

Logistikmanagement

Herausforderungen, Chancen und Lösungen
Band I

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

LM 11 BAMBERG



UNIVERSITY OF
BAMBERG
PRESS



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 3



University of Bamberg Press 2011

Logistikmanagement

Herausforderungen, Chancen & Lösungen
Band I

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: 978-3-86309-021-0 (Druck-Ausgabe)
eISBN: 978-3-86309-022-7 (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

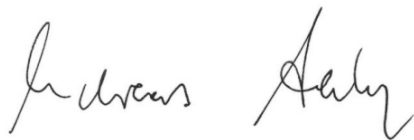
Als Oberbürgermeister freue ich mich sehr, dass die 7. Konferenz Logistikmanagement vom 28. bis 30. September in Bamberg stattfindet. Alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer heiße ich herzlich willkommen in unserer schönen Stadt, die seit 1993 zum UNESCO Welterbe zählt und jährlich rund zwei Millionen Touristen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



A handwritten signature in black ink that reads "Andreas Scheuer". The script is fluid and cursive.

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, Herrn 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 I

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 I) finden sich die Beiträge zu den folgenden Tracks:

- Strategisches Beschaffungsmanagement
- Supplier Management
- Supplier Risk Management
- Inventory Management
- Netzwerkmanagement
- Decision Support, Heuristics and Artificial Intelligence
- Revenue Management in der Logistik
- Technologie und Innovation in der Logistik
- Informationsdienste im Internet der Dinge.

Bamberg im September 2011

Eric Sucky
Björn Asdecker
Alexander Dobhan
Sabine Haas
Jonas Wiese

Inhaltsverzeichnis

Entwicklung eines Ansatzes zur Bewertung von Lieferantenrisiken unter Einsatz des Analytic Network Process (ANP)	1
Sophie Borkenhagen und Rainer Lasch	
Supplier Relationship Management in Performance-based Logistics: Auswirkungen auf die Zuliefererbeziehungen aus Anbietersicht	23
Florian C. Kleemann, Andreas Glas und Michael Eßig	
Rahmenbedingungen für strategische Lieferantenentwicklung	49
Sebastian M. Durst und Eric Sucky	
Management of Supplier Innovation: A Framework for Accessing and Realizing Innovation from Suppliers	85
Stefan Winter und Rainer Lasch	
Competitive Priorities and Business Performance: Toward Purchasing Categories' Contribution to Business Success	105
Markus Amann und Michael Eßig	
Integration von Losgrößenplanung und Tourenplanung zur Nivellierung der Volumenströme in der Automobilindustrie	117
Martin Grunewald, Thomas Volling und Thomas S. Spengler	
Optimale Bestellmengen im Newsvendor-Modell unter Einbeziehung zukünftiger Auswirkungen von Fehlmengen	137
Marko Schneider	
Selektives Produktionspostponement in Mode-Supply-Chains für risikoaverse Entscheidungsträger	151
Michael Oberländer	
Decentralized Multicriteria Decision Making in Collaborative Forwarding of Air Cargo Freight	171
Martin Berger, Christina Erben und Michael Schröder	

Bidding in Combinatorial Transport Auctions	189
Tobias Buer und Herbert Kopfer	
A Genetic Programming Approach for Estimating Opportunity Costs of Stockouts in Logistic Systems	203
Sebastian Langton und Martin J. Geiger	
Simultane Maschinenbelegungs- und Personaleinsatzplanung in KMUs anhand eines Fallbeispiels aus der Druckereibranche	229
Karen Puttkammer, Rainer Kleber, Tobias Schulz und Karl Inderfurth	
A vehicle status approach to rail car fleet sizing with heterogeneous assets	249
Felix Zesch	
Bid-prices forecast in capacity control – Initial quantitative experiments	265
Jörn Schönberger und Herbert Kopfer	
Sensornetzbasiertes Supply Chain Event Management zur Optimierung des innerbetrieblichen Asset Managements am Fraunhofer IIS	281
Sebastian Lempert und Alexander Pflaum	
Erfolgsfaktoren von Logistikdienstleistungsinnovationen	301
Bastian Hornbostel	
Realization of the “Internet of Things” - Towards an Engineering Model for technology-based Supply Chain Information Services	323
Helena Preiß und Alexander Pflaum	

Entwicklung eines Ansatzes zur Bewertung von Lieferantenrisiken unter Einsatz des Analytic Network Process (ANP)

Sophie Borkenhagen

Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insb. Logistik,
Technische Universität Dresden, Münchner Platz 3, 01062 Dresden,
Sophie.Borkenhagen@tu-dresden.de

Rainer Lasch

Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insb. Logistik,
Technische Universität Dresden, Münchner Platz 3, 01062 Dresden,
Rainer.Lasch@tu-dresden.de

Zusammenfassung

Die Leistungsfähigkeit jedes Unternehmens ist aufgrund komplexer Strukturen in Liefernetzwerken von der Zuverlässigkeit der Lieferanten abhängig. Es ist daher unerlässlich, dass Abnehmer über Methoden zur Beurteilung des Risikos ihrer Lieferanten verfügen. Bisherige Ansätze der Risikobewertung beschränken sich in der Regel auf die Lieferantenauswahl. Trotz des Wandels von der transaktionsorientierten zur beziehungsorientierten Zusammenarbeit mit Lieferanten und der damit einhergehenden Notwendigkeit einer kontinuierlichen Betrachtung existieren hierfür nur wenige Vorschläge. Diese berücksichtigen jedoch keinerlei Wechselwirkungen zwischen den von Lieferanten ausgehenden Einzelrisiken. Aufgrund der in der Realität existierenden Abhängigkeiten zwischen Risiken stellt dies ein wesentliches Manko dar. Das Ziel des vorliegenden Beitrags ist es daher, eine Methode für die Bewertung und kontinuierliche Überwachung der relativen Risikoposition bestehender Lieferanten vorzustellen, welche die Wechselwirkungen zwischen einzelnen Lieferantenrisiken explizit einbezieht.

1 Einleitung

Der anhaltende Trend sinkender Wertschöpfungstiefen im produzierenden Gewerbe führt zu einem fortwährend steigenden Anteil an Leistungen, welche von Lieferanten erbracht werden.¹ Da die Leistungsfähigkeit jedes Unternehmens demnach zum Teil von der Zuverlässigkeit der vorgelagerten Wertschöpfungspartner beeinflusst wird², lässt sich schlussfolgern, dass Unternehmen zunehmend anfälliger für die Risiken ihrer Lieferanten werden.³ Entsprechend wächst mit der zunehmenden Vernetzung von Lieferketten auch die Bedeutung des Lieferantenrisikomanagements (LRM).

In der Literatur wurde bereits mehrfach die Bedeutung eines erfolgreichen Risikomanagements (RM) in Lieferketten betont.⁴ Insbesondere Risiken auf der Beschaffungsseite weisen im Vergleich zu unternehmensinternen Risiken oder Absatzrisiken eine große Bedeutung für den Unternehmenserfolg auf.⁵ Ein Teil dieser Beschaffungsrisiken wird mit individuellen Lieferantenrisiken assoziiert.⁶ Die Beurteilung des Risikos von Lieferanten ist daher für eine erfolgreiche Unternehmensführung essentiell. Abnehmer müssen Methoden besitzen, um die Risiken aktueller und potentieller Mitglieder des Beschaffungsnetzwerkes zu bewerten.⁷ Aufgrund der Komplexität dieser Netzwerke ist es zielführend, nicht alle Instanzen abzubilden und auf potentielle Risiken zu überprüfen, sondern die Betrachtung auf direkt vorgelagerte Stufen zu beschränken.⁸ An diesem Punkt setzt das LRM an, welches die von einem direkten Lieferanten ausgehende Gefährdung des Abnehmers zum Gegenstand hat. Aufgrund der Entwicklung von kurzfristigen Transaktionen hin zu langfristigen Lieferanten-Abnehmer-Beziehungen wird in diesem Zusammenhang eine kontinuierliche Überwachung der Lieferantenrisiken immer wichtiger. Eine Herausforderung stellen hierbei die Wechselwirkungen zwischen den Risikotreibern des Lieferantenrisikos dar.

Der Großteil bestehender Ansätze zur Bewertung von Lieferantenrisiken ist auf die Lieferantenauswahl fokussiert und somit zeitpunktorientiert. Es existieren nur wenige zeitraumorientierte Herangehensweisen, die jedoch keinerlei Abhängigkeiten zwischen den Einzelrisiken, welche von Lieferanten ausgehen, beachten. Das Ziel des vorliegenden Beitrags ist es daher, eine Methode zur kontinuierlichen Überwachung der relativen Risikoposition bestehender Lieferanten vorzustellen, welche die Wechselwirkungen zwischen einzelnen Risikokategorien und -treibern berücksichtigt. Diese dient als Basis für die Beeinflussung des von den Lieferanten ausgehenden Risikos mittels

¹ Vgl. Buscher/Wels (2010), S. 125.

² Vgl. Levary (2007), S. 393; Levary (2008), S. 537.

³ Vgl. Lockamy/McCormack (2010), S. 593.

⁴ Vgl. z.B. Faisal et al. (2007), S. 66; Lockamy/McCormack (2010), S. 595.

⁵ Vgl. Wildemann (2006), S. 79; Li/Barnes (2008), S. 253.

⁶ Vgl. Zsdisin (2003a), S. 222; Wildemann (2006), S. 79; Gabath (2010), S. 44.

⁷ Vgl. Lockamy (2011), S. 1.

⁸ Vgl. Jüttner et al. (2003), S. 203.

Lieferantensteuerung in langfristigen Lieferanten-Abnehmer-Beziehungen. Damit wird ein wichtiger Beitrag zur Problematik des Umgangs mit Lieferantenrisiken geleistet.

Im Folgenden wird zunächst das bestehende Defizit im Hinblick auf die Bewertung von Lieferantenrisiken herausgearbeitet. Das darauffolgende Kapitel 3 widmet sich der grundlegenden Methodik des Ansatzes zur Bewertung relativer Risikopositionen von Lieferanten in einem Lieferantenportfolio. In Kapitel 4 wird die Vorgehensweise zur kontinuierlichen Überwachung der Risikoposition von Lieferanten vorgestellt. Der Beitrag schließt mit den sich aus der Methode ergebenden Managementimplikationen sowie einem Ausblick auf den zukünftigen Forschungsbedarf.

2 Lieferantenrisiko und Lieferantenrisikomanagement

2.1 Definition des Lieferantenrisikos

Risiko wird im Allgemeinen als die Wahrscheinlichkeit definiert, dass ein realisiertes Ergebnis von den Erwartungen abweicht.⁹ Diese Abweichung kann sowohl positiver als auch negativer Natur sein. In der Unternehmenspraxis wird mit dem Begriff des Risikos tendenziell das Nicht-Erreichen von gesetzten Zielen assoziiert¹⁰, während die Übererfüllung von Erwartungen mit Chancen gleichgesetzt wird. Im Folgenden wird der Risikobegriff daher nur mit negativen Abweichungen in Verbindung gebracht. Lieferantenrisiken werden somit als Risiken auf der Beschaffungsseite aufgefasst, welche von einem direkten Lieferanten ausgehen und negative Auswirkungen auf die Zielgrößen des Abnehmers haben.¹¹ Das Lieferantenrisiko resultiert dementsprechend aus der Abweichung der realisierten Lieferantenleistung von den Erwartungen des Abnehmers.¹² Die Beurteilung des Lieferantenrisikos sowie der damit verbundenen negativen Auswirkungen hat deshalb immer aus der Perspektive des Abnehmers zu erfolgen.

Das Gesamtrisiko, welches von einem Lieferanten ausgeht, ist aufgrund der Komplexität des Betrachtungsobjektes schwer ermittelbar. Daher ist es notwendig, die einzelnen Bestandteile, welche das Lieferantenrisiko charakterisieren, zu identifizieren. Basierend auf der vorhandenen Literatur zum Supply Chain Risiko und zu Lieferrisiken ergeben sich sieben Kategorien von Lieferantenrisiken, die in endogene und exogene Risiken unterschieden werden (siehe Tab. 1). Diese Differenzierung ist insofern sinnvoll, als dass die endogenen Risiken vom Lieferanten selbst beeinflussbar und somit über Lieferantenmanagementmaßnahmen des Abnehmers steuerbar sind. Exogene Lieferantenrisiken stehen hingegen außerhalb des Einflussbereiches von Abnehmer und Lieferant. Die Zielstellung des Beitrags ist es, einen Ansatz zur kontinuierlichen Überwachung der von direkten Lieferanten ausgehenden Risiken als Basis für die Implementierung von Risikosteuerungsmaßnahmen zu entwickeln. Da sich die in Tab. 1

⁹ Vgl. Spekman/Davis (2004), S. 416.

¹⁰ Vgl. Wagner/Bode (2006), S. 309.

¹¹ Vgl. die Definitionen des Beschaffungsrisikos nach Wu et al. (2006), S. 350 und Zsidisin (2003b), S. 14.

¹² Levary (2007), S. 392; Levary (2008), S. 536.

dargestellten exogenen Risiken der Beeinflussbarkeit durch Abnehmer und Lieferant entziehen, werden im Folgenden nur die endogenen Lieferantenrisiken betrachtet.

