery dates on a consistent basis.	4.83	1.22
Responding to the needs and wants of key customers.	5.25	1.15
Providing desired quantities on a consistent basis.	5.13	1.14
Financial Performance (Fugate et al. 2010) (Cronbach's $\alpha = 0.93$, AVE = 0.83, CR = 0.94)		
Return on sales.	5.10	1.29
Return on assets.	4.87	1.30
Return on investment.	4.90	1.43

Appendix A2: Measurement of Environmental Uncertainty

Dynamism (Schreyögg 2008; Duncan 1972)	
Relevant factors of our organizational environment are ...	
... changing slowly	... changing rapidly
... changing little	... changing much
... predictable	... unpredictable
Complexity (Schreyögg 2008; Duncan 1972)	
Relevant factors of our organizational environment are ...	
... few in number	... numerous
... homogeneous	... heterogeneous
... independent	... Interdependent

Experimentelle Untersuchung der verhandlungsbasierten Losgrößenplanung

Alexander Dobhan

Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insb. Produktion und Logistik,
Otto-Friedrich-Universität Bamberg, Feldkirchenstr. 21, 96052 Bamberg,
alexander.dobhan@uni-bamberg.de

Zusammenfassung

Laborexperimente zählen seit Anfang der 1960er Jahre als fester Bestandteil zum methodischen Instrumentarium der Wirtschaftsforschung. Das beweisen nicht zuletzt die Nobelpreise für Reinhard Selten, Daniel Kahneman oder Vernon Smith. In Laborexperimenten kann der Einfluss bestimmter Faktoren auf eine isolierte Situation weitgehend frei von Störvariablen untersucht werden. Entsprechend wurden sie bislang vor allem in der Volkswirtschaftslehre zur Untersuchung von Verhandlungssituationen oder im Marketing zur Analyse des Käuferverhaltens eingesetzt. Verhandlungen stellen einen Kernbestandteil der standortübergreifenden Planung in unternehmensübergreifenden Supply Chains dar. Die experimentelle Erforschung von Supply Chain Management Problemen bietet sich für Probleme an, bei denen analytische und spieltheoretische Verfahren versagen, das Verhalten der Entscheider aber dennoch bei der Konstruktion oder Überprüfung von Planungsansätzen berücksichtigt werden soll. Dieser Beitrag greift zwei Problembereiche des Supply Chain Management auf, zu denen eine experimentelle Analyse durchgeführt wurde, und enthält die Ergebnisse dieser experimentellen Untersuchung. Zum einen wird eine Verhandlungssituation bei symmetrischer Machtverteilung und unvollständiger Information ohne zentrale Intervention in einer unternehmensübergreifenden Supply Chain untersucht; zum anderen werden analog zu ähnlichen Entscheidungssituationen in unternehmensinternen, aber auch unternehmensübergreifenden Supply Chains Verhandlungen mit zentraler Intervention analysiert. Als Verhandlungskontext dient die integrierte standortübergreifende Losgrößenplanung. Die Ergebnisse des Experiments lassen Rückschlüsse auf die Gestaltung und Gültigkeit verhandlungsbasierter Planungsansätze ebenso wie auf die Wirkung zentraler Interventionen zu.

1 Motivation und Problemstellung

Als Kernbestandteile von Supply Chain Management Konzepten kommt den quantitativen, standortübergreifenden Planungsmodellen eine entscheidende Rolle im Supply Chain Management zu. Derartige Planungsmodelle wurden in der Vergangenheit unter anderem im Kontext der integrierten standortübergreifenden Losgrößenplanung entwickelt.¹ Diese eignet sich auf Grund des breiten Spektrums bislang in der relevanten Literatur vorgestellter Ansätze und der eingängigen Problemstruktur für eine beispielhafte Analyse der standortübergreifenden Planung. Zahlreiche quantitative Losgrößenplanungsansätze wurden für zentral-hierarchisch orientierte Supply Chains mit einer mächtigen, vollständig informierten Zentralstelle vorgestellt und unternehmensinternen Supply Chains, sogenannten Internal Supply Chains, als Anwendungskontext zugeordnet.² Zentral-hierarchische Organisationen sind geprägt von institutionell verankerten, dauerhaften Machtasymmetrien zu Gunsten der Zentralinstanz.³ Ein Planungsansatz für eine deterministische, statische Planungssituation mit zwei Standorten, der diesen organisatorischen Anforderungen gerecht wird, führte Banerjee (1986) ein.⁴ Die global optimale Losgröße entspricht in diesem Modell in der Regel einer Losgröße zwischen den lokal optimalen Losgrößen der beiden Akteure.

Weil in unternehmensübergreifenden Supply Chains keine dauerhaften, sondern allenfalls wechselnde Machtasymmetrien auf Grund von Informationsvorteilen oder Ressourcenengpässen vorliegen, wurden in den letzten Jahren auch diverse dezentrale Ansätze vorgestellt, die auf bilateralen, finiten oder infiniten Verhandlungen zwischen den Supply Chain Knoten basieren.⁵ Die verhandlungsorientierte Struktur dieser Modelle gleicht zahlreichen Situationen der betrieblichen Praxis, wie z. B. Preisverhandlungen. Neben diversen Modellen für asymmetrische Machtverteilung,⁶ die die Entscheidungssituation von Banerjee (1986) zur Grundlage haben, stellt Sucky (2003) einen dezentralen Ansatz für eine Verhandlungssituation mit symmetrischer Machtverteilung vor.⁷ Hervorzuheben ist die besondere Bedeutung der Informationsannahmen. Der vollständige Austausch von Informationen in unternehmensübergreifenden Supply Chains erscheint unrealistisch, würde doch dadurch die Verhandlungsposition der einzelnen Unternehmen geschwächt; deshalb werden dezentrale Planungsansätze mit der Annahme unvollständiger Information verknüpft. Dies führt zum ersten von zwei Forschungsproblemen, die in diesem Beitrag analysiert werden.

¹ Vgl. Sucky (2004a), S. 31-38, und Kuhn/Hellingrath (2002), S. 142-156.

² Vgl. zum Beispiel Banerjee (1986), Lee/Rosenblatt (1986), Monahan (1984) oder Goyal (1976).

³ Zur Definition von Hierarchie vgl. Reiß (2001), S. 140.

⁴ Vgl. Banerjee (1986).

⁵ Zu dezentralen Planungsansätzen vgl. zum Beispiel Sucky (2004b) oder Corbett/deGroot (2000). Zur Definition von Heterarchie vgl. Probst (1993), S. 495.

⁶ Vgl. zum Beispiel Lu (1995), Corbett/de Groot (2000), Sucky (2004) oder Inderfurth/Voigt (2011).

⁷ Vgl. Sucky (2003).

Forschungsproblem 1: *In Entscheidungssituationen mit symmetrischer Machtverteilung und privaten Kosteninformationen können bislang bei Anwendung bilateraler Verhandlungen im Rahmen dezentraler Planungsmodelle hinsichtlich des Verhandlungsprozesses und -ergebnisses keine eindeutigen, wissenschaftlich fundierten Aussagen getroffen werden.*

Bei der Planung in unternehmensübergreifenden Supply Chains sind alle Supply Chain Knoten, die direkt an der Leistungserstellung partizipieren, zu berücksichtigen. In unternehmensinternen Supply Chains spielen zusätzlich auch noch zentrale Einheiten, die für die Berücksichtigung globaler Unternehmensinteressen verantwortlich sind, eine Rolle.⁸ Grundsätzlich ist auch in Internal Supply Chains eine Integration heterarchisch-dezentraler Elemente festzustellen.⁹ Deshalb sind verhandlungsbasierte Planungsansätze auch für Internal Supply Chains relevant. Weil gleichzeitig aber der unternehmensweite Einfluss einer Zentralinstanz sicherzustellen ist, müssen die dezentralen Modelle um die Möglichkeit einer zentralen Intervention ergänzt werden. Derartige hybride Ansätze, die sich auf ein Zusammenspiel aus Zentrale und dezentralen Standorten beziehen, existieren nur wenige und vor allem in an die Losgrößenplanung angrenzende Bereiche.¹⁰ Zur hybriden Losgrößenplanung wurde bislang nur das Modell von Sucky und Dobhan (2011) vorgestellt, das im Wesentlichen auf einer verhandlungsbasierten, dezentral orientierten Gegenstromplanung basiert.¹¹ Auf das Losgrößenplanungsmodell von Banerjee (1986) übertragen, folgt das hybride Planungsverfahren den drei Schritten Abgabe der initialen Gebote durch die dezentralen Einheiten (1), zentrale Intervention in Form einer obligatorischen Vorgabe von Verhandlungsgrenzen durch eine Zentralstelle (2) und Verhandlungen innerhalb der Grenzen zwischen dezentralen Einheiten (3).

Dieses Vorgehen lässt sich auf andere Bereiche der standortübergreifenden Planung übertragen und ist stark dezentral orientiert. Auf der einen Seite wird dadurch in Abhängigkeit von der zentralen Intervention die Flexibilität dezentraler Ansätze weitgehend gewahrt, auf der anderen Seite bleiben die zuvor festgestellten Ergebnisunsicherheiten bei symmetrischer Machtverteilung bestehen. Unklar ist allerdings, wie die Verhandlungsakteure auf die zentrale Intervention reagieren. Deshalb bezieht sich das zweite Forschungsproblem dieses Beitrags auf die Verhandlungsprozesse und -ergebnisse der hybriden Planung.

⁸ In der fallbeispielbasierten Studie von Sucky et al. (2009), an der 13 Unternehmen teilnahmen, wurde für zehn Unternehmen festgestellt, dass die unternehmensinterne standortübergreifende Planung in Zusammenarbeit zwischen einer Zentralstelle und dezentralen Einheiten ausgeführt wird. Reiß (2011), S. 3, beklagt in diesem Zusammenhang eine „Unterschätzung des Stellenwertes kompetitiver Organisationsformen“.

⁹ Vgl. Egelhoff/Frese (2009).

¹⁰ So existieren einige hybride Modelle im standortinternen Kontext (vgl. Rücker (2006), S. 13-16, Schlüter (2001), S. 75-92, Zäpfel (1998), S. 48-52 und Kouvelis/Gutierrez (1997)) oder im Bestandsmanagement (vgl. Nie/Xu/Zhan (2008) oder Ertogral/Wu (2000)).

¹¹ Vgl. Sucky/Dobhan (2011).

Forschungsproblem 2: *In verhandlungsorientierten Entscheidungssituationen ist bislang bei symmetrischer Machtverteilung zwischen den dezentralen Einheiten und bei privaten Kosteninformationen unklar, wie eine verpflichtende, zentrale Intervention auf das Verhandlungsergebnis und den Verhandlungsprozess wirkt.*

Weil zur Erforschung der beiden Forschungsprobleme die bekannten analytischen und spieltheoretischen Lösungsverfahren versagen und auf Grund der Spezifität der Verhandlungssituation und der Subjektivität der Ergebniseinschätzung eine empirische Befragung nicht sinnvoll ist, wird in diesem Beitrag ein Laborexperiment zur Untersuchung vorgestellt.¹² Ziel dieses Beitrags ist folglich die Darstellung von experimentellen Erkenntnissen zu den beiden zuvor erläuterten Forschungsproblemen.

Dazu werden zunächst die bislang in der relevanten Literatur vorgestellten Experimente skizziert, im Anschluss daran das Experimentdesign zur Erforschung der beiden Probleme erläutert und schließlich die Ergebnisse eines Experiments zur verhandlungsbasierten Losgrößenplanung mit und ohne zentrale Intervention präsentiert.

2 Experimentellen Forschung zur verhandlungsbasierter Planung

Laborexperimente stammen ursprünglich aus der Psychologie und fanden über das Marketing und die Volkswirtschaftslehre den Weg zum Supply Chain Management und zum Bestandsmanagement.¹³ Sterman (1989) wies mit seinem Experiment mit 44 Teilnehmern (Manager und Studierende) Bestandsschwankungen in Supply Chains, die später als *Bullwhip-Effekt* bekannt wurden, nach.¹⁴ Jeder Experimentteilnehmer repräsentierte eine Wertschöpfungsstufe in einer Supply Chain. Die einzelnen Supply Chains standen in Konkurrenz zueinander. Das Ziel der Akteure einer Supply Chain war die Kosten- und damit die Bestandsminimierung. Die Teilnehmer der Supply Chain mit dem niedrigsten Bestand erhielten am Ende des Experiments eine Auszahlung. Als Nebenergebnis offenbarte die Experimentauswertung keinerlei Unterschiede im Verhalten und den Ergebnissen der Manager und Planer auf der einen Seite und der Studierenden auf der anderen Seite. Die Weitergabe von Point-of-Sale-Daten zur Eindämmung des Bullwhip-Effekts untersuchten Croson und Donohue (2003).¹⁵ Die Autoren analysierten neben der Wirkung des Informationsaustausches auf die globalen Supply Chain Bestände eine mögliche Zunahme der Auswirkung des Datenaustausches auf die Bestellmengenschwankung mit einer Zunahme der Entfernung einer Supply Chain Stufe vom Endkunden. An diesem Experiment nahmen 84 Studierende teil, die 11 Supply Chains ohne und 10 Supply Chains mit Informationsweitergabe bildeten. Insgesamt konnten Croson und Donohue nachweisen, dass die Höhe der Be-

¹² Nach Kornmeier, S. 187, ist ein Experiment „[...] eine wiederholbare Untersuchung, die unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt wird. [...]“. Ein Laborexperiment findet außerhalb der Anwendungsumgebung der zu untersuchenden Modelle statt, ein Feldexperiment innerhalb.

¹³ Einen sehr kompakten, volkswirtschaftlich orientierten Überblick zu wirtschaftswissenschaftlichen Experimenten enthält Güth/Selten (2009).

¹⁴ Vgl. Sterman (1989) und Lee/Padmanabhan/Whang (1997).

¹⁵ Vgl. Croson/Donohue (2003).

stellmengenausschläge durch den Austausch von POS-Daten abnimmt, ohne dass diese ganz verschwinden. Den Einfluss der Informationszeitverkürzung auf den Bullwhip-Effekt durch den Einsatz von Electronic Data Interchange (EDI) überprüften Machuca und Barajas (2004) in ihrem Experiment mit insgesamt 54 Studierenden, die 15 Supply Chains mit und 10 Supply Chains ohne EDI repräsentierten.¹⁶ Die Forscher konnten signifikante Verbesserungen der Bestandskosten durch den Einsatz von EDI nachweisen. Das Experiment zeigte aber auch, dass EDI die Bestellmenschwankungen in einer Supply Chain nicht vollständig eliminieren kann. Ebenfalls die Informationsweitergabe allerdings im Dienstleistungsbereich, analysierten Anderson und Morrice (2000).¹⁷ An ihrem Experiment zur Auftragsabwicklung im Kreditwesen nahmen 40 Studierende teil. Die Forscher konnten auch für diesen Bereich eine stufenübergreifende Dynamik, wie sie beim Bullwhip-Effekt festzustellen ist, und die bekannten Auswirkungen der Endkunden-Informationsweitergabe auf diese Dynamik nachweisen.¹⁸

Weniger stark auf den Bullwhip-Effekt als vielmehr auf quantitative Mechanismen und Modelle zur *Supply Chain Koordination* beziehen sich die Experimente von Katok und Wu (2000) sowie Inderfurth, Sadrieh und Voigt (2008).¹⁹ Katok und Wu untersuchten die Wirkung verschiedener, koordinierender Elemente wie Rückkaufverträge in Supply Chains mit stochastischen Nachfrage-Situationen.²⁰ Dazu wurden zweistufige Supply Chains betrachtet, in denen die Entscheidungen der ersten Stufe von einer Software simuliert wurden. Die zweite Stufe nahmen jeweils die 200 Studierenden als Experimentteilnehmer ein. Die Forscher stellten fest, dass die Koordinationsmechanismen unter anderem auf Grund des sogenannten Pull-To-Center-Effektes, d.h. einer Tendenz der Bestellmenge hin zum Mittelwert, in der experimentellen Anwendung nicht wirken. Die Ergebnisse der beiden koordinierenden Elemente, Gewinnaufteilung und Rückkaufoptionen, entwickelten sich außerdem im Verlaufe des Experiment über mehrere Gewinnrunden hinweg gleich, so dass beide als äquivalent angesehen werden können. Ähnliche Ergebnisse, die Zweifel an den theoretisch entworfenen Koordinationsmodellen begründen, erzielten Inderfurth, Sadrieh und Voigt für zweistufige Supply Chains in einer Entscheidungssituation mit deterministischer Nachfrage.²¹ Die unterstellten Self-Selection- und Signalling-Modelle, die 48 Studierende in 20 Verhandlungsrunden anwendeten, führten nur teilweise zu Kostenverbesserungen in der Supply Chain. Hervorzuheben sind die Informationsannahmen in diesem Experiment. Die Kosteninformation eines Supply Chain Akteurs blieben privat. Um die eigenen Infor-

¹⁶ Vgl. Machuca/Barajas (2004).

¹⁷ Vgl. Anderson/Morrice (2000).

¹⁸ Die Veröffentlichungen von Chen/Samroengraja (2000) und Kaminsky/Simchi-Levi (1998), die die Anwendung einer computerbasierten Form des Beer Games beschreiben, werden nicht ausführlich erläutert. Auf Grund der fehlenden Kontrolle von Störvariablen sind diese Beispiele nicht den Forschungsexperimenten im eigentlichen Sinne zuzurechnen.

¹⁹ Vgl. Katok/Wu (2009) und Inderfurth/Sadrieh/Voigt (2008).

²⁰ Vgl. Katok/Wu (2009).

²¹ Vgl. Inderfurth/Sadrieh/Voigt (2008).

mationssituation bezüglich der Kosten des Verhandlungspartners zu verbessern, bot ein Akteur dem anderen Akteur ein Kontraktmenü an, aus dem dieser einen Kontrakt auswählen sollte. Für die Wirkung dieser sogenannten Self-Selection ist die anreizkompatible Gestaltung des Kontraktmenüs entscheidend. Hierfür wurden Kostenfunktionen geschätzt. Die Ergebnisse zum Experiment von Inderfurth, Sadrieh und Voigt zeigen, dass in ca. 80 % der Fälle tatsächlich das beste Menü ausgewählt wird, aber diese Informationen von vielen Teilnehmern nicht zielgerichtet für weitere Verhandlungsrunden verarbeitet wurden.

Eher auf das standortinterne *Bestandsmanagement* beziehen sich die Experimente von Schweitzer und Cachon (2000), Bolton und Katok (2008), Benzion et al. (2008), Ho/Lim/Cui (2010) und Bolton et al. (2010), die allesamt eine Newsvendor-Situation mit stochastischer Nachfrage unterstellen.²² In jedem dieser Experimente mussten die Teilnehmer für die getroffene Situation eine Bestellentscheidung treffen. In allen Experimenten war der Pull-To-Center-Effekt festzustellen: Die Teilnehmer entschieden sich zum größten Teil für eine Menge zwischen der aus Kosten- oder Erlösperspektive optimalen Bestellmenge und dem Erwartungswert der Nachfrage. Sie verhielten sich damit nicht rational. Ho (2010) erklären diesen Effekt mit dem in der Prospect Theory verbreiteten Referenzpunkt einer Entscheidung und der subjektiven Überschätzung der Überbestandskosten durch die Teilnehmer.²³

Die Experimente zum Bullwhip-Effekt und zur Newsvendor-Situation fundieren auf der Annahme, dass der Abnehmer die Bestell- und Produktionsmenge alleine bestimmt. Damit wird in diesen Experimenten eine asymmetrische Machtverteilung angenommen. Auch die dem Experiment von Inderfurth, Sadrieh und Voigt (2008) zugrundegelegten Modellen sind für Entscheidungssituationen mit asymmetrischer Machtverteilung entwickelt worden.²⁴ Nur das Experiment von Katok und Wu (2009) kann nicht eindeutig einer Machtverteilung zugeordnet werden, unterscheidet sich aber durch die Entscheidungssituation mit stochastischer Nachfrage von den oben skizzierten Problemstellungen verhandlungsbasierter Planungsansätze mit und ohne Intervention.²⁵ Ansonsten wird in keinem der bislang aufgeführten Experimente symmetrische Machtverteilung unterstellt. Deshalb ist es sinnvoll, in die Betrachtungen zur experimentellen Forschung auch solche Erhebungen mit einzubeziehen, deren Kontext sich zwar vom Supply Chain Management unterscheidet, die aber strukturgleich zu den Verhandlungsproblemen der dezentralen und hybriden Modelle der Losgrößenplanung sind. Die Struktur der Verhandlungen, auf die sich die Forschungsprobleme beziehen, ist davon gekennzeichnet, dass zwei Akteure mit gleicher Macht miteinander verhandeln. Außerdem ist die Gebotszahl in den Verhandlungen in der Regel nicht beschränkt (infinite Verhandlungen).

²² Vgl. Schweitzer/Cachon (2000), Bolton/Katok (2008), Benzion et al. (2008), Ho/Lim/Cui (2010) und Bolton et al. (2010).

²³ Vgl. Ho/Lim/Cui (2010).

²⁴ Vgl. Inderfurth/Sadrieh/Voigt (2008).

²⁵ Vgl. Katok/Wu (2009).

Im Kontext der volkswirtschaftlichen Experimente sind hier vor allem die Experimente für infinite bilaterale Verhandlungen von Siegel und Fouraker (1960) sowie von Nydegger und Owen (1975) zu nennen.²⁶ Siegel und Fouraker überprüften mit ihrer Experimentreihe, an der insgesamt 68 Studierende teilnahmen, die Pareto-Optimalität von Verhandlungsergebnissen für die unterstellte Verhandlungssituation.²⁷ Sie stellten fest, dass nur bei vollständiger Kosteninformation ein Pareto-Optimum erreicht wird. Außerdem offenbarte die Experimentauswertung eine direkte Abhängigkeit zwischen Verhandlungsergebnis und Auszahlungsfunktion und Indizien dafür, dass vor allem persönliche Eigenschaften und die persönlichen Aspirationsniveaus der Akteure für das Verhandlungsergebnis relevant sind. Nydegger und Owen (1975) untersuchten diverse Nash-Axiome experimentell mit 60 Studenten, die untereinander einen fixen Geldbetrag aufteilen sollten, wobei sie zwischen drei Situationen unterschieden:²⁸ In Situation 1 wurden keine Vorgaben zur Maximalauszahlung eines Teilnehmers gemacht, in Situation 2 durfte einer der beiden Teilnehmer eine bestimmte Auszahlungsobergrenze nicht überschreiten und in Situation 3 erhielten beide Teilnehmer Chips, wobei ein Chip des einen Teilnehmers nur die Hälfte des Chipwertes des anderen Teilnehmers besaß. Mit diesem Experiment konnten Nydegger und Owen die Nash-Axiome für Verhandlungssituationen mit vollständiger Information bestätigen.

In den letzten beiden Jahrzehnten wurde diese Experimentsituation von der Forschergruppe um Weg, Zwick, Rapoport und Felsenthal erneut aufgegriffen, um das *Rubinstein-Spiel* experimentell zu untersuchen.²⁹ Im Rubinstein-Spiel sind die Gebote eines Akteurs vom Verhandlungsfortschritt und der Geduld eines Spielers abhängig.³⁰ Das Spiel basiert auf der Grundannahme, dass eine Auszahlung in der aktuellen Runde gegenüber der gleichen Auszahlung in einer späteren Verhandlungsrunde präferiert wird. Diese Annahme wird über eine Zeitpräferenzfunktion abgebildet. In den Experimenten von Weg, Zwick, Rapoport und Felsenthal wurden derartige Zeitpräferenzfunktionen in die Auszahlungsfunktionen der Experimentteilnehmer integriert. An diesen Experimenten nahmen jeweils zwischen 18 und 72 Studierende teil. Die Experimentausweitung ergab, dass bei asymmetrischer Zeitpräferenz und damit asymmetrischer Machtverteilung, die Verhandlungsergebnisse und Anfangsgebote mit zunehmender Anzahl der Wiederholungen näher an dem lokalen Optimum des Spielers mit höherer Geduld liegen. Bei ähnlichen Zeitpräferenzen einigten sich die Spieler auf ein Ergebnis in der Mitte des Ergebnisintervalls, bei dem beide eine ähnliche Auszahlung erhielten. In späteren Veröffentlichungen und Experimenten der Forschergruppe, in denen vor al-

²⁶ In beiden Experimenten werden nach der Überschreitung eines Zeitrahmens oder einer Gebotszahl Verhandlungen abgebrochen. Der Rahmen ist im Vergleich zu den finiten Ultimatum-Experimenten jedoch so weit gefasst, dass diese Experimente eher den infiniten Verhandlungen zugeordnet werden (vgl. Siegel/Fouraker (1960) und Nydegger/Owen (1975)).

²⁷ Vgl. Siegel/Fouraker (1960).

²⁸ Vgl. Nydegger/Owen (1975).

²⁹ Vgl. Rapoport/Weg/Felsenthal (1990), Weg/Rapoport/Felsenthal (1990), Weg/Zwick (1994) und Weg/Zwick/Rapoport (1996).

³⁰ Vgl. Rubinstein (1982).

lem die Wirkung von Ausstiegsoptionen betrachtet wird, finden die Forscher neben einigen anderen Erkenntnissen heraus, dass Ausstiegsoptionen mögliche Machtasymmetrien verringern. Die Informationsverteilung in den Experimenten bleibt zum Teil unklar; auf Grund des starken Bezuges der Experimente zum Rubinstein-Spiel ist jedoch davon auszugehen, dass zumindest der aufzuteilende Betrag zu Beginn der Verhandlungen bekannt ist.

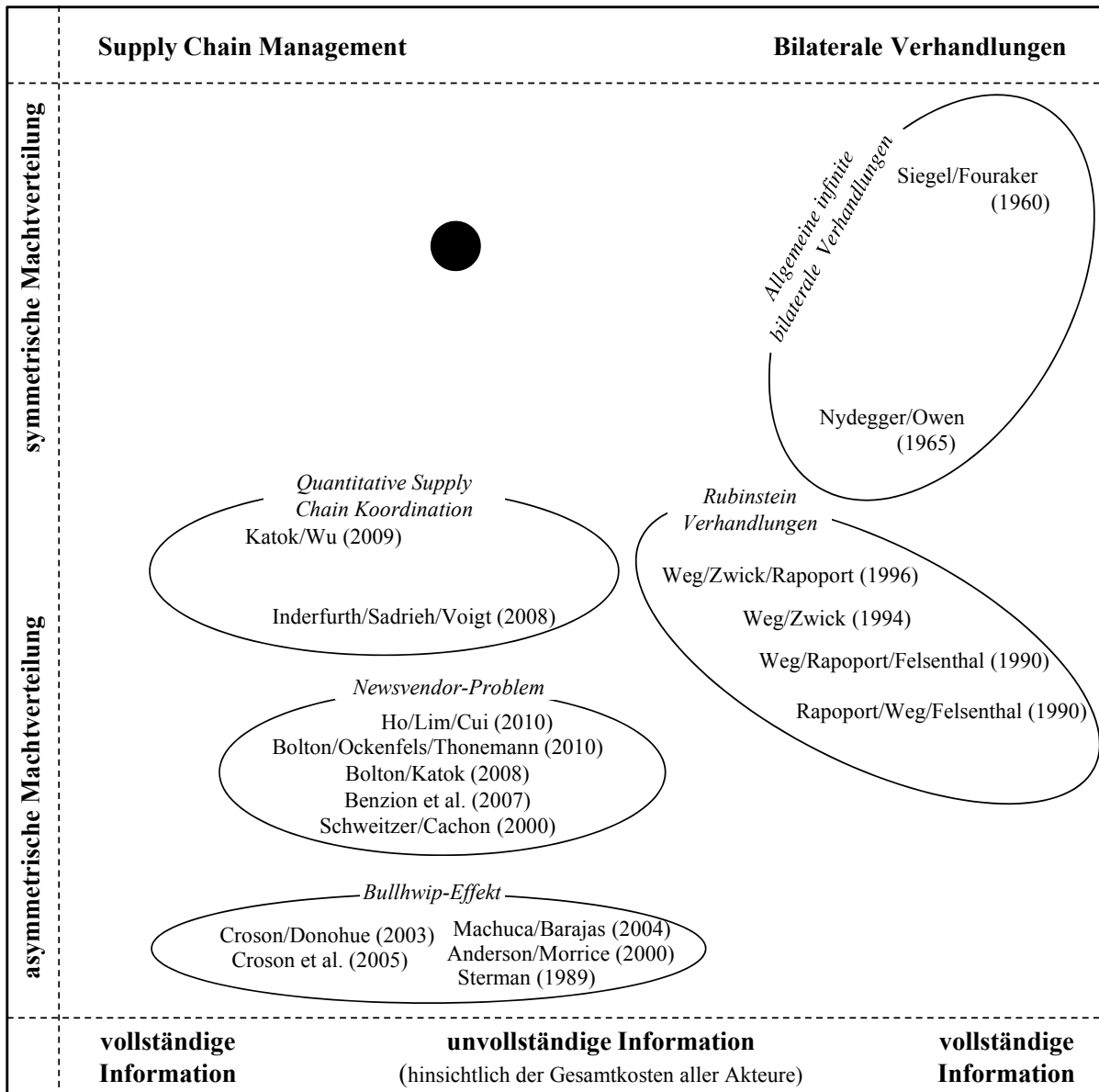


Abb. 1: Experimentelle Supply Chain Management Forschung³¹

Damit weichen auch die volkswirtschaftlich-spieltheoretischen Experimente von der in den obigen Forschungsproblemen unterstellten Entscheidungssituation deutlich ab. Insgesamt bleibt festzuhalten, dass sich die Experimente zum Bullwhip-Effekt, zur Supply Chain Koordination, zum Bestandsmanagement und zu den infiniten bilatera-

³¹ Quelle: Eigene Darstellung. Experimente zu multilateralen Verhandlungen wurden nicht berücksichtigt, weil diese von untergeordneter Bedeutung für die vorliegende Problemstellung sind.

len Verhandlungen im Allgemeinen und dem Rubinstein-Spiel im Speziellen hinsichtlich der Machtverteilung, den Informationsannahmen oder dem Kontext von der Entscheidungssituation der obigen Forschungsprobleme unterscheiden (vgl. Abbildung 1). Außerdem wird in keinem Experiment die Möglichkeit zentraler Interventionen während der Verhandlung betrachtet. Dennoch können folgende Hinweise für die Experimentgestaltung abgeleitet werden:

- Hinweise auf Umfang und Art der Experimentstichprobe und der Auszahlung an die Teilnehmer.
- Schaffung einer symmetrischen Verhandlungssituation durch die Integration von Ausstiegsoptionen, die Vermeidung von bewusst implementierten Zeitpräferenzen und die Schaffung gleicher Maximalauszahlungen.
- Hinweise auf Tendenzen der Ergebnisse zur Mitte des Ergebnisintervalls.

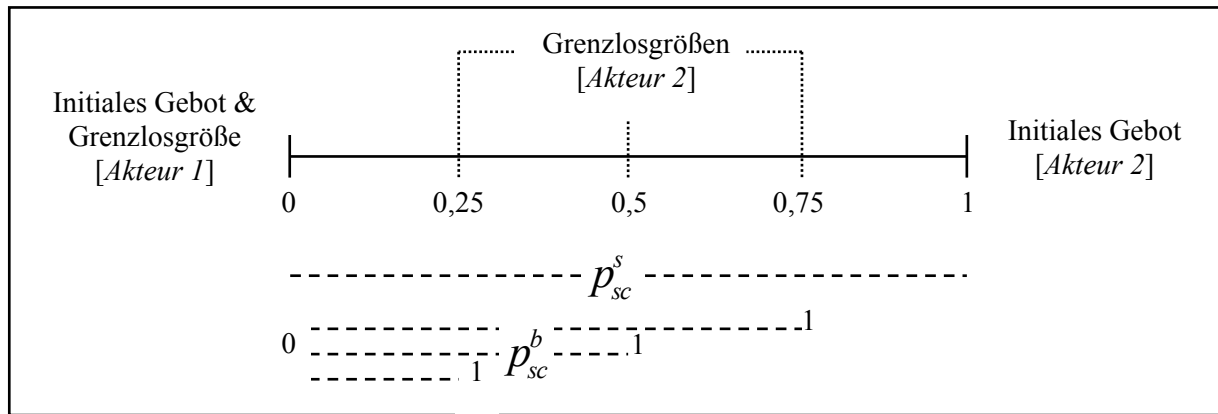
3 Experiment zur Erforschung bilateraler Verhandlungen bei symmetrischer Macht ohne und mit zentraler Intervention

3.1 Experimentaufbau

Zur experimentellen Untersuchung der beiden in Abschnitt 1 umrissenen Forschungsprobleme müssen präzise Forschungshypothesen entwickelt werden. Um das Verhandlungsergebnis auf einen Bereich zwischen 0 und 1 zu normieren und kostenfunktion-sunabhängig darstellen zu können, wird das Ergebnisintervall zwischen den Initialgeboten als Differenz der Startlosgrößen der Verhandlung definiert. Die Differenz aus dem Startgebot eines Akteurs und der Einigung wird dann in Relation zu diesem Ergebnisintervall ermittelt. Auf diese Weise wird die relative Lage p_{sc}^s einer Einigung im mengenorientierten Ergebnisintervall zwischen den initialen Geboten definiert. Erfolgt eine zentrale Intervention, ist die relative Lage p_{sc}^b einer Einigung zwischen den durch die Intervention festgesetzten Grenzlosgrößen relevant.³² Ein Wert von 0,5 bedeutet bei beiden eine Lage der Einigung in der Mitte des jeweiligen Ergebnisintervalls, wohingegen die Werte null und eins eine Lage am Rand des Ergebnisintervalls kennzeichnen (vgl. Abbildung 2).

Der Verhandlungsprozess kann unter anderem mit der Verhandlungsdauer gemessen in der Anzahl der Gebote charakterisiert werden. Mit der Untersuchung der beiden nachfolgenden Forschungshypothesen 1 und 2 werden die Verhandlungsergebnisse und -prozesse der dezentralen Losgrößenverhandlungen bei symmetrischer Machtverteilung (Forschungsproblem 1) analysiert.

³² Die zentrale Intervention wurde im Experiment in einem Drittel der Fälle auf den Wert 0,25, in einem Drittel auf den Wert 0,5 und in einem Drittel auf den Wert 0,75 festgelegt.

Abb. 2: Relative Lage des Verhandlungsergebnisses³³

Forschungshypothese 1: Die Anzahl der Gebote bis zur Einigung ist in bilateralen Verhandlungen zur Mengenabstimmung bei symmetrischer Machtverteilung und privaten Kosteninformationen im Rahmen dezentraler Verhandlungen positiv mit der Größe des mengenorientierten Ergebnisintervalls korreliert.

Forschungshypothese 2: Die Ergebnisse dezentraler, bilateralen Verhandlungen zur Mengenabstimmung bei symmetrischer Machtverteilung und privaten Kosteninformationen weisen bezüglich ihrer Lage eine Tendenz zur Mitte ($p_{sc}^s = 0,5$) des mengenorientierten Ergebnisintervalls zwischen den initialen Geboten auf.

Auf die Wirkung zentraler Interventionen (Forschungsproblem 2) beziehen sich die Forschungshypothesen 3 bis 5, wobei die Forschungshypothese 5 nochmal eine Erkenntnis explizit aufgreift, die aus einer Bestätigung der Hypothesen 2 und 4 folgt.

Forschungshypothese 3: Die Anzahl der Gebote bis zur Einigung kann in bilateralen Verhandlungen zur Mengenabstimmung bei symmetrischer Machtverteilung und privaten Kosteninformationen durch Interventionen, die das mengenorientierte Ergebnisintervall zwischen den initialen Geboten einschränken, verkürzt werden.

Forschungshypothese 4: Die Ergebnisse bilateralen Verhandlungen mit einer einschränkenden zentralen Intervention zur Mengenabstimmung bei symmetrischer Machtverteilung und privaten Kosteninformationen weisen bezüglich ihrer Lage eine Tendenz zur Mitte ($p_{sc}^b = 0,5$) des mengenorientierten Ergebnisintervalls zwischen den aus der Intervention abgeleiteten Grenzlosgrößen auf.

Forschungshypothese 5: Die Ergebnisse bilateralen Verhandlungen mit einer einschränkenden zentralen Intervention zur Mengenabstimmung bei symmetrischer Machtverteilung und privaten Kosteninformationen sind im Vergleich zu Verhandlungen ohne zentrale Intervention in die Richtung der zentralen Intervention verschoben.

Das Laborexperiment wurde mit Hilfe der eigens dafür entwickelten Plattform www.lone-planning.org realisiert, die den Austausch von Geboten ebenso unterstützt, wie die Anzeige optimaler eigener Gebote und die Auszahlungskalkulation für beliebige Mengen. Zur Vermeidung von Störfaktoren wie persönliche Erfahrungen mit dem Verhandlungspartner wurde die Kommunikation zwischen den Teilnehmern auf den

³³ Quelle: Eigene Darstellung.

Gebotsaustausch beschränkt und anonymisiert. Zentrale Interventionen besitzen bei sehr flachen Kostenfunktionen eine andere Wirkung als bei steilen Kostenfunktionen. Daher wurden die Kostenfunktionen zufällig generiert und per Zufallsauswahl Teilnehmern und Verhandlungspaaren zugeordnet. Weil außerdem analog zu den theoretischen Modellen nach Sucky (2004a) und Corbett/de Groot (2000) eine Situation ohne Erfahrungen mit dem Verhandlungspartner unterstellt wurde und damit Lerneffekte ausgeschlossen werden, wechselte der Verhandlungspartner von Verhandlungsrunde zu Verhandlungsrunde.³⁴ Jede Kostenfunktion wurde von unterschiedlichen Teilnehmerpaaren einmal hybrid und einmal dezentral verhandelt. Die Auszahlung der Teilnehmer war an die jeweilige Kostenfunktion gebunden, wobei die Maximalauszahlung in einer Verhandlungsrunde für beide Akteure gleich war; auf diese Weise kann eine symmetrische Machtverteilung abgebildet werden. Die Maximalauszahlung wurde bei der Durchsetzung der eigenen Losgröße erreicht, die Auszahlung von null bei einer Einigung auf die Losgröße des Verhandlungspartners. Negativwerte waren nicht möglich. Gebote außerhalb des durch Intervention eingeschränkten Ergebnisintervalls führten zu keiner Auszahlung. Die Wölbung der Auszahlungsfunktion eines Teilnehmers entsprach der Wölbung der dem Teilnehmer zugeordneten Kostenfunktion.

Die Durchführung des Experiments folgte einem in der Literatur weitverbreiteten Vorgehen.³⁵ Vor der eigentlichen Experimentdurchführung wurden PC-Räume an den Universitäten Bamberg und Regensburg präpariert. Im Anschluss daran erfolgte per Losverfahren die Auswahl von jeweils 56 Studierenden aus wirtschaftswissenschaftlichen Bachelor-Veranstaltungen. Nach einer erneuten Zufallsauswahl zur Zuordnung von Teilnehmern zu dem jeweiligen Raum und Platz und damit auch zu der vorher zufällig dem Platz zugeordneten Kostenfunktion erhielten die Teilnehmer Instruktionen in mündlicher und schriftlicher Form. Um falsches Problemverständnis als Verhaltensursache auszuschließen, mussten die Teilnehmer einen elektronischen Fragebogen zum Experiment ausfüllen, zu dem sie sofort Feedback erhielten. Nach zwei Testrunden startete die erste von sechs Experimentrunden mit der simultanen Abgabe der initialen Gebote. Im Anschluss daran erfolgte bei hybriden Verhandlungen die zentrale Intervention und danach wie bei den dezentralen Verhandlungen eine sukzessive Gebotsabgabe. Jedem Teilnehmer stand außerdem die Option eines Verhandlungsabbruches zur Verfügung. Ein Teilnehmer nahm an drei Verhandlungen ohne und an drei Verhandlungen mit zentraler Intervention teil. Nach einer Verhandlung wechselte die Kostenfunktion eines Teilnehmers. Direkt nach Beendigung aller sechs Verhandlungsrunden konnte ein Teilnehmer die Auszahlung einer zufällig bestimmten Verhandlungsrunde abholen. Das Auszahlungsmaximum lag bei über 14 Euro. Insgesamt verblieben nach der Eliminierung ungültiger Datensätze und der Verhandlungsrunden, die mit einem Abbruch endeten, 288 Verhandlungsrunden zur Auswertung, die sich auf 150 dezentrale und 138 hybride Runden aufteilen.

³⁴ Vgl. Sucky (2004a), S. 211-219, und Corbett/de Groot (2000).

³⁵ Vgl. Montgomery (2009), S. 14-19, und Friedman/Cassar (2004), S. 75-78.

3.2 Experimentergebnisse zu Verhandlungen ohne Intervention (dezentral)

Ausschließlich auf die dezentralen Runden zielen die Forschungshypothesen 1 und 2 ab.³⁶ Die Verhandlungen ohne zentrale Interventionen endeten im Mittel nach 25,32 Geboten bei einer Standardabweichung von 13,73. Zur Überprüfung des Zusammenhangs zwischen der Größe des Ergebnisintervalls zwischen den initialen Geboten und der Gebotszahl werden die Korrelationskoeffizienten angewendet. Auf Grund der fehlenden Normalverteilung der Stichproben wird neben der Pearson-Korrelation auch der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman mit berücksichtigt, um eine Signifikanzaussage zu treffen.³⁷ Für die Pearson-Korrelation ergibt sich ein Wert von 0,282, für den Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman ein Wert von 0,238. Die Rangkorrelation ist auf einem Niveau von 0,03 signifikant. Dies kennzeichnet einen schwachen bis mittleren, signifikanten, positiven Zusammenhang zwischen der Ergebnisintervallgröße und der Gebotsanzahl.³⁸ Hypothese 1 kann damit bestätigt werden.

Hypothese 2 bezieht sich auf die Lage p_{sc}^s des Verhandlungsergebnisses zwischen den initialen Geboten. Endet eine Verhandlung mit einer Menge bei $p_{sc}^s = 0,5$, liegt das Verhandlungsergebnis in der Mitte des Ergebnisintervalls. Das nachstehende Punktdiagramm (vgl. Abbildung 3) illustriert die Verhandlungsergebnisse.

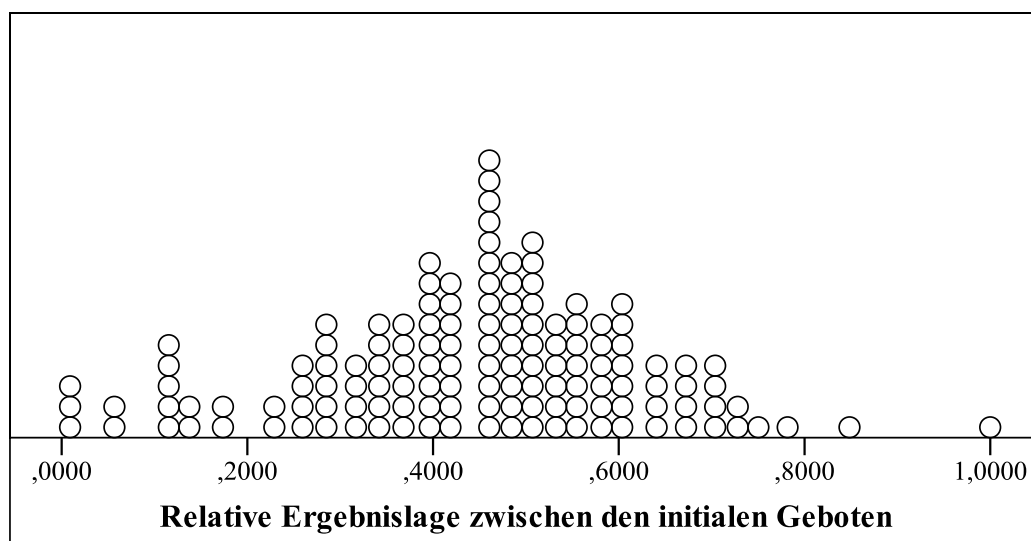


Abb. 3: Relative Lage dezentraler Verhandlungsergebnisse zwischen den initialen Geboten³⁹

³⁶ Eine gemeinsame Auswertung über alle Verhandlungsrunden und die beiden Orte ist unkritisch, weil der η -Koeffizient von 0,104 für den Zusammenhang zwischen Experimentort und Gebotszahl nach Cohen (1988), S. 283-288, nur sehr schwache Abhängigkeiten signalisiert. Zwischen Rundenzahl und Gebotszahl kann zudem keine signifikante Rangkorrelation festgestellt werden.

³⁷ Sowohl beim Kolmogorov-Smirnov-Test als auch beim Shapiro-Wilk-Test wird die Normalverteilungshypothese für das Ergebnisintervall und die Gebotszahl auf einem Signifikanzniveau von 0,01 verworfen.

³⁸ Vgl. Westermann (2000), S. 366.

³⁹ Quelle: Eigene Darstellung. 14 Fälle von ursprünglich 150 Verhandlungsrunden werden nicht abgebildet, weil sie zum Teil deutlich kleiner als null oder zum Teil deutlich größer als eins sind und somit eine übersichtliche Darstellung in einem Punktdiagramm nicht möglich wäre. Die noch folgenden Auswertungen basieren auf der Gesamtdatenbasis, also inklusive dieser 14 Fälle.

Der Mittelwert der Lage entspricht dem Wert 0,314 bei einer Standardabweichung von 0,97. Dies scheint zunächst Hypothese 2 zu widersprechen, dass die Ergebnisse zur Mitte des Ergebnisintervalls tendieren. Die große Standardabweichung, der Median von 0,461, die Abbildung 3 und der Mittelwert von 0,44 unter Ausschluss der Werte kleiner null und größer 1 sind hingegen Indizien für eine Tendenz hin zur Mitte des Ergebnisintervalls und für eine starke Beeinflussung des Mittelwertes durch einige Extremwerte. Dafür spricht auch, dass immerhin 43,4% der Verhandlungen im zentralen Bereich zwischen $p_{sc}^s = 0,4$ und $p_{sc}^s = 0,6$ enden. In 67,4% der erfolgreichen Verhandlungen liegt die Einigung der Akteure im Bereich zwischen $p_{sc}^s = 0,3$ und $p_{sc}^s = 0,7$. Der Interquartilbereich von 0,246 und der Gini-Koeffizient von 39,4% illustrieren einen mittleren Konzentrationsgrad. Damit kann eine Tendenz der Ergebnisse zur Mitte des Ergebnisintervalls festgestellt und auch Hypothese 2 bestätigt werden.

3.3 Experimentergebnisse zu Verhandlungen mit Intervention (hybrid)

Im Gegensatz zu Verhandlungen im Rahmen dezentraler Planungsansätze erfolgt in hybriden Verhandlungen nach den Startgeboten eine zentrale Intervention, die das Ergebnisintervall einschränkt. Die Ergebnisse zu den Verhandlungen ohne Intervention signalisieren, dass sich die Gebotszahl für diesen Fall verringert, weil sich das Ergebnisintervall verkleinert.⁴⁰

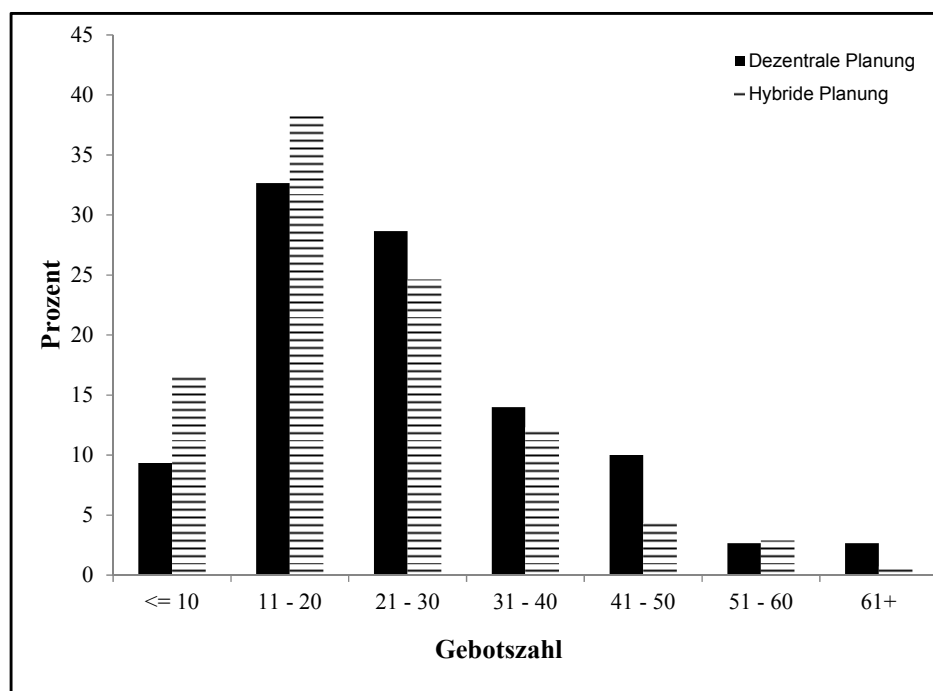


Abb. 4: Vergleich der Gebotszahlen bei Verhandlungen mit und ohne zentrale Intervention

⁴⁰ Eine gemeinsame Auswertung über alle Verhandlungsrunden und die beiden Orte ist unkritisch, weil der η -Koeffizient von 0,046 für den Zusammenhang zwischen Experimentort und Ergebnislage zwischen den initialen Geboten und 0,111 für den Zusammenhang zwischen Experimentort und relativer Lage zwischen den Grenzlosgrößen nach Cohen (1988), S. 283-288, nur sehr schwache Abhängigkeiten signalisieren. Zwischen der Rundenzahl und den beiden Ergebnislagen können zudem keine signifikanten Rangkorrelationen festgestellt werden.

Genau darauf zielt Hypothese 3 ab. Die Gebotszahl bei hybrider Planung beträgt im Mittel 21,59 und ist um knapp vier Gebote und damit knapp 15% geringer als bei dezentraler Planung. Dieser Unterschied bestätigt sich auch bei einem Blick auf das vergleichende Häufigkeitsdiagramm in Abbildung 4. Während bei hybrider Planung der Anteil der Verhandlungen, die nach einem bis 20 Geboten enden, deutlich höher ist als bei dezentraler Planung, erfolgt bei dezentraler Planung häufiger eine Einigung nach 21 bis 40 Geboten als bei hybrider Planung. Folglich ist wenig überraschend, dass dieser Unterschied mit Hilfe des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests auf einem Signifikanzniveau von 0,05 bestätigt wird.⁴¹ Der Effekt der Intervention auf die Gebotszahl ist mit 0,13 aber eher schwach.⁴² Es herrschen folglich Anzeichen für einen signifikanten, aber schwachen Unterschied der Gebotszahlen bei hybrider und dezentraler Planung vor. Deshalb wird auch Hypothese 3 bestätigt.

Neben dem Verhandlungsprozess ist für die Verhandlungen mit zentraler Intervention das Verhandlungsergebnis von Interesse. Nachdem bei zentraler Intervention die Ergebnisse nicht außerhalb des Bereichs zwischen den Grenzlosgrößen liegen dürfen, ist zunächst das Entscheidungsintervall zwischen den Grenzlosgrößen relevant. Der Mittelwert hierfür beträgt 0,574 bei einer Standardabweichung von 0,227 und einem Median von 0,556. Das Diagramm zur Lage des Verhandlungsergebnisses im eingeschränkten Ergebnisintervall in Abbildung 5 weist eine Ähnlichkeit mit Abbildung 3 zum dezentralen Ergebnisintervall zwischen den initialen Geboten bei dezentraler Planung auf. Es ist eine ähnliche Tendenz zur Mitte des Ergebnisintervalls festzustellen.

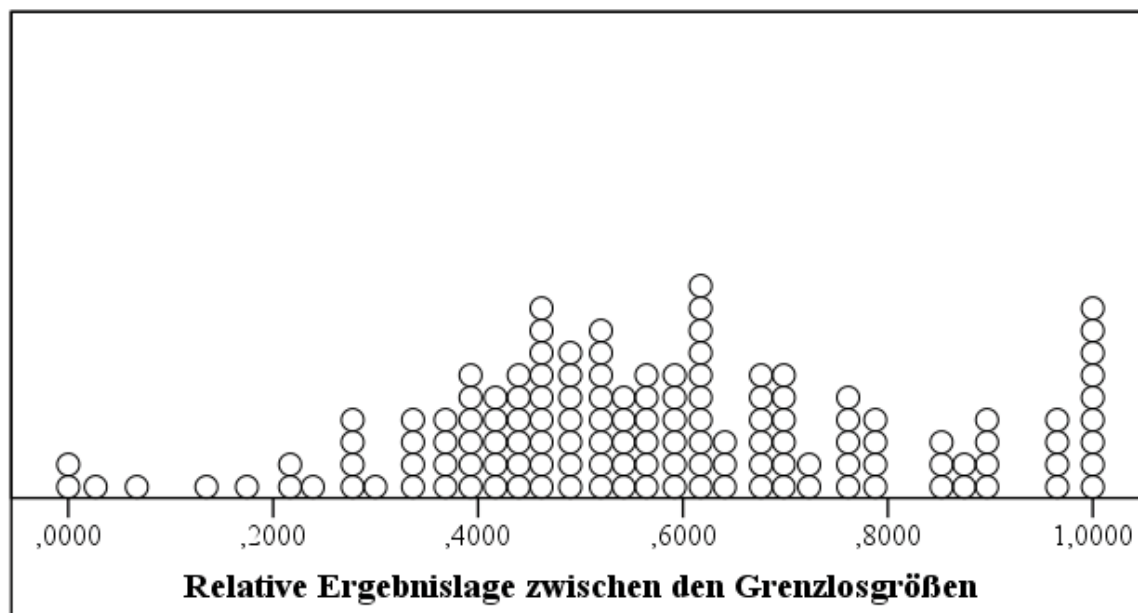


Abb. 5: Relative Lage hybrider Verhandlungsergebnisse zwischen Grenzlosgrößen⁴³

⁴¹ Sowohl der Kolmogorov-Smirnov-Test als auch der Shapiro-Wilk-Test führen zur Ablehnung der Normalverteilungshypothese auf einem Signifikanzniveau von 0,001.

⁴² Vgl. Field (2009), S. 558.

⁴³ Quelle: Eigene Darstellung.

38,4% der Fälle konzentrieren sich auf den Bereich zwischen $p_{sc}^b = 0,4$ und $p_{sc}^b = 0,6$. Auf den auf $p_{sc}^b = 0,3$ und $p_{sc}^b = 0,7$ erweiterten Bereich entfallen 65,9% der hybriden Verhandlungsrunden. Der Interquartilbereich lautet 0,2685, der Gini-Koeffizient entspricht 41,5%. Wie im dezentralen Fall liegt auch bei hybrider Planung eine mittlere Konzentration der Fälle vor. Damit wird Hypothese 4 zur Tendenz der hybriden Verhandlungsergebnisse hin zur Mitte des relevanten Ergebnisintervalls bestätigt.

Weil die Grenzlosgrößen dabei so gesetzt wurden, dass stets nur ein Akteur benachteiligt wurde, so dass das Ergebnisintervall stark asymmetrisch eingeschränkt wird (vgl. Abbildung 2), liefern die Ergebnisse zu den Hypothesen 2 und 4 ein Indiz dafür, dass das eingeschränkte Ergebnisintervall unabhängig von den vorherigen Geboten vollständig als neues Ergebnisintervall anerkannt wird. Zur Untersuchung dieses Zusammenhangs wurde Hypothese 5 aufgestellt. Demnach erfolgt ein Vergleich der Ergebnislage zwischen den Startlosgrößen bei hybrider und dezentraler Planung.

Der Mittelwert der Ergebnislage p_{sc}^s nimmt bei hybrider Planung den Wert 0,29 an. Dieser Wert ist damit noch niedriger als der Mittelwert der dezentralen Planung unter Berücksichtigung aller Ausreißer (0,31). Werden diese Extremwerte ausgeschlossen, ergibt sich mit einem Wert von 0,44 ein deutlicher Unterschied zum hybriden Wert. Die Standardabweichung beträgt 0,97 bzw. 0,17 im dezentralen Fall und 0,16 im hybriden Fall. Die Mediane unterscheiden sich um 0,18 voneinander (hybrid: 0,28; dezentral: 0,46). Abbildung 6 veranschaulicht diese Unterschiede.

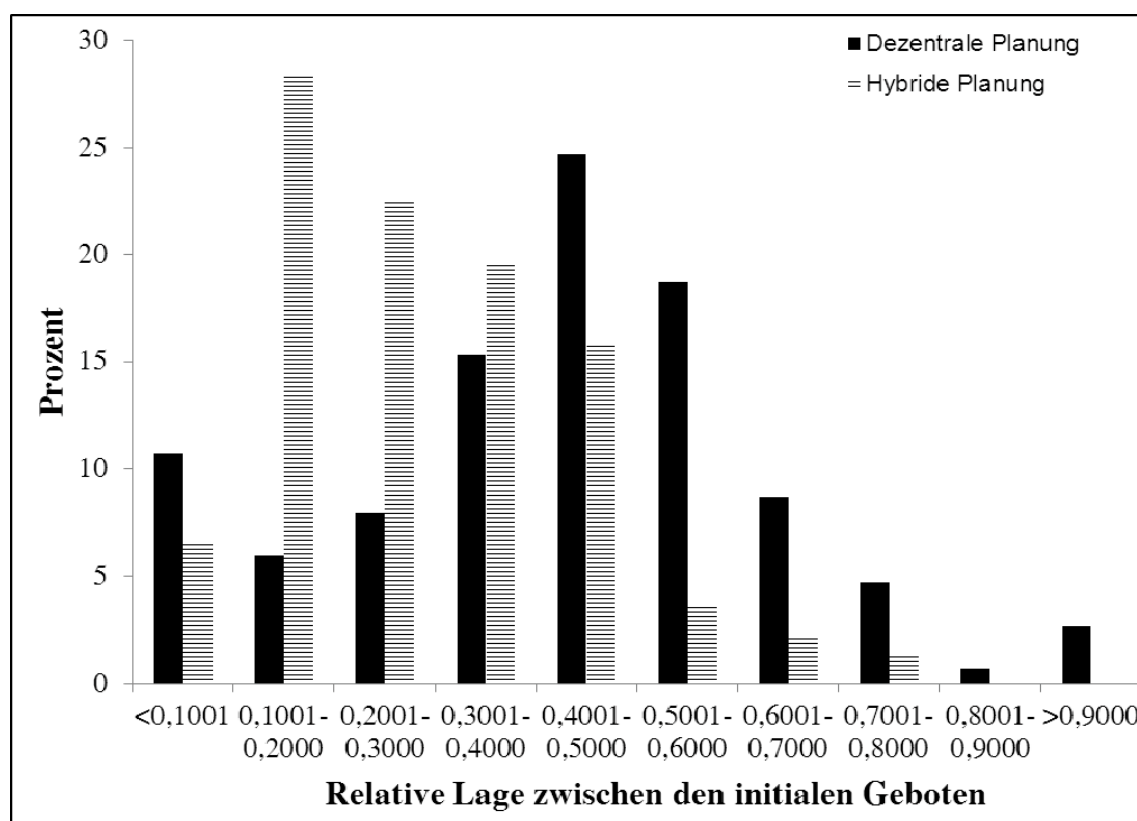


Abb. 6: Vergleich der relativen Ergebnislage zwischen den initialen Geboten bei Verhandlungen mit und ohne zentrale Intervention

Während der Modus der Ergebnislage hinsichtlich der hybriden Planung bei der Klasse zwischen 0,1 und 0,2 liegt, erreichen die Häufigkeiten der Ergebnisse zur dezentralen Planung ihr Maximum bei der Klasse 0,4 bis 0,5.⁴⁴ Der Unterschied bestätigt sich im nicht-parametrischen Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test auf einem Signifikanzniveau von 0,001 und einer schwachen bis mittleren Effektstärke von 0,28.⁴⁵ Damit kann auch Hypothese 5 bestätigt werden.

3.4 Diskussion der Ergebnisse

Die Ergebnisse zur Gebotszahl (Hypothesen 1 und 3) sind Indiz dafür, dass ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Gebotszahl und der Größe des Ergebnisintervalls besteht. Die Pearson-Korrelation von 0,28 signalisiert einen schwachen bis mittleren Zusammenhang, die Rangkorrelation von Spearman einen schwachen, aber signifikanten Zusammenhang zwischen Gebotszahl und Ergebnisintervall und das Ergebnis des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests einen Unterschied zwischen der Gebotszahl bei hybrider und dezentraler Planung.⁴⁶ Die mäßige Effektstärke lässt aber auch die Schlussfolgerung zu, dass neben dem Ergebnisintervall noch andere Einflüsse auf die Verhandlungsdauer wirken. Eine Möglichkeit ist zum Beispiel die Zeitpräferenz eines Teilnehmers. Lässt sich eine teilnehmerspezifische Zeitpräferenz nachweisen, würde die Grundannahme des Rubinstein-Spiels experimentell bestätigt. Gerade zum Rubinstein-Spiel existieren zahlreiche Experimente der Forschergruppe um Weg, Zwick, Rapoport und Felsenthal. Die Zeitpräferenzfunktionen der Teilnehmer wurden über die Auszahlungsfunktion gesteuert. Die Verhandlungen ohne zentrale Intervention dauern in den von Rapoport, Weg und Felsenthal (1990) vorgestellten Experimenten nur in 10% der Fälle länger als 14 Gebote.⁴⁷ Der Median und der Mittelwert der ähnlichen Verhandlungen in dieser Arbeit liegen dagegen bei 25,32 Geboten. Dieser Unterschied ist mit den bei Rapoport, Weg und Felsenthal induzierten Zeitpräferenzen und Informationsannahmen zu erklären. So wissen in dem Experiment die Teilnehmer um das lokale Optimum des anderen. Spekulationen und Täuschungen sind deutlich schwieriger als im vorliegenden Experiment umzusetzen. Das führt zu einer Verkürzung der Verhandlungsdauer im Vergleich zu dem Experiment in dieser Abhandlung.

Die Erkenntnisse zur Ergebnislage der Verhandlungen lassen eindeutig eine Tendenz zur Mitte des Ergebnisintervalls erkennen. Während bei der Betrachtung der dezentralen Verhandlungen eine leichte Rechtsschiefe der Häufigkeitsverteilung im Ergebnisbereich zwischen den initialen Geboten auffällt, offenbart die Häufigkeitsverteilung der Ergebnislage zwischen den Grenzlosgrößen eine leichte Linksschiefe. Die Rechtsschiefe ist damit zu erklären, dass sowohl die faire Lösung (gleiche Auszahlung für beide Akteure) als auch das Supply Chain Optimum im Mittel einen Wert kleiner 0,5 annehmen. Die rechtsschiefe Verteilung der Lage zwischen den Grenzlosgrößen ist auf

⁴⁴ Beide Unterschiede sind mindestens auf einem Signifikanzniveau von 0,03 nicht normalverteilt.

⁴⁵ Vgl. Field (2009), S. 558.

⁴⁶ Vgl. Westermann (2000), S. 366.

⁴⁷ Vgl. Rapoport/Weg/Felsenthal (1990).

die durchgängige Benachteiligung des Akteurs zurückzuführen, dessen Startgebot im normierten Ergebnisintervall durch die Zahl eins symbolisiert wird. Die Tendenz der Ergebnisse zur Mitte des Ergebnisintervalls zwischen den Grenzlosgrößen bei hybrider Planung in Verbindung mit der Tendenz zur Mitte des Ergebnisintervalls zwischen den initialen Geboten bei dezentraler Planung ist ein Indiz dafür, dass die Verhandlungsakteure auf Grund der Informationssituation auszahlungsunabhängig verhandeln. Weil sich mit der zentralen Intervention nur der Gültigkeitsbereich der Auszahlungsfunktionen, aber nicht der Kostenbereich an sich ändert, ist sowohl mit als auch ohne zentrale Intervention ein Ergebnis in der Nähe des globalen Auszahlungsmaximums zu erwarten gewesen. Die Ergebnisse zu den Hypothesen 2 und 5 liefern aber einen eindeutigen Hinweis darauf, dass Unterschiede in den Ergebnissen vorliegen und bei hybrider Planung auch keine eindeutige Tendenz hin zum Ergebnis der dezentralen Planung festzustellen ist. Dazu kommt, dass sich in den meisten Fällen auch die Lage des globalen Auszahlungsmaximums und des Ergebnisses unterscheiden. Die lässt die Schlussfolgerung zu, dass auf Grund fehlender Kosteninformationen die Menge als Ersatzverhandlungskriterium eingesetzt wird. Ganz allgemein wurde bereits in zahlreichen Experimenten eine Tendenz zu mittigen Lösungen oder vermeintlich fairen Kompromisslösungen nachgewiesen.⁴⁸ So wurden in diversen Experimenten zum Ultimatum-Spiel und bei vollständiger Information derartige Verhandlungsergebnisse festgestellt.⁴⁹ Im Rahmen von Newsvendor-Experimenten konnten zahlreiche Forscher den Pull-To-Center-Fehler als eine Orientierung der Bestellmenge hin zum Mittelwert und weg von der optimalen Menge nachweisen.⁵⁰ Die durchgängig mäßigen Effektstärken im vorgestellten Experiment signalisieren die Existenz weiterer Einflussfaktoren. Hier sind vor allem die persönlichen Präferenzen der Teilnehmer, aber auch der Einfluss der Kostenfunktion zu nennen.⁵¹

4 Ausblick

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass hybride Planungsansätze auf Grund ihrer Kombination aus zentralen und dezentralen Elementen und der fortschreitenden Dezentralisierung unternehmensinterner Supply Chains bei gleichzeitiger Verbreitung von zielgerichteten Koordinationskonzepten in unternehmensübergreifenden Supply Chains von hoher Relevanz für die Wissenschaft und Praxis sind. Problematisch erwies sich bei Verhandlungen ohne zentrale Intervention, dass in Situationen mit symmetrischer Machtverteilung und unvollständiger Information keine genauen Ergebnisse oder Verhandlungsprozesse prognostiziert werden können. Ebenso unklar war der Einfluss zentraler Intervention auf Verhandlungen im Rahmen hybrider Planungsan-

⁴⁸ Vgl. zum Beispiel Deutsch/Kotik (1978).

⁴⁹ Vgl. zum Beispiel Neelin/Sonnenschein/Spiegel (1988) oder Harrison/McCabe (1996).

⁵⁰ Vgl. Ho/Lim/Cui (2010), Bolton/Katok (2008) oder Schweitzer/Cachon (2000).

⁵¹ Auf die Bedeutung benutzerspezifischer Eigenschaften verweisen zum Beispiel auch Inderfurth/Sadrieh/Voigt (2008), S. 24.

sätze. Zur Erforschung dieser beiden Problemstellungen wurde ein Laborexperiment vorgestellt, das im Wesentlichen folgende Erkenntnisse ergab:

- Bei unvollständiger Information über den Nutzen oder die Kosten des anderen Verhandlungsakteurs weisen die Ergebnisse bilateraler Verhandlungen eine Tendenz zur Mitte des Ergebnisintervalls auf.
- Eine Vergrößerung des Ergebnisintervalls wirkt tendenziell Verhandlungsverlängernd.
- Zentrale Interventionen, die das Ergebnisintervall einschränken, besitzen eine verkürzende Wirkung auf die Verhandlung.
- Obligatorische zentrale Interventionen werden von den Verhandlungsakteuren als neues Ergebnisintervall anerkannt, das dem ursprünglichen Ergebnisintervall unabhängig von der Symmetrie der Einschränkung gleichwertig ist.

Diese Erkenntnisse lassen sich auf andere Bereiche und Ansätze der Planung übertragen. So ist davon auszugehen, dass sich die dezentralen Einheiten auch bei einer dynamischen Gegenstromplanung auf einen Plan in der Mitte des durch die Zentralstelle eingeschränkten Ergebnisintervalls verständigen. Neben einer Zentralstelle könnten auch andere Stellen und Institutionen Ursache einer Zentralintervention sein. Denkbar wären zum Beispiel bei Einkaufsverhandlungen aktuelle Entwicklungen, die eine Anpassung der Verhandlungstaktik erfordern, oder Gesetzesänderungen. Insofern besitzen die aufgeführten experimentellen Ergebnisse eine Bedeutung über die spezifische Entscheidungssituation des Experiments hinaus. Sie motivieren insbesondere dazu, potenzielle Verhandlungsführer auf die Kostenrelevanz in der Verhandlungssituation zu schulen, die Gefahr eines Ersatzkriteriums aufzuzeigen und einen überlegten Umgang mit zentralen Interventionen zu forcieren. Folgeexperimente und weitere Auswertungen zu diesem Experiment können die gefundenen Erkenntnisse vertiefen und erweitern. Insbesondere sind Fragestellungen zu folgenden Bereichen von großem Interesse:

- Art, Bedeutung und Wirkung des ersten Gebotes
- Wirkung von Seitenzahlungen auf das Verhandlungsergebnis und den Verhandlungsprozess
- Wirkung von Lerneffekten auf Verhandlungsergebnis und -prozess
- Identifikation verschiedener Verhandlungstypen nach Zeit und Konzessionsverhalten und die Überprüfung der theoretischen Modelle unter Anwendung der unterschiedlichen Typen
- Zusammenhang zwischen Verhandlungsergebnissen und Lösungskonzepten der kooperativen Spieltheorie
- Gender-Problematiken in der Verhandlungstheorie
- Analyse dynamischer und stochastischer Verhandlungsumgebungen

5 Literaturverzeichnis

- Anderson, E.G.; Morrice, D.J. (2000): A simulation game for teaching services-oriented supply chain management: Does information help managers with service capacity decisions?, in: *Production and Operations Management* 9(1), S. 40–55.
- Banerjee, A. (1986): A Joint Economic-Lot-Size Model for Purchaser and Vendor, in: *Decision Sciences* 17(3), S. 292–311.
- Benzion, U.; Cohen, Y.; Peled, R.; Shavit, T. (2008): Decision-making and the newsvendor problem: an experimental study, in: *Journal of the Operational Research Society* 59(9), S. 1281–1287.
- Bergmann, R.; Garrecht, M. (2008): *Organisation und Projektmanagement*, Heidelberg.
- Bolton, G.E.; Katok, E. (2008): Learning by Doing in the Newsvendor Problem: A Laboratory Investigation of the Role of Experience and Feedback, in: *Manufacturing & Service Operations Management* 10(3), S. 519–538.
- Bolton, G.E.; Ockenfels, A.; Thonemann, U. (2010): Who Is the Best at Making Decisions, in: *International Commerce Review* 9(1), S. 48–57.
- Chen, F.; Samroengraja, R. (2000): The stationary beer game, in: *Production and Operations Management* 9(1), S. 19–30.
- Cohen, J. (1988): *Statistical power analysis for the behavioral sciences*, 2. Aufl., New York.
- Corbett, C.J.; de Groote, X. (2000): A Supplier's Optimal Quantity Discount Policy Under Asymmetric Information, in: *Management Science* 46(3), S. 444–450.
- Croson, R.; Donohue, K.L. (2002): Experimental Economics and Supply-Chain Management, in: *Interfaces* 32(5), S. 74–82.
- Croson, R.; Donohue, K.L. (2003): Impact of POS Data Sharing on Supply Chain Management: An Experimental Study, in: *Production and Operations Management* 12(1), S. 1–11.
- Deutsch, M.; Kotik, P. (1978): Altruism and Bargaining, in: Sauermann, H. (Hg.): *Bargaining Behavior*, Tübingen, S. 20–40.
- Egelhoff, W.; Frese, E. (2009): Understanding managers preferences for internal markets versus business planning: A comparative study of German and U.S. managers, in: *Journal of International Management*, 15(1), S. 77–91.
- Ertogral, K.; Wu, S.D. (2000): Auction-theoretic coordination of production planning in the supply chain, in: *IIE Transactions* 32(10), S. 931–940.
- Field, A. (2009): *Discovering statistics using SPSS*, 3. Aufl., Los Angeles.
- Friedman, D.; Cassar, A. (2004): Finish what you started: project management, in: Friedman, D.; Cassar, A.; Selten, R. (Hg.): *Economics lab*, London, S. 75–81.
- Goyal, S.K. (1976): An integrated inventory model for a single supplier - single customer problem, in: *International Journal of Production Research* 15(1), S. 107–111.
- Güth, W.; Selten, R. (2009): Experimental Economics: Introduction and Overview, in: Franz, W. (Hg.): *Experimentelle Wirtschaftsforschung*, Tübingen, S. 1–10.
- Harrison, G.W.; McCabe, K. (1996): Expectations and Fairness in a Simple Bargaining Experiment, in: *International Journal of Game Theory* 25(3), S. 303–327.
- Ho, T.-H.; Lim, N.; Cui, T.H. (2010): Reference Dependence in Multilocation Newsvendor Models: A Structural Analysis, in: *Management Science* 56(11), S. 1891–1910.
- Inderfurth, K.; Sadrieh, A.; Voigt, G. (2008): The Impact of Information Sharing on Supply Chain Performance in Case of Asymmetric Information, Magdeburg.
- Inderfurth, K.; Voigt, G. (2011): Setup Cost Reduction and Supply Chain Coordination in Case of Asymmetric Information, in: *OR Spectrum* 33(11), S. 99–122.

- Kaminsky, P.; Simchi-Levi, D. (1998): A new computerized Beer Game: a tool for teaching the value of integrated supply chain management, in: *Global Supply Chain and Technologies Management* 1, S. 216–225.
- Katok, E.; Wu, D.Y. (2009): Contracting in Supply Chains: A Laboratory Investigation, in: *Management Science* 55(12), S. 1953–1968.
- Kornmeier, M. (2007): *Wissenschaftstheorie und wissenschaftliches Arbeiten*, Heidelberg.
- Kouvelis, P.; Gutierrez, G.J. (1997): The Newsvendor Problem in a Global Market: Optimal Centralized and Decentralized Control Policies for a Two-Market Stochastic Inventory System, in: *Management Science* 43(5), S. 571–585.
- Kuhn, A.; Hellgrath, B. (2002): *Supply Chain Management*, Berlin.
- Lee, H.L.; Padmanabhan, V.; Whang, S. (1997): Information Distortion in a Supply Chain: The Bullwhip Effect, in: *Management Science* 43(4), S. 546–558.
- Lee, H.L.; Rosenblatt, M.J. (1986): A Generalized Quantity Discount Pricing Model to Increase Supplier's Profits, in: *Management Science* 32(9), S. 1177–1185.
- Lu, L. (1995): A one-vendor multi-buyer integrated inventory model, in: *European Journal of Operational Research* 81(2), S. 312–323.
- Machuca, J.A.D.; Barajas, R.P. (2004): The impact of electronic data interchange on reducing bullwhip effect and supply chain inventory costs, in: *Transportation Research Part E* 40(5), S. 209–228.
- Monahan, J.P. (1984): A Quantity Discount Pricing Model To Increase Vendor Profits, in: *Management Science* 30(6), S. 720–726.
- Montgomery, D.C. (2009): *Design and analysis of experiments*, 7. Aufl., Hoboken.
- Neelin, J.; Sonnenschein, H.; Spiegel, M. (1988): A Further Test of Noncooperative Bargaining Theory: Comment, in: *The American Economic Review* 78(4), S. 824–836.
- Nie, L.; Xu, X.; Zhan, D. (2008): Collaborative Planning in Supply Chains by Lagrangian Relaxation and Genetic Algorithms, in: *International Journal of Information Technology & Decision Making* 7(1), S. 183–197.
- Nydegger, R.V.; Owen, G. (1975): Two-Person Bargaining: An Experimental Test of the Nash Axioms, in: *International Journal of Game Theory* 3(4), S. 239–249.
- Probst, G.J.B. (1993): *Organisation*, Landsberg/Lech.
- Rapoport, A.; Weg, E.; Felsenthal, D.S. (1990): Effects of Fixed Costs in Two-person Sequential Bargaining, in: *Theory and Decision* 28(1), S. 47–71.
- Reiß, M. (2001): Netzwerk-Kompetenz, in: Corsten, H. (Hg.): *Unternehmensnetzwerke*, München, S. 121–188.
- Reiß, M. (2011): Koordination durch kompetitive Organisationsformen, in: Corsten, H.; Gössinger, R. (Hg.): *Dezentrale Koordination ökonomischer Aktivitäten*, Berlin, S. 1–42.
- Rubinstein, A. (1982): Perfect Equilibrium in a Bargaining Model, in: *Econometrica*, 50(1), S. 97–109.
- Rücker, T. (2006): *Optimale Materialflussteuerung in heterogenen Produktionssystemen*, Wiesbaden.
- Schlüter, F. (2001): *Hybride PPS für heterogene Fertigungsstrukturen*, Wiesbaden.
- Schweitzer, M.E.; Cachon, G.P. (2000): Decision Bias in the Newsvendor Problem with a Known Demand Distribution: Experimental Evidence, in: *Management Science* 46(3), S. 404–420.
- Siegel, S.; Fouraker, L.E. (1960): *Bargaining and group decision making*, Niedernberg.
- Sterman, J.D. (1989): Modeling managerial behavior: Misperceptions of feedback in a dynamic decision making experiment, in: *Management Science* 35(3), S. 321–339.
- Sucky, E. (2003): Ein dynamisches Verhandlungsmodell des Supply Chain Management, in: Leopold-Wildburger, U. (Hg.): *Operations research proceedings 2002*, Berlin, S. 114–119.
- Sucky, E. (2004a): *Koordination in Supply Chains*, Wiesbaden.

- Sucky, E. (2004b): Coordinated order and production policies in supply chains, in: *OR Spectrum* 26(4), S. 493–520.
- Sucky, E.; Dobhan, A. (2011): Hybride Planung in Internal Supply Chains, in: *Dezentrale Koordination ökonomischer Aktivitäten*, Berlin, S. 205-238.
- Sucky, E.; Dobhan, A.; Müller, C.; Sprenger, J. (2009): *Organisation und Software im Internal Supply Chain Planning*, Bamberg.
- Weg, E.; Rapoport, A.; Felsenthal, D.S. (1990): Two-Person Bargaining Behavior in Fixed Discounting Factors Games with Infinite Horizon, in: *Games and Economic Behavior* 2(1), S. 76–95.
- Weg, E.; Zwick, R. (1994): Toward the settlement of the fairness issues in ultimatum games, in: *Journal of Economic Behavior and Organization* 24(1), S. 19–34.
- Weg, E.; Zwick, R.; Rapoport, A. (1996): Bargaining in Uncertain Environments: A Systematic Distortion of Perfect Equilibrium Demands, in: *Games and Economic Behavior* 14(2), S. 260–286.
- Westermann, R. (2000): *Wissenschaftstheorie und Experimentalmethodik*, Göttingen.
- Zäpfel, G. (1998): Grundlagen und Möglichkeiten der Gestaltung dezentraler PPS-Systeme, in: Corsten, H.; Gössinger, R. (Hg.): *Dezentrale Produktionsplanungs- und -steuerungs-Systeme*, Stuttgart, S. 11–53.

Spieltheoretische Analyse der werbungsbezogenen Zusammenarbeit von Hersteller und Händler

Gerhard Aust

Lehrstuhl für BWL, insb. Industrielles Management,
TU Dresden, Fakultät Wirtschaftswissenschaften, 01062 Dresden,
gerhard.aust@tu-dresden.de

Udo Buscher

Lehrstuhl für BWL, insb. Industrielles Management,
TU Dresden, Fakultät Wirtschaftswissenschaften, 01062 Dresden,
udo.buscher@tu-dresden.de

Zusammenfassung

Dieser Beitrag befasst sich mit der Absatzseite einer Supply Chain, welche auf einen Hersteller und einen Händler vereinfacht wird. Neben der Festlegung von Preisen und Werbeaufwendungen wird auch ein Cooperative-Advertising-Programm untersucht, im Rahmen dessen sich der Hersteller an den Werbekosten seines Händlers beteiligt. Die Anwendung des Stackelberg-Spiels auf diese Situation ermöglicht es, eine asymmetrische Machtverteilung des Absatzkanals darzustellen, wobei hier dem Hersteller die Rolle des Marketingführers übertragen wird. Die formale Herleitung basiert auf einem Modell aus der Literatur, dessen Preis-Absatz-Funktion modifiziert wird. Auf der Grundlage numerischer Beispiele wird am Ende ein Vergleich zum Grundmodell gezogen, um die Auswirkung dieser Nachfrageänderung zu untersuchen.

1 Einleitung

1.1 *Cooperative Advertising*

Werbung hat die Aufgabe, über Produkte und Preise zu informieren und somit den Konsum der Endkunden zu stärken. Daher kommt ihr gerade in wirtschaftlich schlechten Zeiten, in denen Verbraucher vermehrt sparen, eine besondere Bedeutung zu. Im Bereich des Einzelhandels ergibt sich dabei die Schwierigkeit, dass sich die Hersteller aufgrund der Komplementarität von Hersteller- und Händlerwerbung in einer gewissen Abhängigkeit befinden: Während ihre eigene Werbung vor allem auf das Image der gesamten Marke abzielt und somit meist national ausgerichtet ist, werden die unmittelbaren Kaufanreize durch die mehr auf Preise und Sonderangebote ausgerichtete Werbung der Händler gesetzt. Diese beschränkt sich jedoch meist nicht nur auf die Produkte eines Händlers, sondern stellt einen herstellerunabhängigen Auszug des gesamten Sortiments dar.¹ So ist es denkbar, dass ein individuell entscheidender Händler weniger investiert, als es für den Hersteller eines Produktes gut wäre, was letztendlich zu niedrigeren Gewinnen führt.² Eine mögliche Lösung für dieses Problem stellt die Zusammenarbeit von Hersteller und Händler im Rahmen eines sogenannten Cooperative-Advertising-Programmes dar, in dem der Hersteller einen Anteil der Werbeaufwendungen des Händlers übernimmt.^{3,4} Bei dieser Form der Zusammenarbeit handelt es sich ausdrücklich nur um eine finanzielle Vereinbarung und nicht um eine eigenständige Werbeform.⁵

Nachweise über die Anwendung von Cooperative Advertising finden sich vor allem in der angloamerikanischen Literatur. Einer empirischen Studie zufolge wurden zu Beginn des Jahrtausends circa 15 Milliarden US-Dollar in vergleichbare Programme investiert.⁶ Dabei gibt es sehr unterschiedliche Information bezüglich der Höhe des Anteils, den die Hersteller übernehmen: So wird für den Automobilhersteller General Motors eine Quote von 25% genannt, während die Computerhersteller IBM und Apple 50% bzw. 75% der Kosten für Händlerwerbung tragen.⁷ Überdies ist auffallend, dass der Großteil der Unternehmen den Anteil auf 50% oder 100% festlegt, und das bran-

¹ Vgl. Jauschowitz (1995), S. 236, Oehme (2001), S. 444 und Pepels (1995), S. 260.

² Vgl. Somers/Gupta/Harriot (1990), S. 36 und Yan (2010), S. 511.

³ Vgl. Bergen/John (1997), S. 357 und Huang/Li (2001), S. 528.

⁴ Im Deutschen lässt sich dieser Ausdruck wohl am ehesten mit kooperativer Werbung oder Gemeinschaftswerbung übersetzen. Allerdings ist dieser Begriff innerhalb der deutschen Marketing-Literatur eher mit einer Form der Werbung verbunden, die von mehreren vertikal oder horizontal kooperierenden Unternehmen gemeinsam veranlasst wird (vgl. dazu Barth/Harthmann/Schröder (2007), S. 247-251). Beispielhaft wären hier Werbekampagnen des gesamten Handwerks (horizontal) oder die ehemals durch die CMA organisierte Werbung der Agrarindustrie (vertikal) zu nennen. Um Verwechslungen vorzubeugen, soll daher weiterhin der englische Begriff Cooperative Advertising verwendet werden.

⁵ Vgl. Bergen/John (1997), S. 357.

⁶ Vgl. Nagler (2006), S. 91f.

⁷ Vgl. Green (2000) und Xie/Wei (2009), S. 786.

chenübergreifend.⁸ Dies lässt darauf schließen, dass die Entscheidung über die Höhe der Beteiligung in der Praxis meist willkürlich getroffen wird und nicht auf Basis konkreter Analysen. Umso wichtiger erscheint eine theoretisch fundierte Auseinandersetzung mit diesem Thema, um Entscheidungshilfen für das Management ableiten zu können.

1.2 *Stand der Forschung*

Einer der ersten Artikel, der sich mit der mathematischen Modellierung eines Cooperative-Advertising-Programmes befasst, stammt von Berger. Allerdings wird hier nur die Händlerwerbung betrachtet, die durch einen Preisnachlass des Herstellers finanziell unterstützt wird.⁹ Weitergehende quantitative Arbeiten haben sich zumeist der Spieltheorie bedient, um die Interaktion zwischen Hersteller und Händler abzubilden.

Vorherrschende Ansätze sind dabei das Nash- und das Stackelberg-Gleichgewicht sowie die Kooperationslösung. Während ersteres eine simultane, nicht-kooperative Entscheidungsfindung der Beteiligten unterstellt und genutzt wird, um eine symmetrische Machtverteilung zu simulieren, kann das ebenfalls nicht-kooperative Stackelberg-Gleichgewicht als zweistufiges Spiel aufgefasst werden. Der sogenannte Stackelberg-Anführer legt in einem ersten Schritt seine Entscheidungsgrößen fest, wobei er die Reaktion des Folgers auf seine Entscheidung kennt und berücksichtigt. Im Anschluss versucht der Folger, unter den gegebenen Bedingungen die für ihn optimalen Ergebnisse zu erzielen. Anwendung findet dieses Spiel bei einer asymmetrischen Machtverteilung. Im Gegensatz zu den beiden erstgenannten Spielen unterstellt die Kooperationslösung eine Zusammenarbeit der Akteure, bei der beispielsweise eine Maximierung des Gesamtgewinns verfolgt wird.

Diese Methoden werden zum Beispiel in den Untersuchungen von Jørgensen/Zaccour (et al.) genutzt, die nicht nur zwischen Hersteller- und Händlerwerbung, sondern auch zwischen kurz- und langfristiger Wirkungen unterscheiden, wozu sie eine Goodwillfunktion der Kunden aufstellen und dynamische Modelle entwickeln.¹⁰ Eine Analyse der Vorteilhaftigkeit eines Cooperative-Advertising-Programmes wurde von Karray/Zaccour für eine Supply Chain bestehend aus zwei Herstellern und zwei Händlern durchgeführt. Dabei konnte nachgewiesen werden, dass diese Form der Zusammenarbeit nicht in jedem Fall positive Auswirkungen für einen Händler hat.¹¹ Huang/Li (et al.) haben sich dagegen auf einen Hersteller und einen Händler beschränkt und für verschiedene Nachfragefunktionen einen Vergleich der obigen spieltheoretischen Methoden durchgeführt.¹²

⁸ Vgl. Dutta/Bergen/John/Rao (1995), S. 16 und Nagler (2006), S. 96.

⁹ Vgl. Berger (1972).

¹⁰ Vgl. Jørgensen/Zaccour (1999), Jørgensen/Sigue/Zaccour (2001), Jørgensen/Zaccour (2003) und Jørgensen/Taboubi/Zaccour (2003).

¹¹ Vgl. Karray/Zaccour (2006).

¹² Vgl. Huang/Li (2001), Li/Huang/Zhu/Chau (2002) und Huang/Li (2005).

Die bislang aufgeführten Arbeiten betrachten die Festlegung der Werbeinvestitionen losgelöst von anderen Entscheidungsgrößen eines Herstellers bzw. eines Händlers. Da die Nachfrage der Endkunden jedoch maßgeblich vom Preis eines Produktes abhängt, erscheint es angebracht, auch die Preisentscheidungen der Beteiligten mit einzubeziehen. Aufgrund der deutlich höheren Komplexität findet sich jedoch nur sehr wenig Literatur mit einer Nachfrage, die sowohl von Preisen als auch von Werbeaufwendungen beeinflusst wird.

Ein Vertreter dieser Gruppe ist beispielsweise die Arbeit von Bergen/John, deren Nachfragefunktion jedoch nur Preis und Werbung des Händlers berücksichtigt.¹³ Gleiches gilt für das Modell mit bilateralem Duopol von Kim/Staelin, die darüber hinaus noch eine abweichende Definition eines Cooperative-Advertising-Programmes vertreten: Hier zahlt der Hersteller einen festen Geldbetrag, den der Händler aber nicht zwingend vollständig in Werbung investieren muss.¹⁴ Auch die bereits erwähnten Autoren Karray/Zaccour haben eine preis- und werbeabhängige Nachfrage untersucht, wobei sie die Wirksamkeit von Cooperative-Advertising gegen die Einführung einer Handelsmarke nachweisen.¹⁵ Eine Gegenüberstellung verschiedener spieltheoretischer Methoden findet sich unter anderem bei Yue/Austin/Wang/Huang, Xie/Wei, Yan und Xie/Neyret, die jeweils eine Supply Chain bestehend aus einem Hersteller und einem Händler betrachten.¹⁶ Hier werden die Spiele Stackelberg-Hersteller (d. h. der Hersteller agiert als Anführer) und Kooperation bei unterschiedlichen Nachfragefunktionen verglichen, wobei der letztgenannte Artikel hier eine Ausnahme bildet und zusätzlich das Nash- sowie das Stackelberg-Händler-Gleichgewicht mit einbezieht.

Der vorliegende Beitrag greift das Modell von Xie/Wei auf und variiert die Nachfragefunktion. Dazu stellt Kapitel 2 zunächst die zugrundeliegende Supply Chain, die Gewinnfunktionen der Beteiligten sowie die hier betrachtete Nachfragefunktion vor. Die optimalen Preis- und Werbeentscheidungen der Akteure werden unter der Annahme eines Stackelberg-Hersteller-Gleichgewichts analytisch hergeleitet, da nur ein dominanter Hersteller bereit ist, sich im Rahmen eines Cooperative-Advertising-Programmes an den Werbeaufwendungen seines Händlers zu beteiligen.¹⁷ Aufgrund der Komplexität der analytischen Lösungen erfolgt die Interpretation der Ergebnisse in Kapitel 4 anhand numerischer Beispiele, die in Abschnitt 4.1 berechnet werden. Ein Vergleich zur ursprünglichen Nachfragefunktion von Xie/Wei findet sich dann in Abschnitt 4.2. Kapitel 5 fasst schließlich die Ergebnisse dieser Untersuchung zusammen und weist auf weiteren Forschungsbedarf hin.

¹³ Vgl. Bergen/John (1997).

¹⁴ Vgl. Kim/Staelin (1999).

¹⁵ Vgl. Karray/Zaccour (2007).

¹⁶ Vgl. Yue/Austin/Wang/Huang (2006), Xie/Wei (2009), Yan (2010), Xie/Neyret (2009).

¹⁷ Vgl. Xie/Neyret (2009). Auch bei einer Kooperation kann es zu einer Beteiligung kommen. Da die genaue Festlegung des Prozentsatzes in diesem Fall jedoch erst im Nachhinein durch Anwendung eines Verhandlungsmodells erfolgen kann, wird lediglich das Stackelberg-Hersteller-Gleichgewicht betrachtet.

2 Modellbeschreibung

Betrachtet wird der Absatzkanal eines Herstellers, der sein Produkt über einen Händler an eine nicht näher bestimmte Gruppe von Endkunden vertreibt (siehe Abb. 1). Für jede Mengeneinheit dieses Produktes zahlen die Kunden den Preis p , von dem der Händler seinerseits den Einkaufspreis e an den Hersteller abführt. Neben dem Preis wird die Nachfrage der Endkunden N auch von der getätigten Werbung beeinflusst, wobei die lokalen Werbeaufwendungen des Händlers w_L sowie die globalen Werbeaufwendungen des Herstellers w_G unterschieden werden. Im Rahmen eines Cooperative-Advertising-Programmes wird dem Hersteller darüber hinaus die Möglichkeit eingeräumt, sich mit einem Anteil r an der Händlerwerbung zu beteiligen. Außerdem gilt die Annahme, dass der Hersteller eine unbeschränkte Kapazität besitzt, so dass die gesamte Nachfrage der Kunden gedeckt werden kann.

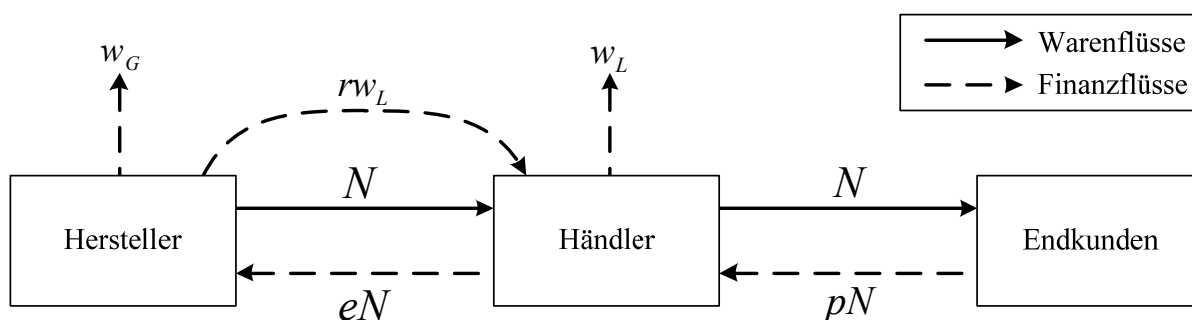


Abb. 1: Supply Chain

Aus den in Abb. 1 dargestellten Finanzflüssen können die Gewinnfunktionen der Beteiligten abgeleitet werden. Beispielsweise stehen dem Umsatz des Herstellers eN die Ausgaben für eigene Werbung w_G sowie die Beteiligung an der Händlerwerbung rw_L gegenüber. Es folgt für den Herstellergewinn G_M :

$$G_M = eN - rw_L - w_G. \tag{1}$$

Analog gilt für den Händlergewinn G_R

$$G_R = (p - e)N - (1 - r)w_L \tag{2}$$

sowie für den Gesamtgewinn der Supply Chain G_{SC}

$$G_{SC} = pN - w_L - w_G. \tag{3}$$

Bislang wurde die Nachfrage der Endkunden N lediglich als feste Menge angesehen, ohne näher auf ihre funktionale Gestalt einzugehen. Wie oben erläutert ist dabei sowohl der Einfluss des Preises p als auch die Wirkung der Werbeaufwendungen w_L und w_G einzubeziehen. Der als Preis-Absatz-Funktion $P(p)$ bezeichnete, preisabhängige Teil der Nachfrage wurde von Xie/Wei mit einer linear fallenden Funktion $P(p) = 1 - \beta p$ abgebildet.¹⁸ Wie Untersuchungen von Choi und Lau/Lau gezeigt haben, kann die formale Gestalt der Preis-Absatz-Funktion einen entscheidenden Einfluss auf

¹⁸ Vgl. Xie/Wei (2009), S. 787.

die Ergebnisse des Modells haben.¹⁹ Aus diesem Grund soll hier eine exponentiell fallende Funktion der Form

$$P(p) = \alpha \exp(-\beta p) \quad (4)$$

verwendet werden. Im Vergleich zur linearen Funktion weist diese Funktion bei niedrigen Preisen eine sehr hohe Nachfrage auf, während eine Preissteigerung bei sehr hohem Preisniveau nur noch zu einem geringen Rückgang der Nachfrage führt. Der positive Parameter α hat dabei lediglich Einfluss auf die Höhe der Preisnachfrage, während mit Hilfe des ebenfalls positiven Parameters β der Verlauf der Funktion angepasst werden kann. Sehr kleine Werte führen dabei zu einer nahezu linearen Preis-Absatz-Funktion, wohingegen steigende Werte zu einer zunehmenden Konvexität der Kurve führen.

Mit der Werbewirkungsfunktion $W(w_L, w_G)$ wird die durch Werbung ausgelöste Nachfrage ermittelt. Um veränderte Ergebnisse auch eindeutig auf die Variation der Preis-Absatz-Funktion zurückführen zu können, wird hier wie von Xie/Wei vorgeschlagen eine degressiv steigende Werbewirkungsfunktion angenommen:²⁰

$$W(w_L, w_G) = \gamma \sqrt{w_L} + \delta \sqrt{w_G} . \quad (5)$$

Dieser Verlauf mit abnehmendem Grenzabsatz bei steigenden Werbeinvestitionen konnte auch empirisch nachgewiesen werden.²¹ Die beiden Parameter γ und δ lassen dabei Aussagen über die Effektivität der Werbeaufwendungen der jeweiligen Stufe zu.

Abschließend ist noch zu klären, wie die beiden Komponenten $P(p)$ und $W(w_L, w_G)$ zur Gesamtnachfrage $N(p, w_L, w_G)$ zusammengesetzt werden. Wiederum in Anlehnung an Xie/Wei sei hier eine multiplikative Verknüpfung angenommen.²² Dies hat zur Folge, dass sowohl P als auch W größer null sein müssen, um zu einer positiven Gesamtnachfrage zu führen. Im Fall einer additiven Verknüpfung könnte trotz einer Preisnachfrage von null (wie sie beispielsweise für einen sehr hohen Preis entstehen würde) noch Nachfrage durch Werbeinvestitionen generiert werden, was in der Praxis nur schwer vorstellbar scheint. Aus (4) und (5) kann somit die Gesamtnachfragefunktion N aufgestellt werden (siehe Abb. 2 für eine Darstellung der Teilfunktionen):

$$N(p, w_L, w_G) = \alpha \exp(-\beta p) (\gamma \sqrt{w_L} + \delta \sqrt{w_G}) . \quad (6)$$

¹⁹ Vgl. Choi (1991) und Lau/Lau (2005).

²⁰ Vgl. Xie/Wei (2009), S. 787.

²¹ Vgl. Hruschka (2007), S. 531.

²² Vgl. Xie/Wei (2009), S. 787.