	Risikokategorie	Beschreibung
Exogen	Politisches Risiko	Von politischen Entwicklungen ausgehendes Risiko
	Markt- und Umweltrisiko	Vom Beschaffungsmarkt ausgehendes Risiko
Endogen	Preisrisiko	Risiko eines durch den Lieferanten verursachten unvorhergesehenen Preisanstiegs
	Prozessrisiko	Risiko mangelhafter Technologie- und Prozesskenntnisse sowie Innovationsfähigkeit des Lieferanten, die entsprechende Störungen im Beschaffungsprozess hervorrufen
	Imagerisiko	Risiko abnehmerseitiger Imageschäden infolge ökologisch oder sozial unerwünschter Geschäftspraktiken des Lieferanten
	Qualitätsrisiko	Risiko der Bereitstellung qualitativ unzureichender Beschaffungsobjekte durch den Lieferanten
	Lieferrisiko	Risiko unzulänglicher Lieferleistungen des Lieferanten bezüglich Menge und Zeit

Tab. 1: Kategorisierung von Lieferantenrisiken¹³

Aus der Darstellung der Kategorien lässt sich der multikriterielle Charakter der Beurteilung von Lieferantenrisiken ableiten. Dies zu berücksichtigen stellt eine wesentliche Anforderung an die Risikobewertung dar. Zwischen den in Tab. 1 aufgezeigten Bestandteilen des Lieferantenrisikos bestehen zudem Abhängigkeitsbeziehungen sowohl auf der Ebene der Risikokategorien als auch auf der Ebene der zuordenbaren Risikotreiber.¹⁴ So kann eine mangelhafte Qualität eines eingekauften Bauteils beispielsweise auch zu einer unzureichenden Menge für den eigenen Produktionsprozess führen, sofern der Lieferant nicht in der Lage ist, die geforderten Materialien zeitnah nachzuliefern. Solche Wechselwirkungen sind bei der Ermittlung der relativen Risikopositionen zu berücksichtigen. Darüber hinaus sind Risiken nicht unmittelbar quantifizierbar. Um die relative Risikoposition einzelner Lieferanten innerhalb eines Lieferantenportfolios zu bestimmen und kontinuierlich zu überwachen wird daher eine Methode benötigt, welche quantitative und qualitative Kriterien berücksichtigt.¹⁵

¹³ Identifikation der Risikokategorien in Anlehnung an Harland et al. (2003), S. 53; Zsidisin (2003a), S. 221; Zsidisin (2003b), S. 16; Chopra/Sodhi (2004), S. 54; Spekman/Davis (2004), S. 417-418; Wagner/Bode (2006), S. 310; Wu et al. (2006), S. 354; Blackhurst et al. (2008), S. 149; Kull/Talluri (2008), S. 410; Micheli et al. (2008), S. 854; Moder (2008), S. 104; Matook et al. (2009), S. 244; Foerstl et al. (2010), S. 119-120.

¹⁴ Zu Abhängigkeitsbeziehungen zwischen Risiken der Beschaffung im Allgemeinen siehe bspw. Rogler (2002), S. 26, Ritchie/Brindley (2004), S. 30 und Wildemann (2006), S. 57.

¹⁵ Vgl. Levary (2008), S. 536.

2.2 *Bisherige Methoden zum Umgang mit Lieferantenrisiken*

Die meisten in der wissenschaftlichen Literatur vorgestellten Ansätze, welche sich mit Lieferantenrisiken auseinandersetzen, konzentrieren sich auf die Risikobewertung während der Lieferantenauswahl.¹⁶ Diese Ansätze sind somit zeitpunktorientiert und nicht auf eine kontinuierliche Überwachung der Risikoposition einzelner Lieferanten ausgerichtet. Durch die Vergabe wertschöpfender Tätigkeiten an vorgelagerte Stufen der Lieferkette verändert sich die Zusammenarbeit mit Lieferanten jedoch von einer transaktionsorientierten hin zu einer beziehungsorientierten Perspektive.¹⁷ Aus diesem Wandel ergibt sich die Notwendigkeit einer kontinuierlichen Risikoüberwachung der Lieferantenbasis.¹⁸ Daher erstaunt es, dass sich nur wenige Autoren mit dem LRM als kontinuierlichem Prozess beschäftigen.

Die ersten Ansätze fokussieren insbesondere auf die Prozessphasen des LRM. So betrachten Hallikas/Virolainen die grundlegenden Handlungsalternativen Übertragung, Selbsttragung, Eliminierung und Reduktion zur Handhabung von Risiken und Risikoursachen.¹⁹ Darauf aufbauend beschreiben Hallikas et al. einen konkreten Prozess zum RM in Netzwerken mit den Phasen Identifikation, Bewertung, Maßnahmenimplementierung und Monitoring.²⁰ Eine bereits stärker auf Lieferanten ausgerichtete Methode zur Minderung von Risiken in der Luftfahrtindustrie wird von Sinha et al. vorgeschlagen. Im Fokus steht ein lieferantenorientierter Risikomanagementprozess, welcher durch die Phasen Risikoidentifikation, -bewertung und -planung sowie die Umsetzung von Maßnahmen charakterisiert ist.²¹ Eine ähnliche Argumentation findet sich bei Köglmayr/Bihler, die einen generalisierten Risikomanagementprozess auf Lieferantenrisiken übertragen.²² Die angesprochenen Ansätze stellen den generellen Umgang mit Lieferantenrisiken im Rahmen eines RM in den Vordergrund. Die Bewertung des von den Lieferanten ausgehenden Risikos wird jedoch nicht detaillierter betrachtet.

Das von Lasch/Janker vorgestellte risikoorientierte Lieferantenmanagement nähert sich einer Bewertung der Lieferantenrisiken, indem bei der Beurteilung der Lieferanten eine Einschätzung der Risikoausprägung im Intervall von sehr gering bis sehr hoch vorgenommen wird. Anschließend erfolgt eine Faktorenanalyse zur Clusterbildung anhand der Risikoausprägungen, um die Lieferanten zu typisieren.²³ Eine ebenfalls faktoranalytische Herangehensweise zur Beurteilung von Lieferantenrisiken ist der von Matook et al. entwickelte Benchmarking-Ansatz zur kontinuierlichen Entscheidungsunterstützung bei der Lieferantenentwicklung. Mit Hilfe einer Faktorenanalyse

¹⁶ Für Anwendungsbeispiele siehe Chan/Kumar (2007); Li/Barnes (2008); Deane et al. (2009).

¹⁷ Vgl. Fynes et al. (2004), S. 181.

¹⁸ Zur Notwendigkeit eines kontinuierlichen Prozesses siehe z.B. Hallikas/Virolainen (2004), S. 61; Lasch/Janker (2007), S. 115.

¹⁹ Vgl. Hallikas/Virolainen (2004).

²⁰ Vgl. Hallikas et al. (2004).

²¹ Vgl. Sinha et al. (2004).

²² Vgl. Köglmayr/Bihler (2009).

²³ Vgl. Lasch/Janker (2007).

ermitteln sie in Bezug auf die Risiken unterschiedliche Lieferantencluster. Durch den Vergleich der Cluster können Maßnahmen abgeleitet werden, um insbesondere die Position von Lieferanten mit einem hohen Risiko zu verbessern.²⁴ Ein ebenfalls auf dem Benchmarking aufbauender Ansatz ist die von Lockamy/McCormack eingeführte Ermittlung von Lieferantenrisikoprofilen zur Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit von Lieferantenrisiken. Basierend auf vorhandenen Risikoprofilen kann mittels Benchmarking die Wahrscheinlichkeit von kritischen Ereignissen, welche von neuen oder bestehenden Lieferanten ausgehen, ermittelt werden.²⁵ Neben den bereits vorgestellten Ansätzen stellten Blackhurst et al. eine multikriterielle Bewertungsmethode zur Ermittlung von Risikopunktwerten vor. Das Konzept ermöglicht durch die Analyse dieser Punktwerte über einen längeren Zeitraum das Erkennen von Trends in Richtung höherer Risiken der betrachteten Lieferanten und gibt somit Ansatzpunkte für eine frühzeitige Maßnahmenplanung.²⁶

Aus den vorgestellten Ansätzen zum Umgang mit Lieferantenrisiken wird deutlich, dass sich der Betrachtungsfokus über die Zeit von einer reinen Strategieformulierung zu einer Lieferantenrisikobewertung verschoben hat. Es werden jedoch auch in aktuellen Veröffentlichungen keine Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Risiken berücksichtigt. Eine Methode, welche dieses Defizit beheben kann, ist der analytische Netzwerkprozess (ANP). Der ANP wird in der wissenschaftlichen Literatur als Methode zur Entscheidungsunterstützung, insbesondere unter Risiko und Unsicherheit, vorgeschlagen.²⁷ Auch zur Lieferantenauswahl wurde der ANP bereits erfolgreich angewandt.²⁸ Die Verknüpfung dieser Aspekte mit der in der Literatur aufgezeigten Anwendbarkeit des ANP zur Ermittlung relativer Positionierungen von Wettbewerbern innerhalb eines Marktes²⁹ verdeutlicht die Eignung des Verfahrens für die Ermittlung der relativen Risikoposition eines Lieferanten innerhalb des Lieferantenportfolios.

3 Analytischer Netzwerkprozess

3.1 *Analytic Hierarchy/Network Process zur Entscheidungsunterstützung*

Thomas L. Saaty entwickelte mit dem Analytic Hierarchy Process (AHP) eine Methode zur Unterstützung multikriterieller Entscheidungsprobleme mit quantitativen und qualitativen Kriterien.³⁰ Zur Abbildung komplexer Entscheidungen wird das Problem in hierarchisch verknüpfte Teilprobleme gegliedert. Dies ermöglicht einen paarweisen Vergleich der Alternativen im Hinblick auf ein konkretes Entscheidungskriterium.³¹

²⁴ Vgl. Matook et al. (2009).

²⁵ Vgl. Lockamy/McCormack (2010).

²⁶ Vgl. Blackhurst et al. (2008).

²⁷ Anwendungen z.B. bei Dağdeviren et al. (2008); Dikmen et al. (2010).

²⁸ Siehe z.B. Bayazit (2006); Gencer/Gürpınar (2007); Wu et al. (2009).

²⁹ Vgl. bspw. Saaty (2009b), S. 63-82.

³⁰ Vgl. Saaty (1987).

³¹ Vgl. Blockus (2010), S. 158.

Darauf aufbauend werden zur Auswahl stehende Alternativen in eine Rangfolge hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Zielerreichung gebracht.

Voraussetzung für die Anwendbarkeit der Methode ist die Unabhängigkeit zu bewertender Alternativen.³² Zudem können keine Abhängigkeiten zwischen Kriterien einer Ebene abgebildet werden. Praktische Entscheidungsprobleme sind jedoch häufig durch Wechselwirkungen gekennzeichnet. Um diesen gerecht zu werden, verallgemeinerte Saaty die Methode, indem er die Vorgehensweise von hierarchisch zerlegbaren Entscheidungssituationen auf Netzwerkstrukturen ausrichtete.³³ Der ANP stellt damit ein Konzept zur Entscheidungsfindung dar, in dem keinerlei Annahmen über die Abhängigkeiten zwischen den Ebenen oder innerhalb der Ebenen getroffen werden.³⁴

3.2 Allgemeine Vorgehensweise zur Anwendung des ANP

Das Verfahren des ANP basiert auf der strukturierten Darstellung des Entscheidungsproblems in einem Netzwerk. Daher muss das Entscheidungsproblem zunächst mit der zugrundeliegenden Zielstellung sowie den zu berücksichtigenden Entscheidungskriterien beschrieben werden.³⁵ Darüber hinaus ist mindestens ein Kontrollkriterium, welches als Bezugspunkt für die Bewertung der jeweiligen Zusammenhänge im Netzwerk dient, festzulegen.³⁶ Aufbauend auf diesen Vorüberlegungen wird das vollständige Netzwerk konstruiert.³⁷ Hierzu werden die identifizierten Entscheidungskriterien (Elemente), welche eng zusammenwirken, zu Clustern zusammengefasst.³⁸ Voraussetzung dafür ist, dass die berücksichtigten Elemente gemeinsam eine Wirkung auf das gewünschte Ergebnis ausüben, welche bei der Berücksichtigung von einzelnen Elementen nicht erreichbar wäre.³⁹ Sofern Zusammenhänge zwischen Elementen verschiedener Cluster bestehen, sogenannte äußere Abhängigkeiten, werden die identifizierten Cluster anschließend durch Pfeile verbunden. Ein Pfeil führt immer vom beeinflussten zu den beeinflussenden Clustern. Bestehen Abhängigkeiten zwischen den Elementen innerhalb eines Clusters, eine sogenannte innere Abhängigkeit, ist ein Pfeil von dem entsprechenden Cluster auf sich selbst gerichtet. Das Entscheidungsproblem ist vollständig im Netzwerk erfasst, wenn alle Entscheidungskriterien sowie die zugehörigen inneren und äußeren Abhängigkeiten berücksichtigt wurden.

³² Vgl. Saaty (2006), S. 559.

³³ Vgl. Blockus (2010), S. 158-159; Saaty (2009a), S. 42.

³⁴ Vgl. Saaty (2009a), S. 42; Shemshadi et al. (2011), S. 114.

³⁵ Vgl. Gencer/Gürpınar (2007), S. 2477; Saaty (2009b), S. 90; Blockus (2010), S. 164.

³⁶ Vgl. Saaty (2009b), S. 90.

³⁷ Vgl. Blockus (2010), S. 166.

³⁸ Vgl. Saaty (2009a), S. 44. Cluster werden verbunden, sobald ein Zusammenhang zwischen jeweils einem Element der beiden Cluster besteht. Ein in der Netzwerkdarstellung eingefügter Pfeil bedeutet demnach nicht, dass Abhängigkeiten zwischen allen Elementen beider Cluster bestehen müssen (Saaty (2009b), S. 91).

³⁹ Vgl. auch im Folgenden Saaty (2009a), S. 42; Saaty (2009b), S. 62-91.

Basierend auf der Abbildung des Netzwerkes werden die Elemente und Cluster paarweise verglichen. Während für den Vergleich der identifizierten Cluster das zuvor festgelegte übergeordnete Kontrollkriterium des Netzwerkes verwendet wird, sind die Kontrollkriterien für den Vergleich der Elemente innerhalb der Cluster, und somit die Berücksichtigung innerer Abhängigkeiten, in der Regel die Cluster selbst. Es steht die Frage im Fokus, welches von zwei Elementen i und j eines Clusters den größeren Einfluss auf ein drittes Element dieses Clusters im Hinblick auf die Gesamtwirkung des Clusters im Netzwerk ausübt. In Bezug auf die äußeren Abhängigkeiten werden jeweils zwei Elemente eines Clusters bezüglich ihrer Einflussnahme auf ein Element eines weiteren Clusters verglichen. Es wird danach gefragt, welches von zwei zu vergleichenden Elementen desselben Clusters den größeren Einfluss auf ein drittes Element eines anderen Clusters ausübt.⁴⁰ Für die Durchführung der Beurteilung ist eine einheitliche Skala sinnvoll,⁴¹ welche jedem Paarvergleich zwischen den Elementen i und j eine Bewertung a_{ij} zuweist. Zu diesem Zweck hat Saaty eine 9-Punkte-Skala entwickelt (siehe Tab. 2).

Werte für a_{ij}	Definition
1	Gleiche Bedeutung oder Wichtigkeit der Elemente i und j
3	Leicht höhere Bedeutung oder Wichtigkeit von i im Vergleich zu j
5	Höhere Bedeutung oder Wichtigkeit von i im Vergleich zu j
7	Sehr viel höhere Bedeutung oder Wichtigkeit von i im Vergleich zu j
9	Extrem höhere Bedeutung oder Wichtigkeit von i im Vergleich zu j
2, 4, 6, 8	Zwischenwerte zur Abstufung, sofern erforderlich

Tab. 2: Standardskala für Paarvergleiche im ANP⁴²

Die Ergebnisse der Paarvergleiche der Elemente i und j werden in reziproken Paarvergleichsmatrizen abgebildet.⁴³ Für jede der paarweisen Matrizen wird der maximale Eigenwert mit dem zugehörigen Eigenvektor bestimmt. Der generierte Eigenvektor kann als lokale Priorität der betrachteten Elemente untereinander interpretiert werden.⁴⁴ Um diese Priorität in Form von Gewichten abzubilden, wird der Eigenvektor normiert.

Aus den Paarvergleichsmatrizen der Elemente wird die *Supermatrix* gebildet. Hierzu werden die ermittelten Eigenvektoren in eine gemeinsame Matrix übertragen.⁴⁵ Analog werden die aus den Paarvergleichsmatrizen der Cluster entstehenden Eigenvektoren in der *Clustermatrix* zusammengefasst.⁴⁶ Um bei der späteren Ermittlung der Bedeutung

⁴⁰ Vgl. Saaty (2009b), S. 124.

⁴¹ Vgl. Saaty (1987), S. 161.

⁴² Vgl. Saaty (2009b), S. 7.

⁴³ Vgl. auch im Folgenden Blockus (2010), S. 169-181.

⁴⁴ Vgl. Blockus (2010), S. 170-171.

⁴⁵ Vgl. Saaty (2009a), S. 44.

⁴⁶ Vgl. Blockus (2010), S. 175.

einzelner Elemente die Gewichtung des zugehörigen Clusters zu berücksichtigen, werden die Vektoren der Supermatrix anschließend mit den jeweiligen Clusterprioritäten multipliziert, wodurch die *gewichtete Supermatrix* entsteht.⁴⁷ Diese repräsentiert die direkten Einflüsse aller Netzwerkelemente untereinander.⁴⁸ Es lässt sich jedoch keine Aussage über die ganzheitliche Bedeutung einzelner Elemente des Netzwerkes treffen, da indirekte Effekte, welche durch Abhängigkeiten zwischen den Elementen entstehen, nicht berücksichtigt wurden. Um dies zu ermöglichen, wird die *Limitmatrix* aus der gewichteten Supermatrix berechnet.⁴⁹ Hierzu wird die gewichtete Supermatrix so lange potenziert, bis alle Spaltenvektoren dieselben Werte enthalten.⁵⁰ Die Limitmatrix stellt die relative Bedeutung der Elemente im Netzwerk unter Berücksichtigung sämtlicher direkter und indirekter Effekte dar. Somit gibt sie die globalen Prioritäten der Entscheidungsalternativen an, auf deren Basis eine Rangreihung der Alternativen gebildet werden kann, welche die Präferenzen des Entscheidungsträgers widerspiegelt.⁵¹

4 Kontinuierliche Bewertung und Überwachung des Lieferantenrisikos

Wie in Kapitel 2.1 angesprochen, existieren Wechselwirkungen zwischen den identifizierten Lieferantenrisiken, deren Berücksichtigung eine wesentliche Voraussetzung für eine realistische Beurteilung des von Lieferanten ausgehenden Risikos ist. Die Ausführungen im vorangegangenen Abschnitt zeigen, dass der ANP diese Anforderung erfüllt. Im Folgenden wird daher die Bewertungsmethodik des ANP als Basis für eine kontinuierliche Ermittlung und Analyse der relativen Risikoposition einzelner Lieferanten im Lieferantenportfolio genutzt. Zeichnet sich bei der kontinuierlichen Überwachung der Lieferantenbasis bei einem Lieferanten eine Erhöhung des Risikoanteils ab, können seitens des Abnehmers Maßnahmen ergriffen werden, um das daraus entstehende Gefährdungspotential zu verringern. Zur Berücksichtigung der dynamischen Umwelt der Geschäftstätigkeit wird abschließend das Netzwerk überprüft und bei Bedarf an veränderte Rahmenbedingungen angepasst. Der grundlegende Ablauf ist in Abb. 1 dargestellt. Die einzelnen Prozessschritte werden im Folgenden detailliert beschrieben.

⁴⁷ Vgl. Gencer/Gürpınar (2007), S. 2477; Saaty (2009b), S. 61.

⁴⁸ Vgl. Blockus (2010), S. 175.

⁴⁹ Vgl. Gencer/Gürpınar (2007), S. 2477; Saaty (2009a), S. 45.

⁵⁰ Vgl. Blockus (2010), S. 178.

⁵¹ Vgl. Blockus (2010), S. 179-181.

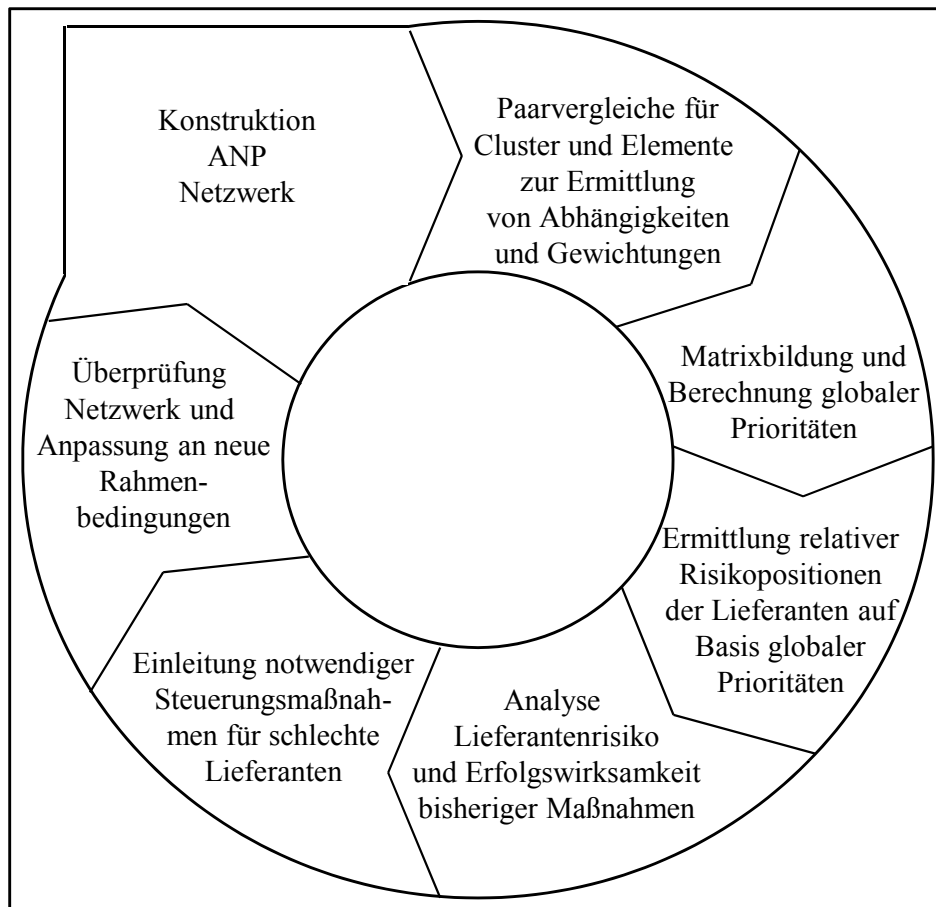


Abb. 1: Vorgehensmodell

4.1 Abbildung der Lieferantenrisiken im ANP-Netzwerk

Das Ziel der Anwendung des ANP besteht in der Ermittlung der relativen Risikopositionen einzelner Lieferanten aus dem Lieferantenportfolio. Dadurch können negative Entwicklungen in Bezug auf die von einem Lieferanten ausgehenden Risiken erkannt und entsprechende Gegenmaßnahmen eingeleitet werden. Die Zielgröße, und somit oberstes Kontrollkriterium für das zu entwickelnde Netzwerk, ist daraus abgeleitet das vom Lieferantenportfolio ausgehende Gesamtrisiko. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen alle relevanten Entscheidungskriterien ermittelt werden, die in eine Risikobewertung einzubeziehen sind. Dies umfasst einerseits die Identifikation aller potenziell von den Lieferanten ausgehenden Risiken sowie die Ermittlung der zugehörigen Risikotreiber. Andererseits sind die zu berücksichtigenden Lieferanten in Abhängigkeit von den unternehmensindividuellen Präferenzen auszuwählen. Dies kann beispielsweise durch Clusterbildung erfolgen. Verfolgt das Unternehmen das Ziel der Risikominimierung für ein bestimmtes Produkt, könnten Kriterien hierfür beispielsweise Produktkategorien darstellen. Darüber hinaus wäre eine ABC-Klassifikation der Lieferanten denkbar, wenn die wichtigsten Partner des Unternehmens betrachtet werden sollen.

Die Auswahl der Lieferanten aus dem Portfolio kann durch die jeweiligen Entscheidungsträger basierend auf der Zielstellung des Unternehmens erfolgen. Die Verantwortung für die Identifikation der von den Lieferanten möglicherweise ausgehenden Risiken sollte jedoch interdisziplinären Teams obliegen, um alle risikorelevanten Facetten zu erfassen.⁵² Diese Forderung ergibt sich aus der im Unternehmen verteilten Fachkompetenz. Basierend auf der identifizierten Kategorisierung von Lieferantenrisiken (vgl. Tab. 1) sollten beispielsweise Mitarbeiter aus den Bereichen Qualitätsmanagement, Rechnungswesen und Produktion⁵³ sowie aus dem Kundenkontakt an der Risikoidentifikation mitwirken.⁵⁴ Die identifizierten Risiken müssen sorgfältig erfasst werden, um entsprechend dem in Abb. 1 dargestellten Vorgehensmodell eine erneute Bewertung anhand derselben Beurteilungskriterien zu gewährleisten. Zudem ist auch die Vorgehensweise zur Risikoidentifikation zu dokumentieren. Dies ermöglicht eine gezielte Anwendung erfolgreicher Verfahren für die spätere Überprüfung der Aktualität des Netzwerkes.

Die Bildung des Netzwerkes, welche im ANP prinzipiell durch eine thematische Zusammenfassung der identifizierten Entscheidungskriterien zu Clustern erfolgt, berücksichtigt als Cluster die identifizierten Risikokategorien sowie das zu betrachtende Lieferantenportfolio. Diesen werden die zugehörigen Risikotreiber bzw. Lieferanten als entsprechende Elemente zugeordnet. Eine beispielhafte Darstellung des entstehenden Netzwerkes zeigt Abb. 2.

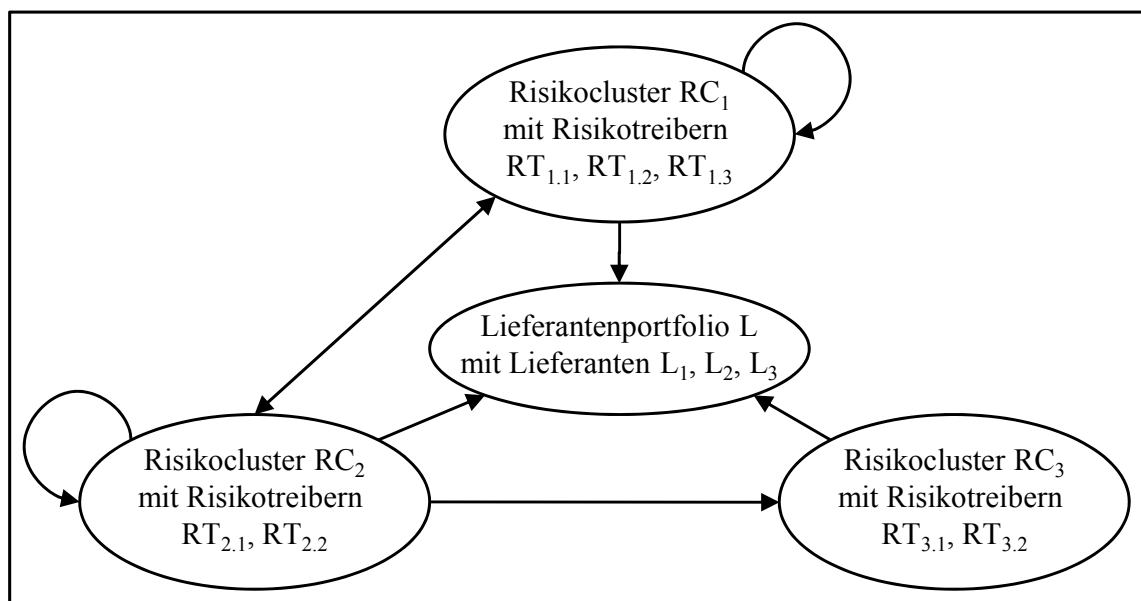


Abb. 2: ANP-Netzwerk Lieferantenrisiken

Entsprechend der in Tab. 1 dargestellten Lieferantenrisiken sind z.B. Preis-, Qualitäts- und Lieferrisiko mögliche Risikocluster (RC), welche durch den Lieferanten beein-

⁵² Zur Bedeutung der Crossfunktionalität im Rahmen des LRM siehe Erben et al. (2010), S. 32.

⁵³ Siehe hierzu auch Erben et al. (2010), S. 33.