Wird dieser Ausdruck in die Gewinnfunktionen (1) – (3) eingesetzt, folgt:

$$G_M = \alpha e \exp(-\beta p) (\gamma \sqrt{w_L} + \delta \sqrt{w_G}) - r w_L - w_G, \quad (7)$$

$$G_R = \alpha (p - e) \exp(-\beta p) (\gamma \sqrt{w_L} + \delta \sqrt{w_G}) - (1 - r) w_L, \quad (8)$$

$$G_{SC} = \alpha p \exp(-\beta p) (\gamma \sqrt{w_L} + \delta \sqrt{w_G}) - w_L - w_G. \quad (9)$$

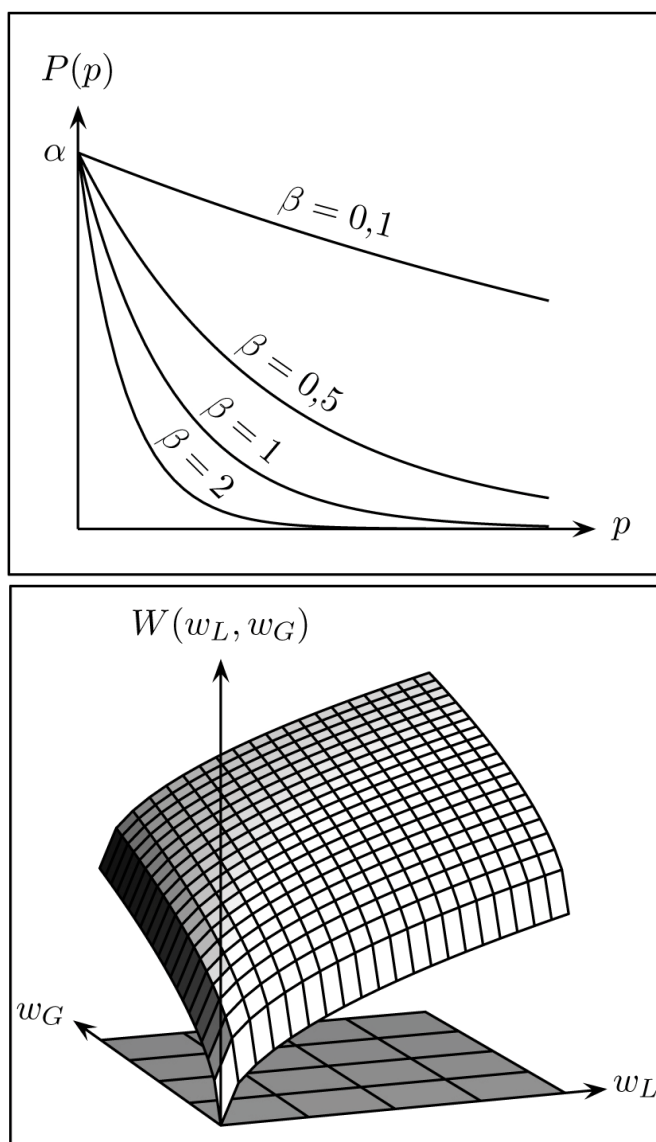


Abb. 2: Darstellung der Teilfunktionen $P(p)$ und $W(w_L, w_G)$

Abschließend müssen noch verschiedene Einschränkungen des Definitionsbereichs der verwendeten Variablen und Parameter vorgenommen werden:

- $\alpha, \beta, \gamma, \delta > 0$,
- $0 < e < p$,
- $w_L, w_G > 0$,
- $0 \leq r < 1$.

Dabei sei insbesondere darauf hingewiesen, dass der Einkaufspreis e des Herstellers stets kleiner sein muss als der Händlerpreis p , da sich sonst ein negativer bzw. kein Gewinn für den Händler einstellen würde. Der Anteil des Herstellers an den lokalen Werbeaufwendungen des Händlers liegt zwischen null und eins, wobei der Hersteller zwar komplett auf ein Cooperative-Advertising-Programm verzichten, nicht aber die vollständigen lokalen Werbeaufwendungen übernehmen kann.²³

3 Herleitung des Stackelberg-Hersteller-Gleichgewichts

Im weiteren Verlauf wird eine asymmetrische Machtverteilung zwischen den Stufen der Supply Chain unterstellt. Der in der Literatur weit verbreiteten Annahme folgend, übernimmt der Hersteller hier die Rolle des Marketingführers und dominiert seinen Händler.²⁴ Aus spieltheoretischer Sicht entspricht diese Situation einem bilateralem Monopol, wobei der zugrunde gelegten Machtverteilung durch ein Stackelberg-Gleichgewicht Rechnung getragen werden kann. Der Stackelberg-Anführer, in diesem Fall der Hersteller, trifft in einem ersten Schritt seine Entscheidung, wobei er die Reaktion des Stackelberg-Folgers, hier repräsentiert durch den Händler, kennt und berücksichtigt. Im zweiten Schritt versucht der Folger, die unter den gegebenen Bedingungen besten Ergebnisse zu erzielen.

Die mathematische Berechnung dieses Stackelberg-Gleichgewichts erfolgt über Rückwärtsinduktion: Zunächst wird das Entscheidungsproblem des Händlers gelöst, um dessen Reaktionsfunktionen in Abhängigkeit der Hersteller-Variablen zu bestimmen. Diese Reaktionsfunktionen gehen dann als Nebenbedingungen in das Optimierungsproblem des Herstellers ein, welches im Anschluss zu lösen ist.

Das Entscheidungsproblem des Händlers kann wie folgt formuliert werden:

$$\text{Max} \quad G_R(p, w_L) = \alpha(p - e) \exp(-\beta p) (\gamma \sqrt{w_L} + \delta \sqrt{w_G}) - (1 - r) w_L \quad (10)$$

$$\text{u. d. N.:} \quad p, w_L > 0.$$

Die Zielgröße ist der Gewinn des Händlers, der durch die richtige Wahl der Entscheidungsvariablen Preis p und lokale Werbeaufwendungen w_L zu maximieren ist. Da die Herstellervariablen e , w_G und r zu diesem Zeitpunkt noch nicht festgelegt sind, gehen nur die generellen Definitionsbereiche von p und w_L als Nebenbedingungen ein.

Die Reaktionsfunktion für Preis p kann über die partielle Ableitung $\partial G_R(p, w_L) / \partial p$ bestimmt werden, welche gleich null zu setzen ist:

$$\frac{\partial G_R}{\partial p} = (\gamma \sqrt{w_L} + \delta \sqrt{w_G}) [\alpha \exp(-\beta p) - \alpha \beta (p - e) \exp(-\beta p)] \stackrel{!}{=} 0. \quad (11)$$

²³ Letztere Annahme wurde eingeführt, um in den weiteren Berechnungen eine Division durch null zu vermeiden.

²⁴ Vgl. u. a. Huang/Li (2001), Huang/Li (2005), Xie/Wei (2009) und Yan (2010).

Diese Optimalitätsbedingung kann umgeformt werden zu

$$p = \frac{1}{\beta} + e. \tag{12}$$

Interessant ist der hier erkennbare Zusammenhang zwischen dem Einkaufspreis e und dem Händlerpreis p : Unabhängig vom Preisniveau wählt der Händler einen festen Preiszuschlag in Höhe von $(1/\beta)$, welcher durch Abwesenheit weiterer berücksichtigter Kosten auch als Stückdeckungsbeitrag des Händlers bezeichnet werden kann.

Analog dazu kann die partielle Ableitung $\partial G_R(p, w_L)/\partial w_L$ gebildet und gleich null gesetzt werden:

$$\frac{\partial G_R}{\partial w_L} = \frac{\alpha\gamma(p-e)\exp(-\beta p)}{2\sqrt{w_L}} - (1-r) = 0. \tag{13}$$

Aufgelöst nach den lokalen Werbeaufwendungen w_L folgt:

$$w_L = \frac{\alpha^2\gamma^2(p-e)^2\exp(-2\beta p)}{4(1-r)^2}. \tag{14}$$

Durch Einsetzen von Gleichung (12) kann außerdem der Preis p aus (14) eliminiert werden, so dass auch die Reaktionsfunktion für w_L nur noch von den Variablen des Herstellers abhängt:

$$w_L = \frac{\alpha^2\gamma^2\exp(-2\beta e - 2)}{4\beta^2(1-r)^2}. \tag{15}$$

Die Gleichungen (12) und (15) gehen nun als Nebenbedingungen in das Optimierungsproblem des Stackelberg-Anführers ein:

$$\text{Max} \quad G_M(e, w_G, r) = e\alpha\exp(-\beta p)\left(\gamma\sqrt{w_L} + \delta\sqrt{w_G}\right) - rw_L - w_G$$

$$\text{u. d. N.:} \quad p = \frac{1}{\beta} + e \tag{16}$$

$$w_L = \frac{\alpha^2\gamma^2\exp(-2\beta e - 2)}{4\beta^2(1-r)^2}$$

$$e, w_G > 0, \quad 0 \leq r < 1.$$

Bevor wie oben die partiellen Ableitungen nach den Entscheidungsvariablen des Herstellers gebildet werden können, sind zunächst die Reaktionsfunktionen in die Gewinnfunktion des Herstellers einzusetzen. Dies ergibt:

$$G_M = \frac{\alpha^2\gamma^2 e \exp(-2\beta e - 2)}{2\beta(1-r)} + \alpha\delta e \exp(-\beta e - 1)\sqrt{w_G} - \frac{\alpha^2\gamma^2 \exp(-2\beta e - 2)r}{4\beta^2(1-r)^2} - w_G. \tag{17}$$

Ausgehend von dieser Gewinnfunktion, die nur noch von Variablen des Herstellers abhängt, sind nun die partiellen Ableitungen zu bilden:

$$\frac{\partial G_M}{\partial w_G} = \frac{\alpha \delta e \exp(-\beta e - 1)}{2\sqrt{w_G}} - 1 \stackrel{!}{=} 0, \quad (18)$$

$$\frac{\partial G_M}{\partial r} = \frac{\alpha^2 \gamma^2 e \exp(-2\beta e - 2)}{2\beta(1-r)^2} - \frac{\alpha^2 \gamma^2 \exp(-2\beta e - 2)(1+r)}{4\beta^2(1-r)^3} \stackrel{!}{=} 0, \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial G_M}{\partial e} &= \frac{\alpha^2 \gamma^2}{2\beta(1-r)} \left[\exp(-2\beta e - 2) - 2\beta e \exp(-2\beta e - 2) \right] \\ &+ \alpha \delta \sqrt{w_G} \left[\exp(-\beta e - 1) - \beta e \exp(-\beta e - 1) \right] + \frac{\alpha^2 \gamma^2 r \exp(-2\beta e - 2)}{2\beta(1-r)^2} \stackrel{!}{=} 0. \end{aligned} \quad (20)$$

Aus Gleichung (18) können die optimalen globalen Werbeaufwendungen in Abhängigkeit vom Einkaufspreis e bestimmt werden:

$$w_G = \frac{1}{4} \alpha^2 \delta^2 e^2 \exp(-2\beta e - 2). \quad (21)$$

Wird die Optimalitätsbedingung (19) nach der Variablen r umgestellt, ergibt sich der Ausdruck

$$r = \frac{2\beta e - 1}{2\beta e + 1}. \quad (22)$$

Während der Nenner dieses Bruchs für alle zulässigen Werte von e positiv ist, kann der Zähler für $e < 1/2\beta$ auch negativ werden. Ein negativer Anteil des Herstellers an den lokalen Werbeaufwendungen ist jedoch gemäß des in Kapitel 2 eingeführten Definitionsbereichs nicht möglich. In diesem Fall ist $r = 0$ zu wählen:²⁵

$$r = \begin{cases} 0 & \text{für } e < 1/2\beta, \\ \frac{2\beta e - 1}{2\beta e + 1} & \text{für } e \geq 1/2\beta. \end{cases} \quad (23)$$

Abschließend ist die Optimalitätsbedingung für den Einkaufspreis e zu betrachten. Zunächst kann Gleichung (21) in (20) eingesetzt werden, um die Variable w_G zu eliminieren. Nach mathematischer Umformung ergibt sich

$$\gamma^2(1 - 2\beta e)(1 - r) + \beta \delta^2 e(1 - \beta e)(1 - r)^2 + \gamma^2 r = 0. \quad (24)$$

An dieser Stelle ist nun eine Fallunterscheidung gemäß Gleichung (23) nötig. Dabei kann gezeigt werden, dass es für $r = 0$ keine zulässige Lösung für den Einkaufspreis

²⁵ Vgl. auch Xie/Wei (2009), S. 790.

mit $e < 1/2\beta$ gibt. Für $r = (2\beta e - 1)/(2\beta e + 1)$ sind dagegen mit Hilfe der Lösungsformel für quadratische Gleichungen die folgenden zwei Lösungen ermittelbar:

$$e^{+/-} = \frac{\delta^2 \pm \sqrt{\gamma^4 + \gamma^2 \delta^2 + \delta^4}}{2\beta(\gamma^2 + \delta^2)}. \quad (25)$$

Aus (25) lässt sich erkennen, dass nur die Lösung e^+ zu einem positiven Einkaufspreis führen kann, da die Summe unter der Wurzel immer größer ist als δ^2 . Wird darüber hinaus noch der Werbeaufwendungsquotient φ mit $\varphi = \delta^2/\gamma^2$ eingeführt, um eine bessere Interpretierbarkeit zu ermöglichen, resultiert folgende Lösung für den optimalen Einkaufspreis des Herstellers:

$$e = \frac{\varphi + \sqrt{\varphi^2 + \varphi + 1}}{2\beta(\varphi + 1)}. \quad (26)$$

Aufgrund des komplexen Ausdrucks ist es nicht sinnvoll, diese Lösung für den Herstellerpreis in die Gleichungen (15), (21) und (22) einzusetzen, da die Ergebnisse zu unübersichtlich sind, um weitere Schlussfolgerungen zuzulassen. Da nun aber feststeht, dass Gleichung (22) die einzige zulässige Lösung für die Variable r darstellt, kann zumindest Gleichung (15) so umgeformt werden, dass sie nur noch von e abhängt:

$$w_L = \frac{\alpha^2 \gamma^2 (2\beta e + 1)^2 \exp(-2\beta e - 2)}{16\beta^2}. \quad (27)$$

4 Interpretation

4.1 Modell mit exponentieller Preis-Absatz-Funktion

In Kapitel 3 wurden die optimalen Werte für den Herstellerpreis e , den Preis p , die lokalen Werbeaufwendungen w_L des Händlers, die globalen Werbeaufwendungen w_G des Herstellers sowie die Beteiligung des Herstellers im Rahmen des Cooperative-Advertising-Programmes r für ein Stackelberg-Hersteller-Gleichgewicht auf analytischem Weg bestimmt. Da sämtliche Größen nur in Abhängigkeit des Herstellerpreises angegeben werden konnten, stellt eine genauere Betrachtung dieser Variable einen sinnvollen Ausgangspunkt für die weiteren Untersuchungen dar.

Wie aus Gleichung (26) ersichtlich, wird der Einkaufspreis durch den Parameter β sowie durch die Verhältniszahl $\varphi = \delta^2/\gamma^2$ bestimmt. Da β lediglich im Nenner des Bruches vorkommt, führt eine Erhöhung dieses Parameters zu einem niedrigeren Herstellerpreis, während eine Senkung einen Preisanstieg nach sich zieht. Ein Rückblick auf Gleichung (12) und Abbildung 2 kann dies leicht erklären: Gemäß der Formel für den Preis p geht der Herstellerpreis vollständig in den Preis des Händlers ein und wird um eine feste Marge $1/\beta$ erhöht. Die Darstellung der Preis-Absatz-Funktion zeigt dabei, dass bei einem kleinen Parameter β ein Preisanstieg zu einer geringeren Nach-

frageverringering führt, wohingegen eine Erhöhung des Wertes eine Steigerung der Preissensitivität der Endkunden bewirkt.²⁶

Da der Einfluss von φ auf den Herstellerpreis nicht ohne weiteres erkennbar ist, wird die Funktion $e(\varphi)$ in Abb. 3 für einen konstanten Parameter $\beta = 1$ dargestellt. Es stellt sich heraus, dass eine Erhöhung des Werbeaufwendungsquotienten zu einem höheren Herstellerpreis führt. Je größer die Effektivität der Herstellerwerbung im Vergleich zur Effektivität der Händlerwerbung ist, desto höher kann der Hersteller folglich seinen Preis festsetzen.

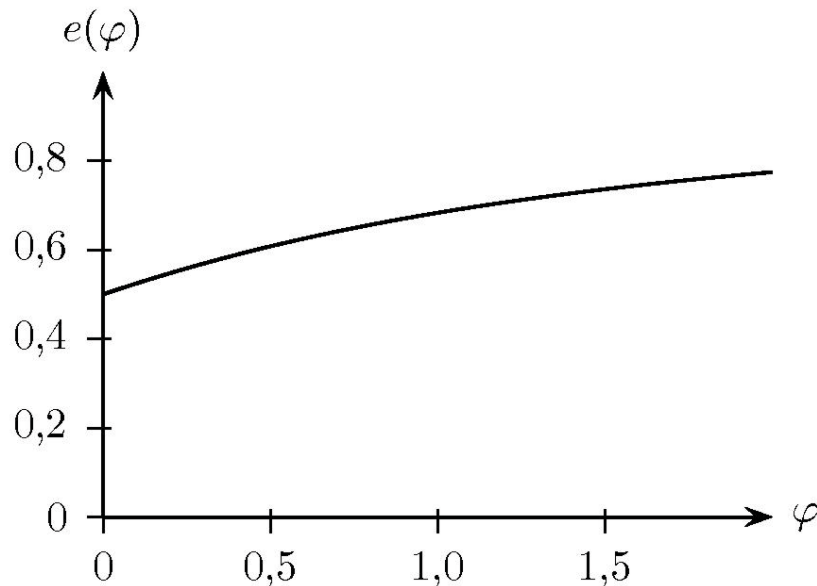


Abb. 3: Funktion $e(\varphi)$ für $\beta = 1$

Die weiteren Analysen werden nun anhand von Sensitivitätsanalysen für die vier Modellparameter α , β , γ und δ erfolgen. Den Beginn stellt dabei der Parameter α dar, während die restlichen Parameter willkürlich auf $\beta = 0,5$ und $\gamma = \delta = 1$ festgelegt werden. Die Ergebnisse sind in Tab. 1 aufgeführt.

Beispiel 1: $\beta = 0,5$ $\gamma = 1$ $\delta = 1$								
α	e	p	w_G	w_L	r	G_M	G_R	G_{SC}
1	1,37	3,37	0,02	0,05	0,15	0,06	0,09	0,15
2	1,37	3,37	0,06	0,19	0,15	0,26	0,35	0,61
5	1,37	3,37	0,40	1,21	0,15	1,61	2,20	3,81
10	1,37	3,37	1,61	4,83	0,15	6,44	8,80	15,24

Tab. 1: Sensitivitätsanalyse Parameter α

²⁶ Die letzte Aussage gilt selbstverständlich nur für mittleren Bereich der Preis-Absatz-Funktion und nicht für die Extrembereiche $p \rightarrow 0$ und $p \rightarrow \infty$. Es ist aber davon auszugehen, dass die hier ermittelten Preise auch nur in diesem mittleren Bereich liegen.

Wie aus den Ergebnissen zu erkennen ist, hat eine Veränderung des Parameters α keine Auswirkung auf die Preise e und p sowie auf den Cooperative-Advertising-Anteil r , was nicht weiter verwunderlich ist, da der Parameter in den entsprechenden Gleichungen nicht auftritt. Die Investitionen in globale und lokale Werbung steigen dagegen, wenn der Wert für α erhöht wird, was sich auch in höheren Gewinnen äußert. Allerdings bleibt das Verhältnis von w_G zu w_L und auch das Verhältnis von G_M zu G_R unverändert: Für jeden hier betrachteten α -Wert gilt $w_L > w_G$ sowie $G_R > G_M$. Insbesondere die letzte Ungleichung überrascht, da in dieser Untersuchung ja ein dominanter Hersteller angenommen wurde. Es bleibt abzuwarten, ob der Stackelberg-Anführer in anderen Parameterkombinationen im Stande ist, seine Marketingmacht auszunutzen.

Beispiel 2: $\alpha = 5$ $\gamma = 1$ $\delta = 1$								
β	e	p	w_G	w_L	r	G_M	G_R	G_{SC}
0,1	6,38	16,83	10,07	30,20	0,15	40,27	55,01	95,27
0,5	1,37	3,37	0,40	1,21	0,15	1,61	2,20	3,81
1	0,68	1,68	0,10	0,30	0,15	0,40	0,55	0,95
2	0,34	0,84	0,03	0,08	0,15	0,10	0,14	0,24

 Tab. 2: Sensitivitätsanalyse Parameter β

Für das zweite Beispiel wird der Parameter α auf den Wert fünf gesetzt, während γ und δ weiterhin den Wert eins behalten. Die Steigerung des Parameters β , der ja maßgeblich für die Form der Preis-Absatz-Funktion verantwortlich ist, führt – abgesehen von der konstant bleibenden Werbekostenbeteiligung r – zu einer Reduzierung aller Variablen und Gewinne. Auch hier investiert der Händler stets mehr in Werbung als der Hersteller und kann erneut den größeren Anteil des Gesamtgewinns G_{SC} für sich verbuchen. Da auch hier die Quotienten w_G/w_L und G_M/G_R für alle Variationen von β konstante Werte annehmen, kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass die Parameter der Preis-Absatz-Funktion lediglich die Höhe der Variablen beeinflussen, nicht aber die Aufteilung der Werbeinvestitionen oder Gewinne innerhalb der Supply Chain.

Beispiel 3: $\alpha = 5$ $\beta = 1$ $\delta = 1$								
γ	e	p	w_G	w_L	r	G_M	G_R	G_{SC}
0,1	1,99	3,99	0,46	0,01	0,33	0,47	0,93	1,40
0,5	1,72	3,72	0,45	0,28	0,26	0,73	1,25	1,98
2	1,12	3,12	0,35	4,96	0,06	5,31	5,93	11,23
5	1,02	3,02	0,32	31,11	0,01	31,43	32,05	63,48

 Tab. 3: Sensitivitätsanalyse Parameter γ

Beispiel 3 in Tab. 3 zeigt nun eine Variation der Effektivität der lokalen Werbeaufwendungen γ . Eine Erhöhung dieses Parameters bei konstantem δ ergibt einen kleineren Werbeaufwendungsquotienten φ , was, wie bereits aus Abb. 3 erkennbar, in einem sinkenden Herstellerpreis e resultiert. Da die Marge des Händlers nur von dem Parameter β abhängt und somit in diesem Beispiel konstant ist, reduziert sich der Händlerpreis um den gleichen Betrag. Interessanter ist hier der Blick auf die Werbeaufwendungen: Investiert der Hersteller für $\gamma = 0,1$ und $\gamma = 0,5$ noch mehr in Werbung als der Händler, so ergibt sich für $\gamma = 2$ und $\gamma = 5$ die umgekehrte Situation.²⁷ Auch sinkt die Bereitschaft des Herstellers, sich an den Werbekosten des Händlers zu beteiligen, wenn die Effektivität der Händlerwerbung größer wird. Trotz alledem kann der Hersteller auch hier keinen Vorteil aus seiner Stellung als Marketingführer und nur ein Drittel (für $\gamma = 0,1$) bzw. die Hälfte (für $\gamma = 5$) des Gesamtgewinns erzielen.

Beispiel 4: $\alpha = 5$ $\beta = 1$ $\gamma = 1$								
δ	e	p	w_G	w_L	r	G_M	G_R	G_{SC}
0,1	1,00	3,00	0,00	1,24	0,00	1,25	1,25	2,50
0,5	1,12	3,12	0,09	1,24	0,06	1,33	1,48	2,81
2	1,72	3,72	1,79	1,12	0,26	2,91	5,00	7,91
5	1,94	3,94	11,44	1,05	0,32	12,49	24,26	36,75

Tab. 4: Sensitivitätsanalyse Parameter δ

Bei der Sensitivitätsanalyse für δ aus Tab. 4 ist eine Veränderung der Variablen zu beobachten, die entgegengesetzt zu der durch die Erhöhung von γ hervorgerufenen verläuft. So wird hier beispielsweise ein maximaler Herstellerpreis für $\delta = 5$ erzielt, wohingegen der minimale Wert von γ in Beispiel 3 den höchsten Preis lieferte. Ähnliches gilt auch für die Werbeaufwendungen w_G und w_L sowie für den Herstelleranteil r . Dies lässt darauf schließen, dass nicht die absolute Effektivität der lokalen bzw. globalen Werbung ausschlaggebend ist, sondern vielmehr das Verhältnis zwischen diesen beiden Größen, welches durch den Werbeaufwendungsquotienten φ ausgedrückt werden kann. Maximale Gewinne werden jedoch auch hier für die größtmögliche Werbeeffektivität erzielt. Bezüglich der Aufteilung des Gesamtgewinns zwischen den Beteiligten kann der Hersteller maximal 50% (für $\delta = 0,1$) erzielen, während sich für $\delta = 5$ ein Anteil von 34% ergibt.

Die vier Sensitivitätsanalysen haben ergeben, dass die Parameter der Preis-Absatz-Funktion lediglich die Höhe der Ergebnisse, nicht aber deren Struktur verändern. Dies geschieht ausschließlich durch die Parameter der Werbewirkungsfunktion, wobei hier nicht die Werte selbst, sondern eher das durch den Werbeaufwendungsquotienten ausgedrückte Verhältnis zwischen γ und δ relevant ist. Der Cooperative-Advertising-Anteil des Herstellers liegt dabei stets zwischen 0% und 33% der lokalen Werbeauf-

²⁷ Genauere Berechnungen haben ergeben, dass $w_G = w_L$ im obigen Beispiel für $\gamma = 0,618$ eintritt.

wendungen. Darüber hinaus kann keine Parameterkombination identifiziert werden, in der der Hersteller seine Marketingmacht so nutzen kann, dass er eine höhere Marge erzielt als sein Händler. Gleichmaßen fällt auch der Gewinn des Herstellers in allen Beispielen stets kleiner oder gleich dem Händlergewinn aus. Diese letzten Aspekte sollen nun noch einmal mit Hilfe einer grafischen Darstellung untersucht werden.

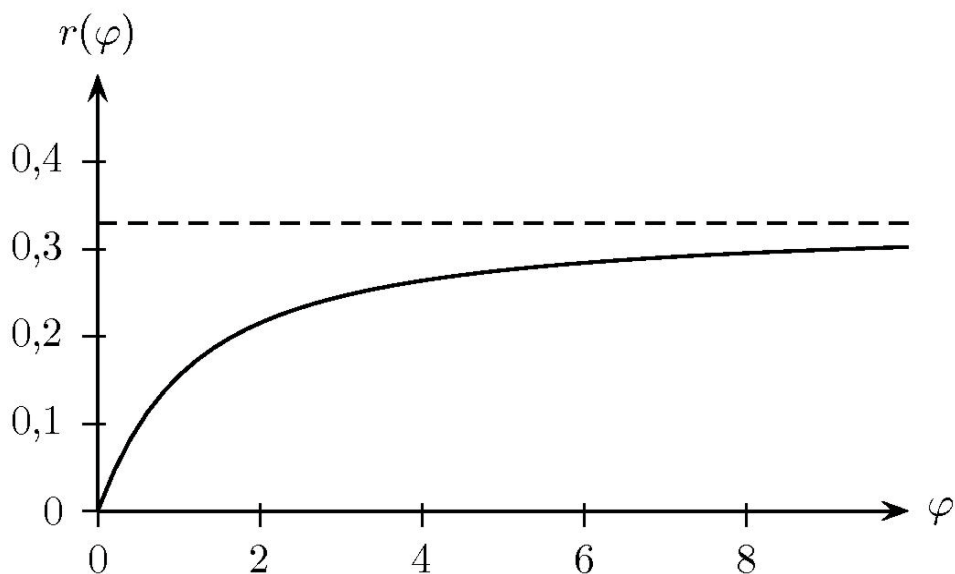


Abb. 4: Funktion $r(\varphi)$ für $\alpha = 5$, $\beta = 0,5$ und $\gamma = 2$

Der Verlauf der Funktion in Abb. 4 belegt den obigen Wertebereich für die Herstellerbeteiligung zwischen 0% (für $\varphi = 0$) und 33% (für $\varphi \rightarrow \infty$). Je größer die Effektivität der Herstellerwerbung im Vergleich zur Effektivität der Händlerwerbung ist, desto eher zeigt der Hersteller Bereitschaft, sich an den Kosten des Händlers zu beteiligen.

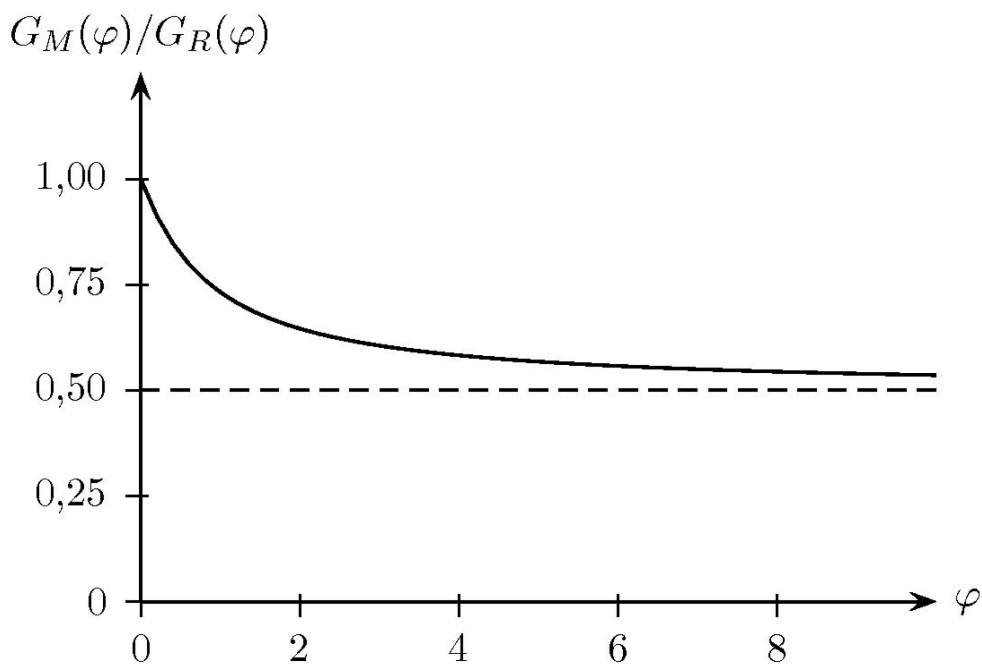


Abb. 5: Verhältnis $G_M(\varphi)/G_R(\varphi)$

Abb. 5 zeigt das Verhältnis zwischen Herstellergewinn und Händlergewinn in Abhängigkeit vom Werbeaufwendungsquotienten φ für definierte Parameter α , β und γ . Es ist gut zu erkennen, dass der maximale Wert eins bei $\varphi = 0$ erreicht wird und sich die Funktion dann für steigende φ der Asymptote $G_M(\varphi)/G_R(\varphi) = 0,5$ nähert. Umgerechnet auf den Anteil des Herstellers am Gesamtgewinn kann so der obige Wertebereich zwischen 33% und 50% bestätigt werden. Die Tatsache, dass sich die Gewinnverteilung zugunsten des Händlers verschiebt, wenn die Effektivität der Herstellerwerbung steigt, mag verwundern. Ein Blick auf Tab. 4 zeigt jedoch, dass in diesem Fall auch die globalen Werbeaufwendungen sehr stark ansteigen, so dass der Hersteller hier deutlich höhere Kosten im Vergleich zum Händler hat. Da sich jedoch höhere Werbeaufwendungen des Herstellers in gleichem Maße auch positiv für den Händler auswirken (siehe Gleichung (5)), kann dieser von der höheren Nachfrage profitieren ohne selbst die Kosten dafür tragen zu müssen.

4.2 Vergleich zu Modell mit linearer Preis-Absatz-Funktion

Aufbauend auf den Ergebnissen des vorhergehenden Abschnitts werden abschließend die Parallelen bzw. Unterschiede zwischen dem hier vorgestellten Modell und dem Modell von Xie/Wei mit linearer Preis-Absatz-Funktion erörtert.²⁸ Wie eingangs in Kapitel 2 angedeutet, werden im ursprünglichen Modell die folgenden Gewinnfunktionen für Hersteller und Händler verwendet:²⁹

$$G_M = e(1 - \bar{\beta}p)(\gamma\sqrt{w_L} + \delta\sqrt{w_G}) - rw_L - w_G, \quad (28)$$

$$G_R = (p - e)(1 - \bar{\beta}p)(\gamma\sqrt{w_L} + \delta\sqrt{w_G}) - (1 - r)w_L. \quad (29)$$

Die zugehörigen Lösungen für das Stackelberg-Hersteller-Gleichgewicht können Tab. 5 entnommen werden. Bereits auf den ersten Blick lässt sich eine strukturelle Ähnlichkeit zu den Ergebnissen aus Kapitel 3 zu erkennen. Daher ist es nicht verwunderlich, dass sowohl Einkaufspreis e als auch Herstelleranteil r in diesem Modell ebenfalls mit wachsendem Werbeaufwendungsquotienten φ steigen. Ebenso gilt auch hier, dass der Hersteller im Falle einer hohen Effektivität der globalen Werbung δ dazu neigt, seine Webeinvestitionen zu steigern, während er diese Ausgaben bei hoher Effektivität der lokalen Werbung reduzieren wird. Ein analoger Zusammenhang existiert auch für den Händler, nur das hier $\partial w_L / \partial \gamma > 0$ und $\partial w_L / \partial \delta < 0$ gilt.³⁰

²⁸ Ein direkter Vergleich anhand eines Zahlenbeispiels erscheint aufgrund der unterschiedlichen Preis-Absatz-Funktionen und der daraus resultierenden abweichenden Nachfragemenge nicht sinnvoll. Daher wird ausschließlich die Struktur der Ergebnisse gegenübergestellt.

²⁹ Vgl. Xie/Wei (2009), S. 787. Die Notation wurde an den vorliegenden Beitrag angepasst. Dabei ist zu beachten, dass der Preissensitivitätskoeffizient $\bar{\beta}$ hier eine andere Bedeutung hat als der bislang verwendete Parameter β und deshalb mit einem Strich versehen wurde, um Verwechslungen zu vermeiden. Bei den restlichen Parametern/Variablen kann diese Kennzeichnung entfallen.

³⁰ Vgl. ebd.

Herstellervariablen	Händlervariablen
$e = \frac{4\varphi + \sqrt{16\varphi^2 + 16\varphi + 9}}{\bar{\beta}(9 + 16\varphi)}$	$p = \frac{1 + \bar{\beta}e}{2\bar{\beta}}$
$w_G = \frac{\delta^2 [e(1 - \bar{\beta}e)]^2}{16}$	$w_L = \frac{\gamma^2 [(3\bar{\beta}e + 1)(1 - \bar{\beta}e)]^2}{256\bar{\beta}^2}$
$r = \frac{5\bar{\beta}e - 1}{3\bar{\beta}e + 1}$	

Tab. 5: Ergebnisse nach Xie/Wei (2009), S. 788 (in angepasster Notation)

Interessant scheint aber vor allem die Frage, wie sich die Bereitschaft des Herstellers zur finanziellen Beteiligung an der Händlerwerbung sowie die Gewinnverteilung zwischen Hersteller und Händler bei linearer Preis-Absatz-Funktion verhalten. Die Untersuchungen von Xie/Wei ergeben einen Wertebereich für die Cooperative-Advertising-Rate von $0,33 < r < 0,6$, wobei der genaue Wert auch hier nur vom Werbeaufwendungsquotienten φ abhängt.³¹ Verglichen mit dem oben ermittelten Wertebereich ist daher bei linearer Preis-Absatz-Funktion eine deutlich höhere Bereitschaft zur Beteiligung erkennbar.

Das Verhältnis zwischen den Preisen, den Werbeaufwendungen und Gewinnen von Hersteller und Händler wird auch bei diesem Typ Nachfragefunktion nur durch die Parameter der Werbewirkungsfunktion bestimmt.³² Daher soll zunächst eine grafische Darstellung der Funktion $(p(\varphi) - e(\varphi)) / e(\varphi)$ Aufschluss über die Margen der Beteiligten geben. Diese Funktion stellt ein Verhältnis zwischen dem Stückdeckungsbeitrag des Händlers $(p(\varphi) - e(\varphi))$ und dem des Herstellers $(e(\varphi))$ her.

Wie aus Abb. 6 ersichtlich, erzielt der Händler für $\varphi \rightarrow 0$ (d.h. für $\gamma \gg \delta$) eine ebenso hohe Marge wie der Hersteller. Für steigende Werte des Werbeaufwendungsquotienten verändert sich dieses Verhältnis jedoch zu Gunsten des Herstellers, so dass die Marge des Händlers für $\varphi \rightarrow \infty$ nur noch die Hälfte von der des Herstellers beträgt. Hier ist ein weiterer Unterschied zum Modell mit exponentieller Preis-Absatz-Funktion zu erkennen, in dem der Händler stets den höheren Stückdeckungsbeitrag bekommt.

³¹ Vgl. ebd.

³² In der Veröffentlichung von Xie/Wei (2009) findet sich keine Betrachtung der Margen sowie der Gewinnverteilung zwischen Hersteller und Händler. Die folgenden Ausführungen beruhen daher auf eigenen Analysen.

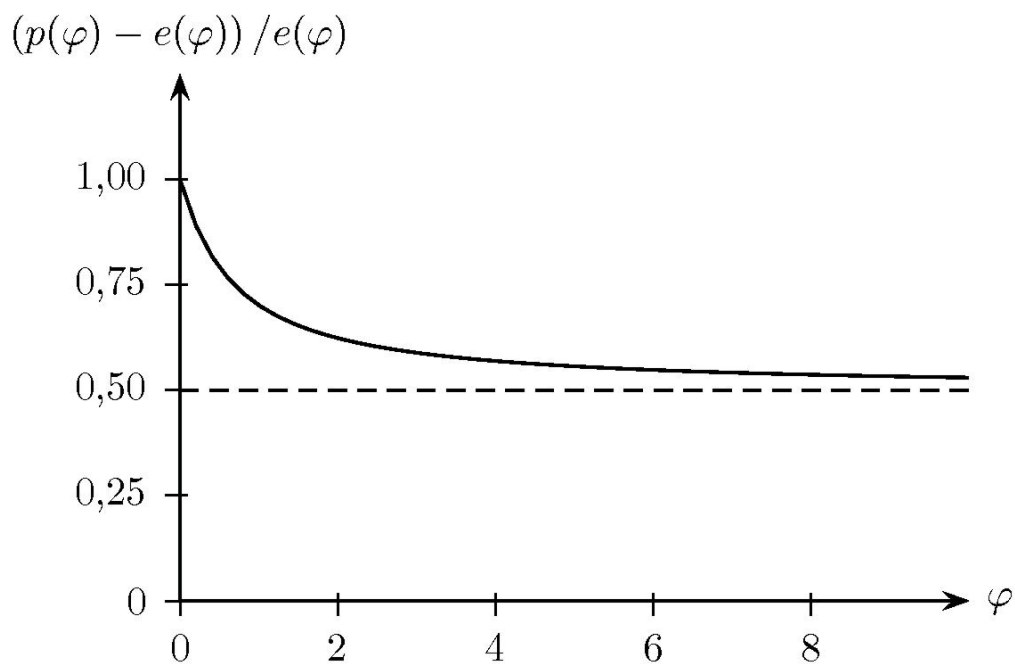


Abb. 6: Verhältnis von Händler- zu Herstellermarge in Abhängigkeit von φ

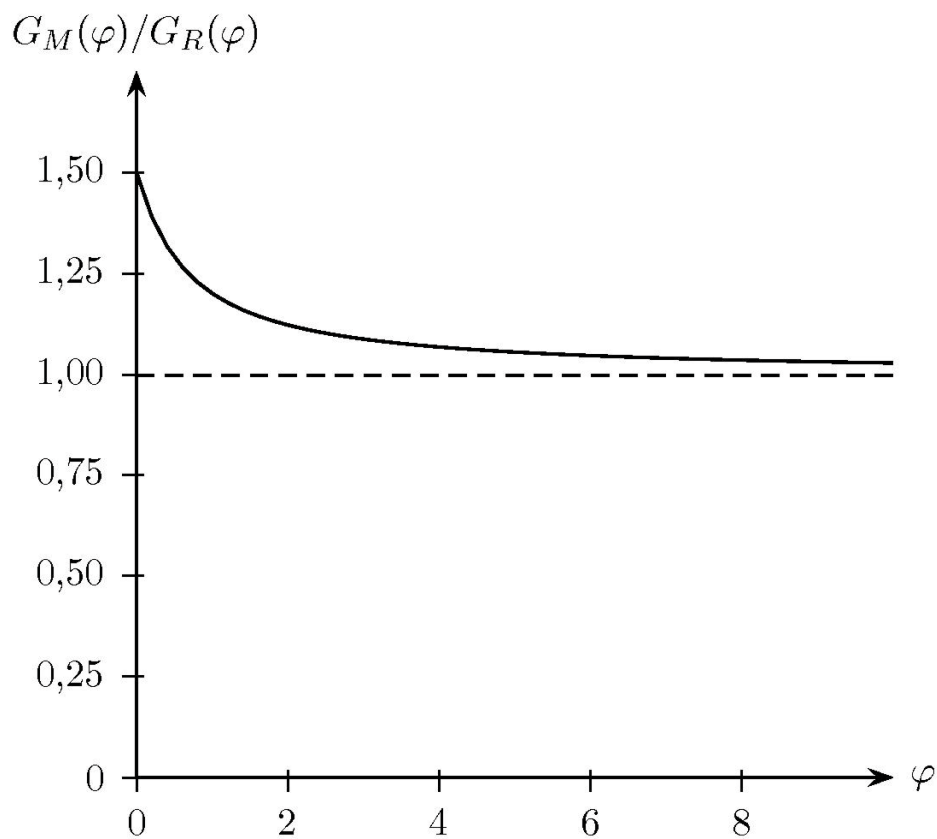


Abb. 7: Verhältnis $G_M(\varphi) / G_R(\varphi)$

Den Abschluss dieses Vergleichs bildet Abb. 7, in der das Verhältnis zwischen Hersteller- und Händlergewinn in Abhängigkeit von φ dargestellt ist. Es ist gut erkennbar, dass diese Kurve wie ihr Pendant aus Abschnitt 4.1 (siehe Abb. 4) einen fallenden Verlauf aufweist. Jedoch liegt der Wertebereich hier zwischen $G_M(\varphi)/G_R(\varphi)=1$ (für $\varphi \rightarrow \infty$) und $G_M(\varphi)/G_R(\varphi)=1,5$ (für $\varphi \rightarrow 0$), d.h. der Herstellergewinn ist stets größer als der des Händlers. Bei linearer Preis-Absatz-Funktion kann der Hersteller also im Gegensatz zur exponentiellen Funktion seine Marketingführerschaft in einen höheren Anteil am Gesamtgewinn umsetzen, der je nach vorliegenden Parametern zwischen 50% und 60% beträgt.

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

In diesem Beitrag wurde ein von Xie/Wie (2009) vorgestelltes Modell aufgegriffen, das die Preis- und Werbeentscheidungen einer Supply Chain bestehend aus einem Hersteller und einem Händler sowie deren Zusammenarbeit im Bereich Werbung im Rahmen eines Cooperative-Advertising-Programmes untersucht. Die dort verwendete lineare Preis-Absatz-Funktion wurde durch eine exponentielle Funktion ersetzt, deren Verlauf mit Hilfe eines Parameters genauer an die tatsächliche Nachfrage angepasst werden kann. Unter der Annahme, dass der Hersteller die Marketingführerschaft dieses Absatzkanals innehat, erfolgte die formale Berechnung der optimalen Werte für Preise, Werbeinvestitionen und Cooperative-Advertising-Anteil mithilfe eines Stackelberg-Spiels. Diese Ergebnisse wurden im Anschluss auf Basis numerischer Beispiele erörtert und schließlich mit den Resultaten des ursprünglichen Artikels verglichen.

Die wichtigsten Erkenntnisse lauten wie folgt: (1) Die Wahl der Parameter der Preis-Absatz-Funktion beeinflusst lediglich die Höhe der Preise, Werbeaufwendungen und Gewinne, wohingegen die Effektivitätsparameter der Werbewirkungsfunktion für die Aufteilung der Gewinne innerhalb der Supply Chain verantwortlich sind. Dennoch führt die Tatsache, dass eine exponentielle Preis-Absatz-Funktion zugrunde gelegt wird, unabhängig von ihrer exakten Gestalt zu einer Ergebnisstruktur, die sich von dem auf einer linearen Funktion basierenden Modell unterscheidet. (2) Die optimale Beteiligung des Herstellers an den Werbekosten des Händlers im Rahmen des Cooperative Advertising-Programmes sollte bei einer exponentiellen Preis-Absatz-Funktion niedriger ausfallen als bei einer linearen. Im Detail konnte hier ein Wertebereich von 0% bis 33% ermittelt werden, während die Beteiligung bei linearer Preisnachfrage zwischen 33% und 60% liegen sollte. Dies unterstreicht die Notwendigkeit, die exakte Rate situationsbedingt anzupassen, anstelle wie in der Praxis üblich Beteiligungen von 50% bzw. 100% festzulegen. (3) Interessanterweise kann der Hersteller in diesem Modell nicht wie zu erwarten wäre von seiner Marketingführerschaft, welche hier durch ein Stackelberg-Spiel abgebildet wurde, profitieren. Vielmehr erzielt der Händler sowohl einen höheren Stückdeckungsbeitrag als auch einen höheren Anteil am Gesamtgewinn.

Insbesondere Ergebnis (3) stellt einen Ausgangspunkt für weitergehende, formale wie auch empirische Forschung dar. Dabei ist vor allem die Frage zu beantworten, warum die Marketingmacht im Falle einer linearen Preis-Absatz-Funktion zu einem höheren Gewinnanteil für den Hersteller führt, im Falle einer exponentiellen Nachfrage jedoch der Händler begünstigt wird. Des Weiteren erscheint es angebracht, auch die anderen von Lau/Lau (2003) angeführten Preisabsatzfunktionen (iso-elastisch, algebraisch) in gleicher Weise auf dieses Modell anzuwenden um so weitere Erkenntnisse über die optimale Ausgestaltung eines Cooperative-Advertising-Programmes sowie die resultierenden Gewinne zu erhalten.

6 Literaturverzeichnis

- Barth, K.; Hartmann, M.; Schröder, H. (2007): Betriebswirtschaftslehre des Handels, 6. Auflage, Wiesbaden.
- Bergen, M.; John, G. (1997): Understanding cooperative advertising participation rates in conventional channels, in: *Journal of Marketing Research* 34(3), S. 357-369.
- Berger, P. (1972): Vertical cooperative advertising ventures, in: *Journal of Marketing Research* 9(3), S. 309-312.
- Choi, S. C. (1991): Price competition in a channel structure with a common retailer, in: *Marketing Science* 10(4), S. 271-296.
- Dutta, S.; Bergen, M.; John, G.; Rao, A (1995): Variations in the contractual terms of cooperative advertising contracts: An empirical investigation, in: *Marketing Letters* 6(1), S. 15-22.
- Green, J. (2000): Still pulling the strings, but locally, too, in: *Brandweek* 41(16), S. 34-42.
- Hruschka, H. (2007): Wirksamkeit der Marketinginstrumente, in: Albers, S.; Hermann, A. (Hrsg.): *Handbuch Produktmanagement*, 3. Auflage, Wiesbaden.
- Huang, Z., Li, S. X. (2001): Co-op advertising models in manufacturer-retailer supply chains: A game theory approach, in: *European Journal of Operational Research* 135(3), S. 527-544.
- Huang, Z., Li, S. X. (2005): Coordination and cooperation in manufacturer-retailer supply chains, in: Shi, Y.; Xu, W.; Chen, Z. (Hrsg.): *Data Mining and Knowledge Management*, Berlin et al.
- Jauschowitz, D. (1995): *Marketing im Lebensmitteleinzelhandel: Industrie und Handel zwischen Kooperation und Konfrontation*, Wien.
- Jørgensen, S.; Zaccour, G. (1999): Equilibrium pricing and advertising strategies in a marketing channel, in: *Journal of Optimization Theory and Applications* 102(1), S. 111-125.
- Jørgensen, S.; Sigué, S. P.; Zaccour, G. (2001): Stackelberg leadership in a marketing channel, in: *International Game Theory Review* 3(1), S. 13-26.
- Jørgensen, S.; Taboubi, S.; Zaccour, G. (2003): Retail promotions with negative brand image effects: Is cooperation possible?, in: *European Journal of Operational Research* 150(2), S.395-405.
- Jørgensen, S.; Zaccour, G. (2003): A differential game of retailer promotions, in: *Automatica* 39(7). S. 1145-1155.
- Karray, S.; Zaccour, G. (2006): Could co-op advertising be a manufacturer's counterstrategy to store brands?, in: *Journal of Business Research* 59(9), S. 1008-1015.
- Karray, S.; Zaccour, G. (2007): Effectiveness of coop advertising programs in competitive distribution channels, in: *International Game Theory Review* 9(2), S. 151-167.
- Kim, S. Y.; Staelin, R. (1999): Manufacturer allowances and retailer pass-through rates in a competitive environment, in: *Marketing Science* 18(1), S. 59-76.
- Lau, A. H. L.; Lau H.-S. (2003): Effects of a demand-curve's shape on the optimal solutions of a multi-echelon inventory/pricing model, in: *European Journal of Operational Research* 147(3), S. 530-548.

- Li, S. X.; Huang, Z.; Zhu, J.; Chau, P. Y. K. (2002): Cooperative advertising, game theory and manufacturer-retailer supply chains, in: *Omega* 30(5), S. 347-357.
- Nagler, M. (2006): An exploratory analysis of the determinants of cooperative advertising participation rates, in: *Marketing Letters* 17, S. 91-102.
- Oehme, W. (2001): *Handels-Marketing: Die Handelsunternehmen auf dem Weg vom Absatzmittler zur markanten Retail Brand*, 3. Auflage, München.
- Pepels, W. (1995): *Handels-Marketing und Distributionspolitik: Das Konzept des Absatzkanalmanagements*, Stuttgart.
- Somers, T. M.; Gupta, Y.; Harriot, S. R. (1990): Analysis of cooperative advertising expenditures: A transfer-function modeling approach, in: *Journal of Advertising Research* 30(5), S. 35-49.
- Xie, J.; Neyret, A. (2009): Co-op advertising and pricing models in manufacturer-retailer supply chains, in: *Computers & Industrial Engineering* 56(4), S. 1375-1385.
- Xie, J.; Wei, J. C. (2009): Coordinating advertising and pricing in a manufacturer-retailer channel, in: *European Journal of Operational Research* 197(2), S. 785-791.
- Yan, R. (2010): Cooperative advertising, pricing strategy and firm performance in the e-marketing age, in: *Journal of the Academy of Marketing Science* 38, S. 510-519.
- Yue, J.; Austin, J.; Wang, M.-C.; Huang, Z. (2006): Coordination of cooperative advertising in a two-level supply chain when manufacturer offers discount, in: *European Journal of Operational Research* 168(1), S. 65-85.

How to determine a supply chain initiative's value contribution? A simulation-based approach

Erik Hofmann

Chair of Logistics Management,
University of St.Gallen, Dufourstrasse 40a, CH-9000 St. Gallen,
erik.hofmann@unisg.ch

Philip Wessely

A.T. Kearney (International) AG,
Renggerstrasse 3, CH-8038 Zürich,
philip.wessely@atkearney.com

Abstract

In order to optimize supply chain collaboration specific investments in technology, material, organization or personnel are to be made. Thus, a cost-benefit analysis gives indications of the economic feasibility of a supply chain initiative (SCI) in advance. From a supply chain perspective, that analysis has to consider the investments and financial changes in operating business of affected supply chain players. This paper introduces a simulation-based approach for the determination of an SCI's financial impact to support decision-making. It additionally contributes by embedding the simulation in an extrapolation approach making it possible to consider the specific integration of companies within individual networks of suppliers and customers.

1 Introduction

Since the mid 1990s, supply chain management (SCM) has been characterized as a holistic approach for the integration of material, information and financial flows along the supply chain from the source to the end-customer.¹ The integration encompasses diverse functions, such as logistics and production, across companies and organizations. Thereby, SCM optimizes the related flows and generates value along the supply chain by reducing operating costs and capital commitment as well as increasing revenues through improving logistics customer service.² Even though single companies may be affected by inter-organizational cooperation activities to their disadvantage the objective of value-based SCM is to increase overall-performance. Nevertheless, any form of cooperation in the context of SCM is associated with specific investments in technology, material, organization or personnel.³ Therefore, accurate estimations of the Economic Value Added (EVA) provide a support in decision-making for managers intending to invest in the supply chain by implementing specific initiatives.⁴ An SCI may be any activity of inter-organizational cooperation, such as just-in-time supply⁵ or vendor managed inventory.⁶ Despite the importance in gaining insights into a SCI's generated value, its determination is not a trivial issue due to the complex interdependencies. The integration of companies in inter-organizational networks with individual configurations of suppliers and customers causes a complexity which makes it difficult to forecast the financial effects of an SCI on related companies.⁷ Additionally, each supply chain player is able to roll out an SCI to any supplier or customer base reasonably in terms of similar characteristics. For instance, the integration of more than one supplier by an electronic data interchange (EDI)-system allows a company to oppose made investments to a larger potential benefit. Thus, a determination approach aiming for a support in decision-making shall consider the integration of companies in specific networks to take into account individual transfers of an SCI along the supply chain.

The present paper provides support in the decision-making for the estimating of EVA created by an SCI along the supply chain in advance. The introduced approach is based on a system dynamics-based simulation focusing on inventory levels and associated logistics costs of a supply chain player.⁸ Accordingly, the approach is mainly suited to SCIs addressing the material flow of manufacturing companies. The simulation is embedded in a framework that allows the combination of the supply chain perspective with that of a single player, as well as the consideration of the individual roll-outs of SCIs on specific suppliers and customers. Consequently, the generated value

¹ Cooper/Lambert/Pagh (1997), p. 9.

² Lambert/Burduroglu (2000), p. 5; Pohlen/Coleman (2005), p. 47.

³ Ojala/Hallikas (2006), p. 202; Wouters (2006), p. 511.

⁴ Pohlen/Coleman (2005), p. 45; Hofmann/Locker (2009), p. 68.

⁵ E.g., Boyd/Kronk/Skinner (2002).

⁶ E.g., Lee/Padmanabhan/Whang (2004).

⁷ van Hoeck (1998).

⁸ E.g., Shapiro (2007), p. 240; Sterman (2000).

within a supply chain is determined by the simulation of each player on an echelon and the extrapolation of the financial effects.

In order to achieve the objective, an explorative research method which is grounded on constructivism has been chosen.⁹ Accordingly, an quantification approach has been developed, initially derived from literature, that combines an extrapolation framework for the consideration of individual supply chain configurations of single companies with a simulation model for the estimation of the EVA generated by an SCI. Simulation technique has been chosen for its ability to meet complex interdependencies that makes it recommendable for analyzing supply chain issues.¹⁰ Although simulation-based research for the quantification has been already undertaken¹¹, a method allowing a consideration of the generated value on both the network as well as the corporate level does not exist today. The introduced approach was tested in exploratory expert interviews in an iterative exchange between practice and theory in order to improve it stepwise.¹²

The present paper is structured as following: After the introduction of the paper's objectives, an overview of the relevant literature is found in Chapter 2. In the subsequent Chapters 3 to 5, the extrapolation framework characterizing the specific network perspective, the simulation model for the determination of the financial effects of an SCI and the computation of the EVA are presented. Next, the findings are illustrated by a numerical example delineating a case from the Swiss pharmaceutical industry (Chapter 6). Finally, the paper ends with a discussion of the paper's contribution and further research (Chapter 7 and 8).

2 Literature review

The relation between SCM and its financial impact has been researched widely in the context of supply chain performance measurement.¹³ Neely, Gregory and Platts as well as Neely provide a detailed overview of the research field of supply chain performance measurement.¹⁴ In general, authors tend to transfer common performance measurement approaches, such as the balance scorecard, from the corporate to the network level.¹⁵ Furthermore, past research addresses the specific characterization of performance measures in the supply chain context. For example, Gunasekaran, Patel and Tirtiroglu distinguish operative, tactic and strategic measures with both financial and non-financial background.¹⁶ However, little research has been conducted to meet Ellram

⁹ Kasanen/Lukka/Siitonen (1993); Meredith (1993).

¹⁰ Riddalls/Bennett/Tipi (2000), p. 975.

¹¹ E.g., Ashayeri/Lemmes (2006).

¹² Meredith (1993), p. 5.

¹³ E.g., D'Avanzo/von Lewinski/Van Wassenhove (2003); Ellram/Liu (2002); Hofmann/Locker (2009); Pohlen/Coleman (2005); Timme/Timme-Williams (2000).

¹⁴ E.g., Neely/Gregory/Platts (1995); Neely (2005).

¹⁵ E.g., Brewer/Speh (2000); Kleijnen/Smits (2003).

¹⁶ E.g., Gunasekaran/Patel/Tirtiroglu (2001).

and Liu's¹⁷ call for a conversion of all performance measures into one financial business ratio in order to gain insights of any implications to changes in the company value.

In this context, the relationship between SCM and its value-drivers costs, revenues and capital commitment becomes important. For instance, Ellram and Liu, Hofmann and Locker, Lambert and Burduroglu as well as Pohlen and Coleman¹⁸ analyze this relation from a conceptual point of view in discussing the value drivers of SCM. The contribution of the authors lies in a structuring of cause-and-effect chains between single logistics performance measures and their impact on costs, revenues and capital commitment. Moreover, they discuss the interdependencies between different supply chain players. The EVA is the preferred financial metric in this context.¹⁹ However, the authors only provide suggestions for a possible quantification. For instance, Everaert, Bruggeman, Sarens, Anderson, and Levant²⁰ as well as Pohlen and Coleman²¹ analyze activity based costing as an instrument for the quantification of logistics and supply chain costs which is, however, not appropriate for the determination of cost effects in advance.

Simulation technique is more suited for the calculation of an SCI's impact on costs and capital commitment.²² Riddalls, Bennett, and Tipi²³ provide a review of the various mathematical techniques used for modeling and analyzing supply chains. They differ between continuous and discrete time differential equation models, discrete event simulation models and operational research methods. They state that the complex behavior of supply chains can only be assessed by dynamic simulations. In research, there are many applications of simulation in the supply chain context. Terzi and Cavalieri²⁴ provide an overview of research in the related field. For instance, Chachon and Lariviere²⁵ as well as Wikner, Towill, and Naim²⁶ analyze the impact of information sharing in a two and a multi-echelon supply chain, respectively. Ganeshan, Boone, and Stenger²⁷ find that selected inventory parameters affect supply chain performance. Lau, Xie, and Zhao²⁸ compare the impact of four different inventory policies on costs

¹⁷ Ellram/Liu (2002).

¹⁸ Ellram/Liu (2002); Hofmann/Locker (2009); Lambert/Burduroglu (2000); Pohlen/Coleman (2005).

¹⁹ E.g., Ellram/Liu (2002); Hofmann/Locker (2009); Lambert/Burduroglu (2000).

²⁰ Everaert/Bruggeman/Sarens/Anderson/Levant (2008).

²¹ Pohlen/Coleman (2005).

²² E.g., Holweg/Bicheno (2002).

²³ Riddalls/Bennett/Tipi (2000).

²⁴ Terzi/Cavalieri (2004).

²⁵ Chachon/Lariviere (2001).

²⁶ Wikner/Towill/Naim (1991).

²⁷ Ganeshan/Boone/Stenger (2001).

²⁸ Lau/Xie/Zhao (2008).

and service levels within a one product/two echelon-setting. Persson and Olhager²⁹ evaluate different supply chain designs in the mobile communications systems industry in terms of costs, lead time and quality by employing a simulation. Although, many authors address specific problems in the supply chain context there are only a few who use simulation for issues of value-based SCM. Ashayeri and Lemmes³⁰ calculate the impact of different degrees of forecast reliability on the EVA. However, their research is restricted to this single issue and it is not possible to prorate the resulting EVA to single supply chain players.

The determination of the revenue effects represents an exception. The connection between SCM and revenues is of an indirect nature, contrary to costs and capital commitment. The central value driver for revenues is logistics customer service.³¹ It is stated that a high level of logistics customer service provides a basis for customer satisfaction, which in turn affects the financial performance of a company.³² Several authors look into this interdependency and focus on diverse perspectives of the financial impact of an increasing service level in general. Although there is a lot of research looking into the causality between SCM, logistics customer service and a company's performance, only a few articles address a formal-analytical quantification of this relation.³³ However, a computational approach to estimate the response of revenues on alterations of logistics customer service in advance is still lacking.

Even though conceptual frameworks of supply chain performance measurement help management in the decision-making in a supply chain context, there is no workable method available for a broad scope of application to forecast the effect of an SCI on the EVA. Existing applications of simulation merely address specific issues in the SCM context and are not suitable for different types of SCIs. At the same time, most approaches model two echelons of a supply chain and do not allow any transfer of the results along the supply chain. In summary, there is a lack of quantification models that are applicable to a variety of SCIs whilst considering the specific structures of supply chains at the same time. The following chapter introduces a framework that makes it possible to consider the integration of companies in individual networks of suppliers and customers.

3 Conceptual framework

One challenge in determining the EVA of an SCI is rooted in the individual integration of each supply chain player within different networks. Each company within a supply chain usually sources from several suppliers and distributes its products to different customers.³⁴ As a consequence, each supply chain player can roll out an SCI to any

²⁹ Persson/Olhager (2002).

³⁰ Ashayeri/Lemmes (2006).

³¹ E.g., Ozment/Chard (1986); Tracey (1998); Yeung (2008).

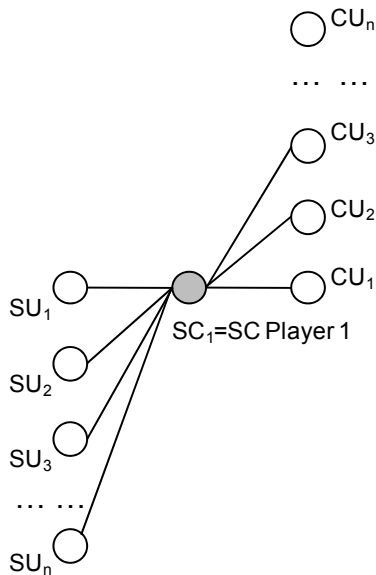
³² Dresner/Xu (1995); Yeung (2008).

³³ Anderson/Fornell/Lehmann (1994); Bookbinder/Lynch (1997).

³⁴ Cooper/Lambert/Pagh (1997).

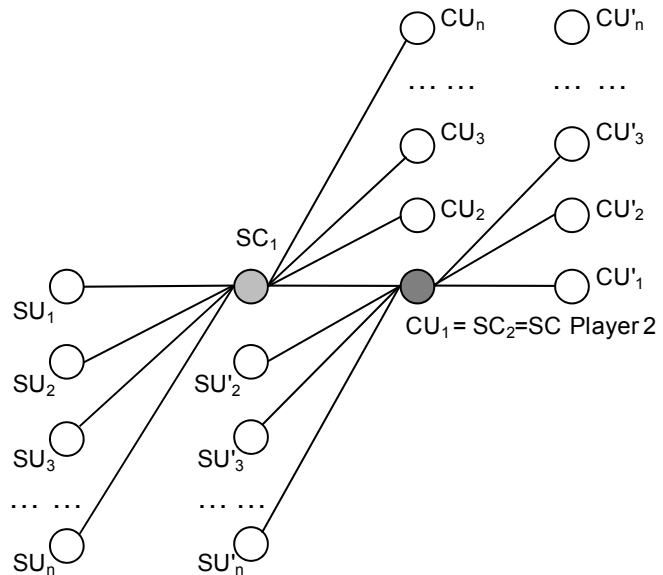
supplier or customer base as required. For instance, the integration of more than one supplier by an electronic data interchange (EDI) system allows a company to oppose made investments to a larger benefit. Based upon these considerations, an approach is chosen where the effects of an SCI are determined between specific companies in a supplier-buyer relation. Afterwards, the calculated effects are extrapolated for each company individually. Fig. 1 shows two supply chain players SC_1 and SC_2 with their individual configuration of suppliers and customers. SC_1 and SC_2 build 2 echelons of a supply chain. Adding additional echelons would display the complexity within a supply chain and the challenge of determining the value generated by SCIs. Note that SC_1 is SU'_1 of CU_1 .

Single supply chain player SC_1 with its individual supplier and customer base



$SU_{1...n}$ = Suppliers of SC Player 1
 $CU_{1...n}$ = Customers of SC Player 1

Two supply chain players SC_1 and SC_2 with their individual supplier and customer bases



$SU'_{1...n}$ = Suppliers of SC Player 2
 $CU'_{1...n}$ = Customers of SC Player 2

Fig. 1: Single supply chain players as starting point for the quantification of effects of SCIs³⁵

According to the approach at hand, one player for each supply chain echelon has to be simulated. Next, the results are extrapolated to individual groups of suppliers and customers for each simulated supply chain player. A necessary step in analyzing cost-saving opportunities in supply chains is the ability of measuring costs along channel members.³⁶ While a supply chain consists of a material, information, and financial flow the introduced simulation focuses on the material flow as inventory tied-up capital is still one of the most important value drivers in the context of SCM. A decrease in fixed asset utilization by 5% leads to an average increase of company value by 5% and an enhancement of inventory turnover by 20% results in an average rise of company

³⁵ Lambert/Cooper/Pagh (1998), p. 7.

³⁶ Ballou/Gilbert/Mukherjee (2000).

value by 6%.³⁷ Thus, the simulation analyzes the effects of an SCI on a company's inventory levels, where raw material, work-in-process products and finished goods are distinguished to enable differentiated considerations. Measured changes in inventory levels and related costs are extrapolated according to the individual preferences of each supply chain player. The effects of an SCI on revenues are disregarded since the respective cause-and-effect-chain is indirect which makes the determination of such effects difficult.³⁸ The employment of a technique like fuzzy logic which is appropriate for the processing of qualitative information may be suitable in this context as compared to a simulation.³⁹ The calculated results allow a quantification of net-effects on the EVA of each supply chain player. Consequently, the results can be used to assess essential investments and determine a fair splitting of involved costs and benefits. The subsequent sections will first present the basic principles of the simulation followed by an introduction of the output parameter's processing within the extrapolation.

4 Simulation model

The simulation presented in this paper is based on system dynamics. The software used is Powersim Studio 8.0 which has several advantages, such as a high degree of flexibility for modeling. Besides, it is characterized by a user-friendly surface. The introduced model depicts a manufacturer whose material flow is broken down into three segments of raw material (R_1 , R_2 and R_3) products, work-in-process (W_1 , W_2 and W_3), and finished goods (P_1 , P_2 and P_3). The classification can be made freely according to the individual requirements of the SCI where the different segments may encompass single products or groups of goods. Besides, the supply side segmentation can be performed independently from the demand side one. For instance, raw material can be categorized based on its consumption uses, differentiating between seasonal, regular and irregular need.⁴⁰ Finished goods can be segmented in terms of revenue contribution.⁴¹ The differentiated consideration of the material flow meets Fisher's⁴² finding that the product determines the supply chain design, therefore implying that SCIs also address specific products.

Besides the segmentation of the material flow, the production type of the company can be set individually. Additionally, a broad variety of delay times, structures and settings can be defined in advance. For example, demand and order frequency can be adjusted dynamically for any of the defined segments. Due to the flexibility, the simulation can be used for any kind of manufacturing company as well as any SCI addressing the material flow. During each analysis of an SCI, the simulation is run two times. First, the

³⁷ Timme/Timme-Williams (2000).

³⁸ Ballou (2006); Hofmann/Locker (2009).

³⁹ Zadeh (1996).

⁴⁰ Lambert/Stock (2001).

⁴¹ E.g., LaLonde/Zinszer (1976); Grant/Lambert/Stock/ElIram (2006), p. 153.

⁴² Fisher (1997).

status before a potential implementation of the SCI is simulated. Second, the system is run with parameters adjusted in accordance with the changes caused by the SCI, such as a higher validity of forecast data. Thus, the effects of an SCI's implementation are projected by the second run. Differences in the output parameters between the first and the second run are performed to calculate the financial effects of the SCI.

As Fig. 2 indicates, the parameters processed by the simulation model can be categorized into three fields. The first group of parameters refers to the demand pattern of the company's finished goods (1). The second and third subset comprises parameters characterizing the way the company produces (2) and plans required raw material (3). Besides these inputs, there are basic parameters that describe general data, such as process times of material handling and order processing. These parameters constitute the basic backbone of the simulation model.

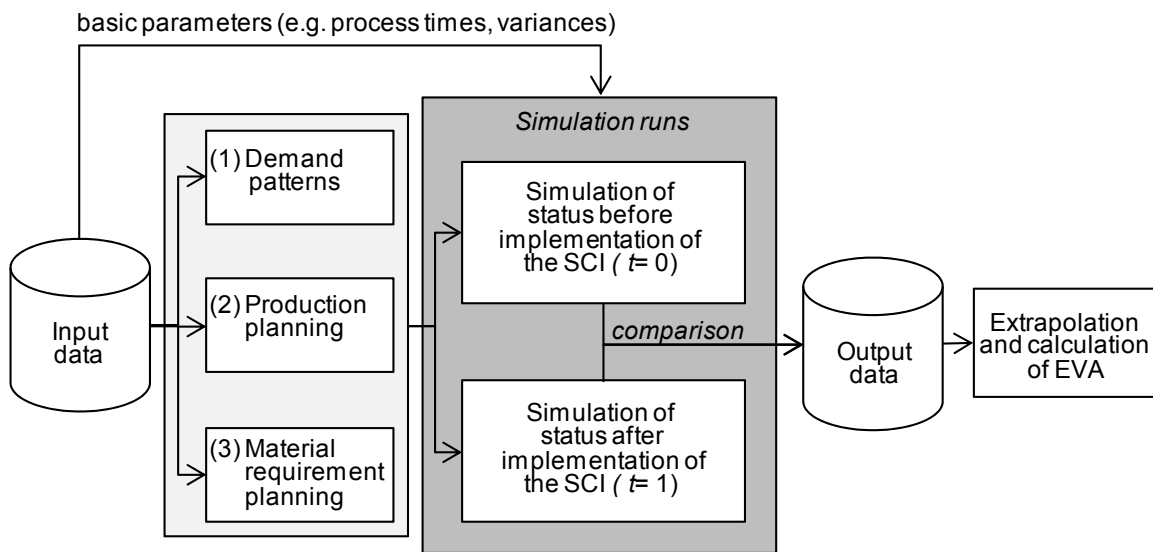


Fig. 2: Structure of the supply chain simulation model

Since the simulation is run twice, the final values displayed by the simulation are the differences between the status before and after an SCI's implementation in terms of inventory and related costs. Subsequently, the mathematical formulas aligning the model are exposed according to the stated subsets. A selection of the main variables is shown in Tab. 1.

4.1 Demand creation

Proceeding from the detailed consideration of the material flow, the company's finished goods are segmented into three freely definable categories P_1 , P_2 and P_3 . For instance, the segments can be chosen in terms of the products' revenue contribution or demand pattern. The average demand for P_1 , P_2 and P_3 that the company is facing per day is described by factor d_{quant} . The allocation of d_{quant} on the three product segments is characterized by vector \underline{a}^P shown in Eq. (1).

$$\underline{a}^P = (a^{P_1} \quad a^{P_2} \quad a^{P_3}) \tag{1}$$

where $a^{P_1} + a^{P_2} + a^{P_3} = 1$ and $a^{P_1}, a^{P_2}, a^{P_3} \in \mathbb{R}_0^1$

The average demand responds to orders per day. The extent to which the orders per day vary from average can be set by the relative tolerances $t_{quant}^{P_1}$, $t_{quant}^{P_2}$ and $t_{quant}^{P_3}$ for each product segment, where $t_{quant}^{P_1}, t_{quant}^{P_2}, t_{quant}^{P_3} \in \mathbb{R}_0^1$.

Variable	Description	
a^{P_1}	Proportion of P_1 compared to P_2 and P_3 to total order quantity	[%]
d_{quant}	Average total order quantity of P_1, P_2 and P_3	[unit]
$y_{irr}^{P_1}$	Average order quantity of P_1 in case of irregular demand pattern	[unit]
$D_{base\ i}^{P_1}$	Base demand of P_1 at a given day i in case of seasonal demand	[unit]
$D_{irr\ i}^{P_1}$	Demand of P_1 at a given day i in case of irregular demand	[unit]
$D_{seas\ i}^{P_1}$	Demand of P_1 at a given day i in case of seasonal demand	[unit]
$D_{reg\ i}^{P_1}$	Demand of P_1 at a given day i in case of regular demand	[unit]
$l_{des}^{R_1}$	Desired level of inventory in terms of R_1	[unit]
$l_{ex\ i}^{P_1}$	Existing level of inventory at a given day i in terms of R_1	[unit]
$m_{seas}^{P_1}$	Month of seasonal peaking demand in terms of P_1	\mathbb{N}_1^{12}
$o_{freq}^{P_1}$	Average order frequency of P_1	[orders per week]
$o_{quant}^{P_1}$	Average order quantity of P_1	[units per order]
$o_{freq}^{R_1}$	Average order frequency of R_1	[orders per week]
$o_{quant}^{R_1}$	Average order quantity of R_1	[units per order]
$o_{source\ i}^{R_1}$	Order quantity of R_1 at a given day i	[unit]
$q_{seas}^{P_1}$	Amount of seasonal demand compared to average level in terms of P_1	[%]
$r_{const\ i}^{P_1}$	Production rate of P_1 at given day i in case of make-to-stock based on past data	[unit]
$r_{dyn\ i}^{P_1}$	Production rate of P_1 at given day i in case of make-to-stock based on dynamically adjusted data	[unit]
$r_{mto\ i}^{P_1}$	Production rate of P_1 at given day i in case of make-to-order	[unit]
$t_{quant}^{P_1}$	Tolerance of average order quantity referred to P_1	[%]
$t_{freq}^{P_1}$	Tolerance of average order frequency referred to P_1	[%]
$y_{irr}^{P_1}$	Amount of days irregular demand of P_1 occurs within a year	[days]
$y_p^{P_1}$	Time period included by dynamically adjustment in the case of make-to-stock	[days]

Tab. 1: Overview of selected variables

The way in which orders for P_1, P_2 and P_3 are placed by the customer can be chosen independently in terms of a regular (a), seasonal (b) and irregular (c) demand pattern.⁴³ Whilst the following sections refer to product type P_1 , they can be adopted for the other two product types analogously.

⁴³ Simchi-Levi/Kaminsky/Simchi-Levi (2008), S. 35; Vohra (2007), p. 466.

(a) *Regular demand*

The generation of regular demand within the model is grounded upon the average order frequency and quantity for P_1 . The average number of orders per day for P_1 is defined as $o_{freq}^{P_1}$. In order to consider a deviation in average order frequency, the relative tolerance of orders per day $t_{freq}^{P_1}$ is combined with a uniformly distributed random variable X_{freq} , where $X_{freq} \approx (-1,1)$. The quantity of placed orders is determined by setting the average amount of all products per day d_{quant} in proportion to $o_{freq}^{P_1}$. The resulting value is weighted by a^{P_1} , the proportion of P_1 at d_{quant} compared to the other two product segments P_2 and P_3 . Analog to the order frequency, $t_{quant}^{P_1}$ is multiplied with a uniformly distributed random variable X_{quant} , where $X_{quant} \approx (-1,1)$, to consider deviations in order quantity. As a result, the average amount of orders placed for P_1 is shown in Eq. (2). The first part of the equation refers to the order frequency while the second part covers the order quantity. The formula reflects the regular demand of P_1 at a given day i , where $i \in \mathbb{N}^+$ and $i \in \{1 \dots 260\}$, as the model works with 260 workdays.

$$D_{reg\ i}^{P_1} = \underbrace{\left(\underbrace{(X_{freq} \cdot t_{freq}^{P_1})}_{\text{deviation in frequency}} \cdot o_{freq}^{P_1} \right)}_{\text{order frequency}} \cdot \underbrace{\left(\underbrace{(X_{quant} \cdot t_{quant}^{P_1})}_{\text{deviation in quantity}} \cdot \frac{d_{quant}}{o_{quant}^{P_1}} \cdot a^{P_1} \right)}_{\text{order quantity}} \quad (2)$$

(b) *Seasonal demand*

The creation of seasonal demand within the simulation is realized by a base-level of demand for P_1 to which a seasonally altering proportion is added. The idea is grounded upon the demand generator introduced by Zhao and Lee⁴⁴. The month in which the product demand peaks is adjusted by factor $m_{seas}^{P_1}$, which is defined as $m_{seas}^{P_1} \in \mathbb{N}_1^{12}$. The extent to which the demand increases in month $m_{seas}^{P_1}$ compared to the base-level is characterized by parameter $q_{seas}^{P_1}$ with $q_{seas}^{P_1} \in \mathbb{R}_0^1$. The demanded amount of P_1 being independent from seasonal variation is calculated as shown in Eq. (3).

$$D_{base\ i}^{P_1} = d_{quan} \cdot a^{P_1} \cdot (1 - q_{seas}^{P_1}) \quad (3)$$

In order to meet the requirement that the average seasonal demand for each year must not exceed the total request for P_1 , factor s^{P_1} is introduced which averages to one over a year of 260 workdays. The calculation of s^{P_1} is depicted in Eq. (4). The cosines function is chosen for the realization of a periodically changing demand peaking in the main season determined by $m_{seas}^{P_1}$. The value of one is added to the related cosine function to gain resulting figures ranging between 0 and 2 instead of -1 and 1.

⁴⁴ Zhao/Lee (1993), p. 187.

$$s^{P_1} = \cos \left(\frac{i \cdot \pi}{130} + \frac{m_{seas}^{P_1} \cdot \pi}{6} \right) + 1 \quad (4)$$

Putting the stated considerations together, the seasonal demand for P_1 at a given day i , defined as $D_{seas\ i}^{P_1}$, is calculated according to Eq. (5).

$$D_{seas\ i}^{P_1} = D_{base\ i}^{P_1} + d_{quan} \cdot a^{P_1} \cdot q_{seas}^{P_1} \cdot s^{P_1} \quad (5)$$

(c) Irregular demand

In the case of irregular product demand, orders are placed without any predictable pattern. Accordingly, the system proceeds from the assumption that the company faces irregular orders for a total number of $y_{irr}^{P_1}$ days per year. The days the company encounters irregular demand is simulated using a random variable X_{irr} with the probability mass function P defined as shown in Eq. (6), where $\sum_{n=1}^{260} X_{irr\ n} = y_{irr}^{P_1}$.

$$P(X_{irr}) = \begin{cases} \frac{y_{irr}^{P_1}}{260} & \text{if } X_{irr} = 1 \\ 1 - \frac{y_{irr}^{P_1}}{260} & \text{if } X_{irr} = 0 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (6)$$

Consequently, the demand for P_1 on a given day i that follows a irregular demand pattern is calculated as shown in Eq. (7). The second part of the formula represents the quantity requested that is weighted to meet the fact that orders merely are placed on $y_{irr}^{P_1}$ days.

$$D_{irr\ i}^{P_1} = X_{irr\ i}^{P_1} \cdot \frac{260 \cdot d_{quant} \cdot a^{P_1}}{y_{irr}^{P_1}} \quad (7)$$

4.2 Production planning

The production planning system of the simulation model encompasses make-to-order and make-to-stock production which have to be chosen for each product segment separately.⁴⁵ Whilst the following sections refer to product segment P_1 , they can be adopted for the other two product types analogously.

(a) Make-to-stock

Planning systems on the basis of a make-to-stock production are aiming for an optimal utilization of available capacities in the environment of predictable demand. Accordingly, within the model the production rate is oriented towards the forecasted demand of P_1 derived either from last year's figures or dynamically adjusted on the basis of a

⁴⁵ Cachon/Terwiesch (2009), p. 256.

given period of time. The formula reflecting the first case with a constant production rate $r_{const}^{P_l}$ is shown in Eq. (8) where $d_{av}^{P_l}$ defines the last year's average demand of P_l .

$$r_{const\ i}^{P_l} = d_{av\ i}^{P_l} \quad (8)$$

In the case of a dynamic adjustment, the production rate is aligned to a trend covering the average demand from a defined past period. The computation of the trend for the next $y_f^{P_l}$ days makes use of the average demand of the past $y_p^{P_l}$ days. Hence, the adjusted demand forecast $D_{trend\ i}^{P_l}$ is calculated according to Eq. (9).

$$D_{trend\ i}^{P_l} = \frac{I}{y_p^{P_l}} \cdot \frac{D_i^{P_l}}{D_i^{P_l}} \quad (9)$$

where $\overline{D_i^{P_l}} = \frac{\sum_{n=i-y_p^{P_l}}^i D_i^{P_l}}{y_p^{P_l}}$

Based upon the projected trend, the determination of the dynamically adjusted production rate $r_{dyn}^{P_l}$ is simulated as shown in Eq. (10).

$$r_{dyn\ i}^{P_l} = D_i^{P_l} \cdot y_f^{P_l} \cdot D_{trend\ i}^{P_l} \quad (10)$$

(b) Make-to-order

The make-to-order production planning system of the introduced model opposes placed to fulfilled orders up to the present day i to determine the actual order balance $o_{bal\ i}^{P_l}$. However, considering the fact, that due to capacity reasons not all placed orders can be accomplished on time, all orders which are older than a defined period of time are removed from the order backlog. A first-in-first-out storage method is implemented within this algorithm to keep the order fulfillment rate as high as possible, implying that orders placed first are treated with priority. Accordingly, the production rate of a make-to-order production planning is calculated by multiplying the relation between accomplished and total orders, defined as the order fulfillment rate $OFR_i^{P_l}$ with the order balance. The related formula is depicted in Eq. (11).

$$r_{mto\ i}^{P_l} = OFR_i^{P_l} \cdot o_{bal\ i}^{P_l} \quad (11)$$

4.3 Material requirements planning (MRP)

MRP denotes the IT-based planning of manufacturing processes in terms of needed resources and related inventory keeping policies.⁴⁶ It aims for a securing of the manufacturing process while minimizing kept inventories. In the introduced model MRP comprises the calculation of required raw material and WIP as well as its sourcing.

⁴⁶ Lambert/Stock (2001); Cachon/Terwiesch (2009), p. 380.

(a) *Determination of required goods*

The planning of required goods addresses the computation of raw material and WIP that are needed within the manufacturing process each day. Accordingly, the 3×3 matrix A^{WIP} characterizes the extent to which P_1, P_2 and P_3 are composed by the three optionally definable segments of work-in-process products W_1, W_2 and W_3 . Analogously, the 3×3 matrix A^R defines the composition of raw material needed to produce one unit of P_1, P_2 and P_3 . In both matrices the columns refer to the product segment and the rows to the type of raw material and WIP, respectively. The determination of the material requirement presupposes the calculation of the daily production rates $r_i^{P_{1,2,3}}$ of P_1, P_2 and P_3 forming vector \underline{r}_i . Thus, by multiplying vector \underline{r}_i with the matrices A^{WIP} and A^R the daily material requirement is calculated.

(b) *Sourcing activities*

The sourcing activities encompass the supply of raw material to keep a pre-defined inventory level $l_{des}^{R_{1,2,3}}$ stipulated for each segment of raw material independently.⁴⁷ The order frequency of raw material is determined by $o_{freq}^{P_i}$ on a weekly basis. The quantity ordered $o_{quant i}^{P_i}$ depends on the existing inventory level $l_{ex i}^{R_i}$ since the system purchases the volume necessary to keep $l_{des}^{R_i}$. As Powersim Studio 8.0 allows the triggering of order processes on the same week days during the year, the 7×1 matrix $O_{freq}^{R_i}$ with elements $o_j^{R_i} \in \{1, 0\}$ for $j=1, 2, 3$ is introduced. The actual ordered amount of raw material $o_{source i}^{R_i}$ is, thus, calculated according to Eq. (12).

$$o_{source i}^{R_i} = O_{freq n}^{R_i} \cdot o_{quant i}^{R_i} \tag{12}$$

where $o_{source i}^{R_i} = \begin{cases} l_{des}^{R_i} - l_{ex i}^{R_i} & \text{if } l_{des}^{R_i} > l_{ex i}^{R_i} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$

and $\sum_{n=1}^7 O_{freq n}^{R_i} = o_{freq}^{R_i}$

5 Output of the simulation

The simulation is run twice. In the beginning, the status quo before the implementation of the SCI is executed. Next, it is run with parameters adjusted in accordance with the changes caused by the SCI. In each simulation run the inventory levels for each type of raw material, WIP and finished goods are read out. Besides the inventory levels, gains are made in other output parameters, such as fulfilled orders or production rates. The

⁴⁷ Grant/Lambert/Stock/Ellram (2006), p. 126.

difference between inventory levels before and after the implementation indicates the change in capital commitment. Furthermore, changes in inventory are used to calculate the alterations in inventory carrying costs which encompass mainly handling, insurance and shrinkage.⁴⁸ Changes in order processing and production rates allow statements of order processing and set up costs. In all cases proportional cost rates per unit of inventory, order processed and set up are used.

Since the results provided by the simulation refer to specific companies of the supply chain the changes in inventory levels and related costs have to be extrapolated before determining the EVA effect. Thus, for each supply chain player, the decision to implement of any SCI for larger customer and supplier base can be considered individually. Although an extrapolation factor can be determined for each output parameter two extrapolation factors are introduced according to Eq. (13) – E^s for the supply side and E^d for the demand side – to communicate the basic principle. Furthermore each supply chain player utilizes own extrapolation factors.

$$E^s = \begin{pmatrix} e_{11}^s & e_{12}^s & e_{13}^s \\ e_{21}^s & e_{22}^s & e_{23}^s \\ e_{31}^s & e_{32}^s & e_{33}^s \end{pmatrix} \text{ and } E^d = \begin{pmatrix} e_{11}^d & e_{12}^d & e_{13}^d \\ e_{21}^d & e_{22}^d & e_{23}^d \\ e_{31}^d & e_{32}^d & e_{33}^d \end{pmatrix} \quad (13)$$

with $0 \leq e_{nm}^{s,d} \leq 1$ and $\sum_{n=1}^3 \sum_{m=1}^3 e_{nm}^{s,d} = 1$.

The 3×3 matrix E^s with elements e_{nm}^s , where $n, m = 1, 2, 3$, characterizes the procurement volume on the company's supply side. The columns refer to the three segments of raw material R_1 , R_2 and R_3 . The rows relate to the supplier base: The first row ($n=1$) indicates the purchased raw material from the supply chain player that the simulation refers to. The second row ($n=2$) denotes the suppliers to which the SCI shall be implemented. The third row ($n=3$) refers to all other suppliers. Hence, the matrix E^s characterizes the company's supply side by allocating the procurement volume of raw material into nine specific product-supplier-segments. Matrix E^d structures the demand side analogously. The calculation of the extrapolation factors for the three segments of raw material R_m is performed according to Eq. (14). It is feasible for each product type P_1 , P_2 and P_3 respectively.

$$ex_m^s = 1 + \frac{e_{2m}^s + e_{3m}^s}{e_{1m}^s} \text{ for } m = 1, 2, 3 \quad (14)$$

After the multiplication of each output parameter and the related extrapolation factor, the effect of the EVA is calculated. According to Stewart⁴⁹, the EVA is defined as the difference between profit (e.g. net operating profit after taxes) and capital charges (cf. Tab. 2). Alterations in inventory levels are integrated in capital charges and changes in

⁴⁸ Grant/Lambert/Stock/Ellram (2006), p. 143.

⁴⁹ Stewart (1991).

inventory carrying costs are integrated in the operating costs respectively.⁵⁰ The EVA is a measure for one period which is generally interpreted as one year. For a temporal-dynamic computation, future EVAs are discounted to build a net present value.⁵¹ In case of a five periods discounting, the calculation shown in Eq. (15) can be adapted. The NPV consists of two terms.

	Revenues
-	Costs

	Operating profit (EBIT)
-	Taxes

	Net operating profit after taxes (NOPAT)
-	Capital charges (invested capital x cost of capital)

	Economic Value Added (EVA)

Tab. 2: Basic formula for calculating EVA⁵²

The first term (ΔEVA_1) covers the value contribution accruing immediately. The index Δ points out that a pre-after computation of the EVA is performed. The value enhancement accruing after the first period and afterwards is covered by the second term (ΔEVA_2). The future character is realized by discounting the effect for the periods 2 to 5 with the factor z which can be, for example, the weighted average cost of capital (WACC).

$$NPV = \Delta EVA_1 + \left(\frac{\Delta EVA_2}{(1+z)^0} + \dots + \frac{\Delta EVA_2}{(1+z)^4} \right) \tag{15}$$

6 Numerical example

The system dynamics-based model and the extrapolation framework were developed during a research project involving ten companies from the Swiss pharmaceutical and consumer goods industry. Through this cooperation, data for the numerical example was gathered to test and improve the quantification approach stepwise.

6.1 Basic company information

The focus of the subsequent numerical example is brought to a supply chain for packaging material within the pharmaceutical industry in Switzerland. The supply chain encompasses several echelons starting from the production of cartons and transforming them into pharmaceutical folding boxes which have to meet specific requirements such as a certain level of quality and protection against forgery. In the subsequent echelon, drugs are put into these folding boxes before they are delivered to the final customer – the patient. The focus of the numerical example is on the interface between the producer of pharmaceutical folding boxes (SC_1) and the pharmaceutical company (SC_2).

⁵⁰ Hofmann/Locker (2009).

⁵¹ Brealy/Myers (2009).

⁵² Stewart (2001), S. 120.

Company SC_1 is one of the largest producers of pharmaceutical folding boxes in Switzerland. In the year 2008, it generated revenues of 30 Mio. Swiss Francs (CHF) in Switzerland and had about 100 employees. Company SC_2 produces and distributes both prescription and non-prescription medicine for Switzerland and the international market. Its 4'200 employees generated revenues of 3'100 Mio. CHF in 2008.

Company SC_1 produces the folding boxes in a make-to-order production system which usually works smooth by having a planning horizon of at least two weeks. Company SC_1 produces medication for its own label as well as for other pharmaceutical companies employing SC_2 as subcontractor. In the case of own medication, SC_2 employs a make-to-stock production system which is based on forecast data. The data fed in the system is dynamically updated over a three month time period. However, when company SC_2 fabricates medication as subcontractor a make-to-order production system is employed. In this case, orders for folding boxes are placed at SC_1 in the short-term which leads to suboptimal planned production processes at SC_1 . Consequently, an enhancement of forecast accuracy in the field of medication produced by SC_2 as subcontractor leads to a cost saving and capital commitment reducing potential. Through the implementation of special service level agreements between SC_2 and customers, for which the company SC_2 works as a subcontractor, the forecast accuracy is optimized and, thus, saving potential realized.

The raw material sourced from company SC_1 is segmented into carton with standard formats which is either stored at call at SC_1 's suppliers ($R_1^{SC_1}$) or at SC_1 ($R_2^{SC_1}$), as well as customer specific formats ($R_3^{SC_1}$). The folding boxes are categorized into product types $P_1^{SC_1}$, $P_2^{SC_1}$ and $P_3^{SC_1}$ corresponding to the raw material segmentation of company SC_2 , named $R_1^{SC_2}$, $R_2^{SC_2}$ and $R_3^{SC_2}$, which is defined by procurement volume. The classification of SC_2 's finished goods $P_1^{SC_2}$, $P_2^{SC_2}$ and $P_3^{SC_2}$ is aligned to revenue contribution which correlates with the procurement volume. The finished goods of SC_2 focused within the numerical example are medication, produced as subcontractor. Due to the production set up of SC_1 and SC_2 , a consideration of WIP is not necessary. Thus, the respective input parameters, such as delays in pre-production, are defined as zero to enable a neglect of WIP.

The realization of the service level agreements engenders a decrease in SC_1 's order frequency and quantity, as well as a reduction in raw material inventory. Due to the fact that finished goods are delivered straight after production, no positive effects on finished goods are to be expected. The implementation of the stated SCI has an impact on the order processing and the production planning of SC_2 , since the setting up of production facilities between different batches is very elaborative in the pharmaceutical industry, due to hygienic regulations. The SCI's effect on the companies' input data are gathered by expert interviews and discussions with relevant decision-makers. They are depicted in Tab. 5. After data collection is completed, the system is fed with the input data. A selection of data is shown in Tab. 3 and 4.

6.2 Effects of company SC₁

Fig. 3 shows the changes of inventory levels of raw material, order processing and production time which occur in company SC₁ through the SCI's implementation. The higher validity of forecast data allows the reduction of the raw material of type R₂ by 20% in the favor of R₁. Besides, the safety stock of R₁, R₂, and R₃ can be cut by 5%. Accordingly, the average inventory levels have fallen by 1'230 kg for R₁^{SC₁}, 5'500 kg for R₂^{SC₁} and 300 kg for R₃^{SC₁}. On the basis of the cost data shown in Tab. 6, the savings in capital commitment account for 35'750 Swiss Francs (CHF).

Demand-side variables		$P_1^{SC_1}$	$P_2^{SC_1}$	$P_3^{SC_1}$
Average demand [units, 10 ³]	$d_{quant} \cdot a^{P_{1,2,3}}$	3'000	700	21
Average number of orders per day	$o_{freq}^{P_{1,2,3}}$	0.4	0.2	0.1
Finished product partition	$a^{P_{1,2,3}}$	75%	20%	5%
Supply-side variables		$R_1^{SC_1}$	$R_2^{SC_1}$	$R_3^{SC_1}$
Raw material orders per week	$o_{freq}^{P_{1,2,3}}$	0.5	0.4	0.2
Raw material composition for $P_1^{C_1}$		30%	30%	40%
Raw material composition for $P_2^{C_1}$		30%	40%	30%
Raw material composition for $P_3^{C_1}$		40%	30%	30%
Inventory safety levels		30%	30%	30%
Desired inventory level [kg]	$l_{des}^{R_{1,2,3}}$	40'000	25'000	10'000

Tab. 3: Selected inputs of company SC₁

Demand-side variables		$P_1^{SC_2}$	$P_2^{SC_2}$	$P_3^{SC_2}$
Average demand [units]	$d_{quant} \cdot a^{P_{1,2,3}}$	27'500	13'500	8'000
Average number of orders per day	$o_{freq}^{P_{1,2,3}}$	0.4	0.2	0.1
Finished product partition	$a^{P_{1,2,3}}$	80%	15%	5%
Supply-side variables		$R_1^{SC_1}$	$R_2^{SC_1}$	$R_3^{SC_1}$
Raw material orders per week	$o_{freq}^{P_{1,2,3}}$	0.7	0.4	0.25
Raw material composition for $P_1^{C_1}$		30%	30%	40%
Raw material composition for $P_2^{C_1}$		30%	40%	30%
Raw material composition for $P_3^{C_1}$		40%	30%	30%
Inventory safety levels		5%	5%	5%

Tab. 4: Selected inputs of company SC₂

The decrease in inventory comes along with savings in inventory carrying costs in which, for instance, costs for handling, insurance, shrinkage are summarized. The sav-

ings add up to an amount of 1'400 CHF per month. Due to the higher validity of forecast accuracy, SC₁ is confronted with changes in order processing, since SC₂ places fewer but larger orders. In total, SC₂ places 29 for $P_1^{SC_1}$, 6 for $P_2^{SC_1}$ and 1 for $P_3^{SC_1}$ orders less per year which leads to cost savings in order processing by 28'700 CHF. As a further side effect of the changes in order placement, SC₁ has more time for production planning which, in turn, leads to an optimization of batch composition and a reduction of set up costs. On average the batch sizes of $P_1^{SC_1}$, $P_2^{SC_1}$ and $P_3^{SC_1}$ are increased by 10%, 5% and 7%, respectively, which leads to a conversation of 17 set ups per year. Underlying costs of 1'500 CHF per set up, a cost saving of 25'500 CHF is realized.

Company SC₁		before SCI implementation		
Tolerance in order quantity $t_{quant}^{P_{1,2,3}}$		23.40%	21.00%	25.20%
Tolerance in order frequency $t_{freq}^{P_{1,2,3}}$		35.10%	31.50%	37.80%
Safety stock level of $R_{1,2,3}^{SC_1}$		30%	30%	30%
Allocation of $R_{1,2,3}^{SC_1}$		50%	35%	15%
Company SC₁		after SCI implementation		
Tolerance in order quantity $t_{quant}^{P_{1,2,3}}$		16.00%	14.00%	17.00%
Tolerance in order frequency $t_{freq}^{P_{1,2,3}}$		21.60%	18.90%	22.70%
Safety stock level of $R_{1,2,3}^{SC_1}$		10.00%	15.00%	15.00%
Allocation of $R_{1,2,3}^{SC_1}$		70.00%	15.00%	15.00%
Company SC₂		before SCI implementation		
Tolerance in order quantity $t_{quant}^{P_{1,2,3}}$		$t_{quant}^{P_1} = 30\%$	$t_{quant}^{P_2} = 30\%$	$t_{quant}^{P_3} = 30\%$
Tolerance in order frequency $t_{freq}^{P_{1,2,3}}$		$t_{freq}^{P_1} = 30\%$	$t_{freq}^{P_2} = 30\%$	$t_{freq}^{P_3} = 30\%$
Tolerance in production time referred to $P_{1,2,3}^{SC_2}$		$t_{freq}^{P_1} = 30\%$	$t_{freq}^{P_2} = 30\%$	$t_{freq}^{P_3} = 30\%$
Company SC₂		after SCI implementation		
Tolerance in order quantity		$t_{quant}^{P_1} = 30\%$	$t_{quant}^{P_2} = 30\%$	$t_{quant}^{P_3} = 30\%$
Tolerance in order frequency		$t_{freq}^{P_1} = 30\%$	$t_{freq}^{P_2} = 30\%$	$t_{freq}^{P_3} = 30\%$
Tolerance in production time		$t_{freq}^{P_1} = 30\%$	$t_{freq}^{P_2} = 30\%$	$t_{freq}^{P_3} = 30\%$

Tab. 5: Main changes input data due to the SCI

6.3 Effects of company SC_2

The SCI's impact on SC_2 is similar to the effects on SC_1 . However, there are no changes in inventory levels of raw material since the needed folding boxes are ordered on demand in the respective product segment. Since the medicaments are delivered immediately after production and packaging, the higher forecast accuracy does not affect inventory levels on the demand side either. As Fig. 4 indicates, the service level agreements especially come along with changes in production rate, since SC_2 's customers transmit their orders earlier and smother in terms of quantity and frequency. At average 25, 8, 2 orders are placed for $P_1^{SC_2}$, $P_2^{SC_2}$ and $P_3^{SC_2}$ less per year.