⁵⁴ Eine ausführliche Beschreibung von Methoden zur Risikoidentifikation findet sich bei Bergener (2006), S. 174-185.

flusst werden. Aus der wissenschaftlichen Literatur heraus lassen sich für das Lieferrisiko die aktuelle Kapazitätsauslastung, die finanzielle Situation, die Durchlaufzeiten sowie die Flexibilität beispielhaft als Elemente des Clusters identifizieren.⁵⁵ Für die Preisrisiken hingegen sind mögliche Clusterelemente die Fähigkeit zum Kostenmanagement, die Absicherung von Rohstoffpreisen oder die Wahrscheinlichkeit von Lohnänderungen.⁵⁶ Die Clusterelemente werden im Folgenden als Risikotreiber (RT) bezeichnet, da ihr Zusammenwirken die Höhe des Risikos, welches vom jeweiligen Cluster ausgeht, beeinflusst.

4.2 Paarvergleiche für Risikotreiber und Risikocluster

Aufbauend auf dem vollständig konstruierten Netzwerk wird die relative Bedeutung der RT ermittelt, indem die RT paarweise hinsichtlich ihres Einflusses auf einen dritten RT beurteilt werden. Die Verantwortung für diesen Prozessschritt sollte, ebenso wie die Ermittlung der RT und RC, bei einem Expertenteam liegen.⁵⁷ Dies gewährleistet die Berücksichtigung aller von einem Risikoeintritt gegebenenfalls betroffenen Unternehmensbereiche. Die paarweise Einschätzung der Netzwerkelemente, welche die RT und die Lieferanten umfassen, erfolgt sowohl in Bezug auf innere als auch auf äußere Abhängigkeiten. Bezogen auf die in Tab. 1 identifizierten Risikokategorien, könnten innere Abhängigkeiten beispielsweise zwischen den RT des Lieferrisikos bestehen. So wird die Flexibilität sowohl durch die aktuelle Kapazitätsauslastung als auch durch die Durchlaufzeit beeinflusst. Entsprechend werden die beiden beeinflussenden Faktoren im Hinblick auf ihre Wirkung auf die Flexibilität paarweise verglichen. Da es sich im vorliegenden Fall um die Beurteilung von RT handelt, muss die zugrundeliegende Fragestellung lauten: welches Element ist risikoreicher, da im Rahmen der Paarvergleiche das größere Element als ein Vielfaches des kleineren betrachtet wird.⁵⁸ Nach der paarweisen Einschätzung der RT erfolgt die Berechnung des maximalen Eigenwertes $\lambda_{\max}$ sowie der zugehörigen Eigenvektoren $x_{\max}$ für die Paarvergleichsmatrizen. Die Vektoren werden abschließend normiert ($\tilde{x}_{\max}$), wodurch sie am Ende dieses Prozessschrittes als lokale Gewichtungsvektoren interpretiert werden können. Die normierten Eigenvektoren geben somit die lokalen Prioritäten der einzelnen Elemente wieder.

In Tab. 3 wird das in Abb. 2 aufgegriffene Beispiel fortgeführt. Betrachtet werden beispielhaft die Wirkungen a_{ij} der RT von RC_1 in Bezug auf die Beeinflussung von $RT_{1,1}$, was einer inneren Abhängigkeit entspricht. Der Wert $a_{RT_{1,2};RT_{1,3}}$ gibt beispielsweise Auskunft darüber, in welchem Verhältnis die Auswirkungen von $RT_{1,2}$ und $RT_{1,3}$ auf die Risikowirkung von $RT_{1,1}$ zueinander stehen. Der normierte Wert $\tilde{x}_{RT_{1,2};RT_{1,1}}$ gibt die

⁵⁵ Vgl. z.B. Kull/Talluri (2008), S. 410; Moder 2008, S. 101.

⁵⁶ Vgl. z.B. Zsidisin (2003a), S. 221; Micheli et al. (2008), S. 854.

⁵⁷ Zur Bedeutung crossfunktionaler Teams bei der Bewertung von Lieferantenrisiken siehe Erben et al. (2010), S. 33.

⁵⁸ Vgl. Saaty (2009b), S. 120.

auf Basis der Paarvergleiche ermittelte Bedeutung von $RT_{1,2}$ für $RT_{1,1}$ im Vergleich zu den anderen im RC_1 enthaltenen RT an.

	$RT_{1,1}$	$RT_{1,2}$	$RT_{1,3}$	$x_{\max}$	$\tilde{x}_{\max}$
$RT_{1,1}$	1	$a_{RT_{1,1};RT_{1,2}}$	$a_{RT_{1,1};RT_{1,3}}$	$x_{RT_{1,1};RT_{1,1}}$	$\tilde{x}_{RT_{1,1};RT_{1,1}}$
$RT_{1,2}$	$1/a_{RT_{1,1};RT_{1,2}}$	1	$a_{RT_{1,2};RT_{1,3}}$	$x_{RT_{1,2};RT_{1,1}}$	$\tilde{x}_{RT_{1,2};RT_{1,1}}$
$RT_{1,3}$	$1/a_{RT_{1,1};RT_{1,3}}$	$1/a_{RT_{1,2};RT_{1,3}}$	1	$x_{RT_{1,3};RT_{1,1}}$	$\tilde{x}_{RT_{1,3};RT_{1,1}}$

Tab. 3: Paarvergleichsmatrix zu inneren Abhängigkeiten in RC_1 bezüglich Wirkung auf $RT_{1,1}$

Neben den inneren Abhängigkeiten existieren bei der Betrachtung von Lieferantenrisiken auch Wechselwirkungen zwischen Elementen verschiedener RC , sogenannte äußere Abhängigkeiten. Diese werden beispielsweise zwischen Preis- und Lieferrisiko deutlich. So kann die finanzielle Situation, welche als RT dem Lieferrisiko zugeordnet ist, durch die beiden Elemente Kostenmanagement und Absicherung der Rohstoffpreise aus dem Preisrisikocluster beeinflusst werden. Entsprechend erfolgt ein paarweiser Vergleich von Kostenmanagement und Absicherung der Rohstoffpreise im Hinblick auf die Stärke ihres Einflusses auf die finanzielle Situation.

Die Berücksichtigung des Risikopotentials der zu beurteilenden Lieferanten ist insbesondere durch die Abbildung äußerer Abhängigkeiten möglich (vgl. Abb. 2). Hierzu werden die Lieferanten untereinander anhand ihrer spezifischen Charakteristika im Hinblick auf die jeweilige Auswirkung auf unterschiedliche RT verglichen. Die Einträge in den zugehörigen Paarvergleichsmatrizen geben Antwort auf die Frage nach der unterschiedlich starken Wirkung bestimmter Merkmalsausprägungen der Lieferanten auf den betrachteten RT. Der Wert $a_{L_1;L_2}$ in Tab. 4 gibt z.B. an, in welchem Verhältnis die Lieferanten L_1 und L_2 den $RT_{1,1}$ beeinflussen. Die relative Bedeutung von L_1 für $RT_{1,1}$ im Vergleich zu den anderen im Beispiel betrachteten Lieferanten ist entsprechend mit dem normierten Wert $\tilde{x}_{L_1;RT_{1,1}}$ bezeichnet. Sollten risikobeeinflussende Wechselwirkungen zwischen den Lieferanten existieren, so kann deren Bedeutung ebenfalls anhand von Paarvergleichen bewertet werden.

	L_1	L_2	L_3	$x_{\max}$	$\tilde{x}_{\max}$
L_1	1	$a_{L_1;L_2}$	$a_{L_1;L_3}$	$x_{L_1;RT_{1,1}}$	$\tilde{x}_{L_1;RT_{1,1}}$
L_2	$1/a_{L_1;L_2}$	1	$a_{L_2;L_3}$	$x_{L_2;RT_{1,1}}$	$\tilde{x}_{L_2;RT_{1,1}}$
L_3	$1/a_{L_1;L_3}$	$1/a_{L_2;L_3}$	1	$x_{L_3;RT_{1,1}}$	$\tilde{x}_{L_3;RT_{1,1}}$

Tab. 4: Paarvergleichsmatrix zu äußeren Abhängigkeiten von L bezüglich Wirkung auf $RT_{1,1}$

Analog zum paarweisen Vergleich der RT erfolgt die Betrachtung der RC . Hierbei wird jedes RC jeweils einmal als Kontrollkriterium angesehen. Es gilt daher Antworten auf die Frage zu finden, welchen Einfluss ein RC im Vergleich zu den anderen RC auf das als Kontrollkriterium angesehene RC im Sinne der Gesamtrisikoeentwicklung ausübt. In Tab. 5 ist die Bedeutung der RC hinsichtlich der Beeinflussung von RC_1 beispielhaft abgebildet. Dabei werden alle im Netzwerk enthaltenen Cluster in die Betrachtung einbezogen. Dementsprechend ist auch abzubilden, inwiefern das Lieferan-

tencluster die Risikowirkung der anderen RC beeinflusst. Der Wert $a_{RC2;L}$ beantwortet beispielsweise die Frage, welche Wirkung RC_2 im Vergleich zum Lieferantencluster auf RC_1 ausübt. Die normierten Werte des Vektors $\tilde{x}_{\max}$ sind entsprechend der oben bereits für die RT angesprochenen Lesart zu interpretieren.

	RC_1	RC_2	RC_3	L	$x_{\max}$	$\tilde{x}_{\max}$
RC_1	1	$a_{RC1;RC2}$	$a_{RC1;RC3}$	$a_{RC1;L}$	$x_{RC1;RC1}$	$\tilde{x}_{RC1;RC1}$
RC_2	$1/a_{RC1;RC2}$	1	$a_{RC2;RC3}$	$a_{RC2;L}$	$x_{RC2;RC1}$	$\tilde{x}_{RC2;RC1}$
RC_3	$1/a_{RC1;RC3}$	$1/a_{RC2;RC3}$	1	$a_{RC3;L}$	$x_{RC3;RC1}$	$\tilde{x}_{RC3;RC1}$
L	$1/a_{RC1;L}$	$1/a_{RC2;L}$	$1/a_{RC3;L}$	1	$x_{L;RC1}$	$\tilde{x}_{L;RC1}$

Tab. 5: Paarvergleichsmatrix der Cluster bezüglich Wirkung auf RC_1

Die Ermittlung der Einflüsse der RC untereinander ermöglicht im folgenden Schritt, die RT entsprechend der Bedeutung des RC, welches sie repräsentieren, zu gewichten.

4.3 Matrixbildung und Berechnung globaler Prioritäten

Aufbauend auf den Paarvergleichen der RT werden die normierten maximalen Eigenvektoren in einer gemeinsamen Matrix, der sogenannten *Supermatrix* (W), zusammengeführt. Für das in Abb. 2 dargestellte Beispiel ergibt sich folgende Supermatrix:

$$W = \begin{pmatrix} W_{R1R1} & W_{R1R2} & W_{R1R3} & W_{R1L} \\ W_{R2R1} & W_{R2R2} & W_{R2R3} & W_{R2L} \\ W_{R3R1} & W_{R3R2} & W_{R3R3} & W_{R3L} \\ W_{LR1} & W_{LR2} & W_{LR3} & W_{LL} \end{pmatrix} \quad \text{mit} \quad W_{LR1} = \begin{pmatrix} \tilde{x}_{L1;RT1.1} & \tilde{x}_{L1;RT1.2} & \tilde{x}_{L1;RT1.3} \\ \tilde{x}_{L2;RT1.1} & \tilde{x}_{L2;RT1.2} & \tilde{x}_{L2;RT1.3} \\ \tilde{x}_{L3;RT1.1} & \tilde{x}_{L3;RT1.2} & \tilde{x}_{L3;RT1.3} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Jede Spalte von W entspricht den zuvor ermittelten lokalen Gewichtungsvektoren der einzelnen Netzwerkelemente. Aus der Supermatrix kann demnach der Einfluss jedes einzelnen Elementes in einer Zeile auf die Spaltenelemente abgelesen werden. Die Betrachtung der einem Lieferanten zugeordneten Zeile ermöglicht daher Aussagen darüber, wie stark der Einfluss der bewerteten Lieferantencharakteristika auf die Höhe der jeweils in den Spalten abgebildeten RT ist.

Analog zu dieser Vorgehensweise werden die Ergebnisse aus den Paarvergleichen der RC in der *Clustermatrix* (Q) zusammengefasst. Jede Spalte dieser Matrix entspricht genau einem der zuvor ermittelten Clustergewichtungsvektoren. Für das oben eingeführte Beispiel ergibt sich folgende Clustermatrix:

$$Q = \begin{pmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} & q_{1L} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} & q_{2L} \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} & q_{3L} \\ q_{L1} & q_{L2} & q_{L3} & q_{LL} \end{pmatrix} \quad \text{mit} \quad q_{L1} = \tilde{x}_{L,RC1} \quad (2)$$

Die Werte der Clustermatrix geben an, welche Bedeutung die RC für die Ermittlung des von den Lieferanten ausgehenden Gesamtrisikos haben. Die Supermatrix enthält lediglich die lokalen Gewichtungsvektoren der RT. Zur Ermittlung der vollständigen Wirkung einzelner RT im Hinblick auf die relative Risikoposition eines Lieferanten muss die Bedeutung des jeweils übergeordneten RC berücksichtigt werden. Hierfür werden die Teilmatrizen der Supermatrix mit der Gewichtung des zugehörigen Clusters multipliziert, wodurch die *gewichtete Supermatrix* entsteht.⁵⁹ Für die oben dargestellte Supermatrix würde dies bedeuten, dass beispielsweise alle Werte der Teilmatrix W_{LRI} mit dem Wert q_{L1} multipliziert werden. Anschließend wird die gewichtete Supermatrix so lange potenziert, bis alle Spaltenvektoren dieselben Werte enthalten. Die Spaltenvektoren innerhalb der entstandenen sogenannten *Limitmatrix* können als Gewichtungsvektor der Netzwerkelemente interpretiert werden. Jeder Wert einer Zeile innerhalb dieser Matrix stellt die globale Priorität des jeweils betrachteten Elementes dar, welche als relative Bedeutung für das vom Lieferantenportfolio ausgehende Gesamtrisiko unter Berücksichtigung aller direkten und indirekten Effekte interpretiert werden kann.