Variables		Raw material		
		$R_1^{SC_1}$	$R_2^{SC_1}$	$R_3^{SC_1}$
Variable inventory carrying costs [CHF/kg]	$c_{var}^{SC_1}$	0.2	0.2	0.4
Cost price [CHF/kg]	$c_{price}^{SC_1}$	5	5	7

Demand-side variables		Finished goods		
		$P_1^{SC_1}$	$P_2^{SC_1}$	$P_3^{SC_1}$
Costs per order [CHF/order]	$c_{order}^{SC_1}$	800	800	1'000
Costs per set up [CHF/set up]	$c_{set up}^{SC_1}$	1'500	1'500	1'500

Tab. 6: Selected cost data of company SC_1

Consequently, SC_2 is able to optimize the utilization of its production facilities and save set up costs. As Fig. 4 shows, batch sizes increases at average by 5%, 0.5% and 0.5% for $P_1^{SC_2}$, $P_2^{SC_2}$ and $P_3^{SC_2}$, respectively. Thus, 100 CHF can be saved during each set up which sums up to 19'500 CHF proceeding from 0.75 set ups per day at average. Corresponding to the cost data shown in Tab. 7, savings in order processing are realized to a quantified amount of 40'500 CHF.

Demand-side and other variables		Finished goods		
		$P_1^{SC_2}$	$P_2^{SC_2}$	$P_3^{SC_2}$
Costs per order [CHF/order]	$c_{order}^{SC_2}$	1'100	1'250	1'500
Costs per set up [CHF/set up]	$c_{set up}^{SC_2}$	1'500	1'500	1'500

Tab. 7: Selected cost parameters of company SC_2

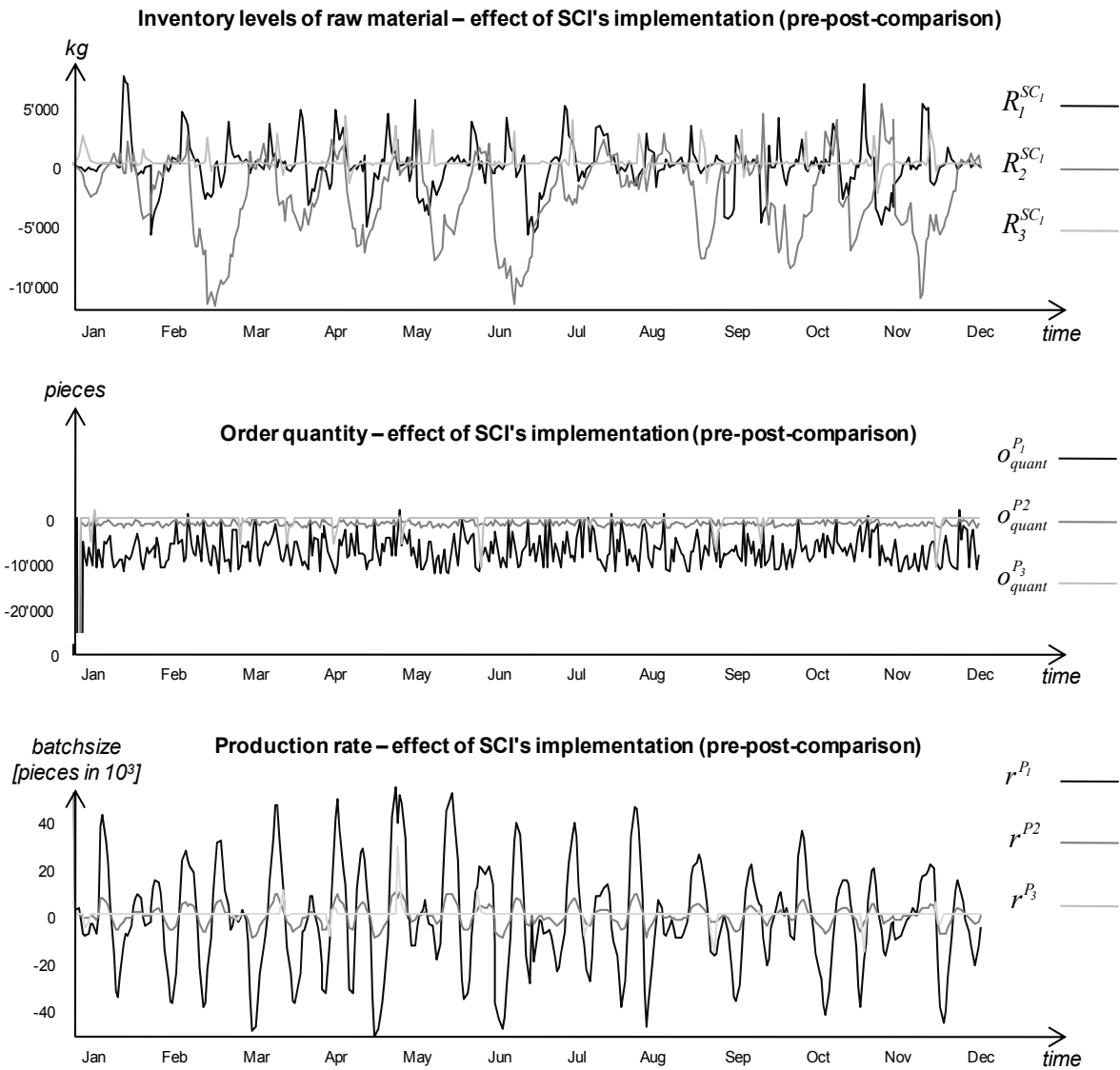


Fig. 3: Effects of SCI's implementation on company SC_1

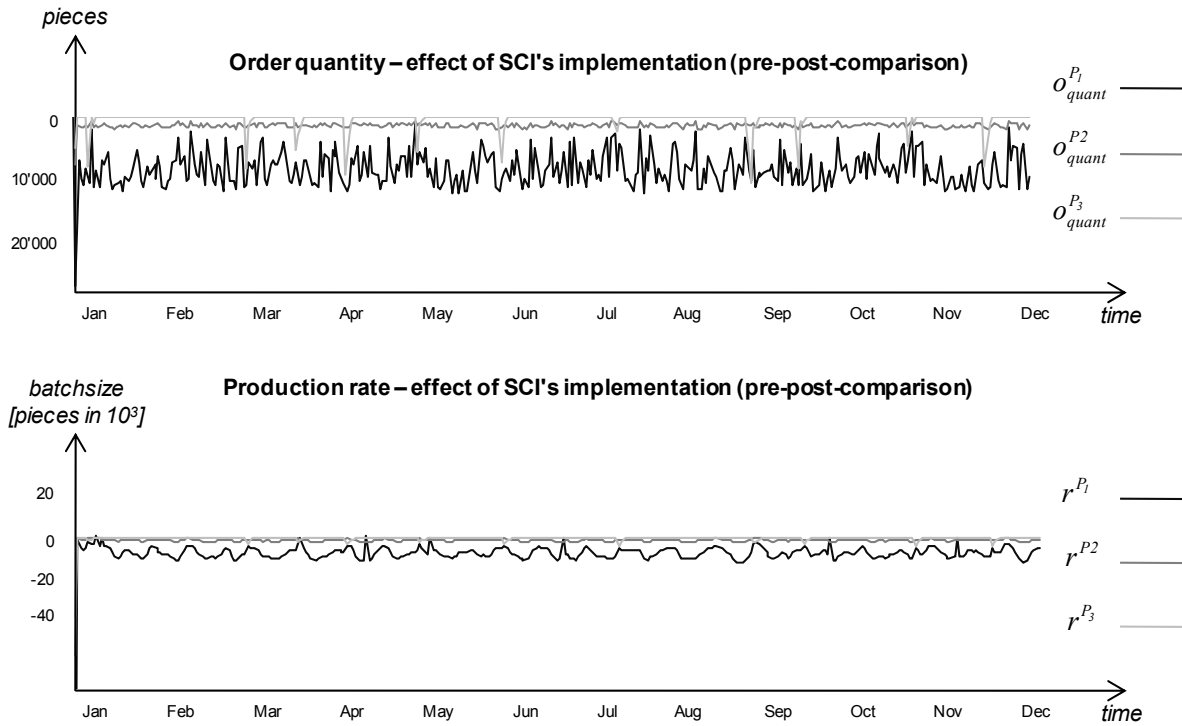


Fig. 4: Effects of SCI's implementation on company SC₂

6.4 Extrapolation and calculation of EVA

Relevant changes in costs and capital commitment have to be extrapolated before being transferred to the calculation scheme of the EVA. The extrapolation compensates the fact that the simulation and the calculated financial impact merely refer to the relationship between the companies SC₁ and SC₂. In order to consider an individual adoption of the SCI on a specific base of suppliers and customers the calculated effects have to be extrapolated.

According to Eq. (13), the supply and demand side of company SC₁ is segmented as shown in Eq. (16). This classification leads to the extrapolation factors $ex_{R_1^{SC_1}}^s = 2.6$, $ex_{R_2^{SC_1}}^s = 2.2$ and $ex_{R_3^{SC_1}}^s = 2.3$ on the supply side. On the demand side the extrapolation factors are $ex_{P_1^{SC_1}}^d = 1.5$, $ex_{P_2^{SC_1}}^d = 1.7$ and $ex_{P_3^{SC_1}}^d = 2.8$, respectively. The extrapolation of the measured effects of company SC₁ leads to a decrease in capital commitment of 35'750 CHF at average. The reductions of inventory carrying, order processing and set up costs result in savings of 55'600 CHF. Considering a WACC of 8% and a tax rate of 22%, the extrapolated effects lead to an increase of the EVA by 46'230 CHF. Since the generated value is of sustainable character, the EVA is discounted to five periods. Although the discounting can cover any amount of years, in this case, the future effects are considered for five periods to meet market dynamics and technological changes.

The WACC is used for the discounting. The discounting results in a change of EVA by roughly 199'300 CHF.

$$E_{SC_i}^s = \begin{pmatrix} 0.15 & 0.09 & 0.07 \\ 0.24 & 0.11 & 0.09 \\ 0.03 & 0.06 & 0.16 \end{pmatrix} \text{ and } E_{SC_i}^d = \begin{pmatrix} 0.2 & 0.12 & 0.05 \\ 0.1 & 0.08 & 0.09 \\ 0.14 & 0.08 & 0.14 \end{pmatrix} \quad (16)$$

Considering company SC₂, an extrapolation of the demand-sided effects is not needed, since the data fed to the system already refers to the whole group of customers SC₂ works as subcontractor for. Since the effects for SC₂ are just demand-sided, an extrapolation on the supply side is unnecessary (savings due to fewer orders placed at SC₁ are significantly low). Therefore, the cost savings of the implementation of service level agreements on the demand side sums up to 60'000 CHF which results under consideration of a tax rate of 20% and a WACC of 6% to a value contribution of 79'000 CHF. A five period discounting generates an increase of 314'000 CHF.

The value generated by the SCI for both companies sums up to 513'000 CHF. Since the improvement of the forecast accuracy has also impact on the up- and downstream echelons the calculated value is just an excerpt of the overall value. For the determination of the overall EVA along the supply chain the other echelons have to be considered as well. However, investment costs are not considered in the calculation made.

7 Discussion

The approach introduced in this paper marks a measurement method for an SCI's value in advance. Although the approach is to distinguish from the predominant qualitative ones in research, there are still some limitations. The subsequent discussion can be separated into research- and application-oriented considerations.

7.1 Research-oriented considerations

The simulation merely focuses on the material flow and the respective information flow. The financial flow is disregarded which limits the variety of SCIs that can be potentially analyzed by the approach. For example, initiatives accelerate payments between supply chain partners so that the cash-to-cash cycle time is reduced cannot be displayed by the presented approach. In terms of further research, the financial flow can be integrated within the simulation by linking shipments and payments with time. Another less complex option is the static design of the cash-to-cash cycle in the input interface of the simulation and integration in the extrapolation approach. However, in both possibilities the cash-to-cash cycle is the relevant point of contact.⁵³

Concentrating on the material flow does not only neglects changes in financial flow-related assets (e.g. accounts receivable) but also specific costs. In the approach, inventory carrying and administrative costs are modeled, while other costs, such as transportation costs, are disregarded. However, the value drivers cost and capital commitment

⁵³ Hutchison/Farris II/Fleischman (2009); Randall/Farris II (2009).

are considered partly, while the effects on revenues are excluded completely. In further research, some of the mentioned shortcomings can be addressed by integrating specific modules, for instance, transportation costs.⁵⁴ In the case of revenues, a consideration is more complicated for the dependency of external factors as for example decision-making of customers. Further research could get methodic-instrumental insights in the relation between logistics service levels, customer satisfaction and market share or revenues.⁵⁵

The above mentioned limitations influence the applicability of the model introduced. Accordingly, the suitability of SCIs is restrained to activities addressing the material flow which implicates the applicability for manufacturing companies. The configuration of the simulation is not recommendable for the use of trading or service companies.

Further research-oriented limitations arise from the chronology in which the decision-making process takes place in. The introduced approach gives neither any implication to how the SCI which is objective of the analysis is derived from nor to the usage of the approach's results. Consequently, a standardized routine for analyzing a supply chain and deriving SCIs for raising cost savings and revenue increasing potentials has to be pursued by further research.⁵⁶ The question of utilizing the results generated by the quantification approach is linked to the implementation of a SCI. In this context issues, such as risk-allocation, market-power and trust in the supply chain are of importance and need to be considered in further research.⁵⁷

Finally, the approach has been developed and adjusted on the basis of exploratory expert interviews using the data from the companies of the consumer goods and pharmaceutical industry involved in the afore-mentioned research project. To ensure representativeness, the next step in research might be a large-scale testing.⁵⁸ The results can be used, for instance, to develop differentiated adjustments of tolerances according to industries or company size. The data gained by a large-scale testing can be used for further sensitivity analyses of key parameters.⁵⁹

7.2 *Application-oriented considerations*

Practical considerations arise in cases of highly fragmented demand sides. For instance, the pharmaceutical and automotive industries are characterized by a few large OEMs and many small buyers. In this case the generating of the output data between specific supply chain partners and the subsequent extrapolation is not recommended for the preparation of the input data is difficult. The extrapolation amplifies impreci-

⁵⁴ E.g., Berman/Wang (2006).

⁵⁵ E.g., Anderson/Fornell/Lehmann (1994); Ballou (2006).

⁵⁶ Foggin/Mentzer/Monroe (2004); Salama/Luzzatto/Sianesi/Towill (2009).

⁵⁷ Ojala/Ahllikas (2006); Panayides/Venus Lun (2009); Zhao/Huo/Flynn/Yeung (2008).

⁵⁸ Mangan/Lalwani/Gardner (2004).

⁵⁹ Kleijnen (1995); Kleijnen (2007).

sion in the input data. This effect can be avoided by merging the data of a group of small customers into a larger representative player. In this case the extrapolation is not necessary any more. This limitation is closely linked with the linear characteristic of the extrapolation which can be improved by further research, as for example implementing specific extrapolation functions.⁶⁰

Besides the mentioned conceptual constraints, there are some application-oriented limitations that occur in exceptions. For instance, if an SCI enables a company to utilize its production capacities more efficiently, the outcome of finished goods becomes higher. In a *ceteris paribus* viewing, the raised production numbers imply higher inventory levels. Although the increased outcome leads to positive effects on revenues, the measured consequences on the EVA might be negative, for only inventory levels and related costs are considered in the model. A relief can be obtained by integrating revenue data into the simulation model.

The input data processed by the simulation is characterized by a high degree of complexity which is caused by the differentiated consideration of the material flow in terms of products as well as suppliers and customers. The data can be made available by estimation, calculation by hand or integration of the quantification approach to an Enterprise Resource Planning (ERP) system. However, in every case the timely effort in data collection is very high and needs the support by key decision-makers who have to provide required resources.

8 Conclusion

The paper at hand presents an approach for the determination of the economic value generated by a SCI. The determination is based on a conceptual framework and provided by a system dynamics simulation focusing the material flow. On both the supply and the demand side the material flow is segmented into three arbitrary product types. This differentiation enables an emphasis on product types which are addressed by the analyzed SCI. Hence, the data read out from the simulation refers to the material flow and related costs. For each product type the changes in inventory levels and related material handling costs were measured and transferred to the EVA to calculate the value generated by the SCI. The simulation is embedded in an inductive quantification approach. This means the effects of a SCI are measured between specific supply chain players. The simulation is run for each single supply chain player and the output data is extrapolated to a individual supplier and customer base, respectively.

In a summary, the presented approach is useful to gain insights into the relation between SCM and its financial impact. On a strategic level it supports top management in decision-making of whether implementing an SCI or not. On an operational level it can be used to convince supply chain partners in participating in an SCI. In this context the information provided by the approach gives insights how effects on costs and inventory are allocated along a supply chain. As a side effect, it helps to optimize in-

⁶⁰ DeLosh/Busemeyer/McDaniel (1997); Kwantes/Neal (2006).

ventory policies from a value-based performance perspective. In order to reduce complexity, the basic parameters can be easily comprehended and even calculated manually.

9 References

- Anderson, E. W.; Fornell, C.; Lehmann, D. R. (1994): Customer satisfaction, market share and profitability: Findings from Sweden, in: *Journal of Marketing*, 58(3), pp. 53-66.
- Ashayeri, J.; Lemmes, L. (2006): Economic value added of supply chain demand planning: A system dynamics simulation, in: *Robotics Computer-Integrated Manufacturing*, 22(5/6), pp. 550-556.
- Ballou, R.; Gilbert, S.; Mukherjee, A. (2000): New managerial challenges from supply chain opportunities, in: *Industrial Marketing Management*, 29(1), pp. 7-18.
- Ballou, R. H. (2006): Revenue estimation for logistics customer service offerings, in: *The International Journal of Logistics Management*, 17(1), pp. 21-37.
- Berman, O.; Wang, Q. (2006): Inbound logistics planning: minimizing transportation and inventory cost, in: *Transportation Science*, 40(3), pp. 287-299.
- Bookbinder, J. H.; Lynch, M. E. (1997): Customer service in physical distribution: A utility-function approach, in: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 27(9/10), pp. 540-559.
- Boyd, D.; Kronk, L.; Skinner, R. (2002): The effects of just-in-time systems on financial accounting metrics, in: *Industrial Management & Data Systems*, 102(3), pp. 153-164.
- Brealey, R. A.; Myers, S. C. (2009): *Principals of corporate finance*, 7th ed., Boston.
- Brewer, P. C.; Speh, T. W. (2000): Using the Balanced Scorecard to measure supply chain performance, in: *Journal of Business Logistics*, 21(1), pp. 75-93.
- Cachon, G.; Lariviere, M. (2001): Contracting to assure supply: How to share demand forecasts in a supply chain, in: *Management Science*, 47(5), pp. 629-646.
- Cachon, G.; Terwiesch, C. (2009): *Matching supply with demand – An introduction to operations management*, 2nd ed., New York.
- Cooper, M. C.; Lambert, D. M.; Pagh, J. D. (1997): Supply chain management: More than a new name for logistics, in: *International Journal of Logistics Management*, 8(1), pp. 1-14.
- D'Avanzo, R.; von Lewinski, H.; and Van Wassenhove, L. (2003): The link between supply chain and financial performance, in: *Supply Chain Management Review*, 7(11-12), pp. 40-47.
- DeLosh, E. L.; Busemeyer, J. R.; McDaniel, M. A. (1997): Extrapolation: The sine qua non for abstraction in function learning, in: *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 23(4), pp. 968-986.
- Dresner, M.; Xu, K. (1995): Customer service, customer satisfaction, and corporate performance in the service sector, in: *Journal of Business Logistics*, 16(1), pp. 23-40.
- Ellram, L. M.; Liu, B. (2002): The financial impact of supply management, in: *Supply Chain Management Review*, 6(6), pp. 30-37.
- Everaert, P.; Bruggeman, W.; Sarens, G.; Anderson, S.; Levant, Y. (2008): Cost modeling in logistics using time-driven ABC, in: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 38(3), pp. 172-191.
- Fisher, M. (1997): What is the right supply chain for your product?, in: *Harvard Business Review*, 75(2), pp. 105-116.
- Foggin, J. H.; Mentzer, J. T.; Monroe, C. L. (2004): A supply chain diagnostic tool, in: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 34(10), pp. 827-855.
- Ganeshan, R.; Boone, T.; Stenger, A. (2001): The impact on inventory and flow planning parameters on supply chain performance: an exploratory study, in: *International Journal of Production Economics*, 71(1-3), pp. 111-118.

- Grant, D. B.; Lambert, D. M.; Stock, J. R.; Ellram, L. M. (2006): *Fundamentals of logistics management*, European ed., Berkshire.
- Gunasekaran, A.; Patel, C.; Tirtiroglu, E. (2001): Performance measures and metrics in a supply chain environment, in: *International Journal of Operations & Production Management*, 21(1/2), pp. 71-87.
- Hofmann, E.; Locker, A. (2009): Value-based performance measurement in supply chains: a case study from the packaging industry, in: *Production Planning & Control*, 20(1), pp. 68-81.
- Holweg, M.; Bicheno, J. (2002): Supply chain simulation – a tool for education, enhancement and endeavor, in: *International Journal of Production Economics*, 78(2), pp. 163-175.
- Hutchison, P. D.; Farris II, M. T.; Fleischman, G. M. (2009): Supply chain cash-to-cash – A strategy for the 21st century, in: *Strategic Finance*, 91(1), pp. 41-48.
- Kasanen, E.; Lukka, K.; Siitonen, A. (1993): The constructive approach in management accounting research, in: *Journal of Management Accounting Research*, 5(1), pp. 243-264.
- Kleijnen, J. (1995): Sensitivity analysis and optimization of system dynamics models: regression analysis and statistical design of experiments, in: *System Dynamics Review*, 11(4), pp. 275-288.
- Kleijnen, J. (2007): *Design and analysis of simulation experiments*, 1st ed., Berlin.
- Kleijnen, J.; Smits, M. (2003): Performance metrics in supply chain management, in: *Journal of the Operational Research Society*, 54(5), pp. 507-514.
- Kwantes, P. J.; Neal, A. (2006): Why people underestimate y when extrapolating in linear functions, in: *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 32(5), pp. 1019-1030.
- LaLonde, B. J.; Zinszer, P. H. (1976): *Customer Service. Meaning and Measurement*, The National Council of Physical Distribution Management, Chicago.
- Lambert, D. M.; Cooper, M. C.; Pagh, J. D. (1998): Supply chain management: implementation issues and research opportunities, in: *The International Journal of Logistics Management*, 9(2), pp. 1-19.
- Lambert, D. M.; Burduroglu, R. (2000): Measuring and selling the value of logistics, in: *The International Journal of Logistics Management*, 11(1), pp. 1-17.
- Lambert, D. M.; Pohlen, T. L. (2001): Supply chain metrics, in: *International Journal of Logistics Management*, 12(1), pp. 1-19.
- Lambert, D. M.; Stock, J. R. (2001): *Strategic Logistics Management*, 4th ed., Boston.
- Lau, R. S. M.; Xie, J.; Zhao, X. (2008): Effects of inventory policy on supply chain performance: A simulation study of critical decision parameters, in: *Computers & Industrial Engineering*, 55(3), pp. 620-633.
- Lee, H.; Padmanabhan, V.; Whang, S. (2004): Information distortion in a supply chain: The bullwhip effect, in: *Management Science*, 50(12), pp. 1875-1886.
- Mangan, J.; Lalwani, C.; Gardner, B. (2004): Combining quantitative and qualitative methodologies in logistics research, in: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 34(7), pp. 565-578.
- Meredith, J. (1993): Theory building through conceptual methods, in: *International Journal of Operations and Production Management*, 13(5), pp. 3-11.
- Neely, A.; Gregory, M.; Platts, K. (1995): Performance measurement system design: A literature review and research agenda, in: *International Journal of Operations & Production Management*, 15(4), pp. 80-116.
- Neely, A. (2005): Performance measurement system design: A literature review and research agenda, in: *International Journal of Operations & Production Management*, 25(12), pp. 1228-1263.
- Ojala, M.; Hallikas, J. (2006): Investment decision-making in supplier networks: Management of risk, in: *International Journal of Production Economics*, 104(1), pp. 201-213.
- Ozment, J.; Chard, N. (1986): Effects of customer service on sales: An analysis of historical data, in: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 16(3), pp. 14-28.

- Panayides, P. M.; Venus Lun, Y. H. (2009): The impact of trust on innovativeness and supply chain performance, in: *International Journal of Production Economics*, 122(1), pp. 35-46.
- Persson, F.; Olhager, J. (2002): Performance simulation of supply chain designs, in: *International Journal of Production Economics*, 77(3), pp. 231-245.
- Pohlen, T. L.; Coleman, B. J. (2005): Evaluating internal operations and supply chain performance using EVA and ABC, in: *SAM Advanced Management Journal*, 70(2), pp. 45-58.
- Randall, W. S.; Farris II, M. T. (2009): Supply chain financing: Using cash-to-cash variables to strengthen the supply chain, in: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 39(8), pp. 669-689.
- Riddalls, C. E.; Bennett, S.; Tipi, N. S. (2000): Modelling the dynamics of supply chains, in: *International Journal of Systems Science*, 31(8), pp. 969-976.
- Salama, K. F.; Luzzatto, D.; Sianesi, A.; Towill, D. R. (2009): The value of auditing supply chains, in: *International Journal of Production Economics*, 119(1), pp. 34-45.
- Shapiro, J. F. (2007): *Modeling the supply chain*, 2nd ed., Belmont.
- Simchi-Levi, D.; Kaminsky, P.; Simchi-Levi, E. (2008): *Designing and managing the supply chain: concepts, strategies, and case studies*, 3rd ed., Boston.
- Sterman, J. D. (2000): *Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*, Homewood.
- Stewart III, G. B. (1991): *The quest for value*, New York.
- Terzi, S.; Cavalieri, S. (2004): Simulation in the supply chain context: a survey, in: *Computers in Industry*, 53(1), pp. 3-16.
- Timme, S.; Williams-Timme, C. (2000): The Financial-SCM connection, in: *Supply Chain Management Review*, 4(5-6), pp. 32-43.
- Tracey, M. (1998): The importance of logistics efficiency to customer service and firm performance, in: *The international Journal of Logistics Management*, 9(2), pp. 65-81.
- van Hoek, R. (1998): Measuring the unmeasurable – measuring and improving performance in the supply chain, in: *Supply Chain Management: An International Journal*, 3(4), pp. 187-192.
- Vohra, N. D. (2007): *Quantitative techniques in management*, 3rd ed., New Delhi.
- Wikner, J.; Towill, D.; Naim, M. (1991): Smoothing supply chain dynamics, in: *International Journal of Production Economics*, 22(3), pp. 231-248.
- Wouters, M. (2006): Implementation costs and redistribution mechanisms in the economic evaluation of supply chain management initiatives, in: *Supply Chain Management: An International Journal*, 11(6), pp. 510-521.
- Yeung, A. C. (2008): Strategic supply management, quality initiatives, and organizational performance, in: *Journal of Operations Management*, 26(4), pp. 490-502.
- Zadeh, L. A. (1996): Fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy systems: Selected papers of Lotfi A. Zadeh, in: Zadeh, L. A.; Klir, G. J.; Yuan, B. (Eds.), River Edge.
- Zhao, X.; Lee, T. S. (1993): Freezing the master production schedule for material requirements planning systems under demand uncertainty, in: *Journal of Operations Management*, 11(2), pp. 185-205.
- Zhao, X.; Huo, B.; Flynn, B. B.; Yeung, J. H. Y. (2008): The impact of power and relationship commitment on the integration between manufacturers and customers in a supply chain, in: *Journal of Operations Management*, 26(3), pp. 368-388.

Distributive Justice in Supply Chains – Fair Distribution of Collectively Earned Profits in Supply Chains

Susanne Jene

Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement,
Universität Duisburg-Essen, Campus Essen, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften,
Universitätsstr. 9, 45141 Essen,
susanne.jene@pim.uni-due.de

Stephan Zelewski

Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement,
Universität Duisburg-Essen, Campus Essen, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften,
Universitätsstr. 9, 45141 Essen,
stephan.zelewski@pim.uni-due.de

Abstract

The issue how to create profit in a network especially in supply chains is often discussed in scientific publications. But most of those scientific publications only analyze which structures, processes and actions can contribute to the creation of profit. How those collectively achieved profits can be distributed in a network of autonomous actors is often disregarded. Distributive justice, or fair distribution of collectively created profits, is one of the most important means of securing the stability of networks. This paper therefore presents a proposal for an operationalization of the fairness term from an economic perspective. This proposal is specific to the distribution of profits in networks of autonomously acting corporations and to especially supply chains. It is based on an innovative cooperative game theory approach, the χ -value. A simple and comprehensible example is used to illustrate the calculation of the χ -value.

1 Introduction

1.1 Research gap

Inter-organizational co-operation can generally be defined as *networks of autonomous actors*, in which every actor represents a legally autonomous corporation that hence is not subject to directions. In this paper it is also implied that co-operations are based on voluntary collaborations that are economically beneficial to each corporation involved. Such circumstances arise, for example, in supply chains that strictly speaking are supply webs, innovation and production networks, and virtual corporations. Supply chains as a special form of inter-organizational co-operations of legally autonomous corporations are in the focus of this paper.

The reason why corporations co-operate is to achieve special *profits* which cannot be realized without co-operating. The *creation of profits* in networks of autonomous actors, and especially supply chains, is often disputed. Basic theoretical considerations show that central coordination of collaboration based on the division of labor of several actors can never yield worse, and often yield better economic results than the aggregation of many partial plans that are locally “optimized” by each actor. However, total-planning models based on such a central coordination approach fail most of the time on account of unachievable assumptions relating to the availability of current and detailed information.

A large number of scientific publications and practical studies are devoted to the issue how to gain profits in supply chains or generally in co-operations. Those publications and studies show that the mutual adjustment of the actors with regard to their action plans as a central coordination approach normally yields higher economic values than if the actors optimize their action plans locally and without collaboration.¹ At the same time, the so-called bullwhip effect represents an important empirical indication for the possibility of collectively achieving profits in supply chains through co-operation.²

The bullwhip effect describes in particular how corporations build inventory buffers based on the demand of their customers: the further the corporation from the final customer, the greater the “safety stock” in times of rising demand. The cost of capital invested in oversized stock inventory buffers causes inefficiency, and thus co-operation profits can be realized by jointly avoiding or reducing the bullwhip effect. Evidence of the practical relevance of the bullwhip effect to supply chain management is provided by studies of its financial consequences.³ Based on available estimates of the cost of the bullwhip effect, corporations should be able to increase their profits – depending on the source – by 8.4 to 20.1%⁴ or by 10 to 30%⁵ by avoiding it.

¹ cf. Li et al. (2009), pp. 88-99; Mahdavi et al. (2008), pp. 1-20; Saharidis et al. (2009), pp. 117-126; Xiao et al. (2009), pp. 1-15; Zhang (2006), pp. 283-295.

² cf. Lee et al. (1997), p. 78; see also Croson/Donohue (2006), pp. 323-336; Keller (2004), p. 11; Krol et al. (2005), pp. 281-289; McCullen/Towill (2002), p. 164; Metters (1997), S. 89-94.

³ cf. McCullen/Towill (2002), p. 164; Metters (1997), pp. 93-97.

⁴ cf. McCullen/Towill (2002), p. 170.

⁵ cf. Metters (1997), pp. 89.

Most scientific publications on the subject of supply chain management *only* analyze which structures, processes and actions can contribute to the co-operative *creation* of profits. But how the *distribution* of profits that were collectively achieved in an inter-organizational supply chain can influence the stability of such a supply chain is often *disregarded*. For example, Sarmah, Acharya and Goyal note after an extensive overview of the state of the art in achieving co-operation profits by supply chain management: “Most of these papers have ignored the mechanism to divide the surpluses generated due to coordination between the parties”⁶. In a similar way, Crook and Combs observe that: “Little attention has been paid to how the gains attributable to SCM are distributed”⁷.

This neglect of those distribution aspects represents a significant *research gap*. The formation and the drifting apart of networks generally depend on the actors accepting the collectively gained profit as fair. If they regard the distribution of hoped for or already realized co-operation profits as fair they form a network or stay in it. If only one or more actors of a network perceive that the co-operation profit is not distributed in a fair way especially if his share of the profit seems to him to be too small, he would not continue to collaborate within the network. Consequently the network would fall apart. Distributive justice, or fair distribution of collectively created profits, is accordingly one of the most important approaches to secure the stability of networks in political, socio-scientific and behavior-economic publications on the subject of network theory.

1.2 Scientific Problem

This paper examines the *scientific problem* of how the co-operation profits can be distributed to the actors as network partners in such a way that all actors regard the *distribution outcome* as *fair*. To solve this problem, *scientific methods* from the area of *game theory* will be applied. Aspects informing the choice of methods are that the networks or supply chains considered here consist of legally independent corporations (autonomous actors), who each pursue their own interests and do not have to comply with the instructions of their co-operation partners.

The *relevant literature* includes multiple contributions that draw on cooperative game theory to try and answer the problem of how profits that were collectively achieved in a network of autonomous actors can be distributed among the network partners in a fair way. Examples include the analysis of Cachon and Zipkin, Fromen, Gjerdrum et al., Inderfurth and Minner, Minner, Sucky, Thun as well as Voß and Schneiderei.⁸ These contributions cannot be referenced in detail on account of the brevity of this article. However, they all share common ground in that they only cover the scientific and practical problem of *fairness* of co-operation profit distributions superficially.

⁶ cf. Sarmah et al. (2007), p. 1470.

⁷ cf. Crook/Combs (2007), p. 546.

⁸ cf. Cachon/Zipkin (1999); Fromen (2004); Gjerdrum et al. (2001); Inderfurth/Minner (2001); Minner (2007), pp. 579-582; Sucky (2004a), pp. 189-218; Sucky (2004b), pp. 493-513.; Sucky (2005), pp. 258-261; Thun (2005) and Voß/Schneiderei (2002).

Usually, a solution concept from cooperative game theory is used, whose fairness or acceptability is implied, but not closely reflected. This applies above all for the application of the Shapley value⁹, the nucleolus¹⁰ as well as the cooperative Nash solution.¹¹ Only Fromen discusses a wide selection of different solution concepts of cooperative game theory.¹² He examines them mostly from a mathematical and analytical perspective, but not from the pragmatic viewpoint of their acceptability as fair solution concepts.¹³

1.3 Solution approach

In this paper an *innovative approach* to fair distribution outcomes is presented. This approach rejects the idea of taking a solution concept from cooperative game theory as a “given” and applying it to a profit distribution problem on the naive assumption that the resulting distribution outcome will be accepted as fair. By making assumptions regarding the rationality of the actors it instead limits gradually the space of generally possible outcomes. If these assumptions are accepted as “reasonable”, the result is a specific solution concept from cooperative game theory rarely found in the economic literature, the so-called χ -value. The *fairness* of the χ -value and the associated distribution outcomes is *justified* by the acceptability of the gradually established assumptions regarding the “reasonable” limitation of the valid solution space. It will be shown that these assumptions cannot be equated with the formalistic axioms of conventional game theory. It is not a matter of abstract, artificial mathematical characteristics, but of intuitively understandable and, from an economic perspective, strong assumptions to a game theory concept designed to solve the above mentioned scientific – but also practical – problem of fair distribution of co-operation profits in networks of autonomous actors.

2 Introduction to game theoretical solution concepts

The following four requirements are considered to be important for game theory modeling of the problem of determining fair distributions of profits:

1. It must be possible to explicate the different scopes for alternative distribution outcomes that emerge from different assumptions regarding the rationality of the actors.
2. Distribution outcomes determined by the solution concepts must be justifiable in order for the proposed solutions to be accepted as fair distribution outcomes.
3. The solution of the distribution problem must be communicated easily in the supply chain.
4. There must be only one unique solution to the distribution problem.

⁹ cf. Thun (2005); Voß/Schneidereit (2002); Shapley (1953).

¹⁰ e.g. Meertens/Potters (2006); Fromen 2004; Voß/Schneidereit (2002); Schmeidler (1969).

¹¹ e.g. Sucky (2004a), pp. 201-205.

¹² cf. Fromen (2004), pp- 95-142.

¹³ For a detailed discussion of the current situation outlined above, see Zelewski (2009), pp. 30–34.

The starting point for the cooperative distribution game is the *generic distribution problem* of distributing a profit or, synonymously, a co-operation profit G with $G \in \mathbb{R}_{>0}$ (where $\mathbb{R}_{>0}$ is the set of all positive real numbers) among the N autonomous actors A_n of a supply chain (with $n = 1, \dots, N$, $N \in \mathbb{N}$ and $N \geq 2$, where \mathbb{N} is the set of all natural numbers). In cooperative game theory, a two-step standard approach to solving this generic distribution problem exists.

The first step is to develop a characteristic function c . This function refers to all possible coalitions which could be formed by the actors in the relevant supply chain. Moreover, “degenerate” coalitions formed by one actor are feasible. Therefore, a coalition C_m is a non-empty subset of the set A of all actors in the supply chain: $\emptyset \subset C_m \subseteq A$ with $A = \{A_1, \dots, A_N\}$. For each characteristic function c , it is assumed with \wp as power set operator that: $c: \wp(A) \rightarrow \mathbb{R}_{\geq 0}$ with $C_m \rightarrow c(C_m)$ for each coalition C_m and $\emptyset \rightarrow c(\emptyset) = 0$. Such a characteristic function assigns the amount $c(C_m)$ the respective coalition C_m can claim with good reason. In the case of the grand coalition $C_0 = A$, this is the overall co-operation profit G : $c(C_0) = G$. For all other coalitions C_m with $\emptyset \subset C_m \subset A$, these are the amounts $c(C_m)$ these coalitions C_m could realize on their own outside the grand coalition C_0 and therefore in competition with the rest of the grand coalition, i.e. the residual coalition RC_m where $RC_m = C_0 \setminus C_m$.

In the second step, the shape of a distribution function v where $v: A \rightarrow \mathbb{R}_{\geq 0}$ and $A_n \rightarrow v(A_n) = v_n$ for each actor A_n is determined by calculating the distribution function values v_n . Only two information sources are considered to calculate these values. These are the amounts each feasible coalition C_m can claim due to the characteristic function c from the first step. At the same time the applied game theory solution concept specifies how the distribution function values v_n are calculated based on the values $c(C_m)$ of the characteristic function c for all feasible coalitions C_m where $m = 0, 1, \dots, 2^N - 2$. When all distribution function values v_n are determined, the result is a N -tuple $v = (v_1, \dots, v_N)$ as a solution v for the respective regarded instance of the generic distribution problem. Every solution v assigns a share v_n of the co-operation profit G to each actor A_n of the supply chain. This N -tuple v is formally equivalent to a solution point L in the N -dimensional non-negative real number space $\mathbb{R}_{\geq 0}^N$. The solution point L is represented as a column vector \vec{v} , whose transposed representation denoted by a superscript letter (T) is: $\vec{v} = (v_1, \dots, v_N)^T$.

From a management point of view, this standard approach of cooperative game theory is *unsatisfactory*. Its main weakness lies in the characteristic function c , which is assumed to be known in conventional game theory analyses. This information premise is rather unrealistic since in actual practice it is often not known for each feasible coalition C_m which value $c(C_m)$ is reasonably appropriate for the respective coalition. A practicable game theory solution concept should therefore make it possible to calculate the values v_n without full knowledge of the characteristic function c . Such a solution concept should refer to as few coalitions as possible to calculate the values v_n for all actors A_n . Minimal knowledge is thus added as a fifth requirement to be satisfied by any solution concept for the fair distribution of profits achieved in a supply chain.

3 Introducing the χ -value

3.1 Formulation of basic assumptions

The χ -value harkens back to contributions by Bergantiños and Massó from 1994.¹⁴ Up to now, it has only been picked up on rarely¹⁵ and, in the area of economic research at least, is still widely unknown. The χ -value is a remarkable game theory solution concept for the generic distribution problem, as the following paragraphs will show.

The basic idea of the χ -value solution concept is to restrict the solution space $\mathbb{R}_{\geq 0}^N$ for the generic distribution problem by successively adding five assumptions which stem from the real problem of distributing profits achieved co-operatively in a supply chain among the co-operating actors. The following arguments yield to the χ -value as a “reasonable” solution to the generic distribution problem that is in principle acceptable as a fair distribution outcome.

The first assumption is the *condition of individual rationality*. This condition assumes that every actor in a supply chain acts rationally in the conventional sense of perfect rationality. This means that each actor maximizes his or her individual utility. The condition of individual rationality places a restriction on the solution space $\mathbb{R}_{\geq 0}^N$, since it would not be rational for an actor A_n to participate in the supply chain within the grand coalition C_0 if this coalition yields a smaller utility for this actor compared to if he or she left the coalition and realized the amount $c(\{A_n\})$ outside the supply chain. Thus the condition of individual rationality can be formulated with the characteristic function c and the feasible solution point L within the solution space as follows:

$$\forall L \in \mathbb{R}_{\geq 0}^N: L = (v_1, \dots, v_N)^T \geq (c(\{A_1\}), \dots, c(\{A_N\}))^T \quad (1)$$

The second assumption is the *efficiency condition*. This condition requires the profit or co-operation profit G to be distributed exactly (“efficiently”) among all actors A_n of the grand coalition $C_0 = \{A_1, \dots, A_N\}$. While it would be irrational to distribute less than the profit G , because this would necessarily entail a loss of Pareto optimality, it is also impossible to distribute more than the profit G . Thus the following equation will hold true for every feasible solution L and the value $c(C_0)$ of the characteristic function c :

$$\forall L \in \mathbb{R}_{\geq 0}^N: L = (v_1, \dots, v_N)^T \rightarrow \sum_{n=1}^N v_n = c(C_0) = G \quad (2)$$

A further restriction of the solution space $\mathbb{R}_{\geq 0}^N$ is implied by the efficiency condition. Hence all the solutions of the distribution problem that fulfill the assumption of efficiency are solution points L on a hyper plane H in the N -dimensional solution space $\mathbb{R}_{\geq 0}^N$. This hyper plane H is defined as the set of all solutions $v = (v_1, \dots, v_N)$ of the distribution problem that fulfill the equation on the right hand side of the sub-junction of formula (2).

¹⁴ cf. Bergantiños/Massó (1994); Bergantiños/Massó (1996); Bergantiños et al. (2000); Bergantiños/Massó (2002).

¹⁵ e.g. Sánchez-Soriano (2000).

The third assumption is the *rationality condition for maximum allocable shares of the profit*. This condition has the character of a condition of collective rationality, since it mirrors the rational consideration of all $N-1$ actors of the so-called marginal coalition MC_n where $MC_n = C_0 \setminus \{A_n\} = \{A_1, \dots, A_{n-1}, A_{n+1}, \dots, A_N\}$ to grant actor A_n at most the share $v_{n,max}$ of the profit G , so that the profit G would decrease if actor A_n left the grand coalition $C_0 = \{A_1, \dots, A_N\}$. This rationality condition requires the following where $c(C_0) = G$ from formula (2):

$$\begin{aligned} \forall n = 1, \dots, N \quad \forall v_n \in \mathbb{R}_{\geq 0} : \\ v_n \leq v_{n,max} \wedge v_{n,max} = c(C_0) - c(MC_n) = G - c(MC_n) \end{aligned} \quad (3)$$

This assumption can be generalized in such a way that the profit $c(C_m)$ of *each* coalition C_m *including* actor A_n would decrease if actor A_n left this coalition C_m . It follows that the maximum allocable share $v_{n,max}$ of the profit G for one actor A_n is measured by the maximum amount $c(C_m) - c(C_m \setminus \{A_n\})$ that the profit $c(C_m)$ of *each* coalition C_m *including* actor A_n would decrease if actor A_n left this coalition C_m . For the reasons mentioned above, the third assumption will be replaced for the χ -value by the following generalized rationality condition for maximum allocable shares $v_{n,max}^\chi$:

$$\begin{aligned} \forall n = 1, \dots, N \quad \forall v_n \in \mathbb{R}_{\geq 0} : \quad v_n \leq v_{n,max}^\chi \wedge \dots \\ v_{n,max}^\chi = \max \left\{ c(C_m) - c(C_m \setminus \{A_n\}) \mid \emptyset \subset C_m \subseteq A \wedge \{A_n\} \subset C_m \right\} \end{aligned} \quad (4)$$

In the solution space, the point at which the maximum allocable share $v_{n,max}^\chi$ of the profit G is assigned to each actor A_n is called the upper bound *UB* or *ideal point* for the distribution of the profit G .

The fourth assumption is a *rationality condition for minimum allocable shares of the profit*. This condition also has the character of a collective rationality condition, since it reflects the rational consideration of all $N-1$ actors of the marginal coalition MC_n where $MC_n = C_0 \setminus \{A_n\}$ to grant actor A_n at least the share $v_{n,min}$ of the profit G with which he or she could credibly threaten to found at least one so-called outsider coalition $AC_{n,q}$. An outsider coalition is a coalition $AC_{n,q}$ of former actors of the grand coalition, which leaves the grand coalition C_0 at least hypothetically and has the actor A_n as “leader”. Since the same actor A_n can lead several outsider coalitions, the second index q is used to differentiate all outsider coalitions led by the same actor A_n .

For the χ -value, it is important which outsider coalitions $AC_{n,q}$ enable an actor A_n to threaten in a believable manner. In this paper, it is assumed that the characteristic function is partially known due to the amounts $c(AC_{n,q})$ for each outsider coalition led by an actor A_n . The actor A_n offers all other actors of the outsider coalition $AC_{n,q}$ an optimal incentive to defect. This incentive consists of so-called side payments and ensures that the utility of each other actor from the outsider coalition $AC_{n,q}$ is the same as his or her maximum utility as part of the grand coalition C_0 . In this case, the actors in an outsider coalition have no incentive to remain in the grand coalition C_0 . The operationali-

zation of the side payments takes place in the following way, with the amount $c(\{A_n\}|AC_{n,q})$ realizable by actor A_n in the outsider coalition $AC_{n,q}$ and with the index set $IN_{n,q}$ of indices of all actors belonging to this outsider coalition:

$$\forall \emptyset \subset AC_{n,q} \subset A: \{A_n\} \subset AC_{n,q} \rightarrow \dots \quad (5)$$

$$c(\{A_n\}|AC_{n,q}) = c(AC_{n,q}) - \sum_{m \in (IN_{n,q} \setminus \{n\})} v_{n,max}^\chi$$

The amounts $c(\{A_n\}|AC_{n,q})$ utilized by actor A_n in threatening to found an outsider coalition may be negative. There are two reasons for this. Firstly, the sum $\sum_{m \in (IN_{n,q} \setminus \{n\})} v_{n,max}^\chi$ of the side payments can be greater than the amount $c(AC_{n,q})$ realized by the outsider coalition $AC_{n,q}$. In this case, the leading actor A_n must withdraw the partial amount $\sum_{m \in (IN_{n,q} \setminus \{n\})} v_{n,max}^\chi - c(AC_{n,q})$ from savings or even incur debt. Secondly, if actor A_n is the sole actor in the outsider coalition $AC_{n,q}$ and thus the above mentioned side payments are not required, the amount $c(\{A_n\})$ may be negative as well. Actor A_n , for example, may not be competitive in the market without collaborating in the co-operation, for example, in a supply chain. In both cases, where $c(\{A_n\}|AC_{n,q}) < 0$, a threat would not be believable. Thus both cases are excluded from the rationality condition for minimum allocable shares of the profit. The complete rationality condition for minimum shares $v_{n,min}^\chi$ of the profit G to be allocated is as follows:

$$\forall n = 1, \dots, N \quad \forall v_n \in \mathbb{R}_{\geq 0}: v_n \geq v_{n,min}^\chi \quad \wedge \quad v_{n,min}^\chi = \max\{c_{n,1}; c_{n,2}; 0\}$$

where:

$$c_{n,1} = c(\{A_n\}|AC_{n,q}) = c(\{A_n\}) \quad \text{for} \quad AC_{n,q} = \{A_n\} \quad (6)$$

$$c_{n,2} = \max \left\{ \begin{array}{l} c(\{A_n\}|AC_{n,q}) = c(AC_{n,q}) - \sum_{m \in (IN_{n,q} \setminus \{n\})} v_{m,max}^\chi \quad \dots \\ \emptyset \subset AC_{n,q} \subseteq A \quad \wedge \quad \{A_n\} \subset AC_{n,q} \end{array} \right\}$$

As a side effect of this formulation of the rationality condition for minimum allocable shares of the profit, the condition of individual rationality according to formula (1) is implicitly covered as a borderline case of outsider coalitions $AC_{n,q}$ only including one actor A_n because of term $c_{n,1}$ in formula (6). Hence the condition of individual rationality does not in principle need to be listed explicitly as an assumption according to formula (1). In this article, however, it will be used to show that the condition of individual rationality is always respected.

The lower bound LB for the distribution of the profit G is that point in the solution space $\mathbb{R}_{\geq 0}^N$ at which the minimum allocable share $v_{n,min}$ of the profit G is assigned to each actor A_n . The lower bound $v_{n,max}^\chi$ is often called the *threat point*.

The fifth and last assumption is introduced as an *integrity condition* for the relation of the lower bound LB to the upper bound UB for the shares of the profit G to be distrib-

uted, as well as for the hyper plane H for compliance with the efficiency condition, in order to avoid certain complications outside the scope of this paper (for details of these complications due to the closely related τ -value see Zelewski, 2009, pp. 137-141 and 156-167):

$$\begin{aligned} & \forall LB, UB \in \mathbb{R}_{\geq 0}^N \forall G \in \mathbb{R}_{> 0} : \\ & \left(LB = \begin{pmatrix} v_{1.min}^\chi \\ \dots \\ v_{N.min}^\chi \end{pmatrix} \wedge UB = \begin{pmatrix} v_{1.max}^\chi \\ \dots \\ v_{N.max}^\chi \end{pmatrix} \wedge c(C_0) = G \right) \\ & \rightarrow \left(\sum_{n=1}^N v_{n.min}^\chi \leq G \leq \sum_{n=1}^N v_{n.max}^\chi \wedge LB \leq UB \right) \end{aligned} \quad (7)$$

3.2 The solution point of the χ -value

It can be shown that exactly one solution point L in the N -dimensional non-negative real number space $\mathbb{R}_{\geq 0}^N$ fulfills all five aforementioned assumptions for the generic distribution problem concerning individual and collective rationality, as well as efficiency and integrity, i.e. the formulas (1), (2), (4), (5), and (7). This unique solution point is the χ -value. The χ -value is a special solution point L_χ , which is determined by a convex or, in less precise but more intuitive terms, linear combination of the upper bound (ideal point) UB and the lower bound (threat point) LB with the weighting factor γ and $0 \leq \gamma \leq 1$. Therefore it must hold true that:

$$\begin{aligned} & \forall L, LB, UB \in \mathbb{R}_{\geq 0}^N \forall G \in \mathbb{R}_{> 0} : \\ & \left(L = \begin{pmatrix} v_1 \\ \dots \\ v_N \end{pmatrix} \wedge \sum_{n=1}^N v_n = G \wedge LB = \begin{pmatrix} v_{1.min}^\chi \\ \dots \\ v_{N.min}^\chi \end{pmatrix} \wedge UB = \begin{pmatrix} v_{1.max}^\chi \\ \dots \\ v_{N.max}^\chi \end{pmatrix} \right) \\ & \left(\wedge G \geq \sum_{n=1}^N c(\{A_n\}) \right) \\ & \rightarrow \left(\exists L_\chi \in \mathbb{R}_{\geq 0}^N \exists \gamma \in \mathbb{R}_{\geq 0} : L_\chi = \gamma \cdot LB + (1-\gamma) \cdot UB \wedge 0 \leq \gamma \leq 1 \right) \end{aligned} \quad (8)$$

After some simple transformations using the efficiency condition and with special regard to the frequently neglected degenerated case $\sum_{n=1}^N v_{n.max}^\chi = \sum_{n=1}^N v_{n.min}^\chi$, the common formula for calculating the χ -value produces:

$$\forall n = 1, \dots, N: v_n^\chi = \gamma \cdot v_{n.min}^\chi + (1-\gamma) \cdot v_{n.max}^\chi \quad (9)$$

where:

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{G - \sum_{n=1}^N v_{n.min}^\chi}{\sum_{n=1}^N v_{n.max}^\chi - \sum_{n=1}^N v_{n.min}^\chi}; & \text{if } \sum_{n=1}^N v_{n.max}^\chi \neq \sum_{n=1}^N v_{n.min}^\chi \\ \gamma &\in [0; 1]; & \text{if } \sum_{n=1}^N v_{n.max}^\chi = \sum_{n=1}^N v_{n.min}^\chi \end{aligned} \quad (10)$$

3.3 The χ -value in comparison to the τ -value

As before mentioned the in this paper introduced χ -value is closely related to the slightly more known τ -value. The τ -value was proposed for the first time by Tijs in 1980 as part of the “Seminar on game theory and mathematical economics”¹⁶. It was further developed by Tijs and Driessen.¹⁷

The χ -value can be seen as a generalization of the τ -value, because the χ -value has the same structure as the τ -value, and only one central assumption of the τ -value is replaced by a generalized assumption. In this context, the same structure means that the χ -value and the τ -value are so-called compromise solution concepts. They can be characterized by the solution for an instance of the generic distribution problem that is determined as a compromise value that mediates between an upper bound for maximum allocable shares of the profit and a lower bound for minimum allocable shares of the profit. The mediation between upper and lower bound is operationalized by the calculation of a convex combination of both bounds.

The difference between the χ -value and the τ -value is the limitation of the τ -value to quasi-balanced games. This limitation to quasi-balanced games can also be seen as a substantial weakness of the τ -value. The χ -value picks up on this weakness of the τ -value. It can be shown that the χ -value works without the integrity condition of quasi-balanced games.¹⁸

The central modification of the χ -value compared to the τ -value is made in the assumption concerning the *maximum* allocable shares of the co-operation profit. With the τ -value, the maximum allocable share $v_{n,max}$ of the profit G for an actor A_n is *only* measured by the amount $c(C_0) - c(C_0 \setminus \{A_n\})$ by which the profit G of the *grand* coalition $C_0 = \{A_1, \dots, A_N\}$ would decrease if actor A_n left this grand coalition C_0 . By contrast with the χ -value, the maximum allocable share $v_{n,max}$ of the profit G for one actor A_n is measured by the amount $c(C_m) - c(C_m \setminus \{A_n\})$ the profit G of *each* coalition C_m *including* actor A_n would decrease if actor A_n left this coalition C_m . Given that actor A_n always belongs to grand coalition C_0 , the limitation of the calculation of $v_{n,max}$ at the τ -value to the grand coalition C_0 represents a special case of the calculation of $v_{n,max}$ at the χ -value with $C_m = C_0$. Given that the χ -value in addition to the grand coalition C_0 also includes more coalitions C_m with $C_m \subset C_0$ in the calculation of $v_{n,max}$, according to this additional coalitions C_m the χ -value represents a *generalization* G of the τ -value.

¹⁶ cf. Tijs (1981).

¹⁷ cf. Driessen (1985); Driessen/Tijs (1982); Driessen/Tijs (1983); Driessen/Tijs (1985); Tijs (1987); Tijs/Driessen (1983); Tijs/Driessen (1986); see also Curiel (1997) and Zelewski (2009).

¹⁸ Bergantiños/Massó (1996), pp. 280-281.

4 A simple example for calculating the χ -value

4.1 Purpose of the example

The following example is artificially generated to keep it simple and comprehensible. The purpose of this example is to show how the χ -value can be applied in management practice to solve the problem of fair distribution of profits in supply chains.

This example should also illustrate what information is required in management practice in order to apply the χ -value in calculating profit distributions. In this example the necessary information is given. The gathering of the necessary information is neglected. In management practice, obtaining all values of the characteristic function c for all possible coalitions could prove particularly difficult. The problem of information gathering in practice will be addressed later on in chapter 5.

4.2 Calculation

For illustrative purposes, a simply structured fictitious example is considered. It is restricted to the number of $N = 5$ actors. The numerical values are chosen so that the necessary calculations remain relatively easy.

The numerical example considers a supply chain with 5 actors: A_1, \dots, A_5 . In the last corporation year, the actors jointly realized a profit G of \$ 100,000. This profit is to be distributed among the actors in a manner that these actors accept as fair. Firstly, to ensure the comparability with other game theory solution concepts, it is assumed that the values of the characteristic function c for the generic distribution game are known. Thus the values $c(C_m)$ are known for every possible coalition C_m which can be formed from the set of actors $A = \{A_1, \dots, A_5\}$. The values $c(C_m)$ are given in table 1 for all $2^5 - 1 = 31$ coalitions C_m where $m = 0, 1, 2, \dots, 30$.

C_m	$c(C_m)$	C_m	$c(C_m)$	C_m	$c(C_m)$
$C_0 = \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5\}$	100,000				
$C_1 = \{A_1\}$	0	$C_{11} = \{A_2, A_4\}$	25,000	$C_{21} = \{A_1, A_4, A_5\}$	55,000
$C_2 = \{A_2\}$	0	$C_{12} = \{A_2, A_5\}$	30,000	$C_{22} = \{A_2, A_3, A_4\}$	50,000
$C_3 = \{A_3\}$	0	$C_{13} = \{A_3, A_4\}$	30,000	$C_{23} = \{A_2, A_3, A_5\}$	55,000
$C_4 = \{A_4\}$	5,000	$C_{14} = \{A_3, A_5\}$	35,000	$C_{24} = \{A_2, A_4, A_5\}$	65,000
$C_5 = \{A_5\}$	10,000	$C_{15} = \{A_4, A_5\}$	45,000	$C_{25} = \{A_3, A_4, A_5\}$	70,000
$C_6 = \{A_1, A_2\}$	0	$C_{16} = \{A_1, A_2, A_3\}$	25,000	$C_{26} = \{A_1, A_2, A_3, A_4\}$	60,000
$C_7 = \{A_1, A_3\}$	5,000	$C_{17} = \{A_1, A_2, A_4\}$	35,000	$C_{27} = \{A_1, A_2, A_3, A_5\}$	65,000
$C_8 = \{A_1, A_4\}$	15,000	$C_{18} = \{A_1, A_2, A_5\}$	40,000	$C_{28} = \{A_1, A_2, A_4, A_5\}$	75,000
$C_9 = \{A_1, A_5\}$	20,000	$C_{19} = \{A_1, A_3, A_4\}$	40,000	$C_{29} = \{A_1, A_3, A_4, A_5\}$	80,000
$C_{10} = \{A_2, A_3\}$	5,000	$C_{20} = \{A_1, A_3, A_5\}$	45,000	$C_{30} = \{A_2, A_3, A_4, A_5\}$	90,000

Tab. 1: Values of the characteristic function c for all coalitions C_m

A prerequisite for calculation of the χ -value as a solution \underline{v}_χ where $\underline{v}_\chi = (v_{1,\chi}, \dots, v_{N,\chi})$ for the generic distribution game is that the values of the characteristic function c for all three types of coalition are available. That is, $c(C_0)$ must be available for the grand coalition $C_0 = \{A_1, \dots, A_5\}$, while $c(MC_n)$ is required for each marginal coalition MC_n where $n = 1, \dots, 5$ and $c(AC_{n,q})$ must be known for each outsider coalition $AC_{n,q}$. The value $c(C_0) = 100,000$ for the grand coalition C_0 is immediately available from table 1, since, according to the efficiency condition, the entire profit $G = 100,000$ must be distributed exactly among all 5 actors A_1, \dots, A_5 in the supply chain. The values $c(MC_n)$ for the marginal coalitions MC_n where $n = 1, \dots, 5$ can be determined with the aid of the definition $MC_n = C_0 \setminus \{A_n\}$ (results in table 2).

MC_n	$c(MC_n)$
MC_1	$c(\{A_1, \dots, A_5\} \setminus \{A_1\}) = c(\{A_2, A_3, A_4, A_5\}) = 90,000$
MC_2	$c(\{A_1, \dots, A_5\} \setminus \{A_2\}) = c(\{A_1, A_3, A_4, A_5\}) = 80,000$
MC_3	$c(\{A_1, \dots, A_5\} \setminus \{A_3\}) = c(\{A_1, A_2, A_4, A_5\}) = 75,000$
MC_4	$c(\{A_1, \dots, A_5\} \setminus \{A_4\}) = c(\{A_1, A_2, A_3, A_5\}) = 65,000$
MC_5	$c(\{A_1, \dots, A_5\} \setminus \{A_5\}) = c(\{A_1, A_2, A_3, A_4\}) = 60,000$

Tab. 2: Values of the characteristic function c for all marginal coalitions MC_n

The values $c(AC_{n,q})$ for the outsider coalitions $AC_{n,q}$, where $n = 1, \dots, 5$, can be obtained immediately from table 1. However, calculation of these values $c(AC_{n,q})$ requires a tremendous amount of work, since 75 ($5 \cdot 15 = n \cdot q$) feasible outsider coalitions must be considered. This calculation is therefore omitted for space reasons. It is significant that for the calculation of the values $c(AC_{n,q})$ for all possible combinations of outsider coalitions $AC_{n,q}$, the values of the characteristic function c for all possible coalitions C_m with $\emptyset \subset C_m \subset C_0$ need to be determined. Hence the above mentioned fifth requirement of minimal knowledge is not fulfilled by the χ -value. This is surprising, since it appears from the formulas (1) to (6) that, to determine the χ -value, only those values of the characteristic function c must be known that refer to the grand coalition C_0 , the marginal coalitions MC_n and the outsider coalitions $AC_{n,q}$. Only the concrete numeric calculation of the χ -value for the example considered here shows that calculation of the values $c(AC_{n,q})$ for the outsider coalitions $AC_{n,q}$ indirectly leads to the fact that the values $c(C_m)$ of the characteristic function c for *all* possible coalitions C_m with $\emptyset \subset C_m \subset C_0$ must be known.

The components $v_{n,max}$ of the upper bound UB (ideal point) are calculated with formula (3) on the basis of the values $c(C_0)$ and $c(MC_n)$ instead of the more complicated formula (4). This possibility of simplification relies on the fact that the example used here is a *convex game* (Curiel 1997, p. 3; Fromen 2004, p. 87; Zelewski 2009, p. 216). It was proven for the class of *convex games* that the χ -value coincides with the τ -value. Because the τ -value is calculated with the aid of formula (3), it is sufficient to use this formula here.

The value $c(C_0)$ is immediately given by the profit G to be distributed: $c(C_0) = G = 100,000$. Thus the components $v_{n,max}^\chi$ of the upper bound UB of the χ -value are those shown in table 3.

A_n	$v_{n,max}^\chi$
A_1	$c(C_0) - c(MC_1) = 100,000 - 90,000 = 10,000$
A_2	$c(C_0) - c(MC_2) = 100,000 - 80,000 = 20,000$
A_3	$c(C_0) - c(MC_3) = 100,000 - 75,000 = 25,000$
A_4	$c(C_0) - c(MC_4) = 100,000 - 65,000 = 35,000$
A_5	$c(C_0) - c(MC_5) = 100,000 - 60,000 = 40,000$

Table 3: Components $v_{n,max}^\chi$ of the upper bound UB of the χ -value

The components $v_{n,min}^\chi$ of the lower bound LB (threat point) of the χ -value are calculated with formula (6) for each of the 5 actors A_1 to A_5 . This calculation is shown as an example for actor A_4 :

$$v_{4,min}^\chi = \max\{c_{4,1}; c_{4,2}; 0\} = \max\{5,000; 5,000; 0\} = 5,000$$

Because:

$$c_{4,1} = c(\{A_4\} | AC_{4,1}) = c(\{A_4\}) = 5,000$$

$$c_{4,2} = \max\left\{c(\{A_4\} | AC_{4,q}) = c(AC_{4,q}) - \sum_{m \in (IN_{4,q} \setminus \{4\})} v_{m,max}^\chi \mid q = 2, \dots, 15\right\} = 5,000$$

From the components $v_{n,max}^\chi$ of the upper bound UB and the components $v_{n,min}^\chi$ of the lower bound LB calculated above, it follows that the standard case for calculation of the χ -value with $\sum_{n=1}^N v_{n,max}^\chi \neq \sum_{n=1}^N v_{n,min}^\chi$ applies. According to formula (10), the weighting factor γ is as follows:

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{G - \sum_{n=1}^N v_{n,min}^\chi}{\sum_{n=1}^N v_{n,max}^\chi - \sum_{n=1}^N v_{n,min}^\chi} \\ &= \frac{100,000 - (0 + 0 + 0 + 5,000 + 10,000)}{(10,000 + 20,000 + 25,000 + 35,000 + 40,000) - (0 + 0 + 0 + 5,000 + 10,000)} \\ &= \frac{17}{23} \approx 0,74 \end{aligned}$$

4.3 Result of the calculation

The components $v_{n,\chi}$ of the χ -value \underline{v}_χ are then calculated in table 4 for each actor A_n using formula (10) and the weighting factor $\gamma = 17/23$ as the convex combination of the components $v_{n,max}^\chi$ of the upper bound UB (threat point) and the components $v_{n,min}^\chi$ of the lower bound LB (threat point) for the χ -value.

A_n	$v_{n,\chi}$
A_1	$^{17}/_{23} \cdot 10,000 + ^6/_{23} \cdot 0 = ^1/_{23} \cdot 170,000$
A_2	$^{17}/_{23} \cdot 20,000 + ^6/_{23} \cdot 0 = ^1/_{23} \cdot 340,000$
A_3	$^{17}/_{23} \cdot 25,000 + ^6/_{23} \cdot 0 = ^1/_{23} \cdot 425,000$
A_4	$^{17}/_{23} \cdot 35,000 + ^6/_{23} \cdot 5,000 = ^1/_{23} \cdot 625,000$
A_5	$^{17}/_{23} \cdot 40,000 + ^6/_{23} \cdot 10,000 = ^1/_{23} \cdot 740,000$

Table 4: Components $v_{n,\chi}$ of the χ -value v_χ

In the end, exactly one χ -value v_χ exists as a unique solution with $v_\chi = ^1/_{23} \cdot (170,000; 340,000; 425,000; 625,000; 740,000)$. This means that the \$ 100,000 profit that was collectively earned by all five actors will be distributed as follows:

A_n	<i>share of collectively earned profit</i>
A_1	\$ 7,391.31
A_2	\$ 14,782.61
A_3	\$ 18,478.26
A_4	\$ 27,173.91
A_5	\$ 32,173.91

Table 5: shares per actor

5 Conclusion

This article has shown how the vague understanding of fairness that dominates in practice can be defined with the aid of game theory by applying the game theory solution concepts to the generic distribution problem. The solution concept the χ -value was introduced and explained. Special attention was paid to the fact that the χ -value inevitably results if a small number of assumptions with respect to individual and collective rationality, efficiency and integrity are accepted. This matches the justification program introduced at the beginning and presents a game theory solution concept in which good reasons are cited in order for the resulting solutions to be accepted as fair distribution.

In the authors' view, the assumptions that the χ -value is based on are so straightforward that the solution concept has *great potential* for *general acceptance*. Other game theory solution concepts, for example the Shapley value and the nucleolus, demand the acceptance of far more abstract, often only formally precisely definable assumptions. Hence they have considerably lower general acceptance potential. Additionally, other game theory solution concepts, for example the core of a game, can be traced back to a few plausible assumptions. However, they have the disadvantage that they do not exist

for many instances of the generic distribution problem or have multiple, often even infinite, solutions.

For the aforementioned reasons, the χ -value offers to unite the advantage of *good reasonability* of the *acceptability* of distribution outcomes as *fair* with the pragmatic assumptions of the *existence* and *clearness* for a – in relation to other game theory solution concepts – broad range of instances of the generic distribution problem. The χ -value proves superior to the already mentioned closely related τ -value regarding its implementation range. Due to its wider implementation range it must therefore be accepted that the χ -value induces a higher calculation effort as at the τ -value.

As *managerial insights* three aspects can be gained from above explanations. Firstly, game theory solution concepts such as the χ -value offer a “reasonable”, that is, provable with *good reason*, and justifiable *basis* for the *distribution of profits* in supply chains. Thanks to the explicability of the good reasons, there is a high chance that the corporations will accept the distribution as *fair*. However, distribution of profits calculated using the χ -value can always only represent the basis of a discussion about the fair distribution of a collectively realized profit, not the final outcome of the distribution. Like any other concept for distributing profits, the χ -value is based on specific assumptions, which can, but need not, be accepted as „reasonable“. Propositions for the distribution of co-operation profits on the basis of the χ -value thus indeed form a promising basis for discussion, because such a distribution proposition can be justified with good reasons. However, good reasons never offer an assurance that – especially on the basis of other assumptions – even more convincing reasons for an alternative distribution proposition can be found.

Secondly, it was implied in this contribution that the *profit G can be defined precisely* and quantified monetarily, but that this assumption will only rarely be fulfilled in practice. This can lead to two basic practical problems. On the one hand, agreement needs to be reached as to the concrete economic scale on which the profit to be distributed is to be determined and from which sources the information required to determine it can be drawn. This is not a trivial task and cannot be analysed in detail in this article. On the other hand, how the management of a supply chain is defined needs to be clarified, because a value chain according to the agreements made at the beginning is characterized by the co-operation of legally autonomous corporations (autonomous actors). If a supply chain is dominated by one focal corporation, it is relatively simple to equate the management of a supply chain with the management of the focal corporation. However, as a side condition it must be considered that the management of the focal corporation can only make decisions that do not jeopardize the stability of the supply chain – and from a game theory perspective the stability of the grand coalition. There is also the question of how the management of a supply chain is defined, if the special case of a focal corporation does not apply. In this non-focal case, one option is to revert to the game theory concept of coalition formation games. With the aid of this concept, it is possible to examine how coalitions of legally autonomous corporations in (the form of) a supply chain come about. However, even such coalition formation games so far offer no starting points at which to determine how, in supply chains without a focal

corporation, the profit to be distributed should be determined in concrete terms. Extensive academic research is still required on this point.

Thirdly, the management of corporations co-operating in a supply chain must always be aware of the fact that game theory solution concepts assume the rationality of all involved actors (corporations). Negotiations in real existing supply chains about the “fair” distribution of profits are by no means always guided by the rationality of the negotiating partners. Rather, management must be aware that the process of negotiation on the fair distribution of profits also influences the fact that conceptions of rationality do not correspond to classic game theory. Influences “beyond” the conceptions of rationality of classic game theory are not covered by the game theory solution concept introduced here.

The χ -value thus represents an interesting approach and allows the aspect of bargaining power to be included in determining distribution outcomes which can be accepted as fair.

6 References

- Bergantiños, G.; Massó, J. (1994): Notes on a New Compromise Value: the χ -Value. Working Paper W.P. 266.94, Department d’Economia i d’Història Econòmica and Institut d’Anàlisi Econòmica, Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra.
- Bergantiños, G.; Massó, J. (1996). Notes on a New Compromise Value: the χ -Value. *Optimization*, 38(3), 277-286.
- Bergantiños, G.; Massó, J. (2002): The Chi-compromise value for non-transferable utility games. *Mathematical Methods of Operations Research*, 56(2), 269-286.
- Cachon, G. P.; Zipkin, P. H. (1999): Competitive and Cooperative Inventory in a Two-Stage Supply Chain. *Management Science*, 45(7), 936-953.
- Croson, R.; Donohue, K. (2006): Behavioral Causes of the bullwhip effect and the observed value of inventory information. *Management Science*, 52(3), 323-336.
- Crook, T. R.; Combs, J. G. (2007): Sources and consequences of bargaining power in supply chains. *Journal of Operations Management*, 25(2), 546-555.
- Curiel, I. (1997): *Cooperative Game Theory and Applications – Cooperative Games Arising from Combinatorial Optimization Problems*. Boston.
- Driessen, T. (1987): The τ -value: a survey. In H. J. M Peters; O. J. Vrieze (Eds.): *Surveys in Game Theory and Related Topics* (pp. 209-213). Amsterdam.
- Driessen, T.; Tijs, S. (1982): The τ -Value, the Nucleolus and the Core for a Subclass of Games. In H. Loeffel P., Stähly (Eds.): *Methods of Operations Research 46* (pp. 395-406). Königstein.
- Driessen, T. S. H. (1985): *Contributions to the Theory of Cooperative Games: The τ -value and k-convex games*. Unpublished doctoral dissertation, University of Nijmegen, The Netherlands.
- Driessen, T. S. H.; Tijs, S. H. (1983): *Extensions and Modifications of the τ -Value for Cooperative Games* (Report No. 8325). Nijmegen, The Netherlands: University of Nijmegen, Department of Mathematics.
- Driessen, T. S. H.; Tijs, S. H. (1985): The τ -Value, the Core and Semiconvex Games. *International Journal of Game Theory*, 14(4), 229-247.
- Fromen, B. (2004): *Faire Aufteilung in Unternehmensnetzwerken – Lösungsvorschläge auf der Basis der kooperativen Spieltheorie*. Doctoral dissertation, University of Duisburg-Essen, Germany. Wiesbaden.
- Gjerdrum, J.; Shah, N.; Papageorgiou, L. G. (2001): Transfer Prices for Multienterprise Supply Chain Optimization. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 40(7), 1650-1660.

- Inderfurth, K.; Minner, S. (2001): Produktion und Logistik. In P.-J. Jost (Ed.): Die Spieltheorie in der Betriebswirtschaftslehre (pp. 307-349). Stuttgart.
- Keller, S. (2004): Die Reduzierung des Bullwhip-Effektes. Eine quantitative Analyse aus betriebswirtschaftlicher Perspektive. Doctoral dissertation, University of Duisburg-Essen. Wiesbaden.
- Krol, B.; Keller, S.; Zelewski, S. (2005): E-logistics overcome the bullwhip effect. *International Journal of Operations and Quantitative Management*, 11(4), 281-289.
- Lee, H. L.; Padmanabhan, V.; Whang, S. (1997): Information distortion in a supply chain: The bullwhip effect. *Management Science*, 43(4), 546-558.
- Li, S.; Zhu, Z.; Huang, L. (2009): Supply chain coordination and decision making under consignment contract with revenue sharing. *International Journal of Production Economics*, 120(1), 88-99.
- Mahdavi, I.; Mohebbi, S.; Cho, N.; Paydar, M. M.; Mahdavi-Amiri, N. (2008): Designing a dynamic buyer-supplier coordination model in electronic markets using stochastic Petri nets. *International Journal of Information Systems and Supply Chain Management*, 1(3), 1-20.
- McCullen, P.; Towill, D. (2002): Diagnostics and reduction of bullwhip in supply chains. *Supply Chain Management*, 7(3), 164-179.
- Meertens, M. A.; Potters, J. A. M. (2006): The nucleolus of trees with revenues. *Mathematical Methods of Operations Research*, 64(2), 363-382.
- Metters, R. (1997): Quantifying the bullwhip effect in supply chains. *Journal of Operations Management*, 15(2), 89-100.
- Minner, S. (2007): Bargaining for cooperative economic ordering. *Decision Support Systems*, 43(2), 569-583.
- Pazner, E. A. (1977): Pitfalls in the theory of fairness. *Journal of Economic Theory*, 14(2), 458-466.
- Saharidis, G. K. D.; Kouikoglou, V. S.; Dallery, Y. (2009). Centralized and decentralized control policies for a two-stage stochastic supply chain with subcontracting. *International Journal of Production Economics*, 117(1), 117-126.
- Sánchez-Soriano, J. (2000): A note on compromise values. *Mathematical Methods of Operations Research*, 51(3), 471-478.
- Sarmah, S. P.; Acharya, D.; Goyal, S. K. (2007): Coordination and profit sharing between a manufacturer and a buyer with target profit under credit option. *European Journal of Operational Research*, 182(3), 1469-1478.
- Schmeidler, D. (1969): The nucleolus of a characteristic function game. *SIAM Journal on Applied Mathematics*, 17(6), 1163-1170.
- Shapley, L. S. (1953): A value for n-person games. In H. W. Kuhn; A. W. Tucker (Eds.), *Contributions to the Theory of Games – Volume II*, *Annals of Mathematics Studies* 28 (pp. 307-317). Princeton, NJ.
- Sucky, E. (2004a): Koordination in Supply Chains: : Spieltheoretische Ansätze zur Ermittlung integrierter Bestell- und Produktionspolitiken. Doctoral dissertation, University of Frankfurt am Main 2003. Wiesbaden.
- Sucky, E. (2004b): Coordinated order and production policies in supply chains. *OR Spectrum*, 26(4), 493-520.
- Sucky, E. (2005): Inventory management in supply chains: A bargaining problem. *International Journal of Production Economics*, 93-94 (Proceedings of the Twelfth International Symposium on Inventories), 253-262.
- Thun, J.-H. (2005): The Potential of Cooperative Game Theory for Supply Chain Management. In H. Kotzab, S. Seuring, M. Müller, G. Reiner (Eds.), *Research Methodologies in Supply Chain Management* (pp. 477-491). Heidelberg et al.
- Tijs, S. H. (1981): Bounds for the core and the τ -value. In O. Moeschlin; D. Pallaschke (Eds.), *Game Theory and Mathematical Economics* (pp. 123-132). Amsterdam.
- Tijs, S. H. (1987): An axiomatization of the tau-value. *Mathematical Social Sciences*, 13(2), 177-181.
- Tijs, S. H.; Driessen, T. S. H. (1983): The τ -Value as a Feasible Compromise Between Utopia and Disagreement (Report 8312). Nijmegen, The Netherlands: University of Nijmegen, Department of Mathematics.

- Tijs, S. H.; Driessen, T. S. H. (1986): Game theory and cost allocation problems. *Management Science*, 32(8), 1015-1028.
- Voß, S.; Schneidereit, G. (2002): Interdependencies between Supply Contracts and Transaction Costs. In S. Seuring; M. Goldbach (Eds.), *Cost Management in Supply Chains* (pp. 253-272). Heidelberg: Physica.
- Xiao, T.; Luo, J.; Jin, J. (2009): Coordination of a supply chain with demand stimulation and random demand disruption. *International Journal of Information Systems and Supply Chain Management*, 2(1), 1-15.
- Zelewski, S. (2009): *Faire Verteilung von Effizienzgewinnen in Supply Webs – ein spieltheoretischer Ansatz auf der Basis des τ -Wertes*. Berlin.
- Zhang, D. (2006): A network economic model for supply chain versus supply chain competition. *Omega – The International Journal of Management Science*, 34(3), 283-295.

Prävention von Transportschäden durch den Einsatz von Sensor-Telematik-Systemen aus der Versicherungsperspektive

Alexander C.H. Skorna

Lehrstuhl für Operationsmanagement, Institut für Technologiemanagement,
Universität St.Gallen, Dufourstr. 40a, CH-9000 St. Gallen,
alexander.skorna@unisg.ch

Christoph Bode

Lehrstuhl für Logistikmanagement, Departement für Management, Technologie und
Ökonomie (D-MTEC),
ETH Zürich, Scheuchzerstr. 7, CH-8092 Zürich,
cbode@ethz.ch

Andreas P. Hinz

Lehrstuhl für Produktionsmanagement, Institut für Technologiemanagement,
Universität St.Gallen, Dufourstr. 40a, CH-9000 St. Gallen,
andreas.hinz@unisg.ch

Zusammenfassung

Die steigende Komplexität der Transport- und Logistikprozesse führt zu einer Vielzahl von Risiken und Gefahren bei den Transportakteuren und Versicherungen. Die global verteilten Produktions- und Absatzmärkte sind eine Ursache, dass immer mehr und höherwertigere Güter in weltumspannenden Logistiknetzwerken transportiert werden. Aufgrund des steigenden Wettbewerbsdrucks unter den Logistikdienstleistern bündeln diese vermehrt Transporte zu größeren Transporteinheiten und lagern zeitunkritische Sendungen teilweise zwischen. Dies erhöht für die Versicherungen das Risiko von Kumschäden und kann bei größeren Schäden beim Warenempfänger für Lieferengpässe bzw. zu Betriebsunterbrüchen führen. Gleichzeitig sind detaillierte Informationen über den Zustand von Waren und ihrer Integrität innerhalb der Lieferkette nicht durchgehend vorhanden und die genauen Bedingungen während des Transports bleiben intransparent. Sensor-Telematik-Systeme werden heute bereits von führenden Logistikdienstleistern und Frachtführern z.B. auf ausgesuchten Routen oder für hochwertige Waren eingesetzt. Durch diese Entwicklungen werden ebenso Risiken sowohl für den Transportversicherer als auch für die Transportakteure identifizier- und messbar, was die Grundlage von effektiven präventiven, schadensmindernden Maßnahmen bildet. Der Technologieeinsatz mündet in ein situativ an die jeweiligen Transportcharakteristika angepasstes Risikomanagement. Welche Einflüsse, Potentiale sowie Risiken aus dem Technologieeinsatz im Transportbereich erwachsen, soll im Rahmen des vorliegenden Beitrags diskutiert werden. Vor diesem Hintergrund analysiert dieser Beitrag das Schadenreduktionspotential eines Einsatzes von Sensor-Telematik-Systemen im Transportbereich in drei Schritten: (1) Zur Identifikation der aktuellen Problemstellungen und Transportrisiken im globalen Warenverkehr werden die Kernergebnisse einer Schadendatenanalyse bei einer der führenden europäischen Transportversicherung vorgestellt. (2) Im Anschluss werden die Ergebnisse der quantitativen Schadendatenanalyse anhand von 25 Experteninterviews weiter verdichtet und verallgemeinert. (3) Den Abschluss der Untersuchung bildet die Zusammenstellung der quantitativ-qualitativ erhobenen Ergebnisse und Ableitung der Wirkungspotentiale von Sensor-Telematik-Systemen zur Prävention von Transportschäden.

1 Einleitung

Etablierte Industrienationen wetteifern heute mit den aufstrebenden Wirtschaftsnationen wie beispielsweise Brasilien, Indien oder China im globalen Warenhandel. In diesen Schwellenländern bilden sich neue Konsumentenmärkte mit entsprechenden Vertriebsmöglichkeiten, die vor allem auch für die Industrienationen mit ihren qualitativ hochwertigen Waren von Interesse sind. Aus der Sicht der Logistik- bzw. Supply Chain Management-Prozesse resultieren diese Entwicklungen in neue Herausforderungen. Die aufstrebenden Wirtschaftsmächte werden ihren bisherigen Fokus vom Export in Zukunft verstärkt auch auf den Import von Gütern legen. Die Transport- und Logistiknetzwerke sind jedoch noch nicht für diese neue "multipolare Welt" gerüstet¹, was insbesondere erhebliche Risiken im Hinblick auf mögliche Transportschäden mit sich bringt.²

Ein Hauptgrund für steigende Transportrisiken sind die konkurrierenden Zielsetzungen der einzelnen Akteure einer Lieferkette. Produzierende Unternehmen haben sich im Rahmen von Outsourcing meist aus Gewinnmaximierungskalkülen bzw. Kosteneffizienz in den Schwellenländern etabliert. Dortige Vorteile wie die geringen Produktions- und Lohnkosten sichern die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen zu Lasten teils sehr viel risikobehafteteren Transporten. Globale Warentransporte sind in der Regel intermodal und unterscheiden sich von nationalen bzw. regionalen Transporten durch eine Erhöhung der Transportzeit, Umschlagsprozesse und Zwischenlagerungen. In einigen Ländern erschweren z.B. infrastrukturbedingte Schwachstellen den Transport und erhöhen das Risiko eines Transportschadens.³

Aus Sicht eines Transportversicherers führt insbesondere die Bündelung von Transporten zu schwer kontrollierbaren Kumulrisiken⁴, die in einem Schadenfall zu größeren Schadenzahlungen führen können. Eine Transportversicherung deckt dabei den effektiven Warenwert einer Transportsendung inklusiver logistikbedingter Zwischenlagerungen ab.

Parallel dazu fokussieren sich Handelsgesellschaften auf eine hohe Liefergeschwindigkeit und Kundenähe mit der Konsequenz, dass im Handel neue Supply Chain-Konzepte wie z.B. 'Efficient Customer Response' (ECR), 'Continuous Replenishment' (CRP), 'Quick Response' (QR) oder 'Collaborative Planning and Replenishment' (CPFR) entwickelt und eingeführt worden sind.⁵ Logistikdienstleister versuchen daher, die Effizienz der Liefernetzwerke durch neu geschaffene und flexible Ressourcen sicherzustellen und gleichzeitig aufgrund sehr geringer eigener Margen die Transportsen-

¹ Vgl. Schlotissek (2008)

² Vgl. Skorna et al. (2011)

³ Vgl. Kummer und Sudy (2007)

⁴ Als Kumul bezeichnet man mehrere beim selben Versicherungsunternehmen versicherte Risiken (hier Transportsendungen eines oder mehrere Versender), die von einem Schadenereignis gemeinsam betroffen werden können (vgl. GDV (2010)).

⁵ Vgl. Seifert (2006), Suri (1998)

dungen sinnvoll zu bündeln. Eingerahmt werden diese Akteure durch regulatorische Bedingungen seitens der Regierungen, die durch Liberalisierungsbemühungen versuchen zwar den Welthandel zu erleichtern, teilweise durch Sicherheitsauflagen die Komplexität der Transporte aber zusätzlich erhöhen.

Diese Entwicklungen werden auch für die Transportversicherungen zunehmend zur zentralen Herausforderung. Durch die global verteilten Märkte und den damit verbundenen steigenden Transportaufkommen, sind die Versicherungssummen proportional um ein Vielfaches gestiegen. Dennoch belegen Zahlen der Versicherungsverbände, dass in dem derzeitigen weichen und deregulierten (und damit stark zersplitterten) Marktumfeld die Versicherungsprämien nicht den oben beschriebenen, neuen Gefahren und Risiken angepasst werden können.⁶ In den vergangenen Jahren haben s.g. 'Captives' (In-house' Versicherungsgesellschaften großer international tätiger Konzerne) als neue Anbieter von Transportpolicen und die im Industrieversicherungsgeschäft üblichen Versicherungsmakler den Prämiendruck auf die Versicherer deutlich erhöht. Zudem kann aus den Schadendaten mehrerer Versicherer über die letzten fünf Jahre ein Trend in ansteigenden Schadenzahlungen bei in etwa gleichbleibender Schadenanzahl gesehen werden (vgl. Kapitel 4).

Aufgrund der beschriebenen Herausforderungen im Transportversicherungsmarkt und bezüglich des negativen Schadenverlaufs versuchen einige Transportversicherungen sich über zusätzliche Dienstleistungen sowie neue Kundenlösungen am Markt zu differenzieren. Die systematische Prävention von Transportschäden ist hierfür besonders geeignet, da diese an den Problemen des Versicherungsnehmers ausgerichtet werden und gleichzeitig langfristig die eigene Schadenbelastung bei den Versicherungsgesellschaften reduziert werden kann.⁷

Sensor-Telematik-Systeme bieten derzeit die vielversprechendsten Möglichkeiten, Transporte und ihre Prozesse transparent zu überwachen. Üblicherweise werden dabei Daten zur Ortung der Güter beispielsweise über das 'Global Positioning System' GPS und zur Überwachung der Transportkonditionen über z.B. Temperatur-, Feuchtigkeits- und Beschleunigungssensoren erfasst. In regelmäßigen Zyklen werden die Daten an Server übertragen, die die weitere Datenverarbeitung und Filterung übernehmen. Die Erhöhung der Prozesstransparenz vereinfacht für die Transportakteure die Koordination der Warenlieferungen und kann zu einer effizienteren Auslastung der Transportmittel führen.

Dieser Beitrag untersucht daher auf der Basis einer empirischen Untersuchung von Schadenereignissen, ob sich Sensor-Telematik-Systeme für ein Präventionskonzept von Transportversicherungen als Differenzierungsmerkmal eignen.

⁶ GDV (2010), SVV (2010)

⁷ Einige Branchenbeispiele liefern Allianz, Baloise, HDI-Gerling oder Zurich Financial Services.

2 Verwandte Literaturströme und Arbeiten zur Transportschadenprävention

Die relevante Literatur im Bereich der Transportschadenprävention lässt sich drei Forschungsströmen zuordnen:

1. Versicherungstheorie, die die Versicherungsperspektive des Beitrags wesentlich charakterisiert und das Spannungsfeld aus dem Risikomanagement einer Versicherung (Zeichnung von Risiken über Prämien) und der Schadenprävention theoriegetrieben beschreibt.
2. Supply Chain Risk Management, welches einschlägige Hinweise für ein Risikomanagement innerhalb von Lieferketten bereitstellt.
3. Supply Chain Event Management, das die zur Prävention von Transportschäden geeigneten Sensor-Telematik-Systeme bereits zur weitgehend autonomen Steuerung von Transportprozessen erfolgreich einsetzt und daher wichtige Rückschlüsse auf eine technologiebasierte Transportschadenprävention zulässt.

2.1 Ansätze aus der Versicherungstheorie

Die optimale Versicherungsdeckung und damit verbundene Prämienzahlungen sind für ein Unternehmen in der Praxis nicht immer einfach zu bestimmen.⁸ In der Versicherungstheorie werden zwei grundlegende Kompensationsmechanismen einer Versicherungsgesellschaft gegenüber ihren Versicherungskunden bei einem Schadeneintritt unterschieden.⁹ Dabei bezeichnet die *Übersversicherung* den Zustand, dass die Versicherungsgesellschaft den Versicherungsnehmer für einen eingetretenen Schaden überkompensiert, während bei einer *Unterversicherung* die Deckung des Versicherungsnehmers nicht ausreicht, den eingetretenen Schaden und ggf. Folgekosten über die Schadenzahlungen der Versicherungsgesellschaft vollständig auszugleichen. Die Prävention von Transportschäden setzt folglich am letzteren Fall an, da der Versicherungsnehmer sich auf das Schadenereignis bezogen in einer typischen 'Short-Position' befindet. Denn Transportversicherungen kompensieren im Schadenfall üblicherweise nur den Warenwert. Folgekosten durch z.B. Betriebsunterbruch, Neuproduktion oder Ersatzlieferung werden in der Regel nicht über eine Transportpolice reguliert. Sinnvolle Präventionsmaßnahmen können so dazu beitragen, diese ungedeckten Aspekte des Versicherungsnehmers nachhaltig auszugleichen.¹⁰

Als Prävention werden vorbeugende Maßnahmen bezeichnet, die das Eintreten eines unerwünschten Ereignisses (hier der Transportschaden) verhindern sollen.¹¹ In der versicherungsspezifischen Literatur präzisieren in diesem Zusammenhang Ehrlich und Becker (1979) die Begriffe Schadenreduktion und Schadenprävention. Unter der s.g. *Selbstversicherung* verstehen die Autoren Maßnahmen zur Verminderung des Scha-

⁸ Vgl. Borch (1962)

⁹ Vgl. Smith (1968)

¹⁰ Vgl. z.B. Gollier (1995), Schlesinger und Venezian (1986)

¹¹ Vgl. Schlesinger (2000)

den Ausmaß eines eingetretenen Schadens¹². Dem gegenüber steht der *Eigenschutz*, der die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadeneintritts reduziert.¹³

Aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive beinhaltet das Konzept der Schadenprävention jedoch auch Kritikpunkte, die in der Literatur als "Präventionsfalle oder -lücke" bezeichnet werden. Eine Investition im Sinne der Selbstversicherung ist mit dem klassischen Risikotransfer über den Versicherungsmarkt vergleichbar, da sich der Versicherungsnehmer durch die Verringerung des Schadensausmaßes im Schadenfall besser stellt. Dem gegenüber stellt sich ein Versicherungsnehmer schlechter, der in Eigenschutz investiert, weil durch die Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeit des Schadeneintritts unter Umständen ein Schaden gänzlich vermieden werden kann. Dies macht die Investition betriebswirtschaftlich sehr schwer bewertbar.¹⁴

2.2 Ansätze aus dem Supply Chain Risk Management (SCRM)

Die Identifikation sowie Bewertung von Transportrisiken und ihren Auswirkungen in einer Lieferkette ist eine komplexe und teils komplizierte Aufgabe.¹⁵ Das SCRM fasst dabei sämtliche Strategien, Maßnahmen, Prozesse und Technologien zusammen, um Risiken in einer Lieferkette zu reduzieren.¹⁶ Dabei handelt es sich insbesondere um:

- Vermeidung von Risiken durch die pro-aktive Eliminierung von Schadenursachen.
- Übertragung der Risiken auf externe Parteien über 'Outsourcing' oder Transportversicherungsverträge.
- Management und Handhabung von Risiken bzw. Schäden durch z.B. Interventionspläne.

Die Auswirkungen von Transportschäden auf die Lieferkette hängen maßgeblich von ihrer *Vulnerabilität* ab. Die Anfälligkeit gegenüber Schäden wird infolge von erhöhten Abhängigkeiten der Akteure einer Lieferkette durch eine stark verflochtene Produktion bzw. Distribution sowie der zunehmenden Komplexität der globalen Liefernetzwerke zu einem immer wichtiger werdenden Aspekt.¹⁷ Unternehmen versuchen Effizienz- und Produktivitätssteigerungen z.B. über die Anwendung schlanker Methoden ('lean') oder durch den Ausbau der Globalisierungsbestrebungen ('local buying', 'global sourcing') zu erzielen.¹⁸ Das Risikomanagement im Kontext von Transport und Logistik bezieht sich dabei auf Prozesse und Maßnahmen, die einerseits die Eintrittswahr-

¹² Ein Beispiel im Rahmen der Selbstversicherung wäre die Installation von Sprinklersystemen in Lagerhäusern, die eine Ausweitung eines Feuers erschweren und somit Gebäude und Güter im Brandfall schützen.

¹³ Ein mögliches Beispiel für den Eigenschutz ist die Installation spezieller Türschlösser, die möglichen Dieben den Zugang z.B. zu einem Lagerraum erschweren.

¹⁴ Vgl. Ehrlich und Becker (1979)

¹⁵ Vgl. Pfohl et al. (2010)

¹⁶ Vgl. Christopher und Peck (2004), Jüttner (2005), Kersten et al. (2007)

¹⁷ Vgl. Kleindorfer und van Wassenhove (2004)

¹⁸ Vgl. Blackhurst et al. (2005), Hendricks und Singhal (2005)

scheinlichkeit eines Schadens reduzieren oder schädliche Auswirkungen auf einen spezifischen Akteur verringern.¹⁹

Für den Begriff des *Risikos* gibt es in der Literatur eine Vielzahl unterschiedlicher Definitionen.²⁰ Bezogen auf Liefer- und Transportrisiken wird eine gefahrenorientierte Interpretation des Risikos verstanden und wie folgt definiert:²¹

Ein Risiko ergibt sich aus der Eintrittswahrscheinlichkeit (eines spezifischen Schadens) multipliziert mit dem Ausmaß (einer negativen Auswirkung auf das Unternehmen bzw. die Lieferkette).

Dementsprechend werden die erwarteten Folgen eines Schadens anhand des potentiell maximal auftretenden Schadens multipliziert mit der Eintrittswahrscheinlichkeit bestimmt.²² In diesem Zusammenhang argumentieren Jüttner et al. (2003), dass der Begriff Risiko in Risikoquellen und Risikokonsequenzen unterteilt werden sollte. Typische *Risikoquellen* im Transport sind Verluste beispielsweise durch Diebstahl und Raub oder Beschädigungen durch Erschütterung und Kippen bzw. der Verderb von Waren infolge von Temperatureinflüssen und Vernässung sowie Lieferverzögerungen.²³ Das Transportrisiko kann allerdings je nach vereinbarter Lieferklausel ('Incoterms') gänzlich unterschiedliche Partner in der globalen Lieferkette betreffen.²⁴

Risikomanagementstrategien im Bereich von Transport und Logistik beziehen sich überwiegend auf engere Beziehungen bzw. Verflechtungen der Akteure untereinander, die auch die Risiken gemeinsam tragen.²⁵ Faisal et al. (2007) definieren den Prozess der Risikoverringerung durch eine Kollaboration²⁶, Koordination und den Einsatz von Risikomanagementwerkzeugen²⁷ unter den Akteuren einer Lieferkette.

In der Literatur existieren bereits Ansätze wie mit neuen Methoden aus der Versicherungsindustrie die bestehenden Bezugsrahmen zur Risikoanalyse erweitert werden können.²⁸ Über die Einbindung der Transportversicherer als kompetente Schadenmanager können Transportprozesse hinsichtlich ihrer potentiellen Gefahren optimiert werden.²⁹ In diesem Zusammenhang weisen Norman und Jansson (2004) darauf hin, dass Transportversicherungsgesellschaften die treibende Kraft für Verbesserungen im Sinne des SCRM sein könnten, da sie die Vulnerabilität von modernen, globalen Lieferketten zunehmend verstehen.