4.4 Ranking der Lieferanten im Portfolio anhand globaler Prioritäten

Die mit Hilfe des ANP berechneten globalen Prioritäten für die Lieferanten werden im nächsten Schritt detaillierter analysiert. Hierzu werden die Werte für das Lieferantencluster aus der Limitmatrix extrahiert und der entstehende Vektor normiert. Darauf aufbauend können die betrachteten Lieferanten in eine Rangfolge entsprechend ihres Risikoanteils gebracht werden. Dieses Ranking bildet die Grundlage für die Auswahl derjenigen Lieferanten, die in Bezug auf eine Risikominderung gefördert werden sollten. Weist ein Lieferant einen deutlich höheren Risikoanteil als die anderen betrachteten Lieferanten auf oder zeigen sich bei wiederkehrender Bewertung Trends in Richtung eines steigenden Risikos, sollten gezielte Maßnahmen ergriffen werden, um dessen Risikoposition zu verbessern.⁶⁰ Neben dieser eher reaktiven Sichtweise können Unternehmen auch bei einer gleichmäßigen Verteilung der Risikoanteile Nutzen aus dem Ranking ziehen, indem sie das betrachtete Lieferantencluster proaktiv weiterentwickeln. Durch die kontinuierliche Weiterentwicklung des in Bezug auf die Risikoeinschätzung schwächsten Lieferanten kann so eine Verbesserung der Gesamtrisikoposition des betrachteten Lieferantenportfolios erreicht werden.

⁵⁹ Vgl. Blockus (2010), S. 177.

⁶⁰ Zur Auswahl der Maßnahmen siehe Kapitel 4.6.

4.5 Überprüfung der Erfolgswirksamkeit bisheriger Maßnahmen

Basierend auf der ermittelten risikobasierten Positionierung einzelner Lieferanten im betrachteten Lieferantencluster sollten Maßnahmen zur Risikoreduktion eingeleitet werden. Hierbei stellt sich insbesondere in einem wiederkehrenden Zyklus die Frage nach der Wirksamkeit einzelner Maßnahmen. Diese Frage kann mittels der Analyse von Veränderungen in den relativen Risikopositionen einzelner Lieferanten beantwortet werden, indem diese über die Zeit beobachtet werden. In diesem Zusammenhang sollten die Ursachen von Veränderungen in der relativen Risikoposition betrachtet werden. Dies kann sich sowohl auf die Veränderung von Einzelwerten in den lokalen Prioritäten von RT als auch auf eine Veränderung der Bedeutung einzelner Kriterien beziehen. Neben den RT können sich aber auch die Eigenschaften der Lieferanten verändert haben. In diesem Fall ist zu prüfen, welche Maßnahme im vorangegangenen Zyklus ergriffen wurde, um einen Lieferanten bei der Minimierung der von ihm ausgehenden Risiken zu unterstützen. Hat sich die Risikoposition eines im vorangegangenen Zyklus als schlecht eingestuften Lieferanten, bei dem auf die Risikominderung ausgerichtete Lieferantensteuerungsmaßnahmen eingesetzt wurden, verbessert, kann die entsprechende Maßnahme als wirksam eingestuft werden. Wurde hingegen keine Verbesserung erreicht oder sogar eine Verschlechterung ermittelt, sollte die angewandte Maßnahme eher als unter den gegebenen Umständen ungeeignet eingestuft werden.

4.6 Einleitung von Steuerungsmaßnahmen

Je nach Zielstellung des LRM gibt es im Zusammenhang mit der Umsetzung von Lieferantensteuerungsmaßnahmen zwei unterschiedliche Herangehensweisen. Einerseits können nur Lieferanten mit einer deutlichen Abweichung vom Risikowert der anderen Lieferanten für Steuerungsmaßnahmen berücksichtigt werden. Andererseits ist es möglich, auch bei einem ausgeglichenen Risikoverhältnis durch Verbesserung des im Ranking am schlechtesten abschneidenden Lieferanten die Risikoposition des Gesamtportfolios zu verbessern. Welche Maßnahmen hierzu gewählt werden sollten ist unternehmensspezifisch zu entscheiden. Für mögliche Ansätze der Lieferantensteuerung sei an dieser Stelle auf die ausführlichen Betrachtungen in der Literatur verwiesen.⁶¹

4.7 Überprüfung der Aktualität und Anpassung des Netzwerkes

Die Basis für das Erkennen relevanter Veränderungen im Lieferantenportfolio bildet eine kontinuierliche Risikobewertung,⁶² welche mittels der vorgestellten Methode erfolgen kann. Um der Dynamik von unternehmerischen Rahmenbedingungen gerecht zu werden, muss das zugrundeliegende Netzwerk zum Abschluss eines jeden Bewertungszyklus auf Aktualität überprüft werden.⁶³ Es ist zu hinterfragen, ob die zuvor

⁶¹ Vgl. Janker (2008), S. 49-54; Erben et al. (2010), S. 11-27; Durst (2011), S. 10-40.

⁶² Vgl. Erben et al. (2010), S. 29.

⁶³ Zur Bedeutung der kontinuierlichen Überprüfung und Anpassung des Risikomanagementprozesses siehe Erben et al. (2010), S. 33.

identifizierten Cluster und Elemente sowie deren Wechselwirkungen noch der Realität entsprechen und demnach weiterhin geeignet sind, um die Risiken der Lieferanten vollständig zu erfassen. Um den Aufwand in diesem Prozessschritt zu minimieren, ist auf die im Rahmen der Risikoidentifikation dokumentierten Risikochecklisten zurückzugreifen.⁶⁴ Diese enthalten alle möglicherweise auftretenden, aber zuvor nicht zwingend als für die Bewertung relevant eingestuft, Risiken. Durch eine Aktualisierung der zu berücksichtigenden Umweltbedingungen können bisher unwichtige Risiken durchaus Bedeutung erlangen. Die Überprüfung dieser Veränderungen kann durch Fachkräfte aus der Beschaffungsabteilung erfolgen. Bei Unklarheiten sollten die funktionsübergreifenden Teams, welche an der Einführung der ANP-basierten Bewertungsmethode beteiligt waren, als Ansprechpartner zur Verfügung stehen.

Eine Anpassung des Netzwerkes ist tendenziell bei den RT und weniger bei den RC zu erwarten. Dies liegt darin begründet, dass sich die Umweltbedingungen, welche sich in der Wahl der RT widerspiegeln, durchaus verändern könnten. Die RC hingegen wurden bereits mehrfach in wissenschaftlichen Studien als relevant identifiziert und können damit als relativ stabil angesehen werden.

5 Fazit

5.1 Managementimplikationen

Insbesondere aus der Abhängigkeit von Zulieferern in langfristig orientierten Lieferanten-Abnehmer-Beziehungen entsteht ein Bedarf an Methoden für eine kontinuierliche Bewertung der von Lieferanten ausgehenden Risiken. Die Ausführungen in Kapitel 2.2 haben gezeigt, dass in dieser Hinsicht in der wissenschaftlichen Literatur noch Defizite bestehen. Es wurde daher ein ANP-basierter Ansatz entwickelt, welcher durch die Berücksichtigung von Abhängigkeiten zwischen RT eine Möglichkeit zur praxisnahen Bewertung der Risikosituation von Lieferanten bietet. Die Methodik erlaubt eine unternehmensspezifische Konkretisierung der RT und RC und kann somit leicht an unternehmensindividuelle Gegebenheiten angepasst werden.

Das Vorgehen ermöglicht die Ermittlung relativer Risikopositionen einzelner Lieferanten in einem Lieferantenportfolio. Dies bietet einen Ansatzpunkt um Defizite in der bestehenden Lieferantenbasis aufzudecken und entsprechende Gegenmaßnahmen einzuleiten. Mit Hilfe der Methode wird den Unternehmen aufgezeigt, bei welchen Lieferanten anzusetzen ist um entweder die Verschlechterung der Risikoposition eines einzelnen Lieferanten zu verhindern oder die Risikoposition des gesamten Lieferantenclusters zu verbessern. Durch die kontinuierliche Durchführung der Risikobewertung werden zudem Veränderungen innerhalb der Lieferantenbasis überwacht. Zeichnet sich bei einem Lieferanten eine Erhöhung des Risikoanteils ab, können seitens des Abnehmers geeignete Maßnahmen ergriffen werden, um das daraus entstehende Gefährdungspotential zu verringern. Damit bildet die vorgestellte Methode schlussendlich die Basis für die Implementierung eines effektiven LRM im Unternehmen.

⁶⁴ Vgl. Kapitel 4.1.

Die erstmalige Einführung der vorgeschlagenen Netzwerkbetrachtung zur Risikobewertung kann durchaus mit hohem Aufwand verbunden sein, da komplexe Zusammenhänge zu erfassen und abzubilden sind. Wenn aber dieser erste Schritt getan ist und gut dokumentiert wurde, kann in zukünftigen Bewertungszyklen auf das Erfahrungswissen zurückgegriffen werden, wodurch sich der Aufwand verringert. Voraussetzung hierfür ist jedoch eine nachvollziehbare Dokumentation aller wesentlichen Aspekte bei der Grundsteinlegung für die Anwendung der Methode.

5.2 *Kritische Würdigung des kontinuierlichen Bewertungsansatzes*

Die umfassende Beurteilung von Lieferantenrisiken ist aufgrund der bestehenden Wechselwirkungen zwischen den RT eine komplexe Aufgabe, welche die kognitive Kapazität der Entscheidungsträger überfordern kann. Durch die Zerlegung der Lieferantenrisikobewertung in einzelne Paarvergleiche wird die Komplexität dieser Aufgabe reduziert. Dies ermöglicht es Unternehmen, Maßnahmen zur Steuerung der Lieferantenrisiken, basierend auf den Bewertungsergebnissen, gezielt einzusetzen. Darüber hinaus lassen sich Lieferantenrisiken, wie in Kapitel 2.1 angesprochen, nicht immer mit quantifizierbaren Werten abbilden. Die vorgestellte Vorgehensweise beachtet diese Besonderheit, indem mit dem ANP eine Methode zugrunde gelegt wird, welche sowohl qualitative als auch quantitative Beurteilungskriterien berücksichtigt.

Die Einführung der vorgeschlagenen Netzwerkbetrachtung zur Risikobewertung kann mit hohem Aufwand verbunden sein, da komplexe Zusammenhänge zu erfassen und abzubilden sind. Eine gute Dokumentation dieses Schrittes reduziert den Aufwand in zukünftigen Bewertungszyklen, da auf das entstandene Erfahrungswissen zurückgegriffen werden kann. Aufgrund des Aufwands für die Durchführung der ANP-basierten Bewertung sollte die Methode nur für eine begrenzte Anzahl von Lieferanten eingesetzt werden. Erste Ansatzpunkte zu deren Auswahl wurden in Kapitel 4.1 mit der Auswahl Produktklassifikation oder Lieferantenbedeutung bereits aufgezeigt.

Ein weiterer erfolgskritischer Punkt bei der Umsetzung des Verfahrens ist die Einbeziehung aller relevanten Fachbereiche sowie die Auswahl ausreichend qualifizierter Mitarbeiter. Nur durch eine bereichsübergreifende Zusammenarbeit kann die Berücksichtigung aller relevanten Risiken sichergestellt werden.

Abschließend ist festzuhalten, dass die vorgestellte Methode die Ermittlung von Risikopositionen einzelner Lieferanten im Vergleich zum betrachteten Lieferantenportfolio ermöglicht. Dies dient als Basis für die Risikominimierung bei Lieferanten mit einem hohen Risikoanteil. Der Ansatz lässt jedoch keinerlei Aussage zu, inwiefern das Gesamtrisiko des Lieferantenportfolios für das Unternehmen tragbar ist. Für diese Problemstellung werden im folgenden Kapitel kurz erste Lösungsansätze aufgezeigt.

5.3 Ausblick auf zukünftigen Forschungsbedarf

Die vorgestellte Methode bietet eine Möglichkeit um risikorelevante Defizite in der bestehenden Lieferantenbasis aufzudecken und entsprechende Gegenmaßnahmen einzuleiten. Es sind jedoch zukünftig noch Ansätze zur Entscheidungsunterstützung bei der Auswahl geeigneter Risikosteuerungsmaßnahmen zu entwickeln.

Die Methode erlaubt es, die betrachteten Lieferanten in eine Rangfolge bezüglich des von ihnen ausgehenden Risikos zu bringen und darauf basierend die Entwicklung der relativen Risikopositionen der bewerteten Lieferanten zu überwachen. Bezogen auf die Ermittlung des Gesamtrisikos des Lieferantenportfolios bleibt jedoch weiterhin Forschungsbedarf. Mögliche Lösungsansätze um eine solche Einschätzung vorzunehmen wären die Überprüfung der Anwendbarkeit von Value-at-Risk Ansätzen oder Simulationen. Darüber hinaus könnte auch die Identifikation eines optimalen Lieferanten sinnvoll sein, wobei dieser letztlich als Benchmark im Rahmen der Paarvergleiche dienen sollte. Die Festlegung eines solchen Optimallieferanten ist beispielsweise nach mehreren Beurteilungen durch Identifikation von denjenigen Elementausprägungen möglich, welche als gute Voraussetzungen für ein geringes Risiko gelten. In diesem Zusammenhang sollte bewusst von der Formulierung des „Ideallieferanten“ abgesehen werden, da dies implizieren würde, dass keiner der realen Lieferanten besser als der Ideallieferant sein kann. Es geht bei der Festlegung des Optimallieferanten jedoch um die Ermittlung realistischer Werte, die von einzelnen Lieferanten durchaus übertroffen werden können.