¹⁹ Vgl. Zsidisin und Ellram (2003)

²⁰ Vgl. Kummer und Sudy (2007)

²¹ Vgl. Zsidisin (2001), March und Shapira (1987)

²² Vgl. Manuj und Mentzer (2008)

²³ Vgl. Peck (2005), Mason-Jones und Towil (1998)

²⁴ Vgl. Rogler (2002)

²⁵ Vgl. Sheffi (2005), Zsidisin et al. (2000), Einsenhardt (1989)

²⁶ Vgl. Horvath (2001), Barrett (2004)

²⁷ Vgl. Bernardel et al. (2010)

²⁸ Vgl. Knemeyer et al. (2009)

²⁹ Vgl. Skorna et al. (2010)

2.3 Ansätze aus dem Supply Chain Event Management

Unter dem Supply Chain Event Management (SCEM) versteht man die ereignisgesteuerte und pro-aktive Kontrolle von Lieferketten, die weitgehend autonom gesteuert werden. So sind manuelle Korrekturen oder Eingriffe nur notwendig, wenn Abweichungen von einem zuvor definierten Ist-Zustand auftreten.³⁰ SCEM führt insbesondere zu einer verbesserten Kollaboration unter den Akteuren einer Lieferkette und trägt ebenso dazu bei, Transportrisiken wirksam zu verringern.³¹ Für SCEM-Lösungen werden dabei überwiegend Telematik-Module eingesetzt, die in der Regel über eine 'Track & Trace'-Funktion sowie die Online-Disposition von Fahrzeugen, Transportmitteln und Gütern verfügen.³² Der Begriff "Telematik" beschreibt dabei die Verbindung von Telekommunikation mit der Informatik.³³ Der Einsatz von Telematik führt im Wesentlichen zu folgenden Prozessverbesserungen:

- Verbesserung der Datenqualität und Aktualität von Informationen bei regelmäßiger Datenübertragung.
- Optimierte Prozessplanung und erweiterte Möglichkeiten zur aktiven Prozessintervention bei auftretenden Abweichungen³⁴.
- Erhöhung der Sehschärfe und Transparenz über mehrere Stufen einer Lieferkette durch aktive Überwachung und Steuerung der Materialflüsse.³⁵

Unter Einbezug der heutigen technischen Möglichkeiten lassen sich autonome Logistikprozesse entwickeln, die auf Grund ihres Selbststeuerungscharakters weniger risikofähig bezüglich menschlichen Fehlverhaltens sind.³⁶ Diese Vorteile entsprechen dabei den Anforderungen an Präventionsmaßnahmen, die Abweichungen und mögliche Schäden bei Transporten im Voraus identifizieren. Typische Sensor-Telematik-Systeme zur Prävention von Transportschäden bestehen daher aus den folgenden Technologiebereichen: (1) Lokalisierung, (2) Überwachung der Transportkonditionen mit Sensorik und (3) Datenübertragung durch Kommunikationstechnologie. Arbeiten zu diesen drei Technologiebereichen sollen nun in den folgenden Abschnitten ausführlicher vorgestellt werden.

2.3.1 Lokalisierung

Zur Lokalisierung von mobilen Gütern werden typischerweise das 'Global Positioning System' (GPS) oder alternativ die Funkzellenortung über das Mobilfunknetzwerk ('Cell-ID') eingesetzt. Zur Ortsbestimmung werden die Signale von drei Satelliten bzw. Funkzellen benötigt, die trianguliert werden. Damit ist es möglich, die Kontrolle der Prozesse und die Sehschärfe auf die Transportabläufe entlang der gesamten Lieferkette

³⁰ Vgl. Dießner (2008), Otto (2003)

³¹ Vgl. Christopher und Lee (2003)

³² Vgl. Dießner und Rosemann (2008)

³³ Vgl. Nora und Minc (1978)

³⁴ Vgl. Becker (2008)

³⁵ Vgl. Baader und Montanus (2008)

³⁶ Vgl. Scholz-Reiter et al. (2004), Jedermann et al. (2006)

zu verbessern.³⁷ Bei der Identifikation einzelner Sendungen unterscheidet man generell zwischen diskreten und kontinuierlichen Tracking & Tracing-Methoden.³⁸ Diskrete Methoden identifizieren die Sendungen nur an bestimmten Orten wie z.B. Umschlagspunkten über Barcodes oder inzwischen teils ebenso verbreitet Radio Frequenz-Identifikation (RFID). Bei der kontinuierlichen Ortung kommen neben der eigentlichen Ortung noch Datenübertragungen hinzu, die eine Verfolgung nahezu in Echtzeit ermöglichen.³⁹ Eine Alternative speziell in städtischen Gebieten stellt die Ortung über s.g. 'wireless local area networks' (WLAN) dar, mit denen die Ortung analog zum Funkzellenverfahren über die Triangulation von Signalstärken der Basisstationen durchgeführt wird. Unter bestimmten Voraussetzungen kann sogar eine WLAN-basierte Ortung die Genauigkeit von GPS übersteigen (z.B. innerhalb geschlossener Räume).⁴⁰ Eine weitere Möglichkeit der Lokalisierung ist die Verwendung von lokalen, fest installierten Sensorknoten, mit denen sich mobile Güter in einem räumlich begrenzten Gebiet ebenfalls über Triangulation genau orten lassen. Typischerweise werden hierzu spezielle Bluetooth- oder RFID-Netzwerke eingesetzt.⁴¹

2.3.2 Überwachung der Transportkonditionen mittels Sensorik

Die Überwachung von Transport- und Herstellungskonditionen ist am weitesten in der Pharma- und Lebensmittelbranche vorangeschritten. Die Anwendungen fokussieren sich auf Verpackungsoptimierung, erweiterte Tracing-Optionen und die Einführung von Temperatur- und Zeitindikatoren.⁴² Durch die Überwachung von z.B. Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Beschleunigung können insbesondere problematische Prozessschritte wie z.B. bestimmte Umladungen identifiziert sowie der genaue Zustand der Güter bestimmt werden.⁴³ Zusätzlich lässt sich ein Diebstahl von Waren durch den Einsatz von Sensorik präventiv verhindern, da die Integrität des Transportmittels bzw. der Sendung kontinuierlich überwacht werden kann. Dazu verfügt das Telematik-System typischerweise über Bewegungsmelder, Tür- und Lichtsensoren.⁴⁴ Daneben können Sensorinformationen auch zur Koordination von Warenströmen eingesetzt werden, um beispielsweise die Verfügbarkeit und Produktqualität von verderblichen Gütern zu verbessern.⁴⁵

³⁷ Vgl. Ippisch und Thiesse (2008)

³⁸ Vgl. Hillbrand und Schoech (2007)

³⁹ s. ebenda

⁴⁰ Vgl. LaMarca et al. (2005)

⁴¹ Vgl. Ruiz-Garcia et al. (2008)

⁴² Vgl. Connolly (2007)

⁴³ Vgl. Sahin et al. (2008)

⁴⁴ Vgl. Baumgarten und Bogatu (2008), Kershner und Reidy (2008)

⁴⁵ Vgl. Ilic et al. (2009)

2.3.3 Datenübertragung durch Telekommunikationstechnologie

Derzeit dominiert bei der Transportüberwachung für die agentenbasierte Datenübertragung die Mobilfunktechnologie. Diese kennzeichnet sich durch die auf globaler Ebene gute Infrastruktur in den meisten besiedelten Regionen.⁴⁶ Trotzdem resultieren aus der Verwendung von Mobilfunk auch Herausforderungen, wie die eingeschränkte Netzabdeckung, Netzwerkprobleme und Beschränkungen beim Ausbau der Infrastruktur. Für Regionen ohne Mobilfunkabdeckung bleibt für die Datenübertragung nur die Satellitenkommunikation⁴⁷, bei der jedoch wegen der hohen Infrastrukturkosten nur auf eine sehr beschränkte Anzahl von Anbietern zugegriffen werden kann.⁴⁸ Unterschiede zwischen diesen beiden Übertragungsverfahren bestehen hinsichtlich ihrer Reichweite, dem Energieverbrauch und den assoziierten Kosten. Üblicherweise erfolgt der Datentransfer in bestimmten Intervallen, im Alarmfall jedoch ohne Zeitverzug in Echtzeit. Damit wird es letztlich möglich auf unerwünschte Änderungen der Transportkonditionen zu reagieren, damit mögliche Schäden und Verluste verhindert oder deren Ausmaß reduziert werden können.

Durch eine weiterhin ungebremst voranschreitende Miniaturisierung, Leistungssteigerung und Standardisierung im Bereich elektronischer Bauteile und Kommunikationslösungen bei gleichzeitigem Preisverfall werden die schrittweise Verbreitung dieser Technologien unterstützt und Informationen weiter verdichtet.⁴⁹ Fleisch et al. (2005) zeigen, dass solche Systeme Zustandsänderungen nahezu aller Parameter einer realen Welt erfassen können. Werden die Telematik-Systeme bei mobilen Gütern eingesetzt, können diese zustandsabhängig operieren bzw. reagieren.⁵⁰ Ein Beispiel in diesem Zusammenhang ist die Aktivierung eines Kühlaggregats, wenn die Temperatur im Container steigt.

3 Methodik

Das Vorgehen bei der Untersuchung der Prävention von Transportschäden durch den Einsatz von Sensor-Telematik-Systemen aus der Versicherungsperspektive ist in drei Abschnitte gegliedert, die aufeinander aufbauen. Zur Identifikation der aktuellen Problemstellung wurden original Schadendaten eines der größten europäischen Transportversicherungsgesellschaften mit Sitz in der Schweiz analysiert. Da diese Schadendaten nur einen Teil des Gesamtmarkts abbilden, wurden ergänzende qualitative Experteninterviews geführt. Dabei wurden die Ergebnisse aus der quantitativen Datenanalyse anhand von halboffenen Fragestellungen diskutiert und mit den Erfahrungen der Experten verglichen. Die Untersuchung schließt mit der Identifikation von

⁴⁶ Vgl. Trappey et al. (2004)

⁴⁷ Vgl. Maral und Bousquet (2002)

⁴⁸ Vgl. Sheriff und Hu (2001)

⁴⁹ Vgl. Mattern (2007), Fleisch et al. (2005)

⁵⁰ Vgl. Mattern (2005)

Wirkmechanismen der Sensor-Telematik-Systeme zur Prävention von Transportschäden aus der Versicherungsperspektive (vgl. Kapitel 5).

3.1 *Methodisches Vorgehen Schadendatenanalyse*

Aus dem Schadenssystem des Versicherungsunternehmens sind sämtliche Schäden der Sparte Transport im Zeitraum Januar 2000 bis Dezember 2008 zur Analyse bereitgestellt. Um keine Verzerrungen im Schadenbild zu erhalten, erfolgte die Datenabfrage erst im Juli 2009. So werden Schadenbuchungen und -meldungen aus dem Jahr 2008 nahezu vollständig berücksichtigt, da zwischen Schadeneintritt und Schadenmeldung mehrere Monate liegen können. Durch die um sechs Monate verzögerte Datenabfrage können die Auswirkungen solcher Verzerrungen weitestgehend vernachlässigt werden. Als Basis der Untersuchung wurden von der Versicherungsgesellschaft unbearbeitete Rohdaten aus dem Schadenssystem zur Verfügung gestellt. Die Stichprobe beinhaltete insgesamt 23.284 Schäden. Über Clusteranalysen⁵¹ sind die Daten in den relevanten Kategorien beschädigte Ware, Schadenursache und Schadenart verdichtet worden. Außerdem sind Schäden ohne an den Versicherungsnehmer erfolgte Schadenzahlung⁵² über Filtervorgänge eliminiert worden. Dagegen wurden Schäden, für die die Versicherung Reserven (vergleichbar mit Rückstellungen) gebildet hat in der Analyse berücksichtigt. Die Daten beziehen sich auf die drei Branchen einer Transportversicherung Güterversicherung, Kasko und Verkehrshaftung. Der Schwerpunkt der Analyse liegt allerdings auf der Güterversicherung, in der transportierte Waren, Valoren⁵³ und Musterkollektionen zusammengefasst werden. Folglich reduzierte sich die Datenstichprobe durch die Filterungsstufen auf insgesamt 18.146 Schäden.

Die Analyse erfolgt aus zwei unterschiedlichen bzw. gegensätzlichen Richtungen, die den im vorherigen Kapitel beschriebenen Zusammenhänge aus Eintrittswahrscheinlichkeit (Frequenz) und Ausmaß (effektive Höhe) eines Schadens widerspiegelt. (1) Aus Sicht der Versicherungsgesellschaft ist zunächst der effektive Schadenaufwand pro Schadenereignis von Bedeutung. Für die Entwicklung eines Konzepts zur Prävention von Transportschäden aus Versicherungsperspektive ist es folglich relevant, mit zielgerichteten Maßnahmen langfristig die Schadenzahlungen zu minimieren. Aus der Sicht des Versicherungsnehmers spielt der effektive Schadenaufwand bei gegebener Deckung meist eine untergeordnete Rolle. (2) Versicherungsnehmer sind dagegen interessiert häufig eintretende s.g. Frequenzschäden während des Transports zu vermeiden und dadurch ihre Liefer- und Produktqualität den Endkunden gegenüber sicherzustellen.

⁵¹ Vgl. Bacher et al. (2009)

⁵² Mögliche Gründe für diese ausgenullten Schäden sind z.B. ein erfolgreicher Regress oder ein nachträglicher Rückzug der Schadenanmeldung im Verlauf der Schadenbearbeitung durch den Versicherungsnehmer. Zu statistischen Zwecken bleiben diese Schädenvorgänge trotzdem im System der Versicherungen gespeichert.

⁵³ Unter Valoren bezeichnet die Versicherungsindustrie Wertgüter wie Banknoten, Edelmetalle, Schmuck und hochwertige Uhren.

3.2 Methodik der Expertenbefragung

Aufgrund des explorativen Charakters des Forschungsansatzes wird ein qualitatives Untersuchungsdesign mit problemzentrierten, leitfadengestützten Interviews gewählt.⁵⁴ Zur Strukturierung und Orientierung des Interviews wurde der Leitfaden in enger Abstimmung mit der Versicherungsgesellschaft entwickelt, die die Schadendaten geliefert hat. Der Leitfaden dient zur Eingrenzung der Thematik bzw. der Vorgabe bestimmter Themenkomplexe, deren Relevanz aus der Schadendatenanalyse abgeleitet wurde.⁵⁵ Diese mehrdimensionale Betrachtung der Problemstellung führt zur Adressierung einzelner Themenkomplexe. Themen waren dabei beispielsweise Treiber und Hindernisse bei der Umsetzung eines technologiebasierten Präventionskonzepts oder Güter, bei denen eine Überwachung besonders sinnvoll erscheint. Zusätzlich wurden aus der Schadendatenanalyse abgeleitete Thesen im Rahmen des Experteninterviews überprüft.

Der Interviewleitfaden enthält neben diesem thesenprüfenden Teil auch einen offenen Teil, in dem dem Interviewpartner entsprechend viel Freiraum bei der Beantwortung eingeräumt werden kann, um möglichst alle denkbaren Aspekte des Untersuchungsdesigns berücksichtigen zu können. Insgesamt sind 25 Experten⁵⁶ aus den vier Bereichen Versicherung und Broker⁵⁷, produzierendem Gewerbe (Verlader/ Empfänger von Sendungen), Transportdienstleistung und Anbieter von Sensor-Telematik-Systemen befragt worden. Der Erhebungszeitraum erstreckte sich von Juni bis August 2009. Voraussetzung für die Teilnahme am Expertenpanel war, dass die Experten bereits erste Erfahrungen mit Sensor-Telematik-Lösungen aufweisen können und auf Geschäftsführungsebene aktiv sind. Die Dauer eines Interviews betrug zwischen 60 und 90 Minuten. Somit ist sichergestellt, dass während des Interviews entsprechender Tiefgang erreicht worden ist. Alle Interviews wurden vom Erstautor als persönliche Befragung beim Experten vor Ort oder in zwei Fällen telefonisch durchgeführt. Der Forscher selbst ist mit dem Untersuchungsgegenstand aufgrund seiner eigenen Praxiserfahrungen entsprechend gut vertraut, so dass die Antworten der Experten direkt hinterfragt werden konnten. Alle Interviews sind aufgezeichnet worden, um die anschließende Transkription der Interviews zu erleichtern.⁵⁸ Die wörtliche Transkription wurde allerdings vor der Auswertung in normales Schriftdeutsch übertragen.⁵⁹ Bei der Auswertung der transkribierten Experteninterviews wurden die Aussagen zu Kategorien zu-

⁵⁴ Vgl. Gläser und Laudel (2009), Bortz und Döring (2006), Helfferich (2005), Hopf (1978)

⁵⁵ Vgl. Helfferich (2005)

⁵⁶ Die Liste der befragten Experten findet sich im Anhang dieses Beitrags.

⁵⁷ Ein Broker tritt insbesondere im Industrieversicherungsbereich und somit auch beim Abschluss von Transportversicherungen als Vermittler zwischen dem versicherten Unternehmen und der Versicherungsgesellschaft auf. Dabei kann der Anteil des Geschäfts über diesen s.g. Brokerkanal bis zu 95 Prozent der Policenverträge ausmachen. Dem gegenüber steht das Direktgeschäft, bei dem die Versicherungsgesellschaft eine direkte Geschäftsbeziehung zu den Unternehmen unterhält.

⁵⁸ Vgl. Bortz und Döring (2006)

⁵⁹ Vgl. Mayring (2008)

sammengefasst. Diese Form der Inhaltsanalyse bietet bei der Auswertung eine systematische und regelgeleitete Vorgehensweise.⁶⁰

4 Ergebnisse

4.1 Schadendatenanalyse

Einen Überblick über den Schadenverlauf der einzelnen Jahre gibt die Abbildung 1. Im Schnitt werden bei der untersuchten Schweizer Transportversicherung etwa 1.700 Schäden pro Jahr angemeldet, die in ihrer Tendenz zwischen den Jahren 2000 und 2002 zwar stark zurückgingen und nun auf einem relativ konstanten Niveau liegen. Das jährliche Schadenvolumen hat sich dagegen nahezu um den Faktor drei vervielfacht und zeigt sich deutlich volatiler. Grund dafür ist die allgemeine Belastung der Transportversicherungen durch einzelne Großschäden, die eine Schadenstatistik schnell ausschlagen lassen. Hintergrund dafür ist das einleitend beschriebene Kumulrisiko, das allen Transportversicherungen zunehmend Probleme schafft. Seit Anpassung der Bilanzierungsregelungen nach Basel II bzw. Solvency II müssen die Versicherungsgesellschaften über ausreichende Kapitalreserven verfügen, wenn sie diese Kumulrisiken zeichnen. Gleichzeitig haben diese neuen Anforderungen direkten Einfluss auf die Bewertung der Versicherungsgesellschaften durch internationale Rating-Agenturen. Insofern können gehäuft auftretende Großschadenereignisse für Versicherungen vielfach negative Konsequenzen bedeuten.

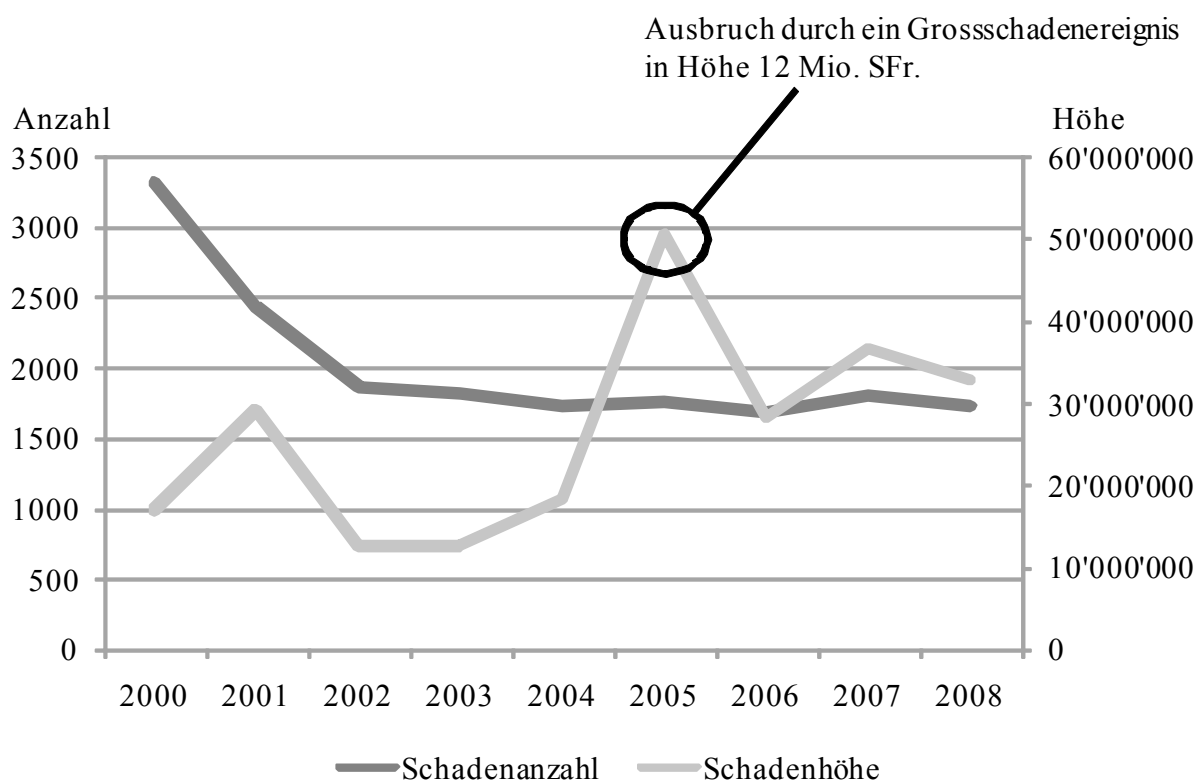


Abb. 1: Übersicht der Schadenstruktur nach Anzahl und Höhe in [SFr.]

⁶⁰ Gläser und Laudel (2009), Mayring (2008)

Die Reduktion der Schadenhöhe in den ersten Analysejahren geht auf eine Umstrukturierung des Portfolios der Transportversicherungsgesellschaft zurück, in der speziell die Reisegepäckversicherung stufenweise aus der Sparte Transport entfernt wurde. Die Reisegepäckversicherung zeichnet sich dabei durch eine im Vergleich hohe Schadenanzahl bei geringen durchschnittlichen Schadenkosten aus.

Diese Umstrukturierung des Portfolios machte letztlich eine weitere Reduktion der Stichprobe erforderlich. Daher sind im Folgenden für eine detailliertere Analyse von Schadenursachen und betroffenen Gütern nur die Jahrgänge 2005 bis einschließlich 2008 bzw. insgesamt 7.284 Schäden berücksichtigt worden. Der durchschnittliche Schaden beträgt in dieser Stichprobe 19.427 SFr. Die größten fünf Schadenereignisse mit Schadenhöhen zwischen fünf und 12 Mio. SFr. beziehen sich sämtlich auf den Transport hochwertiger Pharmazeutika. Das Schadenbild wird demnach durch den Branchenfokus der betrachteten Transportversicherungsgesellschaft beeinflusst, die als einen ihrer Schwerpunkte Transporte im Pharmabereich versichert. Dennoch bietet die Analyse der Schadenstatistik wertvolle Einblicke in aktuelle Problemfelder des globalen Warentransports.

Die Abbildung 2 beschreibt den Zusammenhang zwischen Transportmodus und Schadenursache. Die Größe der Kreise bezieht auf die Schadenhöhe in SFr.

Aus dieser Gegenüberstellung lässt sich ableiten, dass die Haupttransportmittel für klassische Stückgüter wie LKW-, Seefracht- und Luftfrachtoperationen naturgemäß eine hohe Gefährdungsexposition aufweisen. 85 Prozent der Schäden können sowohl im Bezug auf die Schadenhäufigkeit als auch -höhe auf diese drei Transportmodi zurückgeführt werden. Auffällig ist, dass insbesondere die Luftfracht trotz ihrer hohen Sicherheitsvorkehrungen vergleichsweise stark von Warendiebstahl betroffen ist. Luftfrachtsendungen werden dabei üblicherweise über Hub-&-Spoke-Verfahren abgewickelt⁶¹, das häufigere Sortier- und Umschlagsprozesse erfordert und so die Waren besser zugänglich sind als z.B. bei einem versiegelten Seefrachtcontainer. Zudem hat die Luftfracht für die Schweizer Wirtschaft eine wichtige Position, das sich in den Schadendaten der Schweizer Transportversicherung widerspiegelt. Etwa ein Drittel aller Exporte gemessen am Warenwert (60 Mrd. SFr.) verlassen die Schweiz und ein Sechstel aller Importe erreichen die Schweiz jährlich auf dem Luftweg.⁶² Den Schwerpunkt der Schweizer Lufttransportsendungen bilden hochwertige Waren aus den Branchen Elektronik, Maschinenbau, Pharma und Chemie.⁶³ Diese Gütergruppen decken sich wiederum mit den besonders betroffenen Gütern aus der Schadenstatistik.

Neben dem Warendiebstahl sind die unsachgemäße Behandlung der Sendungen, Umwelt- und Temperatureinflüsse weitere Hauptursachen für Transportschäden. Gemessen an der Schadenhäufigkeit ist die unsachgemäße Behandlung sogar die Hauptursache, mit einem durchschnittlichen Schaden von 4.620 SFr. spielt sie aus Versicherungssicht aber nur eine untergeordnete Rolle.

⁶¹ Vgl. Haase und Hoppe (2008)

⁶² Vgl. Ehrenthal et al. (2010)

⁶³ s. ebenda

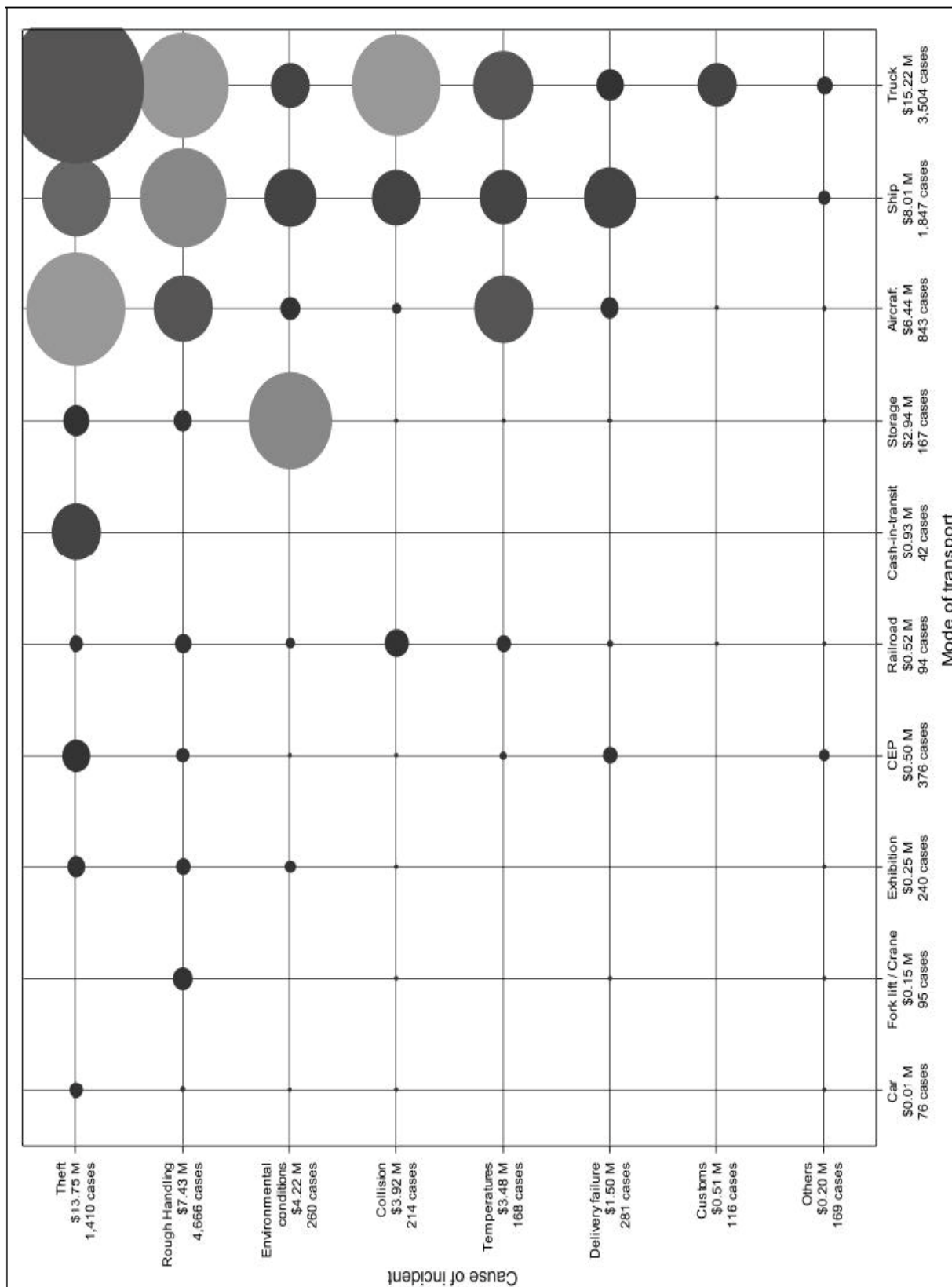


Abb. 2: Schadenhöhe nach Schadenursache und Transportmodi

Umwelteinflüsse wie Vernässung, Feuer oder Naturkatastrophen bilden insbesondere bei der Zwischenlagerung der Transportsendungen ein hohes Risiko.

Der Warendiebstahl ist bei Transportschäden das größte Problem, daher werden die aufgetretenen Schadenfälle mit Bezug auf die geographischen Regionen näher untersucht. Die folgende Abbildung 3 zeigt, dass Transporte von und nach Afrika sowie innerhalb des mittleren Ostens besonders stark von Warendiebstählen betroffen sind. Transporte, die in der selben geographischen Region verbleiben (Diagonale der Abbildung 3), sind ebenso häufig von Diebstahl betroffen, obwohl die Transportdauer im Vergleich zu interkontinentalen Transporten deutlich geringer ist. Unter Einbeziehung der Resultate aus Abbildung 2 liegt daher die Schlussfolgerung nahe, dass bei diesen Transporten der LKW-Anteil besonders hoch und somit auch der Transport vergleichsweise diebstahlanfällig ist. Erstaunlicherweise treten innerhalb Nordamerikas zudem deutlich mehr Warendiebstähle auf als innerhalb Europas, so dass speziell in Nordamerika mit häufigeren Diebstahlereignissen gerechnet werden muss.⁶⁴

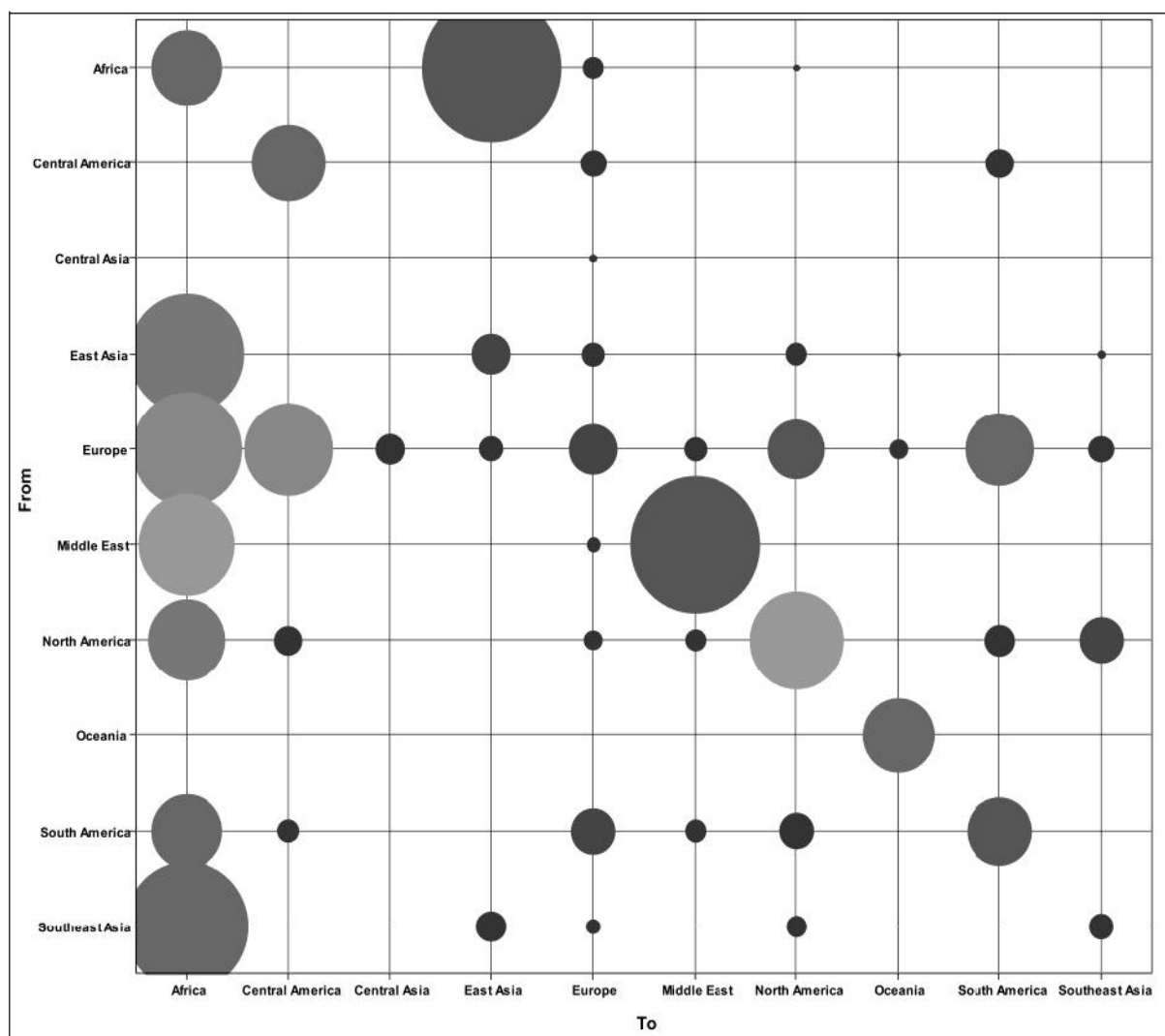


Abb. 3: Schadenhäufigkeit in Abhängigkeit der Region

⁶⁴ Vgl. z.B. FreightWatch (2010)

4.2 Expertenbefragung

Bezugnehmend auf die Schadendatenanalyse gliedern sich die Ergebnisse der Expertenbefragung in die Abschnitte Transportschadenanalyse, Folgen und Auswirkungen von Transportschäden, vorhandene Präventionsmaßnahmen in der Industrie sowie einer generellen Einschätzung der Experten hinsichtlich eines Einsatzes von Sensor-Telematik-Systemen. Die daraus abgeleiteten Anforderungen an Sensor-Telematik-Systeme zur Prävention von Transportschäden und Implikationen werden im Kapitel 5 präsentiert.

4.2.1 Analyse von Transportschäden

Die Aussagen der Experten bestätigen die Ergebnisse der Schadendatenanalyse in weiten Teilen. Die Hauptursachen für Transportschäden sind demnach Handhabungsfehler und Erschütterungen während des Transports, die in Konsens unter allen Experten zwischen 50 und 60 Prozent der Schadenzahl ausmachen. Diebstahl und Verlust von Waren ordnen die Experten mit einem Anteil von 20 bis 30 Prozent als die zweithäufigste Ursache ein. Die restlichen 10 bis 20 Prozent verteilen sich auf Temperatur und Nässeschäden sowie Naturkatastrophen und die "Havarie Grosse".⁶⁵ Als besonders diebstahlanfällige Branchen bzw. Güter identifizieren die Experten vor allem hochwertige, marktnahe Güter, die sich relativ einfach weiterverkaufen lassen. Dazu zählen Elektronikgeräte, Textilien, Haushaltselektrogeräte, Pharmazeutika, Valoren und Zigaretten. Das Beschädigungsrisiko ist vor allem bei Investitionsgütern wie Maschinen und Anlagen kritisch, da in diesen Fällen die Gefahr eines Großschadens aufgrund des hohen Warenwerts möglich ist. Produkte der Halbleiterindustrie sowie Glas und Porzellan sind ebenso erschütterungskritisch, liegen vom Warenwert her allerdings deutlich tiefer als die typischen Investitionsgüter. Im Allgemeinen schätzen die Experten, dass inzwischen jeder zweite Transport versichert wird.

Speziell die Experten aus dem produzierenden Gewerbe sehen zusätzlich ein Gefahrenpotential in den teils komplexen Zoll- und Dokumentierungsverfahren, besonders beim Ex- und Import von Waren. Bei Einzelsendungen ist ein Warendiebstahl ihre größte Gefahr, da der Endkunde so nicht beliefert wird.

Ursachen der Beschädigungen sind gemäß sämtlicher Experten Erschütterungen, Umschlagvorgänge und auch in vielen Fällen eine falsche Verpackung, die ihrer Schutzwirkung nicht gerecht wird. Kritisch sind zudem innerbetriebliche Transporte. Außerdem erkennen die Experten einen Trend in der zunehmenden Werteakkumulation sowohl beim produzierenden Gewerbe als auch bei den Logistikdienstleistern zur Kostensenkung. Somit werden immer häufiger Sendungen transportiert, die auf Palettenebene mehrere Mio. SFr. wert sind.

⁶⁵ Die Havarie Grosse ist ein Ausdruck aus der Seefracht. Sie wird festgestellt, wenn aufgrund der außergewöhnlichen Umstände bewusst Schäden bzw. Kosten in Kauf genommen werden, um Schiff und Ladung aus einer gemeinsamen Gefahr zu retten.

4.2.2 Folgen und Auswirkungen von Transportschäden

Als Hauptfolgewirkung von Transportschäden identifizieren alle Experten die Lieferverzögerung und damit einhergehend je nach Branche Verkaufseinbußen und Kundenverluste. Logistikdienstleister versuchen bei Terminsendungen selbstverschuldete Verzögerungen durch Expresslieferungen und Sonderfahrten abzumildern und geben bei verspäteten Anlieferungen deutliche Preisnachlässe. Aus Sicht des produzierenden Gewerbes verursachen Transportschäden eine ungeplante Nach- und Neuproduktion, die sehr flexibel und ohne weitere Verzögerung in die Fertigungspläne eingeplant werden müssen. Während bei klassischen Serienprodukten meist schnell Ersatz geliefert werden kann, führen Schäden an Einzelanfertigungen schnell zur Gefährdung des ganzen Kundenprojekts. Oft fehlen bei kleineren Betrieben flexible Fertigungskapazitäten. In diesem Fall beziehen die Experten das Betriebsunterbrechungsrisiko explizit als Folgeschaden ein. Speziell in Branchen mit geringen Produktlebenszyklen wie z.B. der Halbleiterindustrie können die Folgen von Transportschäden an den Produktionsmaschinen schwerwiegend sein.

Zudem geben die Experten zu bedenken, dass ein Transportschaden nicht nur Ressourcen in der Produktion, sondern meist auch mit erheblichen multilateralen Auseinandersetzungen und administrativen Vorgängen verbunden ist. Der Schadenverursacher ist nur in Einzelfällen eindeutig zu identifizieren, so dass auf administrativer Ebene im Schadenfall zusätzlicher Handlungsbedarf deutlich wird.

4.2.3 Vorhandene Präventionsmaßnahmen in der Industrie

Spezielle auf die Transportschadenprävention zugeschnittene Maßnahmen sind gemäß den Expertenaussagen wenig verbreitet und beziehen sich primär auf organisatorische Maßnahmen wie die Erlassung von bestimmten Verpackungs- und Handhabungsvorschriften. Die Experten sprechen von einem Trade-Off zwischen dem Kostendruck in der Industrie und der Schadenprävention.

Trotzdem berichten die Experten aus dem produzierenden Gewerbe, dass für Investitionsgütertransporten Verpackung und Belastung während des Transports untersucht wird, um die Verpackung im Anschluss zu optimieren. Als vergleichsweise einfache Maßnahme zur Vermeidung von Beschädigungen gilt für alle Experten die konsequente Schulung und Risikosensibilisierung des Logistikpersonals. Gefährdete Güter sollten zudem per Direktverkehr ohne Umschlagsprozesse und Zwischenlagerung transportiert werden. Alternativ können speziell geschulte "Surveyors" an Gefahrenübergängen beschädigungskritische Umschlagsprozesse persönlich überwachen und gleichzeitig das Umschlagspersonal vor Ort hinsichtlich der Risiken einweisen. Diese Praktik wird insbesondere von Transportversicherungsgesellschaften bei besonders kritischen Transporten unterstützt.

Für diebstahlgefährdete Waren bieten die Logistikdienstleister gemäß den Experten bereits heute verschiedene Lösungen an. Das Angebot reicht dabei von begleiteten Transporten (z.B. zwei Fahrer), spezieller Verpackung in Sicherheitsboxen bis zum Transport in speziell geschützten Fahrzeugen. Die Logistikdienstleister werden aller-

dings nur auf Kundenanfrage aktiv. Speziell bei kleineren Unternehmen unterstützt der Logistikdienstleister üblicherweise aktiv die Verpackungswahl und stellt so einen Mindestschutz gegenüber Beschädigungen sicher.

In der Pharma- und Lebensmittelbranche ist der Einsatz von speziellen Indikatoren⁶⁶ und Daten-Loggern⁶⁷ zur Aufzeichnung der Transportkonditionen laut den Experten am weitesten verbreitet. Insbesondere die Experten aus dem Bereich der Anbieter von Präventionstechnologien sehen die Indikatoren kritisch, da die Geräte zwar eine potentielle Beschädigung anzeigen, jedoch keine Informationen über Schwere, Ort und Zeitpunkt des Schadens zur Verfügung stellen. Zur langfristigen Optimierung der Transportprozesse sind Indikatoren laut den Experten ungeeignet, obwohl sich mit ihnen der Schaden eingrenzen lässt.

Einige Vertreter aus dem produzierenden Gewerbe führen manuell spezielle Risikokarten über bestimmte Gefährdungen und Regionen. Sämtliche Experten verknüpfen dabei gute Qualitätsmanagementprogramme mit der systematischen Schadenanalytik und Fehleranalyse mit einer Reduzierung der Transportschäden. Auffallend ist dabei, dass laut den Experten Großkonzerne diese Methoden besser beherrschen und in der Regel deutlich risikosensibler sind als Unternehmen im Mittelstand.

4.2.4 Generelle Einschätzung von Sensor-Telematik-Systemen

Im Rahmen der generellen Einschätzung bezogen auf das Präventionspotential von Sensor-Telematik-Systemen stellen alle Experten den Bezug zu den häufigsten und höchsten Transportschäden her. Gemäß den Experten trifft dies insbesondere auf die Schadenursachen bzw. Risiken Verlust, Diebstahl, Erschütterung und Temperatur- bzw. Feuchtigkeitseinflüsse zu. Generell unterscheiden die Experten zwischen der Schadenhöhe und der Schadenhäufigkeit. Dass sich die Schadenhöhe insgesamt reduzieren lässt, nimmt nur ein Viertel der Experten an, während drei Viertel der Experten davon ausgehen, dass sich die Häufigkeit der Transportschäden zumindest langfristig reduzieren lässt. Als Grund für diese Einschätzung geben die Experten an, dass sich durch die gesammelten Daten Transportrouten, Transportmittel und Verpackung risiko- bzw. gefahrengerichtet optimieren lassen. Zusätzlich denken 90 Prozent der Experten, dass sich durch den Einsatz von Sensor-Telematik-Systemen und einer damit verbundenen kontinuierlichen Transportüberwachung heute noch unbekannte Risiken bzw. Risikoregionen erst identifizieren lassen. Auf die Interventionsfähigkeit durch die Übertragung des Zustands der Waren bezogen, halten 80 Prozent der Experten die Einleitung von zielgerichteten schadenminimierenden Maßnahmen für realistisch.

Die folgende Abbildung 4 zeigt die Einschätzung der Experten zum Schadenreduktionspotential anhand der Hauptursachen und Folgen von Transportschäden auf.

⁶⁶ Indikatoren verfärben sich irreversibel, wenn bestimmte Konditionen während des Transports überschritten werden. Sie sind in unterschiedlichen Ausführungen zur Überwachung von Erschütterungen, Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Neigung erhältlich.

⁶⁷ Daten-Logger zeichnen über Sensorik Transportkonditionen mit Zeitstempel auf und erlauben so die Identifikation des Schadenzeitpunkts. Der Ort des Schadens kann nur indirekt über die Laufzeitinformationen der Logistikdienstleister ermittelt werden.

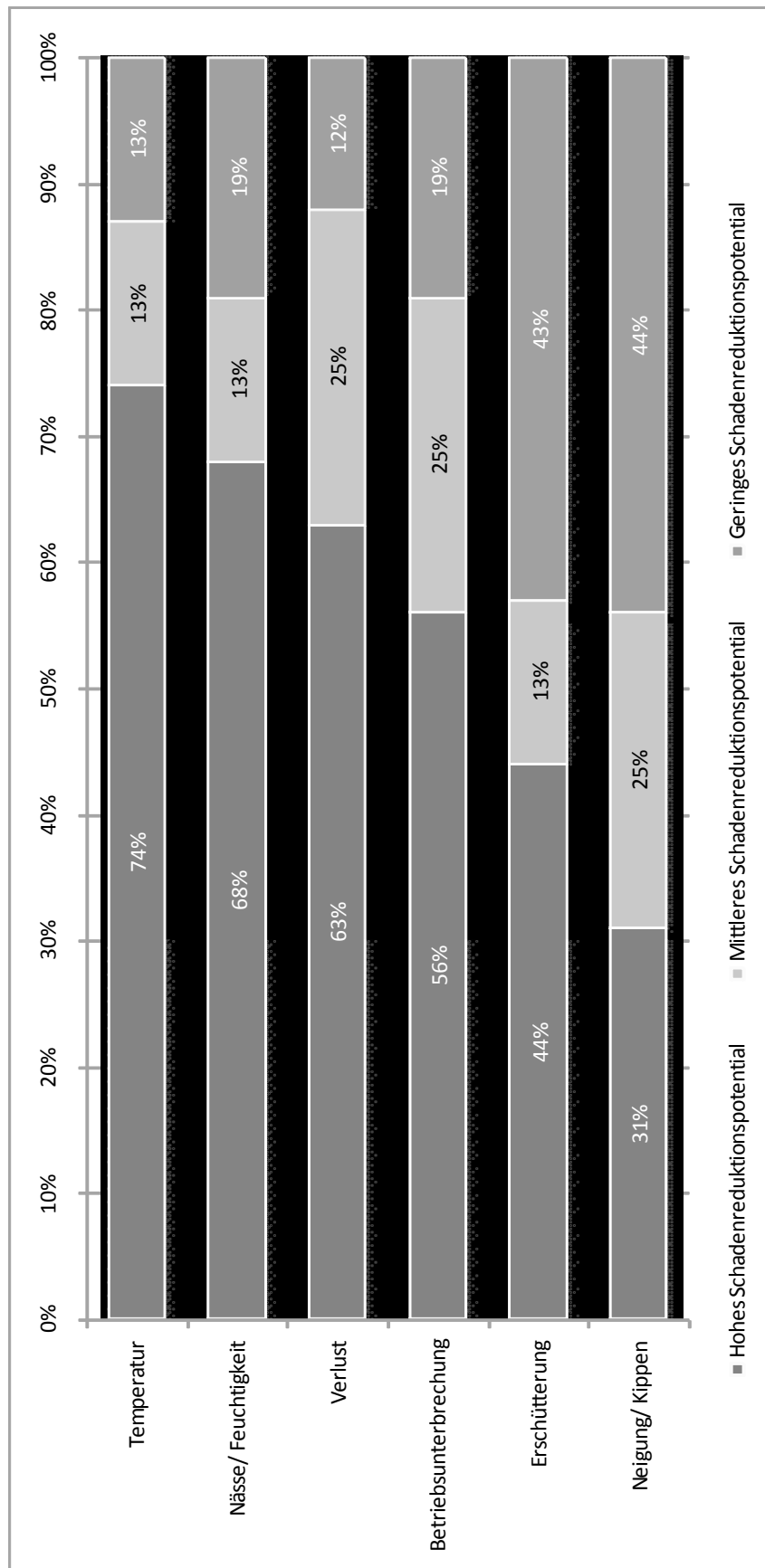


Abb. 4: Schadenhäufigkeit in Abhängigkeit der Region

Dabei bewerten die Experten das Schadenreduktionspotential bei den Gefahren Erschütterung und Neigung bzw. Kippen als eher gering. Da die Beschädigungen in diesen Fällen 'ad hoc' auftreten, halten viele Experten die schadensminimierende, sofortige Intervention für nicht möglich. Im Gegensatz dazu bewerten die Experten das Reduktionspotential bei Temperatur- und Feuchtigkeitseinfluss deutlich positiver. Durch die im Falle von Temperatur- und Feuchtigkeitseinflüssen vergleichsweise langsam⁶⁸ ablaufenden Änderungen der Transportkonditionen sehen die Experten ein ausreichendes Zeitfenster zur Organisation und Durchführung von Gegenmaßnahmen.

Die Einschätzung der Experten für die Ursache "Verlust" sind primär auf die Möglichkeiten der GPS-Überwachung zurückzuführen. Gemäß sämtlicher Expertenaussagen wird die Wiederauffindbarkeit der Transportmittel und Güter durch eine GPS-Lokalisierung stark erleichtert. Außerdem berichten die Experten von einer kontinuierlichen Überwachung des Transportkorridors, um so auch kleine Routenabweichungen als Anzeichen eines Diebstahls frühzeitig erkennen zu können.

Für die Expertengruppe aus dem Umfeld der Versicherungen und Broker ist es zudem wichtig, dass über den Einsatz von Sensor-Telematik-Systemen Ort, Zeitpunkt und somit der Verursacher eines Transportschadens genau bestimmt werden kann. Die Transportüberwachung muss laut dieser Expertengruppe zwingend an der Peripherie bzw. an der einzelnen Transportsendung ansetzen. Insel-Lösungen oder die Überwachung von Transportmitteln unter dem Aspekt des Behältermanagements stellen allenfalls einen Zwischenschritt zur gesamten Überwachung einer Transportkette vom Hersteller bis zum Verkaufsort dar.

Als generelle Herausforderungen im Umgang mit Sensor-Telematik-Systemen erkennen die Experten die Koordination der unterschiedlichen Interessen der Transportakteure, die kommende Datenflut und die Rückführung der Systeme für den erneuten Versand. Insbesondere die Expertengruppen aus dem Bereich des produzierenden Gewerbes und Logistikdienstleistung sehen die Technologieanbieter hier in der Pflicht, markttaugliche Verfahren anzubieten. Gemäß diesen Expertengruppen beschränken sich die Technologieanbieter zu sehr auf die Entwicklung und Verbesserung der Hardware und vernachlässigen Serviceangebote zu den Systemen.

Im Hinblick auf die Rolle des Transportversicherers beim Angebot bzw. Vertrieb von Sensor-Telematik-Systemen denken alle Experten, dass sich das Versicherungsprodukt durch Integration der Systeme verbessern kann. Die Koordination der Risiken und Gefahren in einer Transportkette wird dem Versicherer allerdings von den Experten nicht zugetraut. Hier sehen die Experten weiterhin die Logistikdienstleister in der Verantwortung, den möglichen Schadenursachen während eines Transports zu begegnen. Die befragten Logistikdienstleister DB Schenker, Deutsche Post DHL und Kühne + Nagel setzten dabei bereits Sensor-Telematik-Systeme zur Überwachung der Transportkondi-

⁶⁸ Beispielsweise bei Ausfall eines Kühlaggregats steigt die Temperatur wegen der Isolierung z.B. eines Kühlcontainers teils erst nach mehreren Stunden über den für die Waren kritischen Schwellenwert.

tionen und Integrität meist auf Transportmittelebene für spezielle Güter und auf Kundenanfrage ein.

5 Fazit: Implikationen für die Transportversicherungswirtschaft

Bezugnehmend auf die Ergebnisse der Schadendatenanalyse und Expertenbefragung können zwei effektive Wirkrichtungen für Sensor-Telematik-Systeme unterschieden werden: (1) Die langfristige Optimierung und risikominimierende Planung von Transportprozessen und (2) die zielgerichtete Interventionsmöglichkeit in laufende Transportprozesse zur Verringerung des Ausmaßes von Transportschäden, sobald Abweichungen oder Beschädigungen festgestellt werden. Sensor-Telematik-Systeme eignen sich gemäß den Ergebnissen zur Transportschadenprävention, wenn auch je nach Ursachen bzw. Risiken auf unterschiedlichen Dimensionen. Zudem identifizieren Sie Risiken mit ihrem jeweiligen Ort und Zeitpunkt. Dadurch werden die bisher völlig intransparenten Transportprozesse besser kontrollier- und planbar.

Durch Präventionsmaßnahmen werden insbesondere Risikofaktoren reduziert bzw. Schutzfaktoren verbessert. Ihr Ziel ist eine Beeinflussung der Einflussfaktoren von Transportschäden, so dass sich die Wahrscheinlichkeit des Schadeneintritts verringert bzw. die Schadenhöhe möglichst gering bleibt. Über die Integration von Präventionsmaßnahmen können Transportversicherungen somit ihre klassischen Geschäftsprozesse und Wertschöpfungskette gegenüber den Kunden um die folgenden drei Prozesse ergänzen: (1) Beratung und Erarbeitung von Maßnahmenvorschlägen zur Risikoverhinderung bzw. Schadensminimierung, (2) Unterstützung bei der Überwachung und Kontrolle von Transportrisiken und (3) Kooperation im Bereich Schadenfrühintervention. Die Umsetzung der einzelnen Präventionsmaßnahmen wie auch die Implementierung von Sensor-Telematik-Systemen in den Transportprozessen der Kunden sollten die Transportversicherungen gemäß den Ergebnissen des Kapitels 4 den jeweiligen Technologieanbietern überlassen. Somit würde sich für die Anbieter ein neuer und sehr interessanter Vertriebskanal öffnen, bei dem die Transportversicherungen die Problematik und Motivation eines Technologieeinsatzes eigenständig an den Versicherungskunden herantragen.

Unter der Einbindung von Sensor-Telematik-Systemen und weiterer Präventionsmaßnahmen ist es für den Transportversicherer möglich, sich im Kerngeschäft über Ergänzungsangebote gegenüber der Konkurrenz zu differenzieren. Die Ergebnisse aus dem Kapitel 4 zeigen, dass Unternehmen bei der Identifikation der Transportrisiken allgemein und auch des Schadenverursachers im Schadenfall Probleme haben. Das Angebot individueller Präventionsvorschläge fehlt im Versicherungsmarkt auch aufgrund der standardisierten Ausschreibungen von Versicherungsbrokern.

Langfristig erfolgreich umgesetzte Präventionsprogramme können somit für Transportversicherungen und ihren Kunden ein Baustein zur Erzeugung eines profitablen Wachstums sein. Durch den Einsatz von Sensor-Telematik-Systemen werden insbesondere Risikoursachen und Einflussfaktoren eines Transports klar benennbar, die der Versicherungspolice zugrundeliegenden Tarifierungsmodelle zusätzlich verbessern.

Bei positiver Schadenentwicklung sind dann für den Versicherungsnehmer Prämienreduzierungen möglich, wobei die Transportversicherung ihre Kundenbeziehung effektiv stärkt. Unter engen Grenzen können so selbst Risiken, die bisher als nicht versicherbar gelten, unter einer kontinuierlichen Überwachung wieder am Markt platziert werden. Letztlich können die Transportversicherungen unter Einbezug eines erfolgreichen Präventionsansatzes den Markt damit eigenständig ausbauen. Da derzeit laut den Ergebnissen des Kapitels 4 nur etwa jeder zweite Transport überhaupt versichert ist, bestehen aktuell gute Möglichkeiten mit attraktiven Prämien und Präventionsdienstleistungen den Markt aktiv zu bearbeiten.

6 Literaturverzeichnis

- Baader, A.; Montanus, S. (2008): Transparency in Global Supply Chain Networks – Methods and Tools for Integrated Supply Chain Event Management, in: Ijioui, R.; Emmerich, H.; Ceyp, M. (Hrsg.): Strategies and Tactics in Supply Chain Event Management, Heidelberg, S. 4-11.
- Bacher, J., Pöge, A., Wenzig, K. (2009): Clusteranalyse - Anwendungsorientierte Einführung in Klassifikationsverfahren, 3. Auflage. München.
- Baumgarten, H.; Bogatu, C. (2008): Smart business, in: Cargo Security International, S. 22-24.
- Becker, T. (2008): Supply Chain Event Management: Innovation in Logistics Services, in: Ijioui, R.; Emmerich, H.; Ceyp, M. (Hrsg.): Strategies and Tactics in Supply Chain Event Management, Heidelberg, S. 235-240.
- Barratt, M. (2004): Understanding the meaning of collaboration in the supply chain, in: Supply Chain Management: An International Journal 9(1), S. 30-42.
- Bernardel, F.; Martinazzo, D.; Panizzolo, R. (2010): Supply Chain Risk Management: a Practical Tool-kit, in: Proceedings of the Advances in Production Management Systems (APMS), Cernobbio, Italy.
- Blackhurst, J.; Craighead, C.; Elkins, D.; Handfield, R. (2005): An empirically derived agenda of critical research issues for managing supply-chain disruptions, in: International Journal of Production Research 43(19), S. 4067-4081.
- Borch, K. (1962): Equilibrium in a Reinsurance Market, in: Econometrica 30, S. 424-444.
- Bortz, J.; Döring, N. (2006): Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler, A. überarb. Aufl., Heidelberg.
- Christopher, M.; Peck, H. (2004): Building the resilient supply chain, in: International Journal of Logistics Management 15(2), S. 1-13.
- Christopher, M.; Lee, H. (2003): Mitigating supply chain risk through improved confidence, in: International Journal of Physical Distribution & Logistics Management 34(5), S. 388-396.
- Connolly, C. (2007): Sensor trends in processing and packaging of foods and pharmaceuticals, in: Sensor Review 27(2), S. 103-108.
- Dießner, P.; Rosemann, M. (2008): Supply Chain Event Management: Managing Risk by Creating Visibility, in: Ijioui, R.; Emmerich, H.; Ceyp, M. (Hrsg.): Strategies and Tactics in Supply Chain Event Management, Heidelberg, S. 83-98.
- Eisenhardt, K. M. (1989): Agency Theory: An Assessment and Review, in: Academy of Management Review 14(1), S. 57-74.
- Ehrenthal, J.; Hofstetter, J. S.; Stölzle, W. (2010): Luftfracht als Wettbewerbsfaktor des Wirtschaftsstandortes Schweiz : Zur Stärkung der Schweizer Wirtschaft und zur Sicherung hochwertiger Arbeitsplätze im Inland, 1. Aufl., Göttingen.
- Ehrlich, I.; Becker, G. S. (1979): Market Insurance, Self-Insurance, and Self-Protection, in: Journal of Political Economy 80(4), S. 632-648.

- Faisal, M. N.; Banwet, D.K.; Shankar, R. (2007): Supply chain risk management in SMEs: analysing the barriers, in: *International Journal of Management and Enterprise Development* 4(5), S. 588-607.
- Fleisch, E.; Christ, O.; Dierkes, M. (2005): Die betriebswirtschaftliche Vision des Internets der Dinge, in: Fleisch, E. and Mattern, F. (Hrsg.): *Das Internet der Dinge: Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis*, Berlin.
- FreightWatch (2010): *FreightWatch International Global Threat Assessment*, Austin.
- GDV (2010): *Berichte zur Geschäftslage in der Transportversicherung 2008/2009*, Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft, Berlin.
- Gläser, J.; Laudel, G. (2009): *Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse*, 3. Aufl., Wiesbaden 2009.
- Gollier, C. (1995): The Comparative Statistics of Changes in Risk Revisited, in: *Journal of Economic Theory* 66, S. 522-536.
- Haase, K.; Hoppe, M. (2008): Transportnetzgestaltung für Paketdienstleister, in: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft* 78(9), S. 857-874.
- Helfferrich, C. (2005): *Die Qualität qualitative Daten. Manual für die Durchführung qualitativer Interviews*, 2. Aufl. Wiesbaden.
- Hendricks, K.B.; Singhal, V.R. (2003): The effect of supply chain glitches on shareholder wealth, *Journal of Operations Management* 21(5), S. 501-522.
- Hillbrand, C.; Schoech, R. (2007): Shipment localization kit: An automated approach for tracking and tracing general cargo, in *Proceedings of the Sixth International Conference on Management of Mobile Business (ICMB 2007)*, Toronto, S. 46-52.
- Hopf, C. (1978): Die Pseudo-Exploration - Überlegungen zur Technik qualitativer Interviews in der Sozialforschung, in: *Zeitschrift für Soziologie* 7(2), S. 97-115.
- Horvarth, L. (2001): Collaboration: The key to value creation in supply chain management, in: *Supply Chain Management: An International Journal* 6(5), S. 205-207.
- Ilic, A.; Staake, T.; Fleisch, E. (2009): Using sensor information to reduce the carbon footprint of perishable goods, in: *IEEE Pervasive Computing* 18(1), S. 22-29.
- Ippisch, T.; Thiesse, F. (2008): On the economic value of supply chain visibility: The example of improved emergency ordering, in: *Proceedings of the 16th European Conference on Information Systems (ECIS)*, Galway.
- Jedermann, R.; Behrens, C.; Westphal, D.; Lang, W. (2006): Applying autonomous sensor systems in logistics -- Combining sensor networks, RFIDs and software agents, in: *Sensors and Actuators A: Physical* 132, S. 370-375.
- Jüttner, U. (2005): Supply chain risk management - Understanding the business requirements from a practitioners perspective, in: *International Journal of Logistics Management* 16(4), S. 120-141.
- Jüttner, U.; Peck, H.; Christopher, M. (2003): Supply chain risk management: outlining an agenda for future research, in: *International Journal of Logistics Research and Applications* 6(4), S. 197-210.
- LaMarca, A.; Hightower, J.; Smith, I.; Consolvo, S. (2005): Self-Mapping in 802.11 Location Systems, in: *Proceedings of the Seventh International Conference on Ubiquitous Computing (Ubi-comp 2005)*, Tokyo, S. 87-104.
- Kershner, S. R., Reidy, S. (2008), Embracing the known, in: *Cargo Security International* , S. 38-40.
- Kersten, W.; Horath, P.; Böger, M. (2007): An Empirical Approach to Supply Chain Risk Management: Development of a Strategic Framework, in: *Proceedings of POMS meeting*, 007-0507.
- Kleindorfer, P. R.; van Wassenhove, L. N. (2004): Managing Risk in Global Supply Chains, in: Gatignon, H.; Kimberly, J. (Hrsg.): *The Alliance on Globalization*, Cambridge.
- Knemeyer, M.A.; Zinn, W.; Eroglu, C. (2009): Proactive planning for catastrophic events in supply chains, *Journal of Operations Management* 27(4), S. 141-153.

- Kummer, S.; Sudy, I. (2004): Management von Transport- und Lagerrisiken in Supply Chains, in: Vahrenkamp, R.; Siepermann, C. (Hrsg.): Risikomanagement in Supply Chains - Gefahren abwehren, Chancen nutzen, Erfolg generieren, Berlin, S. 225-272.
- Manuj, I.; Mentzer, J.T. (2008): Global Supply Chain Risk Management, in: Journal of Business Logistics, 29(1), S. 133-155.
- Maral, G.; Bousquet, M. (2002): Satellite Communications Systems, Techniques and Technology, 4. Aufl., Chichester.
- March, J. G.; Shapira, Z. (1987): Managerial perspectives on risk and risk taking, in: Management Science 33(11), S. 1404-1418.
- Mason-Jones, R.; Towill, D. (1998): Shrinking the supply chain uncertainty circle, in: IOM Control Magazine, 27(7), S. 17-22.
- Mattern, F. (2005): The vision and technical foundations of ubiquitous computing, in: Upgrade - the Online Magazine for the Information Technology Professional 2(5), S. 3-7.
- Mattern, F. (2007): Die Informatisierung des Alltags: Leben in smarten Umgebungen, Heidelberg.
- Mayring, P. (2008): Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Technik, 10. Aufl. Weinheim.
- Nora, S.; Minc, D. (1978): L'informatisation de la société. Paris.
- Norrman, A., Jansson, U. (2004): Ericsson's proactive supply chain risk management approach after a serious sub-supplier accident, in: International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 34(5), S. 434-456.
- Peck, H. (2005): Drivers of supply chain vulnerability: an integrated framework, in: International Journal of Physical Distribution and Logistics Management 35(4), S. 210-232.
- Pfohl, H.-C.; Köhler, H.; Thomas, D. (2010): State of the art in supply chain risk management research: empirical and conceptual findings and a roadmap for implementation in practice, in: Logistics Research 2, S. 33-44.
- Rogler, S. (2002): Risikomanagement im Industriebetrieb, 1. Aufl., Wiesbaden.
- Ruiz-Garcia, L.; Barreiro, P.; Robla, J. I. (2008): Performance of ZigBee-Based wireless sensor nodes for real-time monitoring of fruit logistics, in: Journal of Food Engineering, 87(1), S. 405-415
- Sahin, E.; Babai, M. Z.; Dallery, Y. (2008): Ensuring supply chain safety through time temperature integrators, in: International Journal of Logistics Management 18, S. 102-124.
- Sheffi, Y. (2005): The Resilient Enterprise, Cambridge.
- Sheriff, R. E.; Hu, F. (2001): Mobile Satellite Communication Networks, Chichester.
- Schlesinger, H. (2000): The Theory of Insurance Demand, in Dione, G. (Hrsg.): Handbook of Insurance, Berlin.
- Schlesinger, H.; Venezian, E. (1986): Insurance markets with loss-prevention activity: profits, market structure, and consumer welfare, in: Rand Journal of Economics 17(2), S. 227-238.
- Schlotissek, S. (2008): Multipolare Welt, 1. Aufl., Hamburg.
- Scholz-Reiter, B.; Windt, K.; Freitag, M. (2004): Autonomous logistic processes – New demands and first approaches, in: Proceedings of 37th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, S. 357-362.
- Seifert, D. (2006): Efficient Consumer Response: Supply Chain Management (SCM), Category Management (CM) and Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment (CPFR) als neue Strategieansätze., 4. Aufl., Mering.
- Skorna, A.; Hinz, A. (2011): Warentransport ist risikoreich, in io management 4, S. 22-27.
- Skorna, A.; Bode, C.; Fleisch, E. (2010): Technologiebasiertes Risikomanagement in globalen Transportnetzwerken, in: Industrie Management 26(5), S. 14-18.
- Suri, R. (1998): Quick Response Manufacturing – A Company Wide Approach to reducing Lead Time, Productivity Press, Portland, OR.
- SVV (2010): Direktes Schweizer Geschäft - Marktanteile Unfallversicherung 2001-2009, Schweizer Versicherungsverband, Zürich.

Trappey, A.; Trappey, C.V.; Hou, J.L.; Chen, B. (2004): Mobile agent technology and application for online global logistic services, in: *Industrial Management & Data Systems* 104(2), S. 169 - 183

Zsidisin, G.A. (2001): Measuring supply risk: an example from Europe, in: *Practix – Best Practices in Purchasing and Supply Chain Management*, CAPS research 4(3), S. 1-6.

Zsidisin, G. A.; Ellram, L. (2003): An agency theory investigation of supply chain risk management, in: *Journal of Supply Chain Management* 39(3), S. 15-27.

Zsidisin, G. A.; Panelli, A.; Upton, R. (2000): Purchasing organization involvement in risk assessments, contingency plans, and risk management: an explorative study, in *Supply Chain Management: An International Journal* 5(4), S. 187-197.

7 Anhang: Liste der befragten Experten

Versicherung/ Broker	
Managing Partner	Hollenstein und Partner Insurance Brokers Ltd., Rapperswil (CH)
Referent Schadenverhütung	Delvag Luftversicherungs-AG, Köln (DE)
Leiter Transport	Kessler & Co AG, Zürich (CH)
Geschäftsführer	Reck & Co. GmbH, Bremen (DE)
Nautical/Technical Consultant	Münchener Rück AG, München (DE)
Hersteller/ Produzent	
Chief Operation Officer	Levitronix AG, Zürich (CH)
Geschäftsführer	Intellion AG, St. Gallen (CH)
Manager Logistik	Bystronic Laser AG, Nierderönz (CH)
Leiter Vertrieb	OC Oerlikon, Balzers (CH)
Logistik Leiter	B. Braun AG, Melsungen (DE)
Spedition/ Logistikdienstleister	
Head of Technology Development	Lufthansa Cargo AG, Frankfurt (DE)
Leiter IT	Schenker Deutschland AG, Kelsterbach (DE)
Head of Innovation and Research	DB Schenker AG, Essen (DE)
Chief Innovation Officer	DB Systel GmbH, Frankfurt (DE)
Head of Corporate Services	Gondrand AG, Basel (CH)
Manager Claims & Contracting	DPD (Schweiz) AG, Dübendorf (CH)
Vice President Product Development	Kühne + Nagel Mgt. AG, Schindellegi (CH)
Leiter Technology & Innovation Management	Deutsche Post AG, Bonn (DE)
Technologiedienstleister	
Leiter LogMotion Lab	Fraunhofer IFF, Magdeburg (DE)
Consultant	Schmidt & Co. Ltd., Hong Kong (CN)
Director Business Development	Kirschen Technologies Corp., Berkeley (US)
Chief Executive Officer	Arviem AG, Rotkreuz (CH)
Head of Business Consulting	Swisscom Auto-ID Services, Zürich (CH)
Entwicklungsingenieur	Solve AG, Buchs (CH)

Biomasselogistik: Herausforderungen und Chancen für Unternehmen, Netzwerke und Regionen

Ina Ehrhardt

Geschäftsfeld Logistik- und Fabrikssysteme,
Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF,
Sandtorstraße 22, 39106 Magdeburg,
ina.ehrhardt@iff.fraunhofer.de

Holger Seidel

Geschäftsfeld Logistik- und Fabrikssysteme,
Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF,
Sandtorstraße 22, 39106 Magdeburg,
holger.seidel@iff.fraunhofer.de

Zusammenfassung

Derzeit werden in Deutschland bereits mehr als 53 % der aus erneuerbaren Energien gewonnenen Endenergie aus Biomasse erzeugt. Bei der Nutzung von Biomasse zur Wärme- und Stromerzeugung nimmt Holz eine führende Stellung ein. So wurden bereits im Jahr 2008 rund 58 Mio. Festmeter Holz energetisch genutzt – Tendenz steigend. Die immer größere Nachfrage führt verstärkt zu Nutzungskonkurrenzen zwischen stofflicher und energetischer Verwertung dieses Rohstoffs. Während Forschung und Entwicklung bereits zahlreiche innovative Technologien und Lösungen für die Nutzung fester Biomassen in stofflichen oder energetischen Verarbeitungsprozessen hervorgebracht haben, werden die komplexen Fragestellungen der Rohstoffbereitstellung und -versorgung häufig vernachlässigt. Dies hat zur Folge, dass die Etablierung der neuen Verarbeitungstechnologien und der Aufbau regionaler Wertschöpfungsketten, trotz der Verfügbarkeit ausreichender Rohstoffpotenziale, vielerorts an einer unzureichenden Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit der Versorgungsprozesse scheitern. Ausdruck dafür ist unter anderem, dass derzeit hohe Aufwände und Kosten im Bereitstellungsprozess geringen Erträgen aus dem Rohstoff gegenüber stehen. Vor diesem Hintergrund ist die Optimierung des Gesamtprozesses unter Berücksichtigung der einzelwirtschaftlichen Interessen der beteiligten Akteure künftig eine zentrale Herausforderung.

1 Einleitung

Demographische Veränderungen, Klimawandel, technische Innovationen, Rohstoffverknappungen und globaler Handel sind die Schlagworte für aktuelle weltweite Entwicklungen in Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt. Diese von einer zunehmenden Dynamik geprägten Entwicklungen sind u. a. Ursache für rasante Veränderungen der Angebots- und Nachfragesituation für Güter und Dienstleistungen, führen zu einer Erhöhung des Rohstoffbedarfes und erzeugen damit einhergehend eine weltweite Rohstoffverknappung. Die Folgen, ein wesentlicher Preisanstieg bei vielen Energie- und Metallrohstoffen, drohende Versorgungsengpässe und Nutzungskonkurrenzen, sind seit geraumer Zeit deutlich zu spüren. Erneuerbare Energieträger und nachwachsende Rohstoffe gewinnen deshalb immer mehr an Bedeutung und ökonomisch an Attraktivität.

Jedoch bleibt auch die steigende Nachfrage nach nachwachsenden Rohstoffen nicht ohne wirtschaftliche und soziale Folgen. Besonders für den Rohstoff Holz, der sowohl bei einer stofflichen als auch einer energetischen Nutzung klare Vorteile gegenüber nicht erneuerbaren Rohstoffen hat, sind erste Auswirkungen der verstärkten Nachfrage deutlich spürbar.

Steigende Kosten und entstehende Versorgungsengpässe für diesen Rohstoff sind nicht zuletzt Ausdruck der Nutzungskonkurrenzen um den Wald in seiner Rolle als Produktionsort von Rohstoffen, mit seinen Funktionen zum Schutz natürlicher Lebensgrundlagen sowie für Freizeit und Erholung einerseits und um das Ausgangsmaterial für die (roh-)holzverarbeitende Industrie bzw. als Energieträger andererseits. Die Folgen globaler Entwicklungen - das zeigt das Beispiel Holz eindrucksvoll - sind nicht nur von einzelnen rohstoffverarbeitenden Unternehmen oder Branchen zu tragen, sondern wirken sich ebenso auf die Anbieter und alle Mitwirkenden der Bereitstellungskette bis hin zu den Verarbeiter der weiteren Wertschöpfungsstufen und den Endverbraucher aus.

Wenn sich die Unternehmen in dem sich verändernden Umfeld zukünftig behaupten und weiterentwickeln wollen, wird es für Sie zunehmend notwendig, auf die neuen Anforderungen nicht nur zu reagieren, sondern sie in ihr Handeln zu integrieren und möglichst mit zu gestalten. Die Notwendigkeit, Unternehmen bei diesen Prozessen mit geeigneten Methoden und Werkzeugen zu unterstützen, war und ist Anlass für das Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF in Magdeburg, Aktivitäten in Forschung und Entwicklung im forstbasierten Sektor gezielt darauf auszurichten.

2 Biomasse: Bedeutung, Eigenschaften und Potenziale

Im Zuge der immer knapper werdenden fossilen Rohstoffe und Energieträger verstärken sich die gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und auch die regionalen Bemühungen um die Erschließung, Gewinnung und Nutzung alternativer Rohstoffe und Energiequellen. So gewinnt die Nutzung Erneuerbarer Energien zunehmend an Bedeutung und

wird durch Instrumente wie das Erneuerbare-Energien-Gesetz und andere europäischen und einzelstaatliche Förderprogramme unterstützt.

Im Ergebnis wird bereits heute rund 70 % der Energie, die aus erneuerbaren Energiequellen gewonnen wird, durch Biomasse bereitgestellt.¹ Dabei nimmt die Biomasse (Biogene Festbrennstoffe, flüssige sowie gasförmige Brennstoffe und biogener Anteil des Abfalls) in der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien mit 19,8 % zwar nur einen kleinen Teil ein, bestimmt dafür aber die Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien mit 91,5 %².

Biomasse ist daneben jedoch auch ein bedeutsamer alternativer Rohstoff für verschiedene stoffliche Nutzungsformen, z. B. in der Rohholzverarbeitung. Nach Kaltschmitt und Hartmann³ lassen sich Biomassen im Hinblick auf eine energetische Nutzung in Energiepflanzen, Ernterückstände, organische Nebenprodukte sowie organische Abfälle unterscheiden. Im vorliegenden Artikel werden sich die Ausführungen jedoch vorrangig auf anfallende Arten fester Biomasse, speziell die bisherigen Reste und Abfälle holzartiger Biomassen konzentrieren. Hierunter fallen insbesondere Durchforstungs- und Waldrestholz sowie Landschaftspflegeholz (Straßenbegleitgrün, Gehölze in der freien Landschaft, Baumschnitt, Schwemmholz). Aber auch Holz aus sogenannten Kurzumtriebsplantagen, d. h. speziell auf landwirtschaftlichen Flächen angebaute Holzsortimente, sowie Industrierestholz und Altholz zählen zu den holzartigen Biomassen. Während Holz als Anbauprodukt der Landwirtschaft nicht als Abfall oder Rest zu klassifizieren ist, werden die beiden letztgenannten Sortimente unter Bezug darauf, dass die verfügbaren Potenziale bereits heute nahezu vollständig einer Verwertung zugeführt werden, nicht näher in die weitere Betrachtung einbezogen.

Auf Grund der Vorteile, die gerade holzartige Biomasse auf Grund ihrer spezifischen Eigenschaften, wie Nutzbarkeit zur stofflichen und energetischen Verarbeitung, Lagerbarkeit und Transportier- bzw. Verteilbarkeit hat, wurden in den letzten Jahren zahlreiche Studien zur Ermittlung der verfügbaren und unter Berücksichtigung verschiedener Einschränkungen nutzbaren Biomassepotenziale durchgeführt⁴. Im Fokus dieser Untersuchungen standen dabei u. a. Betrachtungen der theoretisch verfügbaren, der derzeit ungenutzten sowie der theoretisch bzw. technisch nutzbaren Potenziale. In den meisten Fällen sind jedoch die auf Basis der durch nutzungstechnologische, ökologische, strukturelle und/oder administrative Einschränkungen⁵ ausgehend vom theoretischen Potenzial ermittelten, technisch nutzbaren Potenziale, in der Praxis nicht umfassend zu erschließen.

¹ BMU-Broschüre: Erneuerbare Energien in Zahlen - nationale und internationale Entwicklung. Stand Juni 2010. Heruntergeladen auf: <http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/2720/42038/> S. 14

² BMU-Broschüre: Erneuerbare Energien in Zahlen - nationale und internationale Entwicklung. Stand Juni 2010. Heruntergeladen auf: <http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/2720/42038/> S. 13

³ Vgl. Kaltschmitt und Hartmann 2001

⁴ Vgl. Kaltschmitt und Merten 2003

⁵ Vgl. Fritsche et al 2004

Einige Potenzialuntersuchungen, die das erschließbare Potenzial auf speziellen Flächen bzw. in ausgewählten Maßnahmen im Kontext der technischen und wirtschaftlichen Einsetzbarkeit verfügbarer Technik untersuchten, konnten bereits Aufschluss über die Wirkung technischer Restriktionen im Bereitstellungsprozess geben. So wurden im Rahmen solcher Untersuchungen z. T. bereits Konzepte für neue oder weiterentwickelte Ernte-, Aufarbeitungs- und Transporttechnologien⁶ erarbeitet. Diese beschränkten sich allerdings lediglich auf Aussagen zu Funktionalität, Effizienz und Effektivität des Technikeinsatzes im Fall spezieller Konstellationen von Biomassestandorten, -arten und -sortimenten.

Das Aufkommen der innerhalb einer Region verfügbaren, nutzbaren oder für eine spezielle Nutzung zu erschließenden Biomassen entsteht jedoch in der Regel nicht an gleichartigen, d. h. homogenen Biomassestandorten. Unterschiede liegen nicht nur in der infrastrukturellen Anbindung der Biomassequellen oder -standorte über Wege sondern auch in unterschiedlichen geografischen Gegebenheiten, wie z. B. Hanglagen und Bodenbeschaffenheiten der Flächen sowie in unterschiedlichen Eigentums-, Bewirtschaftungs- und Nutzungsformen. Ebenso inhomogen sind, oftmals sogar auf einer einzelnen Fläche, die anfallenden Biomassearten und -mengen sowie deren Strukturen aus natürlicher Sicht. Letztere bestimmen jedoch nicht nur entscheidend über mögliche Verwertungsoptionen, sondern auch über einsetzbare und einzusetzende Technik sowie die entstehenden Kosten für die Bereitstellung, d. h. die Prozesse Ernte, Aufarbeitung sowie Lagerung und Transport.

Daher ist gerade bei der Untersuchung der regional verfügbaren und nutzbaren Biomassepotenziale, die große Vielfalt der

- Standortcharakteristika,
- Biomassearten und des Biomassemix,
- am Rohstoffgewinnungsprozess beteiligten Partner,
- Nutzungseinschränkungen aus Sicht der Verarbeiter sowie
- regionalen Umfeldfaktoren

und anderes mehr zu berücksichtigen.

Die Erhebung, Bewertung und Berücksichtigung dieser Aspekte sind notwendig, um für die Praxis taugliche, d. h. nachhaltige, ökonomisch tragbare Konzepte zu entwickeln und zwar für alle Beteiligten - vom Erzeuger über die Dienstleister zur Bereitstellung bis zum Verarbeiter.

Es ist jedoch festzustellen, dass im Rahmen von Biomassepotenzialbetrachtungen bisher häufig die Wirkungen regionalspezifischer Gegebenheiten und Voraussetzungen in den Bereichen Infrastruktur, Technik und Ökologie sowie deren Wechselwirkungen zumeist nur unzureichend betrachtet werden. Dies hat zur Folge, dass sich Nutzungsoptionen, die auf Basis der ermittelten Potenziale scheinbar vorhanden sind, häufig in der Phase der Konzepterstellung für die praktische Umsetzung oder - schlimmer noch -

⁶ Vgl. Murach et al. 2008

erst in der Betriebsphase von Anlagen als ökonomisch nicht vertretbar herausstellen. Hierfür sind letztlich zumeist die Kosten für den abnehmergerechten Erschließungs- und Bereitstellungsprozess der Rohstoffe, der eine kontinuierliche und qualitätsgerechte Versorgung der Abnehmer gewährleisten muss, verantwortlich.

3 Biomasse, Logistik und Kosten

Biogene Abfälle und Rückstände aus der Biotop- und Landschaftspflege sowie der Land- und Forstwirtschaft umfassen - je nach Herkunft und lokaler Zusammensetzung des Aufwuchses - charakteristische Mengen an holzartigen Biomassen. Die Maßnahmen, in denen holzartige Reste und Abfälle in der Land- und Forstwirtschaft sowie der Landschaftspflege anfallen, sind in Abbildung 1 zusammengefasst. Um die in diesen Maßnahmen anfallenden, bisher als Abfall klassifizierte Rohstoffe für stoffliche oder energetische Verwertungsketten wirtschaftlich nutzbar zu machen, müssen innerhalb der Bereitstellungskette geeignete Verfahren und Technologien so kombiniert eingesetzt und ggf. angepasst werden, dass ökonomisch-ökologisch effiziente Stoffströme gewährleistet sind.

Bereich	Maßnahmen				
Forst	Flächenräumung nach Schadereignissen	Reguläre Durchforstung/ Selektive Eingriffe	Feinerschließung	Brandschutzstreifen	Bearbeitung von Sukzessionsflächen ⁷
Landschaftspflege	Baumpflege		Freihalten von Offenlandschaften	Straßenbegleitgrün	
Landwirtschaft	Knickpflege	Entbuschung	Baumschnitt/ Baumpflege	Kultivierung ungenutzter Flächen	Flächenräumung
Sonstige	Baufeldräumung			Verkehrssicherung	

Abbildung 1: Maßnahmen mit entstehenden Resten und Abfällen holzartiger Biomassen

Eine zentrale Herausforderung ist der hohe logistische Aufwand bei der Bereitstellung der Reststoffe. Er entsteht u.a. aufgrund des geringen Biomasseanfalls an vielen verschiedenen Orten und der starken örtlichen Streuung der Verwerter sowie der differierende Abnehmeranforderungen an Biomassequalität und -menge. Eine effiziente Planung und Organisation der Logistikstrukturen sowie eine genaue Kenntnis über die entstehenden direkten und indirekten Kosten innerhalb der Bereitstellungskette bilden die Grundlage für eine künftig ausgebaute Nutzung von Biomasseresten und -abfällen. Denn nur wenn die Reste und Abfälle zu adäquaten Kosten und in der richtigen Qualität bereitgestellt werden können, wird ihre Nutzung zu einer wahren Alternative.

⁷ auch Flächen unter Stromleitungen

Die Bereitstellung des Rohstoffs zu „adäquaten“ Kosten ist dabei keine einfache, sondern eine komplexe logistische Aufgabe. Letztlich stehen dem Erlös für den Rohstoff beim Abnehmer am Ende des Prozesses die Aufwände und Kosten der Bereitstellung, und zwar als Summe der Aufwendungen aller Prozessbeteiligten, gegenüber (vgl. Abbildung 2).

Die Gesamtheit der Aufwände im Bereitstellungsprozess steht den Erträgen aus dem Rohstoff gegenüber.

$$\text{Rohstoffpreis} = \text{Direkte Kosten} + \text{indirekte Kosten} + \text{Gewinn(e)}$$

über alle beteiligten Akteure

Direkte Kosten: z.B. Kosten des Technikeinsatzes, Personalkosten, Kommunikationsmittel, ..

Indirekte Kosten: z.B. Kosten für Planung, Abstimmung, Überwachung, Kontrolle, ...



Abbildung 2: Kosten im Bereitstellungsprozess

Die Gestaltung logistischer Prozesse ist allgemein eine sehr komplexe Aufgabe. Im Speziellen weisen Prozesse der Biomasselogistik im Vergleich mit ähnlichen Prozessen in anderen Wirtschaftszweigen jedoch Besonderheiten auf, die eine einfache Übertragung und Anwendung von Modellen und Methoden der Logistikprozessgestaltung verhindern. Zu nennen sind unter anderem die Eigenschaften des Rohstoffs Biomasse mit heterogenen Strukturen und Substraten, räumlich und zeitlich verteiltem sowie zum Teil geringem Aufkommen, Abhängigkeiten und Restriktionen beim Technikeinsatz in Bezug auf Zeitpunkt, Biomassequantität und -qualität etc., die Vielzahl der unterschiedlichen am Biomassebereitstellungsprozess beteiligten Akteure und deren heterogener Ausstattung, die auf die Prozesse wirkenden äußeren bzw. inneren Einflussfaktoren sowie Wechselwirkungen zwischen einzelnen Prozesselementen. Gerade in den Prozessen der Biomasse- und Holzlogistik ist zusätzliche eine große Vielfalt im wirtschaftlichen Zusammenwirken der beteiligten Akteure zu verzeichnen.

Wissenschaftlich betrachtet sind die Prozesse der Biomasselogistik daher komplexe, mehrstufige, überbetriebliche Quellen-Senken-Prozesse, die u. a.:

- unter Beteiligung heterogener Akteure, die in individuellen, variablen Szenarien zusammenarbeiten, ablaufen,
- mit z. T. innovativer Gerätetechnik durchgeführt werden und
- durch vielfältige Informations- und Kommunikationsprozesse geprägt sind.

Wesentlichen Einfluss auf die Gestaltung des logistischen Prozesses und somit auch die Bereitstellungskosten für den Rohstoff haben dabei (Auswahl):

- (1) Der Rohstoff **Biomasse**, der in Menge Struktur und Zusammensetzung z. B. in Abhängigkeit seiner Herkunft stark variiert. Rohstoffbezogene Unterschiede liegen dabei z.B. in der Qualität und nutzbaren Menge je Standort (Struktur, Wassergehalt, ...), jahreszeitlicher Verfügbarkeit, Schadstoffbelastung und anderen Faktoren. Gerade Biomasse hat bisher zumeist noch einen geringeren Wert (Rohstoff-Preis), wobei die am Markt erzielbaren Preise eine steigende Tendenz aufweisen.
- (2) Die im Prozess eingesetzte **Technik**, die letztlich ein wesentlicher Kostenfaktor (direkte Kosten) ist und entscheidend die Biomassequalität beeinflussen kann. In der Biomasselogistik entscheidet die Herkunft der Biomasse, d. h. die Mengen und Materialeigenschaften, wesentlich über die einsetzbaren Verfahren und Techniken. Dies begründet sich einerseits in Kostenrestriktionen, die bei Abgleich von Leistungsparametern und Auslastung erkennbar werden, andererseits durch Restriktionen, die auf Grund lokaler Rahmenbedingungen, vorgegeben durch die Infrastruktur (Gräben, Leitplanken, Wege, ...) oder die Umwelt (Naturschutz, Zertifizierung, Wetter, ...).
- (3) Die am Prozess beteiligten **Unternehmen**, d. h. Anbieter, Abnehmer und Dienstleister im Bereitstellungsprozess, die in Art, Anzahl, Ausstattung, Standort, Größe, Leistungsfähigkeit eine große Heterogenität aufweisen. Zu diesen Unternehmen zählen unter anderem die Flächeneigentümer, z. B. Landwirte, Waldbesitzer mit unterschiedliche Eigentums- und Organisationsformen, Dienstleister der Landwirtschaft, Forstwirtschaft und der Landschaftspflege mit einer Mitarbeiteranzahl von zumeist weniger als 10 Mitarbeitern, stoffliche und energetische Verwerter, Händler sowie Privathaushalte mit ihren unterschiedlichen Abnahmemengen und Qualitätsanforderungen.
- (4) Das wirtschaftliche **Zusammenwirken der Akteure**, die in vielfältigen Szenarien von Auftraggeber-Auftragnehmer-Beziehungen verbunden sind und wobei je Akteur häufig mehrere Szenarien anzutreffen sind. Die Produktion von Biomasse ist zumeist nicht das Kerngeschäft der Anbieter und die im Prozess eingebundenen Dienstleister erbringen in der Regel Leistungen für viele verschiedene Auftraggeber mit unterschiedlichen Prozess- und Produktanforderungen. Bezüglich des Zusammenwirkens der Akteure sind zwei wesentliche Trends zu verzeichnen. Zum einen kommt es in jüngerer Zeit verstärkt zu einer Auslagerung der Ernte- und Bereitstellungsprozesse an Dienstleister und zum anderen wird der Rohstoff Biomasse als Gegenwert für Leistung der Dienstleister angeboten, d. h. die Dienstleister müssen ihre Aufwende durch Verkauf des Rohstoffs refinanzieren.
- (5) Die komplexen Anforderungen an **Organisation und Planung** zur Gestaltung angepasster, individueller Prozessketten, die Wertschöpfungspartnerschaften und -netzwerke voraussetzen. Neben technischen Problemen an den Schnittstellen

zwischen den einzelnen Akteuren der Bereitstellungskette wirken sich besonders auch organisatorische und informationstechnische Defizite negativ auf eine ökonomisch-optimierte und ökologisch-nachhaltige Wertschöpfung des Rohstoffes aus. Die Akteure planen und steuern ihre Aktivitäten nach internen, in der Regel funktionalen Kriterien und eigenen Zuständigkeitsbereichen (z. B. Einkauf, Logistik, Vermarktung). Wechselwirkungen und Einflussfaktoren zwischen den Aktivitäten der Akteure, die resultierenden Folgen für Wirtschaftlichkeit und Effizienz unternehmensinterner und -übergreifender Prozesse sind bisher weder in vollem Umfang bekannt, noch werden diese im geschäftlichen Alltag entsprechend berücksichtigt.

- (6) **Exogene Faktoren**, die durch das politisch-rechtliche, ökonomische, ökologische sowie infrastrukturelle Umfeld vorgegeben sind. Zu diesen Faktoren zählen auch Einflussgrößen wie Klima, Wetter und Schutzbestimmungen.

Die genannten Einflussgrößen machen deutlich, dass die Ermittlung der „wirklichen“ Bereitstellungskosten in der Biomasselogistik keine simple Aufgabe ist. Während direkte Kosten im Bereitstellungsprozess, z. B. für Ernte, Transport und Aufarbeitung theoretisch auf Basis von Arbeitslohn oder Maschinenstundensätzen ermittelbar sind, gestaltet sich die Ermittlung von indirekten Kosten schwierig. Eine Untersuchung des Fraunhofer IFF⁸ in Magdeburg zeigte, dass die indirekten Bereitstellungskosten keinem der Akteure in der Gesamtheit bekannt und weder qualifizierbar noch quantifizierbar sind. Die Untersuchung, die praxisnah in enger Zusammenarbeit mit einer Vielzahl von Akteuren der Branche sowie mit Unterstützung des Verbandes des Holztransportgewerbes und der Arbeitsgemeinschaft forstwirtschaftlicher Lohnunternehmer durchgeführt wurde ergab, dass gerade bei Dienstleistungsunternehmen des Forstes sowie bei Transporteuren indirekte Kosten, wie Planungs-, Verwaltungskosten oder Kommunikationskosten häufig nicht in die Kosten- und Preiskalkulation einfließen.

Den Biomasseanbietern oder -abnehmern sind, wenn Sie Leistungen beauftragen, demzufolge zwar die direkten (Beschaffungs-)Kosten der Dienstleistungen bekannt, nicht jedoch die Gesamtprozesskosten, die jeweils dem „Wert“ der bereitzustellenden Biomasse entgegen zu rechnen sind. Vermarktungs- und Sortimentsentscheidungen basieren also zumeist nur unter Berücksichtigung des direkten Bereitstellungsaufwands und den am Markt erzielbaren Preisen, jedoch ohne Berücksichtigung weiterer Kriterien und Einflussgrößen.

Die Höhe der indirekten Kosten in der Biomasse Supply Chain ist jedoch nicht zu vernachlässigen. Gerade die Vielzahl von Akteuren und die unterschiedlichen Vertragsbeziehungen innerhalb der Wertschöpfungskette, verursachen in Verbindung mit hohen Abstimmungs- und Kommunikationsaufwänden sowie z. T. mangelhafter IT-Ausstattung erhebliche indirekte Kosten. Bei einer Erst-Untersuchung beispielhafter

⁸ Die Arbeiten in Rahmen des transnationalen, interdisziplinären Forschungsprojektes „WOODVALUE-Tailor made wood supply“ wurden im Rahmen der ERA-Net WOODWisdom-Net Initiative mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert (Förderkennzeichen: 0330835B).

Bereitstellungsprozesse wurde durch das Fraunhofer IFF ein Anteil indirekten Kosten an den Gesamtkosten von bis zu 20 % ermittelt. Bei der Analyse der Ursachen stellte sich heraus, dass die folgenden Einflussfaktoren den größten Einfluss auf die indirekten Kosten aufweisen:

- die eigene IKT Ausstattung und die der Partner im Prozess,
- Art, Umfang und Häufigkeit des Informationsaustausches sowie
- interne sowie externe Kommunikationsprozesse.

Im Rahmen des Projektes Best4VarioUse⁹ wurden darüber hinaus im Rahmen verschiedener praktischer Feldtests zur Biomasseernte genauere Erhebungen zu entstehenden direkten und indirekten Kosten vorgenommen. In dem genannten Projekt wurden exemplarische Standorte mit typischem Anfall von Restbiomassen in den Bereichen Land- und Forstwirtschaft sowie Landschaftspflege ausgewählt. Beispielhaft genannt seien Feinerschließungen und Gassenaufschlüsse, d. h. in der Forstwirtschaft notwendige Maßnahmen mit potenziell nutzbarer Biomasseaufkommen deren erschließbare Ausbeute an Biomasse bisher jedoch wirtschaftlich i. d. R. nicht genutzt wird. Je Standort wurden im Rahmen des Projektes verschiedenen Szenarien für Ernte, Lagerung, Aufbereitung und Transport erstellt. Sowohl im Prozess der Planung als auch bei der realen Durchführung aller Szenarien, in denen dabei jeweils unterschiedliche Technologien und Verfahren eingesetzt wurden, erfolgte eine umfassende Datenerhebung zur Ermittlung der entstehenden Kosten und zum Vergleich der Wirtschaftlichkeit der unterschiedlichen Verfahrensketten.

Im Ergebnis der Untersuchungen konnten zwei wesentliche Feststellungen getroffen werden. Zum einen stellte sich heraus, dass die indirekten Kosten, die durch Planung und Koordination des Bereitstellungsprozesses entstehen, mit bis zu 40 % der direkten Kosten einen signifikanten Teil der Biomassebereitstellungskosten ausmachen. Diese Kosten wurden von allen an den Versuchen beteiligten Unternehmen unterschätzt und flossen ursprünglich nicht in die Kalkulation. Zum anderen war beim Vergleich der Szenarien festzustellen, dass der Einsatz von überdimensionierter (Spezial-)Technik auf Seiten von Dienstleistern ein Kostentreiber ist. Im Hinblick auf eine unternehmensübergreifende, wirtschaftliche Effizienz der Bereitstellungskette ist im Bereich der Biomasseernte und -bereitstellung der Einsatz von standort- und mengenadäquater Technik ein entscheidender Faktor, der teure Spezialtechnik häufig nicht rechtfertigt.

4 Kostenfallen in der Biomasselogistik

Ausgehend von den Ergebnissen verschiedener Forschungsvorhaben und Umsetzungsprojekte sollen die wichtigsten Erkenntnisse und Empfehlungen im Folgenden zusammengefasst werden:

⁹ Die Arbeiten des Projektes „Best4VarioUse - Best Practices and Technologies to Develop Green Wastes and Residues as Raw Materials for Variants of Utilization“ werden im Rahmen des LIFE+ Programmes durch die Europäische Union gefördert.

1) **Technikeinsatz**

Die Auswahl und der Einsatz von Technik und Verfahren, die sowohl an den jeweiligen Standort, als auch an das anfallende oder vom Abnehmer geforderte Biomasse-substrat angepasst sind, entscheidet maßgeblich über die direkten Bereitstellungskosten. Aus dieser Erkenntnis ergibt sich zum einen die Anforderung, vorhandene Technik sinnvoll auszulasten, d. h. entsprechend des Anschaffungspreises und der Leistungsparameter (bei Spezialtechnik z. B. 200 ha ähnliches Substrat/Jahr und mindestens 50 m³/Maßnahme) und zum anderen neue Technik entsprechend der potenziell zu erbringenden Leistungen und des Einsatzbereiches zu beschaffen. Wird dies nicht beachtet, kann der Eigentümer der Technik keine ausreichende Kostendeckung erzielen. Die Folge sind entweder Verluste beim Dienstleister oder die Erhöhung des Rohstoffpreises. Wichtige Voraussetzung für den „richtigen“ Einsatz der Technik ist jedoch unter Berücksichtigung der Tatsache, dass Unternehmen hinsichtlich der Technikwahl zumeist auf Vorhandenes beschränkt sind, dass Einsatzparameter für die Technik (Datengrundlagen) bekannt sein müssen. Nur genaue Angaben zu der durchzuführenden Maßnahme und allen ggf. auftretenden Restriktionen zum Standort und Substrat können eine Planung gewährleisten, die einen wirtschaftlichen Technikeinsatz zur Folge hat.