6 Literaturverzeichnis

- Bayazit, O. (2006): Use of analytic network process in vendor selection decisions, in: Benchmarking: An International Journal 13(5), S. 566-579.
- Bergener, R. F. (2006): Gestaltung des leistungswirtschaftlichen Risikocontrollings, Dissertation, Technische Universität München.
- Blackhurst, J. V.; Scheibe, K. P.; Johnson, D. J. (2008): Supplier risk assessment and monitoring for the automotive industry, in: International Journal of Physical Distribution & Logistics Management 38(2), S. 143-165.
- Blockus, M.-O. (2010): Komplexität in Dienstleistungsunternehmen: Komplexitätsformen, Kosten- und Nutzenwirkungen, empirische Befunde und Managementimplikationen, Wiesbaden.
- Buscher, U.; Wels, A. (2010): Wirkungsbezogene Erfassung von Beschaffungsrisiken mit Hilfe von Lieferzeitabweichungen, in: Bogaschewsky, R.; Eßig, M.; Lasch, R.; Stölzle, W. (Hrsg.): Supply Management Research: Aktuelle Forschungsergebnisse 2009, Wiesbaden, S. 125-145.
- Chan, F. T. S.; Kumar, N. (2007): Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach, in: Omega 35(4), S. 417-431.
- Chopra, S.; Sodhi, M. S. (2004): Managing Risk To Avoid Supply-Chain Breakdown, in: MIT Sloan Management Review 46(1), S. 53-61.
- Dağdeviren, M.; Yüksel, İ.; Kurt, M. (2008): A fuzzy analytic network process (ANP) model to identify faulty behaviour risk (FBR) in work system, in: Safety Science 46(5), S. 771-783.

- Deane, J. K.; Craighead, C. W.; Ragsdale, C. T. (2009): Mitigating environmental and density risk in global sourcing, in: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 39(10), S. 861-883.
- Dikmen, I.; Birgonul, M. T.; Ozorhon, B.; Sapci, N. R. (2010): Using analytic network process to assess business failure risks of construction firms, in: *Engineering, Construction and Architectural Management* 17(4), S. 369-386.
- Durst, S. M. (2011): *Strategische Lieferantenentwicklung: Rahmenbedingungen, Optionen und Auswirkungen auf Abnehmer und Lieferant*, Wiesbaden.
- Erben, A.; Hoffmann, P.; Reichenbachs, M.; Schiele, H.; Schulz, R. (2010): *Risikomanagement im Einkauf: Handbuch und Studienergebnisse*, München/Enschede/Frankfurt.
- Faisal, M. N.; Banwet, D.K.; Shankar, R. (2007): Management of Risk in Supply Chains: SCOR Approach and Analytic Network Process, in: *Supply Chain Forum: An International Journal* 8(2), S. 66-79.
- Foerstl, K.; Reuter, C.; Hartmann, E.; Blome, C. (2010): Managing supplier sustainability risks in a dynamically changing environment - Sustainable supplier management in the chemical industry, in: *Journal of Purchasing & Supply Management* 16(2), S. 118-130.
- Fynes, B.; de Búrca, S.; Marshall, D. (2004): Environmental uncertainty, supply chain relationship quality and performance, in: *Journal of Purchasing & Supply Management* 10 (4-5), S. 179-190.
- Gabath, C. (2010): *Risiko- und Krisenmanagement im Einkauf: Methoden zur aktiven Kostensenkung*, Wiesbaden.
- Gencer, C.; Gürpınar, D. (2007): Analytic network process in supplier selection: A case study in an electronic firm, in: *Applied Mathematical Modelling* 31(11), S. 2475-2486.
- Hallikas, J.; Karvonen, I.; Pulkkinen, U.; Virolainen, V.-M.; Tuominen, M. (2004): Risk management process in supplier networks, in: *International Journal of Production Economics* 90(1), S. 47-58.
- Hallikas, J.; Virolainen, V.-M. (2004): Risk Management in Supplier Relationships and Networks, in: Brindley, C. (Hrsg.): *Supply Chain Risk*, Burlington, S. 43-65.
- Harland, C.; Brenchley, R.; Walker, H. (2003): Risk in supply networks, in: *Journal of Purchasing & Supply Management* 9(2), S. 51-62.
- Janker, C. G. (2008): *Multivariate Lieferantenbewertung: Empirisch gestützte Konzeption eines anforderungsgerechten Bewertungssystems*, Wiesbaden.
- 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.
- Köglmayr, H.-G.; Bihler, T. (2009): Managementsystem zur Früherkennung von Lieferantenrisiken, in: *Risk, Compliance & Audit* 1(4), S. 14-18.
- Kull, T. J.; Talluri, S. (2008): A Supply Risk Reduction Model Using Integrated Multicriteria Decision Making, in: *IEEE Transactions on Engineering Management* 55(3), S. 409-419.
- Lasch, R.; Janker, C. G. (2007): Risikoorientiertes Lieferantenmanagement, in: Vahrenkamp, R.; Siepermann, C. (Hrsg.): *Risikomanagement in Supply Chains: Gefahren abwehren, Chancen nutzen, Erfolg generieren*, Berlin, S. 111-132.
- Levary, R. R. (2007): Ranking foreign suppliers based on supply risk, in: *Supply Chain Management: An International Journal* 12(6), S. 392-394.
- Levary, R. R. (2008): Using the analytic hierarchy process to rank foreign suppliers based on supply risks, in: *Computers & Industrial Engineering* 55(2), S. 535-542.
- Li, X.; Barnes, I. (2008): Proactive supply risk management methods for building a robust supply selection process when sourcing from emerging markets, in: *Strategic Outsourcing: An International Journal* 1(3), S. 252-267.
- Lockamy, A. III (2011): Benchmarking Supplier Risks Using Bayesian Networks, in: *Benchmarking: An International Journal* 18(3), s.p..

- Lockamy, A. III; McCormack, K. (2010): Analysing risks in supply networks to facilitate outsourcing decisions, in: *International Journal of Production Research* 48(2), S. 593-611.
- Matook, S.; Lasch, R.; Tamaschke, R. (2009): Supplier development with benchmarking as part of a comprehensive supplier risk management framework, in: *International Journal of Operations & Production Management* 29(3), S. 241-267.
- Micheli, G. J.L.; Cagno, E.; Zorzini, M. (2008): Supply risk management vs supplier selection to manage the supply risk in the EPC supply chain, in: *Management Research News* 31(11), S. 846-866.
- Moder, M. (2008): *Supply Frühwarnsysteme: die Identifikation und Analyse von Risiken in Einkauf und Supply Management*, Wiesbaden.
- Ritchie, B.; Brindley, C. (2004): Risk Characteristics of the Supply Chain - A Contingency Framework, in: Brindley, C. (Hrsg.): *Supply Chain Risk*, Aldershot, S. 28-42.
- Rogler, S. (2002): *Risikomanagement im Industriebetrieb: Analyse von Beschaffungs-, Produktions- und Absatzrisiken*, Wiesbaden.
- Saaty, T. L. (1987): Risk – Its Priority and Probability: The Analytic Hierarchy Process, in: *Risk Analysis* 7(2), S. 159-172.
- Saaty, T. L. (2006): Rank from comparisons and from ratings in the analytic hierarchy/network processes, in: *European Journal of Operational Research* 168(2), S. 557-570.
- Saaty, T. L. (2009a): Application of Analytic Network Process in Entertainment, in: *Iranian Journal of Operations Research* 1(2), S. 41-55.
- Saaty, T. L. (2009b): *Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs, and Risks*, Pittsburgh.
- Shemshadi, A.; Toreihi, M.; Shirazi, H.; Tarokh, M. J. (2011): Supplier selection based on supplier risk: An ANP and fuzzy TOPSIS approach, in: *The Journal of Mathematics and Computer Science* 2(1), S. 111-121.
- Sinha, P. R.; Whitman, L. E.; Malzahn, D. (2004): Methodology to mitigate supplier risk in an aerospace supply chain, in: *Supply Chain Management: An International Journal* 9(2), S. 154-168.
- Spekman, R. E.; Davis, E. W. (2004): Risky business: expanding the discussion on risk and the extended enterprise, in: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 34(5), S. 414-433.
- Wagner, S. M.; Bode, C. (2006): An empirical investigation into supply chain vulnerability, in: *Journal of Purchasing & Supply Management* 12(6), S. 301-312.
- Wildemann, H. (2006): *Risikomanagement und Rating*, München.
- Wu, T.; Blackhurst, J.; Chidambaram, Vellayappan (2006): A model for inbound supply risk analysis, in: *Computers in Industry* 57(4), S. 350-365.
- Wu, C.; Barnes, D.; Rosenberg, D.; Luo, X. (2009): An analytic network process-mixed integer multi-objective programming model for partner selection in agile supply chains, in: *Production Planning & Control* 20(3), S. 254-275.
- Zsidisin, G. A. (2003a): A grounded definition of supply risk, in: *Journal of Purchasing & Supply Management* 9(5-6), S. 217-224.
- Zsidisin, G. A. (2003b): Managerial Perceptions of Supply Risk, in: *The Journal of Supply Chain Management* 39(1), S. 14-25.

Supplier Relationship Management in Performance-based Logistics: Auswirkungen auf die Zuliefererbeziehungen aus Anbietersicht

Florian C. Kleemann

Kompetenznetzwerk Performance-based Logistics, Forschungszentrum für Recht und Management öffentlicher Beschaffung, Universität der Bundeswehr München,
Werner-Heisenberg-Weg 39, 85577 Neubiberg b. München,
florian.kleemann@unibw.de

Andreas Glas

Kompetenznetzwerk Performance-based Logistics, Forschungszentrum für Recht und Management öffentlicher Beschaffung, Universität der Bundeswehr München,
Werner-Heisenberg-Weg 39, 85577 Neubiberg b. München,
andreas.glas@unibw.de

Michael Eßig

Kompetenznetzwerk Performance-based Logistics, Forschungszentrum für Recht und Management öffentlicher Beschaffung, Universität der Bundeswehr München,
Werner-Heisenberg-Weg 39, 85577 Neubiberg b. München,
michael.essig@unibw.de

Zusammenfassung

Im Zuge von Kernkompetenzkonzentration und Outsourcing versuchen Unternehmen, zunehmend Leistungsanteile durch externe Lieferanten erbringen zu lassen. Ein besonders umfassender Verantwortungstransfer findet bei komplexen Leistungsbündeln statt, deren Beschaffung eine besondere Herausforderung darstellt. Ergebnisorientierte Vertragskonzepte wie das Performance-based Logistics (PBL) stellen hier einen Lösungsansatz dar. Dieser impliziert jedoch eine besondere Beziehung zwischen Abnehmer und Anbieter, aber auch eine veränderte Kooperation zwischen dem Anbieter und seinen vorgelagerten Zulieferern. Dieser Beitrag analysiert die Implikationen auf die Anbieter-Zulieferer-Beziehungen durch PBL, unter Nutzung des IMP Group-Interaktions-Modells und einer Fallstudie aus der militärischen Luftfahrtindustrie.

Abstract

As a result of increased focus on core competencies and Outsourcing, more and more companies rely on external sources in their value creation process. An extreme form of this is "Solutions Sourcing" as a complex bundle of products and services. Procuring these product-service-combinations is a particular challenge. Outcome-oriented contracting concepts such as Performance-based Logistics (PBL) represent a potential solution for this challenge. This implies a special relationship between the provider and the customer, as well as between the provider and its upstream suppliers. This paper analyses the implications of PBL on the provider-supplier relationship using the IMP interaction model and a case study from the defense sector.

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Vor dem Hintergrund zunehmender Kernkompetenzkonzentration von Unternehmen und dem daraus entstehenden Trend zum Outsourcing spielen extern bezogene Dienstleistungen eine immer größere Rolle.¹ Selbst Unternehmen „klassischer“ Herstellerindustrien streben einen Ausbau ihres Serviceangebots an, was nicht zuletzt an den wirtschaftlichen Potentialen liegt, die diesem Feld oft zugeschrieben wird.² Folgende Abbildung zeigt für bedeutsame Industriebranchen, dass die Profitabilität im Servicegeschäft höher als im klassischen Produktgeschäft ist (vgl. Abb. 1). Ein weiterer Vorteil wird zudem in einer Verstetigung der Umsatzerlöse für die Anbieter durch Serviceangebote gesehen.³

Industrie	Energie-/Antriebs-technik	Schienenfahrzeuge	Maschinen/Werkzeuge	Papiermaschinen	Stahlbau-Anlagen	Durchschnitt Ø
Marge OEM-Geschäft	2-5%	3-6%	1-12%	1-3%	-3-6%	4%
Marge Service-Geschäft	15-20%	8-10%	5-15%	10-15%	15-20%	14%
Hebel Service- vs. OEM-Geschäft	4	2	2	5	4	3,24

Abb. 1: Profitabilitätsvergleich von Service- und Herstellergeschäft in ausgewählten Industrien⁴

Im Business-to-Business-Geschäft verschlanken sich die Abnehmerunternehmen immer stärker und ersetzen bisher interne Organisationsfunktionen – z.B. im Bereich Wartung und Instandhaltung von Produktionsanlagen – durch externe Dienstleistungen. Dadurch steigt der Fremdbezugsanteil immer weiter an – Beispiele reichen von durchschnittlich 60% bis hin zu Spitzenwerten von über 90% in einigen Branchen.⁵ Hierbei spielen Dienstleistungen sektorenübergreifend eine entscheidende Rolle. Aus der folgenden Abbildung ist zu erkennen, dass Dienstleistungen oft über 50% des Beschaffungsvolumens ausmachen (vgl. Abb. 2).

Die steigende Bedeutung von Dienstleistungen stellt die Beschaffungsfunktion vor große Herausforderungen. Obwohl die Beschaffung mittlerweile ihre operative, abwicklungsorientierte Rolle überwunden zu haben scheint und spätestens seit den 1990er Jahren sich hin zu einer strategisch bedeutsamen Unternehmensfunktion entwickelt hat, stellen insbesondere komplexe Dienstleistungen immer noch ein Problemfeld dar.⁶ Denn gerade der Bereich der Dienstleistungsbeschaffung ist vergleichsweise

¹ Vgl. Boutellier (2003), S. 456ff.; Corsten/Gössinger (2003), S. 23.

² Vgl. Oliva/Kallenberg (2003), S. 160.

³ Vgl. Kleikamp (2002), S. 34.

⁴ Quelle: Monitor Group (2004), S. 15., leicht modifiziert.

⁵ Vgl. Campbell (1995), S. 18; Venteddu/Chinnam (2011), S. 204, Large (2009), S. 1f.