2) **IT-Einsatz**

Wie einleitend bereits beschrieben, ist die Biomassebereitstellungskette durch viele Akteure, Kommunikationsverluste auf Grund zahlreicher Schnittstellen zwischen diesen Akteuren und eine unzureichende IT-Ausstattung geprägt. Die Folge sind Medienbrüche im Informationsaustausch, Doppelarbeit bei der Datenerhebung und dem Datenaustausch sowie häufige Warte- und Suchzeiten im Prozess. Andererseits ist jedoch auch festzustellen, dass der Bereitstellungsprozess von Biomasse dadurch gekennzeichnet ist, dass Akteure mit unvollständigen Informationen arbeiten müssen. Hauptursache dafür ist, dass nicht alle für die Prozessdurchführung relevanten Informationen erhoben und weitergegeben werden. Dies begründet sich oftmals damit, dass der Informationsbedarf der einzelnen Akteure nicht bekannt ist. Ein dritter, ebenfalls (kosten-)relevanter Aspekt des IT-Einsatzes im Bereitstellungsprozess sind noch immer fehlende oder unzureichend durchgesetzte Standards für den Datenaustausch sowie Branchenstandards für Hard- und Software, die Inkompatibilitäten und Zusatzaufwand zur Folge haben.

So entstehen häufig zusätzliche direkte und indirekte Kosten und Informationsverluste an den Schnittstellen zwischen den Akteuren der Biomasse Supply Chain.

3) **Datengrundlagen**

Auf fehlende Datengrundlagen im Prozess wurde bereits verwiesen. Deren Wirkung auf die Kosten im Bereitstellungsprozess zeigt sich einerseits als Ergebnis einer ungenauen Planung, z. B. durch mehrfache Be- oder Aufarbeitungen des Rohstoffs zur Anpassung an Abnehmeranforderungen, durch Fehleinsatz und -auslastungen der Technik oder auch technischen Störungen, die durch einen Fehleinsatz von Technik auf Grund unvollständiger Informationen z. B. zum Einsatzort hervorgerufen wurden.

Zum Anderen schlagen sich die unzureichenden oder unvollständigen Informationen häufig direkt in fehlerhaften Kostenkalkulation für Technik- und Personalkosten, den Abstimmungsaufwand und letztlich dem Rohstoffpreis nieder. Die Folge sind Einnahme- und Qualitätsverluste!

4) Kleine Mengen

Bei der Erschließung von bisher als Rest oder Abfall angesehenen Biomassen ist häufig ein, im Vergleich zu den klassischen Maßnahmen der Land- und Forstwirtschaft, geringer Mengenanfall je Standort oder Maßnahme zu verzeichnen. Für die Planung und Gestaltung wirtschaftlicher Prozesse zur Biomassegewinnung ist jedoch zu beachten, dass jede Maßnahme, auch mit kleinen Mengen, eine Maßnahmeplanung voraussetzt, Verträge zwischen Anbieter, Abnehmer und ggf. mit Dienstleistern bedingt und eine Abstimmung und Abrechnung zwischen diesen Akteuren erfordert. Die Prozesse Planung, Vertragsgestaltung und Abrechnung sind dabei bei jeder Maßnahme kostenrelevant. Untersuchungen des Fraunhofer IFF zeigten dabei, dass je kleiner die Maßnahmen und Mengen sind, um so höher sind die indirekten Kosten im Verhältnis zum Auftragsvolumen. Folgendes Beispiel soll dies verdeutlichen:

Die durchschnittliche Auftragsverteilung wird von forstlichen Dienstleistern wie folgt angegeben:

- 64 % - kleine Aufträge (bis 5 T€)
- 21 % - mittlere Aufträge (bis 25 T€)
- 15 % - große Aufträge (über 25 T€)

Dabei liegt der durchschnittliche Gesamtaufwand für Vertragsgestaltung, Planung, Steuerung u. ä. bei:

- 12 h für kleine Aufträge (bis 5 T€)
- 36 h für mittlere Aufträge (bis 25 T€)
- 65 h für große Aufträge (über 25 T€)

Legt man ein Auftragsvolumen von z.B. 150 T€ zu Grunde, so liegt die Summe der indirekten Aufwände für kleine Aufträge insgesamt bis zu 70 % über denen bei der Abwicklung großer Aufträge! Viele der Akteure der Branche arbeiten aus diesem Grund bereits mit sogenannten Rahmenverträgen, die zur Reduzierung des Aufwandes ein hilfreiches Mittel sind. Bezogen auf ein Einzelunternehmen sind Rahmenvertragswerke aber meist nur für $\frac{1}{4}$ der Aufträge gegeben.

5 Biomasselogistik: Chancen und Risiken

Die im vorangegangenen Abschnitt dargestellten „Kostenfallen“ verdeutlichen einmal mehr die Vielschichtigkeit und Komplexität der Zusammenhänge innerhalb der Wertschöpfungskette Biomasse. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen sollen an dieser Stelle einige grundlegende Aussagen zusammengefasst und Empfehlungen für eine effizientere Gestaltung des Gesamtprozesses und seiner Kosten gegeben werden.

Gerade in den Prozessen der Biomasselogistik, dies haben alle Projekte und Untersuchungen gezeigt, ist eine **gute Planung**, strategisch sowie operativ, unerlässlich. Dabei

ist bereits im Vorfeld eine **fundierte Vermarktungsentscheidung** wesentlich, die Kosten-Erlös-Vergleiche über die gesamte Biomasse Supply Chain heranzieht und ggf. verschiedene Prozessabläufe und alternative Abnehmer berücksichtigt.

Eine sinnvolle und kontinuierliche **Auslastung der Technik** sichert, dass Biomasse (kosten)effizient erschlossen und bereitgestellt werden kann. Bei Investitionen in Technik für den Biomassebereitstellungsprozess muss dabei jeweils gut abgewogen werden, ob in **Spezialtechnik oder Universaltechnik** investiert wird. Universell einsetzbare, preiswerte Technik, die mit geringem Aufwand maßnahmegerecht modifiziert werden kann, hat bei der Vielfalt der Standorte und Biomasseeigenschaften häufig deutliche Vorteile. Entscheidend sind jedoch letztlich die Informationen über das Einsatzgebiet, Einsatzbedingungen bzw. -restriktionen sowie die zu erreichende Biomassequalität. Diese Informationen, d. h. **gute Datengrundlagen** sind nicht nur für den Technikeinsatz, sondern für die gesamte Planung der Prozesse, von der Vermarktungs- über die Maßnahmenplanung inklusive Verfahrensauswahl bis zur Prozessüberwachung und Abrechnung unerlässlich.

Der Einsatz sinnvoller Strategien zur Kostenreduzierung ist dringend empfohlen. Beispielhaft sei das **Pooling** (sinnvolle Bündelung und/oder Zentralisierung von Ressourcen) verschiedener Ernte-, Aufarbeitungs- oder Transporttechnik nach dem Beispiel der sogenannten Maschinenringe genannt. Auch die **Nutzung von Kooperationspotenzialen** ist ein Weg Kosten zu reduzieren, um gezielt Schnittstellen zu reduzieren sowie Leistungen und Kräfte zu bündeln.

Die Akteure und Partner in der Bereitstellungskette Biomasse stehen daher vor der Aufgabe, **Wertschöpfungsnetzwerke** aufzubauen. Hierzu ist es jedoch erforderlich, dass die Einzelnen in der Lage sind, den „Blick über den Tellerrand“ zu machen. Die eigenen Prozesse sowie das eigene Handeln müssen kritisch durchleuchtet werden, um einen Gesamterfolg zu erzielen. Dies kann nur mit sinnvollen Vertragsgestaltungen, die nicht zu Lasten der Dienstleister gehen, sowie einer Akzeptanz von realistischen Kostenkalkulationen erreicht werden. Wichtig für jeden einzelnen Akteur ist, den Zusammenhang zwischen dem eigenem Erfolg und dem der Netzwerkpartner nicht aus dem Auge zu verlieren.

Die konsequente **Nutzung der Möglichkeiten moderner IuK-Technologien** kann zu einer deutlichen Kostenminimierung im Gesamtprozess führen. Sie ist nicht nur Voraussetzung für eine integrierte Planung auf Basis fundierter Grundlagen, sondern auch das geeignete Hilfsmittel zur Überwindung der zahlreichen Schnittstellen und Medienbrüche. An der **Erarbeitung und konsequenten Nutzung von Standards** für den Informationsaustausch müssen sich alle Akteursgruppen beteiligen, denn nur mit einheitlichen, akzeptierten und durchgesetzten IuK-Standards können die Nutzwerte der IT zur Kostensenkung in der Logistik erschlossen werden.

Die Akteure der Bereitstellungskette Biomasse haben, dies zeigen die zahlreichen Bemühungen um die gemeinsame Erarbeitung wirtschaftlich tragfähiger Modelle, diese Herausforderungen erkannt. Für (fast) alle Beteiligten eröffnen sich Geschäftsfelder, die unter Berücksichtigung gesellschaftlicher Entwicklungen Zukunftsperspektive ha-

ben. Die wirtschaftlichen Risiken der Einzelunternehmen wurden bereits im Zusammenhang mit den Chancen des Aufbaus effizienter Bereitstellungsketten erläutert.

Jedoch bestehen darüber hinaus weitere **Risiken**, die im Zusammenhang mit der Biomassenutzung regional und überregional mehr und mehr erkennbar werden. Diese sind insbesondere in der Gefahr von Fehlinvestitionen, in ökologischen Gefährdungen und der Gefährdung der Nachhaltigkeit zu sehen. Der weitere Ausbau der Biomasseverwertungskapazitäten ausschließlich auf Basis von Ermittlungen zum Nutzungspotenzial und ohne nachhaltige (regionale) Versorgungs- und Logistikkonzepte kann schnell zu einer Übernutzung des Rohstoffs oder zu Rohstoffengpässen nach kurzer Zeit führen. Wenn strategischen Zielstellungen in den Bereichen Erneuerbare Energien, Klimaschutz und Nutzung Nachwachsender Rohstoffe eingehalten werden sollen, ist es zwingend erforderlich, nicht nur neue und bessere Verwertungsprozesse aufzubauen, sondern das Augenmerk stets auch auf die Rohstoffmobilisierung und Bereitstellungsprozesse zu richten. Dies schließt die Unterstützung der Bemühungen um geeignete (Infra-)Strukturen zur Erschließung ungenutzter Potenziale, die Verfügbarmachung von Datengrundlagen, Planungsinstrumenten und Standards auf strategischer Ebene ein. Strategische Herausforderungen für den Aufbau sinnvoller Wertschöpfungsketten für Biomasse auf regionaler und lokaler Ebene liegen daher in:

- (1) Dem gezielten Ausbau der technischen, organisatorischen und informationstechnischen Infrastrukturen.
- (2) Der gezielten Unterstützung von Zusammenschlüssen zur Rohstoffmobilisierung unter Berücksichtigung regionaler und logistischer Aspekte.
- (3) Der Förderung des Auf- und Ausbau von (logistischen) Planungsinstrumenten. Dies schließt die Bereitstellung geeigneter Datengrundlagen, die auch logistikrelevante Parameter beinhalten, sowie geeignete Modelle zur integrierten Planung von Angebot, Nachfrage und Logistik ein.
- (4) Der Erarbeitung von Standards einschließlich der genauen Definition der Rohstoffanforderungen verschiedener Abnehmer für gezielte Planungsentscheidungen sowie eine genaue Definition und Dokumentation der Einsatzbedingungen für Technik.

Welchen Herausforderungen sich Regionen zusätzlich bei der Anpassung der eigenen regionalen Rahmenbedingungen stellen müssen, darauf soll im folgenden Ausblick eingegangen werden.

6 Ausblick: Gestaltung regionaler Rahmenbedingungen als Herausforderung

Davon ausgehend, dass es langfristig zu einem weiteren Preisanstieg für fossile Energieträger kommen wird, erhöhen sich die Chancen, unterschiedliche Arten von bisher ungenutzter Biomassen kostendeckend bzw. mit Gewinn auf dem Markt für nachwachsende Rohstoffe anzubieten. Zugleich führt jedoch die steigende Nachfrage nach Biomasse aus der Agrar- und Forstwirtschaft für die Energiegewinnung zu weiter wachsenden Konkurrenzsituation zu Ernährung und stofflicher Nutzung.

Diese Situation ist nicht nur von Seiten der Wissenschaft, sondern auch von Seiten lokaler Akteure in den vergangenen Jahren bereits erkannt und in den Mittelpunkt der Aktivitäten gerückt worden. So sind viele Regionen bereits bemüht, spezielle regionale Wertschöpfungsketten zur verstärkten Nutzung von bisher wenig oder gar nicht genutzten Biomassen sowie Biomasseresten zu aufzubauen.

Aufbauend auf praktischen Erfahrungen und wissenschaftlichen Ergebnissen verschiedenster Projekte auf regionaler, nationaler und europäischer Ebene, müssen nun insbesondere bei der Erschließung und Bereitstellung der Biomassen gerade auf regionaler Ebene Barrieren überwunden werden, um wirtschaftlich tragfähige, regionale Wertschöpfungsketten für feste, bisher ungenutzte Biomassen aus der Forstwirtschaft, der Landwirtschaft und der Landschaftspflege umzusetzen und Investitionen in neue Verarbeitungstechnologien voranzutreiben.

Ogleich die geplante Nutzung fester Biomassen in einzelnen Regionen in Abhängigkeit von den verfügbaren Arten und Mengen an Biomasse sowie von Verarbeitungsform und -bedarf variiert, sind die zu lösenden Problemstellungen und Hemmnisse hinsichtlich der Einführung innovativer Nutzungsverfahren zumeist ähnlich oder gleich. Die Bereiche, in denen Barrieren, die sich zumeist in Form von Innovations-, Anpassungs- und Optimierungsbedarfen äußern, zu überwinden sind, lassen sich wie folgt zu zusammenfassen:

Bereich	Bedarf
(1) Planung	Lokale/regionale Werkzeuge zur langfristigen Ermittlung und Planung von Biomassebereitstellungsprozessen
(2) Technik	Anpassung und Optimierung des Einsatzes verfügbarer Verfahren und Technologien in der Bereitstellungskette (Biomassernte, -aufarbeitung, -transport, -lagerung) zur Kostensenkung im Bereitstellungsprozess
(3) IT und Logistik	Verbesserung des Einsatzes innovativer Logistik- und Informationstechnologien entlang der gesamten Biomasse-Bereitstellungskette
(4) Rohstoffqualität und -mix	Erhöhung der Flexibilität der Verarbeitungstechnologien hinsichtlich regional verfügbarer Rohstoffqualitäten und Gewährleistung der Bereitstellung abnehmeradäquater, qualitätsgerechter Rohstoffe (best-optimised biomass mixes)
(5) Verwertung	Integrierte Nutzungskonzepte für die lokale Nutzung von Biomasse, in ländlichen Gebieten speziell auch die integrierte Nutzung von Wärme und Energie
(6) Personal und Partnerschaften	Erhöhung der Verfügbarkeit adäquat qualifizierten Personals sowie Modelle und Organisationsformen für Kooperationen und Partnerschaften für die an der Wertschöpfungskette beteiligten Akteure zum gemeinsamen Auftreten am Markt

Die dargestellten Bedarfe stehen nicht nur in enger Wechselwirkung zueinander, sondern werden zudem durch regionale Rahmenbedingungen, sogenannte BASIC CONDITIONS direkt beeinflusst. Diese wirken dabei sowohl auf die Gestaltung nachhaltig wirtschaftlicher und ökologisch verträglicher Prozessabläufe als auch auf die regionale Entwicklung im Bereich der Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Im Detail können die BASIC CONDITIONS folgende Schwerpunkte umfassen:

Bereich	Ausgewählte Rahmenbedingungen
(1) Recht und Gesetz	Genehmigungsverfahren, Haushalt, Richtlinien, Verordnungen, u. a. Vorgaben
(2) Arbeitsmarkt, Bildung, Soziales	Qualifikations- und Beschäftigungsmaßnahmen
(3) Wirtschaft und Finanzen	Steuern, Fördermaßnahmen und Subventionen
(4) Infrastruktur	Transport und Verkehr, Information und Kommunikation, Ver- und Entsorgung

Die Art der Ausgestaltung der (regionaler) Rahmenbedingungen ist heute häufig ein Grund für fehlende bzw. nicht ausreichende Investitionen, da die Untersetzung oft zu allgemein und nicht fokussiert auf die Bedarfe von nachhaltig wirtschaftlichen und ökologisch verträglichen Prozessabläufen im Bereich der Biomassenutzung ist. Punktuelle Anpassungen an gesetzlichen Regelungen und Richtlinien, aber auch eine flexiblere Gestaltung z. B. von Genehmigungsverfahren für neue Anlagen sind notwendig. Um diese zu erreichen ist es notwendig, Entscheidungsträgern aus Politik, Verwaltung, aber auch industriellen Interessenvertretern, die bestehenden Zusammenhänge transparent zu machen und zu vermitteln. Dabei ist es wichtig, sowohl die negativen Wirkungen hemmender Faktoren als auch die Verbesserungspotenziale, nachvollziehbar sowie greifbar zu machen und so einen Beitrag zu Transparenz und Sensibilität zu leisten.

7 Literaturverzeichnis

- Aretz, A., Hirschl, B. (2007): Biomassepotenziale in Deutschland-Übersicht maßgeblicher Studienergebnisse und Gegenüberstellung der Methoden. Studie im Rahmen des Verbundprojektes DENDROM – Zukunftsrohstoff Dendromasse. Dendrom-Diskussionspapier Nr.1. März 2007
- BMU (2010): Erneuerbare Energien in Zahlen - nationale und internationale Entwicklung <http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/2720/42038/>.
- Dreier, T. (2000): Ganzheitliche Systemanalyse und Potenziale biogener Kraftstoffe. E und M, Energie-und-Management-Verlag-Ges., Herrsching 2000.
- EUR-Lex (2010): Richtlinie 88/410/EWG der Kommission vom 21. Juni 1988 zur Anpassung der Richtlinie 74/151/EWG des Rates zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über bestimmte Bestandteile und Merkmale von land- oder forstwirtschaftlichen Zugmaschinen auf Rädern an den technischen Fortschritt. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31988L0410:DE:HTML>, 30.07.2010.

- Fritsche et al. (2004): Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse, Endbericht, Darmstadt u.a., Mai 2004.
- Kaltschmitt, M.; Merten, D. et al. (2003): Energiegewinnung aus Biomasse. Externe Expertise für das WBGU-Hauptgutachten 2003 „Welt im Wandel: Energiewende zur Nachhaltigkeit“; Berlin.
- Kaltschmitt, M. und Hartmann, H. (2009): Energie aus Biomasse: Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer Verlag, Berlin, 2009.
- Kreis Siegen-Wittgenstein (2010): Landschaftsplanung in Naturschutzgebieten (NSG). www.siegen-wittgenstein.de/standard/page.sys/details/eintrag_id=790/content_id=588/349.htm, 30.07.2010.
- Kuhn, A. und Hellingrath, B. (2002): Supply Chain Management - Optimierte Zusammenarbeit in der Wertschöpfungskette. Springer Verlag, Berlin, 2002.
- Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik e.V. (2005): Formatbeschreibung zur Erstellung einer forstspezifischen Navigationsdatenbasis – Pragmatisches ShapeForst. http://www.kwf-online.de/deutsch/arbeit/geodat/Spezifikation_pragmatischesshapeForst_3_0.pdf, 30.07.2010.
- Murach, D.; Knur, L. und Schultze, M. (2008): DENDROM – Zukunftsrohstoff Dendromasse Systemische Analyse, Leitbilder und Szenarien für die nachhaltige energetische und stoffliche Verwertung von Dendromasse aus Wald- und Agrarholz. Eberswalde, Berlin, Cottbus, November 2008.
- Neumann, K. (2011): Produktionsfaktoren. http://www.wior.uni-karlsruhe.de/LS_Neumann/Lehre/WS2003/POM/Produktionsfaktoren.jpg, 31.05.2011.
- Otto Th. Menke GmbH (2007): Otto Th. Menke GmbH aus Soest auf der "demopark". http://www.menke-forsttechnik.de/htm/frm_news/2007/htm_news21.html, 30.07.2007.
- Ropohl, G. (1979): Eine Systemtheorie der Technik. Zur Grundlegung der allgemeinen Technologie. Hanser Verlag, München Wien, 1979.

Risiko im Versorgungsnetzwerk Holzbiomasse

Peter Rauch

Institut für Produktionswirtschaft und Logistik,
Universität für Bodenkultur Wien, Feistmantelstrasse 4, 1180 Wien

Hermann Hahn

Institut für Produktionswirtschaft und Logistik,
Universität für Bodenkultur Wien, Feistmantelstrasse 4, 1180 Wien

Manfred Gronalt

Institut für Produktionswirtschaft und Logistik,
Universität für Bodenkultur Wien, Feistmantelstrasse 4, 1180 Wien,
manfred.gronalt@boku.ac.at

Peter Schwarzbauer

Institut für Marketing und Innovation,
Universität für Bodenkultur Wien, Feistmantelstrasse 4, 1180 Wien

Zusammenfassung

In Österreich ist die Sicherstellung der Versorgung von Holzbiomasse-Heiz(kraft)werken aufgrund aktueller und zukünftiger Entwicklungen, wie beispielsweise die Beeinträchtigungen des Ökosystem Wald infolge des Klimawandel oder der Holznachfrageboom in Schwellenländern, massiv bedroht. Aufgrund hoher Investitionen bzw. umfangreicher staatlicher Förderungen steigt damit der Bedarf, diese Risiken zu beurteilen und Risikofolgen auch langfristig abschätzen zu können. Das Versorgungsnetzwerk Holzbiomasse wurde deshalb mit einem systemdynamischen Modellansatz abgebildet, um neben den mittel- und langfristigen Risikofolgen auch bisher unbeachtete oder unbekannte Effekte und Rückkopplungen von Risikofolgen erkennen zu können. Das System Dynamics Modell simuliert unter Einbeziehung des stochastischen Schadholzanfalles die Holzbereitstellung aus Österreichs Wald. Im Basisszenario wird das Erreichen der Bioenergie-Ziele lt. National Renewable Energy Action Plan 2010 for Austria (NREAP-AT) und der darin festgelegten Anteile von Bioenergie aus Holz (2020 insgesamt 200 PJ) simuliert. Die Ergebnisse weisen auf beträchtliche Versorgungsrisiken für Energieholz hin.

1 Einleitung

In Österreich ist die Sicherstellung der Versorgung von Holzbiomasse-Heiz(kraft)werken aufgrund aktueller und zukünftiger Entwicklungen, wie beispielsweise die Beeinträchtigungen des Ökosystem Wald infolge des Klimawandel oder der Holznachfrageboom in Schwellenländern, massiv bedroht. Aufgrund hoher Investitionen bzw. umfangreicher staatlicher Förderungen steigt damit der Bedarf, diese Risiken zu bewerten und Risikofolgen auch langfristig abschätzen zu können. Infolge der Komplexität des Versorgungsnetzwerkes Holzbiomasse, das sich von unterschiedlichen Waldökosystemen über technische Bereitstellungsketten zu stofflichen oder energetischen Verwertern spannt, bedarf es zur Abschätzung von Risiken und deren Auswirkungen Methoden, die dynamische Systeme und vernetzte Wechselwirkungen und Rückkopplungen abbilden können. Mittel- und langfristige Risikoauswirkungen auf das Versorgungsnetzwerk Holzbiomasse sollen unter variierenden Rahmenbedingungen bestimmt werden.

Das Versorgungsnetzwerk Holzbiomasse wurde deshalb gemäß einem systemdynamischen Ansatz in einem Modell abgebildet, um neben den mittel- und langfristigen Risikofolgen auch bisher unbeachtete oder unbekannte Effekte und Rückkopplungen von Risikofolgen erkennen zu können. Ziel war es, für Österreich ein detailliertes Modell der Bereitstellung von Rohholz sowie des Rohholzmarktes unter Einbeziehung der holzbasierten Industrie inklusive der holzbasierten Bioenergie zu entwickeln, das auch den wesentlichen Einfluss des Schadholzanfalles auf den Einschlag der österreichischen Forstwirtschaft sowie stochastische Schadereignisse abzubilden vermag. Die ganzheitliche Erfassung des Kausalgefüges des Versorgungsnetzwerkes Holzbiomasse ist in Abbildung 1 dargestellt. Dieses kausale Schleifendiagramm wurde im iterativen Diskurs erarbeitet und bildet den Orientierungsrahmen für alle weiteren modellbautechnischen Schritte.

Aufbauend auf das kausale Schleifen Diagramm wird das eigentliche SD-Modell erarbeitet. Dabei wird der bidirektionale Graph entsprechend einer definierten Symbolik in ein computergestütztes, über die Zeit simulierbares Modell, transformiert. SD unterscheidet hierbei insbesondere vier grundlegende Elementtypen, (i) Bestandsgrößen, (ii) Flussgrößen, (iii) freie Variablen und (iv) Konstanten. Während der Wert einer freien Variablen unmittelbar für jeden einzelnen Modell-Zeitschritt errechnet wird, z.B. einfache mathematische Operationen und Umrechnungsfaktoren, beschreiben Bestandsgröße das eigentliche Modell-Gedächtnis. Der Wert einer Bestandsgröße wird über die der Bestandsgröße zugeordneten Flussgrößen über die Zeit bestimmt, wobei der aktuelle Wert einer Bestandsgröße zum Zeitpunkt als Summe des Wertes der Bestandsgröße zum vorhergehenden Zeitpunkt, die eingehenden und die ausgehenden Flussgrößen zum vorhergehenden Zeitpunkt errechnet wird, der Wert einer Bestandsgröße also von seiner eigenen Vergangenheit abhängt. Konstanten hingegen dienen zur Parametrisierung des Modells. Moderne Softwarepakete, wie das in dieser Studie verwendete Stella®, bieten darüber hinaus weiterreichende Modellkomponenten wie binäre Konditionen (if-then-else), eine Vielzahl von vorgefertigten Basisfunktionen (z.B. Rampen-

Funktionen, Zufallsgeneratoren, etc.), und Möglichkeiten zum Datenaustausch (Import/Export) mit externen Programmen.

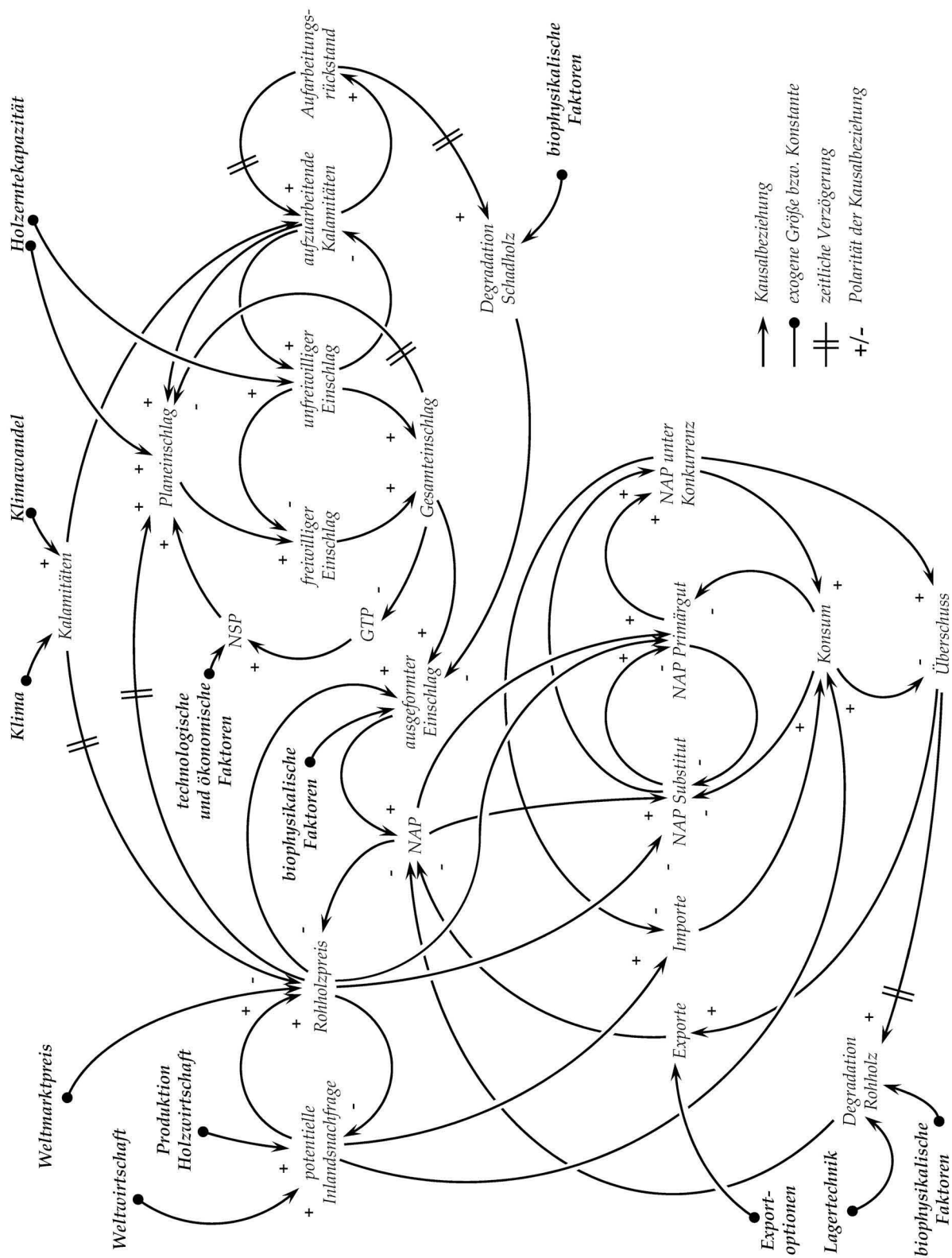


Abb. 1: Kausales Schleifen Diagramm des Versorgungsnetzwerks „Holzbiomasse“

Entgegen der originären primär qualitativen Intuition von SD, verfolgt der Modell-Zugang im Versorgungsnetzwerk Holzbiomasse eine primär quantitative Zielsetzung,

wenn es um eine zahlenwertmäßig untermauerte Abschätzung von Versorgungsrisiken geht. Entsprechend den recherchierten Risiken im Versorgungsnetzwerk Holzbiomasse werden die Vernetzung von empirisch bekannten und statistisch gesicherten Zusammenhängen, operativer und organisatorischer Vorgänge, ökonometrischen und sozi-ökonomischen Relationen, sowie biophysikalischer und meteorologischer Gegebenheiten (vgl. Buongiorno 1996; Toppinen und Kuuluvainen 2010; Qi und Chang 2011) betrachtet. Um quantitative Schlüsse über das prognostizierte Versorgungsrisiko an Hand von Wahrscheinlichkeiten ziehen zu können, spielen stochastische Ereignisse, insbesondere das Schadholzaufkommen, eine wesentliche Rolle für das SD-Modell. Nicht die Entwicklung einzelner Modellgrößen im singulären Simulationslauf ist hierbei von Interesse, sondern das kumulative Bild über eine Vielzahl von Einzelgrößen. Einen gängigen Zugang hierzu bietet die Szenariotechnik, wobei das SD-Modell entsprechend den Rahmenbedingungen klar definierter Szenarien je nach Szenario neu parametrisiert und simuliert wird (vgl. Schwarzbauer und Stern 2010). Eine methodisch fundierte Steigerungsform der Szenariotechnik liegt in der Monte Carlo Simulation, der Gesamtauswertung einer Pluralität von Simulationsläufen unter Miteinbeziehung stochastischer, von Simulationslauf zu Simulationslauf variierender, Systemgrößen im SD-Modell (vgl. Hagenson 1990; Hasani-Marzooni und Hosseini 2011). Das SD-Modell des Versorgungsnetzwerkes Holzbiomasse trägt der quantitativen Fragestellung über eine Kombination aus Szenariotechnik und Monte Carlo Simulation Rechnung, wobei die erforderliche Stochastik über die Miteinbeziehung der ermittelten kumulativen Häufigkeitsverteilungen von Sturm- und Borkenkäferkalamitäten im Modell realisiert wird.

2 Modellierungsansätze und Elemente des SD Modells

Entsprechend der Aufgabenstellung ist das SD-Modell als aggregiertes, offenes Regionalmodell von Österreich mit Fokus auf die Bereitstellung von Holzbiomasse für die energetische Nutzung im Inland durch die heimische Forstwirtschaft, mit einer klaren Abgrenzung (Systemgrenze) gegenüber dem Ausland, konzipiert. Das gesamte SD-Modell (siehe Abbildung 2) ist organisatorisch und modelltechnisch in den drei Hauptmodulen (i) Forstwirtschaft, (ii) Rohholzmarkt und (iii) holzbasierte Industrie gegliedert, welche ihrerseits in sechs Submodule (Submodelle) untergliedert sind, wobei die Submodule „Holzernte“ und „Angebotsabgleich“ zur Gänze endogen modelliert wurden, d.h., alle relevanten Systemgrößen werden in diesen beiden Submodellen zur Gänze aus dem Modell selbst errechnet.

Die restlichen Submodelle sind zum einen Mischformen endogener und exogener (aus Sekundärstudien vorgegebene Daten als Modelleingang) Elemente und Relationen, zum anderen, wie beim Submodell „Holzwirtschaft und energetische Nutzung“, primär exogener Natur. Abbildung 2 gibt eine schematische Übersicht über das SD-Modell und seine Systemgrenze, die vorhandenen Submodelle, sowie aller relevanten endogenen und exogenen Relationen (Beziehungen) und der stofflichen (mengenmäßigen) Flüssen zwischen den einzelnen Submodellen und der Systemumwelt.

Basierend auf dem Sekundärdatenbestand der jährlich erhobene Holzeinschlagsmeldung (HEM), werden alle Modellgrößen entsprechend der hierbei verwendeten verrichtungsorientierten Gliederung (vgl. Schwarzbauer et al. 2009) modelliert, wobei folgende Überkategorien zu nennen sind: Nutzungsart, Eigentümerkategorie, Rohholzsortimente. Die Eigentümerkategorie umfasst im SD-Modell (i) Großwald und (ii) Kleinwald (<200 ha), wobei sich der Großwald aus den Betrieben (>200 ha) und den Österreichischen Bundesforsten (ÖBf) zusammensetzt. Bei der Nutzungsart wird gemäß forstwirtschaftlicher Praxis nach (i) Endnutzung und (ii) Vornutzung unterschieden, die modellierten Rohholzsortimente umfassen (i) Sägerundholz, (ii) Industrieholz und (iii) Energieholz, wobei sich letzteres auf Grund mangelnder gesonderter Datenlage auf die aggregierten Menge von Brennholz und Waldhackgut bezieht.

Die energetische Rohholznutzung steht in direkter Nutzungskonkurrenz mit den restlichen Wirtschaftszweigen der heimischen Holzwirtschaft, wie Papier und Zellstoff, und Platte. Darüber hinaus bestehen potentielle Substitutionsoptionen bei der Nutzung forstwirtschaftlicher Rohstoffe. Um statistische Aussagen über die Versorgungssicherheit des Versorgungsnetzwerks Holzbiomasse bei gleichzeitiger Nutzungskonkurrenz und Substitutionsoption fällen zu können, ist es zweckmäßig, Angebotsmengen nicht als absolute Werte (tatsächlich konsumierte Menge) gepaart mit wirtschaftlichen Überlegungen (z.B. Preis) zu betrachten, sondern ein potentielles Angebot an Energieholz einer potentiellen Nachfrage nach selbigem gegenüber zu stellen. Gronalt und Rauch (2007) schlagen für ein Versorgungsnetzwerk Holzbiomasse folgende grundlegende Operationalisierung solcher Potentialgrößen vor: (i) das theoretisch nachhaltig nutzbare Potential, (Gross Technical Potential, GTP) als Summe der Aktivierung der Durchforstungsreserven und der Nutzung des gesamten Zuwachses, (ii) das technisch mögliche und wirtschaftlich nutzbare Potential (Net Supply Potential, NSP) als GTP abzüglich unzugänglicher und unwirtschaftlicher Waldflächen, und (iii) das tatsächliche verfügbare Potential (Net Available Potential, NAP) als NSP unter Berücksichtigung der tatsächlichen Mobilisierung der nutzbaren Mengen. Junginger et al. (2001) inkludieren in ihrer Operationalisierung des NAP auch eine mögliche Nutzungskonkurrenz durch alternative Verwendungszwecke. In Anlehnung an diese Arbeiten wird im SD-Modell die Operationalisierung nach Gronalt und Rauch (2008) um eine vierte Potentialstufe NAP unter Konkurrenz erweitert, wobei diese zusätzliche Potentialgröße die primär zu prognostizierende Zielgröße des SD-Modells repräsentiert (siehe Abbildung 2). Nachstehend wird die Modellierung der Submodelle im Detail beschrieben.

Modellierung des Ertragswaldes

Die österreichische Forstwirtschaft kann auf große Waldflächen bei jährlich steigendem Bestandszuwachs zurückgreifen (vgl. Schwarzbauer et al. 2009). Dementsprechend verfügt das SD-Modell, anders als andere Modelle im Forstsektor (vgl. Buongiorno 1996; Schwarzbauer und Rametsteiner 2001), über keinen endogenen Mechanismus zur zeitlichen Simulation und Prognose des verfügbaren Vorrats, sondern unterstellt ein aktuell bestimmtes Potential an nachhaltig nutzbarem Rohholz aus dem österreichischen Ertragswald als mittel- und langfristige Obergrenze des Planeinschlages.

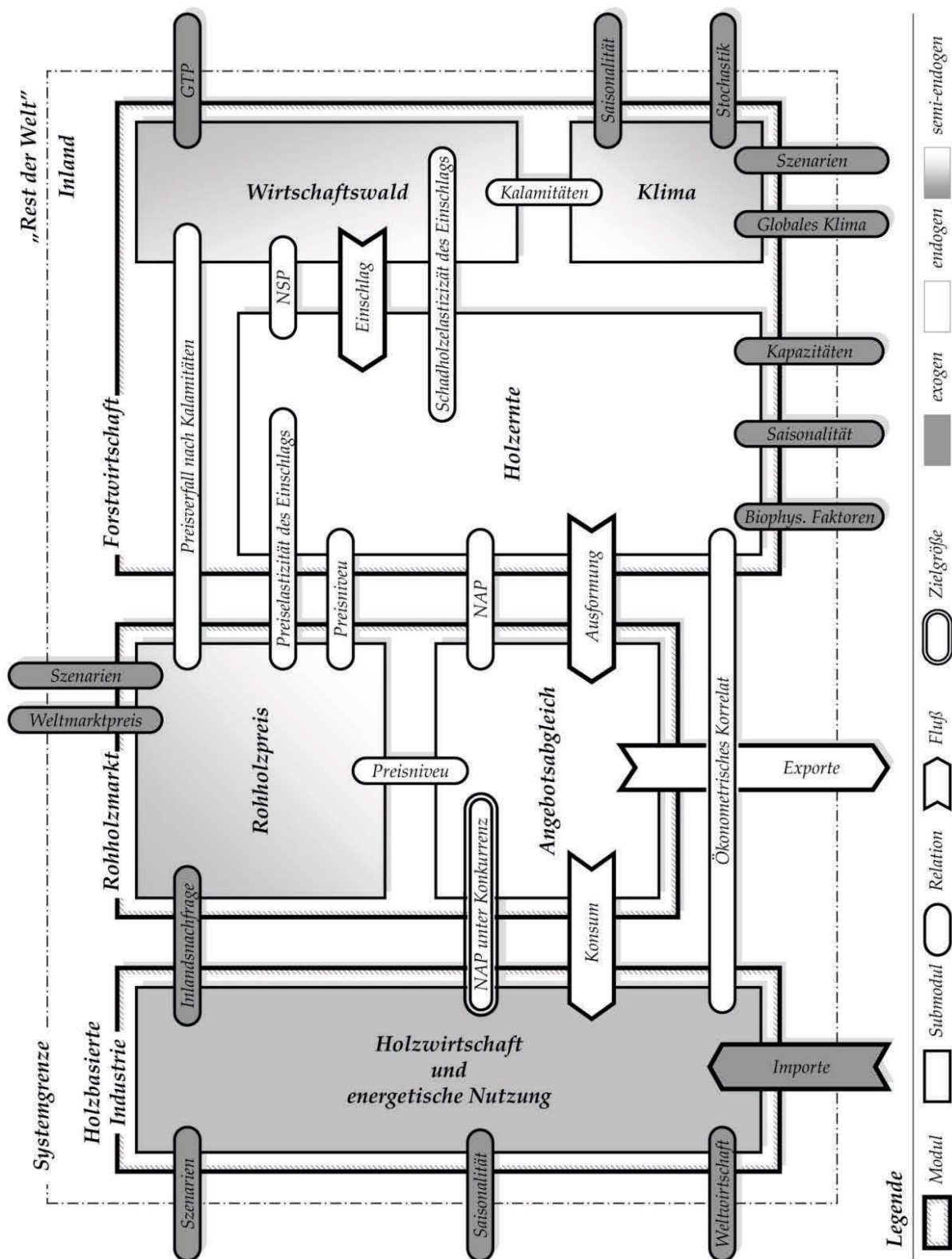


Abb. 2: Schematische Darstellung des SD-Modells

Modellierung des Klimas

Das Submodell des heimischen Klimas bildet das stochastische Kernstück des SD-Modells. Der Regionalität des SD-Modells entsprechend, wird das heimische Klima wesentlich durch das globale Klima samt fortschreitendem Klimawandel als exogen vorgegebener Tatsache determiniert, und bestimmt daher maßgeblich die jährlichen Schadholzmengen im heimischen Wald aufgrund von Sturm- und Borkenkäferkalamitäten.

Die Zeitreihenanalyse der historischen Schadholzmengen auf Quartalsebene basierend auf Daten der HEM lässt zumindest qualitative Schlüsse über saisonale Variabilitäten für beide Kategorien von Kalamitäten zu (vgl. Podbregar 2003), wobei insbesondere den Winterstürmen eine bedeutende Rolle beigemessen wird (vgl. Tomiczek et al. 2008; Krehan und Steyrer 2008). Den ermittelten kumulativen Häufigkeitsverteilungen von Sturm- und Borkenkäferkalamitäten folgend, werden im Submodell des heimischen Klimas stochastische Jahresmengen für Sturmholz und Käferholz unter Berücksichtigung deren saisonaler Muster auf Quartalsebene ermittelt, welche als aufzuarbeitende Kalamitäten in die heimische Forstwirtschaft einfließen. Entsprechend dem stochastischen Ansatz des SD-Modells im Rahmen der Monte Carlo Simulation, werden für jeden Simulationslauf und je Szenario gesonderte zukünftige Schadholzaufkommen für Sturm- und Borkenkäferkalamitäten entsprechend der historisch beobachteten Häufigkeitsverteilungen ermittelt.

Modellierung der Holzernte

Das Submodell der *Holzernte* umfasst zwei grundlegende Transformationsprozesse, (i) den *Einschlag* und (ii) die *Ausformung*, welche simultan in einem Zeitschritt errechnet werden. Modelltechnisch wird für die Forstwirtschaft ein Hybride aus (i) biophysikalischen, (ii) operativen, (iii) organisatorischen und (iv) ökonometrischen Sachverhalten modelliert, wobei zunächst der Einschlag primär den biophysikalischen Vorgang des „Bäume Fällens“ zum Gegenstand hat, die Ausformung hingegen den unmittelbar darauf folgenden Vorgang abbildet, wenn der zuvor gefällte Baum noch an Ort und Stelle in die entsprechenden Rohholzsortimente zerlegt (ausgeformt) wird. Beide Prozesse unterliegen dabei neben biophysikalischen Faktoren, wie z.B. Ausformungskoeffizienten, auch sozioökonomischen Faktoren, wie den aktuellen Rohholzpreisen bzw. deren Preisniveaus zueinander, aber auch im Falle des Einschlags der Motivation zum Akt des „Baumfällen“ (Mobilisierung).

Unter Bedachtnahme einer nachhaltigen Einschlagsplanung erfolgen Einschläge entweder (i) freiwillig (reguläre Nutzung), oder (ii) unfreiwillig (Zufallsnutzung). Die im Zuge von Kalamitäten anfallenden Schadholzmengen an Sturmholz und Käferholz machen eine Aufarbeitung dieser Mengen notwendig, wobei Aufarbeitungsmaßnahmen als unfreiwilliger Einschlag gegenüber freiwilliger Einschläge prioritär behandelt werden. Borkenkäferkalamitäten werden dabei aufgrund der Gefahr von Gradationsfolgen eher aufgearbeitet als Sturmschäden. Im Rahmen der Einschlagsplanung widmet sich die Forstwirtschaft im Anschluss an unfreiwillige Einschläge den freiwilligen Einschlägen, um die Zielvorgaben (Planeinschlag) bestmöglich zu erfüllen und einen

Mehreinschlag auf Grund von Kalamitäten durch Rücknahme des freiwilligen Einschlags so weit als möglich zu kompensieren.

Die Ermittlung des Planeinschlags erfolgt dabei primär auf Jahresebene und basiert auf einem zweistufigen ökonometrischen Berechnungsverfahren. Im ersten Schritt wird das dynamische, flexibel reagierende Jahresziel über z.T. statistisch hoch gesicherte Angebotselastizitäten der Änderungsraten gegenüber dem Vorjahr der Durchschnittspreise aller Rohholzsortimente und dem Gesamtschadholzanfall als erklärende Variablen ermittelt (vgl. Schwarzbauer et al. 2009). In diesen Elastizitäten findet sich z.B. auch der Umstand wieder, dass eine vollständige Kompensation von Kalamitäten nur bedingt möglich ist, in der Regel auch nicht erfüllt wird (vgl. Schwarzbauer 2007). Im zweiten Schritt wird das dynamisch Ziel um einen langfristigen Trendanteil, basierend auf multivariater Regressionsanalyse der historischen holzwirtschaftlichen Produktionsdaten, des Energieholzbedarfs und der historischen Schadereignisse ergänzt. Dieser Trendfaktor beschreibt die langfristige Entwicklung der Forstwirtschaft als Rohstofflieferant für die Holzwirtschaft und den energetischen Sektor, aber auch langfristige Trendeffekte wie die Rücknahme des freiwilligen Einschlages hinsichtlich einer langfristigen Zunahme des Schadholzaufkommens.

Neben dieser zweistufigen Berechnung des Jahresziels ist das Submodell Holzernte durch eine saisonale, rollierende Einschlagsplanung auf Quartalsebene charakterisiert. Wird z.B. das Planziel für das 2. Quartal aufgrund erhöhter Aufarbeitung von Kalamitäten überschritten, wird das Planziel für das 3. und 4. Quartal aliquot herabgesetzt, um somit das Jahresziel bestmöglich zu erreichen. Als Folge von starken Schadereignissen kann das Jahresziel aber auch überschritten werden, wobei der tatsächlich mögliche Einschlag über technische und personelle Kapazitätsrestriktionen begrenzt wird, was bei extremen Schadereignissen zu Aufarbeitungsrückständen führen kann, welche dann in der Folgesaison ins Planungskalkül mit aufgenommen werden. Unaufgearbeitete Kalamitäten unterliegen dabei entsprechend biophysikalischer Faktoren in qualitativer Hinsicht einer Degradation, was zu quantitativen Verlusten bei einer nachfolgenden Aufarbeitung und Ausformung führt.

Modellierung der Rohholzpreise

Der logistisch strategischen Fragestellung des Versorgungsrisikos entsprechend, werden die langfristig prognostizierten inländischen Preisentwicklungen der verschiedenen Rohholzsortimente semi-endogen ermittelt. Auf Grund der Ausgestaltung des SD-Modells als Regionalmodell spielt dabei der exogene Einfluss der pro Szenario prognostizierten Weltmarktpreise basierend auf Daten aus Sekundärstudien (vgl. Jonsson 2010) für die verschiedenen Rohholzsortimente und Holzprodukte eine wesentliche Rolle bei der inländischen Preisgestaltung. Um der stochastischen Natur des Klima-Submodells gerecht zu werden, werden die exogenen Preisentwicklungen endogen sowohl an die kurzzeitigen als auch die langfristigen Folgen von extremen Schadholzergebnissen angepasst. Insbesondere für den heimischen Sägerundholzpreis kann im Falle eines extremen Schadholzergebnisses neben einem unmittelbar darauf folgenden kurzfristigen Preiseinbruch auch ein langfristiger Preisverfall (Strukturbruch) beobachtet werden (vgl. Schwarzbauer 2007, Swedish Forest Agency 2011).

Modellierung des Angebotsabgleichs

Bei der Bestimmung marktverfügbarer Potentiale, insbesondere für die energetische Nutzung, werden in der Literatur oftmals sozioökonomische Aspekte und Restriktionen wie Konkurrenz oder Substitution außen vor gelassen. Das Submodell des Angebotsabgleichs schließt diese Lücke durch die die Bereinigung der theoretischen Größe des NAP und ermittelt das NAP unter Konkurrenz als marktverfügbare Rohholzmen-gen des auf nationaler Ebene aggregierten Wirtschaftswaldes und Schutzwaldes in Ertrag.

Zumal die Rohholzpreise semi-endogen vorgegeben werden, verzichtet das Hauptmo-dul des heimischen Rohholzmarktes anders als andere Modelle (vgl. Schwarzbauer und Rametsteiner 2001) auf einen eigenen intrinsischen Preisbildungsmechanismus, umfasst dafür aber entsprechend der Fragestellung einen detaillierten Mechanismus zum Abgleich des potentiell verfügbaren Angebots an verschiedenen Rohholzsorti-menten gegenüber einer potentiellen Nachfrage an diesen Rohholzsortimenten durch die heimische Holzwirtschaft unter Berücksichtigung von potentiellen Substitutionsop-tionen zwischen den einzelnen Rohholzsortimenten. Dem Preisniveau der verschie-denen Rohholzpreise wird dabei eine doppelte Rolle beigemessen. Zum einen werden entsprechend der holzwirtschaftlichen potentiellen Nachfrage höherpreisige Rohholz-sortimente bevorzugt einem Konsum als Primärprodukt (z.B. Sägerundholz wird als Sägerundholz abgesetzt) unterworfen, andererseits unterliegen unter Bedachtnahme biophysikalischer Restriktionen die Rohstoffsortimente einer Substitutionslogik, wo-nach das Preisniveau den Ausschlag für die Substitutionsraten zwischen den einzelnen Sortimenten gibt. Der tatsächliche Konsum eines Rohholzsortiments ergibt sich dabei als Summe des Konsums dieses Sortiments als Primärprodukt und den Konsum als genutztes Substitut für ein anderes nachgefragtes Sortiment, wie z.B. die Nutzung von Industrieholz als Energieholz.

Nicht konsumierte Mengen der verschiedenen Rohholzsortimente, z.B. als Folge sai-sonaler Nachfrageschwankungen (vgl. Gronalt und Rauch, 2008) werden dabei als Mengenüberschuss, gegliedert nach Chargen auf Quartalsebene, auf Lager gehalten, wobei sich einerseits Exportoptionen dieser Überschüsse ins Ausland ergeben, über-schüssige Rohholzmen-gen somit dem heimischen Rohholzmarkt entzogen werden, es andererseits aufgrund biophysikalischer Prozesse zu einer mit der Zeit fortschreitenden qualitativen Degradation der auf Lager liegenden Chargen von Rohholzsortimenten kommt, bis hin zu einer gänzlichen nicht mehr gegebenen Verwertbarkeit einer Charge. So degradiert z.B. Sägerundholz mit zunehmender Zeit zu Industrieholz, etc., wobei unterschiedliche Lagertechniken (z.B. Folienlager für Sägerundholz) eine fortschrei-tende Degradation in ihrem zeitlichen Ablauf aber maßgeblich beeinflussen können.

Modellierung der holzbasierten Industrie

Primär exogen erfasst, umfasst das Hauptmodul der holzbasierten Industrie alle nöti-gen Schritte zur Ermittlung der potentiell nachgefragten Mengen an den verschiedenen Rohholzsortimenten der Wirtschaftszweige Säge, Papier und Zellstoff, Platte und Bio-energie, sowie (entsprechend dem Szenario) Wood Plastic Components (WPC) und

Bioraffinerie sowie der potentiell nachgefragten Mengen an Brennholz und Waldhackgut zur energetischen Nutzung. Je nach Szenario werden unterschiedliche exogene Produktionsdaten aus Sekundärstudien (vgl. Jonsson 2010) unter Berücksichtigung der entsprechenden Konversionsfaktoren als Zielvorgabe für das Submodell des heimischen Rohholzmarktes bereitgestellt. Unter Berücksichtigung saisonal variierender Produktions- und Nachfragemuster, wird die potentielle Nachfrage dem NAP unter Konkurrenz als Ergebnis des Hauptmoduls des heimischen Rohholzmarktes gegenübergestellt, was entsprechend der Fragestellung quantitativ prognostizierte Rückschlüsse auf die den Versorgungslage heimischer Heizwerke (HW) und Heizkraftwerke (KWK) basierend auf Holzbiomasse erlaubt. Mit Österreich in der Rolle als Netto-Importeur von Rohholzsortimenten werden Fehlmengen auf dem heimischen Rohholzmarkt prinzipiell zu Gänze von ausländischen Märkten importiert, wobei auch das Verhältnis heimischer Mengen zu importierten Mengen von Holzbiomasse ein quantitatives Bild der Risiken im Versorgungsnetzwerk Holzbiomasse ermöglicht.

3 Verifikation und Validierung

Prognosen über zukünftige Entwicklungen können per se nicht auf Gültigkeit überprüft werden. Um den durch das SD-Modell des Versorgungsnetzwerks Holzbiomasse prognostizierten künftigen Entwicklungen des NAP unter Konkurrenz dennoch mit ein hinreichendes Maß an Vertrauen begegnen zu können, wurde das gesamte SD-Modell ausgiebig gemäß fundierter Methodologie verifiziert und validiert (vgl. Kleijnen 1995). Unter Verifizierung wird der gezielte Vorgang der Überprüfung verstanden, ob sich ein Modell bzw. eines seiner Sub-Modelle entsprechend den Erwartungen des Modellbauers verhält, im Falle des SD-Modells also, ob die einzelnen Systemelemente richtig miteinander verbunden wurden, Gleichungen, Parameter und binäre Konditionen richtig hinterlegt wurden, etc. Auf Grund der strikten modularen Konzeption des SD-Modells des Versorgungsnetzwerkes Holzbiomasse wurden die einzelnen Submodelle umfangreich verifiziert und einzeln, mit gezielt vorgegebenen Eingangsgrößen simuliert. Auch das Gesamtmodell wurde hinsichtlich seinem Verhalten auf Plausibilität und generelles Systemverhalten geprüft, indem singuläre Simulationsläufe mit gezielten Extremannahmen (z.B. Verhalten nach einem punktuellen Extremschadholzanfall, extremer Preisanstieg eines Rohholzsortiments) als Modelleingangsgrößen detailliert auf Quartalsebene analysiert und diskutiert wurden.

Unter Validierung wird der systematische Vorgang verstanden, wenn ein Modell auf die Richtigkeit der Abbildung historischer Größen überprüft wird. D.h., das SD-Modell des Versorgungsnetzwerks Holzbiomasse muss mit historisch vorgegebenen System-Eingangsgrößen wie z.B. den Rohholzpreisen, Schadholzereignissen, etc., die zu prognostizierenden Zielgrößen wie z.B. die Einschlagsmengen, Angebotsmengen an Sortimenten, etc., auch hinsichtlich der historischen Einschlagsdaten, etc., hinreichend genau für die Vergangenheit simulieren. Eine gängige Kennzahl dafür, ob ein Modell die historische Wirklichkeit richtig widerspiegelt, ist das statistische Bestimmtheitsmaß R^2 . In Abbildung 3 werden ausgewählte simulierte Modell-Größen (SIM) deren historischen Werten (HIS) gegenübergestellt, wobei ein R^2 -Wert von über

87% für die Validität des SD-Modells spricht. Das entwickelte Modell ist in der Lage, die dynamischen Zeitreihen der Vergangenheit für den österreichischen Holzeinschlag hinreichend genau abzubilden, womit die Validität der Modellergebnisse nachgewiesen ist. Darüber hinaus wurden singuläre Simulationsläufe im Detail auf Quartalsebene analysiert und auf Basis historisch beobachteter Gegebenheiten (z.B. extreme Schadh Holzereignisse, technologische Innovation wie die Einführung der Profilerspanertechnologie in der Sägeindustrie, etc.) interpretiert und die generelle Gültigkeit des SD-Modells attestiert.

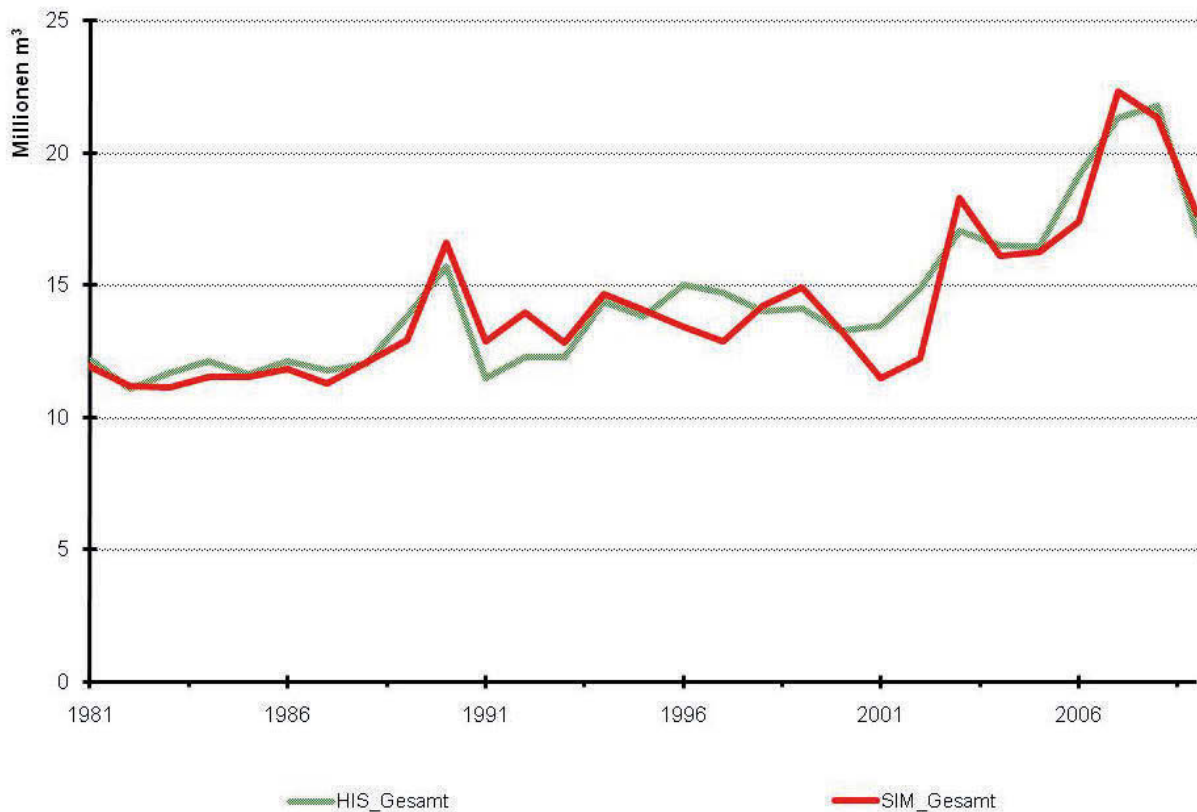


Abb. 3: Gegenüberstellung des simulierten Einschlag von Rundholz in Österreich mit dem historischen Einschlag ($R^2 = 0,872$)

4 Modellberechnungen für das Versorgungsnetzwerk Holzbiomasse

Das *Basisszenario* sieht das Erreichen der Bioenergie-Ziele lt. National Renewable Energy Action Plan 2010 for Austria (NREAP-AT) und der darin festgelegten Anteile von Bioenergie aus Holz (2020 insgesamt 200 PJ) vor. Daraus ergibt sich ein zukünftiger Holzbedarf für Bioenergie (direkt aus dem Forst) von 10 Mio. m³ im Jahr 2015 bzw. von 11 Mio. m³ im Jahr 2020. Die Entwicklung der Sturm- und Borkenkäferschäden wird entsprechend der Jahre 1973-2009, für die Daten in vergleichbar guter Qualität vorliegen, modelliert. Das *Referenzszenario* der vorläufigen Ergebnisse von EFSOS II ist das IPCC Szenario A1, da es sich derzeit am besten mit den aktuellen Entwicklung der CO₂-Emissionen sowie anderer klimarelevanter Parameter deckt. Die kompetitiven Holzpreise entsprechen den vorläufigen Ergebnisse der EFSOS II Studie,

wobei für die Sägerundholzpreise zusätzlich der Einfluss von Schadereignissen berücksichtigt wird. Weitere Szenarien leiten sich durch Abwandlung zumindest eines Modellparameters vom Basisszenario ab.

Obwohl prinzipiell großes Importpotential von Rohholzsortimenten vom Ausland besteht, muss die heimische Forstwirtschaft dennoch einen wesentlichen Beitrag zur Bereitstellung der nötigen Mengen leisten. Die Nutzungsoption von Rohholzsortimenten zur energetischen Zwecken unterliegt dabei verschiedenen Konkurrenzbeziehungen zu anderen Nutzungsoptionen, insbesondere der holzbasierten Industrie von Säge, Platte, Papier und Zellstoff, wobei, insbesondere getrieben durch die Preisniveaus der einzelnen Rohholzsortimente zu einander, durchaus auch Substitutionsoptionen bestehen. Aber auch angebotsseitig können Kausalbeziehungen geltend gemacht werden, wie z.B. der Umstand, dass es sich bei Waldhackgut zur energetischen Nutzung primär um ein Koppelprodukt handelt, welches im Zuge der Holzernte höherpreisiger Rohholzsortimente, insbesondere Sägerundholz, aber auch unter Abhängigkeit der Nutzungskategorie (Vornutzung, Endnutzung) bereitgestellt wird. Eine aussagekräftige Größe über die Versorgungslage der heimischen KWK und HW bietet hierbei die Simulationsgröße des NAP unter Konkurrenz. Entsprechend dem vorgestellten Modell-Ansatz, repräsentiert diese eigentliche Zielgröße des SD-Modells das potentielle Angebot an verfügbarem Energieholz in Festmeter bereitgestellt durch die heimische Forstwirtschaft, sowohl in (i) direkter Form als Primärprodukt (Energieholz als Energieholz), sowie (ii) in indirekter Form als Substitut (z.B. Industrieholz als Energieholz).

Das SD-Modell des Versorgungsnetzwerkes „Holzbiomasse“ ist charakterisiert durch klimatisch und saisonal bedingte Variabilitäten von Kalamitäten, ein Umstand, dem durch die Miteinbeziehung stochastisch ermittelter Mengen an Sturm- und Käferholz im SD-Modell und dessen Simulation basierend auf dem Monte Carlo Ansatz begegnet wird. D.h., für den eigentlichen Prognosezeitraum von 2010 bis ins Jahr 2030 wird nicht ein singulärer Simulationslauf durchgeführt und ausgewertet, sondern eine Vielzahl von Simulationsläufen gemeinsam betrachtet, was im Rahmen statistischer Auswertungsverfahren ein kumulatives Bild des NAP unter Konkurrenz über den Prognosezeitraum bildet. 50 Simulationsläufe pro Szenario haben sich nach statistischen Gesichtspunkten als ausreichend erwiesen.

Das SD-Modell bildet das Versorgungsnetzwerk „Holzbiomasse“ auf Ebene einzelner Quartale ab, wobei saisonale Muster der potentialen Nachfrage nach diversen Rohholzsortimenten, der Einschlagsplanung und der Kalamitäten, gepaart mit Übertrags- und Degradationsmechanismen von überschüssigen Kalamitäten und angebotene Mengen, im SD-Modell implementiert sind, was eine soliden statistische Basis zur Berechnung des Versorgungsrisikos bildet. Demnach stehen pro Szenario in Summe 4200 Einzelwerte (=21 Simulationsjahre x 4 Quartale x 50 Simulationsläufe) des NAP unter Konkurrenz pro Rohholzsortiment für eine statistische Interpretation zur Verfügung. In Abbildung 4 sind die Entwicklungspfade der Monte Carlo Simulation für das Basisszenario dargestellt.

5 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Das System Dynamics Modell simuliert unter Einbeziehung des stochastischen Schadholzanfalles die Holzbereitstellung aus Österreichs Wald für verschiedene, oben vorgestellte Szenarien. Für die Versorgungssituation für Energieholz in den prognostizierten Jahren von 2010 bis 2030 werden in den Ergebnisabbildungen folgende drei grundsätzliche Versorgungssituationen unterschieden:

- ausreichende Versorgung: Inlanddeckung Energieholz > 70%
- gefährdete Versorgung: 70% > Inlanddeckung Energieholz > 40%
- Unterversorgung: Inlanddeckung Energieholz < 40%.

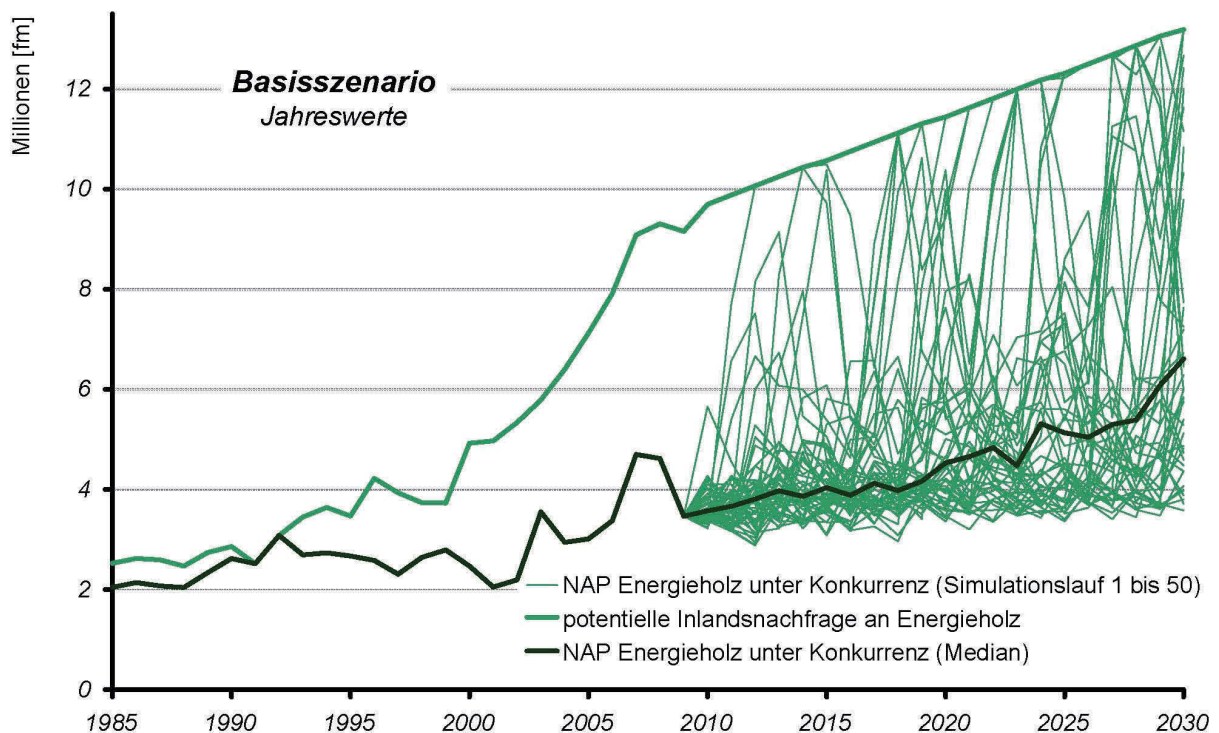


Abb. 4: Monte Carlo Simulation des NAP unter Konkurrenz für Energieholz im Basisszenario

Die Simulation der Quartale des Betrachtungszeitraumes (2010 bis 2030) wird mit 50 Iterationen durchgeführt, d.h. es werden insgesamt 50mal jeweils neu zufällig Werte für den Schadholzanfall infolge von Sturm bzw. Borkenkäferkalamitäten gezogen, um robuste, nicht von Schadholzereignissen einer Iteration abhängige Endergebnisse zu erhalten. Danach wird für die 4200 Quartalergebnisse (der Betrachtungszeitraum umfasst 21 Jahre a 4 Quartale für die 50 Iterationen durchgeführt wurden) die Häufigkeit des Eintretens einer Inlanddeckung von 1 Prozent bis zu bis 100 Prozent bestimmt und in einer Kurve der kumulativen Häufigkeitsverteilung dargestellt.

Im Basisszenario wird das Erreichen der Bioenergie-Ziele lt. National Renewable Energy Action Plan 2010 for Austria (NREAP-AT) und der darin festgelegten Anteile von Bioenergie aus Holz (2020 insgesamt 200 PJ) simuliert (Abbildung 5). Eine ausreichende Inlandsversorgung der Biomasse-Heiz(kraft)werke ist im Betrachtungszeitraum von 2010 bis 2030 nur in ca. 20% der simulierten Quartale gegeben. Die Wahr-

scheinlichkeit des Auftretens von Unterversorgungssituationen, d.h. wenn die Inlandsversorgung mit Energieholz im betrachteten Quartal weniger als 40% des Inlandsbedarfes deckt, liegt bei knapp 50% und weist also auf beträchtliche Versorgungsrisiken für Energieholz in der Zukunft hin.

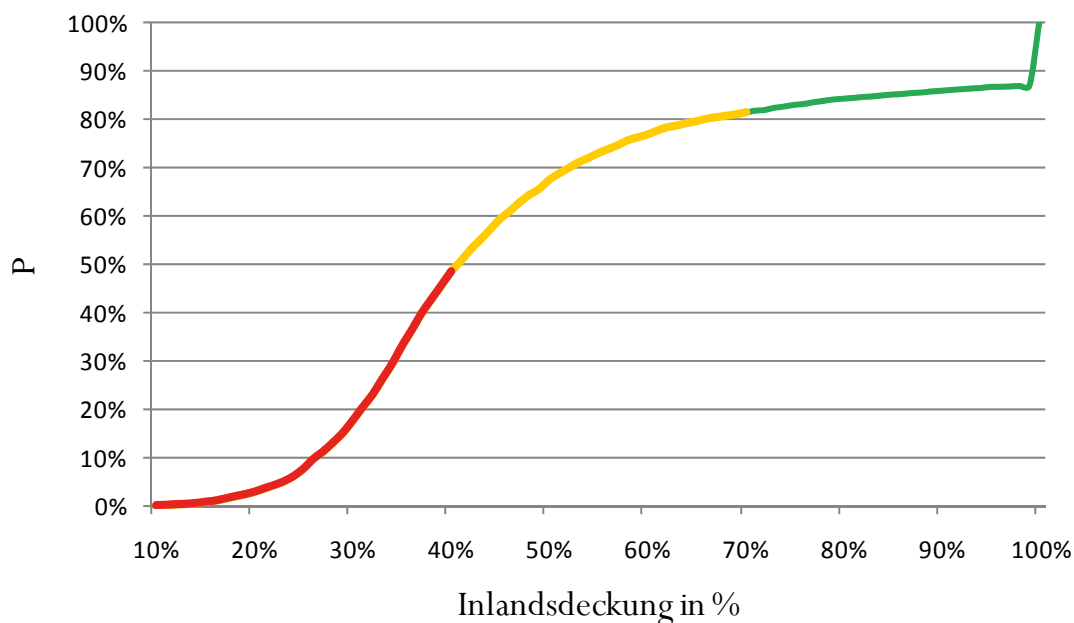


Abb. 5: Basisszenario: Simulationsergebnis der Versorgungssituation für Energieholz (p: kumulierte Wahrscheinlichkeit)

Die Ergebnisse dieser Grundlagenstudie erhöhen maßgeblich das Wissen hinsichtlich der mittel- und langfristigen Risikofolgen auf die Versorgungssicherheit von Holzbiomasse-Heiz(kraft)werken und sind damit eine wesentliche Hilfe für Energieversorger und Forstwirtschaft bei der Entwicklung von Strategien zur nachhaltigen Sicherstellung der Versorgung von mit Holz befeuerten Heiz(kraft)werken. In weiteren, folgenden numerischen Studien werden ausgehend vom Basisszenario zusätzliche Szenarien analysiert, die insbesondere Aspekte des Klimawandels, Aktionspläne zur vermehrten Bereitstellung erneuerbarer Energie aus Waldbiomasse und die Beachtung der stofflichen Konkurrenz berücksichtigen.

6 Literaturverzeichnis

- Buongiorno, J. (1996): Forest sector modeling: a synthesis of econometrics, mathematical programming, and system dynamics methods. *International Journal of Forecasting* 12, 359–343.
- Gronalt M., Rauch P. (2007): Designing a regional forest fuel network. *Biomass & Bioenergy*, 31(6): 393-402.
- Gronalt M., Rauch P. (2008): BioLog II - Überregionales Logistik- und Versorgungsnetzwerk für Holz-Biomasse. Endbericht. FFG Projekt 812774. *Energiesysteme der Zukunft*. bmvit. 107.
- Hagenson, N. (1990): System Dynamics Combined with Monte Carlo Simulation. The 8th International Conference of the System Dynamics Society 1990. Chestnut Hill, Massachusetts, USA.
- Hasani-Marzooni, M., Hosseini, S. H., (2011): Dynamic model for marked-based capacity investment decision considering stochastic characteristic of wind power. *Renewable Energy* 36, 2205–2219.
- Jonsson, Ragnar (2010): Modelling and projections of wood products demand, supply and trade in Europe – Market modelling approach for EFSOS II; unpublished draft, Alnarp.

- Junginger M., Faaij A., van den Broek R., Koopmans A., Hulscher W. (2001): Fuel supply strategies for large-scale bio-energy projects in developing countries. Electricity generation from agricultural and forest residues in Northern Thailand. *Biomass and Bioenergy*. 21, 259-275.
- Kleijnen, J. P.C. (1995): Verification and validation of simulation models. *European Journal of Operational Research* 82, 145–162.
- Krehan H., Steyrer G. (2007): Borkenkäfer 2006: Situation und Monitoring. *Forstschutz aktuell* (39): 8-17.
- Podbregar, N. (2003): Winterstürme – Stürmische Zeiten für Mitteleuropa? *scienexx*, Das Wissensmagazin, s.a. Springer.
- Qi C, Chang N.-B. (2011): System dynamics modeling for municipal water demand estimation in an urban region under uncertain economic impacts. *Journal of Environmental Management* 92, 1628–1641.
- Schwarzbauer, P. (2007): Einflüsse von Schadholzmengen auf Rohholzpreise. Eine quantitativ-statistische Analyse am Beispiel Österreichs. *Allg. Forst- u. J.Ztg.*, 187. Jg. Heft 1, 1–8. Frankfurt a.M.: J.D. Sauerländer's Verlag.
- Schwarzbauer, P., Huber, W., Stern, T. (2009): Das Angebotsverhalten der österreichischen Forstwirtschaft – Ökonometrische Schätzungen von Angebotsfunktionen. In: Meixner, O., Schiebel, W. (Hrsg.): *Schriftenreihe des Instituts für Marketing & Innovation*, Band 3. Eigenverlag. Universität für Bodenkultur (BOKU), Wien.
- Schwarzbauer, P., Rametsteiner, E. (2001): The impact of SFM-certification on forest product markets in Western Europe – an analysis using a forest sector simulation model. *Forest Policy and Economics* 2, 241–256.
- Schwarzbauer, P., Stern, T. (2010): Energy vs. material: Economic impacts of a “wood-for-energy scenario” on the forest-based sector in Austria – A simulation approach. *Forest Policy and Economics* 12, 31–38.
- Swedish Forest Agency (2011): Time series sawlog prices SDC. Available at <http://www.skogsstyrelsen.se/en/AUTHORITY/Statistics/Subject-Areas/Prices/Tables-and-figures/>. (zuletzt abgerufen am 20.03.2011)
- Tomiczek, C., Cech, T. L., Fürst, A., Hoyer-Tomiczek, U., Krehan, H., Perny, B., Steyrer, G. (2008): Forstschutzsituation 2007 in Österreich. *Forstschutz Aktuell* 42, 3–7.
- Toppinen, A., Kuuluvainen, J. (2010): Forest sector modelling in Europe – the state of the art and future research directions. *Forest Policy and Economics* 12, 2–8.

An activity based potential analysis of forest product supply chains

Herbert Kotzab

Lehrstuhl für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre und Logistikmanagement,
Universität Bremen, Wilhelm-Herbst-Strasse 12, 28359 Bremen,
kotzab@uni-bremen.de

Troels Troelsen

Department of Operations Management,
Copenhagen Business School, Solbjerg Plads 3, 2000 Frederiksberg, Denmark,
tt.om@cbs.dk

Kjell Suadicani

Forest & Landscape, Faculty of Life Sciences,
University of Copenhagen, Rolighedsvej 23, DK-1958 Frederiksberg C,
kjs@life.ku.dk

Abstract

The paper presents results of a supply chain analysis of a specific forest supply chain. While most of the research in this field refer to the SCM of vertically integrated sawmills, our paper shows how supply chains are organized in a disintegrated setting. We were able to identify two primary improvement areas which refer to supply chain orientation/information and logistics, planning and control. There is a lack of integration and information transparency in the examined supply chain. Relationships are more or less arm's length relations, and the governance structures are suboptimal.

1 Introduction

The purpose of this paper is to present selected results of an empirical research study which analyzed one specific supply chain of the Danish softwood sector. The aim of the research study has been to illustrate the situation and specific problems in the extended timber supply chain between a forest owner and the sawmill's customers. The research has been driven by the question whether there are logistical key areas within this supply chain section, which help to increase supply chain profitability. The situation of the Danish softwood sector has been analyzed by several institutions since the 1980's¹. The result of these analyses can be summarized as follows: the Danish softwood sector is very fragmented and disintegrated, has a lack of customer as well as supplier orientation, and the logistical as well as planning processes are suboptimal.

The sector is characterized by a lack of cooperation which results inter alia in higher logistics costs. Some reports argue that customer and supplier orientation can be increased by implementing IT-systems, other – more current – reports indicate that the main reason for the ineffective organization has to be seen in the opportunistic and price-focused mentality of the actors which hinders cooperation. In total, the sector lacks supply chain orientation which is defined as “the recognition by an organization of the systemic, strategic implications of the tactical activities involved in managing the various flows in a supply chain”².

International experiences from other forest sectors, which show the optimization potential of SCM, are only of limited value for the Danish softwood sector as most of these examples refer to selected cases of large vertically integrated saw mills³. Singer and Donoso state thereby that the forest management literature has failed to investigate the full potential of SCM⁴.

Overall, it is necessary to make the actors within the Danish softwood sector understand that their SCM-processes should consider also the impacts for the upstream and downstream flows of their products, services and information, and not only focus on one direction⁵.

2 Methodology and structure

The methodology of the project refers to the application of dynamic network effect as suggested by Gudehus⁶ as we analyzed at the flows and procedures within the performance systems from a dynamic perspective. There, the focus was on the optimiza-

¹ E.g. Trærådet 1987; PLS consult 1996; Sørensen 1998; KPMG 2003 or Johansen et al. 2006.

² See Mentzer et al. 2001, p. 11

³ E.g. Barros and Weintraub 1982; Eriksson and Selin 1997; Epstein et al. 1999; Weintraub und Epstein 2002; Andersson and Ekstrand 2005; Carlsson and Rönnquist 2005

⁴ Singer and Dinoso (2007)

⁵ See Mentzer et al. 2001

⁶ Gudehus (2005)

tion of processes, which is the selection, combination and scheduling of processes and performance chains in order to efficiently fulfill the performance requirements under given restrictions. We also looked at the set up, the functions, the capacities, the network and the potential of a system from a stationary (= structural) point of view. There, the focus was on the optimization of the system, which is the design, dimensioning, and organization of the network in order fulfill the performance requirements under given restrictions at the lowest costs.

In addition, we performed a supply-side channel analysis as suggested by Coughlan et al.⁷ in order to understand the structure of the physical possession, ownership, promotion, negotiations, financing, risking, ordering and payment flows.

The data collection and analysis for the study was based on a conglomerate of quantitative and qualitative methods for primary and secondary data including literature analysis, value stream analysis, benchmarking with existing reports, observations, 32 interviews, 4 large meetings and 5 on-site visits.

The following paper is structured as follows. After a short introduction of the problem and the methodological considerations in section 1, section 2 shows how SCM in a forestry context is discussed within the literature. We will show general discussions as well as the presentation of specific logistics problems of this sector. This section provides the necessary contextual input for the supply chain analysis, which is presented in section 3. The paper closes with a short summary of the results and an outlook for further research.

3 Supply Chain Management in a forestry context

3.1 General integration of SCM thought within the forest management based literature

Although Carlsson and Rönnquist point out the great national and regional importance of the forest industry, there are only a few contributions within the international literature which discuss SCM from a forestry point of view⁸. Most of these articles focus on a national forest context (e.g. Sweden or Chile), vertically integrated sawmills, advanced planning systems and development of optimization tools⁹. In these contributions, the optimization of transforming incoming raw material as well as the optimized utilization of sawmill resources has been the focus of interest. Figure 1 shows the SCM-model of the Swedish SÖDRA as developed by Carlsson and Rönnquist¹⁰.

⁷ Coughlan et al. (2006)

⁸ Carlsson and Rönnquist (2005)

⁹ E.g. OPTICORT, PLANEX, OPTIMED or MEDFOR; see Barros and Weintraub 1982; Epstein et al. 1999 or Singer and Donoso 2007

¹⁰ Carlsson and Rönnquist (2005)

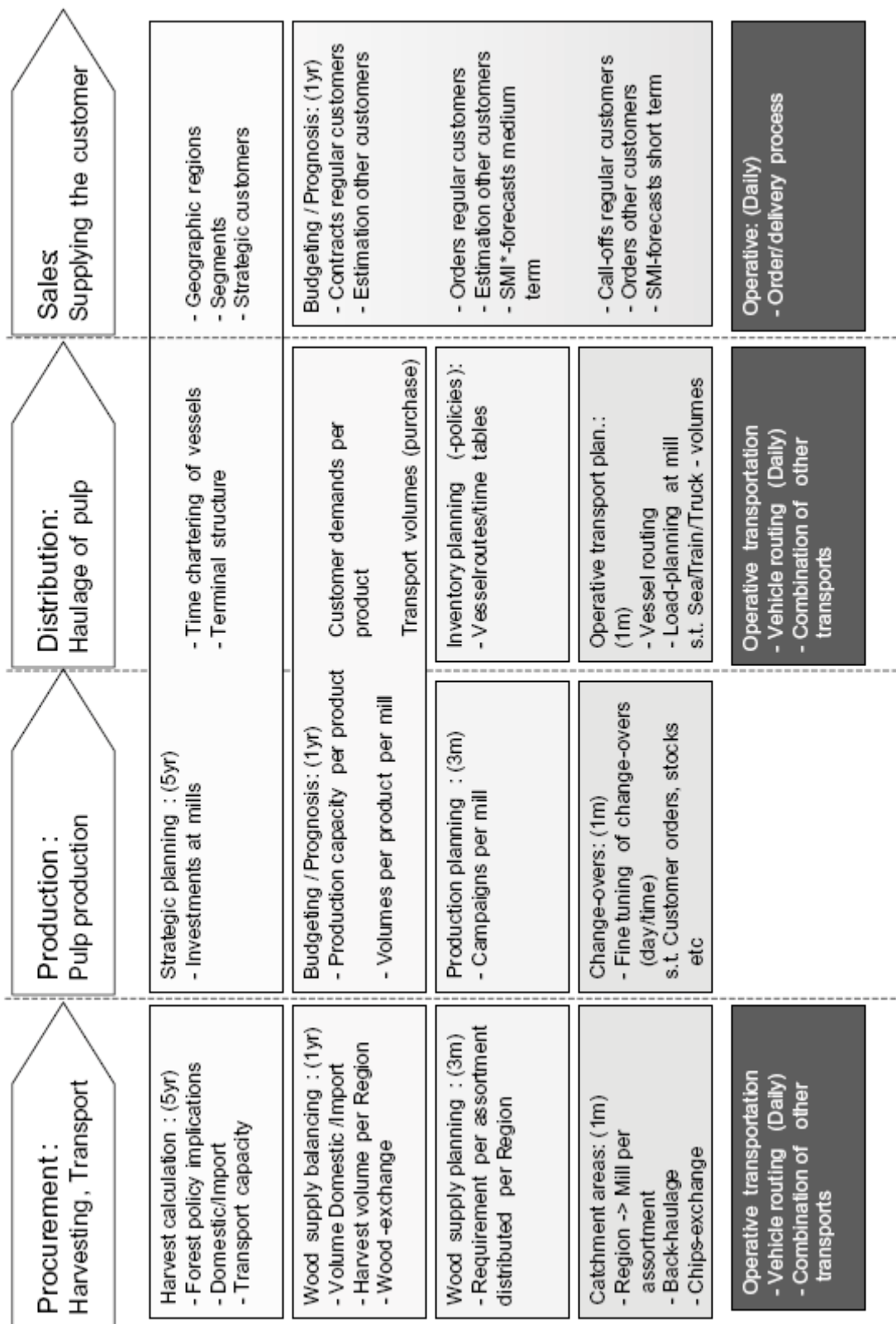


Fig.1: SCM at Södra¹¹

¹¹ Source: Carlsson and Rönnquist (2005)

The model is built upon the basic ideas of Advanced Planning Systems (APS)¹² and the logic of Chopra and Meindl as it is divided into strategic, tactical and operational modules¹³. This approach is very beneficial as long as the output (= supply) of the forests is stable and not impacted by natural disasters like storms. The supply stability allows the application of such planning systems.

Taking further the notions of Carlsson and Rönnquist, Berger et al., Gronalt et al. or Horvath¹⁴, we can see that the forest supply chain begins with the standing trees in the forests and continues with harvesting, bucking, sorting and transportation of logged trees to terminals and sawmills, cellulose factories/paper mills, energy plants, etc. where the logged trees are transformed into trimmed timber, packaging, energy, cellulose or pulp depending on the various customers.

Customer orientation, as one of the central key elements of SCM, is translated in this industry into providing the right kind of products (or raw material) for the customer in the right quantity and at the right time. By this, customers have the possibility to improve their utilization of raw material, as well as increasing the efficiency of their production planning. Recognizing the existence of a vertically integrated chain where a production unit, especially saw mills have access to the production factors is obvious. When it comes to more fragmented supply chain settings, we are able to identify SCM as a means to reduce the following weaknesses within the forest industry¹⁵: a) the coordination quality between the individual transformation and process stages, b) a deficient information transparency and c) a lack of integration which hinders flexibility. And lately Singer and Donoso have shown how the integration of business processes have a positive impact on the overall performance of a forest supply chain¹⁶. However, they have also only focused on the internal supply chain of a saw mill.

3.2 Specific logistics/SCM problem areas in the forest industry

Researchers within the field agree that the general positive effects of SCM – reduction of costs with simultaneous increasing of service – can also be identified within the forest supply chain. Berger et al., Gronalt et al. or Horvath have shown that the harmonization of activities amongst the different actors in the Austrian forest supply chain can reduce costs significantly while the service level can be improved¹⁷. This may be completed by continuous planning activities, e.g. transport planning which allows the optimization of transport capabilities though reducing waiting times and transport costs.

¹² See e.g. Fleischmann et al. (2002)

¹³ Chopra and Meindl (2007)

¹⁴ Carlsson and Rönnquist (2005); Berger et al. (2006); Gronalt et al. (2006); Horvath (2005)

¹⁵ See Weintraub and Epstein (2002)

¹⁶ Singer and Donoso (2007)

¹⁷ Berger et al. (2006); Gronalt et al. (2006); Horvath (2005)

The Logiball report¹⁸, as well as the work by Oswald et al.¹⁹, has that truck drivers use more than a third of their time identifying the location of the logged trees. Another 50 % of the time is then used for the collection and strapping of the material while only 10 % of the time is used for the transportation itself. Information exchange takes 4 % of the time used. Lack of information integration has been identified as one of the major key improvement areas, as most of the information systems are isolated²⁰. A primary information control centre may lead to improved transport coordination, consolidation of handling, and a minimized usage of transport means.

Another area refers to the width of assortments which depends on the number of various clients. While this problem does not occur for vertically integrated units, as most of the Swedish and Chilean saw mills are organized, more disintegrated chains face an increased need for sorting, stocking and transportation of different half-finished and finished products. This impacts on the positioning of the order decoupling point, where the sporadic independent demand meets deterministic production first, and the transformation into customized products takes place. We can see that the saw mills take over this responsibility and try to operate in a responsive manner as the demand from the forest side is rather stable (in case of no natural disasters as storms), while customer demand is somewhat difficult to predict²¹.

A third issue refers to the pricing of the raw material which is subject to serious variations in the global market²². Saw mills try to cope with these price fluctuations by keeping stock and though tie huge volumes of capital.

Finally, the forest supply chain between the forest and the first customer of the timber trade companies, consists of many actors which operate in an largely isolated manner. In order to allow for superior transparency in the chain, it would be necessary to phase all different types of information which is exchanged between the actors²³.

¹⁸ Logiball (2004)

¹⁹ Oswald et al. (2003)

²⁰ See Gronalt et al. (2005)

²¹ See Carlsson and Rönnquist (2005)

²² Holmstrup (2007)

²³ See Gronalt et al. (2005)

From/to	Forest owner	Forest enterprise	Forest contractor	Transport contractor	Dealer	Further processing company	Final customer
Forest owner	location, assortment	location, assortment	location, assortment, quantities, prices	location, assortment, sequence, time, prices	-	-	-
Forest enterprise	location, assortment, prices	location, assortment, prices	location, assortment, quantity, sequence, dates, price	location, assortment, quantity, sequence, time, price	assortment, quantity, quality, price	assortment, quantity, quality, price	assortment, quantity, quality, price
Forest contractor	operations, sequence, prices, capacities	operations, sequence, price, capacities	operations, sequence, price, capacities	location, quantities, price, operations, assortment	assortment, quantities, quality, dates, price	assortment, quantities, quality, dates, price	assortment, quantities, quality, dates, price
Transport contractor	capacities, prices, dates, operations	capacities, prices, dates, operations	capacities, prices, dates, operations	capacities, prices, dates, operations, location	quantities, prices, dates, assortment	quantities, prices, dates, assortment	quantities, prices, dates, assortment
Dealer	-	qualities, prices, dates, assortment	qualities, prices, dates, assortment	quantities, prices, locations, dates	quantities, qualities, prices, dates, assortment	quantities, qualities, prices, dates, assortment	quantities, qualities, prices, dates, assortment
Further processing company	-	quality, price, assortment, capacities	quality, price, assortment, capacities	dates, sequence, capacities	quantities, assortment, qualities, price, dates	quantities, assortment, qualities, price, dates	quantities, assortment, qualities, price, dates
Final customer	-	quantities, assortment, qualities, price	quantities, assortment, qualities, price	location, quantities, assortment, qualities, price, dates	quantities, assortment, qualities, price, dates	quantities, assortment, qualities, price, dates	-

 Tab. 1: Trading parameters between different actors within the forestry supply chain²⁴.

²⁴ Adapted from Gronalt et al. (2005)

From/to	Forest owner	Forest enterprise	Forest contractor	Transport contractor	Dealer	Further processing company	Final customer
Forest owner	Coordination in a forest economy cooperation	Sale, coordination	Authorization for harvesting	Transport authorization, forest driving instructions	-	-	-
Forest enterprise	Coordination, purchase	Sale, Purchase, Coordination	Authorization for harvesting	Transport authorization, forest driving instructions	Selling of the harvested wood	Selling of the harvested wood	Selling of the harvested wood
Forest contractor	Disclosing order information, remuneration of the service Order acknowledgment, remuneration	Disclosing order information, remuneration of the service Order acknowledgment, remuneration	Sub-order, service, remuneration Order acknowledgment, remuneration	Transport authorization, forest driving instructions Sub-order, service, remuneration	Selling of the harvested wood Delivery, order receipt	Selling of the harvested wood Delivery, order receipt	Selling of the harvested wood Delivery, remuneration
Dealer	-	Determination of the quality data, purchase	Determination of the quality data, purchase	Authorization of further transportation, receipt	Purchase or sale, negotiation	Purchase or sale, negotiation	Selling of wood
Further processing company	-	Determination of the quality data and of prices, purchase	Determination of the quality data and of prices, purchase	Authorization of further transportation, receipt	Purchase or sale, negotiation	Purchase or sale, negotiation	Selling of wood
Final customer	-	Purchasing wood	Purchasing wood	Transport authorization, receiving delivery	Purchasing wood	Purchasing wood	-

Tab. 2: Supply chain optimization parameters between different actors within the forestry supply chain²⁵.

It is obvious that some of the information is driven by the customer, while some information, especially coming from the forest, is production-driven. Reality shows that there are a lot of push-pull boundaries in forest supply chains, depending on the perspective the observant takes. Normally, the push-pull boundary is at the sawmill level, as sawmills invest in huge raw material stock as well as stock of half-finished and finished products.

²⁵ Adapted from Gronalt et al. (2005)

In an ideal world, the information flow would start with independent demand flowing through the trade and sawmill, to the forest owner. In reality, this distortion of information flows lead to bullwhip effects as well as to opportunistic behavior of the actors.

4 A supply chain analysis of the Danish softwood sector

4.1 *The Danish softwood supply chain structure and description of the actors*

The structure of the examined the Danish softwood supply chain is shown in the following figure 2 and the results of our analysis refer to the flow of goods from the forest to the building lot (grey shaded area and framed channel in the figure).

The involved actors can be characterized as follows:

1. **Forest owners:** As already mentioned, the Forest owners represent a very heterogeneous group consisting of more than 25,000 single private owners and one very large owner, which is the state of Denmark. Considering the quality of the produced products, we were able to identify that the timber quality of the state-owned forest is higher due to the high standards of their forestry operations. This makes the state the central key player within the Danish forest industry. The private owners are organized in forest owner associations, which are the Dansk Skovforening and the Skovdyrkerforening. While these organizations, as well as the state owned forest operations, are very efficiently organized, the privately organized operations lack long-term orientation in their planning processes. Most of the private forest owners have their forest due to other reasons than timber harvesting, i.e. for recreation or hunting. Forestry operations is however mostly outsourced by all actors to forest entrepreneurs and external trucking companies for transport. The smaller private owners sell their timber to intermediaries who take over other activities such as timber quality assessment, transport, price formation and sales. As the individual quantity is so low, this consolidation is required in order to build up a certain market power against the saw mills.
2. **Forest entrepreneurs:** The Dansk Skoventreprenørforening represent around 58 Danish forest entrepreneurs, which are small independent actors who sell their services to the forest owners or consultants. The operations of the forest entrepreneurs can be grouped into forestry activities and transportation to the forestry road (which is the track where trucks can drive). Forest entrepreneurs have invested in special machines and offer total services.
3. **Trucking companies:** In Denmark, there are 20 to 30 independent trucking companies which are used by the saw mills to get timber from the forestry roads to the sawmills, and the half-finished and finished products from the saw mills to their customers. The trucks are equipped that every type of tree can be transported. This increases the flexibility of the trucking companies' services.