⁶ Vgl. Reck/Long (1988), S. 4; Ellram/Carr (1994), S. 16f.; Carter/Narasimhan (1996), S. 24.

wenig erforscht. Die reine Güterbeschaffung stand bisher weitgehend im Vordergrund.⁷ Dies ist umso problematischer, da Güter zunehmend als „Dienstleistungsbündel“, also in einer Kombination von Produkten und zu deren Nutzung nötiger Dienstleistungen, angeboten werden.⁸ Gerade dies erschwert, z.B. aufgrund der fehlenden Vergleichbarkeit von Produkt-Service-Kombinationen, der Intangibilität von Dienstleistungen und dem hohen Anteil an Vertrauens- und Erfahrungseigenschaften im Falle komplexer, dispositiver Dienstleistungen die Arbeit der Beschaffung.⁹

Industrie	Waren / Güter (% vom BV)	Dienstleistungen (% vom BV)
Industrieller Sektor	61%	39%
Dienstleistungssektor	19%	81%
Öffentlicher Sektor	38%	62%
GESAMT	46%	54%

Abb. 2: Anteil von Dienstleistungen am Beschaffungsvolumen (BV)¹⁰

Mit „Performance-based Logistics“ (PBL, im öffentlichen Sektor) bzw. „Performance-based Contracting“ (PBC, in der privatwirtschaftlichen Investitionsgüterindustrie) existiert ein Konzept, dass die wirtschaftliche Beschaffung komplexer Produkt-Dienstleistungsbündel zum Inhalt hat. Die wesentliche Besonderheit ist, dass die Lieferanten nur nach dem Ergebnis bzw. dem Wertbeitrag ihrer Leistung („Outcome“) vergütet werden.¹¹ Das Konzept kommt überwiegend für komplexe Systeme zum Einsatz. In Fallbeispielen aus der Luftfahrtindustrie werden bspw. die Flugzeughersteller nicht mehr für das eigentliche Fluggerät und dessen Instandhaltung vergütet, sondern nach der Flugstunde. Weitere Beispiele haben sogar die Verfügbarkeit militärischer Systeme oder die Produktionsergebnisse von Fertigungsanlagen zum Inhalt.¹²

Bei PBL bzw. PBC übernimmt der Lieferant die umfassende Verantwortung für die Fähigkeiten seines Produkts, samt der dazu nötigen Dienstleistungen.¹³ Für die Abnehmer bietet dies die Möglichkeit Wertschöpfungsverantwortung abzugeben und sich intensiver auf das Kerngeschäft konzentrieren zu können.¹⁴ Indem die Lieferanten nur für den Outcome, also die tatsächlich (messbaren) Ergebnisse entlohnt werden, wird

⁷ Vgl. z.B. Wittreich (1966), S. 56; Sheth/Sharma (1997), S. 99; Smeltzer/Ogden (2002), S. 55; Vargo/Lusch (2004), S. 5ff.

⁸ Vgl. Hornschild et al. (2004), S. 65f.; zu Bündel vgl. Engelhardt et al. (1993), S. 395ff.

⁹ Vgl. CAPS Research (2003), S. 6f.; Axelsson/Wynstra (2002), S. 24; Darby/Karny (1973), S. 67ff.; Nelson (1970), S. 311ff.

¹⁰ Quelle: Fearon/Bales (1995), S. 8f., leicht modifiziert

¹¹ Vgl. Gruneberg (2007), S. 691.

¹² Vgl. u.a. Gansler/Lucyshyn (2006), S. 22; Sols et al. (2007), S. 40f.

¹³ Vgl. Kim et al. (2007), S. 1843f.

¹⁴ Vgl. Randall et al. (2010), S. 35.

dem Problem der Qualitätsüberprüfung einer intangiblen Dienstleistung begegnet.¹⁵ Die Lieferanten übernehmen durch den leistungsabhängigen Vergütungsmechanismus mehr Verantwortung und zusätzliche Risiken, erhalten aber durch die Fokussierung auf das *Leistungsergebnis* auch mehr Freiheiten bei der Gestaltung der Leistungserbringung.¹⁶ Je nach Ausgestaltung ist auch denkbar, erzielte Effizienzvorteile (z.B. aus Lerneffekten) zwischen Abnehmer und Lieferant aufzuteilen.

So ergibt sich durch PBL eine veränderte Wertschöpfungsbeziehung zwischen dem PBL-Anbieter und dessen Kunden.¹⁷ Allerdings bringt die Komplexität der angebotenen Produkt-Dienstleistungskombination oft mit sich, dass die Leistung nicht von einem Unternehmen alleine erbracht wird. Vielmehr ist ein Netzwerk von Unternehmen hierfür zuständig.¹⁸ Um die Entlastung des Abnehmers von der Wertschöpfungsverantwortung bisher intern erstellter Leistungen tatsächlich zu realisieren, ohne überproportional steigende Transaktionskosten zu verursachen, scheint es sinnvoll, die Leistung „aus einer Hand“, z.B. durch Einschaltung eines systemintegrierenden Unternehmens, anzubieten.¹⁹ Diesem fällt dann die Aufgabe zu, die Leistungserbringung sicherzustellen, was die Kombination und Koordination eigener Leistungen und die seiner Unterlieferanten impliziert. Insofern findet auch auf Zuliefererebene möglicherweise eine Verschiebung bzw. Teilübernahme der Wertschöpfungsverantwortung statt.²⁰

1.2 Forschungsansatz und Aufbau des Beitrages

Obwohl die Möglichkeiten der Lieferanteneinbindung für PBL-Anbieter eine hohe Bedeutung hat, wurde das Thema bisher nicht untersucht. Zwar ist zu PBL allgemein eine Zunahme der relevanten Forschungsbeiträge festzustellen, allerdings befasst sich keine davon mit der tatsächlichen Ausgestaltung der Lieferantenbeziehungen.²¹

Ziel dieses Beitrages ist es daher herauszuarbeiten, wie sich PBL auf die Wertschöpfungsstrukturen von PBL-Anbietern, insbesondere deren Zulieferbeziehungen, auswirkt. Die Untersuchung folgt dabei folgenden Leitfragen:

- Welche Auswirkungen hat PBL auf die Wertschöpfungsstrukturen dessen Anbieters?
- Wie verändern sich durch PBL die Beziehungen des PBL-Anbieters zu seinen Zulieferern und welche Herausforderungen ergeben sich hieraus?
- Inwieweit decken vorhandene Forschungsansätze bzw. Lieferantenbeziehungsmodelle die durch PBL bedingten Veränderungen ab?

¹⁵ Vgl. Lawther (2003), S. 179.

¹⁶ Vgl. Sols et al. (2007), S. 40.

¹⁷ Vgl. Freiling (2004), S. 688f.

¹⁸ Vgl. Buse et al. (2001), S. 5.

¹⁹ Vgl. Randall et al. (2010), S. 43f.; Präuer (2004), S. 307ff.

²⁰ Vgl. Sols et al. 2007), S. 41.

²¹ Vgl. Selviaridis (2011), S. 4.

Zur Klärung dieser Forschungsfragen wird eine sachlich-analytische Forschungsstrategie verfolgt, die mittels einer Kombination aus theoretisch-deduktiver und empirisch-induktiver Vorgehensweise umgesetzt wird. Die empirischen Bezüge werden aus einer eingebetteten Fallstudie mit Bezug zur militärischen Luftfahrtindustrie und damit einer für PBL typischen Branche gelegt.

Hierfür wird zunächst das PBL-Konzept vorgestellt und die Implikationen für die Wertschöpfungskette beschrieben. Aus der Perspektive der Dienstleistungsbeschaffung wird daran anknüpfend ein kurzer Überblick über den Forschungsstand zur Gestaltung von Lieferanten-Abnehmer-Beziehungen und hier existierenden Analysemodellen gegeben.

Anhand der Fallstudie werden dann die Auswirkungen auf die Zulieferbeziehungen im Rahmen von PBL analysiert. Die hier gewonnenen Erkenntnisse werden anschließend in bestehende Lieferantenbeziehungsmodelle übertragen und zu einem „Supplier Relationship Management in Performance-based Logistics“-Modell weiterentwickelt. Zudem werden mögliche theoretische Erklärungsansätze für diese spezifischen Lieferantenbeziehungen skizziert.

Der Beitrag schließt mit einer Zusammenfassung der wesentlichen Erkenntnisse und gibt einen Ausblick auf mögliche weitere Forschungsvorhaben.

2 Entwicklung eines Forschungsrahmens für Lieferantenbeziehungen in Performance-based Logistics

2.1 Ergebnisorientierte Vertragskonzepte

Auf der Suche nach zusätzlichen Erlöspotentialen fokussieren sich die Hersteller komplexer Systeme, wie z.B. Flugzeuge oder Produktionsanlagen, immer stärker auf die Erbringung von produktbezogenen Dienstleistungen. Spielten diese zu Beginn der skizzierten Entwicklung noch eine Nebenrolle, ergänzten also das Kernprodukt, bilden die Dienstleistungen zunehmend den Schwerpunkt.²² Vor dem Hintergrund verschlankter, auf die Kernkompetenzen fokussierter Unternehmen ist dabei weniger das Produkt oder eine einzelne Dienstleistung im Vordergrund, sondern die durch die Kombination von Einzelleistungen zu einem Dienstleistungsbündel erzielbare Lösung bzw. das Ergebnis dieser Anstrengungen.²³

Für den Kunden einer solchen Lösung hat dies den Vorteil, sich aus der Erbringung der bisher für die Nutzung eines Gutes nötigen Leistungen ganz oder teilweise zurückziehen. Allerdings muss sichergestellt werden, dass die gewünschte Lösung auch tatsächlich erfolgt bzw. das gewünschte Ergebnis erzielt wird. Hierfür bieten sich ergebnisorientierte Vertragskonzepte mit Leistungsgarantien an. Obwohl die skizzierte Lösungsorientierung nicht grundsätzlich neu ist und im Zuge von Kernkompetenzkon-

²² Vgl. Präuer (2004), S. 100.

²³ Vgl. Meier (2004), S. 4.

zentration, Lean Management und Outsourcing neuen Auftrieb bekommen hat, fehlt bislang ein einheitliches Verständnis hierfür.²⁴

Dies dürfte nicht zuletzt an der Vielfalt der Begriffe liegen, die für den grundlegenden Gedanken der Ergebnisorientierung gebräuchlich sind. Festzustellen ist, dass Bezeichnungen je nach Forschungsrichtung, betrachtetem Industriezweig oder auch einzelnen Autoren stark variieren.²⁵ In der deutschen Literatur, insbesondere für den Maschinen- und Anlagenbau, wird oftmals der Begriff „Betreibermodell“, ggf. ergänzt durch den Passus „Pay for Performance“, verwendet.²⁶ Auch der Begriff „Performance Contracting“ bezeichnet in einigen Fällen ergebnisorientierte Verträge im Maschinen- und Anlagenbau, im internationalen Umfeld dagegen wird er häufig im Zusammenhang mit Energieeinsparprojekten genannt.²⁷ Die sehr ähnliche Bezeichnung „Performance-based Contracting“ kommt dagegen überwiegend im Zusammenhang mit öffentlichen Dienstleistungen (z.B. medizinische oder soziale Dienste) vor, ebenso „Outcome-based Contracting“.²⁸ Die Anwendung von „Performance-based Logistics“ dagegen ist einheitlich dem militärischen Bereich zuzurechnen.²⁹

Den meisten dieser Begriffe sind jedoch zwei Elemente zu Eigen, die somit auch als konstituierende Merkmale für ergebnisorientierte Vertragskonzepte dienen sollen.³⁰

- die Orientierung an einem Leistungsergebnis (gegenüber einer Verwendung detaillierter Spezifikationen zu verwendender Inputs, Prozesse etc.) und
- eine Vergütung nach dem erzielten Leistungsergebnis (wobei je nach gewähltem Entlohnungsmechanismus eine zusätzliche Anreizgewährung denkbar ist, z.B. für das Erreichen besonders hoher Verfügbarkeitswerte)

In weiteren Definitionen genannte Aspekte wie z.B. die Einbindung des Kunden in die Leistungserbringung oder die Verankerung des Konzepts in langfristigen Verträgen dienen zwar der Beschreibung des gewählten Modells, bilden aber nicht deren Kern.³¹

Aufgrund des gewählten Anwendungsfalles aus der Rüstungsindustrie soll hierfür im Folgenden der Begriff „Performance-based Logistics“ verwendet werden. Der Terminus „Logistics“ sollte dabei nicht im Sinne des deutschen Verständnisses des Logistikbegriffs interpretiert werden. Vielmehr ist dieser dem umfassenden militärischen Logistikverständnis geschuldet, der neben Transport und Lagerung unter anderem auch Wartung und Instandhaltung der genutzten Systeme umfasst.³² Diesem Verständnis

²⁴ Vgl. Hypko (2010), S. 626f.

²⁵ Einen Überblick der Begriffsvariationen in englischer Sprache gibt z.B. Selviaridis (2011), S.3; weitere verwandte Konzepte sind z.B. das Solutions Sourcing, vgl. Präuer (2004), System Sourcing, vgl. Gaddde/Jellbo (2002) oder Baines et al. (2007).

²⁶ Vgl. Freiling (2003), S. 32f.; Lay (2007), S. 1f.

²⁷ Vgl. z.B. Kleikamp (2002); Hansen (2006), S. 1.

²⁸ Vgl. z.B. Martin (2003), S. 93f.; Ng et al. (2009), S. 9.

²⁹ Vgl. z.B. Berkowitz et al. (2004), S. 256; Randall et al. (2010), S. 38; Geary/Vitasek (2008), S. 3.

³⁰ Vgl. Weddeling (2010), S. 27.

³¹ Vgl. Buse et al. (2001), S. 3; Weddeling (2010), S. 25f.