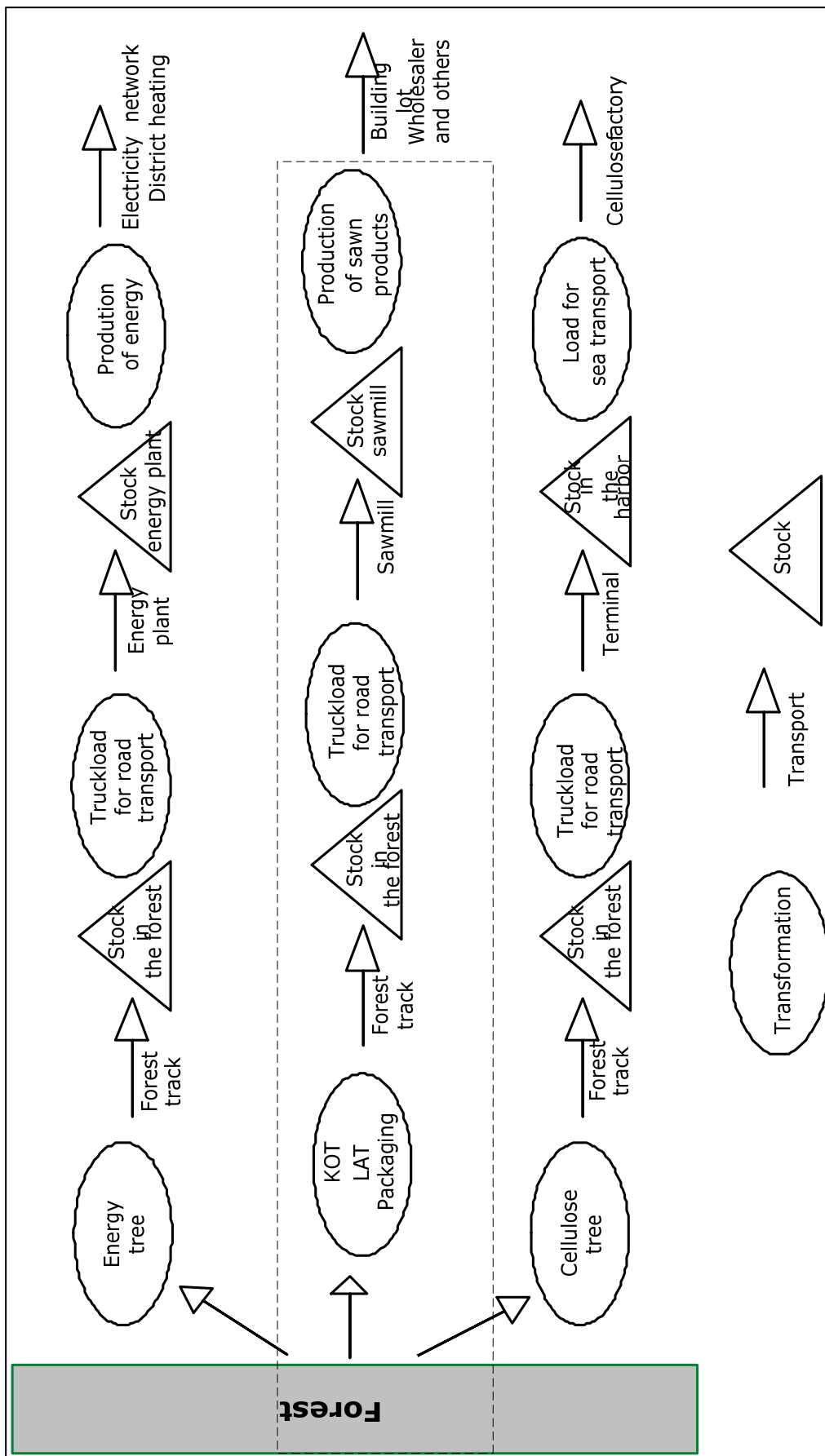


Fig.2: Danish forestry supply chains and selection of examined supply chain.

4. **Intermediaries:** There are a couple of organizations such as DSH Woods, Skovdyrkerforening, HedeDenmark and Skov-Link which deliver counselling services regarding forestry operations, sales and purchasing of timber, to the small and medium-sized forest owners. The objective of those associations is to consolidate the flow of timber from the small forest owners to the saw mills. While some organizations give advice in all facets of the forest operations, DSH Woods as well as Skov-Link only operate as trading associations. Their task is to collect smaller quantities, consolidation and sales of larger quantities to Danish sawmills, foreign saw mills or other actors. These associations are a vital part of the flow of goods within Denmark.
5. **Sawmills:** Danish sawmills operate in a very difficult economic setting where the industry has undergone serious consolidation processes. There are about ten major saw mills, where two of them have about 50 % market share. Players can either successfully operate by following a classical differentiation or cost leadership strategy²⁶. When it comes to the analysis of market power, we are able to observe a balance between the large sawmills and the large associations, as well as the largest forest owner. When it comes to smaller forest owners who are not represented by one of the organizations, it is obvious that the sawmill's power against the forest owner is very high. The largest sawmills move towards a cost leadership strategy in their operations, however we can observe a lack of customer and supplier orientations within the sawmill industry.
6. **Timber wholesale:** The Danish timber wholesale sector is characterized by large players with huge market power. Wholesalers are the first link in the supply chain where end-user demand comes in. As the Logistics analysis has already shown, wholesalers reply to increasing customer demands with direct deliveries to construction sites or one-stop-shopping²⁷.

Although the supply chain seems to be clearly laid out, the individual links have very weak relations where the very first link has no demand information from the wholesale link. This intransparency leads to the opportunistic behaviour of the individual actors, who try to optimize their operations isolated from the total chain.

4.2 *The supply chain decision areas of the Danish softwood sector*

In our study, we referred to the supply chain decision areas as suggested by the framework of Chopra and Meindl while examining the different supply chain activities of the sector²⁸. We were able to identify the following issues:

- **Facilities:** The technical forest operation is based on an annual harvesting plan and can be characterized - based on natural influences – as push-oriented. There are a lot of independent actors involved in these operations such as the forest owners, the

²⁶ Porter (1980)

²⁷ Logistics analysis (2003)

²⁸ Chopra and Meindl(2007)

forest entrepreneurs who own the machines, transportation companies with their trucks, and associations which make the production available to the markets. As the expenses for the forest machines are very high, the harvesting is outsourced to the forest entrepreneurs. The shift operations of the Danish forest entrepreneurs, as compared to their Swedish counterparts, are however not efficiently organized. While the machines are utilized in Sweden in a three shift cycle, the Danish machines are utilized on a 1.5 shift cycle per day. The difference can be explained however based on forest growing techniques and also on climate-based factors. The two possible operation modes in the forest are either thinning out, which generates short-wood (70 to 75 %) or clearing, which generates logs (25 – 30 %). As for value creation in a supply chain setting, sawmills prefer logs as this would allow postponement manufacturing. Looking at the ABC-quality classification, we were able to identify that this quality certification has nothing to do with further processing. This means that sawmills are able to produce high-value products (in terms of customer value) with lower quality input. This also holds for the logs/short-wood differentiation and means that the generated value of the supply chain at this stage is not optimal.

- **Stock:** There are stocks at many stages of the examined supply chain, however the products which are kept in stock are certainly different. The first stock location is the forest itself where the natural resource stands. The next stock level is the storage of chopped trees which wait besides forestry roads to be picked up and transported to the sawmills. Long waiting times at this stage affect negatively on the quality of the timber (e.g. blue coloration). Stock management is one of the core competencies of the sawmills as they try to balance supply with demand. The maximal stock level of raw material at a sawmill can be calculated as 20 % of the annual demand, which represents about 10 to 15 % of the annual sales volume. Another 5 to 15 % of the annual production of finished products is also stored at the sawmill level. Our analysis has shown that sawmills still invest into raw material stock but to reduce the stock level of finished products, which is a sign of manufacturing postponement and for offering JIT make to order for customers. This is why logs are the preferred input to the sawmill production processes. The delivery of logs also minimizes additional sorting activities at this level. Keeping stock of raw material is however also necessary in order to balance between natural-based supply, which is in the first quarter of a year below customer order requirements, and in the other quarters of the year above customer orders. Exactly those naturally based deviations force the downstream actors to invest into stock.
- **Transport:** There are many different transportation processes in this supply chain which all require different transportation means. The first transport process occurs between the harvesting location and the forestry road. In many cases, it is the responsibility of the forest owner to indicate the pick up position of the chopped tree for the transportation company. This also includes the transfer of information in regards to instructions on the quality of the forestry road for effective handling. While this process is very efficiently organized for Christmas trees, we have identi-

fied a lack of agreed common standards in the softwood sector. The next transport process is between the forest and the sawmills, which is relatively loosely organized. Most sawmills have a pool of different transportation companies which are used for this activity. The placing of orders is, from the transportation company's point of view, very stochastic which makes their planning very difficult. This results in rather inefficient transport processes at this stage. The individual trucker has e.g. no information whether it is log or short-wood which needs to be transported, which makes them use transport means that can transport both types of timber. They also do not know whether the picked up timber will be used directly for production or should be sent to stock. One of the most important problems is however a lack of standards when it comes to the quality of the forestry roads which affects the utilized transportation means. Transportation prices generally depend on the length and volume of the timber. Some studies of forest owners have however shown surprising results as the transportation companies do not differ in their pricing between logs and short-wood but on distance. The final transport stage of the examined supply chain is between the sawmills and their customers, which are very often organized as direct deliveries to e.g. construction sites. This outgoing transport is often organized by the sawmills own transportation means.

- **Information/Price setting:** Information is often used here in terms of quality assessment and classification of timber. These criteria are very complex as there is no common standard around the world. One of the central problem areas in this chain is the sorting of timber based on quality criteria, where current German studies have shown that length-based sorting can be done already in the forest which will reduce certain waiting times at the sawmill level. This however requires commonly agreed quality standards in terms of length and in terms of production. The assessment of the quality also includes the question of which organization is involved in this process, and when is this process generated. From a supply chain perspective, quality is defined by customers. This orientation is however lacking in the examined chain, where the definition of quality is purely product-oriented and this quality is assessed by third parties in the forests. The sawmills confirm this quality standard when receiving the product. We were however able to identify that this quality determination has nothing to do with the further processing of the timber. There is a central coordination unit lacking in Denmark would be responsible for a supply chain wide quality assessment (just as in Sweden). This also affects the prices of timber in the chain, where prices are the results of the product-oriented quality determination and not on supply chain criteria. However, some sawmills have already changed their pricing structures based on sorting activities which have been taken over by the previous stages or by activities which ease transportation and handling of timber.
- **Coordination:** There is a low degree of coordination between the various actors of the examined supply chain. There are no hybrid forms of cooperation in this chain; players have either chosen the market form or vertical integration. The quality of the relationships between the actors is rather exit-oriented than voice-oriented (Sato

1990). This low degree of coordination leads to increased costs in the sector, e.g. increased costs for keeping stock and transportation costs. It takes around two to three weeks from the standing tree to the sawmills where the logs and short-wood are stored for up to 2 months. This is on the one hand necessary as the large players from the forest side are not able to keep their lead time promises. However, this is also a consequence from a lack of information transparency in the supply chain. Lacking instructions to the truckers lead to waiting times in the chain which result in additional costs of approx. 116,000 DKK per year.

4.3 *Results of the analysis*

Competition in the Danish softwood sector can be characterized as being hypercompetitive as there is an increased national and international demand of raw wood due to increasing use of softwood in CHP plants in Denmark, booming Danish building and construction industry, and an increasing international demand of softwood. There is also increased international competition on the finished goods market with strong competitors from Finland and Sweden.

There are these key areas in which the actors in this chain should focus on, in order to improve the given situation:

1. Supply Chain Management Orientation and trust: There is a clear need to increase trust amongst the various actors, which will lead to improved business performance of all involved stages of this supply chain. The main reason for lack of supply chain orientation may be found in the oligopoly situation, as well as in the various management cultures, where especially on the upstream side, the value of long-term family business and traditional forestry values exist with a fear of change and conservative attitudes especially towards the exchange of information. There is a clear need for supply chain wide quality standards.
2. Information exchange for logistics, planning and control: The processes in the examined chain were generated in an uncoupled manner with a low degree of coordination. The ideas of advanced planning could improve the situation by installing a central coordination unit with central databases where all actors have access. This would allow for an improved utilization of capacities. This would also include increased information exchange between all the involved actors. There is a clear need for logistics standards which would generate harmonization effects for all actors. The push-pull borderline is located at the sawmills' level, which are capable adapting their production capacities to customer needs. Upstream players are however not capable of accessing this information. This leads to the effect that a kind of (natural) constant flow of timber meets suddenly a stochastic demand, although this demand could be identified earlier and this information could be passed through the total chain.

5 Conclusion and outlook

This paper illustrated the situation and specific supply chain problems in the Danish softwood sector. The theoretical discussions as well as business practice in this sector show that the implementation of SCM is on a very first stage. We were able to identify specific improvement potentials which all refer to the lacking prerequisites for SCM, mainly mutual understanding, trust, joint visions, etc. From an SCM point of view, these are rather basic issues. However, we were surprised to see that some of the results which we generated had been already been pointed out in earlier reports. Still, the industry did not match up with these requirements.

Managerial implications of our study refer to the installation of a cooperation culture amongst the members, which may be difficult as the relationships are so far organized on an arm's length basis with shifting market power. While in the past it seems that sawmills were in a strong position, changes in the market place have now affected a shift towards the forest owners who see now new possibilities to market their products. Energy plants all over Europe heavily demand natural resources and are willing to pay any price.

Our analysis included only the first stage of the ultimate forest supply chain and it will be necessary to follow the various paths raw materials may take, and also include into the analysis further stages of the construction, energy or furniture chains.

Limitations of our study refer to the external validity of our identified empirical results as we focused only one segment of the Danish forest industry. This segment is compared to other Scandinavian countries rather small and very fragmented. As compared to the international literature however, our empirical findings were verifying the notions of lack of supply chain orientation as well as customer orientation in this industry.

6 References/Literaturverzeichnis

- Anderson, G. and Ekstrand, G. (2005), *Kostnadseffektiv och flexible logistic i skogen – en vision för 2010*, SkogForst, Resultat nr. 21
- Barros, O. and Weintraub, A. (1982), "Planning for a vertically integrated forest industry", *Operations Research*, Vol. 30, No. 6., pp. 1168-1182
- Carlsson, D. and Rönnqvist, M. (2005), "Supply chain management in forestry – case studies at Södra Cell AB", *European Journal of Operational Research*, Vol. 163, No. 3, pp. 589-616
- Chopra, S. and Meindl, P. (2007), *Supply Chain Management, Strategy, Planning and Operations*, Prentice-Hall.
- Coughlan, A., Anderson, E., Stern, L. and El-Ansary, A. (2006): *Marketing Channels*, 6th edition, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Danmarks Nationale Skovprogram (DNS) (2002), <http://www.sns.dk/udgivelser/2002/87-7279-452-6/helepub.htm>
- Epstein, R., Morales, R., Seron, J. and Weintraub, A. (1999), "Use of OR systems in the Chilean forest industry", *Interfaces*, Vol. 29, No. 1, pp. 7-29
- Eriksson, G. and Selin, P. (1997): *Kundebhov och kundtillfredställelse*, SkogForst, Resultat Nr. 24

- Fleischmann, B., Meyr, H. and Wagner, M. (2002), "Advanced Planning", in Stadtler, H. and Kilger, C. (eds.), *Supply Chain Management and Advanced Planning – concepts, models, software and case studies*, 2nd edition, Springer, Berlin, pp. 71-96.
- Gronalt, M., Chloupek, A., Greigeritsch, T. and Häuslmayer, H. (2005): *Perspektiven der Holzlogistik Supply Chain - Optimierungspotentiale durch ein Logistikleitzentrum Holz – Österreich*, Book series of the Institute of Wood Science and Technology (ihf) at the Department of Material Sciences and Process Engineering (DMSP) at the University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna, Issue 11.
- Gudehus, T. (2005): *Logistik. Grundlagen, Verfahren und Strategien*, 3rd edition, Springer, Berlin.
- Holmstrup, M. (2007): *Interaktion mellem råvareleverandørerne og første led i den danske savværksværdikæde*, Copenhagen Business School.
- Horvath, K. (2005): *Analyse der Wertschöpfungsketten in der österreichischen Holzwirtschaft mittels Warenstromanalysen und Benchmarking*, Schriftenreihe des Instituts für Transportwirtschaft und Logistik, No. 1 (2005 SCM).
- Johansen O., Cevic, S. And Holdt-Simonsen, J. (2006), *Dansk Nåletræindustri*, Copenhagen Business School.
- KPMG Consulting (2003), *Logistik – Trælasthandlerunions brancheanalyse*, marts.
- Logiball (2004): *Navigationsdatenbasis Holz und forst*, Bad Wünnenberg, http://www.forst.nrw.de/45Wald_und_Holz/30_Holznutzung/50_Logistik/3drei/2Beitrag_Logibal1.pdf
- Mentzer, J. T.; DeWitt, W.; Keebler, J.S.; Soonhoong M.; Nix, N. W.; Smith, C. D. & Zacharia, Z. G., "Defining supply chain management". *Journal of Business Logistics*, 2001, Vol. 22 Issue 2, pp. 1-26.
- Nordic Family Forestry (2008), <http://www.nordicforestry.org/>
- Oswald, T., Thees, O., Lemm, R. and Riechsteiner, D. (2003), *Verbesserung von organisatorischen Strukturen und betrieblichen Abläufen in der Holzproduktion - Fallbeispiel Kanton Solothurn Forstkreis Bucheggberg / Lebern West*, http://www.waldwissen.net/themen/betriebsfuehrung/oragisation_personal/wsl_reorganisation_bucheggberg_originalversion.pdf
- PLS Consult (1996), *Kortlægning af den primære træindustri i Danmark*, Miljø- og Energiemini-steriet, Skov- og Naturstyrelsen.
- Porter, M. (1980), *Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors*, New York: The Free Press.
- Singer, M. and Donoso, P. (2007), "Internal supply chain management in the Chilean sawmill industry", *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 27, No. 5, pp. 524-541.
- Sørensen, V. (1998), *Markedbeskrivelse for Trælast, Danske Tømmerskærende Savværker*, Miljø- og Energiemini-steriet, Skov- og Naturstyrelsen.
- Trærådet (1987), *Savværksindustriens udviklingsmuligheder frem til år 2000*, Trærådet, Akademiet for de tekniske videnskaber.
- Weintraub, A. and Epstein, R. (2002), "The supply chain in the forest industry: models and linkages", in Geunes, J., Pardalos, P. and Romeijn E. (eds.): *Supply chain management models, applications and research directions*, Kluwer, Dordrecht et al., pp. 342-362

Simultane Produktionsplanung von Neu- und aufgearbeiteten Produkten mit steuerbaren Rückflüssen: Ein spieltheoretischer Ansatz

Carolin Pescht

Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insb. Industrielles Management,
Technische Universität Dresden, 01062 Dresden,
carolin.pescht@mailbox.tu-dresden.de

Udo Buscher

Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insb. Industrielles Management,
Technische Universität Dresden, 01062 Dresden,

Zusammenfassung

Im Rahmen einer marktorientierten Rückflussteuerung erhält der Konsument einen finanziellen Anreiz, Altprodukte nicht zu entsorgen, sondern sie im Sinne einer Kreislaufwirtschaft zurückzuführen. Über die Höhe des finanziellen Anreizes kann ein Einfluss auf die Rückflussmengen ausgeübt werden. Erfolgt eine Rückführung zum Hersteller, so kann für diesen die Möglichkeit bestehen, die zurückkehrenden Produkte wiederaufzuarbeiten. Im vorliegenden Beitrag steht ein Monopolist im Mittelpunkt, der mit einem Rückkaufpreis versucht, den Rückfluss zu steuern. Dabei sieht er sich unterschiedlichen Kundengruppen gegenüber. Mit einem spieltheoretischen Ansatz wird eine geeignete Gleichgewichtsstrategie für den Monopolisten abgeleitet, die die Produktions- und Wiederaufarbeitungsmengen so bestimmt, dass unter Berücksichtigung des Konsumentenverhaltens der Gewinn maximiert wird.

1 Einleitung

Viele Unternehmen schenken der wirtschaftlichen Verwertung von Altprodukten aus unterschiedlichen Gründen wie knapper werdende natürliche Ressourcen, hohe Entsorgungskosten, gesetzliche Auflagen und ein gestiegenes Umweltbewusstsein der Konsumenten eine erhöhte Aufmerksamkeit. Die Einbeziehung von grünen, d.h. umweltrelevanten Überlegungen in die Planung produktionswirtschaftlicher und logistischer Aufgabenstellungen kann mit dem Begriff „Green Operations“ erfasst werden.¹ Neben dem Abfallmanagement und den logistischen Planungsaufgaben, die mit der Altproduktrückführung verbunden sind, zählt insbesondere die Wiederverwendung bzw. Wiederverwertung von Altprodukten im Rahmen der Produktion zu den Kernelementen des Green Operations. Da hierfür jedoch im Allgemeinen mehrere Handlungsoptionen zur Verfügung stehen, gilt es, für ein spezifisches Produkt die zu realisierende Alternative zu determinieren. Nach Thierry et al. lassen sich grundsätzlich die folgenden Möglichkeiten unterscheiden:²

- Direkte Wiederverwendung (Direct Reuse)
- Reparatur (Repair)
- Materialrecycling (Recycling)
- Wiederaufarbeitung (Remanufacturing)

Die in diesem Beitrag näher betrachtete Wiederaufarbeitung sieht vor, durch Ausführung von Demontageaktivitäten, Überholung von Einzelteilen oder Baugruppen bzw. deren Austausch eine Produkteinheit zu erstellen, die in der Regel keine qualitativen Unterschiede zu einem neu gefertigten Erzeugnis aufweist.³ Mithin ist davon auszugehen, dass die aufgearbeiteten Produkte „so gut wie neu“ sind.⁴

Zwar werden seit geraumer Zeit Wiederaufarbeitungsprozesse in die vielfältigen Aufgaben der klassischen Produktionsplanung und -steuerung mit einbezogen,⁵ jedoch lässt sich festhalten, dass aktuell die Koordination der Akteure in den Vordergrund rückt, die an der Produktrückführung und Wiederaufarbeitung beteiligt sind.⁶ Hierbei

¹ Vgl. hier und im Folgenden Srivastava (2007), der auch einen ausführlichen Überblick über das Konzept des Green Supply Chain Managements gibt.

² Vgl. Thierry et al. (1995), S. 117ff. Ähnlich auch Pearce (2009). Eine andere Möglichkeit verfügbare Handlungsoptionen für Altprodukte zu gliedern, besteht darin, unter dem Oberbegriff des Recycling die vier Alternativen Wiederverwendung, Weiterverwendung, Wiederverwertung und Weiterverwertung zu unterscheiden. Vgl. bspw. Steven (2006), S. 111.

³ Vgl. auch Buscher/Lindner (2003), S. 261.

⁴ Zur „so gut wie neu“-Annahme vgl. bspw. auch Srivastava/Srivastava (2006), S. 529-530.

⁵ Während das Recycling bereits Ende der 70er Jahre in der Literatur auftaucht, wird der rückwärtsgerichtete Güterfluss bis auf einzelne Ausnahmen erst Anfang der 90er Jahre explizit betrachtet. Inzwischen existiert eine Vielzahl von Forschungsarbeiten in dem Themengebiet. Vgl. hierzu insbesondere auch die Ergebnisse des Ende 2002 abgeschlossenen EU-Projektes REV-LOG, in Dekker et al. (2004).

⁶ Vgl. bspw. Hammond/Beullens (2007) und Xiao/Shi/Yang (2010).

bietet es sich an auf die Spieltheorie zurückzugreifen, weil mit ihr die Interaktionen zwischen den einzelnen Akteuren gut analysiert werden können.

Zu den in diesem Kontext handelnden Akteuren gehören die neue Produkte produzierenden Unternehmen, die Konsumenten und die mit der Wiederaufarbeitung der Produkte betrauten Unternehmen. Die Wiederaufarbeitung kann von dem auch neue Produkte produzierenden Unternehmen⁷ oder von einem auf Wiederaufarbeitung spezialisierten Unternehmen durchgeführt werden.⁸ Dabei kommt der Kenntnis der Art, des Umfangs und des zeitlichen Anfalls der Rückflüsse eine besondere Bedeutung zu, weil sie die Voraussetzung für die Wiederaufarbeitung von Altprodukten bildet.

Hierbei lassen sich die marktorientierte und die abfallstrombasierte Rückflussteuerung unterscheiden.⁹ Letztere sieht vor, durch gesetzliche Regelungen die Unternehmen dazu zu verpflichten, Altprodukte unabhängig von ihrem qualitativen Zustand zurückzunehmen.¹⁰ Bei der marktorientierten Rückflussteuerung soll der Konsument hingegen durch finanzielle Anreize dazu motiviert werden, das Altprodukt dem Kreislauf zurückzuführen. Beispiele hierfür stellen Rückkaufprogramme, Pfandsysteme oder Rabatte beim gleichzeitigen Kauf eines Neuproduktes dar. Hierbei haben die Unternehmen die Möglichkeit durch Gestaltung der finanziellen Anreize Einfluss auf die Quantität, die Qualität und den Zeitpunkt der zurückfließenden Güter zu nehmen.

Die Grundlage für die in diesem Beitrag analysierte Planungssituation liefern Atasu et al. (2008), die einen Monopolisten betrachten, der zur Befriedigung der Nachfrage von Primär- und Ökokonsumenten sowohl neue als auch wiederaufgearbeitete Produkte anbieten kann.¹¹ Die Möglichkeit Altprodukte wiederaufarbeiten zu können, hängt wie oben beschrieben davon ab, wie viele Altprodukte zurückkehren. In dem von Atasu et al. (2008) gewählten Zwei-Perioden-Ansatz entspricht der Rückfluss der zweiten Periode dem Produkt aus der Neuproduktionsmenge der Vorperiode und einer fixierten Rückflussquote. Diese Vorgehensweise greifen auch Ferrer et al. (2010) auf, die in ihrem Modell Preise und Mengen für neue und wiederaufgearbeiteten Produkten für bis zu fünf Perioden vorstellen.¹² Kaya (2009) fasst hingegen in seinem statischen Ansatz die Menge der zurückfließenden Altprodukte als (stochastische) Funktion auf, die von der Höhe des Rückkaufpreises abhängt.

In diesem Beitrag werden die Primärkonsumenten hingegen als eigenständig agierende Akteure aufgefasst, die vom Monopolisten bereits beim Neuproduktkauf erfahren, dass ihnen bei Rückgabe des Altproduktes ein Rückkaufpreis k erstattet wird, so dass sich der Verkaufspreis aus der Summe aus Nettopreis und Rückkaufpreis ergibt. Die In-

⁷ Vgl. hierzu bspw. Atasu/Sarvary/Wassenhove (2008) und Ferrer/Swaminathan (2010).

⁸ Vgl. zu dieser Situation bspw. Jung, Hwang (2011).

⁹ Vgl. Guide/Wassenhove (2001).

¹⁰ Ein Beispiel für die abfallstrombasierte Rückflussteuerung stellt das Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG) der Bundesrepublik Deutschland aus dem Jahr 2005 dar, das die Hersteller verpflichtet ihre Altgeräte zurückzunehmen.

¹¹ Vgl. Atasu et al. (2008).

¹² Vgl. Ferrer et al. (2010).

formation über den Rückkaufpreis soll die Primärkonsumenten stimulieren, bei gleichem Verkaufspreis eine größere Menge des Neuproduktes nachzufragen. Bei der tatsächlichen Rückgabe des Altproduktes führt dies allerdings dazu, dass der Rückkaufpreis zu erstatten ist und damit der Gewinn des Monopolisten entsprechend sinkt.

Der Beitrag ist wie folgt aufgebaut. Um die Planungssituation zu erläutern, wird im zweiten Kapitel vereinfachend zunächst ein einperiodischer Ansatz gewählt, die Akteure und deren Handlungsoptionen näher erläutert sowie kurz eine spieltheoretische Lösung aufgezeigt. Die Erweiterung des Ansatzes um eine weitere Periode erfolgt im dritten Kapitel. Es entsteht ein auf dem zweiten Kapitel aufbauender zweiperiodiger Ansatz, in dem die Anzahl der Altprodukte, die wiederaufgearbeitet werden können, explizit von der Neuproduktionsmenge der Vorperiode abhängen. Die Ermittlung des Nash-Gleichgewichtes erfolgt anhand eines numerischen Beispiels. Der Beitrag endet mit einer Diskussion der erzielten Resultate.

2 Einperiodisches Basismodell

2.1 Ausgangssituation

In diesem Beitrag wird ein Monopolist betrachtet, der sich einerseits sogenannten Primärkonsumenten und andererseits Ökokonsumenten gegenüber sieht, deren prozentualer Anteil β beträgt.¹³ Ökokonsumenten zählen zu den sozial-ökologisch aktiven Konsumenten. Diese achten beim Kauf von Produkten primär auf die ökologischen Eigenschaften und die Funktionalität und weniger auf das Image des Produktes und die ausschließliche Verarbeitung von Neukomponenten und Primärrohstoffen. Subjektiv wird durch die ökologischen Eigenschaften eines Produktes sogar ein höherer persönlicher Nutzen generiert.¹⁴

Die Primärkonsumenten (PK) werden in zwei Subgruppen unterteilt. Sozial-ökologisch aktivierbare Konsumenten, welche ökologische Eigenschaften zwar schätzen, aber nicht ohne einen gewissen Anreiz Produkten aus bspw. Sekundärrohstoffen oder aufgearbeiteten Komponenten den Vorzug vor Neuprodukten geben. Im Folgenden wird dieser Anteil der Primärkonsumenten mit α bezeichnet. Diese Gruppe bezieht die Information über die Höhe des Rückkaufpreises k mit in die Kaufentscheidung ein. Mithin beträgt die maximale Zahlungsbereitschaft dieser Primärkonsumenten für das neue Produkt $\Theta + k$. Die zweite Subgruppe wird als sozial-ökologisch passive Konsumenten definiert und bezieht k nicht in die Kaufentscheidung ein. Weder werden ökologische Eigenschaften positiv geschätzt noch wird eine Kostenerhöhung mit ökologischem Hintergrund akzeptiert.¹⁵ Der Anteil dieser Konsumenten beträgt $(1-\alpha)$ und ihre maximale Zahlungsbereitschaft für Neuprodukte beträgt Θ .

Das wiederaufgearbeitete Produkt erfährt von den Primärkonsumenten grundsätzlich eine geringere Wertschätzung im Vergleich zu dem Neuprodukt. Diese unterschiedli-

¹³ Vgl. Atasu et al. (2008).

¹⁴ Vgl. Belz (2005), S.79.

¹⁵ Vgl. Belz (2005), S.79.

che Wertschätzung wird durch den Parameter δ mit $\delta \in (0, 1)$ formal ausgedrückt und schlägt sich entsprechend auch in den zugehörigen maximalen Zahlungsbereitschaften nieder. Während für die α -Gruppe demnach eine maximale Zahlungsbereitschaft von $\delta(\Theta + k)$ gilt, liegt diese für die $(1-\alpha)$ -Gruppe bei $\delta\Theta$.

Nach der Nutzungsdauer (vgl. hier und im Folgenden auch Abbildung 1) eröffnen sich am Ende der Periode den Primärkonsumenten zwei Handlungsalternativen, wie diese mit den Altprodukten umgehen. Entweder wird das Produkt nach der Nutzung entsorgt oder das Altprodukt zurückgegeben. Der Anteil der Primärkonsumenten, die die Altprodukte entsorgen, wird mit ρ mit $\rho \in (0, 1)$ erfasst.¹⁶ Entsprechend gibt $(1-\rho)$ den Anteil der Primärkonsumenten an, die das Altprodukt zurückführen. Da die Periodenlänge der durchschnittlichen Nutzungsdauer des Produktes entspricht, kann davon ausgegangen werden, dass die Primärkonsumenten nicht zwangsläufig dann das Produkt zurückgeben, wenn sie beim Kauf den Rückkaufpreis berücksichtigt haben.¹⁷

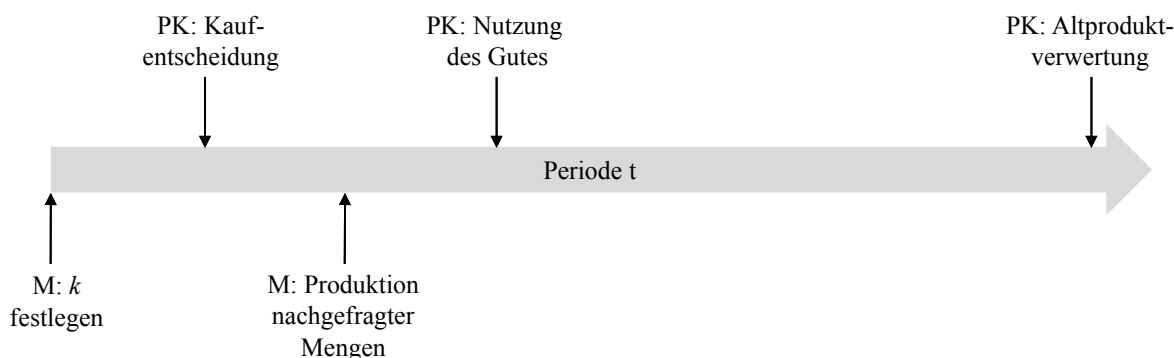


Abbildung 1: Entscheidungen der Akteure innerhalb der Periode

2.2 Optimierungsprobleme des Monopolisten

Der Monopolist wählt aufgrund der potenziellen Nachfrage nach aufgearbeiteten Produkten zwischen drei Produktions- und Preissetzungsstrategien. Je nach Größe des Anteils der Ökokonsumenten β hat er die Wahl zwischen keiner Wiederaufarbeitung (KW), Wiederaufarbeitung mit Kannibalisierungseffekt (AK) und Wiederaufarbeitung für gesonderte Teilmärkte (AT).¹⁸ Damit hat der Monopolist zunächst zu entscheiden, ob überhaupt aufgearbeitete Produkte angeboten werden. Sollen diese angeboten werden, ist daraufhin ein geeigneter Preis p_r für das aufgearbeitete Produkt festzulegen. Bezeichnet p_b den Verkaufspreis für das Neuprodukt, so lassen sich die beiden folgenden Preisrelationen unterscheiden. Zum einen kann $p_r \leq \delta p_b$ gelten. Der Preis für das wiederaufgearbeitete Produkt liegt so niedrig, dass sich ein Teil der Primärkonsumenten aufgrund ihrer Preissensibilität anstatt für das Neuprodukt für das wiederaufgearbeitete Produkt entscheidet (AK). Zum anderen kann sich der Monopolist aber auch für

¹⁶ Unter die Option Entsorgung fällt gleichbedeutend auch Verschenken, Weiterverkauf oder eine überdurchschnittliche lange Nutzung des Produktes.

¹⁷ Mithin wird nicht von einer perfekten Erinnerung sondern vielmehr von einer unvollständigen Erinnerung ausgegangen. Zur Unterscheidung beider Erinnerungsformen vgl. Güth (1999) S. 17.

¹⁸ Vgl. Atasu et al. (2008).

eine Hochpreisstrategie für das wiederaufgearbeitete Produkt (AT) entscheiden ($p_r \geq \delta p_b$). Mit dieser Strategie kann der Monopolist keine Primärkonsumenten für das wiederaufgearbeitete Produkt gewinnen. Bei genügend großem Marktanteil β der Ökokonsumenten kann dies gleichwohl eine günstige Alternative für den Monopolisten darstellen. Nachfolgend werden die Symbole und Indizes des Modells eingeführt:

Symbol	Interpretation
α_t	Anteil der Primärkonsumenten, die k in die Kaufentscheidung einbeziehen der Periode t
β_t	Anteil der Ökokonsumenten der Periode t
Δ	maximale Menge potenzieller Konsumenten (Marktgröße) in ME
δ_t	Wertschätzungsfaktor der Primärkonsumenten für das aufgearbeitete Produkt der Periode t
Π	Gewinn Monopolist (Auszahlung des Spielers) in GE
ρ_t	Anteil der Primärkonsumenten, die das Produkt entsorgen der Periode t
Φ	maximale Zahlungsbereitschaft in GE
ω	Wahrscheinlichkeit, mit der der Monopolist eine Strategie i wählt
ψ	Wahrscheinlichkeit, mit der die Primärkonsumenten eine Strategie j wählen
c_n	Kosten Neuprodukt in GE
c_r	Kosten aufgearbeitetes Produkt in GE
k_t	Rückkaufpreis des Monopolisten für ein Altprodukt zu Ende der Periode t in GE
KR	Konsumentenrente Primärkonsumenten (Auszahlung des Spielers) in GE
$q_{neu,t}$	Menge des Neuproduktes in ME
$q_{b,t}$	Menge der Neuproduktes, wenn gilt $\alpha=0$ in ME
$q_{n,t}$	Menge der Neuproduktes, wenn gilt $\alpha=1$ in ME
$q_{r,t}$	Menge aufgearbeitetes Produkt in ME
Pr	Wahrscheinlichkeitsverteilung der Spieler
$p_{b,t}$	Verkaufspreis des Neuproduktes in GE/ME
$p_{n,t}$	Grundpreis des Neuproduktes in GE/ME
$p_{r,t}$	Verkaufspreis des aufgearbeiteten Produktes in GE/ME
Indizes	Intepretation
PK	Index Primärkonsumenten
ÖK	Index Ökokonsumenten
I	Anzahl Entscheidungsreihenfolgen Monopolist
J	Anzahl Entscheidungsreihenfolgen Konsument
T	Planungshorizont
Z	Anzahl Endknoten des Spielbaumes

Am Beispiel der Strategie KW (keine Wiederaufarbeitung) soll die Zielfunktion des Monopolisten für das einperiodische Modell aufgestellt werden. Der bereits eingeführte Verkaufspreis als p_b setzt sich aus dem Grundpreis p_n und dem Rückkaufpreis k zu-

sammen. Die Neuproduktmenge q_{neu} hängt bei diesem Preis davon ab, ob die Kunden den Rückkaufpreis k bei ihrer Kaufentscheidungen berücksichtigen oder nicht. Aufgrund ihrer unterschiedlichen maximalen Zahlungsbereitschaften gilt für die α -Gruppe eine andere Preis-Absatz-Funktion als für die $(1-\alpha)$ -Gruppe. In Abbildung 2 sind die verschiedenen primärkonsumentenspezifischen Nachfragefunktionen für die KW-Strategie dargestellt.¹⁹ Die Neuproduktmenge lässt sich damit wie folgt ausdrücken:²⁰

$$q_{neu} = \alpha \cdot q_n + q_b(1 - \alpha) \quad (1)$$

$$q_n = \frac{1 - p_n}{1 + k} \quad (2)$$

$$q_b = 1 - p_b \quad (3)$$

Bezeichnet c_n die Stückkosten des Neuproduktes, so kann in Abhängigkeit des Anteils ρ der Primärkonsumenten, die das Altprodukt zurückgeben, die zu maximierende Gewinnfunktion Π des Monopolisten folgendermaßen angegeben werden:

$$\Pi_{NR} = q_{neu}(p_b - c_n) - q_{neu}(1 - \rho)k \quad (4)$$

Nehmen die Parameter α und ρ , die nicht durch den Monopolisten beeinflusst werden können, jeweils nur die Randwerte Null oder Eins an (reine Konsumentenstrategien), so entstehen für den Monopolisten vier unterschiedliche Auszahlungssituationen, die auch in Abbildung 2 wiederzufinden sind. Diese werden im Folgenden kurz charakterisiert:

- Punkt A. Die Primärkonsumenten beziehen die Information des Rückkaufpreises nicht mit in die Kaufentscheidung ein. Alle Primärkonsumenten entscheiden sich für eine Entsorgung. Mithin gelten $\alpha=0$ und $\rho=1$. Es ergibt sich: $\Pi_A = q_b(p_b - c_n)$.
- Punkt B. Die Primärkonsumenten beziehen die Information des Rückkaufpreises in die Kaufentscheidung mit ein. Da sich alle Primärkonsumenten für eine Entsorgung entscheiden, gelten $\alpha=1$ und $\rho=1$. Die sich für den Monopolisten ergebende Auszahlung lautet: $\Pi_B = q_n(p_b - c_n)$.
- Punkt C. Die Primärkonsumenten beziehen die Information des Rückkaufpreises nicht mit in die Kaufentscheidung ein. Eine Rückgabe findet statt, so dass $\alpha=0$ und $\rho=0$. Der Gewinn des Monopolisten beläuft sich auf $\Pi_C = q_b(p_n - c_n)$.

¹⁹ Nicht nur für die Abbildung 2 gilt, dass die maximale Zahlungsbereitschaft Θ sowie die maximale Marktgröße Δ auf 1 normiert sind.

²⁰ Die Nachfragefunktionen q_n und q_b können auch anhand der Abbildung 2 nachvollzogen werden.

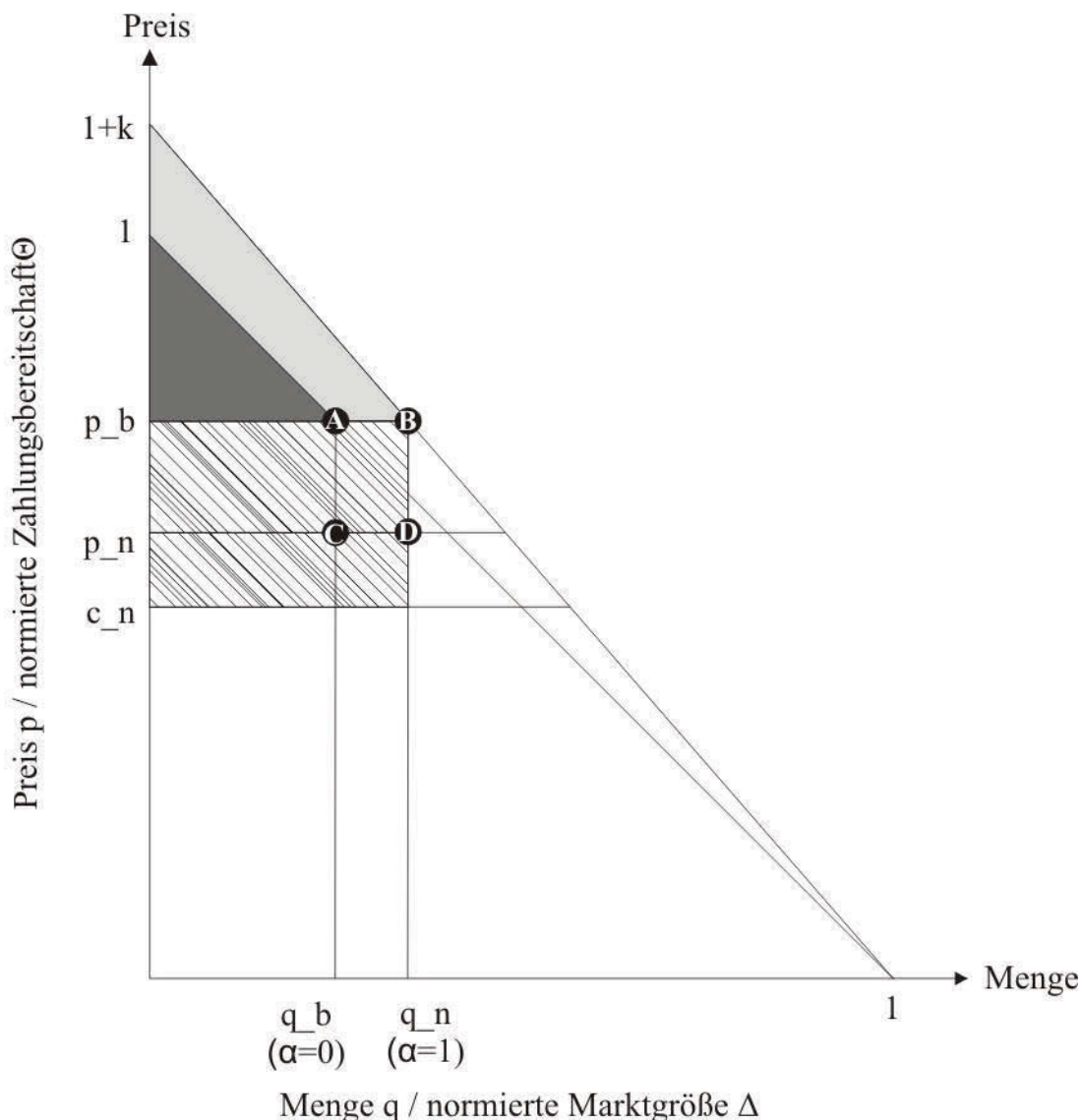


Abbildung 2: Preis-Absatz-Diagramm (keine Wiederaufarbeitung)

Punkt D. Die Primärkonsumenten beziehen die Information des Rückkaufpreises mit in die Kaufentscheidung ein. Das Altprodukt wird zurückgegeben. Bei $\alpha=1$ und $\rho=0$ erhält der Monopolist eine Auszahlung von $\Pi_D = q_n (p_n - c_n)$.

Die Auszahlung der Gruppe der Primärkonsumenten entspricht der Summe der erzielbaren Konsumentenrente (KR) der jeweiligen Konsumentengruppen und deren Anteil sowie der Zahlung des Rückkaufpreises. Bereits an diesen Ausprägungen der Strategie KW (keine Wiederaufarbeitung) wird die unterschiedliche Gewinnhöhe des Monopolisten in Abhängigkeit der Konsumentenhandlung deutlich. Das Ziel besteht nun darin, mit Hilfe des Nash-Gleichgewichtes den Punkt im $ABCD$ -Rechteck zu finden, der den Gewinn des Monopolisten maximiert.

Existiert keine Restriktion bezüglich der Menge der aufzuarbeitenden Produkte, so lässt sich zusammenfassend die Spielsituation des einperiodigen Grundmodells durch den in Abbildung 3 gegebenen Spielbaum verdeutlichen.

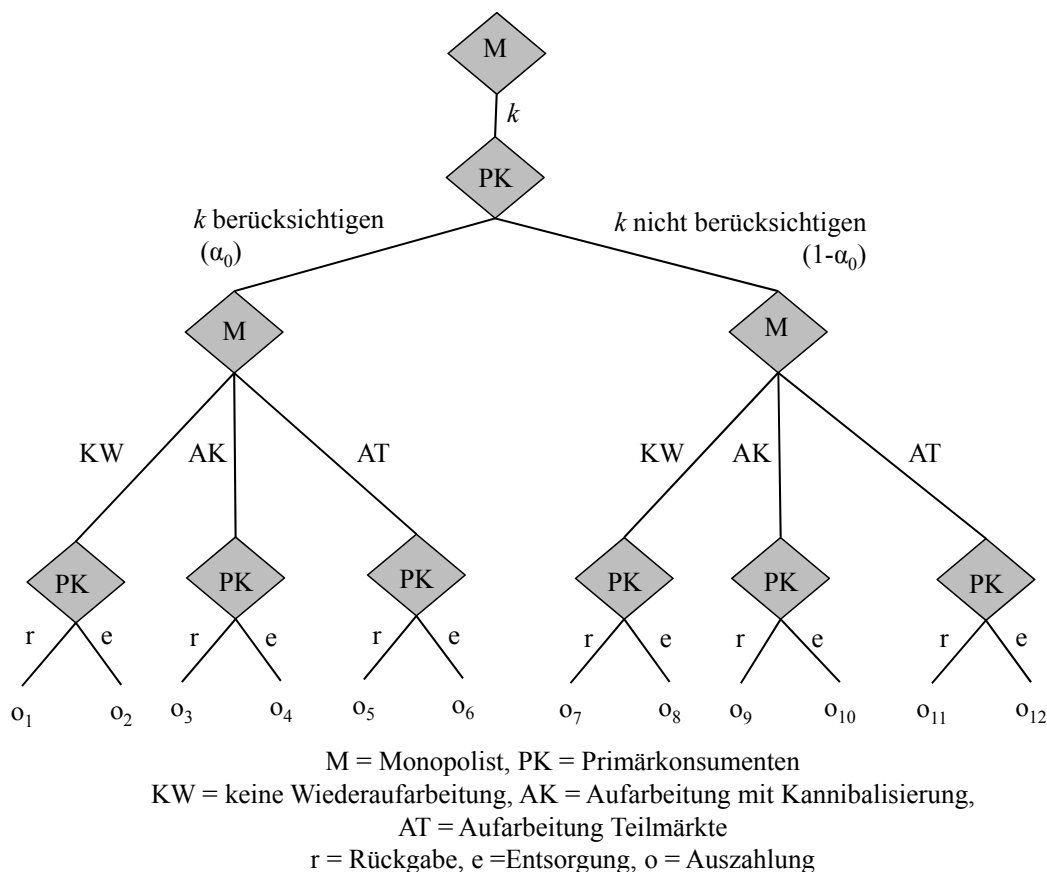


Abbildung 3: Einperiodisches Grundmodell

2.3 Lösung des einperiodischen Modells

Zur Bestimmung der besten Strategie des Monopolisten unter Beachtung der Handlung des Konsumenten werden zunächst für jeden Pfad des extensiven Spieles o_z die Auszahlungen der Spieler aller reinen Strategien (Kombinationen der Parameter α und ρ) berechnet. So sind die Parameter für die Auszahlung o_1 gegeben mit $\alpha = 1, \rho = 0$. Die sich ergebenden Auszahlungen der Zielknoten $o_z = (\Pi, KR)$ können nun in die induzierte Auszahlungsmatrix übertragen werden.²¹ Anhand dieser Basis ist anschließend das Nash-Gleichgewicht ermittelbar. Dabei sind sowohl Nash-Gleichgewichte in reinen als auch in gemischten Strategien zulässig. Gemischte Strategien stellen dabei die Wahrscheinlichkeitsverteilung dar, mit der bestimmte Entscheidungsreihenfolgen gewählt werden. Reine Strategien sind folglich ein Spezialfall der gemischten Strategien, bei dem genau eine Strategie mit der Wahrscheinlichkeit 1 gewählt wird.²² Während die Wahrscheinlichkeitsverteilung des Monopolisten $\Pr(M) = (\omega_1, \dots, \omega_I)$ lautet, so lässt sich die Wahrscheinlichkeitsverteilung des Konsumenten analog mit $\Pr(K) = (\psi_1, \dots, \psi_J)$ kennzeichnen.²³

²¹ Vgl. Berninghaus (2006) S. 104ff.

²² Vgl. Berninghaus (2006) S. 29.

²³ I, J bezeichnen die Anzahl der Strategien der aktuell betrachteten Auszahlungs-Bi-Matrix.

Durch die Kenntnis der Wahrscheinlichkeitsverteilung kann abschließend eine Aussage über die zu wählenden Strategien abgeleitet werden. Da der Monopolist aufgrund der praktischen Umsetzbarkeit nur eine Strategie wählen darf (konsistente Preis- und Mengenfestsetzung am Markt), bietet es sich an, die Strategie mit der höchsten Wahrscheinlichkeit zu wählen. Diese führt zu den höchsten erwarteten Auszahlungen unabhängig von der Strategiewahl des Konsumenten.²⁴ Bei dieser Interpretation des Nash-Gleichgewichtes wird davon ausgegangen, dass der Konsument ebenfalls eine reine Strategie verfolgt und die der höchsten Wahrscheinlichkeit umsetzt.

Da der Konsument jedoch eine Gruppe von Individuen repräsentiert, wobei jedes Individuum eine binäre Entscheidung (d.h. hier Rückgabe vs. Entsorgung bzw. k berücksichtigen vs. k nicht berücksichtigen) trifft, ist in der Masse eine gemischte Strategie durchaus zulässig. Dieser Fakt wird im folgenden Zwei-Perioden-Modell aufgegriffen.

3 Zwei-Perioden-Modell

3.1 Auszahlungsberechnung des Monopolisten

Da die Annahme unbegrenzt zur Verfügung stehender Altprodukte nicht in jedem Fall gerechtfertigt erscheint, soll in diesem Kapitel nur noch von begrenzt verfügbaren Altprodukten ausgegangen werden. Anstelle eines einperiodigen Modells tritt nun ein zweiperiodiger Ansatz, der sich durch eine Initialisierungs- und eine Folgeperiode auszeichnet. In der Initialisierungsperiode t_0 kann der Monopolist ausschließlich neue Produkte anbieten. Es ist allerdings zu beachten, dass die Höhe der Neuproduktmenge in der Initialisierungsperiode $q_{neu,0}$ die Menge der für die Wiederaufarbeitung zur Verfügung stehenden Altprodukte in der Folgeperiode nach oben begrenzt. Formal ergibt sich unter Berücksichtigung des Anteils $(1-\rho)$ der zurückkehrenden Altprodukte:²⁵

$$q_{r,1} \leq (1 - \rho)q_{neu,0} \quad (5)$$

Der aus dem vorherigen Kapitel bekannte Spielbaum wird durch das Einbeziehen einer weiteren Periode erweitert. Der bisherige Spielbaum repräsentiert in der neuen Konstellation die Entscheidungssituation in Periode t_1 und ist in Abbildung 4 hellgrau unterlegt. Aufgrund der fehlenden Wiederaufarbeitungsoption in der Initialisierungsperiode hat der Monopolist in t_0 nur eine Produktions- und Preisstrategie. Bei Berücksichtigung beider Perioden können insgesamt 48 verschiedene Auszahlungen auftreten.²⁶

²⁴ Vgl. Holler (2006) S. 68.

²⁵ Die Restriktion bewirkt offensichtlich, dass die beiden Perioden voneinander abhängen. Vgl. zu einer vergleichbaren Modellierung Debo (2005).

²⁶ Der Vollständigkeit halber werden auch offenbar nicht plausible Pfade (bspw. keine Rückführung von Altprodukten und anschließende Wiederaufarbeitungsstrategie des Monopolisten) im Spielbaum aufgeführt. Gleichwohl werden diese Pfade durch die schlechten Auszahlungen automatisch von offenbar plausiblen Pfaden dominiert.

Für den Monopolisten bestehen grundsätzlich drei verschiedene Handlungsalternativen, die jeweils mit einem zugehörigen Optimierungsmodell dargestellt werden können. Das Verhalten der Primärkonsumenten äußert sich dadurch, dass die Parameter α und ρ determiniert werden. Mit diesen Informationen lassen sich die Auszahlungen der einzelnen Pfade bestimmen und somit die Auszahlungsmatrix aufstellen. Nachstehend soll beispielhaft das Optimierungsmodell aufgestellt werden, dass der Monopolist zu lösen hat, wenn er die Strategie $(k_0\text{-}KW\text{-}k_1\text{-}AK)$ verfolgt (vgl. Zielfunktion (6) und die Nebenbedingungen (7)).

$$\max \Pi_{AK} = q_{neu,0}(p_{b,0} - c_n) - q_{neu,0}(1 - \rho_0)k_0 + q_{neu,1}(p_{b,1} - c_n) + q_{r,1}(p_{r,1} - c_r) - q_{neu,1}(1 - \rho_1)k_1 \quad (6)$$

$$u.d.N \quad p_{r,1} \leq \delta p_{b,1} \quad (7)$$

$$q_{r,1} \leq (1 - \rho_0)q_{neu,0} \quad (7)$$

$$q_{neu,t}, q_{r,t}, p_{b,t}, p_{r,t} \in [0,1]$$

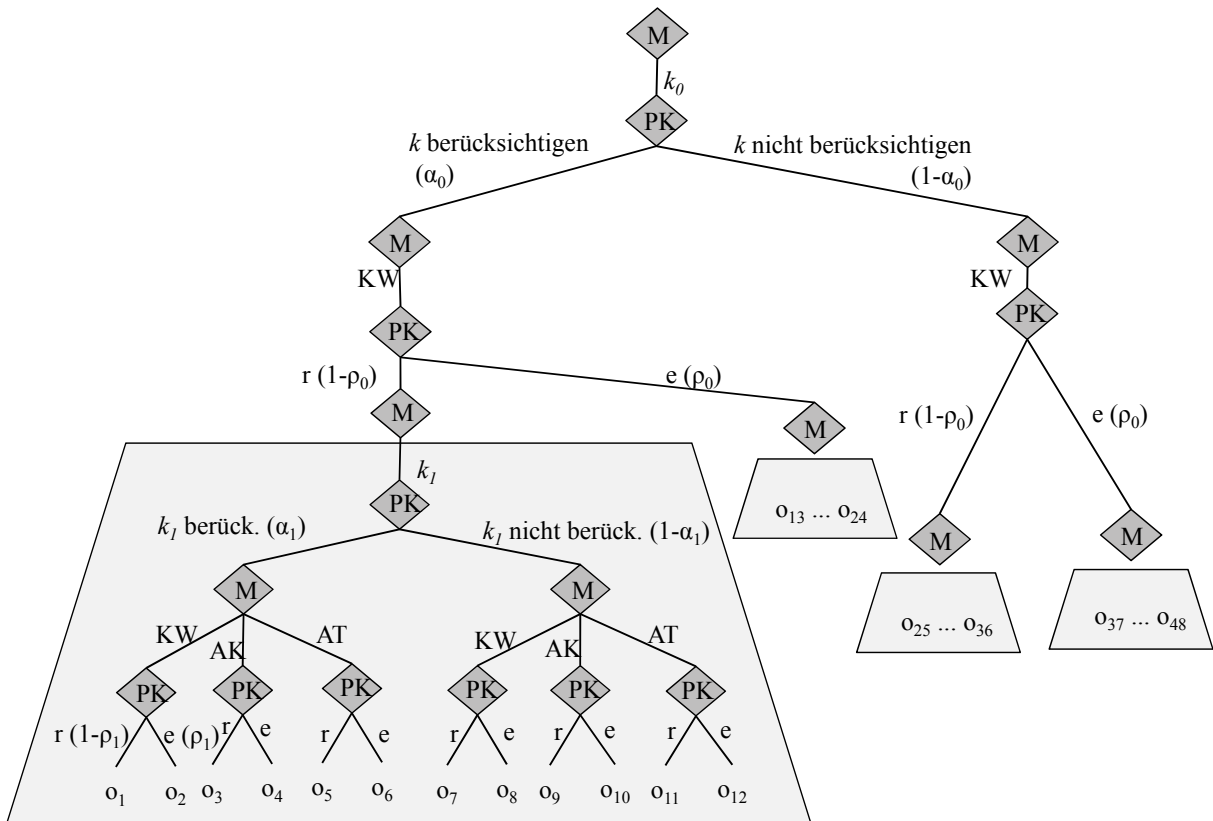


Abbildung 4: Zwei-Perioden-Modell

Liegen die Auszahlungen vor, so bietet es sich zur Bestimmung des Nash-Gleichgewichtes an, die Bi-Matrix in ein lineares Komplementaritätsproblem zu überführen und es anschließend mit dem Lemke-Howson-Algorithmus (LHA) zu lösen.²⁷

²⁷ Der Lemke-Howson-Algorithmus weist große Ähnlichkeit mit der Simplexmethode auf. Vgl. hierzu bspw. Stengel (2008) S. 63.

In Reaktion auf die Strategie des Monopolisten weisen die Primärkonsumenten die in Tabelle 1 aufgeführten Nachfragefunktionen auf.²⁸

Neuproduktmenge, k berücksichtigt	$t = 0 \quad q_{n,0} = \frac{1 - p_{n,1}}{1 + k_0}$ $t = 1 \quad q_{n,1} = \frac{(1 + k_1)\delta - 1 + p_{n,1} - p_{r,1}}{(1 + k_1)(\delta - 1)}$
Neuproduktmenge, k unberücksichtigt	$t = 0 \quad q_{n,0} = 1 - p_{b,0}$ $t = 1 \quad q_{n,1} = \frac{\delta - 1 + p_{b,1} - p_{r,1}}{(\delta - 1)}$
Neuproduktmenge	$t = 0 \quad q_{neu,0} = \alpha_0 q_{n,0} + (1 - \alpha_0) q_{b,0}$ $t = 1 \quad q_{neu,0} = (1 - \beta)(\alpha_1 q_{n,1} + (1 - \alpha_1) q_{b,1})$
Verkaufspreis	$t = 0 \quad p_{b,0} = p_{n,0} + k_0$ $t = 1 \quad p_{b,1} = p_{n,1} + k_1$
Menge aufgearbeiteter Produkte Ökokonsumenten	$t = 0 \quad q_{r,0}^{\text{ÖK}} = 0$ $t = 1 \quad q_{r,1}^{\text{ÖK}} = 1 - p_{r,1}$
Menge aufgearbeitete Produkte preis- sensible PK (k berücksichtigt)	$t = 0 \quad q_{r,0}^{\text{PK},n} = 0$ $t = 1 \quad q_{r,1}^{\text{PK},n} = \frac{-\delta p_{b,1} + p_{r,1}}{(1 + k_1)(\delta - 1)}$
Menge aufgearbeitete Produkte preis- sensible PK (k nicht berücksichtigt)	$t = 0 \quad q_{r,0}^{\text{PK},b} = 0$ $t = 1 \quad q_{r,1}^{\text{PK},b} = \frac{-\delta p_{b,1} + p_{r,1}}{(\delta - 1)}$
Kannibalisierungsmenge PK	$t = 0 \quad q_{r,0}^{\text{PK}} = 0$ $t = 1 \quad q_{r,1}^{\text{PK}} = \alpha_1 q_{r,1}^{\text{PK},n} + (1 - \alpha_1) q_{r,1}^{\text{PK},b}$
Gesamtmenge aufgearbeiteter Produkte	$t = 0 \quad q_{r,0} = 0$ $t = 1 \quad q_{r,1} = (1 - \beta) q_{r,1}^{\text{PK}} + \beta q_{r,1}^{\text{ÖK}}$

Tabelle 1: Nachfragefunktionen Strategie Monopolist Wiederaufarbeitung (Kannibalisierung)

3.2 Numerisches Beispiel

Im Folgenden soll ein numerisches Beispiel die Vorgehensweise zur Bestimmung des Nash-Gleichgewichtes illustrieren. In Tabelle 2 sind die dem Beispiel zugrunde liegenden Parameter (normiert auf den Bereich zwischen null und eins) aufgeführt. Der vergleichsweise hohe Rückkaufpreis in der Initialisierungsperiode soll den Primärkonsumenten einen hohen Anreiz geben, die Altprodukte zurückzugeben.

²⁸ Vgl. hierzu auch Atasu (2008).

Die 48 verschiedenen Auszahlungsalternativen werden in einer 3x16-Matrix ausgegeben.²⁹ Die Zeilen stellen die möglichen Entscheidungsreihenfolgen des Monopolisten und die Spalten die Entscheidungsreihenfolgen des Konsumenten über den Planungshorizont T dar.³⁰ Somit gilt zunächst $I=3, J=16$. Diese Beispielmatrix kann durch die Streichung dominierter Strategien auf die in Tabelle 3 angegebene 2x3-Matrix reduziert werden.

Anteil Ökokonsumenten β $t=1$	0,400
Wertschätzungsfaktor δ $t=0,1$	0,500
Rückkaufpreis k Initialisierungsperiode $t=0$	0,200
Rückkaufpreis k der Periode $t= 1$	0,05
Kosten Neuprodukt c_n $t=0,1$	0,500
Kosten aufgearbeitetes Produkt c_r $t=0,1$	0,200

Tabelle 2: Parameter Beispiel

Daraus folgend gilt es für das Nash-Gleichgewicht die Wahrscheinlichkeiten $\Pr(M) = (\omega_1, \omega_2)$ und $\Pr(K) = (\psi_1, \psi_2, \psi_3)$ zu ermitteln.

		Konsument		
		ψ_1	ψ_2	ψ_3
Monopolist		k inkl. ($\alpha_0=1$) – r ($\rho_0=0$)	k inkl. ($\alpha_0=1$) – r ($\rho_0=0$)	k inkl. ($\alpha_0=1$) – e ($\rho_0=1$)
		k inkl. ($\alpha_1=1$) – r ($\rho_1=0$)	k exkl. ($\alpha_1=0$) – r ($\rho_1=0$)	k inkl. ($\alpha_1=1$) – r ($\rho_1=0$)
ω_1	k_0 -KW- k_1 -KW	(0,112; 0,109)	(0,103; 0,104)	(0,162; 0,093)
ω_2	k_0 -KW- k_1 -AT	(0,152; 0,102)	(0,146; 0,102)	(0,138; 0,128)

Tabelle 3: reduzierte Auszahlungsmatrix³¹

Um Nash-Gleichgewichte in Bi-Matrizen zu identifizieren, wird die beste Antwort eines Spielers auf jede Strategiewahl des Gegenspielers gesucht. Eine Möglichkeit stellt hierbei die geeignete Festlegung der eigenen Wahrscheinlichkeitsverteilung dar, die das Ziel verfolgt, den Gegenspieler bei seiner Strategiewahl indifferent zu stellen. Dies bedeutet gleichfalls, dass der Gegenspieler, unabhängig davon welche Strategie er wählt, stets die gleichen Auszahlungen erhält.³² Mithin wird dieser Ansatz als Indif-

²⁹ Vgl. im Anhang die Tabelle A.1. Sie gibt die allgemeine induzierte Auszahlungsmatrix des extensiven Spielbaumes aus Abbildung 4 wieder.

³⁰ Vgl. auch Berninghaus S. 106 f.

³¹ Zur besseren Übersicht werden gerundete Werte dargestellt und auch zur Berechnung der Gleichgewichtsstrategien mittels Gleichungssysteme genutzt. Die Berechnungen des LHA wurden allerdings ohne Rundung vollzogen.

³² Durch die Indifferenz des Akteurs bezüglich seiner Alternativen kann keine Aussage darüber getroffen werden, welche Strategie er schlussendlich wählt.

ferenzansatz bezeichnet. Da beide Spieler nach diesem Prinzip handeln, ist die resultierende Situation dadurch gekennzeichnet, dass kein Spieler von seiner gewählten Wahrscheinlichkeitsverteilung abweicht. Ein Abweichen bedeutet für den jeweiligen Spieler eine geringere Auszahlung und ggf. eine erhöhte Auszahlung an den Gegenspieler, da er nun nicht mehr indifferent wäre.

Die Wahrscheinlichkeitsverteilungen beider Spieler kann durch Gleichungssysteme ermittelt werden. Damit im vorliegenden Beispiel der Monopolist als Gegenspieler indifferent ist, gilt es das Gleichungssystem (8) bis (11) zu lösen:³³

$$\Pi_1\psi_1 + \Pi_7\psi_2 + \Pi_{13}\psi_3 = \Pi_5\psi_1 + \Pi_{11}\psi_2 + \Pi_{17}\psi_3 \quad (8)$$

$$0,112\psi_1 + 0,103\psi_2 + 0,162\psi_3 = 0,152\psi_1 + 0,146\psi_2 + 0,138\psi_3 \quad (9)$$

$$\psi_1 + \psi_2 + \psi_3 = 1 \quad (10)$$

$$\psi_1, \psi_2, \psi_3 \geq 0 \quad (11)$$

Im vorliegenden Beispiel ergibt sich für den Konsumenten ein Gleichungssystem mit zwei Gleichungen mit drei Unbekannten.³⁴ Dieses verfolgt das oben beschriebene Ziel eine Wahrscheinlichkeitsverteilung für den Konsumenten zu finden, die den Monopolisten in seiner Entscheidung indifferent stellt. Für den Konsumenten ergibt sich Wahrscheinlichkeitsverteilung

$$\Pr(K) = (\psi_1, \psi_2, \psi_3) = (0; 0,27; 0,73)$$

Es folgt das Gleichungssystem (12) – (15) und die Gleichgewichtsstrategie des Monopolisten mit der er dafür sorgt, dass sein Gegenspieler Konsument indifferent zwischen seinen Strategien ist.

$$KR_7\omega_1 + KR_{11}\omega_2 = KR_{13}\omega_1 + KR_{17}\omega_2 \quad (12)$$

$$0,104\omega_1 + 0,102\omega_2 = 0,093\omega_1 + 0,128\omega_2 \quad (13)$$

$$\omega_1 + \omega_2 = 1 \quad (14)$$

$$\omega_1, \omega_2 \geq 0 \quad (15)$$

Als beste Wahrscheinlichkeitsverteilung des Monopolisten ergibt sich:

$$\Pr(M) = (\omega_1, \omega_2) = (0,69; 0,31).$$

³³ Zu dieser Vorgehensweise vgl. auch Berninghaus (2006), S. 29-34.

³⁴ Für das Beispiel existieren mehrere Nash-Gleichgewichte. In diesem Beitrag wird ein Gleichgewicht näher betrachtet. Ein weiteres Gleichgewicht ist z.B. $\Pr(K) = (\psi_1, \psi_2, \psi_3) = (0,39; 0; 0,61)$ und $\Pr(M) = (\omega_1, \omega_2) = (0,61; 0,39)$.

Der Lemke-Howson-Algorithmus, dessen Ziel es ist *ein* Nash-Gleichgewicht zu finden, terminiert nach der Initialisierung und zwei weiteren Schritten mit der gleichen Lösung. Da der Algorithmus mit ungerundeten Werten rechnet, ergibt sich ein leicht abweichendes Nash-Gleichgewicht in gemischten Strategien:³⁵

$$\Pr(K) = (\psi_1, \psi_2, \psi_3) = (0; 0,26; 0,74) \text{ und } \Pr(M) = (\omega_1, \omega_2) = (0,69; 0,31)$$

Wird diese Lösung analog des Ergebnisses im einperiodigen Fall interpretiert, ist die Strategie (k_0 -KW- k_1 -KW) für den Monopolisten die mit der höchsten erwarteten Auszahlung, da er davon ausgehen muss, dass der Konsument am Ende der Initialisierungsperiode keine Altprodukte zurückgibt. Demzufolge ist eine Aufarbeitung in der Folgeperiode nicht plausibel, welches durch die schlechtere Auszahlung des Monopolisten gekennzeichnet ist. Die zugehörigen optimalen Preise und Mengen, die sich aus den jeweiligen Optimierungsprobleme ergeben, sind in Tabelle 4 (Spalte Randfall, keine Wiederaufarbeitung) dargestellt. Ein Vergleich zeigt, dass eine differenziertere Betrachtungsweise weiteres Potenzial der Optimierung eröffnet.

3.3 Adaption der Parameter α und ρ

Da die Handlung des Konsumenten nun für den Monopolisten determiniert ist, können die Auszahlungen der Strategien des Monopolisten mit angepassten Parametern α und ρ genau ermittelt werden. Um die zugehörigen optimalen Produktionsmengen sowie die Preissetzung zu bestimmen, werden die Wahrscheinlichkeiten (ψ_1, ψ_2, ψ_3) zur Neuberechnung der periodenspezifischen Parameter α und ρ herangezogen. Für das Beispiel ergibt sich das Gleichungssystem (16)-(18):

$$\alpha_0(1 - \rho_0)(1 - \alpha_1)(1 - \rho_1) = 0,26 \quad (16)$$

$$\alpha_0 \rho_0 \alpha_1 (1 - \rho_1) = 0,74 \quad (17)$$

$$\alpha_0, \alpha_1, \rho_0, \rho_1 \in (0,1) \quad (18)$$

Der Tabelle 3 sind die ursprünglichen periodenspezifischen Parameter α_t und ρ_t zu entnehmen. Es zeigt sich, dass für die zwei verbliebenen Konsumentenstrategien (*k inkl.* ($\alpha_0=1$) - *r* ($\rho_0=0$)-*k exkl.* ($\alpha_1=0$) - *r* ($\rho_1=0$)) und *k inkl.* ($\alpha_0=1$) - *e* ($\rho_0=1$)-*k inkl.* ($\alpha_1=1$) - *r* ($\rho_1=0$)) des Nash-Gleichgewichtes jeweils $\alpha_0=1$ und $\rho_1=0$ gilt. Diese Gemeinsamkeit vereinfacht das zu lösende Gleichungssystem wie folgt:

$$(1 - \rho_0)(1 - \alpha_1) = 0,26 \quad (19)$$

$$\rho_0 \alpha_1 = 0,74 \quad (20)$$

$$\alpha_1, \rho_0 \in (0,1) \quad (21)$$

Als Lösung des Gleichungssystems ergeben sich: $\alpha_1=0,92$ und $\rho_0=0,81$. Somit liegt am Ende der Initialisierungsperiode eine Rückflussquote von 19% vor und der Rückkaufpreis k_1 wird von 92% der Primärkunden beachtet. Mit den angepassten Parame-

³⁵ Vgl. hierzu Beispielrechnungen aus Schäfer (2008), S. 88 f.

tern erfolgt eine abschließende Berechnung der beiden verbliebenen Monopolistenstrategien (k_0 -KW- k_1 -KW und k_0 -KW- k_1 -AT). Anschließend werden die zwei Alternativen mit den angepassten Parametern verglichen und so die endgültige Produktions- und Preissetzungsstrategie identifiziert. Der Tabelle 4 sind die Entscheidungsvariablen Menge, Preis und Gewinn der verbleibenden Monopolistenstrategien *keine Wiederaufarbeitung* und *Wiederaufarbeitung(Teilmärkte)* zu entnehmen.

Der Vergleich zeigt, dass die Rückflussquote von 19% ausreichend ist, um die Nachfrage nach aufgearbeiteten Produkten in der Periode t_1 zu befriedigen. Es ist zu erkennen, dass eine Wiederaufarbeitung trotz der hohen Entsorgungsquote in Periode t_0 aufgrund des möglichen hohen Preises für aufgearbeitete Produkte profitabler ist als keine aufgearbeiteten Produkte anzubieten. Für den Konsumenten ergibt sich durch die adaptierten Parameter stets die gleiche Auszahlung.

Entscheidungsvariable	Randfall ($\alpha_0=1, \alpha_1=1, \rho_0=1, \rho_1=0$)	angepasste Parameter ($\alpha_0=1, \alpha_1=0,92, \rho_0=0,81, \rho_1=0$)	
	keine Wiederaufarbeitung	keine Wiederaufarbeitung	Wiederaufarbeitung (Teilmärkte)
Verkaufspreis Neu- produkte Periode t_0	0,85	0,869	0,821
Verkaufspreis Neu- produkte Periode t_1	0,80	0,798	0,798
Verkaufspreis aufge- arbeitete Produkte Periode t_1	-	-	0,847
Menge Neuprodukte Periode t_0	0,292	0,275	0,315
Menge Neuprodukte Periode t_1	0,238	0,237	0,142
Menge aufgearbeitete Produkte Periode t_1	-	-	0,061
Gewinn Monopolist über t Perioden	0,162	0,150	0,164
Auszahlung Konsu- ment über t Perioden	0,093	0,098	0,099

Tabelle 4: Vergleich Strategien adaptierter Parameter (Beispiel)³⁶

³⁶ Angabe gerundeter Werte

4 Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag betrachtet einen Monopolisten, der durch die Einführung eines Rückkaufpreises k versucht, Primärkonsumenten zur Rückführung von Altprodukten zu bewegen. Mithin wurde hier eine marktorientierte Rückflusssteuerung gewählt, die sich damit wesentlich von den fixen Rückflussquoten unterscheidet, die bisher in der Literatur betrachtet wurden.³⁷ Der Konsument entscheidet in diesem Beitrag zum einen darüber, ob er den Rückkaufpreis in seiner Kaufentscheidung berücksichtigt und zum anderen darüber, ob er das Altprodukt nach seiner Nutzung entsorgt oder zurückbringt. Der Konsument wird als eigenständig entscheidender Akteur betrachtet, der danach strebt seine Zahlungen aus der Konsumentenrente und der Erstattung des Rückkaufpreises zu maximieren. Da auch der Monopolist eine Gewinnmaximierung anstrebt, braucht er für seine Produktionsplanung Informationen über das Verhalten des Konsumenten. Mit Hilfe eines spieltheoretischen Ansatzes versucht er das Nachfrageverhalten und das Rückgabeverhalten der Konsumenten zu antizipieren. Insgesamt gelingt es, eine simultane Produktions- und Wiederaufarbeitungsstrategie des Monopolisten auch für den Fall abzuleiten, in dem der Konsument als ein eigenständiger Akteur in einer Closed-Loop-Supply-Chain auftritt.

Das numerische Beispiel zeigt, dass auf Basis ermittelter Wahrscheinlichkeitsverteilungen gemischter Strategien Handlungsempfehlungen für die Produktionsmenge und Preissetzungen gegeben werden können. Gleichwohl kann eine differenziertere Betrachtungsweise weiteres Potenzial eröffnen. Durch die Adaption der Parameter α und ρ sowie die nochmalige Optimierung der Monopolistenstrategien mit diesen Parametern wird deutlich, dass die scheinbar zu vernachlässigende Strategie der Wiederaufarbeitung doch die gewinnmaximierende darstellt. Dies liegt an der genaueren Berechnung der verfügbaren Altproduktmengen durch das Nash-Gleichgewicht.

Das Identifizieren des Nash-Gleichgewichtes mit der vorgestellten Methode der Gleichungssysteme ist hingegen nur für kleine Bi-Matrizen respektive Spiele zu empfehlen. Besser geeignet scheint zunächst der Lemke-Howson-Algorithmus, welcher jedoch hohe Anforderungen an die Klasse der Bi-Matrizen stellt.³⁸ Die Anwendbarkeit des Algorithmus ist demnach stark von den numerischen Werten abhängig. Zudem ist zu beachten, dass vom Algorithmus nur ein Nash-Gleichgewicht gefunden wird und der Algorithmus anschließend terminiert.

Eine Reduzierung der Matrix mittels Streichen dominierter Strategien beider Spieler erwies sich als zweckmäßig, um ggf. Nash-Gleichgewichte in reinen Strategien schnell zu identifizieren. Da die induzierte Auszahlungsmatrix stets eine ganzheitliche Betrachtung des gesamten Planungshorizontes verlangt, muss beim Auftreten neuer Informationen stets eine ganzheitliche Neuberechnung vorgenommen werden. Dies wäre beim Einsatz einer rollierenden Planung zu berücksichtigen. Es bleibt zu prüfen, ob

³⁷ Vgl. hierzu z.B. Atasu (2008), Kaya (2009), Ferrer (2010)

³⁸ Vgl. Murty (1997), S.85 ff.

das spieltheoretische Konzept des sequentiellen Gleichgewichtes hier nicht vorteilhafter wäre.³⁹

Der Beitrag zeigt, dass auch für den Fall, dass der Konsument als ein eigenständiger Akteur einer Closed-Loop-Supply-Chain betrachtet wird, eine simultane Produktions- und Wiederaufarbeitungsstrategie abgeleitet werden kann. Ein Ziel weiterer Forschungsarbeit kann die Erweiterung des Zeithorizontes darstellen.

5 Literaturverzeichnis

- Atasu, A.; Sarvary, M.; Wassenhove, L. N. V. (2008): Remanufacturing as a Marketing Strategy, in: *Management Science* 54, S. 1731–1746.
- Belz, F. M. (2000): *Integratives Ökomarketing: eine erfolgreiche Vermarktung ökologischer Produkte und Leistungen* / Frank –Martin Belz, Wiesbaden.
- Berninghaus K. S.; Ehrhart K.; Güth W. (2006): *Strategische Spiele - Eine Einführung in die Spieltheorie*, Berlin; Heidelberg; New York: Springer.
- Bundesrepublik Deutschland (2005): Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten, BGBl I 2005, 762.
- Buscher, U.; Lindner, G. (2003): Abstimmung von Produktions- und Wiederaufarbeitungsprozessen in der Sorten- und Serienfertigung, in: *ZP – Zeitschrift für Planung und Unternehmenssteuerung* 14(3), S. 259–278.
- Debo, L. G.; Toktay, L. B.; Wassenhove, L. N. V. (2005): Market Segmentation and Product Technology Selection for Remanufacturable Products, in: *Management Science* 51, S. 1193–1205.
- Dekker, R.; Fleischmann, M.; Inderfurth, K., Wassenhove, L. N. V (Hrsg.) (2004): *Reverse Logistics – Quantitative Models for Closed-Loop Supply Chains*, Berlin; Heidelberg: Springer.
- Ferrer, G.; Swaminathan, J. M. (2010): Managing new and differentiated remanufactured products, in: *European Journal of Operational Research* 203, S. 370 - 379.
- Guide Jr., V. D. R.; Wassenhove, L. N. V. (2001) Managing Product Returns for Remanufacturing, in: *Production and Operations Management* 10, S.142-155.
- Güth, W. (1999): *Spieltheorie und ökonomische (Bei)Spiele*, Berlin, Heidelberg, Springer.
- Hammond, D.; Beullens, P. (2007): Closed-loop supply chain network equilibrium under legislation, in: *European Journal of Operational Research* 183, S. 895-908.
- Holler, M. J.; Illing, G. (2006): *Einführung in die Spieltheorie*, Berlin; Heidelberg; New York: Springer.
- Jung, K.S.; Hwang, H. (2011): Competition and cooperation in a remanufacturing system with take-back requirement, in: *Journal of Intelligent Manufacturing*, 22, S. 427-433.
- Kaya, O. (2009): Incentive and production decisions for remanufacturing operations, in: *European Journal of Operational Research* 201, S. 442 - 453.
- Murty, K. G.(1997): *Linear Complementarity, linear and nonlinear programming*, Internet Edition, http://ioe.engin.umich.edu/people/fac/books/murty/linear_complementarity_webbook/.
- Pearce, J.A. (2009): The Profit-Making Allure of Product Reconstruction, in: *MIT Sloan Management Review* 50(3), S. 59-65.
- Schäfer, U. (2008): *Das lineare Komplementaritätsproblem - Eine Einführung*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Srivastava, S.K. (2007): Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review, in: *International Journal of Management Reviews* 9, S. 53-80.

³⁹ Vgl. hierzu Berninghaus (2006) S. 117-126.

- Srivastava, S. K.; Srivastava, R. (2006): Managing product returns for reverse logistics, in: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 36, S. 524-546.
- Stengel, B. V. (2008): Equilibrium Computation for Two-Player Games in Strategic and Extensive Form, in: *Algorithmic Game Theory*, Cambridge.
- Steven, M. (2006): *BWL für Ingenieure*, 2. Aufl., München.
- Thierry, M.; Wassenhove, L. N. V.; Salomon, M. & Nunen, J. V. (1995): Strategic Issues in Product Recovery Management, in: *California Management Review* 37, S. 114-135.
- Xiao, T.; Shi, K.; Yang, D. (2010): Coordination of a supply chain with consumer return under demand uncertainty, in: *International Journal of Production Economics* 124, S. 171-180.

6 Anhang

Konsument

	j=1	j=2	j=3	j=4	j=5	j=6	j=7	j=8	j=9	j=10	j=11	j=12	j=13	j=14	j=15	j=16
i=1	o ₁	o ₂	o ₇	o ₈	o ₁₃	o ₁₄	o ₁₉	o ₂₀	o ₂₅	o ₂₆	o ₃₁	o ₃₂	o ₃₇	o ₃₈	o ₄₃	o ₄₄
i=2	o ₃	o ₄	o ₉	o ₁₀	o ₁₅	o ₁₆	o ₂₁	o ₂₂	o ₂₇	o ₂₈	o ₃₃	o ₃₄	o ₃₉	o ₄₀	o ₄₅	o ₄₆
i=3	o ₅	o ₆	o ₁₁	o ₁₂	o ₁₇	o ₁₈	o ₂₃	o ₂₄	o ₂₉	o ₃₀	o ₃₅	o ₃₆	o ₄₁	o ₄₂	o ₄₇	o ₄₈

Monopolist

Tabelle A.1: Allgemeine induzierte Auszahlungsmatrix des extensiven Zwei-Perioden-Spiels

Konsument

	j=1	j=2	j=3	j=4	j=5	j=6	j=7	j=8	j=9	j=10	j=11	j=12	j=13	j=14	j=15	j=16
t=0 k inkl. - r				t=0 k inkl. - r	t=0 k inkl. - r	t=0 k inkl. - r	t=0 k inkl. - r	t=0 k inkl. - r	t=0 k inkl. - r	t=0 k inkl. - r	t=0 k inkl. - r	t=0 k inkl. - r	t=0 k inkl. - r	t=0 k inkl. - r	t=0 k inkl. - r	t=0 k inkl. - r
t=1 k inkl. - r				t=1 k inkl. - r	t=1 k inkl. - e	t=1 k exkl. - r	t=1 k exkl. - r	t=1 k exkl. - e	t=1 k exkl. - e	t=1 k inkl. - r	t=1 k inkl. - r	t=1 k inkl. - e	t=1 k inkl. - e	t=1 k exkl. - r	t=1 k exkl. - r	t=1 k exkl. - e
	j=1	j=2		j=3		j=4				j=5		j=6		j=7		j=8
	(0,112; 0,109)	(0,124; 0,104)		(0,103; 0,104)		(0,115; 0,099)				(0,162; 0,093)		(0,174; 0,087)		(0,153; 0,088)		(0,165; 0,082)
	(0,138; 0,000)	(0,143; 0,000)		(0,130; 0,000)		(0,135; 0,000)				(0,135; 0,000)		(0,135; 0,000)		(0,135; 0,000)		(0,135; 0,000)
	(0,152; 0,102)	(0,159; 0,098)		(0,146; 0,102)		(0,154; 0,099)				(0,138; 0,128)		(0,145; 0,121)		(0,132; 0,073)		(0,140; 0,070)

Monopolist

Tabelle A.2: Auszahlungsmatrix Beispiel (Teil 1)

Konsument

	j=9	j=10	j=11	j=12	j=13	j=14	j=15	j=16
t=0 k exkl. - r				t=0 k exkl. - r	t=0 k exkl. - r	t=0 k exkl. - e	t=0 k exkl. - e	t=0 k exkl. - e
t=1 k inkl. - r				t=1 k exkl. - r	t=1 k exkl. - r	t=1 k inkl. - e	t=1 k inkl. - e	t=1 k exkl. - e
	j=9	j=10		j=11		j=12		j=16
	(0,082; 0,083)	(0,093; 0,077)		(0,073; 0,078)		(0,085; 0,072)		(0,113; 0,068)
	(0,103; 0,003)	(0,108; 0,003)		(0,095; 0,003)		(0,099; 0,003)		(0,099; 0,003)
	(0,122; 0,127)	(0,130; 0,119)		(0,117; 0,078)		(0,124; 0,075)		(0,106; 0,099)

Monopolist

Tabelle A.3: Auszahlungsmatrix Beispiel (Teil 2)

Kapazitätsdimensionierung in Closed-Loop Supply Chains

Ralf Gössinger

Lehrstuhl für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, insb. Produktion und Logistik,
Technische Universität Dortmund, Otto-Hahn-Str. 6, 44227 Dortmund,
Ralf.Gössinger@udo.edu

Sandra Hallek

Lehrstuhl für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, insb. Produktion und Logistik,
Technische Universität Dortmund, Otto-Hahn-Str. 6, 44227 Dortmund,
Sandra.Hallek@tu-dortmund.de

Abstract

Die Fragestellung der Kapazitätsdimensionierung, in welchem Ausmaß Kapazität im Zeitablauf aufgebaut und angepasst werden soll, war bislang nur in wenigen Aufsätzen zum Closed-Loop Supply Chain Management zentraler Forschungsgegenstand. Aus der Analyse dieser Ansätze geht hervor, dass die Kapazität zur Bewältigung des Güterrückflusses losgelöst von der Kapazität zur Gütererstellung geplant und das Vorhandensein von Informationen über den Güterrückfluss in mengenmäßiger, zeitlicher und qualitativer Hinsicht vorausgesetzt wird. Im vorliegenden Beitrag wird deshalb ein prognoseintegrierendes Planungsmodell zur simultanen Planung von Gütererstellungs- und Rückflussbewältigungskapazität entwickelt. In der Gesamtsicht ergibt sich ein lineares gemischt-ganzzahliges Modell mit dem Kapazitätsausstattungsentscheidungen in einem rollierenden Planungsansatz unterstützt werden können. Um die Eignung und die Funktionsweise des entworfenen Ansatzes zu verdeutlichen, werden mehrere Beispielszenarien entworfen, auf dieser Datengrundlage das Modell rollierend mit einem Standard-Solver gelöst und die Ergebnisse interpretiert.

1 Problemstellung

Der effiziente Umgang mit Güterrückflüssen, ist ein Problembereich, dem in der jüngeren Vergangenheit im Kontext von Supply Chains ein großes wissenschaftliches und praktisches Interesse entgegengebracht wird¹. Supply Chains, die neben Gütererstellungsprozessen auch auf die Rückflüsse dieser Güter gerichtete Prozesse umfassen und damit dem kreislaufwirtschaftlichen Gedanken Rechnung tragen, werden als **Closed-Loop Supply Chains** (CLSC) bezeichnet². Auf der Grundlage von Prozessen der Sammlung, der Transformation (Sortieren, Aufarbeiten, Aufbereiten) und des Einsatzes (Wiederverwendung, Verwertung, Deponierung) können Güterrückflüsse aus jeder Wertschöpfungsstufe genutzt werden und die zurückgeflossenen Güter auf allen Stufen wieder in den Wertschöpfungsprozess eintreten³. Hieraus ergibt sich in CLSC (im Vergleich zur klassischen Supply Chain) eine vielfältigere Vernetzung zwischen den Wertschöpfungsstufen. Gleichzeitig erlangen zusätzliche Imponderabilien Relevanz, die sich bei der Gestaltung von CLSC in der Unsicherheit über die Weiterentwicklung der Produkte und in der Unsicherheit über das zeitliche, mengenmäßige, qualitative und örtliche Auftreten von Rückflüssen widerspiegeln⁴.

Im vorliegenden Beitrag stehen das Problem der Kapazitätsdimensionierung und das daraus abgeleitete Problem der Güterrückflussprognose im Zentrum des Interesses⁵. Unter **Kapazitätsdimensionierung** wird im vorliegenden Kontext die durch Ausstattungs- und Programmmentscheidungen zu bewirkende Abstimmung zwischen dem Leistungsvermögen der CLSC und der gütererstellungs- und güterrückflussinduzierten Kapazitätsnachfrage verstanden. Aufgrund des zeitlichen Horizonts und der Stärke der resultierenden Zahlungsströme handelt es sich um ein spezifisches Problem der Investitionsprogrammplanung. Mit der zyklischen Struktur des Güterflusses besteht dabei das Erfordernis, zusätzlich zu dem Produktprogramm und der Produkterstellungskapazität das Rückflussgüterprogramm und die Rückflussbewältigungskapazität zu gestalten⁶. Bei der Kapazitätsdimensionierung für Güterrückflüsse ist folgenden **Besonderheiten** Rechnung zu tragen:

¹ Vgl. z.B. Salema/Barbosa-Póvoa/Novais (2010), S. 338 ff.

² Vgl. Geyer/van Wassenhove (2005), S. 203.

³ Vgl. z.B. Kricke/van Harten/Schuur (1998), S. 118 ff.; Püchert/Spengler/Rentz (1996), S. 29 f.; Stuart et al. (1998), S. 226 f.

⁴ Vgl. Geyer/van Wassenhove (2005), S. 205; Guide/van Wassenhove (2002), S. 56; Spengler/Schröter (2001), S. 237 f.

⁵ Da die für Sammlung, Transformation und Einsatz verfügbare Kapazität den Umfang der Nutzbarkeit von Güterrückflüssen limitiert (vgl. Georgiadis/Athanasidou 2010, S. 424) sind Güterrückflussprognose und Kapazitätsdimensionierung zentrale taktische Probleme des Closed-Loop Supply Chain Management. Vgl. Guide/van Wassenhove (2002), S. 58; Guide/Srivastava/Spencer (1997), S. 71 ff.; Spengler/Schröter (2001), S. 232.

⁶ Vgl. Toktay/van der Laan/de Brito (2004), S. 45 f.

- Für Rückflussgüter einer bestimmten Qualitätsklasse⁷ werden die unterschiedlichen Transformationsmöglichkeiten mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit gewählt⁸.
- Nach der Durchführung einer bestimmten Transformationsmöglichkeit wird ein Rückflussgut den unterschiedlichen Einsatzarten mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit zugeführt⁹.
- Aus einer bestimmten Transformation von Rückflussgütern einer bestimmten Qualität können untergeordnete Rückflussgüter einer bestimmten Qualität mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit hervorgehen¹⁰.
- Zwischen einer Kapazitätsveränderungsentscheidung und ihrer Umsetzung bestehen Verzögerungen. In Abhängigkeit vom Ausmaß der Kapazitätsveränderung bedarf der Kapazitätsaufbau/-abbau unterschiedlich viel Zeit¹¹.

Im Kontext des CLSC wurden bislang folgende **Planungsansätze** zum Kapazitätsdimensionierungsproblem thematisiert¹²: *Franke et al.* und *Seliger et al.* formulieren für den Fall einer Unternehmung, die zurückgenommene Mobiltelefone transformiert, ein statisches deterministisches Kapazitätsplanungsmodell für mehrere Optionen einer mehrstufigen Transformation der Rückflussmengen mehrerer Produktklassen, bei der unterschiedliche Kapazitätsarten genutzt werden. In dem gemischt-ganzzahligen Modell wird von einem in quantitativer und qualitativer Hinsicht bekannten Güterrückfluss und bekannten Absatzmengen unterschiedlich transformierter Rückflüsse ausgegangen. Aus der Lösung mit einem Standard-Solver geht hervor, in welchem Umfang welche Rückflussgütermengen in welcher Form zu transformieren und abzusetzen sind sowie wie viel Kapazität der einzelnen Arten dafür aufzubauen ist, damit ein maximaler Gewinn realisiert wird.¹³

⁷ Die Qualitätsklassen grenzen dabei technische Zustände der Rückflussgüter ab, die unterschiedliche Transformationsmöglichkeiten erlauben. Vgl. Chouinard/D'Amours/Ait-Kadi (2008), S. 661 ff.; Franke et al. (2006), S. 564 ff.; Kricke/van Harten/Schuur (1998), S. 118; Seliger et al. (2004), S. 10; Teunter (2006), S. 534.

⁸ Vgl. im operativen Kontext die Entscheidungskalküle von Kricke/van Harten/Schuur (1998), S. 121 ff.; Li et al. (2010), S. 632 ff.; Spengler/Ploog/Schröter (2003), S. 414 ff.; Thierry et al. (1995), S. 122.

⁹ Vgl. Chouinard/D'Amours/Ait-Kadi (2008), S. 663; Franke et al. (2006), S. 564 f.; Seliger et al. (2004), S. 10; Teunter (2006), S. 534.

¹⁰ Vgl. Teunter (2006), S. 534.

¹¹ Vgl. Georgiadis/Vlachos/Tagaras (2006), S. 519.

¹² Im Rahmen des CLSC-Network-design-Problems bildet die Kapazitätsdimensionierung eine untergeordnete Fragestellung. Das entsprechende Entscheidungskalkül wird deshalb nur wenig detailliert. Vgl. z.B. Fleischmann (2000), S. 70 ff.; Lieckens/Vandaele (2007), S. 398 ff.; Listes (2007), S. 419 ff.; Pishvae/Rabbini/Torabi (2011), S. 640 ff.; Xanthopoulos/Iakovou (2010), S. 171 ff.

¹³ Vgl. Franke et al. (2006), S. 564 ff.; Seliger et al. (2004), S. 10 ff.

Georgiadis/Vlachos/Tagaras, *Vlachos/Georgiadis/Iakovou* und *Georgiadis/Athanasidou* formulieren einen inkrementellen Planungsansatz, bei dem auf der Grundlage eines periodischen Vergleichs zwischen prognostiziertem Kapazitätsbedarf und aktuell vorliegendem Kapazitätsbestand über Expansion (und teilweise auch Kontraktion) zweier Kapazitätsarten zur Rückflusstransformation entschieden wird. Besonderheiten sind dabei: (1) Die Kapazitätsänderungen treten mit Verzögerung ein. (2) Das Ausmaß der Kapazitätsänderungen entspricht der festgestellten Über-/Unterdeckung multipliziert mit der festzulegenden Contraction bzw. Expansion rate. Grundlage bildet ein Simulationsmodell (System dynamics), das die sich bei Vorgabe von Simulationsparametern (stock variables, flow variables) ergebenden Güterhinflüsse und -rückflüsse einer Einprodukt- bzw. Zweiprodukt-CLSC erfasst sowie mit Hilfe des exponentiellen Glättens erster Ordnung prognostiziert.¹⁴

Chittamvanich/Ryan gehen bei der Kapazitätsdimensionierung zum Markteintrittszeitpunkt von einem speziellen Newsvendor-Problem aus. Die zukünftige Kapazitätsnachfrage wird gemäß dem prognostizierten, zeitlich verteilten Rückfluss eines Gutes erwartet, wobei die Prognose eine Absatz- und eine Rückflusskomponente berücksichtigt. Unter der Annahme, dass zwischen der Kapazitätsaufbauentscheidung und deren Umsetzung eine Verzögerung besteht, wird der Kapazitätsplan hergeleitet, bei dem der maximale Barwert der relevanten Ein- und Auszahlungen zu erwarten ist.¹⁵

In der Gesamtsicht dieser Ansätze zeigt sich, dass die Kapazität zur Bewältigung des Güterrückflusses weitgehend losgelöst von der Kapazität zur Gütererstellung geplant wird, die Besonderheiten der Kapazitätsplanung für Güterrückflüsse nur partiell berücksichtigt werden und das Vorhandensein von Informationen über den Güterrückfluss in quantitativer, qualitativer und zeitlicher Hinsicht vorausgesetzt wird.

Im Hinblick auf die **Prognose** wirft der Güterrückfluss jedoch ein bislang relativ selten thematisiertes Problem auf. Im **Basisprognosemodell** einer CLSC wird der Rückfluss eines homogenen Gutes (z.B. wiederverwendbare Transportbehältnisse) durch den Eintritt von Absatzereignissen initiiert und durch den Ablauf von Nutzungsdauern realisiert. Das Prognoseproblem besteht dann darin, die Eintrittswahrscheinlichkeiten alternativ möglicher Dauern bis zum Rückfluss auf der Grundlage beobachteter Absatz- und Rückflussereignisse zu schätzen¹⁶. **Erweiterungen** dieses Prognoseproblems sind in der Berücksichtigung

¹⁴ Vgl. Georgiadis/Athanasidou (2010), S. 422 ff.; Georgiadis/Vlachos/Tagaras (2006), S. 517 ff.; Vlachos/Georgiadis/Iakovou (2007), S. 371 ff.

¹⁵ Vgl. Chittamvanich/Ryan (o.J.), S. 5 ff.

¹⁶ Vgl. Clottey/Srivastava (2009), S. 1694 ff.; Goh/Varaprasad (1986), S. 43 ff.; Kelle/Silver (1989), S. 19; Toktay/Wein/Zenios (2000), S. 1416 f.

- unterschiedlich gut verfügbarer Informationen (z.B. langfristige Mittelwerte, periodenbezogene Mittelwerte, Individualprodukt-bezogene Werte der Rückflussdauer)¹⁷,
- zusätzlicher Rückfluss-Einflussgrößen (z.B. Produkt-, Nachfrager- und Verkaufssituations-Charakteristika, Rücknahmemodalitäten sowie demographische, technologische und rechtliche Rahmenbedingungen)¹⁸,
- unterschiedlicher Komponenten, die für die Produktion einer Güterart verwendet wurden¹⁹,
- mehrerer Rückflussqualitäten (z.B. Rückgabegründe, Güterzustand)²⁰ und
- unterschiedlicher Rückflusssorte²¹

zu sehen.

Die bislang im CLSC-Kontext vorgeschlagenen Prognosen werden mit Hilfe von statistischen Verfahren, von Verfahren des Soft-Computing oder durch Simulation als Zeitreihenanalysen und/oder Kausalanalysen durchgeführt. Eine zentrale Klasse der relevanten **statistischen Verfahren** bilden die rein **zeitreihenanalytischen Ansätze**²² auf der Grundlage des Distributed-lag-Modells²³. Dabei liegt die Annahme zugrunde, dass sich die Rückflüsse eines Gutes in einer Periode t aus den Anteilen der in vorherigen Perioden $(t-l)$ abgesetzten Produkte (exogene Einflussgröße) ergeben. Durch die Einbeziehung zusätzlicher endogener Einflussgrößen (z.B. demographische, technologische und rechtliche Rahmenbedingungen) wird dieser rein zeitreihenanalytische Ansatz in einen kausalanalytischen Ansatz überführt.

Zur Prognose des vorliegenden Sachverhaltes werden alternativ auch Ansätze der **Survival-Analyse** angewendet²⁴, die auf Hazard-Funktionen aufbauen²⁵. Die Hazard-Funktion gibt im vorliegenden Kontext die Wahrscheinlichkeit dafür an, dass ein Rückflussereignis zum aktuellen Zeitpunkt eintritt, wenn sich aus einem Absatzereignis vor λ Zeiteinheiten bislang noch kein Rückflussereignis ergeben hat. Ein zur Prognose von Güterrückflüssen geeigneter Verlauf der Hazard-Funktion wird durch Expo-

¹⁷ Vgl. Kelle/Silver (1989), S. 19 und S. 22 ff.

¹⁸ Vgl. Chouinard/D'Amours/Ait-Kadi (2008), S. 663 f.; Hanafi/Kara/Kaebnick (2007), S. 245 ff.; Hess/Mayhew (1997), S. 23 ff.; Marx-Gómez et al. (2002), S. 120 ff.; Shi/Zhang/Sha (2011), S. 643 f.; Stuart et al. (1998), S. 227 ff.

¹⁹ Vgl. Krupp (1993), S. 48 ff.

²⁰ Vgl. Chouinard/D'Amours/Ait-Kadi (2008), S. 661; Hess/Mayhew (1997), S. 23 ff.; Kricke/van Harten/Schuur (1998), S. 118; Teunter (2006), S. 534.

²¹ Vgl. Hanafi/Kara/Kaebnick (2007), S. 245 ff.

²² Vgl. Clottey/Srivastava (2009); Goh/Varaprasad (1986); Kelle/Silver (1989); Toktay/Wein/Zenios (2000).

²³ Distributed-lag-Modelle werden auch als Transferfunktionen- bzw. ARIMAX-Modelle mit einem Weißes-Rauschen-Prozess bezeichnet.

²⁴ Vgl. Hess/Mayhew (1997), S. 23.

²⁵ Vgl. Blossfeld/Rohwer (2002), S. 32 ff.; Cox/Oakes (1984), S. 14 ff.

nentialmodelle mit Polynomterm beschrieben²⁶. Verweildauer-beeinflussende Größen (z.B. Kunden- und Verkaufscharakteristika) werden durch Multiplikation der Hazard-Funktion mit einem Anpassungsfaktor in Form einer Exponentialfunktion einbezogen. Für Rückflusswahrscheinlichkeits-beeinflussende Größen ist eine Überführung der Hazard-Funktion in eine Split-Hazard-Funktion erforderlich, bei der diese in einer Logit-Funktion berücksichtigt werden.²⁷

Zur Prognose mit Hilfe des **Soft-Computing** wird auf Neuro-Fuzzy-Verfahren zurückgegriffen²⁸. Bedingt durch die zugrundeliegende heuristische Vorgehensweise ist es möglich, eine Vielzahl von Einflussgrößen (z.B. Absatzmengen, Phase des Lebenszyklus, Rückgabeanreize, Nutzungsart, technische Lebensdauer, demographische Daten der Konsumenten) auf den Güterrückfluss in die Prognose einzubeziehen, und zwar auch dann, wenn eine relativ schwache Datenbasis vorliegt, die statistischen Verfahren wenig zugänglich ist. Bei einer Neuro-Fuzzy-Prognose wird im Fuzzy-Teil von den Werten der Einflussgrößen unscharf auf die Werte des Rückflusses geschlossen, wohingegen im Neuro-Teil zur Verringerung des Prognosefehlers die Parameter des Schlussfolgerungsverfahrens angepasst werden. Als Output ergeben sich Fuzzy-Zahlen, die den erwarteten Güterrückfluss beschreiben. Um eine einwertige Güterflussprognose zu erhalten, werden die Output-Fuzzy-Zahlen mit einer geeigneten Methode defuzzifiziert.

Insbesondere zur Erstellung von Langfristprognosen gelangen **Simulationsmodelle** zur Anwendung, mit denen auf der Grundlage von historischen Daten und Expertenbefragungen zu Entwicklungstendenzen und deren Wechselwirkungen höchstwahrscheinliche und Extremszenarien bestimmt werden²⁹. Dabei wird das Ziel verfolgt, die Effekte ausgewählter Datenkonstellationen mit einem breitem Spektrum von Einflussgrößen (z.B. Lebenszyklus, Verweildauer, Qualität der Rückflussgüter, Diffusion konkurrierender Produkte, Ausfallraten, Reklamationsraten, Reparaturraten, Umweltschutzpolitik, Nutzen eines grünen Image, Marktsegmentierung, demographische Daten der relevanten Absatzregionen, Rückgabeanreize) zu ermitteln. In der Regel wird aufbauend auf den ermittelten Daten und Zusammenhängen ein System-dynamics-Modell formuliert und problemspezifisch durch systematische Experimente analysiert sowie interpretiert.

Ziel des vorliegenden Beitrages ist es, ein prognoseintegrierendes Modell zur simultanen Planung von Gütererstellungs- und Rückflussbewältigungskapazität zu entwickeln. Den Ausgangspunkt bildet eine Strukturierung des Planungsproblems (Kapitel 2), die die Ideen aus den unterschiedlichen vorhandenen Kapazitätsdimensionierungsansätzen zusammenführt und um ein Güterflussmodell erweitert. Aus dem daraus hervorgehenden Planungsmodell werden die Anforderungen an eine problemspezifische

²⁶ Vgl. Hess/Mayhew (1997), S. 24 und S. 34, die ein Polynom zweiten Grades zugrunde legen.

²⁷ Vgl. Hess/Mayhew (1997), S. 23 f. und S. 34 f.

²⁸ Vgl. Hanafi/Kara/Kaebernick (2007), S. 246 ff.; Marx-Gómez et al. (2002), S. 122 ff.

²⁹ Vgl. z.B. Georgiadis/Athanasίου (2010); Linton/Yeomans/Yoogalingam (2002); Marx-Gómez et al. (2002); Srivastava/Srivastava (2006).

Prognose herausgearbeitet sowie ein Prognosemodell und entsprechende Schätzverfahren identifiziert (Kapitel 3). In der numerischen Analyse wird die Vorgehensweise an Beispielszenarien aufgezeigt und die Ergebnisse werden interpretiert (Kapitel 4). Abschließend (Kapitel 5) werden die wesentlichen Ergebnisse der im Beitrag geführten Argumentation zusammengefasst.

2 Strukturierung des Planungsproblems

2.1 Güterflussmodell

Aufgrund des taktischen Charakters der Kapazitätsdimensionierung wird angenommen, dass eine hinreichend genaue Detaillierung des Modells vorliegt, wenn

- die Güterrückflüsse auf der Ebene der Endprodukte erfasst werden,
- die Abbildung von Transformationen durch linear-limitationale Prozesse erfolgt und
- die Transformationshöchstdauer eines Endprodukts maximal eine Teilperiode des Planungszeitraumes beträgt.

Die **Güterarten** j ($j = 1, \dots, J$) sind deshalb Endprodukte, die sich in ihrer Gestaltung oder bei identischer Gestaltung in ihrem Transformationszustand (z.B. unmontierte Komponenten eines Produkts, Neuprodukt, funktionsfähiges Gebrauchtprodukt, zu reparierendes Neuprodukt, zu reparierendes Gebrauchtprodukt, Gebrauchtprodukt am Ende der technischen Lebensdauer) unterscheiden. In der CLSC können zur Gütertransformation die **Prozesse** i ($i = 1, \dots, I$) zur Anwendung gelangen (z.B. Montage, Reparatur, Demontage), deren Basisaktivitäten mit Hilfe von Flussvektoren $U_i \in \mathbb{R}^J [J \times 1]$ erfasst werden³⁰. Die Flussvektoren werden in der Matrix $U [J \times I]$ zusammengefasst. Durch die Angabe von Netto-Mengen ergeben sich dabei für Inputgüter negative und für Outputgüter positive Werte. Die Menge zulässiger Aktivitäten bildet eine lineare Technologie. Für die Prozessniveaus $\tau_i \in \mathbb{R}_0^{I+} [I \times 1]$ ergibt sich der aggregierte Güterflussvektor $XF_t \in \mathbb{R}^J [J \times 1]$ des gesamten Transformationssystems in Periode t zu:

$$U * \tau_t = XF_t \quad \forall t \quad (1)$$

Die Prozesse werden durch den Einsatz von Potentialfaktoren vollzogen. Es wird angenommen, dass sich der jeweilige Bestand an Potentialfaktoren durch den Prozessvollzug nicht verändert (kein technischer Verschleiß). Er kann aber von Periode zu Periode durch Investitions-/Desinvestitionsentscheidungen (vgl. Abschnitt 2.2) verändert werden. Für das Güterflussmodell ist die dadurch pro Periode verfügbare **Kapazität** $C_t \in \mathbb{R}_0^{I+} [I \times 1]$ relevant, die die Wahl der Prozessniveaus τ_t restringiert:

$$\tau_t \leq C_t \quad \forall t \quad (2)$$

³⁰ Vgl. Spengler/Ploog/Schröter (2003), S. 417 ff., die auf der Grundlage der Aktivitätsanalyse ein Rückflussgüterprogrammplanungsmodell formulieren.

Eine weitere Transformation der Endprodukte erfolgt nach ihrem Absatz aufgrund der Nutzung durch den Kunden. Da im Allgemeinen nur ein Teil der abgesetzten Endproduktmenge zur Supply Chain zurückfließt und der Rückfluss unterschiedliche Ursachen haben kann (z.B. Fehlfunktion, Ende der ökonomischen Nutzungsdauer oder der technischen Lebensdauer), wird dieser durch ein **Prognosemodell** erfasst, das durch statistische Verfahren auf der Grundlage von Vergangenheitsdaten geschätzt wird. Das Modell erfasst die erwarteten Rückflussmengen $\mathbf{XR}_t [J \times 1]$ der einzelnen Güterarten in Periode t in Abhängigkeit von den realisierten Absatzmengen der Güterarten $\mathbf{XE}_{t-l} (l = 0, \dots, L)$ und weiteren Einflussgrößen $\mathbf{YN}_{t-l} [N \times 1] (l = 0, \dots, L)$, wie etwa demographische, technologische und rechtliche Rahmenbedingungen, sowie den realisierten Rückflussmengen $\mathbf{XR}_{t-l'}$ in den L' Vorperioden:

$$\mathbf{XR}_t = g(\mathbf{XE}_{t-l}, \mathbf{YN}_{t-l}, \mathbf{XR}_{t-l'}; l = 0, \dots, L, l' = 1, \dots, L') \quad (3)$$

Die in einer Periode realisierten Absatzmengen $\mathbf{XE}_t [J \times 1]$ der einzelnen Güterarten übersteigen die prognostizierten Absatzhöchstmengen $\mathbf{ME}_t [J \times 1]$ nicht:

$$\mathbf{XE}_t \leq \mathbf{ME}_t \quad \forall t \quad (4)$$

Aus Gründen der Nachhaltigkeit determinieren die zu erwartenden Güterrückflüsse den Planungshorizont:

$$\mathbf{XR}_t = \mathbf{0} \quad \forall t > T \quad (5)$$

Zusätzlich zu den Rückflussmengen werden im Transformationsprozess Gütermengen $\mathbf{XI}_t [J \times 1]$ eingesetzt, die dem Beschaffungsmarkt entnommen werden. Aufgrund der begrenzten Kapazität der Zulieferer können dabei die Beschaffungshöchstmengen $\mathbf{MI}_t [J \times 1]$ nicht überschritten werden:

$$\mathbf{XI}_t \leq \mathbf{MI}_t \quad \forall t \quad (6)$$

Die unterschiedlich starken Güterströme in der CLSC werden durch **Zwischenlager** synchronisiert, deren Bestand $\mathbf{L}_t \in \mathbb{R}_0^{J+} [J \times 1]$ in keiner Periode negativ ist. Durch den Vektor $\mathbf{XL}_t \in \mathbb{R}^J [J \times 1]$ werden die Lagerzugänge ($xl_{j,t} \geq 0$) und -abgänge ($xl_{j,t} < 0$) in einer Periode erfasst. Im Planungshorizont gilt die Kontinuitätsbedingung:

$$\mathbf{L}_{t-1} + \mathbf{XL}_{t-1} = \mathbf{L}_t \quad \forall t \quad (7)$$

Für die einzelnen Güterarten (insb. die zu deponierenden) ist aus Gründen der Nachhaltigkeit zu fordern, dass nach dem Ende des Planungshorizonts keine Zwischenlagerbestände vorliegen:

$$\mathbf{L}_t = \mathbf{0} \quad \forall t > T \quad (8)$$

In jeder Planungsperiode besteht in der CLSC ein **Gleichgewicht** zwischen zufließenden und abfließenden Güterströmen:

$$\mathbf{XF}_t + \mathbf{XR}_t + \mathbf{XI}_t = \mathbf{XE}_t + \mathbf{XL}_t \quad \forall t \quad (9)$$

Im Hinblick auf den Güterfluss ergibt sich die operative Planungsaufgabe, für jede Periode festzulegen, in welchem Umfang die einzelnen Güterarten zu transformieren,

zu beschaffen, abzusetzen und zwischenzulagern sind, um das zugrundeliegende ökonomische Ziel zu erfüllen. Als Entscheidungsvariablen fungieren dabei die Beschaffungsmengen XI_t , die Prozessniveaus τ_t , die Kapazitätsartenzuordnung Z_t und die Absatzmengen XE_t .

Wird von einem Gewinnmaximierungsziel ausgegangen, dann sind die einzelnen Güterflüsse mit **Preisen** zu bewerten:

- Vom Beschaffungsmarkt bezogene Güterarten XI_t , die in der CLSC zu Endprodukten transformiert werden, werden mit den Beschaffungspreisen $PI \in \mathbb{R}_0^{J+} [1 \times J]$ bewertet.
- Durch die Sammlung von Rückflussgütern entstehen Sammlungskosten in Höhe von $PR \in \mathbb{R}_0^{J+} [1 \times J]$ Geldeinheiten pro Mengeneinheit.
- Pro Durchführung eines Transformationsprozesses entstehen Kosten in Höhe von $PT \in \mathbb{R}_0^{J+} [1 \times I]$ Geldeinheiten. Kosten der Kapazitätsbereitstellung sind für Güterflussentscheidungen nicht relevant.
- Die Zwischenlagerung von Güterarten in der CLSC kostet $PL \in \mathbb{R}_0^{J+} [1 \times J]$ Geldeinheiten pro Mengeneinheit und Periode.
- Die Absatzpreise $PE \in \mathbb{R}^J [1 \times J]$ pro Mengeneinheit sind bei Endprodukten positiv und bei zu deponierenden Produkten negativ.

Damit ergibt sich der Gewinn aus den Güterflüssen in den einzelnen Planungsperioden aus:

$$G_t = -PI * XI_t - PR * XR_t - PT * \tau_t - PL * L_t + PE * XE_t \quad \forall t \quad (10)$$

2.2 Kapazitätsanpassungsmodell

Die für die einzelnen Prozesse bestehende Gesamtkapazität C_t kann periodenweise durch Expansion $ce_t \in \mathbb{R}_+^I [I \times 1]$ oder Kontraktion $ck_t \in \mathbb{R}_+^I [I \times 1]$ an die Kapazitätsnachfrage angepasst werden. Aufgrund der dazu erforderlichen Konstruktions-, Montage-/Demontage- und Inbetriebnahme-/Außerbetriebsetzungsmaßnahmen werden die **Anpassungsentscheidungen** mit einem zeitlichen Vorlauf getroffen. In einem entsprechenden Distributed-lag-Modell geben $qe_{i,l}$ und $qk_{i,l}$ die Wahrscheinlichkeit dafür an, dass die in einer Periode beschlossene Kapazitätsänderung am Prozess i nach l Perioden wirksam ist. Dabei gilt:

$$\sum_{l=1}^L qe_{i,l} = 1 \quad \text{und} \quad \sum_{l=1}^L qk_{i,l} = 1 \quad \forall i \quad (11)$$

Die Werte für einen Prozess sind in den Vektoren $QE_i \in \mathbb{R}_0^{L+} [1 \times L]$ und $QK_i \in \mathbb{R}_0^{L+} [1 \times L]$ enthalten. Bedingt durch die in den Vorperioden $t-l$ getroffenen Anpassungsentscheidungen besteht in der Periode t ein Kapazitätsangebot des Prozesses i :

$$C_{i,t} = C_{i,t-1} + \sum_{l=1}^L (ce_{i,t-l} \cdot qe_{i,l} - ck_{i,t-l} \cdot qk_{i,l}) \quad \forall i, t-l \geq 0 \quad (12)$$

Aufbau und Abbau der Gesamtkapazität gehen mit **Auszahlungen** einher, die zwei Komponenten aufweisen:

- Fixe Auszahlungen $\mathbf{IE}, \mathbf{IK} \in \mathbb{R}_0^{I+}$ $[1 \times I]$ sind unabhängig vom Umfang der Kapazitätsänderung zu tätigen, sobald diese vorgenommen wird ($\text{sgn}(ce_{i,t})=1$, $\text{sgn}(ck_{i,t})=1$).
- Variable Auszahlungen $\mathbf{ie} \in \mathbb{R}_0^{I+}$, $\mathbf{ik} \in \mathbb{R}_0^{I+}$ $[1 \times I]$, deren Höhe sich nach dem Umfang der geplanten Kapazitätsänderung ce_t bzw. ck_t bemisst.

Unter der Annahme, dass Kapazitätsanpassungsentscheidungen unverzögert zahlungswirksam werden, gilt für die Anpassungsauszahlungen in Periode t :

$$I_t = \mathbf{IE} * \text{sgn}(ce_t) + \mathbf{IK} * \text{sgn}(ck_t) + \mathbf{ie} * ce_t + \mathbf{ik} * ck_t \quad \forall t = 0, \dots, T \quad (13)$$

Kapazitätskontraktion geht mit **Liquidationserlösen** in Höhe des Restwertes der abgebauten Kapazität einher, der sich aus den prognostizierten periodenbezogenen Absatzpreisen $lk_{i,t}$ pro Kapazitätseinheit ergibt.

Im Hinblick auf die **laufenden Einzahlungsüberschüsse** kann der im Güterflussmodell ermittelte periodenbezogene Gewinn G_t (10) herangezogen werden. Auf dieser Grundlage lässt sich das Güterflussmodell zu einem Kapazitätsdimensionierungsmodell erweitern, mit dem das Ziel der Maximierung des Barwertes entscheidungsrelevanter Zahlungen verfolgt wird. Unter Berücksichtigung des Diskontierungsfaktors q lautet die **Zielfunktion**:

$$\max \sum_{t=1}^T ((-I_t + G_t + LK_t) \cdot q^{-t}) - I_0 \quad (14)$$

Die **Nebenbedingungen** des Güterflussmodells (1-9) sind um die zuvor beschriebenen und zusätzlichen Nebenbedingungen der Kapazitätsexpansion/-kontraktion zu erweitern:

- Die zur Bestimmung der Anpassungsauszahlungen verwendeten Signumfunktionen werden mit Hilfe der Binärvariablen $\mathbf{YE}_t, \mathbf{YK}_t$ $[I \times 1]$ und der sehr großen Zahl M modelliert:

$$ce_t \leq M \cdot \mathbf{YE}_t \quad \forall t = 0, \dots, T \quad (15)$$

$$ck_t \leq M \cdot \mathbf{YK}_t \quad \forall t = 0, \dots, T \quad (16)$$

Damit gilt für die Anpassungsauszahlungen:

$$I_t = \mathbf{IE} * \mathbf{YE}_t + \mathbf{IK} * \mathbf{YK}_t + \mathbf{ie} * ce_t + \mathbf{ik} * ck_t \quad \forall t = 0, \dots, T \quad (13')$$

- Liquidationserlöse werden in Höhe des Restwertes der abgebauten Kapazität erwartet:

$$LK_t = \sum_{i=1}^I \left(lk_{i,t} \cdot \sum_{l=1}^L (ck_{i,t-l} \cdot qk_{i,l}) \right) \forall t = 0, \dots, T \quad (17)$$

- Das Kapazitätsangebot entwickelt sich im Zeitablauf aus den einzelnen Anpassungsentscheidungen:

$$C_{i,t} = C_{i,t-1} + \sum_{l=1}^L (ce_{i,t-l} \cdot qe_{i,l} - ck_{i,t-l} \cdot qk_{i,l}) \forall i, t-l \geq 0 \quad (12)$$

Es kann zu keinem Zeitpunkt negativ werden und wird aus Nachhaltigkeitsgründen nur innerhalb des Planungshorizonts aufrechterhalten:

$$C_t \geq \mathbf{0} \quad \forall t = 0, \dots, T \quad (18)$$

$$C_t = \mathbf{0} \quad \forall t > T \quad (19)$$

- Die CLSC befindet sich im Finanzierungsgleichgewicht, wenn der Zahlungssaldo in keiner Periode einen festgelegten Betrag $W < 0$ unterschreitet:

$$-I_t + G_t + LK_t \geq W \quad \forall t = 0, \dots, T \quad (20)$$

- Die Wertebereiche der zusätzlichen Entscheidungsvariablen sind:

$$ce_t, ck_t \in \mathbb{R}_0^{I+} \quad \forall t = 0, \dots, T \quad (21)$$

$$ye_{i,t}, yk_{i,t} \in \{0, 1\} \quad \forall i, t = 0, \dots, T \quad (22)$$

3 Strukturierung des Prognoseproblems

3.1 Vorüberlegungen

Bedingt durch die Wirkungsdauer der Kapazitätsdimensionierung als Teilproblem der taktischen Planung ist davon auszugehen, dass die Initialentscheidungen über die Kapazitätsausstattung und das Rückflussgüterprogramm auf der Grundlage einer relativ **schwachen Informationsbasis** getroffen werden müssen. Im Extremfall sind beobachtbare Absatz- und Rückflussereignisse für die berücksichtigten Güter den Initialentscheidungen nachgelagert³¹, so dass lediglich Sekundärinformationen über ähnliche Güter herangezogen werden können, die in Abstufungen im Spektrum von „selbsterstellt und selbst zurückgenommen“ bis „fremderstellt und fremd zurückgenommen“ eruierbar sind. Während im zuerst genannten Fall aufbauend auf Detaildaten zu Absatz und Rückflussmengen ein Prognosemodell mit statistischen Verfahren geschätzt werden kann³², ist im zuletzt genannten Fall eine Schätzung der im Ablauf des erweiterten

³¹ Vgl. Chittamvanich/Ryan (o.J.), S. 5 f. und S. 10 f.

³² Vgl. Goh/Varaprasad (1986), S. 43 f.

Produktlebenszyklus zu erwartenden Absatz- und Rückflussmengen auf der Grundlage aggregierter statistischer Werte und Expertenschätzungen möglich³³.

Beginnend mit der Markteinführung wird jedoch die Informationsbasis durch die Beobachtung der eintretenden Absatz- und Rückflussereignisse sukzessive verbessert, so dass Anpassungen von Kapazitätsausstattung und Rückflussprogramm mit einer größeren Genauigkeit vorgenommen werden können. Um die Kapazitätsdimensionierung in einem solchen mehrstufigen Entscheidungsprozess vornehmen zu können, ist das Prognoseverfahren um ein Update³⁴ zu erweitern³⁵. Eine Klasse von quantitativen Prognoseverfahren, die häufig in der Ökonometrie Anwendung finden und für die vorliegende Problemstellung eine hohe Relevanz aufweisen, sind die dynamischen Regressionsgleichungen. Da in der Realität die Güterrückflüsse häufig von weiteren Faktoren, wie Produktcharakteristika, beeinflusst werden und im Rahmen der Kapazitätsdimensionierung Informationen über die Produktqualität der zurückfließenden Güter entscheidend sind, liegt der Fokus im Folgenden auf den **multivariaten Modellen**. Nach dem Charakter der erklärenden Variablen werden folgende Modelle unterschieden:

- Vektor-autoregressive Modelle (VAR(MA)): verzögerte und unverzögerte endogene Variablen werden ausschließlich durch ihren Verlauf erklärt.
- Systeme mit simultanen Gleichungen (SEM): verzögerte und unverzögerte endogene Variablen werden durch ihren Verlauf und durch exogene Variablen erklärt.

Als Grundlage zur Lösung des vorliegenden Planungsproblems werden Prognoseinformationen über zwei Sachverhalte benötigt:

- in zukünftigen Perioden zu erwartende Absatzhöchstmengen und
- in zukünftigen Perioden aus den zu planenden Absatzmengen erwartungsgemäß resultierende Rückflüsse unterschiedlicher Güterarten.

Da die Absatzmengen unter den Annahmen geplant werden sollen, dass die Unternehmungen der CLSC zur Entgegennahme der zurückfließenden Güter verpflichtet sind und dass keine Rückkopplung zwischen Rückfluss- und Absatzmengen besteht, haben die Absatzmengen den Charakter exogener und die Rückflussmengen den Charakter endogener Variablen. Somit ist für die Güterrückflüsse ein **SEM** zu formulieren und zu schätzen. Zur Prognose der längerfristigen Entwicklung der Absatzhöchstmengen kann ein Rückgriff auf **Wachstumsfunktionen** erfolgen, die in der Literatur zur Schätzung von Produktlebenszyklen vorgeschlagen werden.

Bei der Kapazitätsdimensionierung sollte im Hinblick auf den **Aggregationsgrad** nicht auf Item-level-, sondern auf Period-level-Daten zurückgegriffen werden. Abge-

³³ Vgl. Linton/Yeomans (2002), S. 23 ff.; Linton/Yeomans/Yoogalingam (2002), S. 1187 ff.; Linton/Yeomans/Yoogalingam (2005), S. 339 ff. Zur Vielfalt der möglichen Datenquellen vgl. Kricke/van Harten/Schuur (1998), S. 129.

³⁴ Vgl. Clottey/Srivastava (2009), S. 1694 ff.; Kelle/Silver (1989), S. 22 ff.; Toktay/Wein/Zenios (2000), S. 1416 f.

³⁵ Zu einer rein inkrementellen Vorgehensweise bei der Kapazitätsdimensionierung vgl. Georgiadis/Vlachos/Tagaras (2006), S. 519; Vlachos/Georgiadis/Iakovou (2007), S. 376 f.

sehen von dem höheren technischen Aufwand, den die Bereitstellung von Item-level-Daten bedingt, sind Prognosen auf dieser Basis bei fehlenden Werten und ungenauen Angaben weniger konsistent als auf der Basis von Period-level-Daten³⁶.

3.2 Spezifikation des Prognosemodells und der Schätzverfahren

In dem zur Rückflussprognose herangezogenen Dynamic-Simultaneous-Equations-Modell (SEM) werden die Rückflüsse $\mathbf{XR}_t [J \times 1]$ mit J zu erklärenden Variablen $\mathbf{XR}_{j,t}$ und die Absatzmengen \mathbf{XE}_t sowie weitere Einflussgrößen \mathbf{YN}_t als exogene Variablen $\mathbf{x}_t [(J+N) \times 1]$ in folgender Weise verknüpft³⁷:

$$\mathbf{XR}_t = \boldsymbol{\alpha} + \sum_{l=0}^L \boldsymbol{\beta}_l \cdot \mathbf{x}_{t-l} + \sum_{l'=1}^{L'} \boldsymbol{\gamma}_{l'} \cdot \mathbf{XR}_{t-l'} + \mathbf{u}_t \quad (23)$$

mit

$\boldsymbol{\alpha}$ Vektor der Absolutterme $[J \times 1]$

l, l' Lag-Index ($l' = 1, \dots, L', l = 0, \dots, L$)

\mathbf{x} Vektor der exogenen Variablen $[(J+N) \times 1]$

\mathbf{XR} Vektor der Rückflussmengen $[J \times 1]$

\mathbf{u} Vektor der Störterme $[J \times 1]$

$\boldsymbol{\beta}$ Matrix der zu den exogenen Variablen zugehörigen Regressanden $[J \times (J+N)]$

$\boldsymbol{\gamma}$ Matrix der zu den endogenen Variablen zugehörigen Regressanden $[J \times J]$

Bei den Koeffizienten $\boldsymbol{\beta}$ und $\boldsymbol{\gamma}$ beziehen sich der erste Index auf die zu erklärende Rückflussgüterart j der aktuellen Periode auf der linken Seite, der zweite Index auf die Absatzgüter bzw. Rückflussgüterart j , deren Mengenrealisationen in der Vergangenheit die linke Seite beeinflussten und der dritte Index auf die zeitliche Verschiebung l bzw. l' des Einflusses. Insgesamt sind für die endogenen Variablen $J \times J \times L'$ und für die exogenen Variablen $J \times (J+N) \times L$ Koeffizienten zu bestimmen.

Falls der Störterm \mathbf{u}_t ein weißes Rauschen ist, wird das Modell auch als Vektorautoregressives Modell mit exogenen Variablen (VARX-Modell), bezeichnet. Folgt der Störterm einem Moving-average-Prozess der Ordnung p , dann liegt ein VARMAX-Modell vor.

Die Wahl des **Schätzverfahrens** zur Bestimmung der Regressanden ist davon abhängig, ob die zugrundeliegenden Prozesse stationär³⁸ oder nicht-stationär sind und ob bei

³⁶ Vgl. Toktay/van der Laan/de Brito (2004), S. 57 ff.

³⁷ Vgl. Pindyck/Rubinfeld (1998), S. 399 ff. Dieses Modell wird auch als multivariates Transferfunktionsmodell bezeichnet. Vgl. hierzu Lütkepohl (2005), S. 388 ff.

³⁸ Vgl. Lütkepohl (2005), S. 237.

nicht-stationären Prozessen entweder eine Transformation zu stationären Prozessen oder aufgrund von kointegrierten Prozessen eine Transformation des SE-Modells in ein Vector-error-correction-Modell (VECM) vorgenommen wird³⁹. Die **Transformation** zu stationären Prozessen hat den Vorteil, dass Scheinregressionen vermieden werden. Sie kann durch Logarithmierung oder Differenzenbildung erfolgen⁴⁰. Mit **Kointegration**⁴¹ wird der Sachverhalt bezeichnet, dass einige nicht-stationäre Variablen der gleichen Entwicklung folgen, d.h., es liegt ein Gleichgewicht oder eine stabile langfristige Beziehung vor⁴². Die Kointegration kann bei Prozessen durch Tests, wie die Engle-Granger-Methode, die IDW-Statistik oder die CRDW (kointegrierte Regression-Durbin-Watson-Statistik), identifiziert werden⁴³. Sind nicht-stationäre Prozesse nicht-kointegriert, dann sollte eine Transformation vorgenommen werden. Liegen hingegen kointegrierte nicht-stationäre Prozesse vor, dann lässt sich durch Berücksichtigung der Kointegration die Schätzung der Parameter verbessern, und es können Langfristbeziehungen zwischen mehreren nicht-stationären Variablen aufgedeckt und berücksichtigt werden⁴⁴. Diese Prozesse sollten deshalb in ein VEC-Modell überführt werden⁴⁵. Bei nachgewiesener Stationarität oder Kointegration können abhängig vom Modellaufbau die Parameter anhand der Maximum-Likelihood- oder FGLS (Feasible Generalized Least Squares)-Schätzung⁴⁶ bestimmt werden⁴⁷.

Das Vorgehen zur Bestimmung der **Ordnungen der maximalen Verzögerungen** (Lag-Ordnungen L', L) besteht in einem versuchsweisen Anpassen an vorhandene Werte. Dabei liegt die folgende Schrittfolge zugrunde:

1. Wahl genügend großer Werte für die maximalen Verzögerungen der Ordnungen L bzw. L' des Modells.
2. Schätzen der Koeffizienten aller möglichen Modelle für $l' = 1, \dots, L'$ und $l = 0, \dots, L$.
3. Berechnen des Gütekriteriums: Häufig angewendete Kriterien sind z.B. das Informationskriterium nach Akaike AIC⁴⁸

$$AIC(\hat{l}) = -2 \log \hat{l} + 2n \quad (24)$$

³⁹ Vgl. Hackl (2005), S. 371 f.; Lütkepohl (2005), S. 237.

⁴⁰ Vgl. Assenmacher (2002), S. 223.

⁴¹ Vgl. Assenmacher (2002), S. 280; Eckey/Kosfeld/Dreger (2001), S. 231 und S. 239; Rinne/Specht (2002), S. 540.

⁴² Vgl. Granger (1981), S. 128 f.; Wolters (2004), S. 74.

⁴³ Vgl. Assenmacher (2002), S. 284 ff.

⁴⁴ Vgl. Eckey/Kosfeld/Dreger (2001), S. 239; Rinne/Specht (2002), S. 539.

⁴⁵ Vgl. Lütkepohl (2005), S. 394 f.

⁴⁶ Sie wird in der Literatur auch als EGLS (Estimated Generalized Least Squares)-Schätzung bezeichnet.

⁴⁷ Vgl. Lütkepohl (2005), S. 395 ff.

⁴⁸ Vgl. Akaike (1974), S. 716.

oder das Informationskriterium nach Schwarz BIC (Bayesian Information Criterium)⁴⁹

$$BIC = -\frac{2\hat{l}}{k} + \frac{n \log k}{k} \quad (25)$$

mit der Likelihood-Funktion \hat{l} bei bekannter Verteilung, n der Anzahl der zu bestimmenden Parameter und k der Anzahl der Beobachtungen.

4. Es wird die maximale Verzögerung gewählt, bei der die Modelle für das ausgewählte Kriterium die besten Ergebnisse aufweisen.

Für die längerfristige Prognose von Absatzhöchstmengen mit Hilfe von **Wachstumsfunktionen** weist das Kluver-Modell⁵⁰

$$x(t) = a \cdot t^b \cdot e^{c \cdot t + d \cdot t^2 + g \cdot t^3} \quad (26)$$

einen hohen Allgemeinheitsgrad auf. Es kann als Referenzmodell herangezogen werden, aus dem durch Parameterwahl spezielle Wachstumsmodelle, wie das Lifer-Modell oder das Brockhoff-Modell, resultieren⁵¹. Eine Schätzung des Kluver-Modells kann nach einer Log-Transformation mit Hilfe von Least-Squares-Methoden erfolgen. Aufgrund der Vielzahl zu schätzender Parameter ist jedoch die Stabilität der Schätzung gefährdet (Kollinearität). Um dies zu vermeiden, bietet es sich an, vorab die empirischen Daten im Hinblick auf die Eignung spezieller Wachstumsmodelle zu testen⁵². So ist dann etwa das **Brockhoff-Modell**⁵³ ($d = 0, g = 0$) für den Einproduktfall

$$x(t) = a \cdot t^b \cdot e^{-c \cdot t} \quad (27)$$

nach einer Log-Transformation relativ einfach mit linearen Least-Squares-Methoden schätzen.

4 Numerische Analyse

Die numerische Analyse bezieht sich auf eine **rollierende Dimensionierung** der für den Hin- und Rückfluss eines neuen Produkts im gesamten Produktlebenszyklus benötigten Kapazität. Als Informationsgrundlage für die Planung werden Daten zu den Absatz- und Rückflussmengen des Vorgängerprodukts und die sich bei der Planrealisation ergebenden Daten des neuen Produkts herangezogen. In der Analyse wird der Frage nachgegangen, wie gut sich die Planung an Veränderungen der Güterflüsse im Vergleich zum Vorprodukt anpasst.

⁴⁹ Vgl. Hackl (2005), S. 38.

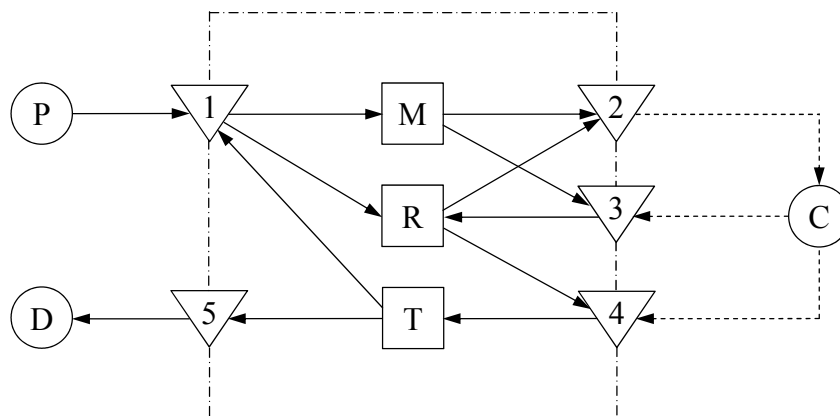
⁵⁰ Vgl. de Kluver (1977).

⁵¹ Vgl. Fischer (2001), S. 63.

⁵² Vgl. Fischer (2001), S. 63.

⁵³ Vgl. Brockhoff (1966), S. 113.

In einem Horizont von 40 Perioden soll die Kapazität eines **Gütertransformationssystem**s mit den Prozessen Produktion (M), Reparatur (R) und Aufbereitung (T) geplant werden. Der Güterfluss weist die in Abbildung 1 dargestellte Struktur auf.



Legende:

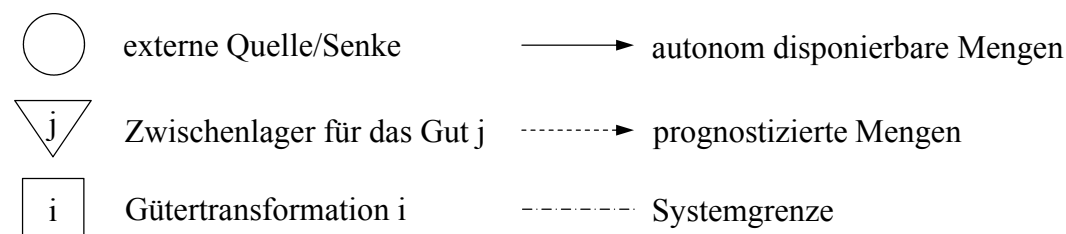


Abb. 1: Struktur des Güterflusses im analysierten Transformationssystem

Die benötigten Produktkomponenten ($j=1$) werden dem Beschaffungsmarkt (P) entnommen oder durch Aufarbeitung (T) von End-of-use-Produkten ($j=4$) zurückgewonnen. Sie können zur Produktion (M) oder zur Reparatur (R) zum Einsatz gelangen. Aus der Produktion gehen Originalprodukte ($j=2$) oder Repairable-Produkte ($j=3$) hervor. Repairable-Produkte werden in erwarteten konstanten Anteilen zu Originalprodukten oder zu End-of-use-Produkten transformiert. Auf der Grundlage von Vergangenheitsdaten erfolgt eine Prognose von Absatzhöchstmengen der Originalprodukte. Durch deren Konsum (C) ergeben sich zwei Rückflüsse: Repairable- und End-of-use-Produkte, deren zukünftig zu erwartender Umfang mit Hilfe von Prognosen ermittelt wird, die auf Vergangenheitsdaten und geplanten Absatzmengen aufbauen. Aus der Aufarbeitung der End-of-use-Produkte gehen wiederverwendbare ($j=1$) oder zu entsorgende Produktkomponenten ($j=5$) hervor. Die zuletzt genannten Komponenten werden auf dem Entsorgungsmarkt (D) abgesetzt. Die durch die einzelnen Transformationen i bewirkten Mengenänderungen an den Güterarten j werden durch die in Tabelle 1 angegebenen Werte erfasst. Die anderen Modellparameter sind in den Tabellen 3 und 4 zusammengefasst.

i \ j	1	2	3	4	5
M	-1,00	+0,98	+0,02	0,00	0,00
R	-0,10	+0,95	-1,00	+0,05	0,00
T	+0,35	0,00	0,00	-1,00	+0,65

Tab. 1: Mengenwirkungen der Transformationen

Wertkategorie \ j	1	2	3	4	5
Absatzpreis	55	80	20	-50	-60
Beschaffungspreis	55	-	-	-	-
Lagerhaltungskosten	6	12	10	25	30
Redistributionskosten	-	-	20	20	-

Tab. 2: Wertmäßige Wirkungen der Güterarten pro Stück

Wertkategorie \ i	M	R	T
Ausführungskosten	10	15	13
Kapazitätsexpansionskosten - variabel	10	12	5
- fix	300	250	150
Kapazitätskontraktionskosten - variabel	2,5	2,0	0,5
- fix	125	125	50

Tab. 3: Wertmäßige Wirkungen der Transformationsprozesse

Verzögerung	Kapazitätsexpansion			Kapazitätskontraktion		
	M	R	T	M	R	T
1	0,7	0,3	0,2	0,7	0,5	0,1
2	0,2	0,5	0,3	0,3	0,5	0,9
3	0,1	0,2	0,5	0,0	0,0	0,0

Tab. 4: Realisationsverzögerung von Kapazitätsanpassungsentscheidungen

Für die Restwerte der Kapazitäten zu den einzelnen Zeitpunkten im Planhorizont gelten die Funktionen:

$$lk_{M,t} = \max(0; 6,0 - 0,15 \cdot t), \quad lk_{R,t} = \max(0; 5,5 - 0,17 \cdot t), \quad lk_{T,t} = \max(0; 3,0 - 0,06 \cdot t)$$

Es wird angenommen, dass ein Finanzierungsgleichgewicht vorliegt, wenn der Zahlungssaldo den Betrag von -10.000 in keiner Periode unterschreitet. Der Barwertermittlung liegt ein Kalkulationszinsfuß von 10% pro Periode zugrunde.

Um das Planungsverhalten des vorgestellten Ansatzes zu analysieren, werden **Szenarien** untersucht, die sich im Hinblick auf die Werte der realisierten Absatz- und Rückflussmengen unterscheiden. Den Bezugspunkt der Szenarien bilden die für die relevanten Güterarten über einen Zeitraum von 40 Perioden mit Hilfe der Funktionen

$$x_2(t) = a_2 \cdot t^{b_2} \cdot e^{-c_2 t} \cdot (1 + d_2 \cdot \sin(\text{rand}(1,1) \cdot t)) \quad (28)$$

$$x_3(t) = a_3 \cdot t^{b_3} \cdot e^{-c_3 t} \cdot (1 + d_3 \cdot \sin(\text{rand}(1,1) \cdot t)) \quad (29)$$

$$x_4(41-t) = a_4 \cdot t^{b_4} \cdot e^{-c_4 t} \cdot (1 + d_4 \cdot \sin(\text{rand}(1,1) \cdot t)) \quad (30)$$

generierten Absatz- und Rückflussmengen im Produktlebenszyklus des Vorprodukts (Szenario 0). Für das Neuprodukt werden Szenarien durch Variation des Mengenniveaus (Parameter a_2, a_3, a_4) und einen größeren Störungseinfluss gebildet. Das Niveau der Absatzmenge wird separat von den Niveaus der Rückflussmengen in den Konstellationen so variiert, dass die Niveaus gleich dem Niveau oder größer als das Niveau beim Vorprodukt sind. Somit ergeben sich vier Szenarien, deren konkrete Parameterkombinationen in Tabelle 5 zusammengefasst sind.

Szenario	a_2	a_3	a_4	b_2	b_3	b_4	c_2	c_3	c_4	d_2	d_3	d_4
0	3,00	1,30	1,30	3,80	3,30	3,20	0,29	0,23	0,22	0,04	0,04	0,04
I	3,00	1,30	1,30	3,80	3,30	3,20	0,29	0,23	0,22	0,20	0,20	0,20
II	3,00	1,70	1,70	3,80	3,30	3,20	0,29	0,23	0,22	0,20	0,20	0,20
III	3,90	1,30	1,30	3,80	3,30	3,20	0,29	0,23	0,22	0,20	0,20	0,20
IV	3,90	1,70	1,70	3,80	3,30	3,20	0,29	0,23	0,22	0,20	0,20	0,20

Tab. 5: Parameterkombinationen der generierten Szenarien

Aus den für das Szenario 0 (Vorgängerprodukt) generierten Daten wird eine **Initialprognose** erstellt, die bei den Absatzmengen ($j=2$) auf einer Schätzung des Brockhoff-Modells und bei den Rückflussmengen ($j=3,4$) auf einem $VARX(L',L)$ -Modell basiert. Dabei sind L und L' die nach Maßgabe des Informationskriteriums nach Akaike gewählten Lag-Ordnungen der Absatzmengen bzw. der Rückflussmengen. Die ermittelten Lag-Ordnungen werden bei allen weiteren im Planungsprozess durchzuführenden Prognosen beibehalten. Das geschätzte $VARX(L',L)$ -Modell erfasst den Zusammenhang zwischen vorgegebenen Absatzmengen (exogene Variablen) und zu erwartenden Güterrückflüssen (endogene Variablen). Das $VARX(L',L)$ -Modell wird in die Planung so integriert, dass bei Festlegung der abzusetzenden Mengen ermittelt wird, welche Rückflussmengen im Zeitablauf zu erwarten sind. Dadurch kann die Dimensionierung der Hin- und Rückflusskapazität simultan vorgenommen werden.

Das Planungsmodell und die gegebenen Daten wurden mit Hilfe des Excel-add-ins What'sBest! von Lindo Systems implementiert. Das gemischt-ganzzahlige Modell wird durch diesen Solver mit dem Branch-and-Bound-Verfahren gelöst. Bedingt durch

die Problemkomplexität wird die optimale Lösung insbesondere im ersten Planungszyklus nicht in akzeptabler Zeit gefunden (> 6 h), obwohl die später als optimal nachgewiesene Lösung bereits nach kurzer Zeit (< 90 s) identifiziert ist. Deshalb wurde die Lösungsdauer auf maximal 4 min beschränkt und das dann vorliegende Ergebnis akzeptiert.

Auf dieser Grundlage wird in **Periode 0** der **erste vorläufige Plan** für die Perioden 1 bis 40 erstellt. Davon sind die für die Perioden 1 bis 8 generierten Werte Vorgaben und die Werte der nachfolgenden Perioden vorläufige Vorabinformationen.

Jeweils nach 8 Perioden erfolgt eine **Aktualisierung der Planung** mit den in der Zwischenzeit realisierten Werten. Das heißt, von den für das betrachtete Szenario ermittelten Zeitreihen werden die Werte der Perioden 1 bis 8 des letzten Planungszyklus als zusätzliche Informationen einbezogen. Darauf aufbauend wird eine aktualisierte Prognose für das Neuprodukt berechnet. In der sich anschließenden Planung sind die Vorgaben aus den vorherigen Planungszyklen Input-Daten, und die bislang vorläufigen Werte werden an die neue Prognose angepasst. Die für die kommenden 8 Perioden ermittelten Werte stellen wieder Vorgaben und die für spätere Perioden ermittelten Werte vorläufige Vorabinformationen dar. Diese rollierende Planung wird solange fortgesetzt, bis das Ende des prognostizierten Produktlebenszyklus erreicht ist.

Aus der **Auswertung der Planungsergebnisse** wird deutlich, dass sich das vorgeschlagene Planungsverfahren bei der Kapazitätsdimensionierung an die veränderten Absatz- und Rückflussmengen anpasst. Im Vergleich mit einer prophetischen Entscheidung (ex post Optimierung) zeigen sich die folgenden Effekte:

Szenario I (stärkere Störkomponente): Es besteht eine hohe Ähnlichkeit zwischen Planungsergebnis und prophetischer Entscheidung. Die mittlere euklidische Distanz der relativen Abweichungen⁵⁴ bei den Kapazitätswerten der einzelnen Prozesse betragen im Beispiel: $d_M = 2,2\%$, $d_R = 1,5\%$, $d_T = 4,1\%$. Zwischen planmäßig erwartetem und prophetischem Barwert besteht eine Differenz von 21,3%.

Szenario II (stärkere Störkomponente, höheres Niveau der Rückflussgütermengen): Es erfolgt eine systematische Unterschätzung des Rückflusses, so dass häufig kleinere Kapazitätsanpassungen vorgenommen werden. Dadurch können die tatsächlich zurückfließenden und entgegenezunehmenden Gütermengen aufgrund unzureichender Reparatur- und Produktionskapazität nicht ihrer ökonomisch günstigsten Verwendung zugeführt werden. Zusätzlich müssen mehr Produktkomponenten vom Beschaffungsmarkt bezogen werden. Die mittlere euklidische Distanz der relativen Abweichungen des Kapazitätsangebotes sind: $d_M = 8,0\%$, $d_R = 6,3\%$, $d_T = 3,8\%$. Die Barwerte unterscheiden sich um 1,8%.

Szenario III (stärkere Störkomponente, höheres Niveau der Absatzhöchstmengen): Das Planungsverfahren unterschätzt in den frühen Planungsperioden den Absatz der Originalprodukte und damit auch den Rückfluss. Dies hat häufige kleinere Kapazitäts-

⁵⁴ Um Einschwing- und Ausschwingeffekte zu eliminieren, werden die Werte ab Periode 9 (erste anpassbare Periode) bis zur Periode 34 in die Berechnung einbezogen.

anpassungen zur Folge. Das in den frühen Perioden nicht genutzte Absatzpotential geht mit niedrigerem Kapazitätsbedarf für die Rückflüsse einher, so dass die entgangenen Umsätze teilweise durch niedrigere Kosten der Rückflustransformation kompensiert werden. Die mittlere euklidische Distanz der relativen Abweichungen zwischen Kapazitätsplanung und prophetischer Entscheidung betragen im Beispiel: $d_M = 9,8\%$, $d_R = 8,5\%$, $d_T = 7,1\%$. Die Differenz zwischen planmäßig erwartetem und prophetischem Barwert beträgt $15,7\%$.

Szenario IV (stärkere Störkomponente, höheres Niveau der Absatz- und Rückflussgütermengen): Sowohl die Absatz- als auch die Rückflussgütermengen werden systematisch unterschätzt. Bei allen Prozessen erfolgen häufig kleinere Kapazitätsanpassungen. Das Absatzpotential kann sowohl in frühen Perioden (aufgrund zu geringer Kapazität) als auch in späteren Perioden (durch ineffiziente Nutzung der Rückflüsse) nicht ausgeschöpft werden. Zwischen geplanter Kapazität und prophetischer Kapazitätsfestlegung bestehen aufgrund der Gleichläufigkeit der Niveauänderung mittlere euklidische Distanzen der relativen Abweichungen i.H.v. $d_M = 4,8\%$, $d_R = 7,3\%$, $d_T = 7,2\%$. Im Beispiel ergibt sich eine Barwertdifferenz von $21,3\%$.

Abbildungen 2 und 3 geben die Kapazitätsprofile für die Szenarien I (niedrigste Abweichungen) und III (größte Abweichungen) wieder.

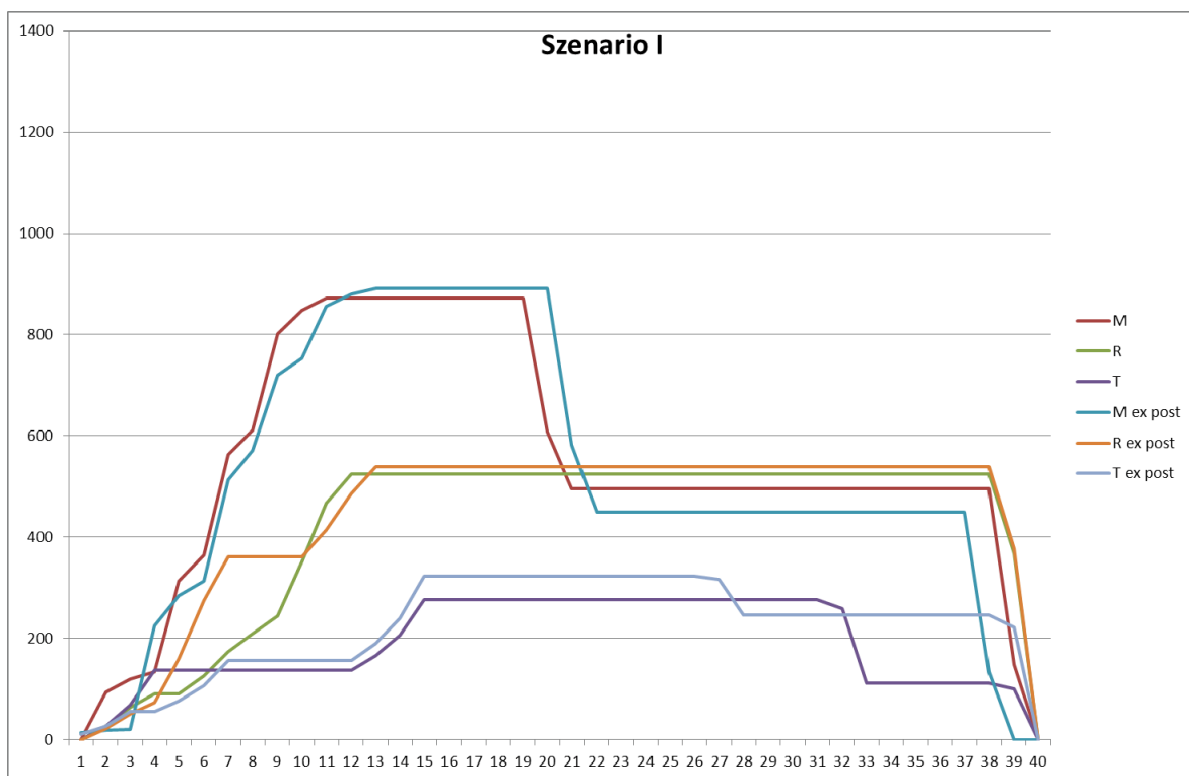


Abb. 2: Kapazitätsprofile für das Szenario I

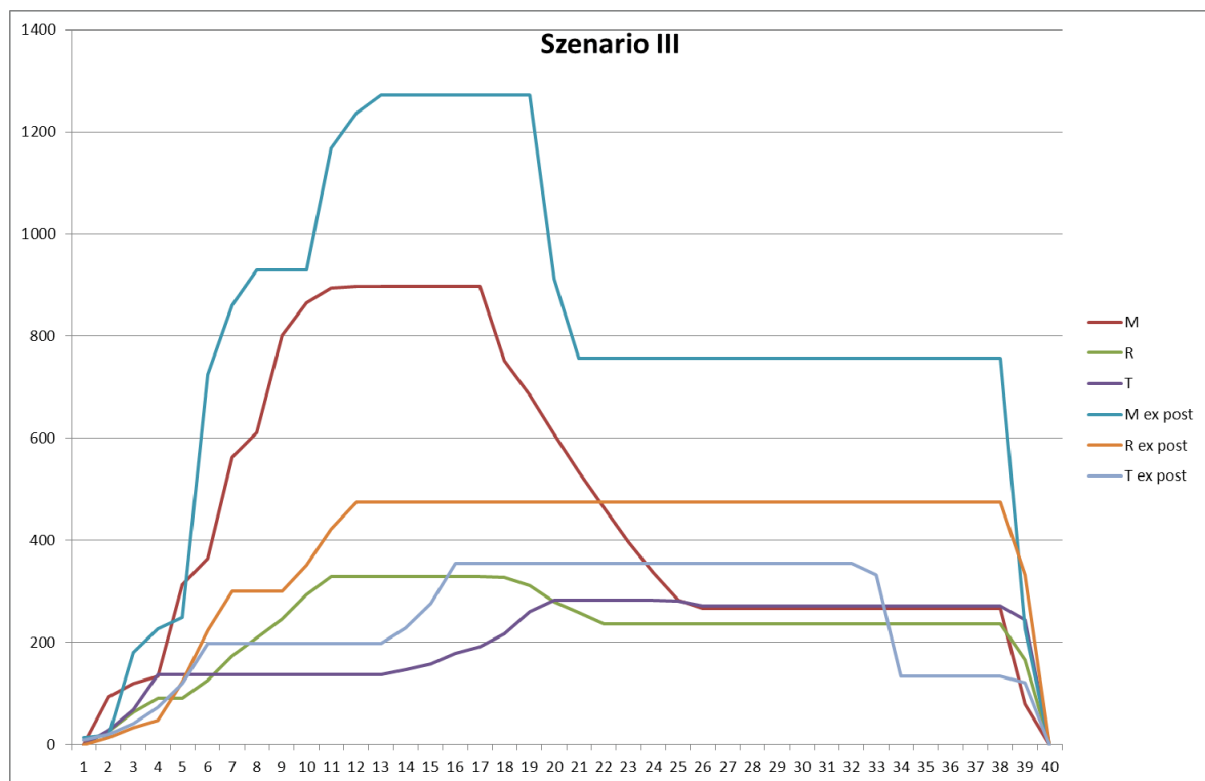


Abb. 3: Kapazitätsprofile für das Szenario III

5 Abschliessende Bemerkungen

Die Analyse der in der Literatur vorgeschlagenen Ansätze zur Kapazitätsdimensionierung zeigt, dass die Kapazität zur Bewältigung des Güterrückflusses losgelöst von der Kapazität zur Gütererstellung geplant wird und dass die Informationen über den Güterrückfluss in mengenmäßiger, zeitlicher und qualitativer Hinsicht als gegeben angenommen werden. Somit bleiben die Wechselwirkungen zwischen Absatz- und Rückflussmengen und die Möglichkeiten des Anbieters, diese Mengen zu beeinflussen, unberücksichtigt. Ziel des vorliegenden Beitrages war es deshalb, ein Modell zur simultanen Planung von Gütererstellungs- und Rückflussbewältigungskapazität zu entwickeln, das eine Rückflussprognose beinhaltet. Das formulierte mehrperiodige Planungsmodell umfasst drei Teilmodelle:

- Die für die zu produzierenden und zurückfließenden Gütermengen auszuführenden Prozesse und deren Kapazitätsnachfrage werden in einem mehrperiodigen aktivitätsanalytischen **Güterflussmodell** abgebildet. Bedingt durch den mittelfristigen Planungshorizont der Kapazitätsdimensionierung erfolgt eine aggregierte Erfassung von Hin- und Rückflussgütern unterschiedlicher Qualität auf Produktebene mit Hilfe einer dynamischen linearen Technologie. Die Hin- und Rückflüsse sind über das Prognosemodell gekoppelt.
- In Abhängigkeit von der Komplexität der Beziehungen zwischen Güterhin- und -rückflüssen werden geeignete Formen des **Prognosemodells** identifiziert. Für das

vorliegende Prognoseproblem wird ein VARX-Modell problemspezifisch formuliert, und es wird herausgearbeitet, unter welchen Voraussetzungen welches Schätzverfahren herangezogen werden sollte.

- Das **Kapazitätsanpassungsmodell** bildet die Wirkungen des im Zeitablauf erfolgenden Auf- und Abbaus der für die Prozessausführung erforderlichen Kapazität ab. Zusätzlich erfasst dieses Teilmodell die Verzögerung zwischen der Investitions-/Desinvestitionsentscheidung und der daraus resultierenden Änderung der verfügbaren Kapazität.

In der Gesamtsicht ergibt sich ein lineares gemischt-ganzzahliges Modell, mit dem Kapazitätsausstattungsentscheidungen in einem rollierenden Planungsansatz unterstützt werden können. Für eine erste Analyse der Eignung des entworfenen Ansatzes wurden unterschiedliche Szenarien entwickelt, entsprechende Daten generiert und das Modell rollierend mit einem Standard-Solver gelöst. Die Ergebnisse zeigen, dass sich das Kapazitätsdimensionierungsverfahren an die veränderte Informationssituation anpasst. Bei isolierter Änderung des Störungseinflusses werden im Beispiel gute Anpassungen erreicht, während isolierte Änderungen des Niveaus entweder der Hin- oder der Rückflussmengen das Planungsverfahren „überraschen“ und zu weniger effizienten Anpassungen führen.

Literaturverzeichnis

- Akaike, H. (1974): A new look at the statistical model identification, in: IEEE Transactions on Automatic Control 19, S. 716-723.
- Assenmacher, W. (2002): Einführung in die Ökonometrie, 6. Aufl., München/Wien.
- Blossfeld, H.-P.; Rohwer, G. (2002): Techniques of event history modeling. New approaches to causal analysis, 2. Aufl., Mahwah/London.
- Brockhoff, K. (1966): Unternehmenswachstum und Sortimentsänderungen, Köln/Opladen.
- Chittamvanich, S.; Ryan, S.M. (2011): Using forecasted information from early returns of used products to set remanufacturing capacity, Working Paper, Department of Industrial & Manufacturing Systems Engineering, Iowa State University, Ames (download: <http://www.public.iastate.edu/~smryan/earlyreturn.pdf>, 30.06.2011).
- Chouinard, M.; D'Amours, S.; Ait-Kadi, D. (2008): A stochastic programming approach for designing supply loops, in: International Journal of Production Economics 113, S. 657-677.
- Clottey, T.; Srivastava, R. (2009): Forecasting product returns for production planning and control in remanufacturing, in: Proceedings of the 39th Annual Meeting of the Decision Science Institute, "Improving Competitiveness through Information and Decision Sciences", Baltimore, November 22-25, 2008, ed. by The Decision Science Institute, Atlanta 2008, S. 1691-1696.
- Cox, D.R.; Oakes, D. (1984): Analysis of survival data, London.
- de Kluyver, C.A. (1977): Innovation and industrial product life cycles, in: California Management Review 20(1), S. 21-33.
- Eckey, H.-F.; Kosfeld, R.; Dreger, C. (2001): Ökonometrie, 2. Aufl., Wiesbaden.
- Fischer, M. (2001): Produktlebenszyklus und Wettbewerbsdynamik, Wiesbaden.
- Fleischmann, M. (2000): Quantitative models for reverse logistics, Diss. Rotterdam.
- Franke, C. et al. (2006): Remanufacturing of mobile phones - capacity, program and facility adaptation planning, in: Omega 34, S. 562-570.

- Georgiadis, P.; Athanasiou, E. (2010): The impact of two-product joint lifecycles on capacity planning of remanufacturing networks, in: *European Journal of Operational Research* 202, S. 420-433.
- Georgiadis, P.; Vlachos, D.; Tagaras, G. (2006): The impact of product lifecycle on capacity planning of closed-loop supply chains with remanufacturing, in: *Production and Operations Management* 15, S. 514-527.
- Geyer, R.; van Wassenhove, L.N. (2005): The impact of constraints in closed-loop supply chains: The case of reusing components in product manufacturing, in: Fleischmann, B; Klose, A. (Hrsg.): *Distribution logistics*, Berlin/Heidelberg/New York, S. 203-219.
- Goh, T.N.; Varaprasad, N. (1986): A statistical methodology for the analysis of the life-cycle of reusable containers, in: *IIE Transactions* 18, S. 42-47.
- Granger, C.W.J. (1981): Some properties of times series data and their use in econometric model specification, in: *Journal of Econometrics* 16, S. 121-130.
- Guide, D.R.; Srivastava, R.; Spencer, M. (1997): An evaluation of capacity planning techniques in remanufacturing environment, in: *International Journal of Production Research* 35, S. 67-82.
- Guide, D.R.; van Wassenhove, L.N. (2002): Closed-loop supply chains, in: Klose, A.; Speranza, M.G.; van Wassenhove, L.N. (Hrsg.): *Quantitative approaches to distribution logistics and supply chain management*, Berlin/Heidelberg, S. 47-60.
- Hackl, P. (2005): *Einführung in die Ökonometrie*, München.
- Hanafi, J.; Kara, S.; Kaebertnik, H. (2007): Generating fuzzy coloured petri net forecasting model to predict the return of products, in: *Proceedings of the IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*, 7-10 May 2007, ed. by the Institute of Electrical and Electronics, Orlando, S. 245-250.
- Hess, J.; Mayhew, G. (1997): Modeling merchandise returns in direct marketing, in: *Journal of Direct Marketing* 11(2), S. 20-35.
- Kelle, P.; Silver, E. (1989): Forecasting the returns of reusable containers, in: *Journal of Operations Management* 8, S. 17-35.
- Kricke, H.R.; van Harten, A.; Schuur, P.C. (1998): On a medium term product recovery and disposal strategy for durable assembly products, in: *International Journal of Production Research* 36, S. 111-139.
- Krupp, J.A. (1993): Structuring bills of material for automotive remanufacturing, in: *Production and Inventory Management Journal* 34(4), S. 46-52.
- Li, Y. et al. (2010): Optimal solution structure for multi-period production planning with returned products remanufacturing, in: *Asia-Pacific Journal of Operational Research* 27, S. 629-648
- Lieckens, K.; Vandaele, N. (2007): Reverse logistics network design with stochastic lead times, in: *Computers and Operations Research* 34, S. 395-416.
- Linton, J.D.; Yeomans, J.S. (2002): The role of forecasting in sustainability, in: *Technological Forecasting and Social Change* 70, S. 21-38.
- Linton, J.D.; Yeomans, J.S.; Yoogalingam, R. (2002): Supply planning for industrial ecology and remanufacturing under uncertainty: A numerical study of leaded-waste recovery from television disposal, in: *Journal of the Operational Research Society* 53, S. 1185-1196.
- Linton, J.D.; Yeomans, J.S.; Yoogalingam, R. (2005): Recovery and reclamation of durable goods: A study of television CRTs, in: *Resources, Conservation and Recycling* 43, S. 337-352.
- Listes, O.L. (2007): A generic stochastic model for supply-and-return network design, in: *Computers and Operations Research* 34, S. 417-442.
- Lütkepohl, H. (2005): *New introduction to multiple time series analysis*, Berlin et al.
- Marx-Gómez, J. et al. (2002): Neuro-fuzzy approach to forecast returns of scrapped products to recycling and remanufacturing, in: *Knowledge-Based Systems* 15, S. 119-128.
- Pindyck, R.S.; Rubinfeld, D.L. (1998): *Econometric models and economic forecasts*, 2. Aufl., Boston et al.

- Pishvae, S.; Rabbani, M.; Torabi, S.A. (2011): A robust optimization approach to closed-loop supply chain network design under uncertainty, in: *Applied Mathematical Modelling* 35, S. 637-649.
- Püchert, H.; Spengler, T.; Rentz, O. (1996): Strategische Planung von Kreislaufwirtschafts- und Redistribuitionssystemen - am Fallbeispiel des Altautorecyclings, in: *Zeitschrift für Planung* 7, S. 27-44.
- Rinne, H.; Specht, K. (2002): *Zeitreihen*, München.
- Salema, M.I.G.; Barbosa-Póvoa, A.P.; Novais, A.Q. (2010): Simultaneous design and planning of supply chains with reverse flows: A generic modelling framework, in: *European Journal of Operational Research* 203, S. 336-349.
- Seliger, G. et al. (2004): Process and facility planning for mobile phone remanufacturing, in: *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 53, S. 9-12.
- Shi, J.; Zhang, G.; Sha, J. (2011): Optimal production planning for a multi-product closed loop system with uncertain demand and return, in: *Computers and Operations Research* 38, S. 641-650.
- Spengler, T.; Ploog, M.; Schröter, M. (2003): Integrated planning of acquisition, disassembly and bulk recycling: A case study on electronic scrap recovery, in: *OR Spectrum* 25, S. 413-442.
- Spengler, T.; Schröter, M. (2001): Einsatz von Operations Research im produktbezogenen Umweltschutz - Stand und Perspektiven, in: *Betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis* 3, S. 227-244.
- Srivastava, S.K.; Srivastava, R.K. (2006): Managing product returns for reverse logistics, in: *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management* 36, S. 524-546.
- Stier, W. (2001): *Methoden der Zeitreihenanalyse*, Berlin/Heidelberg.
- Stuart, J.A. et al. (1998): Challenges in determining electronics equipment take-back levels, in: *IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology - Part C* 21, S. 225-232.
- Teunter, R.H. (2006): Determining optimal disassembly and recovery strategies, in: *Omega* 34, S. 533-537.
- Thierry, M. et al. (1995): Strategic issues in product recovery management, in: *California Management Review* 37(2), S. 114-135.
- Toktay, B.; van der Laan, E.A.; de Brito, M.P. (2004): Managing product returns: The role of forecasting, in: Dekker, R. et al. (Hrsg.): *Reverse logistics. Quantitative models for closed-loop supply chains*, Berlin/Heidelberg, S. 45-64.
- Toktay, L.B.; Wein, L.M.; Zenios, S.A. (2000): Inventory management of remanufacturable products, in: *Management Science* 46, S. 1412-1426.
- Vlachos, D.; Georgiadis, P.; Iakovou, E. (2007): A system dynamics model for dynamic capacity planning of remanufacturing in closed-loop supply chains, in: *Computers and Operations Research* 34, S. 367-394.
- Wolters, J. (2004): *Dynamische Regressionsmodelle*, in: Gaab, W.; Heilemann, U.; Wolters, J. (Hrsg.): *Arbeiten mit ökonometrischen Modellen*, Heidelberg.
- Xanthopoulos, A.; Iakovou, E. (2010): A strategic methodological optimization framework for the design of a reverse logistics network with forward channel synergies, in: *International Journal of Logistics Systems and Management* 7, S. 165-183.

Antizipative Logistikplanung in der variantenreichen Serienfertigung der Automobilindustrie durch Bewertung dynamischer Logistikkomplexität

Annika Lechner

Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik,
Joseph-von-Fraunhofer-Str. 2-4, 44227 Dortmund,
annika.lechner@iml.fraunhofer.de

Axel Wagenitz

Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik,
Joseph-von-Fraunhofer-Str. 2-4, 44227 Dortmund,
axel.wagenitz@iml.fraunhofer.de

Zusammenfassung

Unsicherheiten in der Produktentwicklung hervorgerufen durch eine steigende Produktvielfalt stellen eine wesentliche Herausforderung der Automobilhersteller dar. Vor diesem Hintergrund entwickelten die Autoren einen Ansatz zur antizipativen Logistikplanung durch Erfassung dynamischer Logistikkomplexität in der variantenreichen Serienfertigung der Automobilindustrie. Änderungen in Bezug auf Variantenanzahlen und Variantenvolumina auf den Ebenen Fahrzeuge, Baugruppen und Teile werden über einen mehrstufigen Bewertungsansatz erfasst. Insbesondere durch die Berücksichtigung der Ungewissheit durch die Entwicklung von alternativen Zukunftsszenarien sowie die Quantifizierung des jeweiligen Risikos über Eintrittswahrscheinlichkeiten können Variantenauswirkungen bereits in der Planungsphase quantifiziert werden. Der vorgestellte Ansatz zur antizipativen Planung unterstützt somit Produktentscheidungen zu einem frühen Zeitpunkt in der Produktentwicklungsphase und bildet hierdurch die Basis für ein effizientes Varianten- und Komplexitätsmanagement.

1 Motivation

Erhöhter Wettbewerbsdruck durch Globalisierung, Marktsättigung, steigende Kundenansprüche, die Entwicklung neuer Technologien, die Verkürzung der Produktlebenszyklen sowie schwankende Nachfragen der Kunden charakterisieren die heutigen Herausforderungen der Automobilindustrie¹. Daraufhin haben und werden Automobilhersteller ihre Fahrzeugpalette deutlich erweitern². Die hierdurch steigende Teilevielfalt führt zu materiellen und informatorischen Aufwandssteigerungen im logistischen Wertschöpfungsnetzwerk. Hierbei gelten Unsicherheiten und Nachfrageschwankungen in der Planungsphase und im laufenden Betrieb als die größte Herausforderung³.

Die Automobilindustrie nimmt in diesem Kontext eine besondere Rolle ein. Automobile sind komplexe Produkte mit komplexen Produktstrukturen, wobei die Gesamtanzahl an Fahrzeugvariationen die Zahl von 10^{20} für einzelne Automobilhersteller weit überschreitet⁴. Da zudem automobiler Wertschöpfungsnetzwerke eine hohe Anzahl von Elementen, Verbindungen und Transformationen über die Zeit umfassen, stellen sie komplexe Systeme dar. Insbesondere OEM (Original Equipment Manufacturer) mangelt es an Möglichkeiten Unsicherheiten hervorgerufen durch Nachfrageschwankungen in der Planungsphase zu berücksichtigen. Eine Möglichkeit zur wirtschaftlichen Entscheidungsfindung bezüglich Produktvarianten ist somit kaum vorhanden. Vor diesem Hintergrund entwickelten die Autoren einen Ansatz zur antizipativen Logistikplanung durch Erfassung dynamischer Logistikkomplexität. Während die statische Komplexität aus der Systemstruktur hervorgeht und der Momentaufnahme eines Logistiksystems entspricht, wird die dynamische Komplexität bestimmt durch die Veränderlichkeit des Systemverhaltens im Zeitablauf⁵. Somit adressiert die dynamische Komplexität die Unvorhersehbarkeit des realen Systemverhaltens welche auftritt sobald das Unternehmen produziert⁶.

Die Autoren dieses Forschungsbeitrages entwickelten einen dreistufigen Bewertungsrahmen zur Erfassung dynamischer Komplexität in der Logistikplanung. Zunächst werden Bewertungen mit Hilfe der vielfaltsinduzierten Prozesskostenrechnung unter Sicherheit durchgeführt⁷. Um die Realität genauer abzubilden, indem Unsicherheiten berücksichtigt werden, werden zwei Bewertungsstufen - Bewertungen unter Ungewissheit und unter Risiko - ergänzt. Die hierin ermittelten Szenarien, Eintrittswahrscheinlichkeiten und Erwartungswerte werden in diesem Forschungsbeitrag vorgestellt und mit Hilfe einer Fallstudie bei einem Automobilherstellers veranschaulicht.

¹ Vgl. Becker (2007), S.10ff; Garcia et al. (2007), S. 3

² Vgl. Gehr/Hellingrath (2007), S. 8

³ Vgl. Veldhuijzen/Schip (2011), S. 4ff

⁴ Vgl. Turner/Williams (2005), S. 447ff; Pil/Holweg (2004), S. 395

⁵ Vgl. Schuh (2005), S. 11ff

⁶ Vgl. Kersten et al. (2006), S. 326; Frizelle/Woodcock (1996), S. 269ff

⁷ Vgl. Lechner et al. (2011a), S. 1650ff

2 Grundlagen dynamischer Logistikkomplexität und Stand der Forschung

Einen umfassenden Überblick über Theorien und Interpretationen von Komplexität geben u. a. Schaffer, Meyer, sowie Kirchhoff und Specht⁸. In der Systemtheorie, welche dieser Arbeit aufgrund ihrer ganzheitlichen Sichtweise zugrunde gelegt wird, bezeichnet Komplexität die Eigenschaft eines Systems, „deren Grad von der Anzahl der Systemelemente, von der Vielzahl der Beziehungen zwischen diesen Elementen sowie der Anzahl möglicher Systemzustände abhängt“⁹. Während die statische, d. h. strukturelle und operative, Komplexität aus der Systemstruktur hervorgeht und der Momentaufnahme eines Logistiksystems entspricht, wird die dynamische Komplexität bestimmt durch das Systemverhalten, d. h. der Veränderlichkeit im Zeitablauf¹⁰. Im Gegensatz zur statischen Komplexität, welche vorwiegend bei Systemen mit vielen Variablen auftritt, kann die dynamische Komplexität bei Systemen mit wenigen Variablen auftreten¹¹. Somit adressiert die dynamische Komplexität die Unsicherheit, d. h. die Differenz zwischen verfügbaren und benötigten Informationen, des realen Systemverhaltens welche auftritt sobald das Unternehmen produziert¹².

2.1 Grundlagen der variantenreichen Serienfertigung in der Automobilindustrie

Das bekannteste Phänomen von Komplexität in der Automobilindustrie ist die Produktvielfalt¹³. Produktvielfalt umfasst die Anzahl der Produkte in verschiedenen Wertschöpfungsstufen mit unterschiedlichen Merkmalsausprägungen¹⁴. Hervorgerufen wird die Produktvielfalt von Produktvarianten. Hierbei unterscheiden sich Produktvarianten bei einem gleichen Grundaufbau durch mindestens eine Merkmalsausprägung von anderen Produktvarianten¹⁵. Da der Begriff der Produktvariante unterschiedliche Stufen der Produktstruktur umfasst, wird eine Einteilung in drei Variantenreferenzebenen vorgenommen¹⁶. Fahrzeuge bzw. Endprodukte werden der Variantenebene 1 zugeordnet, Baugruppen der Variantenebene 2 und Einzelteile der Variantenebene 3.

Produktvarianten können darüber hinaus unterschieden werden in alternative Mussvarianten (Substitutivvarianten) und additive Kannvarianten. Während ein Fahrzeug zwingend aus Substitutivvarianten besteht und somit aus einer Anzahl von Varianten mindestens eine auszuwählen ist (z.B. Motor), können Fahrzeuge zusätzliche Additivvarianten beinhalten (z.B. Navigationssystem, Anhängerkupplung)¹⁷.

⁸ Vgl. Schaffer (2010), S. 59ff; Meyer (2007), S. 2ff; Kirchhoff/Specht (2003), S. 11ff

⁹ Vgl. Ulrich/Probst (1990), S. 58

¹⁰ Vgl. Dalhöfer (2009), S. 9ff; Schuh (2005), S. 8ff

¹¹ Vgl. Arndt (2006), S. 60

¹² Vgl. Ivanov/Sokolov (2010), S.256; Yang et al. (2004), S.1059; Frizelle/Woodcock (1996), S. 269ff

¹³ Vgl. Kirchhoff/Specht (2003), S. 38ff

¹⁴ Vgl. Schaffer (2010), S. 28ff

¹⁵ Vgl. Kestel (1995), S. 5f

¹⁶ Vgl. Lechner et al. (2011b), S. 9f

¹⁷ Vgl. Ohl (2000), S. 40ff; Wiendahl (2004), S. 7ff; Franke (2002), S. 11ff

Die Bewertung von Produktvarianten in der Logistik ist ein wesentlicher Bestandteil des Produktentstehungsprozesses (PEP). Dieser beträgt bei europäischen und amerikanischen OEM ca. fünf Jahre, bei japanischen OEM unter vier Jahre¹⁸. Der PEP muss insbesondere durch die steigende variantengetriebene Komplexität mit einem ständigen Wandel umgehen¹⁹. Logistische Aufgaben umfassen hierbei die Planung der Materialflüsse über alle Wertschöpfungsstufen, d. h. von Lieferanten, über die Produktion bis zur Distribution an Endkunden und beginnen ca. vier Jahre vor SOP (Start of Production), d. h. dem Beginn der Serienproduktion²⁰. Produktvarianten entstehen oft ohne detaillierte Betrachtung der Auswirkungen und verursachen erheblichen Aufwand. Die Änderungshäufigkeit von Produktvarianten ist insbesondere in der ersten Phase des PEP hoch. Oft werden die Auswirkungen auf die Logistik erst spät erkannt und bewertet. Bereits ein frühzeitiges Aufzeigen der Auswirkungen auf die Logistikkosten von Produktvarianten stellt für viele OEM eine Verbesserung des Status quo dar.

2.2 Grundlagen bezüglich Unsicherheiten im Planungsprozess

Unter Unsicherheit versteht man die Eigenschaft, welche unser unvollständiges Wissen über die Systemumwelt und die Bedingungen ihrer Entwicklung beschreibt. Unsicherheit tritt somit auf, wenn eine Differenz zwischen den verfügbaren und benötigten Informationen im Rahmen der Entscheidungsfindung herrscht²¹. In der Entscheidungstheorie wird Unsicherheit in Ungewissheit und Risiko unterteilt. Während bei Ungewissheit mögliche Auswirkungen, nicht aber deren Eintrittswahrscheinlichkeiten bekannt sind, sind diese beim Risiko bekannt, allerdings ohne Eintrittszeitpunkt²².

Jede Planung und Bewertung basiert auf Informationen, wobei der Umfang und die Qualität der bewertungsrelevanten Informationen im Zeitverlauf zunehmen (Informationsdynamik)²³. Die Unsicherheit steigt somit mit Zunahme des Planungshorizontes. Auf zeitlicher Ebene können Unsicherheiten im PEP und in der laufenden Serie auftreten. Analog zur Unterteilung des Begriffes Unsicherheit können Planungen und Bewertungen in Abhängigkeit der verfügbaren Informationen zum Entscheidungszeitpunkt folgendermaßen differenziert werden:

- Bei Bewertungen unter Sicherheit sind die eintretenden Zukunftszustände bekannt. Somit werden diese Bewertungen auch als deterministisch bezeichnet.
- Bewertungen unter Unsicherheit werden unterteilt in Bewertungen unter Ungewissheit und Bewertungen unter Risiko. Unter Ungewissheit können mögliche Zukunftsszenarien definiert werden; allerdings liegen keine Eintrittswahrscheinlichkeiten über potentielle Zukunftsszenarien vor. Somit wird auf andere Analysetech-

¹⁸ Vgl. Schwarze (2003), S. 82

¹⁹ Vgl. Eigner/Stelzer (2009), S. 11

²⁰ Vgl. Klug (2010), S. 79; Schneider (2008), S. 50

²¹ Vgl. Ivanov/Sokolov (2010), S. 256; Yang et al. (2004), S. 1059

²² Vgl. Volling (2009), S. 43; Bamberg et al. (2008), S. 18ff

²³ Vgl. Scholl et al. (2004), S. 153ff

niken, z.B. Szenario-Technik zurückgegriffen. Während bei Bewertungen unter Ungewissheit potentielle Zukunftsszenarien bekannt sind, können bei Bewertungen unter Risiko den Zukunftsszenarien Eintrittswahrscheinlichkeiten zugeordnet werden. Diese werden auch als stochastisch bezeichnet²⁴.

2.3 Diskussion von Ansätzen zur Bewertung von Unsicherheit in der Logistikplanung

Eine große Herausforderung der Logistikplanung während des PEP besteht in der Unsicherheit von Informationen. Variantenanzahlen sind gerade in den frühen Phasen des PEP weitgehend unbekannt, so dass Variantenszenarien schwer zu kreieren und Kosten kaum abschätzbar sind. Variantenszenarien wurden allerdings in existierenden Bewertungsansätzen als deterministisch angenommen. Diese Ansätze umfassen bspw. die Ressourcenorientierte Prozesskostenrechnung, das treiberbasiertes Komplexitätskostenmodell oder das Variety-driven Activity-based Costing (VD-ABC); eine Übersicht über weitere Bewertungsansätze findet sich bei Lechner et al.²⁵.

Daher werden im Folgenden Bewertungen unter Ungewissheit und Risiko vorgestellt. Weit verbreitete Methoden zur Bewertung von Ungewissheit sind die Szenario-Technik, die Delphi-Methode bzw. die Expertenschätzung. Bei der Szenario-Technik werden aus Faktoren, Trends und Projektionen mögliche Zukunftsbilder entwickelt²⁶. Verwandte Konzepte sind das Szenario-Management, das Scenario Planning oder das System Dynamics. Der Einsatz von Szenarien zur Erfassung von Unsicherheit eignet sich vorwiegend für Unternehmen, welche in einem dynamischen Umfeld agieren. Dies trifft insbesondere auf die Automobilindustrie zu.

Szenarien sind begründbare Zukunftsbilder bzw. Zukunftszustände, d. h. mögliche zukünftige Situationen, welche aus der bekannten, gegenwärtigen Situation entwickelt werden²⁷. Anhand von Unterscheidungskriterien können eine Vielzahl von Szenarien und Möglichkeiten der Szenario-Entwicklung systematisiert werden. Bspw. werden anhand des Ausgangspunktes der Szenario-Entwicklung explorative Szenarien als eine Entwicklung aus der Gegenwart und antizipative Szenarien als eine Entwicklung aus der Zukunft differenziert²⁸. Ein Zukunftsszenario wird durch eine Vielzahl von Einflussfaktoren bestimmt, wobei das Eintreten eines Szenarios nicht mit Sicherheit vorausgesagt werden kann²⁹. Die Summe aller alternativen Szenarien wird als Zukunftsraum bezeichnet, welcher grafisch in Form eines Szenario-Trichters abgebildet wird³⁰. Gemäß der Risikodefinition im vorherigen Kapitel umfasst die zweite Stufe der Unsicherheitsbewertung sowohl Eintrittswahrscheinlichkeiten potentieller Zukunftsszena-

²⁴ Vgl. Fink et al. (2002), S. 82

²⁵ Vgl. Schuh (2005), S. 201ff; Lechner et al. (2011a), S. 1650ff

²⁶ Vgl. Fink et al. (2002), S. 22; Shapiro (2007), S. 447ff

²⁷ Vgl. Wilms (2006), S. 9; Geschka/Schwarz-Geschka (1994), S. 1

²⁸ Vgl. Fink et al. (2002), S. 59

²⁹ Vgl. Hernandez/Wiendahl (2005), S. 215ff

³⁰ Vgl. Shapiro (2007), S. 445; Hernandez/Wiendahl (2005), S. 215ff

rien als auch die damit verbundenen Auswirkungen. Hier werden qualitative und quantitative Bewertungsansätze differenziert. Qualitative Ansätze umfassen u. a. die Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) aus dem Bereich Qualitätsmanagement. Die FMEA wurde bspw. von Wiendahl zur Bewertung von Risiken im Bereich der Produktionslogistik angewandt³¹.

Quantitative Risikobewertungsansätze beinhalten Checklisten, neuronale Netze oder eine Extremwertbetrachtung. Der bekannteste quantitative Ansatz ist das Value-at-Risk (VaR), welches insbesondere in der Finanzindustrie weit verbreitet ist³². Hier werden Wertverluste und -gewinne einer Risikoposition mit Wahrscheinlichkeiten hinterlegt³³. Für den Logistikbereich kann eine Bewertung mit Hilfe einer Expected Monetary Value (EMV) Analyse oder Expected Utility (EU) Analyse herangezogen werden. Bei der EMV-Analyse, d. h. Analyse des erwarteten Geldwertes, werden finanzielle Auswirkungen potentieller, zukünftiger Szenarien mit Hilfe von Eintrittswahrscheinlichkeiten bewertet³⁴. Im Rahmen der Nutzwertanalyse unterstützt die EU den Entscheidungsträger, indem Erwartungswerte unsicherer Zukunftereignisse über die gewichtete Summe multipliziert mit den Wahrscheinlichkeiten verglichen werden.

Weitere quantitative Ansätze, welche Risiken von Varianteninformationen berücksichtigen könnten, sind die Variantenkalkulation mit Fuzzy-Logik, die Entscheidungsbaumanalyse oder Risikodatenbanken³⁵. Mit Hilfe der Fuzzy-Logik wird Expertenwissen formalisiert und für Produktbewertungen nutzbar gemacht. Entscheidungsbaumanalysen können zur Bewertung von Produktideen unter Unsicherheit eingesetzt werden. Bei der Entscheidungsbaumanalyse erfolgt eine Entscheidung unter Unsicherheit über mehrere sich ausschließende Alternativen³⁶. Risikodatenbanken beruhen auf Vergangenheitswerten über die Häufigkeit des Eintritts und die Höhe der Auswirkungen. Ebenfalls können Simulationsmodelle zur Bewertung herangezogen werden. Hier werden vereinfachende Annahmen, Wahrscheinlichkeitsverteilungen und Regeln getroffen, um Ein- und Ausgangsgrößen des Modells zu erfassen³⁷.

Neben den Bewertungsansätzen, existieren auf die Anwendungsbereiche angepasste Optimierungsmodelle. Während bei der deterministischen linearen Programmierung (LP) oder der mixed-integer Programmierung (MIP) Zukunftsszenarien als fix angenommen werden, stellt die stochastische Programmierung eine Erweiterung dar. Bei der stochastischen Programmierung werden mehrere Szenarien zusammen analysiert, jeweils mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit je Szenario. Ein wesentlicher Vorteil dieser Methode ist das Ergebnis mit einem optimalen Alternativplan für jedes Szenario,

³¹ Vgl. Ziegenbein (2007), S. 54ff; Wiendahl (2002), S. 112ff

³² Vgl. Jorion (2007), S. 3f; Penza/Bansal S.62ff

³³ Vgl. Balduin (2004), S. 50

³⁴ Vgl. Park/Sharp-Bette (1990), S. 356ff

³⁵ Vgl. Wulfsberg/Schneider (2004), S. 84ff; Ziegenbein (2007), S. 56

³⁶ Vgl. Günther/Tempelmeier (2005), S. 53ff; Shapiro (2007), S. 448ff

³⁷ Vgl. Ziegenbein (2007), S. 54

während die Beschränkung auf sehr abstrakte Modelle als Basis für die Optimierung ein Nachteil ist³⁸.

3 Antizipative Logistikplanung durch Bewertung dynamischer Logistikkomplexität im Produktentwicklungsprozess

Variantengetriebene Komplexität in Logistiksystemen ist die Systemeigenschaft, welche durch die Anzahl und Unterschiedlichkeit von Produktvarianten, ihren Beziehungen untereinander sowie der zeitlichen Veränderung der Elemente und Beziehungen entsteht, und somit logistische Strukturen sowie das Systemverhalten wesentlich beeinflusst³⁹. Die Diskussion existierender Ansätze in Kapitel 2 zeigt, dass Bewertungsansätze, die einerseits einen Zusammenhang zwischen Produktvarianten und Logistikkosten herstellen und andererseits Unsicherheiten in der Produktentwicklung berücksichtigen, nicht existieren. Allerdings kann auf bereits bestehende Bewertungsansätze des VD-ABC und der EMV-Analyse aufgebaut werden.

Abbildung 1 zeigt, wie der in diesem Forschungsbeitrag vorgestellte Ansatz zur Bewertung dynamischer Logistikkomplexität auf vorhandene Ansätze aufbaut. Relevante Einflussfaktoren kommen aus den Bereichen Produktvarianten, Logistik und Zeithorizont und bilden die Bewertungsbasis struktureller, operativer und dynamischer Komplexität.

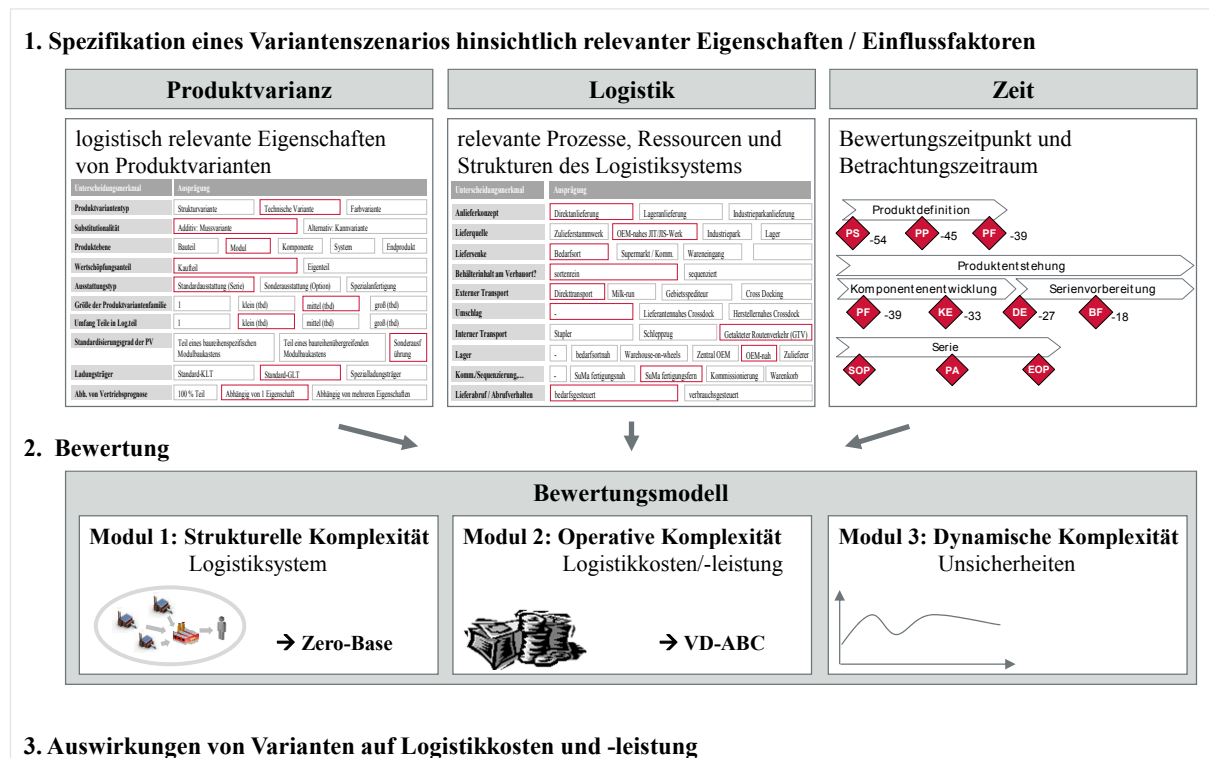


Abbildung 1: Einordnung der dynamischen Komplexität in den Bewertungskontext

³⁸ Vgl. Shapiro (2007), S. 452ff

³⁹ Vgl. Lechner et al. (2011a), S. 1650ff

Eine besondere Herausforderung für die Bewertung variantengetriebener Komplexität resultiert aus der eingeschränkten Verfügbarkeit von Informationen zum Bewertungs- und Entscheidungszeitpunkt im Planungsprozess. Daher wird in diesem Forschungsbeitrag die Erfassung dynamischer Komplexität im Folgenden näher betrachtet.

Zur Erfassung der dynamischen Komplexität entwickelten die Autoren einen dreistufigen Bewertungsansatz, welcher in Abbildung 2 dargestellt ist. Gleichzeitig stellen die drei Stufen ein Vorgehensmodell zur einzelfallspezifischen Variantenbewertung dar, um Variantenbewertungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten im PEP zu unterstützen. Zunächst werden Bewertungen unter Sicherheit durchgeführt. Hierbei greifen die Autoren auf die vielfaltsinduzierten Prozesskostenrechnung (VD-ABC) zurück⁴⁰. Dieser ersten Bewertungsstufe liegt ein deterministischer Planungsstand zugrunde. Sie bildet die Realität nicht vollständig ab, da insbesondere in der Planungsphase Fahrzeugvolumen und Teilevarianten nicht deterministisch sind.

Daher wird ein Ansatz zur Bewertungen unter Unsicherheit ergänzt, welcher Bewertungen unter Ungewissheit und unter Risiko differenziert. Während Bewertungen unter Ungewissheit die Entwicklung von Zukunftsszenarien beinhalten, werden bei Bewertungen unter Risiko deren Erwartungswerte und Eintrittswahrscheinlichkeiten berechnet⁴¹. Somit entwickeln die Autoren in einem zweiten Schritt vier Zukunftsszenarien, welche in Kapitel 4 vorgestellt werden. Diese umfassen Unsicherheiten in Bezug auf das Variantenvolumen und das Variantenspektrum auf unterschiedlichen Variantenreferenzebenen (Endprodukt-, Baugruppen- und Teilevarianten). Hierbei ist eine Differenzierung in Additiv- und Substitutivvarianten notwendig, da sich die Effekte von Volumenänderungen und Änderungen des Variantenspektrums überlagern können.

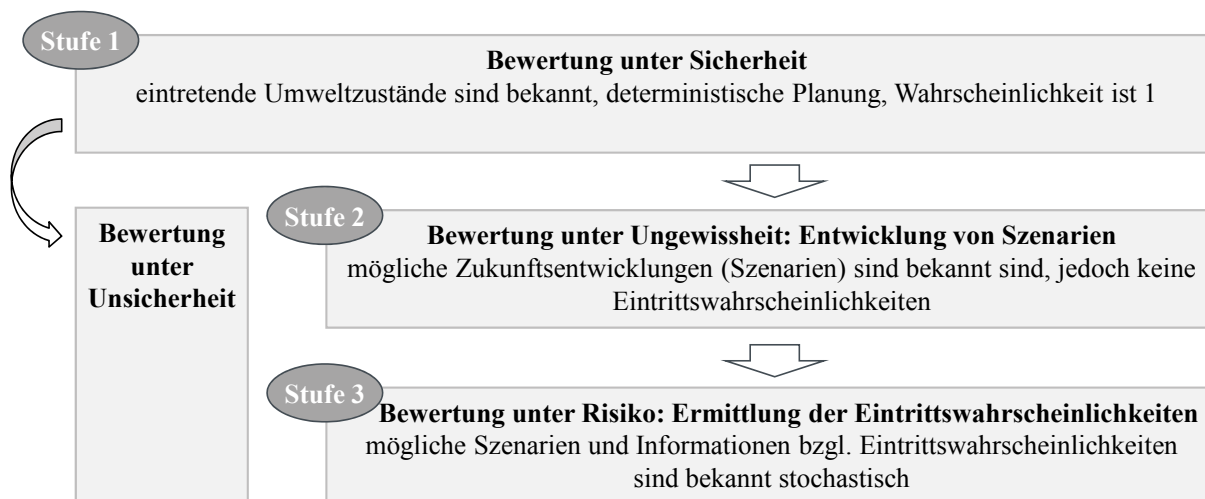


Abbildung 2: 3-Stufen Modell der Bewertung dynamischer Logistikkomplexität

Die dritte Stufe der Bewertung ist die Bewertung unter Risiko. Zukunftsszenarien, die im zweiten Schritt identifiziert wurden, werden mit stochastischen Erwartungswerten und Eintrittswahrscheinlichkeiten hinterlegt. Hierbei entwickelten die Autoren For-

⁴⁰ Vgl. Lechner et al. (2011a), S. 1650ff

⁴¹ Vgl. Volling (2009), S. 43f

meln zur Quantifizierung der Eintrittswahrscheinlichkeiten und Erwartungswerte. Diese werden in den Kapitel 5 vorgestellt.

4 Bewertung unter Ungewissheit: Entwicklung von Szenarien

Um Ungewissheiten im Rahmen der Variantenbewertung zu erfassen, werden Zukunftsszenarien entwickelt. Zunächst werden potentielle Quellen und Typen von Unsicherheiten im Kontext variantengetriebener Logistikkomplexität analysiert und systematisiert, um hierauf aufbauend wesentliche Zukunftsszenarien zu definieren.

4.1 Systematisierung der Unsicherheit im Logistikkontext

In Anlehnung an das Supply-Chain Operations Reference (SCOR)-Modell können Unsicherheiten im Bereich der Logistik von OEM in Bedarfs-, Versorgungs-, Planungs- und Steuerungs- sowie Produktionsrisiken bzw. -unsicherheiten unterschieden werden, welche durch Unsicherheiten aus dem Umfeld ergänzt werden⁴². Diese Unsicherheiten und Schwankungen haben Einfluss auf die logistischen Prozesse, da Varianten häufig separat transportiert, gelagert und gehandelt werden. Sowohl temporäre als auch permanente Veränderungen des Variantenspektrums haben Auswirkungen auf die Kapazitäten des Logistiksystems. Abbildung 3 veranschaulicht die potentiellen Unsicherheiten entlang des Wertschöpfungsnetzwerkes eines OEM.

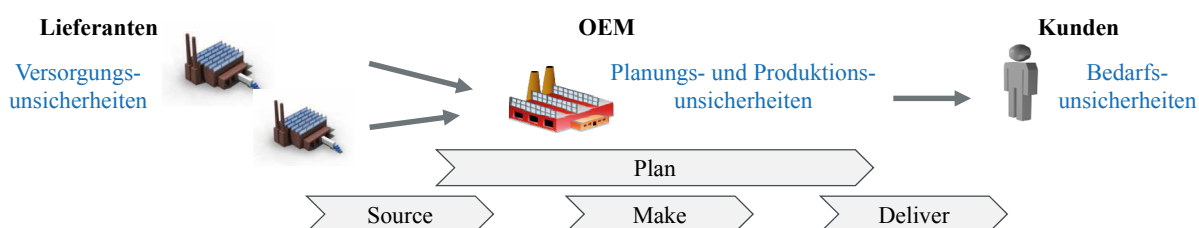


Abbildung 3: Quellen der Unsicherheit bei Automobilherstellern

Die Unsicherheit in Bezug auf nachgefragte Fahrzeugvolumen und Produktvarianten zu einem bestimmten Zukunftszeitpunkt, wird durch die Bedarfsunsicherheit charakterisiert⁴³. Individuelle Kundenwünsche und Wettbewerbsdruck führen hierbei zu einer erschwerten Prognosemöglichkeit der Bedarfsentwicklung aus Sicht des OEM. Daher werden im Rahmen dieses Forschungsbeitrages Bedarfsunsicherheiten fokussiert.

Materialbedarfsarten können in Abhängigkeit der Produktstruktur differenziert werden in Primär- und Sekundärbedarfe. Während Primärbedarfe die am Markt verkaufsfähigen Produkte, d.h. Fahrzeuge umfassen, beinhalten Sekundärbedarfe Baugruppen und Einzelteile, welche zur Herstellung der Primärbedarfe benötigt werden⁴⁴. Bedarfsunsicherheiten treten bei Primär- und Sekundärbedarfen auf. Tabelle 1 zeigt in Anlehnung an Gottschalk eine Auswahl von Bedarfsunsicherheiten im automobilen Logistikkon-

⁴² Vgl. Supply-Chain Council (2010), S. 6ff; Gottschalk (2005), S. 22

⁴³ Vgl. Gottschalk (2005), S. 24

⁴⁴ Vgl. Ohl (200), S. 69f

text systematisiert nach Zeitbezug und Bedarfsunsicherheitstyp⁴⁵. Hierbei wird der Zeitbezug in kurzfristige, mittelfristige und langfristige Änderungen differenziert.

	Volumenschwankungen von Endprodukten	Volumenschwankungen einzelner Teilevarianten	Schwankungen des Variantenspektrums
kurzfristig	<ul style="list-style-type: none"> • Kurzzyklische Volatilität, z.B. aufgrund unregelmäßiger Kundenbestellverhaltens • Schwankungen von Lieferfristen 	<ul style="list-style-type: none"> • Veränderung der Produktionsreihenfolge 	<ul style="list-style-type: none"> • Änderung von Produktspezifikationen, z.B. zur Erhöhung von Qualität oder Funktionalität • Produktion nach Kundenspezifikation (Krawattenfarben,...)
mittelfristig	<ul style="list-style-type: none"> • Saisonale oder andere zyklische Absatzschwankungen • Großaufträge oder Marketingaktionen 	<ul style="list-style-type: none"> • Selektive Erhöhung des Volumenanteils einer Variante, z.B. aufgrund einer Marketingaktion • Zyklische oder dauerhafte Verschiebung von Variantenanteilen, z.B. saisonale Käuferpräferenzen 	<ul style="list-style-type: none"> • Wachsende Zahl an Produktvarianten • Transfer von Produkten bzw. Wertschöpfungsanteilen im Netzwerk • Produktionsanlauf für neue oder Nachfolgerprodukte • Auslauf bestehender Produkte
langfristig	<ul style="list-style-type: none"> • Eintritt in neue Märkte • Konjunkturelle Zyklen 	<ul style="list-style-type: none"> • neue Technologien und Techniken, z.B. Hybridmotoren, Fahrerassistenz-systeme, neue Radiostandards,... 	<ul style="list-style-type: none"> • Wettbewerbsbedingte Erhöhung der externen Variantenvielfalt • Zunahme des Variantenspektrums infolge langfristiger Ersatzteilgarantien

Tabelle 1: Auswahl von potentiellen Bedarfsunsicherheiten in der Logistikplanung

4.2 Entwicklung von Szenarien

Basierend auf der Bedarfsdefinition können unterschiedliche Arten von Unsicherheit abgeleitet werden. Diese werden im Rahmen der zweiten Bewertungsstufe, der Bewertung unter Ungewissheit, überführt in Szenarien. Wesentliche Unsicherheiten im Rahmen der Variantenbewertung im PEP treten in Form von Variantenvolumenänderung und Änderungen des Variantenspektrums auf. Diese Zukunftsszenarien können jeweils anhand der Bedarfsebene unterteilt werden. Volumen- und Variantenänderungen treten sowohl auf Ebene des Primärbedarfs, d. h. Fahrzeuge, als auch auf Ebene des Sekundärbedarfes, d. h. Baugruppen und Teile auf. Aus Sicht des OEM können bei Zukaufteilen Baugruppen und Teile aggregiert betrachtet werden, da sich die internen Prozesse für die Beschaffung und Bereitstellung einer Baugruppe oder eines Einzelteils nicht unterscheiden.

Abbildung 4 zeigt eine Übersicht über die entwickelten Szenarien zur Erfassung dynamischer Logistikkomplexität im PEP. Szenario 1 adressiert Volumenänderungen der Primärbedarfe und somit Änderungen und Schwankungen der Gesamtfahrzeugstückzahlen. Im Laufe der fünfjährigen Produktentwicklung werden in der Regel zu Meilensteinen Anpassungen der erwarteten Fahrzeugzahlen vorgenommen.

Neben Volumenänderungen der Primärbedarfe, sind Volumenänderungen der Sekundärbedarfe von hoher Relevanz für die Logistikplanung. Diese werden in Szenario 2 aufgegriffen. Beispielsweise änderten sich prognostizierte Bedarfsmengen von Motorvarianten häufig in den letzten Jahren im Zusammenhang mit einem wachsenden Umweltbewusstsein und der öffentlichen Diskussion bzgl. Elektrifizierung. In diesem

⁴⁵ Vgl. Gottschalk (2005), S. 31ff

Szenario wird zwischen Substitutiv- und Additivvarianten differenziert. Bei Additivvarianten führt die Bedarfsunsicherheit und somit eine potentielle Änderung der Bedarfsmenge gleichzeitig zu einer Volumenänderung der Fahrzeuge. Bei Substitutivvarianten dahingegen führt die Zu- oder Abnahme der Bedarfsmenge bei Sekundärbedarfen des bestehenden Variantenspektrums nicht zu einer Änderung der Gesamtmenge aller Varianten. Somit führt eine Zunahme des Volumens einer Variante gleichzeitig zu der Volumenabnahme einer anderen Variante. Dies ist gleichzusetzen mit einer Verschiebung der Mengenanteile innerhalb eines Variantenumfangs.

Variantenreferenzebene (VRE)	Änderung des Volumens	Änderung des Variantenspektrums bzw. der Variantenzahl
Primärbedarf VRE 1: Fahrzeug	Szenario 1: Bedarfsmengenänderungen der Gesamtfahrzeugstückzahl	Szenario 3: Änderung des Variantenspektrums von Fahrzeugen (Modelle und Derivate)
Sekundärbedarf VRE 2/3: Baugruppen/Teile	Szenario 2: Bedarfsmengenänderungen einzelner Baugruppen oder Teile	Szenario 4: Änderung des Variantenspektrums von Baugruppen oder Teilen

Abbildung 4: Übersicht über Szenarien zur Erfassung dynamischer Logistikkomplexität

Szenario 3 umfasst Änderungen des Variantenspektrums auf Fahrzeugebene bzw. Primärbedarfsebene. Dies ist der Fall wenn neue Fahrzeugmodelle oder Derivate in die Produktentwicklung mitaufgenommen werden oder bereits geplante Modelle oder Derivate aus der Fahrzeugmodellpalette gestrichen werden. Eine Betrachtung der tatsächlichen Fahrzeugvarianten, welche vom Kunden konfiguriert werden können, findet an dieser Stelle nicht statt. Erst diese Einschränkung des Betrachtungsbereiches erlaubt die Entwicklung eines handhabbaren quantitativen Bewertungsmodells, da Automobilhersteller heute über 10^{20} unterschiedliche Fahrzeugvarianten herstellen können. Dies würde in einer Wiederholhäufigkeit einer Fahrzeugvariante resultieren, welche gegen den Wert 1 tendiert, d. h. kaum ein Fahrzeug wird doppelt hergestellt⁴⁶. Sie sind somit theoretische Werte und besitzen in der Praxis wenig Relevanz.

Unsicherheiten des Variantenspektrums von Baugruppen- oder Teilevarianten werden in Szenario 4 berücksichtigt. Insbesondere bei strategisch wichtigen Baugruppen oder farbabhängigen Baugruppen ändern sich Variantenzahlen von Meilenstein zu Meilenstein im PEP häufig. Wird beispielsweise eine neue Lackfarbe in das Portfolio aufgenommen, so werden die Variantenzahlen von bspw. Außenspiegel, Türen, Stoßfänger direkt verdoppelt. Überlagerung der Effekte von Volumenschwankungen und Schwankungen im Variantenspektrum sind insbesondere bei Additivvarianten möglich, d. h. inhärente Wirkungen in Abhängigkeit der Variantenart sind zu berücksichtigen. Dies lässt sich dadurch begründen, dass zusätzliche Fahrzeuge von einer anderen Kundenbasis gekauft werden, wenn bspw. ein 10-Zylinder-Motor angeboten wird. Diese Kunden würden bei Nichtexistenz dieser Variante eher kein Fahrzeug kaufen. Abbildung 5 zeigt die potentiellen Wechselwirkungen.

⁴⁶ Vgl. Schaffer (2010), S. 46ff

VRL	Änderung des Volumens	Änderung des Variantenspektrums bzw. der Variantenanzahl
Substitutivvarianten		
VRE 1	Szenario 1 ↓	Szenario 3 ↔
VRE 2/3	Szenario 2: Änderung der Bedarfsmenge führt nicht zu Änderung des Gesamtvolumens, es findet lediglich eine Volumenverschiebung statt	Szenario 4: Änderung der Variantenanzahl führt nicht zu Änderung des Gesamtvolumens sowie zu einer Änderung des Produktspektrums
Additivvarianten		
VRE 1	Szenario 1 ↔	Szenario 3 ↔
VRE 2/3	Szenario 2: Änderung der Bedarfsmenge kann gleichzeitig zu einer Volumenänderung der Endprodukte bzw. Fahrzeuge führen	Szenario 4: Änderung der Variantenanzahl kann gleichzeitig zu einer Volumenänderung der Endprodukte bzw. Fahrzeuge sowie zu einer Änderung des Variantenspektrums führen

Abbildung 5: Wechselwirkungen zwischen den Szenarien differenziert nach der Variantenart

5 Bewertung unter Risiko: Ermittlung der Erwartungswerte

Die letzte Stufe der Bewertung ist die Bewertung unter Risiko. Hierbei werden die vier Zukunftsszenarien, die im vorhergehenden Kapitel identifiziert wurden, mit stochastischen Eintrittswahrscheinlichkeiten hinterlegt unter Verwendung von Erwartungswertfunktionen, welche in Kapitel 2.3 vorgestellt wurden. Zur Ermittlung des erwarteten Volumens E_x und der erwarteten Variantenanzahl E_v werden Änderungen bzgl. des Volumens x sowie Variantenanzahlen v berücksichtigt.

5.1 Ermittlung der Änderungshäufigkeiten und Änderungswahrscheinlichkeiten

An dieser Stelle werden die erwarteten Variantenvolumina und Variantenanzahlen auf den Ebenen Fahrzeug, Baugruppe und Einzelteil über Variantenfunktionen mit Hilfe von Änderungshäufigkeiten f und Änderungswahrscheinlichkeiten w berechnet. Hierbei werden f und w auf Basis historischer Daten berechnet.

Die Änderungshäufigkeit zum Bewertungszeitpunkt f_t wird ermittelt durch den Quotienten aus der Anzahl der Änderungen C_t bis zum Bewertungszeitpunkt t und der Anzahl vergangener Meilensteine M_t , welche sich aus den einzelnen Meilensteinen m_t ergibt. Die Binärvariable c_t nimmt den Wert 1 an, wenn es zum Meilenstein eine Änderung gab und 0 falls nicht. Zur Klassifizierung der Planungssicherheit werden Intervalle der Änderungshäufigkeiten f_x^{Fzg} definiert.

Zu einem Bewertungszeitpunkt kurz vor SOP liegen zum einen mehr Daten vor, zum anderen steigt auch die Planungssicherheit⁴⁷. Um dieser Tatsache gerecht zu werden, müssen Daten der jüngsten Vergangenheit stärker gewichtet werden als Daten zu Beginn des Planungszeitraums. Die Gewichtungsfaktoren werden zur Ermittlung der Änderungswahrscheinlichkeiten verwendet. Hierbei wird je Meilenstein, d. h. je Vorliegen neuer Informationen, ein Gewichtungsfaktor g_t ermittelt. Der Planungszeitraum m_{PEP} und der Zeitpunkt (i.d.R. in Monaten vor SOP) des jeweiligen Meilensteins m_t werden hierfür definiert.

⁴⁷ Vgl. Scholl et al. (2004), S. 153ff

$$f_t = C_t / M_t \quad \forall t \quad (1)$$

mit $M_t = \sum_i m_i$ und $C_t = \sum_i c_i$, $m_i \in \mathbb{N}$; $c_i := \text{bin}(0,1)$

$$g_t = m_{PEP} - m_t / m_{PEP} \quad \forall t \quad (2)$$

$$p_t = g_t \times f_t / M_t \quad \forall t \quad (3)$$

Mit Hilfe dieser Gewichtungsfaktoren können nun die Änderungswahrscheinlichkeiten p_t berechnet werden. Hierzu werden die Gewichtungsfaktoren multipliziert mit dem Quotienten aus der Änderungshäufigkeit und der Anzahl vergangener Meilensteine.

5.2 Änderung der Bedarfsmengen: Ermittlung der erwarteten Volumina

Zunächst werden Änderungen auf der Variantenreferenzebene 1, der Fahrzeugebene, quantifiziert und in der Bewertung berücksichtigt. Zur Ermittlung des erwarteten Fahrzeugvolumens zu SOP $E_{x,SOP}^{Fzg}$ werden die Variablen Änderungswahrscheinlichkeit des Fahrzeugvolumens zum Bewertungszeitpunkt t $p_{x,t}^{Fzg}$, das geplante Fahrzeugvolumen zum jüngsten Meilenstein X_t sowie das geplante Fahrzeugvolumen zum ersten Meilenstein (Projektstart) zu Beginn des PEP X_{PS} definiert. Ebenfalls wird der Trend (steigend/fallend/konstant) berücksichtigt.

$$E_{x,t}^{Fzg} = (1 - p_{x,t}^{Fzg}) \times X_{PS} + p_{x,t}^{Fzg} \times X_t \quad (4)$$

Volumenänderungen der Variantenreferenzebenen 2 und 3, d. h. auf Umfangebene (Baugruppen und Teile) werden analog berechnet. Allerdings wird hier differenziert in Additiv- und Substitutivvarianten. Bei Substitutivvarianten ist die Änderungshäufigkeit $f_{x,t}^{Umf}$ und Änderungswahrscheinlichkeit $p_{x,t}^{Umf}$ bzgl. des Umfangvolumens identisch mit der Änderungshäufigkeit $f_{x,t}^{Fzg}$ und Änderungswahrscheinlichkeit $p_{x,t}^{Fzg}$ des Fahrzeugvolumens. Gleiches gilt für das erwartete Volumen auf Umfang- und Fahrzeugebene $E_{x,t}^{Umf}$ bzw. $E_{x,t}^{Fzg}$ falls die Anzahl Teile bzw. Baugruppen pro Fahrzeug n gleich 1 ist. Andernfalls sind die Erwartungswerte proportional und müssen lediglich mit einem Korrekturfaktor multipliziert werden. Handelt es sich um Additivvarianten, so korreliert das Volumen der Umfänge mit dem Fahrzeugvolumen, muss aber nicht identisch sein. Gleiches gilt für die Änderungshäufigkeit, die Änderungswahrscheinlichkeit sowie das erwartete Volumen.

$$\begin{aligned} f_{x,t}^{Umf} &= f_{x,t}^{Fzg} \quad \text{und} \quad p_{x,t}^{Umf} = p_{x,t}^{Fzg} \quad \forall \text{ Substitutivvarianten} \\ E_{x,t}^{Umf} &= E_{x,t}^{Fzg} \times n \quad \forall \text{ Substitutivvarianten} \\ E_{x,t}^{Umf} &\leq E_{x,t}^{Fzg} \times n \quad \forall \text{ Additivvarianten} \end{aligned} \quad (5)$$

Bei Substitutivvarianten bleibt das erwartete Baugruppen- und Teilevolumen $X_{t \text{ mod}}^{Umf}$ konstant, während das Volumen über alle Varianten bei Additivvarianten nicht konstant sein muss. Hierfür werden modifizierte Volumina $x_{v, \text{mod}}^{Umf}$ mit Hilfe von Mengen-

änderungseffekten r_t berücksichtigt. Ein positiver Mengenänderungseffekt bewirkt eine Volumensteigerung, ein negativer Mengenänderungseffekt einen Volumenrückgang. Die Menge eines Umfangs ergibt sich aus der Summe aller Varianten, wobei v die spezifische Variante und V die Gesamtvariantenanzahl des Umfangs bezeichnet.

$$X_{t \text{ mod}}^{Umf} = X_t^{Umf} = \text{konst.} \quad \forall \text{ Substitutivvarianten} \quad (6)$$

$$\text{mit } X_{t \text{ mod}}^{Umf} = \sum_{v=1}^{V \text{ mod}} x_{v,t \text{ mod}}^{Umf} = \sum_{v=1}^V x_{v,t}^{Umf}, \quad v = 1, \dots, V$$

$$X_{t \text{ mod}}^{Umf} = X_t^{Umf} \times (1 + r_t^{Umf}) \quad \forall \text{ Additivvarianten} \quad (7)$$

$$\text{mit } X_{t \text{ mod}}^{Umf} = \sum_{v=1}^{V \text{ mod}} x_{v,t \text{ mod}}^{Umf} = \sum_{v=1}^V x_{v,t}^{Umf} \times (1 + r_{v,t}^{Umf}), \quad v = 1, \dots, V$$

Die Anzahl bevorstehender Meilensteine s und somit potentieller Änderungszeitpunkte ergibt sich aus der Differenz zwischen der Gesamtanzahl der Meilensteine s_{PEP} und der bereits vergangenen Anzahl Meilensteine s_t . Somit berechnet sich das erwartete Volumen auf Umfangebene wie folgt:

$$E_{x,t}^{Umf} = (1 - p_{x,t}^{Fzg}) \times X_{PS}^{Umf} + p_{x,t}^{Umf} \times \min(f_x^{Umf}; s) \times X_t^{Umf} \quad (8)$$

$$\text{mit } s = s_{PEP} - s_t$$

5.3 Änderung des Variantenspektrums: Ermittlung der erwarteten Variantenanzahl

An dieser Stelle wird die erwartete Variantenanzahl auf den Ebenen Fahrzeug, Baugruppe und Einzelteil über Variantenfunktionen quantifiziert. Hierbei basieren f und w ebenfalls auf historischen Daten. Zu einem Bewertungszeitpunkt kurz vor SOP liegen somit mehr Daten vor und die Planungssicherheit steigt.

Zunächst werden Variantenänderungen auf Baugruppen- und Teileebene, d. h. Szenario 4, vorgestellt, da diese in der Praxis weitaus häufiger geändert werden und somit Neuplanungen erfordern. Hierbei werden Variantenanzahlen aggregiert über einen Anlieferungsbereich betrachtet, z. B. Stoßfänger oder Frontscheibe. Zur Ermittlung der erwarteten Baugruppen oder Teilevariantenanzahl zu SOP $E_{v,SOP}^{Umf}$ werden die Variablen Änderungswahrscheinlichkeit der Variantenanzahl der Umfänge $p_{v,t}^{Umf}$, die Änderungshäufigkeit der Umfänge seit Beginn des PEP $f_{v,t}^{Umf}$, die geplante Variantenanzahl zum jüngsten Meilenstein V_t , die geplante Variantenanzahl zum ersten Meilenstein V_{PS} sowie die Anzahl bevorstehender Meilensteine ausgehend vom Bewertungszeitpunkt m_t , d. h. potentieller Änderungen, definiert.

$$E_{v,SOP}^{Umf} = (1 - p_{v,t}^{Umf}) \times V_{PS} + p_{v,t}^{Umf} \times \min(f_{v,t}^{Umf}; m_t) \times V_t \quad (9)$$

Analog werden die Änderungshäufigkeiten, Änderungswahrscheinlichkeiten und erwartete Variantenanzahlen auf Fahrzeugebene ermittelt. Zur Ermittlung der erwarteten Modell- bzw. Derivatevariantenanzahl zu SOP $E_{v,SOP}^{Fzg}$ werden die Variablen Änderungswahrscheinlichkeit der Variantenanzahl der Fahrzeuge p_v^{Fzg} , die Änderungshäufigkeit der Fahrzeuge seit Beginn des PEP $f_{v,t}^{Fzg}$ definiert.

$$E_{v,SOP}^{Fzg} = (1 - p_{v,t}^{Fzg}) \times V_{PS} + p_{v,t}^{Fzg} \times \min(f_{v,t}^{Fzg}; m_t) \times V_t \quad (10)$$

Die erwarteten Variantenvolumina sowie die erwarteten Variantenanzahlen auf Fahrzeug-, Baugruppen- und Teileebene dienen nun durch die Berücksichtigung dynamischer variantengetriebener Komplexität als verbesserte Eingangsbasis zur Variantenbewertung. Um die Auswirkungen auf Logistikkosten durch diese veränderten Planwerte zu quantifizieren, wird auf die vielfaltsinduzierte Prozesskostenrechnung zurückgegriffen.

6 Anwendung des Bewertungsansatzes in der Praxis

Der vorgestellte Bewertungsansatz wird anhand einer Fallstudie bei einem deutschen OEM angewendet. Um seinen Kunden individuelle Fahrzeuge anzubieten, werden die Fahrzeuge in Form einer variantenreichen Serienfertigung hergestellt. Der Umfang der Fallstudie umfasst die beschaffungsseitige Materialflussplanung im PEP, da hier im Betrieb die Mehrheit der Komplexitätskosten anfallen⁴⁸. Die Anwendung umfasst die Anlieferprozesse von zugekauften Baugruppen und Teilen an einem Standort für ein Fahrzeugmodell mit sechs verschiedenen Derivaten. Somit beschränkt sich der Betrachtungsumfang auf die Variantenreferenzebenen 2 und 3. Zur Erläuterung des Bewertungsansatzes wird die Fallstudie anhand von Szenario 4 vorgestellt, d. h. Unsicherheiten und Änderungen des Variantenspektrums von Baugruppen oder Teilen.

Zunächst werden aus historischen Daten, welche im Laufe der Produktentwicklung gesammelt wurden, Änderungshäufigkeiten und Änderungswahrscheinlichkeiten berechnet. Hierzu wurden die Planungsstände bzgl. Variantenanzahlen zum Projektstart und bzgl. Variantenanzahlen je Baugruppe zu bereits vergangenen Meilensteinen analysiert. Tabelle 2 zeigt die erwarteten Variantenanzahlen zum Produktionsstart je Baugruppe $E_{v,SOP}^{Umf}$, welche mit Hilfe des in Kapitel 5 vorgestellten Ansatzes berechnet wurden. Eine Gegenüberstellung der berechneten Variantenanzahlen und jeweiligen Planstände zu Projektbeginn $\Delta(E_{v,SOP}^{Umf}; V_{PS})$ und zum jüngsten Meilenstein $\Delta(E_{v,SOP}^{Umf}; V_t)$ zeigt bereits unterschiedliche Ergebniswerte.

Die monetären Auswirkungen selbst bei einer Änderung der Variantenanzahl um eine Variante können erheblich sind. Dies liegt in sprunghaften Kostenverläufen in Abhängigkeit der Anlieferprozesse begründet. Sprunghafte Kostenverläufe aufgrund von Variantenänderungen treten im Bereich der Beschaffungslogistik immer dann auf, wenn materialflussseitige Prozesswechsel erforderlich sind. Im Bereich der Beschaffungslogistik ist die knappste logistische Ressource die Ressource Fläche beim OEM⁴⁹. Daher werden sprunghafte Kostenverläufe vorwiegend durch Prozesswechsel aufgrund von Flächenknappheit hervorgerufen. Ist durch die gestiegene Variantenanzahl nicht ausreichend Fläche am Montageband verfügbar, so müssen die Teile bzw. Baugruppen

⁴⁸ Vgl. Schleich et al. (2005), S. 75ff

⁴⁹ Vgl. Klug (2010), S. 80

intern in Supermärkten vorbereitet (durch Umpacken, Sequenzieren oder die Bildung von Warenkörben) werden. Reicht selbst die Fläche in Supermärkten nicht mehr aus, so werden die Teile Just-in-Sequence angeliefert. Dies stellt in der Praxis eine deutliche Kostensteigerung dar.

Baugruppen	V_{PS}	V_t	Trend	$f_{v,t}^{Umf}$	$p_{v,t}^{Umf}$	$E_{v,SOP}^{Umf}$	$\Delta(E_{v,SOP}^{Umf}; V_{PS})$	$\Delta(E_{v,SOP}^{Umf}; V_t)$
Motoren	19	24	steigend	3	0,4475	28	9	4
Motorabdeckung	6	3	fallend	2	0,2760	4	-2	1
Getriebelager	10	20	steigend	2	0,2980	19	9	-1
Schaltgriff	4	6	steigend	3	0,4427	8	4	2
Schaltgehäuse	3	8	steigend	3	0,4312	12	9	4
Lenkgetriebe	6	2	fallend	1	0,1380	5	-1	3
Querlenker	8	6	fallend	1	0,1436	7	-1	1
Stabilisator	7	7	konstant	0	0,0000	7	0	0
Kraftstoffbehälter	12	29	steigend	1	0,1523	17	5	-12
Heckscheibe	6	12	steigend	3	0,3750	15	9	3
Frontscheibe	3	4	steigend	3	0,3910	5	2	1
Innenrückspiegel	44	22	fallend	3	0,4604	3	-41	-19
Mittelkonsole	9	8	fallend	4	0,3571	7	-2	-1
...								

Tabelle 2: Auszug aus berechneten Erwartungswerten der Variantenanzahlen

Mit Hilfe der vielfaltsinduzierten Prozesskostenrechnung VD-ABC können sprunghafte Kostenverläufe aufgrund von notwendigen Prozessumstellungen quantifiziert werden. Die VD-ABC umfasst Kosten für die logistischen Ressourcen Personal, Fläche, Arbeitsmittel, Arbeitshilfsmittel, Organisationsmittel und Bestand. Abbildung 6 zeigt die anfallenden Gesamtkosten pro Jahr für den Umfang Frontscheibe in Abhängigkeit der Variantenanzahl $K_v^{Frontscheibe}$. Über einen Verlauf der Variantenanzahlen von eins bis 16 Varianten sind bereits zwei wesentliche Kostensprünge erkennbar, welche aufgrund einer Prozessumstellung auf eine interne Vorbereitung und eine externe Just-in-Sequence-Bereitstellung auftreten.

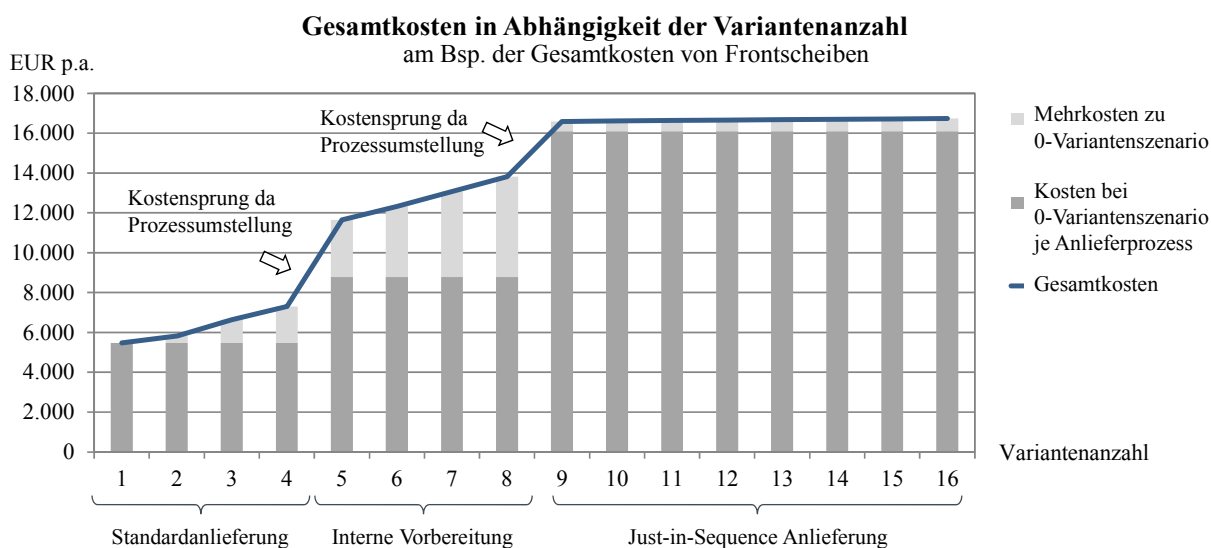


Abbildung 6: Gesamtkosten in Abhängigkeit der Variantenanzahl berechnet mit VD-ABC

Die Grafik veranschaulicht, dass bereits ab einer Variantenanzahl von fünf Varianten nicht mehr genügend Fläche am Montageband zur Verfügung steht, um die Front-

scheiben für alle Fahrzeuge sortenhomogen bereitzustellen. Die nächst-kostengünstigere Variante ist, die Frontscheiben intern in einem Supermarkt zu sequenzieren, um durch eine sorteninhomogene Bereitstellung am Montageband Fläche zu sparen. Da auch die verfügbare Fläche im internen Supermarkt begrenzt ist, muss bereits ab einer Variantenanzahl von neun Varianten auf eine externe Sequenzierung und somit eine Just-in-Sequence Anlieferung umgestellt werden.

Werden nun dynamische Unsicherheiten in der Produktentwicklung berücksichtigt, so können erhebliche Kostenänderungen im Vergleich zu ihrer Nicht-Berücksichtigung auftreten. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn die Variantenänderung eine Prozessumstellung notwendig bzw. überflüssig macht.

Aus Tabelle 2 kann entnommen werden, dass der letzte Planstand zu Beginn des Planungszeitraums drei Varianten und zum letzten Meilenstein vier Varianten beträgt. Die erwartete Variantenanzahl $E_{v,SOP}^{Frontscheibe}$ beträgt fünf Varianten, entsprechend der tatsächlichen Anzahl. Die logistikseitig anfallenden Gesamtkosten bei drei Varianten belaufen sich auf 6630,13 EUR pro Jahr sowie bei vier Varianten auf 7297,19 EUR pro Jahr. Die geringe Kostendifferenz ΔK liegt darin begründet, dass sowohl bei drei als auch bei vier Varianten eine Standardanlieferung möglich ist. Dahingegen steigen bei fünf Varianten die Gesamtkosten auf 11643,69 EUR pro Jahr. Dies entspricht einem Kostenanstieg ΔK von 4336,49 EUR. Tabelle 3 zeigt die Kostenübersicht mit den anfallenden Kosten je Planungsstand sowie den zugeordneten Anlieferprozessen.

m	V	$K_v^{Frontscheibe}$	ΔK	Anlieferprozess
PS	3	6630,13	812,35	Standard
t	4	7297,19	667,06	Standard
$E_{v,SOP}$	5	11643,69	4336,49	interne Vorbereitung

Tabelle 3: Vergleich der Kosten für Frontscheiben

Die Fallstudie unterstreicht die Signifikanz der Berücksichtigung von Unsicherheiten im Planungsprozess, die zu Kostensteigerungen führen können. Erst durch ihre Quantifizierung können die tatsächlich anfallenden Kosten ermittelt werden. Um diese Kostensteigerungen bereits zu einem frühen Zeitpunkt im Produktentwicklungsprozess zu determinieren, wurde die dynamische Komplexitätsbewertung in die operative Komplexität mit VD-ABC überführt.

7 Fazit und Ausblick

Auswirkungen einer gestiegenen Produktvielfalt in der Automobilindustrie zeigen sich insbesondere im Bereich der Logistik. Um diese produktvariantengetriebene Komplexität zu erfassen, müssen Unsicherheiten zu verschiedenen Zeitpunkten der Produktentwicklung in einem Bewertungsansatz berücksichtigt werden. Vor diesem Hintergrund entwickelten die Autoren einen Ansatz zur antizipativen Logistikplanung durch Erfassung dynamischer Logistikkomplexität in der variantenreichen Serienfertigung der Automobilindustrie. Hierbei bauen die Autoren auf die vielfaltsinduzierte Prozesskostenrechnung auf.

Um dynamische Logistikkomplexität in der Produktentwicklung und ihre Auswirkung auf Logistikkosten zu quantifizieren, müssen Unsicherheiten in Bezug auf Variantenanzahlen und Variantenvolumina erfasst werden. Dieses Wissen über die monetären Auswirkungen der Produktvielfalt ist notwendig, um strategische Entscheidung im Produktentwicklungsprozess zu treffen und um die Basis für ein effizientes Varianten- und Komplexitätsmanagement zu legen. Um diese Informationen bereitzustellen, befassten sich die Autoren dieses Forschungsprojektes intensiv mit Änderungen der Variantenvolumina und des Variantenspektrums im Produktentwicklungsprozess. Folgende Innovationen wurden erzielt:

- Integration der dynamischen Bewertung in die vielfaltsorientierte Prozesskostenrechnung
- Erfassung der Unsicherheit bzw. Ungewissheit durch Entwicklung von vier Zukunftsszenarien auf Basis relevanter Einflussfaktoren
- Quantifizierung des Risikos in Form von erwarteten Variantenvolumina und Variantenanzahlen von Fahrzeugen, Baugruppen und Teilen mit Hilfe von Änderungshäufigkeiten und Änderungswahrscheinlichkeiten

Eine Fallstudie bei einem deutschen OEM zeigt die Anwendbarkeit und Praktikabilität des vorgestellten Bewertungsansatzes. Ergebnisse im Bereich der beschaffungsseitigen Logistikprozesse unterstreichen die Signifikanz der Berücksichtigung von Unsicherheiten in Planungsprozessen, da hierdurch erhebliche Auswirkungen auf die Anlieferprozesse und damit verbundene sprungfixe Logistikkosten auftreten können. Der Anwendungsbereich des Bewertungsansatzes ist hierbei nicht nur auf Materialflüsse begrenzt, sondern kann auf andere Logistikbereiche angepasst werden, beispielsweise Informationsprozesse.

Während diese Forschungsarbeit die Entwicklung und prototypische Evaluierung des Ansatzes anhand von ausgewählten Baugruppen eines Fahrzeugmodells fokussierte, ist der nächste Schritt die vollständige Bewertung und Umsetzung im Produktentstehungsprozess. Insgesamt entsteht somit ein Bewertungsmodell Produktvarianten, welches sowohl die strukturelle, operative und dynamische Logistikkomplexität erfasst.

8 Literaturverzeichnis

- Arndt, H. (2006): Supply Chain Management. Optimierung logistischer Prozesse. Springer Verlag, Wiesbaden.
- Balduin, A. (2004): Was ist der „Value at Risk“? In: Risknews 1 (2), S. 50-51.
- Bamberg, G.; Coenenberg, A. G.; Krapp, M. (2008): Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre. 14nd Ed., Vahlen, München.
- Becker, H. (2007): Auf Crashkurs. Automobilindustrie im globalen Verdrängungswettbewerb. 2nd Ed., Springer Verlag, Berlin.
- Dalhöfer, J. (2009): Komplexitätsbewertung indirekter Geschäftsprozesse. Shaker, Herzogenrath.
- Eigner, M.; Stelzer, R. H. (2007): Product Lifecycle Management. Ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management. 2nd Ed., Springer Verlag, Berlin.

- Fink, A.; Schlake, O.; Siebe, A. (2002): Erfolg durch Szenario-Management. Prinzip und Werkzeuge der strategischen Vorausschau. 2nd Ed., Campus-Verlag, Frankfurt am Main.
- Franke, H.-J. (2002): Variantenmanagement in der Einzel- und Kleinserienfertigung. Hanser Verlag, München.
- Frizelle, G.; Woodcock, E. (1995): Measuring complexity as an aid to developing operational strategy. In: International Journal of Operations and Production Management, 15 (5), S. 26-39.
- Gehr, F.; Hellingrath, B. (2007): Logistik in der Automobilindustrie. Innovatives Supply Chain Management für wettbewerbsfähige Zulieferstrukturen. Springer Verlag, Berlin.
- Garcia, S.; Semmler, K.; Walther, J. (2007): Die Automobilindustrie auf dem Weg zur globalen Netzwerkkompetenz. Effiziente und flexible Supply Chains erfolgreich gestalten. Springer Verlag, Berlin.
- Geschka, H.; Schwarz-Geschka, M. (1994): Erfolg durch Szenario-Management. Geschka und Partner Unternehmensberatung, Darmstadt.
- Gottschalk, L. (2005): Flexibilitätsprofile. Analyse und Konfiguration von Strategien zur Kapazitätsanpassung in der industriellen Produktion. Dissertation Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Zürich.
- Günther, H.-O.; Tempelmeier, H. (2005): Produktion und Logistik. Springer, Berlin.
- Hernandez, R.; Wiendahl, H.-P. (2005): Die wandlungsfähige Fabrik - Grundlagen und Planungsansätze. In: B. Kaluza und T. Blecker: Erfolgsfaktor Flexibilität. Strategien und Konzepte für wandlungsfähige Unternehmen. Erich Schmidt Verlag, Berlin, S. 203-227.
- Jorion, P. (2007): Value at risk. The new benchmark for managing financial risk. 3rd Ed., McGraw-Hill, New York.
- Kersten, W.; Rall, K.; Meyer, C. M.; Dalhöfer, J. (2006): Complexity Management in Logistics and ETO-Supply Chains. In: T. Blecker und N. Abdelkafi: Complexity Management in Supply Chains. Concepts, Tools and Methods. Erich Schmidt Verlag, Berlin, S. 325-342.
- Kestel, R. (1995): Variantenvielfalt und Logistiksysteme. Ursachen - Auswirkungen - Lösungen. Gabler Verlag, Dt. Universitäts-Verlag, Wiesbaden.
- Kirchhof, R.; Specht, D. (2003): Ganzheitliches Komplexitätsmanagement. Grundlagen und Methodik des Umgangs mit Komplexität im Unternehmen. Dt. Universitäts-Verlag, Wiesbaden.
- Klug, F. (2010): Logistikmanagement in der Automobilindustrie. Grundlagen der Logistik im Automobilbau. Springer Verlag, Berlin.
- Ivanov, D.; Sokolov, B. (2010): Adaptive Supply Chain Management. Springer Verlag, London.
- Lechner, A.; Klingebiel, K.; Wagenitz, A. (2011a): Evaluation of product variant-driven complexity costs and performance impacts in the automotive logistics with Variety-driven Activity-based Costing. In: Proceedings of the International Multiconference of Engineers and Computer Scientists 2011 Vol II, IMECS 2011, 16.-18. März 2011, Hongkong.
- Lechner, A.; Wagenitz, A. (2011b): Capturing variety-driven structural complexity in the automotive inbound logistics with a zero-base approach. Angenommene Veröffentlichung für die Hamburg International Conference of Logistics, 8.-9. September 2011, Hamburg.
- Meyer, C. M. (2007): Integration des Komplexitätsmanagements in den strategischen Führungsprozess der Logistik. Haupt Verlag, Bern.
- Ohl, S. (2000): Prognose und Planung variantenreicher Produkte am Beispiel der Automobilindustrie. Fortschritt-Berichte VDI-Reihe 16, Technik und Wirtschaft 120, VDI-Verlag, Düsseldorf.
- Park, C. S.; Sharp-Bette, G. P. (1990): Advanced engineering economics. Wiley, New York.
- Penza, P.; Bansal, V. K. (2001): Measuring market risk with value-at-risk. John Wiley, New York.
- Pil, K. F.; Holweg, M. (2004): Linking Product Variety to Order-Fulfilment Strategies. In: Interfaces, 34 (5), S. 394-403.
- Schaffer, J. (2010): Entwicklung und Optimierung eines treiberbasierten Modells zur Bewertung varianteninduzierter Komplexitätskosten in industriellen Produktionsprozessen. Dissertation Leuphana Universität, Lüneburg.

- Schleich, H.; Lindemann, E.; Miemczyk, J.; Stone, G.; Holweg, M.; Klingebiel, K. et al. (2005): State of the art of complexity management. Information Societies Technology (IST) and (NMP) joint programme ILIPT, Lüneburg, Dortmund.
- Schmidt, I. (2007): Fallbasiertes Schließen zur Komplexitätsreduktion. Fallbasiertes Schließen als Ansatz des Variantenmanagements im Maschinen- und Anlagenbau. GRIN Verlag, Chemnitz.
- Schneider, M. (2008): Logistikplanung in der Automobilindustrie. Konzeption eines Instruments zur Unterstützung der taktischen Logistikplanung vor "Start-of-Production" im Rahmen der Digitalen Fabrik. Gabler Verlag, Wiesbaden.
- Schwarze, J. (2003): Kundenorientiertes Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden.
- Scholl, A.; Klein, R.; Häselbarth, L. (2004): Planung im Spannungsfeld zwischen Informationsdynamik und zeitlichen Interdependenzen. In: Wirtschaftswissenschaftliches Studium, 33 (3), S. 153-160.
- Schuh, G. (2005): Produktkomplexität managen. Strategien - Methoden - Tools. 2nd Ed., Hanser Verlag, München.
- Shapiro, J. F. (2007): Modeling the supply chain. 2nd Ed., Thomson-Brooks/Cole, Belmont, Kalifornien.
- Supply-Chain Council (2010): Supply-Chain Operations Reference-Model. Version 10.0. Supply-Chain Council, Washington.
- Turner, K.; Williams, G. (2005): Modelling complexity in the automotive industry supply chain. In: Journal of Manufacturing Technology Management, 16 (4), S. 447-458.
- Ulrich, H.; Probst, G. J. B. (1990): Anleitung zum ganzheitlichen Denken und Handeln. Ein Brevier für Führungskräfte. 2nd Ed., Haupt Verlag, Bern.
- Veldhuijzen, R.; Schip, R. (2011): The 2011 Global Supply Chain Agenda. Market and demand volatility drives the need for supply chain visibility. Capgemini Consulting, Utrecht.
- Volling, T. (2009): Auftragsbezogene Planung bei variantenreicher Serienproduktion: Eine Untersuchung mit Fallstudien aus der Automobilindustrie. Gabler Verlag, Wiesbaden.
- Wiendahl, H.-P. (2002): Erfolgsfaktor Logistikqualität. Vorgehen, Methoden und Werkzeuge zur Verbesserung der Logistikleistung. 2nd Ed., Springer Verlag, Berlin.
- Wiendahl, H.-P. (2004): Variantenbeherrschung in der Montage. Konzept und Praxis der flexiblen Produktionsendstufe. Springer Verlag, Berlin.
- Wilms, F. E. P. (2006): Szenariotechnik. Vom Umgang mit der Zukunft. Haupt Verlag, Bern.
- Wulfsberg, J.; Schneider, M. (2005): Neue Methoden zur unscharfen Erfassung variantenbedingter Kosten. In: ZWF 100, S. 331-335.
- Yang, B.; Burns, N. D.; Backhouse, C. J. (2004): Management of uncertainty through postponement. In: International Journal of Production Research 42 (6), S. 1049-1064.
- Ziegenbein, A. (2007): Supply-Chain-Risiken. Identifikation, Bewertung und Steuerung. Dissertation Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Zürich.

Frühwarnsystem – Robuste Logistiksysteme durch Kooperation in Netzwerken

Ralf Elbert

Technische Universität Darmstadt,
Fachgebiet Unternehmensführung & Logistik,
elbert@bwl.tu-darmstadt.de

Jan Tränkner

Technische Universität Darmstadt,
Fachgebiet Unternehmensführung & Logistik,
traenkner@bwl.tu-darmstadt.de

1 Einleitung

Ob Nachfrageeinbrüche bedingt durch die jüngste Wirtschaftskrise, spontanes Anziehen der Nachfrage im Zuge des darauffolgenden Aufschwungs, tagelanges Flugverbot in Europa als Folge des Vulkanausbruchs in Island oder Erdbeben, Tsunamis und Überschwemmungen in Asien und Ozeanien; die letzten Jahre waren geprägt von einer Vielzahl an Ereignissen, die neben den schweren humanitären Folgen auch negative Konsequenzen auf die global vernetzten Wertschöpfungsprozesse hatten.

Gerade für die Logistiksysteme in der globalisierten Wirtschaft stellen solche Störungen große Herausforderungen dar (Harland *et. al.* 2003). Konzepte der bedarfssynchronen Güterbereitstellung und der schlanken Produktion, wie sie heute angewandt werden, erfordern jedoch eine reibungslose Abwicklung der logistischen Prozesse zur Aufrechterhaltung von Beschaffung, Produktion und Distribution (Womack *et. al.* 1990, Svensson 2000, Wagner *et. al.* 2007, Craighead *et. al.* 2007). Jegliche Störung der Prozessabläufe führt zu besonderen Herausforderungen, die bei mangelhafter Berücksichtigung eine negative Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit des Logistiksystems bedingen. Die Konsequenzen gestörter Supply Chains wurden in der wissenschaftlichen Literatur bereits vielfältig behandelt (Christopher *et. al.* 2004, Kleindorfer *et. al.* 2005, Craighead *et. al.* 2007) und Konzepte zur Beherrschung von Unsicherheit entwickelt (Chen *et. al.* 2000). Mit der Forderung nach robusten Logistiksystemen gewinnt die (prognostische) Kenntnis zukünftiger Entwicklungen und die dadurch entstehende Möglichkeit, auf diese in angemessener Art und Weise zu reagieren, an entscheidender Bedeutung. (Xie *et. al.* 2009). Anders als beispielsweise Großkonzerne verfügen kleine und mittlere Unternehmen¹ (KMU) jedoch selten über die Mittel und Möglichkeiten, existierende Prognoseinstrumente wirkungsvoll und zielführend einzusetzen (Xie *et. al.* 2009).

Im Rahmen des von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AIF) „Otto von Guericke“ geförderten Projekts „Instrumente und Methoden zum Management robuster Distributionssysteme“ forscht das Fachgebiet Unternehmensführung und Logistik der Technischen Universität Darmstadt am Aufbau eines auf Kooperation basierenden Frühwarnsystems zur Prognose potentiell negativer Entwicklungen in global vernetzten Logistiksystemen. Insbesondere kleinen und mittleren Unternehmen soll damit ein Instrument gegeben werden, etwaigen Störungen im Logistiksystem frühzeitig und effektiv zu begegnen. Gegenstand der Forschung ist ebenfalls die Erarbeitung von Handlungsempfehlungen, welche neue Wege der Störungsvermeidung durch die Kooperation von Unternehmen aufzeigen sollen.

¹ Als kleines oder mittleres Unternehmen (KMU) wird ein Unternehmen bezeichnet, welches weniger als 250 Personen beschäftigt und welches entweder einen Jahresumsatz von höchstens 50 Mio. EUR erzielt oder deren Jahresbilanzsumme sich auf höchstens 43 Mio. EUR beläuft. Nicht mit einbezogen werden Kleinstunternehmen mit weniger als 10 Beschäftigten und einem Jahresumsatz bzw. einer Jahresbilanzsumme von weniger als 2 Mio. EUR. (Kommission der Europäischen Gemeinschaften 2003)

Ziel des vorliegenden Beitrags ist es, den aktuellen Forschungsstand des zu erarbeitenden Frühwarnsystems aufzuzeigen und kritisch zu diskutieren. In den folgenden Kapiteln werden dazu der geplante Forschungsablauf sowie erste Ergebnisse präsentiert.

Damit sollen die Fragen beantwortet werden, für welche Klassen von Störfaktoren die Eignung eines Frühwarnsystems zur Prognose zukünftiger Entwicklungen in der weiteren Forschung untersucht und welche notwendigen Schritte zur Ausarbeitung des Frühwarnsystems unternommen werden sollen.

In Kapitel 2 wird zunächst die Definition und Abgrenzung robuster Logistiksysteme vorgenommen werden. Unternehmensnetzwerke als Rahmen und Potential für die Entwicklung und Implementierung robuster Logistiksysteme werden vorgestellt. Der letzte Abschnitt des Kapitels stellt schließlich das Forschungsvorhaben vor und gibt einen Überblick über den angestrebten Forschungsverlauf.

Kapitel 3 stellt verschiedene Möglichkeiten der Klassifizierung von Störfaktoren vor, welche als Ursache von Supply Chain Störungen im Fokus des Forschungsprojektes stehen. Es wird aufgezeigt, welche Klassen von Störfaktoren für die Entwicklung des Frühwarnsystems herangezogen werden sollen und somit den Funktionsumfang des Systems mit bestimmen.

In Kapitel 4 wird die Methodik zur Entwicklung des Frühwarnsystems dargelegt und eine Übersicht über mögliche Einsatzszenarien und die Vorteile des kooperativen Ansatzes sowohl in Aufbau als auch Betrieb des Systems gegeben. Kapitel 5 gibt eine Zusammenfassung des aktuellen Projektstandes und einen Ausblick auf zukünftige Schritte.

2 Robuste Logistiksysteme durch Kooperation in Netzwerken

2.1 Robuste Logistiksysteme

Unter Robustheit im Sinne der vorliegenden Veröffentlichung soll die Fähigkeit eines Systems verstanden werden, unter dem Einfluss von Störungen weiterhin innerhalb gesetzter Grenzparameter zu funktionieren. Die Robustheit sichert weiterbestehende Funktionsfähigkeit des Systems ohne korrigierenden Eingriff (Conboy et. al. 2004); der Sollzustand wird dabei nicht verlassen. Dem gegenüber steht die Agilität, welche durch gezielte Änderung von Systemprozessen eine schnelle und flexible Reaktion auf veränderte Rahmenbedingungen ermöglicht (Prater et. al., 2001). Robuste Systeme sind demnach in ihrer Art proaktiv, agile Systeme hingegen reaktiv. Der Aufbau eines robusten Systems zielt entsprechend auf eine Risikovermeidung und/oder Risikoreduzierung ab.

Nach Pfohl sind Logistiksysteme Systeme, der raumzeitlichen Gütertransformation, welche sich funktional in die Subsysteme der Lagerhaltung, des Transports, der Lagerhäuser, der Verpackung und der Auftragsabwicklung aufteilt (Pfohl 2010). Vor dem Hintergrund der genannten Störungen der globalen Wertschöpfungsketten gewinnt die Gestaltung robuster Logistiksysteme zunehmend an Bedeutung. Dass in der jüngeren Vergangenheit vermehrt und zunehmend heftigere Störungen der Logistik-

ketten zu beobachten sind, lässt sich primär auf zwei Gründe zurückführen. Zum einen führt die globale Verteilung der zur Supply Chain² gehörenden Unternehmen dazu, dass lokale, entfernte Krisen mit einer höheren Wahrscheinlichkeit eines der Unternehmen und damit das Logistiksystem betreffen. Zum anderen bedingt die komplexe, grenz- und kulturüberschreitende Vernetzung der Supply Chains längere und unsichere Transportwege für Güter, Informationen und Finanzströme.

Als Beitrag zu robusten Logistiksystemen wird in der Literatur häufig der Einsatz von redundanten, verlässlichen Ressourcen genannt (Wallenburg et. al. 2010). Das Ziel der Robustheit wird dabei oft in direkter Konkurrenz zur Kostenminimierung gesehen (Yang et. al. 2010). Diese Konkurrenzbetrachtung hält jedoch nur so lange Stand, wie das Logistiksystem von negativen Einflüssen verschont bleibt. Tatsächlich kann ein robust angelegtes Logistiksystem jedoch den Schaden im Störfall erheblich minimieren. Der Grad der Robustheit sollte daher so gewählt werden, dass unter Betrachtung der Störungseintrittswahrscheinlichkeiten und des zu erwartenden Störungsausmaßes insgesamt Kostenvorteile erzielt werden. Für viele KMU stellen der dafür zu bewältigende Konzeptionierungsaufwand und die erforderlichen Investitionen jedoch oft eine schwer zu bewältigende Hürde dar.

2.2 Kooperation in Netzwerken

Allgemein definiert ist ein Netzwerk eine Menge aus Elementen, in der Literatur oft als Knoten bezeichnet, die durch Kanten miteinander verbunden sind (Newman 2003). Entsprechend können miteinander in Beziehung stehende Unternehmen als Netzwerk betrachtet werden. Dabei stellen die Unternehmen die Knoten und Beziehungen die Kanten dar. Im Bereich der Wirtschaftswissenschaften ist seit einiger Zeit ein vermehrtes Interesse an der Erforschung solcher Unternehmensnetzwerke gegeben (Turnbull et. al. 1996, Hakansson et. al. 2002). Der Hauptfokus wurde dabei jedoch auf vertikale Kooperation, wie beispielsweise im Rahmen der Supply Chain, gelegt (Bengtsson et. al. 1999). Mit der Einführung des Clusterbegriffs durch Porter rückte jedoch zusätzlich die horizontale Kooperation in die Betrachtung der betriebswirtschaftlichen Forschung (Porter 1990). Porter definiert Cluster als „[...] geographic concentrations of interconnected companies and institutions in a particular field. Clusters encompass an array of linked industries and other entities important to competition.“ (Porter 1998). Nach Porter führen die Cluster insbesondere zur Steigerung der Produktivität durch höhere Skalenerträge, zu Innovationen zugunsten zukünftigen Wachstums und zur Förderung von Unternehmensneugründungen. In Hinblick auf die Systemrobustheit lassen sich durch die Bildung von Unternehmensnetzwerken zwei primäre Vorteile erzielen. So erlauben die bereits angeführten Skaleneffekte einen eminent höheren Handlungsraum im Vergleich zur Aktionsbasis des Einzelunternehmens (Porter 1998), so dass Cluster insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen eine interessante

² Nach Christopher ist eine Supply Chain „[...] a network of organizations that are involved through upstream and downstream linkages [...] that produce values [...]“ (Christopher 1998).

Kooperationsform darstellen. Dabei beschränken sich diese jedoch nicht nur auf Effizienzsteigerungen im Bereich der Produktion und der Gewährung günstigerer Einkaufsbedingungen, sondern erhöhen ebenfalls die Wahrnehmung und Verhandlungsmacht gegenüber dem Staat, fördern den gemeinsamen Aufbau einer soliden Infrastruktur und bieten durch die höhere Anzahl an Informationsquellen mächtigere Möglichkeiten der Informationsgewinnung und Verarbeitung. Des Weiteren führt die Kooperation der Unternehmen dazu, dass Variablen, welche sich bisher außerhalb des Einflussrahmens eines Einzelunternehmens befinden – Kontextvariablen genannt –, zu im Rahmen der Kooperation gestaltbaren Variablen (Gestaltungsvariablen) werden (Elbert et. al. 2008). Beispielsweise erlaubt der gemeinsame Aufbau von Produktionsstätten einen flexiblen Zugriff auf diese Ressourcen und erhöht damit die Möglichkeiten, noch kurzfristig auf veränderte Anforderungen zu reagieren. Ebenso baut die Kooperation im Cluster eine Vertrauensbasis zwischen den beteiligten Unternehmen auf (Humphrey et. al. 1998, Schmitz 1999) und erhöht so die Bereitschaft der Partner zu einer Ausdehnung der Zusammenarbeit. Diese Internalisierung bisher externer Kontextvariablen erlaubt eine weiterführende Einflussnahme auf die Gestaltung der Kooperation und schafft damit Voraussetzungen zur gemeinsamen Planung und Implementierung robuster Logistiksysteme.

2.3 Robuste Logistiksysteme durch Kooperation in Netzwerken

Der Ansatz, durch Kooperationen zwischen Unternehmen einen Beitrag zur Steigerung der Robustheit von Logistiksystemen zu schaffen, wird in der Literatur bereits aufgegriffen (Lee 2004). Dabei wird insbesondere der verbesserte Informationsfluss zwischen den beteiligten Partnern als Hauptvorteil zur Vermeidung von nachfragebedingten Systemschwankungen aufgeführt. Kooperationskonzepte wie Efficient Consumer Response (ECR) sorgen für die Realisierung von Optimierungspotentialen entlang der Wertschöpfungskette. Die enge Kooperation zwischen den beteiligten Unternehmen resultiert in einem effizienteren Datenaustausch. So kann das im Rahmen des Efficient Consumer Response eingesetzte Vendor Managed Inventory (VMI) Beiträge zur Steigerung der Systemrobustheit liefern (Disney 2002). In diesem Konzept, in dem der Lieferant die Verantwortung für die Bestände beim Kunden übernimmt, werden dem Lieferant die aktuellen Lagerbestands- und Verkaufsdaten des Kunden übermittelt (Specht et. al. 2005). Die Datenübertragung erlaubt dem Lieferanten, schneller und genauer auf Nachfrageschwankungen zu reagieren und die Robustheit seiner Distribution zu verbessern.

In eine andere Richtung geht das von uns vorangetriebene Forschungsvorhaben „Management robuster Distributionssysteme“, dessen Ziel es ist, ein Managementkonzept für Kooperationen zwischen kleinen und mittleren Unternehmen in komplexen Distributionssystemen zu entwickeln. Gegenstand der aktuellen Forschung im genannten Vorhaben ist die Möglichkeit des Aufbaus eines Frühwarnsystems zur rechtzeitigen Erkennung Supply Chain relevanter Entwicklungen und der Vorgabe von Handlungsempfehlungen für die unternehmerische Praxis zur Steigerung der Systemrobustheit.

3 Störfaktoren und Störungen

3.1 Definitionen

Die Entwicklung eines Frühwarnsystems bedarf der Analyse, welche Störungen auf das Logistiksystem einwirken können und wodurch diese verursacht werden. So kann eine Bewusstheit und eine Auswahl der vom Warnsystem zu erkennenden Einflussgrößen geschaffen werden. Die komplexe und mitunter von starker Abhängigkeit geprägte Vernetzung der Unternehmen in Supply Chains erfordert in Konsequenz auch eine Supply Chain-weite Analyse möglicher Störfaktoren. Bevor die Begriffe Störfaktor und Störung im Kontext der Supply Chain definiert werden, soll zuerst eine Betrachtung des Begriffs des Supply Chain-Risikos stattfinden. Unter „Risiko“ finden sich in der wissenschaftlichen Literatur zwei unterschiedliche Verwendungen. So wird darunter zum einen die mögliche Abweichung von einem vorgegeben Zielwert verstanden und umfasst dementsprechend Ereignisse mit sowohl positiven als auch negativen Konsequenzen (Jüttner et. al. 2003). Oft gebraucht wird jedoch auch die Definition, wonach Risiko im Einklang mit dem allgemeinen Sprachgebrauch lediglich die Gefahr von Abweichungen mit negativen Auswirkungen einbezieht (Zsidisin, 2003; Wagner et. al, 2008). Letzterer Gebrauch soll auch im Folgenden Verwendung finden. Risikoquellen sind demnach die Herkunftsorte bzw. Ursprünge des jeweiligen Risikos.

Die Störung einer Supply Chain definiert sich als die eingetretene Abweichung, welche zumindest kurzfristig negative Konsequenzen auf die an der Supply Chain beteiligten Unternehmen oder die Funktionalität der Supply Chain hat (Svensson, 2000) und stellt damit ein realisiertes Risiko dar. Dabei soll es für die nachfolgende Betrachtung unerheblich sein, ob die langfristigen Konsequenzen auf übergeordneter Sicht positiv sind. So kann beispielsweise ein spontanes Anziehen der Kundennachfrage als Störung betrachtet werden, wenn dies eine mit negativen Auswirkungen verbundene Überlastung der logistischen (Teil-)systeme zur Folge hat. Als Supply Chain-Störfaktoren sind solche Einwirkungen auf die Supply Chain bezeichnet, die Störungen verursachen. Wird in diesem Beitrag von Risiko(-quellen), Störungen oder Störfaktoren gesprochen, so ist dies immer im Kontext der Supply Chain zu verstehen.

Im Folgenden soll kurz die Methodik zur Erfassung von Störfaktoren aufgezeigt und eine kurze Übersicht über bereits erfasste Störfaktoren gegeben werden. Im Anschluss wird dargestellt, welche Störfaktorklassen sich zur Prognose durch das angestrebte Frühwarnsystem eignen und damit den Gegenstand der weiteren Untersuchungen darstellen.

3.2 Methodik zur Erfassung von Störfaktoren

Die Komplexität der heutigen Supply Chains führt zu einer Vielfalt an Störfaktoren, die bedingt durch die unterschiedlichen Ausprägungen der Wertschöpfungsketten einen hohen Grad an Spezifität für die einzelnen Ketten aufweisen. Aus diesem Grund ist es zielführend, die verschiedenen Störfaktoren in generische Klassen einzuteilen und die entstandene Klassifizierung für die weitere Entwicklung des Frühwarnsystems

zu nutzen. Dabei ist sicherzustellen, dass bei der Früherkennung potentieller Entwicklungen eine eindeutige Zuordnung der Indikatoren zu den Klassen und damit eine reliable Messung möglich ist. Außerdem müssen sich in Konsequenz effektive Handlungsempfehlungen für die vorgenommene Klassifizierung aufstellen lassen. Die Klassifizierung soll dabei eine eindeutige Zuordnung der zu klassifizierenden Elemente in schnittmengenfreie Teilmengen gewährleisten. Nach Marradi wird eine Gruppierung nach wahrgenommener Ähnlichkeit als extensionale Klassifizierung bezeichnet, während die Unterteilung eines „Konzepts“ in mehrere untergeordnete, sich in einem Merkmal unterscheidende Gruppen als intensionale Klassifizierung benannt wird (Marradi, 1990). Ein Klassifikationsschema stellt nach Marradi eine monokriterielle extensionale oder intensionale Klassifizierung dar. Werden monokriterielle Klassifizierungen in mehreren Stufen hintereinander ausgeführt, so erhält man eine Taxonomie. Wird jedoch in einer Stufe nach mehreren Merkmalen unterschieden (multikriterielle Klassifizierung), resultiert dies in einer Typologie.

Die nachfolgend vorgestellten Klassifizierungen von Supply Chain-Störfaktoren dienen einer Grundausrichtung des zu entwickelnden Frühwarnsystems. Die Eignung der dargelegten Klassen zur eindeutigen, voneinander unabhängigen Prognose, sowie zur Erstellung von konkreten Handlungsempfehlungen ist noch zu prüfen.

3.3 Störfaktoren und Störungen

In der wissenschaftlichen Literatur finden sich verschiedene, für unterschiedliche Zwecke erstellte Klassifikationen von Supply Chain Störungen, Störfaktoren und Risiken (Mitroff *et. al.* 2003, Wagner *et. al.* 2008, Neiger *et. al.* 2009, Oke *et. al.* 2009, Rao *et. al.* 2009, Vakharia *et. al.* 2009, Christopher *et. al.* 2011). Dabei lässt die enge Interdependenz der Begriffe auch die Verwendung einer Klassifizierung für Risiken oder Störungen für Störfaktoren zu, beispielsweise, wenn man Störfaktoren nach Auswirkung (also der Störung) oder nach Risiko klassifiziert. Ein von Wagner und Bode vorgestelltes intensionales Klassifizierungsschema unterscheidet dabei Supply Chain Risikoquellen in beschaffungsseitige, absatzseitige, rechtlich / regulatorisch / bürokratische, infrastrukturelle sowie katastrophale Risikoquellen (Wagner *et. al.* 2008). Beschaffungsseitige Risikoquellen schließen dabei solche Störfaktoren ein, die sich auf der Lieferantenseite der Supply Chain des betrachteten Unternehmens finden. So kann beispielsweise eine Ressourcenknappheit bei benötigten Rohmaterialien ebenso zu einer schwerwiegenden Störung führen, wie mangelhafte Einkaufsteile oder starke Preisschwankungen. Dem entgegen stehen die absatzseitigen Risikoquellen, welche sich kundenseitig durch beispielsweise Schwankungen in der Endverbrauchernachfrage oder Störungen im Distributionssystem manifestieren. Der Bereich der rechtlichen, regulatorischen und bürokratischen Risikoquellen beinhaltet nach Wagner das Risiko Durchsetzbarkeit und Durchführbarkeit Supply Chain relevanter Gesetze und Regelungen, wie etwa Handelsbeschränkungen. Die infrastrukturellen Risikoquellen umfassen sämtliche aus der vom Unternehmen eingesetzten Technologie und genutzten Infrastruktur entstehenden Quellen für Risiko, während Katastrophen die Quellen überregionaler, schwerwiegender Störungen der Prozesse darstellen (Brindley 2004).

Da die von Wagner vorgestellte Klassifizierung keine Risiken umfasst, die sich aus dem Agieren der Wettbewerber am Markt ergeben, soll nachfolgend die zusätzliche Klasse „Wettbewerb“ eingeführt werden. Der Wettbewerb als Risikoquelle beinhaltet sämtliche Störungen, die von anderen, den Wettbewerb beeinflussenden Unternehmen ausgehen bzw. diese beteiligen. Entsprechend stellen eine Verschiebung der Marktanteile (beispielsweise Verdrängung durch Wettbewerb), ein von Wettbewerbern ausgehender Preisdruck oder Industriespionage wettbewerbsbedingte Risikoquellen dar. Außerdem wurden für die weitere Betrachtung im Forschungsprojekt Störfaktoren wie etwa Streiks im Rahmen von Arbeitskämpfmaßnahmen anders als Wagner der rechtlich, regulatorisch und bürokratischen Klasse und nicht der infrastrukturellen Klasse zugeordnet.

Abbildung 1 stellt die verschiedenen Klassen der Risikoquellen in Bezug auf die Supply Chain dar. Ebenfalls aufgeführt sind die Supply Chain Stakeholder als Beispiel für konkrete Risikoquellen in den jeweiligen Klassen.

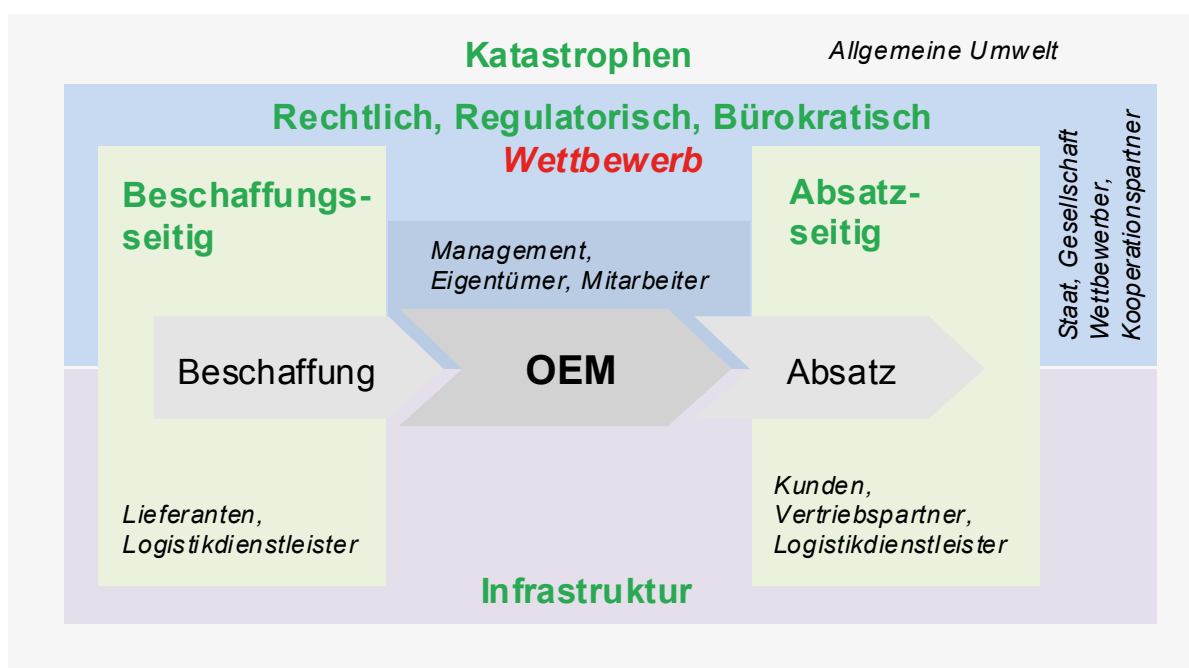


Abbildung 1: Risikoquellen in Bezug auf die Supply Chain

Eine extensionale Klassifizierung der Störungen nach Art wird von Mitroff et. al. gegeben (Mitroff et. al. 2003), der diese in normale („normal“), anormale („abnormal“) und naturbedingte („natural“) Störungen unterteilt. Dabei stellen „normale“ Störungen solche dar, die unbeabsichtigt und unvermeidbar auf Grund der Systemkomplexität entstehen, während „anomale“ Störungen durch einen beabsichtigten und gezielt störenden Eingriff hervorgerufen werden. Naturbedingte Störungen resultieren aus unvermeidbaren externen Natureinflüssen, wie beispielsweise Feuer oder Erdbeben (Mitroff et. al. 2003).

Beide vorgestellten Klassifizierungen werden in Tabelle 1 unter Nennung einzelnen Störfaktoren und möglicher in Konsequenz eintretender Störungen zu einer zweiseitigen

mensionalen Typologie kombiniert und stellen die Grundlage für die Ausrichtung des Frühwarnsystems dar, welches im nächsten Abschnitt weiter spezifiziert wird.

Quelle	Art		
	Normal	Anomal	Naturbedingt
Absatzseitig	Rezession, Aktiencrash, ...	Imagebeschädigung, ...	Feuer, Vulkanausbruch, ... in den Absatzwegen
Führt zu Peitschenhiebeffekt, Absatzproblemen			
Beschaffungsseitig	Produktfehler, Kapazitätsengpässe, Preisschwankungen, ...	Produktfälschungen, ...	Feuer, Vulkanausbruch, ... in den Beschaffungswegen
Führt zu Versorgungsengpässen, Produktionsstillstand			
Rechtlich, Bürokratisch, Regulatorisch	Regularien und Gesetze, Streiks, Mitarbeiterkündigung, ...	Regierungsumbrüche, Krieg, ...	
Führt zu lokal verringertem Handlungsspielraum			
Infrastruktur	Industrieunfälle, Stromausfall, ...	Lokale Terrorakte, Manipulationen, ...	
Führt zu Produktionszusammenbruch			
Wettbewerb	Änderung der Marktanteile, Preiskampf, ...	Sabotageakte, Industriespionage, ...	
Führt zu Strategie-Fehlanpassung			
Katastrophen		Global Terrorakte, ...	Großflächige Naturkatastrophen (Erdbeben, Tsunami, ...)
Führt zu Supply Chain-Zusammenbruch			

† Klassifikation von Störfaktoren nach Mitroff et. al. 2003

‡ Klassifikation von Supply Chain Risiko nach Wagner et. al. 2008

Tabelle 1: Störfaktoren nach Art und Quelle

3.4 Vermeidung von Störungen durch Kooperation

Die im vorangegangenen Abschnitt gewählte Darstellung der Störfaktoren als Matrix lässt eine spezifische Betrachtung möglicher Lösungsansätze zur Störungsvermeidung und damit Steigerung der Systemrobustheit in Abhängigkeit der Art und Quelle zu. Dabei sollen die Klassen identifiziert werden, die durch das angestrebte Frühwarnsystem abgedeckt, d.h. prognostiziert werden können. Naturbedingte Störungen wie Erdbeben, Feuer oder Überschwemmungen sind typischerweise nicht vorhersehbar oder die Vorhersage liegt im Bereich anderer Wissenschaftsdisziplinen (z.B. Geologie), so dass diese nicht in den Kontext des Frühwarnsystems fallen. Ebenfalls sprengt die Untersuchung der Prognosemöglichkeit globaler Katastrophen den für das Frühwarnsystem gesetzten Rahmen. In Konsequenz wird die Arbeitsthese aufgestellt, dass für abtatschseitig, beschaffungsseitig, infrastrukturell, rechtlich/regulatorisch/bürokratisch und durch den Wettbewerb bedingt entstehende, normale und anomale Störungen ein Frühwarnsystem zur frühzeitigen Erkennung potentiell negativer Entwicklungen aufgestellt und Handlungsempfehlungen zur Abmilderung der potentiell negativen Entwicklung gegeben werden können.

Aus der gegebenen Arbeitsthese lässt sich das in Abbildung 2 dargestellte Hypothesenkonstrukt ableiten, welches die erarbeitete Klassifizierung der Störfaktoren mit der Prognose im Rahmen des Frühwarnsystems, der Steigerung der Systemrobustheit und der Kooperation zwischen den Unternehmen in Verbindung bringt.

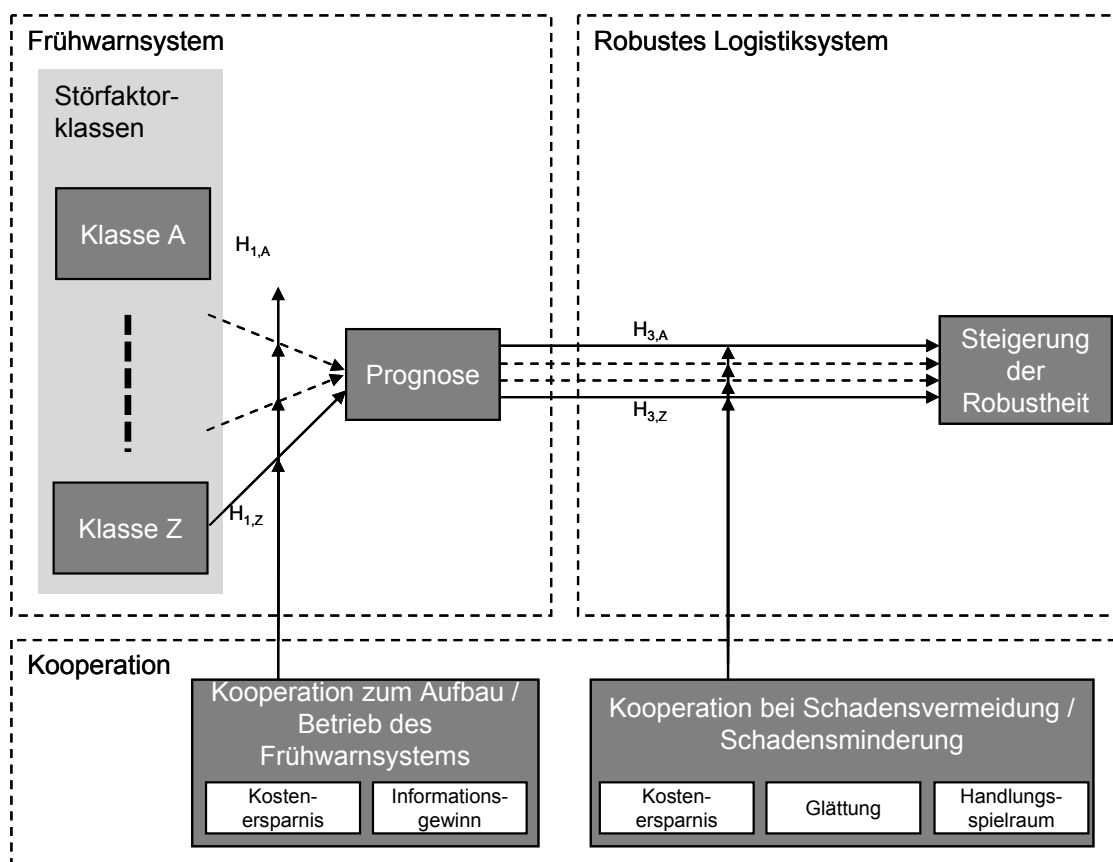


Abbildung 2: Hypothesenkonstrukt im Forschungsprojekt

Zu dem in Abbildung 2 dargestellten Konstrukt lassen sich die folgenden Hypothesen formulieren, die im Rahmen des Forschungsprojektes getestet werden sollen:

- H_{1,A-Z}** Für die folgenden Klassen der Störfaktoren (nach Quelle: bedarfsseitig, absatzseitig, infrastrukturell, rechtlich/regulatorisch/bürokratisch, Wettbewerb und nach Art: normal und anomale) lassen sich Indikatoren identifizieren, mit denen eine objektive, valide und reliable Prognose möglicher Störungen rechtzeitig und in wirtschaftlich vertretbarem Aufwand möglich ist.
- H₂** Durch die Kooperation mehrerer Unternehmen lassen sich bedingt durch Kostenersparnis und Informationsgewinn günstigere, genauere und oder frühzeitigere Prognoseergebnisse erzielen.
- H_{3,A-Z}** Die Kenntnis der Prognose für eine Störfaktorklasse ermöglicht den beteiligten Unternehmen, Maßnahmen zur Schadensvermeidung oder -minderung zu ergreifen, wodurch sich die Robustheit des Logistiksystems steigern lässt.
- H₄** Durch die Kooperation mehrerer Unternehmen lassen sich bedingt durch Kostenersparnis, Glättungseffekte und Internalisierung externer Variablen (höherer Handlungsspielraum) effektivere Maßnahmen der Schadensvermeidung oder -minderung umsetzen, welche im Vergleich zur Nicht-Kooperation die Robustheit des Logistiksystems weiter steigern.

Die einzelnen Hypothesen sollen im Forschungsprojekt durch empirische Untersuchungen wie Experteninterviews und großzahlige Erhebungen getestet werden. Im folgenden Kapitel wird das Frühwarnsystem, welches die Hypothesen H₁ und H₂ stützt, genauer beschrieben.

4 Frühwarnsystem

4.1 Methodik zur Erarbeitung des Frühwarnsystems

Aus dem bereits vorgestellten Ziel des Frühwarnsystems, anhand von entwickelten Indikatoren belastbare Aussagen über zukünftige Entwicklungen in Bezug auf Supply Chain Störungen ableiten zu können und durch diese in Kombination mit konkreten Handlungsoptionen einen konkreten Beitrag zur Steigerung der Robustheit in den Distributionsnetzwerken kleiner und mittelständischer Unternehmen zu schaffen, lassen sich mehrere Aufgaben ableiten. So muss das System in der Lage sein, die Entstehung von Störfaktoren in einem frühen Stadium zu erkennen und deren weitere Entwicklung zu prognostizieren. Weiterhin muss der Grad der Auswirkung der erkannten Faktoren und damit das Ausmaß der entstehenden Störung abgeschätzt werden können. Außerdem sollen die abgeleiteten Handlungsempfehlungen in Hinblick auf Ihre Effektivität bei der Störungsvermeidung evaluiert werden können.

Bestehend auf der vorgestellten Klassifikation der Störfaktoren werden durch die Aufarbeitung des bisherigen Forschungsstandes Indikatoren für die einzelnen Störfaktorklassen identifiziert.

Unter einem Indikator ist dabei eine für das System messbare Variable zu verstehen, die auf Grund ihrer Ausprägung und/oder zeitlichen Veränderung Rückschlüsse auf

die zu ermittelnde Entwicklung der Störfaktoren zulassen kann. Mögliche Indikatoren, die sich zur Prognose im Rahmen des Frühwarnsystems eignen, finden sich in unterschiedlichen Quellen. So kann es sich dabei um erfasste Expertenmeinungen, großzahlige Befragungen möglicher Anspruchsgruppen (z.B. Konsumentenbefragung), Entwicklungsdaten aus der Wirtschaft oder politische und regulatorische Maßnahmen handeln. Die Ermittlung möglicher Indikatoren wird dabei in erster Stufe durch die Recherche des aktuellen Forschungsstandes vorgenommen, durch deduktive Ableitung aus der Störfaktorklassifizierung ergänzt und durch eine Expertenbefragung validiert. Weiterhin kommt bei der Identifikation von Indikatoren aus Datenquellen (beispielsweise Handelsdaten) die Analyse von Vergangenheitsdaten in Betracht. Beispiele finden sich insbesondere bei den in der Literatur behandelten Frühwarnsystemen für Finanzmärkte (Koyuncugil 2009).

An die zu findenden Indikatoren lassen sich folgende Ansprüche stellen:

- Die Indikatoren müssen die zu prognostizierenden Ereignisse valide und reliabel bestimmen. Die Wahrscheinlichkeit der Nichterkennung von bevorstehenden Störungen ist dabei ebenso zu minimieren wie die Wahrscheinlichkeit, Indikationen auf eine Störung zu erhalten, obwohl keine folgt. Entscheidend für die Indikatoren ist dabei nicht der Kausalzusammenhang zu den zu prognostizierenden Ereignissen, sondern lediglich eine hohe Korrelation.
- Indikatoren müssen mit einem wirtschaftlich vertretbaren Aufwand zu beobachten sein. Damit das Frühwarnsystem in einer Gesamtkostenbetrachtung rentabel ist, müssen die Aufbau- und Betriebskosten geringer oder gleich dem Erwartungswert der eingesparten Kosten durch die realisierte Störungsvermeidung oder -minderung sein (betrachtet über die komplette Betriebsdauer des Systems und jeweils auf den Gegenwartswert abgezinst).
- Indikatoren müssen so früh zu beobachten sein, dass eine Reaktion zur Vermeidung oder Verminderung der Störung noch möglich ist. Da mit einiger Sicherheit behauptet werden kann, dass der Erfolg der Störungsvermeidungsmaßnahmen von der Länge der Vorlaufzeit abhängt, bildet die Anforderung nach früh aufzeigenden Indikatoren neben einer Grundvoraussetzung für die Zielerreichung des Systems auch deutlichen Einfluss auf die bereits angeführte Wirtschaftlichkeit. Weiterhin können Vorteile gegenüber den Wettbewerbern erzielt werden, wenn durch das Frühwarnsystem potentielle Störungen vor den Wettbewerbern erkannt werden können.

Angestrebt ist die Erarbeitung mehrerer Indikatoren je zu prognostizierender Störfaktorklasse.

In Abhängigkeit der einzelnen Indikatoren sind aussagekräftige Skalen für diese zu entwickeln. Ist die Störfaktorklasse sehr konkret, mag die Angabe der Wahrscheinlichkeit einer eintretenden Störung, innerhalb zu definierender Toleranzen, bereits ein brauchbares Prognoseergebnis darstellen, während bei einer wenig detaillierten Klassifizierung wie in Kapitel 3 dargestellt spezifischere Aussagen getroffen werden müssen, um zielführende Handlungsempfehlungen ableiten zu können. Für die einzelnen,

zu einer Störfaktorklasse gehörenden Indikatoren muss eine Verrechnungsregelung angegeben werden, anhand derer die klassenweite Prognose aufgestellt werden kann. Beispielsweise könnte dafür eine Mindestanzahl an aufzeigenden Indikatoren bestimmt werden. Die Bestimmung der Verrechnungsregel erfolgt wie die Bestimmung der einzelnen Indikatoren auch durch die Analyse und Mustererkennung der Vergangenheitsdaten sowie durch die Datenerhebung im Rahmen von Experteninterviews.

4.2 *Frühwarnsystem durch Kooperation für robuste Logistiksysteme*

Die Vorteile, das aufgeführte Frühwarnsystem als Kooperation zwischen mehreren Unternehmen aufzubauen, lassen sich in drei Bereiche gliedern.

Zum einen führt die Kooperation zu einer Teilung der Investitions- und Betriebskosten des Frühwarnsystems zwischen den Partnern, so dass auch weniger finanzkräftige Unternehmen in der Lage sind, aus den Ergebnissen des Frühwarnsystems zu profitieren. Dabei lassen sich die Kosten für die einzelnen Beteiligten umso stärker senken, je deckungsgleicher die produkt- und branchenbezogenen Anforderungen an das Frühwarnsystem sind. Des Weiteren bietet das Netzwerk eine höhere Datenbasis, welche von dem Frühwarnsystem ausgewertet werden kann. So können die Einzelunternehmen in Summe nicht nur eine größere Anzahl an Datensätzen liefern, sondern erlauben durch unterschiedliche Geschäftsausrichtung auch eine bessere Streuung über Branchen, Kundentypen oder Regionen. Als wichtigster Vorteil ist jedoch der größere Handlungsspielraum bei den Handlungsempfehlungen zu sehen. So können die Unternehmen beispielsweise clustereigene Warenlager aufbauen, in welchen sich die Auslastung und damit die Disposition durch die Ergebnisse des Frühwarnsystems planen lassen. Die Nutzung der Lagerflächen durch die Unternehmen kann anhand der Prognoseergebnisse festgelegt und durch den Ausgleich über die Unternehmen eine gleichmäßigere Auslastung realisiert werden. Auch bei Fremdvergabe der Lagerdienstleistungen und auch des Transports können durch genauere Kenntnis der zu erwartenden clusterweit verursachten Güterflüsse und bedingt dadurch deren Koordination Einkaufsvorteile erzielen.

5 **Zusammenfassung und Ausblick**

In diesem Beitrag wurden das Vorgehen im Rahmen des Forschungsprojekts sowie erste Ergebnisse präsentiert. Mögliche Störfaktoren für Supply Chains wurden in einer zweidimensionalen Typologie dargestellt und argumentiert, welche der darin enthaltenen Klassen genauer auf die Eignung zur Früherkennung von potentiell negativen Entwicklungen untersucht werden sollen. Für die weitere Forschung wurde ein Hypothesenkonstrukt aufgestellt.

Die Schritte zur Entwicklung eines auf Kooperation basierenden Frühwarnsystems wurden hervorgehoben. Dabei wurde das methodische Vorgehen jedoch an der Oberfläche aufgegriffen, da die Wahl der einzelnen geeigneten Methoden im aktuellen Projektstadium noch nicht gefallen ist. Es ist daher Aufgabe für die weitere Forschung, die Methodik zur Erarbeitung des Frühwarnsystems detailliert auszuarbeiten und ins-

besondere die anzuwendenden Modelle und statistischen Methoden zu erarbeitet bzw. auszuwählen.

Der jeweils aktuelle Stand des Projekts soll in regelmäßigen Abständen durch einen projektbegleitenden Expertenausschuss aus Vertretern der unternehmerischen Praxis evaluiert und die angestrebten Ergebnisse auf ihre Praxistauglichkeit hin geprüft werden. Die Forschungsergebnisse sollen durch Veröffentlichungen in Fachzeitschriften sowohl der Wissenschaft als auch der Praxis kommuniziert werden.

Neben dem funktionalen Aufbau des Systems soll weiterhin untersucht werden, wie das System organisatorisch von einer Kooperation aus Unternehmen aufgebaut und betrieben werden kann. Ebenfalls soll das System auf seine Kombinationsfähigkeit mit anderen Prognoseinstrumenten im Kontext der Supply Chain betrachtet werden. Darunter fällt auch der Frage, in wieweit das Frühwarnsystem sinnvoll von den Unternehmen betrieben kann, wenn sich die Kooperation nicht über die komplette Supply Chain erstreckt bzw. welchen Einfluss der Grad der vertikalen Kooperation auf die Zuverlässigkeit des Frühwarnsystems hat.

6 Literaturverzeichnis

- Amann, Markus; Vahrenkamp, Richard (Hg.) (2007): Risikomanagement in Supply Chains. Gefahren abwehren, Chancen nutzen, Erfolg generieren. Berlin: E. Schmidt.
- Bengtsson, Maria; Kock, Sören (1999): Cooperation and competition in relationships between Cooperation and competition in relationships between competitors in business networks. In: *Journal of Business & Industrial Marketing* 14 (3), S. 178–193.
- Brindley, Clare (2004): *Supply chain risk*. Aldershot, Hampshire, England; Burlington, VT: Ashgate.
- Christopher, Martin (1998): *Logistics and supply chain management. Strategies for reducing costs and improving services*. 2. edition. London: Pitman.
- Christopher, M.; Peck, H. (2004): Building the resilient supply chain. In: *International Journal of Logistics Management* 15 (2), S. 1-13.
- Christopher, Martin; Mena, Carlos; Khan, Omera; Yurt, Ozgur (2011): Approaches to managing global sourcing risk. In: *Supply Chain Management: An International Journal* 16 (2), S. 67–81.
- Conboy, Kieran; Fitzgerald, Brian (2004): Toward a Conceptual Framework of Agile Methods. In: Carmen Zannier, Hakan Erdogmus und Lowell Lindstrom (Hg.): *Extreme Programming and Agile Methods*. XP/Agile Universe. 4th Conference on Extreme Programming and Agile Methods. Calgary, Canada, S. 105–116.
- Craighead, C.; Blackhurst, J.; Rungtusanatham, M.; Handfield, R. (2007): The Severity of Supply Chain Disruptions: Design Characteristics and Mitigation Capabilities. In: *Decision Sciences* 38 (1), S. 131-156.
- Disney, S. M.; Towill, D. R. (2002): A discrete transfer function model to determine the dynamic stability of a vendor managed inventory supply chain. In: *Int. J. of Prodn. Res* 40 (1), S. 179–204.
- Elbert, Ralf; Schönberger, Robert; Müller, Fabian (2008): Regionale Gestaltungsfelder für robuste und sichere globale Logistiksysteme. Strategien zur Vermeidung, Reduzierung und Beherrschung von Risiken. In: H.-Chr Pfohl und T. Wimmer (Hg.): *Wissenschaft und Praxis im Dialog. Robuste und sichere Logistiksysteme*. Hamburg, S. 294–322.
- Hakansson, Hakan; Ford, David (2002): How should companies interact in business networks? In: *Journal of Business Research* 55, S. 133–139.
- Harland, C.; Brenchley, R.; Walker, H. (2003): Risk in supply networks. In: *Journal of Purchasing and Supply Management* 9 (2), S. 51-62.

- Humphrey, John; Schmitz, Hubert (1998): Trust and inter-firm relations in developing and transition economies. In: *Journal of Development Studies* 34 (4), S. 32–61.
- Jüttner, Uta; Peck, Helen; Christopher, Martin (2003): Supply chain risk management. Outlining an agenda for future research. In: *International Journal of Logistics: Research & Applications* 6 (4), S. 197–210.
- Kleindorfer, Paul; Saad, Germaine (2005): Managing Disruption Risks in Supply Chains. In: *Production and Operations Management* 14 (1), S. 53–68.
- Kommission der Europäischen Gemeinschaften (2003): Empfehlung der Kommission vom 6. Mai 2003 betreffend die Definition der Kleinstunternehmen sowie der kleinen und mittleren Unternehmen. In: *Amtsblatt der Europäischen Union* L 124 / 36
- Koyuncugil, Ali Serhan; Ozgulbas, Nermin (2009): Early Warning System for SMEs as a Financial Risk Detector. In: Hakikur Rahman (Hg.): *Data mining applications for empowering knowledge societies*. Hershey, PA: Information Science Reference, S. 221–240.
- Lee, Hau L. (2004): The Triple-A Supply Chain. In: *Harvard Business Review* Oktober 2004.
- Marradi, Alberto (1990): Classification, typology, taxonomy. In: *Qual Quant* 24 (2), S. 129–157.
- Mitroff, Ian I.; Alpaslan, Murat C. (2003): Preparing for Evil. In: *Harvard Business Review* (April 2003).
- Neiger, Dina; Rotaru, Kristian; Churilov, Leonid (2009): Supply chain risk identification with value-focused process engineering. In: *Journal of Operations Management* 27 (2), S. 154–168.
- Newman, M. E. J. (2003): The Structure and Function of Complex Networks. In: *SIAM Review* 45 (2), S. 167–256.
- Oke, Adegoke; Gopalakrishnan, Mohan (2009): Managing disruptions in supply chains: A case study of a retail supply chain. In: *International Journal of Production Economics* 118 (1), S. 168–174.
- Pfohl, Hans-Christian (2010): *Logistiksysteme. Betriebswirtschaftliche Grundlagen*. 8., neu bearbeitete und aktualisierte Aufl. Heidelberg: Springer.
- Pfohl, H.-Chr.; Wimmer, T. (Hg.) (2008): *Wissenschaft und Praxis im Dialog. Robuste und sichere Logistiksysteme*. Hamburg.
- Porter, Michael E. (1990): *The Competitive Advantage of Nations*. In: The Free Press, New York, 1990.
- Porter, Michael E. (1998): Clusters and the New Economics of Competition. In: *Harvard Business Review* (November-December 1998)
- Prater, Edmund; Biehl, Markus; Smith, Michael Alan (2001): International supply chain agility. Tradeoffs between flexibility and uncertainty. In: *International Journal of Operations & Production Management* 21 (5/6), S. 823–839.
- Rahman, Hakikur (Hg.) (2009): *Data mining applications for empowering knowledge societies*. Hershey, PA: Information Science Reference.
- Rao, Shashank; Goldsby, Thomas J. (2009): Supply chain risks: a review and typology. In: *The International Journal of Logistics Management* 20 (1), S. 97–123.
- Schmitz, Hubert (1999): From ascribed to earned trust in exporting clusters. In: *Journal of International Economics* 48 (1), S. 139–150.
- Svensson, Goran (2000): A conceptual framework for the analysis of vulnerability in supply chains. In: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 30 (9), S. 731–749.
- Turnbull, P. Ford D. and Cunningham M. (1996): Interaction, relationships and networks in business markets: an evolving perspective. In: *Journal of Business & Industrial Marketing* 11 (3/4), S. 44–62.
- Vakharia, Asoo J.; Yenipazarli, Arda (2009): *Managing supply chain disruptions*. Boston: Now.
- Wagner, Stephan; Bode, Cristoph (2007): Hilfe zur Suche Empirische Untersuchung von SC-Risiken und SC-Risikomanagement in Deutschland. In: Markus Amann und Richard Vahrenkamp (Hg.): *Risikomanagement in Supply Chains. Gefahren abwehren, Chancen nutzen, Erfolg generieren*. Berlin: E. Schmidt, S. 59–79.

- Wagner, Stephan; Bode, Cristoph (2008): An empirical examination of supply chain performance along several dimensions of risk. In: *Journal of Business Logistics* 29 (1), S. 307–325.
- Wallenburg, Carl Marcus; Wieland, Andreas (2010): Widerstandsfähige Logistiknetze durch robuste und agile Supply-Chain-Strategien. In: Hanne Wolf-Kluthausen (Hg.): *Jahrbuch der Logistik 2010*. Willich, S. 52–57.
- Wolf-Kluthausen, Hanne (Hg.) (2010): *Jahrbuch der Logistik 2010*. Willich.
- Womack, J.; Jones, D.; Roos, D. (1990): *The Machine that changed the world*. New York: Harper Perennial.
- Xie, K.; Liu, J.; Peng, H.; Peng, H.; Chen, G.; Chen, Y. (2009); Early-warning management of inner logistics risk in SMEs based on label-card system. In: *Production Planning & Control* 20 (4), S. 306-319.
- Yang, Biao; Yang, Ying (2010): Postponement in supply chain risk management. a complexity perspective. In: *International Journal of Production Research* 48 (7), S. 1901–1912.
- Zsidisin, George A. (2003): Managerial Perceptions of Supply Risk. In: *Journal of Supply Chain Management* 39 (1), S. 14–25.



Gerade in wirtschaftlich schwierigen Zeiten gilt es, die Zukunftsfähigkeit von Unternehmen und ganzen Wertschöpfungsketten zu erhalten, indem die Herausforderungen in der Logistik und dem Supply Chain Management aufgegriffen, Chancen herausgearbeitet und konkrete Lösungen ermittelt werden.

Dieser Tagungsband ist Teil einer dreibändigen Reihe, welche die Ergebnisse der Konferenz „Logistikmanagement 2011“ der Wissenschaftlichen Kommission Logistik im Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V. (VHB) dokumentiert, die an der Otto-Friedrich-Universität in Bamberg stattfand. Die ausgewählten Beiträge präsentieren den gegenwärtigen Forschungsstand der betriebswirtschaftlichen Logistik und des Supply Chain Managements. Es werden aktuelle und innovative Konzepte, Theorien und Lösungsansätze in Logistik und Supply Chain Management eindrucksvoll dargestellt.

Das Buch wendet sich an Dozenten und Studenten der Betriebswirtschaftslehre mit den Schwerpunkten Supply Chain Management, Logistik und Operations Management sowie an Praktiker, die in diesen Bereichen tätig sind.

ISBN: 978-3-86309-025-8

ISSN: 2191-2424

Preis: 29,00 Euro