³² Vgl. Eßig et al. (2009), S. 439.

folgend wird PBL für den Fortgang dieses Beitrages definiert als „*ein Leistungserbringungskonzept, das, unter Einbezug von Wartung und Instandhaltung, die Bereitstellung eines militärischen Systems nach ergebnisorientierten Kriterien bezweckt, wobei die Vergütung sich an deren Erreichen orientiert*“.³³

Die wesentliche Besonderheit von PBL ist, dass der Kunde (Abnehmer) die Verantwortung für die Erbringung einer bestimmten Leistung an einen (oder mehrere) Anbieter abgibt, wobei die Orientierung (auch der Vergütung) am Ergebnis sicherstellen soll, dass die Leistung auch tatsächlich erbracht wird.³⁴ Die Beschreibung einzelner Schritte zur Leisterbringung bzw. Produktdesign wird durch eine ergebnisorientierte bzw. funktionale Spezifikation ersetzt.³⁵ In den Vordergrund tritt also die Tatsache „ob“ bzw. „dass“ eine Leistung erbracht wird, das „wie“ tritt zurück und kann durch den Lieferanten weitgehend frei gewählt werden. Unter der Annahme, dass die gewählten Lieferanten durch Spezialisierung in der Lage sind, die Leistung bei entsprechenden Freiheiten besonders effizient zu erbringen, werden entsprechende Lerneffekte und damit Kostensenkungspotentiale erwartet.³⁶ Je nach Vertragsgestaltung ist denkbar, dass realisierte Kostensenkungen dem Lieferanten als zusätzlicher Anreiz überlassen werden, was diesem zu leistungsverbessernde Investitionen motivieren soll.³⁷ Ebenfalls ist eine Aufteilung der Effizienzvorteile zwischen Anbieter und Kunden geteilt möglich, was ein klarer Ausdruck einer besonderen Lieferanten-Abnehmer-Beziehung ist.³⁸ Aber auch der konzeptinhärente Risikotransfer kann in diesem Zusammenhang gesehen werden: werden Lieferanten nur noch nach Ergebnis vergütet, beteiligen sie sich am Absatzrisiko ihrer Kunden: eine geringere Auslastung bzw. Nachfrage nach deren Dienstleistungen bzw. Produkten bedingt in der Regel auch einen geringeren Bedarf nach zugekauften Dienstleistungen in der Leistungserstellung, die in PBL durch den Lieferanten mitgetragen werden.³⁹ So können o.g. Effizienzgewinne oder zusätzliche Prämienanreize auch als Risikoausgleich gesehen werden.⁴⁰

Wie oben erwähnt sind durch die Kombination von einzelnen Leistungen zu komplexen Leistungsbündeln oft mehrere Unternehmen an der Leistungserbringung beteiligt und somit teilweise für die Erzielung des Leistungsergebnisses verantwortlich.⁴¹ Allerdings würde die Steuerung eines solchen Netzwerks durch den Kunden selbst dem Grundgedanken des Verantwortungstransfers in PBL widersprechen. Zumeist bündelt daher ein Unternehmen die einzelnen Leistungsströme und tritt dem Kunden gegen-

³³ Vgl. zu unterschiedlichen Definitionsansätzen u.a. Weddelling (2010), S. 25; Eßig et al. (2009), S. 440f.

³⁴ Vgl. Randall et al. (2010), S. 35; Gruneberg et al. (2007), S. 691.

³⁵ Vgl. Martin (2003), S. 95.

³⁶ Vgl. Sols et al. (2007), S. 40.

³⁷ Vgl. Ng/Nudurupati (2010), S. 664.

³⁸ Vgl. Präuer (2004), S. 223.

³⁹ Vgl. Koll (2010), S. 54.

⁴⁰ Vgl. Helander/Möller (2008), S. 581.

⁴¹ Vgl. Buse et al. (2001), S. 5

über als Systemintegrator auf.⁴² Dabei ist es sowohl denkbar, dass der Systemintegrator selbst als Erbringer einzelner Teilleistungen und als Integrator auftritt, als auch, dass ein spezieller Dienstleister die Integrationsleistung übernimmt.⁴³ In jedem Fall stellt sich die Frage, wie sich die Leistungsanforderungen des Endkunden über den Integrator an die Lieferanten der wichtigsten Einzelleistungen (Systemlieferanten) und auch deren Unterlieferanten (hier als Komponentenlieferanten bezeichnet) transferieren und gleichzeitig entsprechend in die leistungsorientierte Vergütung mit einbeziehen lassen.⁴⁴ Die folgende Abbildung bildet eine generische Supply Chain für PBL ab:

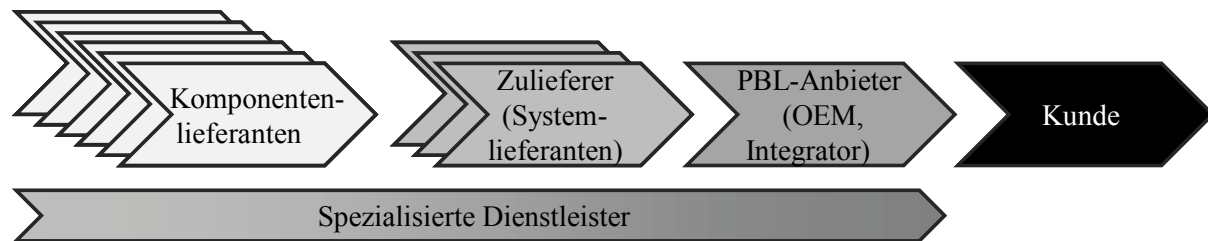


Abb. 3: Supply Chain-Skizze für Performance-based Logistics⁴⁵

Für das PBL-Konzept sind mehrere Unternehmen relevant und zu untersuchen, wobei sicherlich dem Systemintegrator eine Schlüsselrolle zukommt, da dieser die Teilleistungen beschafft und koordiniert. Die Fähigkeit, die passenden Zulieferer hierfür auszuwählen und die Beziehungen zu ihnen entsprechend dem gemeinsamen Leistungsziel zu gestalten, ist daher eine Kernherausforderung für PBL-Anbieter.⁴⁶

2.2 Management von Lieferantenbeziehungen

Nachdem der Einkauf lange als Erfüllungsgehilfe der bedarfstragenden Abteilungen angesehen wurde, entwickelte sich im Zuge von Kernkompetenzkonzentration, dem daraus resultierenden Outsourcing-Trend und dem in der Folge stark gestiegenen externen Beschaffungsvolumen eine strategische Bedeutung für den Einkauf.⁴⁷ Die Lieferanten werden als wichtige Quelle von Wettbewerbsvorteilen gesehen und so stellt das Management der Lieferantenbeziehungen eine Kernaufgabe dar.⁴⁸

Lange Zeit wurden die Lieferantenbeziehungen unter dem Paradigma des größtmöglichen Wettbewerbs gestaltet. Durch die Nutzung mehrerer Bezugsquellen sollten die Lieferanten dazu motiviert werden, bestmögliche Preise anzubieten. Gleichzeitig wird das Beschaffungsrisiko auf mehrere Bezugsquellen verteilt und somit reduziert.⁴⁹ Nicht leistungsfähige Lieferanten werden bei Bedarf kurzfristig ausgetauscht.

⁴² Vgl. Randall et al. (2010), S. 43f.; Präuer (2004), S. 307ff.

⁴³ Vgl. Zuther (2004), S. 180f.

⁴⁴ Vgl. Sols et al. (2007), S. 41; Zuther (2002), S. 86.

⁴⁵ Quelle: eigene Darstellung, in Anlehnung an Zuther (2002), S. 86.

⁴⁶ Vgl. Sols et al. (2007), S. 41; Präuer (2004), S. 213.

⁴⁷ Vgl. Boutellier (2003), S. 456ff.; Moser (2007), S. 57.

⁴⁸ Vgl. Sheth/Sharma (1997), S. 91f.; Ellram/Carr (1994), S. 16f.

⁴⁹ Vgl. Svahn/Westerlund (2009), S. 176.

Seit Anfang der 1980er Jahre allerdings wurden zunehmend kooperativere Lieferantenbeziehungen propagiert: Unternehmen sollten sich auf einzelne Lieferanten konzentrieren („Single Sourcing“) und enge Beziehungen mit diesen pflegen.⁵⁰ Engere Beziehungen bedingen zwar Abhängigkeiten, werden aber als unerlässlich angesehen, um im globalen Wettbewerb zu bestehen. Die langfristige Ausrichtung soll beide Seiten durch höhere Planungssicherheit dazu bringen, beziehungspezifische Investitionen zu tätigen, um gemeinsam ein für beide besseres Gesamtergebnis zu erzielen. In kurzfristigen Beziehungen wird hierfür keine Notwendigkeit gesehen bzw. die Gefahr von Opportunismus verhindert eine zu enge Bindung.⁵¹

Der hohe Aufwand für Aufbau und Pflege von engen Lieferantenbeziehungen bedingt, dass Einkäufer ihre Aktivitäten auf einzelne Lieferanten fokussieren müssen. In diesem Zusammenhang wird, trotz des übergeordneten Trends zu kooperativeren Lieferantenbeziehungen, häufig betont, dass kooperative Ansätze nicht grundsätzlich für alle Beschaffungsobjekte einzusetzen sind. Vielmehr wird ein differenzierter Einsatz verschiedener Beziehungstypen empfohlen.⁵²

Lieferantenbeziehungen wurden bereits vielfach analysiert. Im Wesentlichen sind dabei zwei Forschungsperspektiven festzustellen: einerseits wird die Lieferantenbeziehung als eine Abfolge von Phasen, also prozessual, betrachtet. Die andere Sichtweise versucht die Bestandteile der Beziehung zu identifizieren, wobei die Ausprägungen der Merkmale ergeben, ob eine kooperativere oder eher transaktionale Lieferantenbeziehung vorliegt.⁵³ Die folgende Abbildung stellt einige Betrachtungsmodelle für die Lieferanten-Abnehmer-Beziehung vor (vgl. Abb. 4).

Modell	Autor(en)	Veröffentlicht
Interaction Model	Hakansson (IMP Group)	1982
Relationship Development Model	Dwyer et al.	1987
Purchasing Partnerships	Ellram	1991
Cooperative Exchange	Pilling / Zhang	1992
Integrated Model of Buyer-Seller-Relationships	Wilson	1995
Portfolio of Buyer-Supplier Relationships	Bensaou	1999
Integrative Framework for SRM	Park et al.	2010
Relationship Quality (Service)	Schönberger	2011

Abb. 4: Ausgewählte Modelle für Lieferanten-Abnehmer-Beziehungen⁵⁴

Weit verbreitet ist das Interaktions-Modell der IMP-Group, dessen hohe Relevanz u.a. darin liegt, dass es in umfangreichen empirischen Studien erarbeitet und daher breit fundiert wurde.⁵⁵ Daher scheint es für eine Nutzung im Rahmen einer ansonsten pra-

⁵⁰ Vgl. Tang (1999), S. 39; Heide/John (1990), S. 24.

⁵¹ Vgl. Sheth/Sharma (1997), S. 95f.

⁵² Vgl. Bensaou (1999), S. 35f.

⁵³ Vgl. Park et al. (2010), S. 499ff.

⁵⁴ Quelle: eigene Darstellung

⁵⁵ Vgl. Woo/Ennew (2004), S. 1252.

xisorientierten Fallstudie besonders geeignet. Basierend auf charakteristischen Organisationsstrukturen von Lieferanten und Abnehmer beschreibt das Modell Lieferantenbeziehungen als Ergebnis eines unmittelbaren Interaktionsprozesses, der auch als Abfolge mehrerer Transaktionen gesehen werden kann. Diese wiederum werden von kurz- und langfristigen Faktoren beeinflusst, wie z.B. Preis, Informationsaustausch oder Machtverhältnis. Dem übergeordnet werden auch beziehungsexterne Umwelteinflüsse (z.B. Marktstruktur) einbezogen (vgl. Abb. 5).⁵⁶ Das Modell wird nun auf seine Anwendbarkeit für PBL-Lieferantenbeziehungen überprüft.

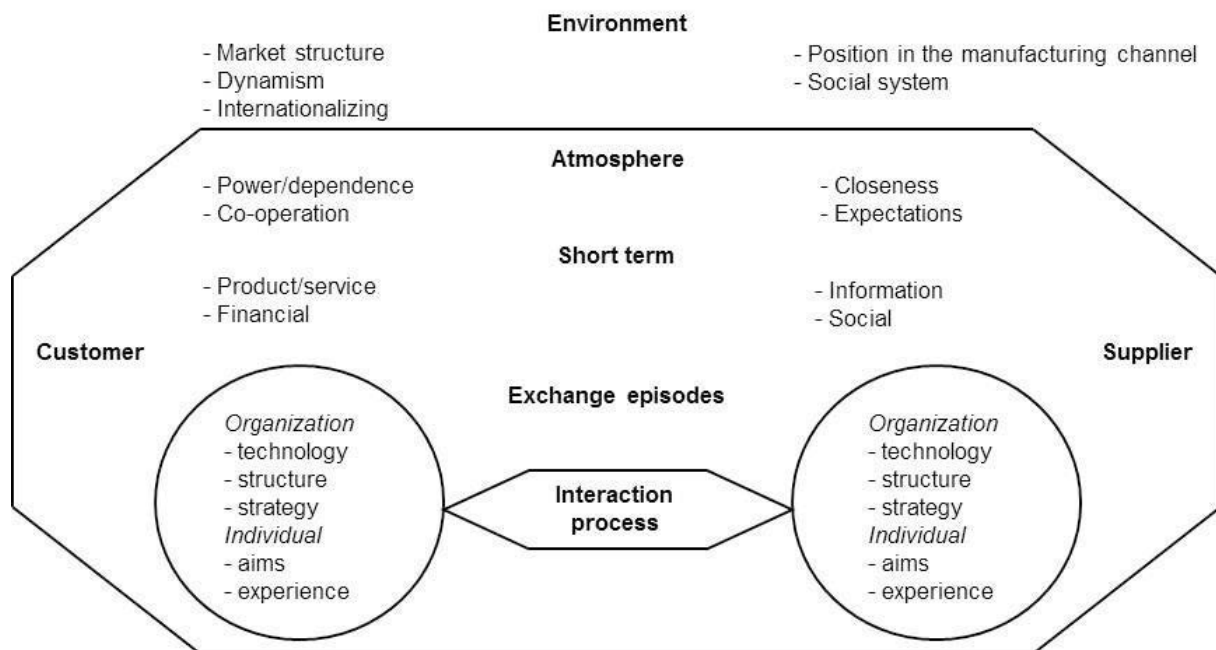


Abb. 5: Das Interaktions-Modell von Hakansson / IMP Group⁵⁷

2.3 Auswirkungen von PBL auf die Lieferantenbeziehungen

Durch das PBL-Konzept ergeben sich grundlegende Veränderungen für die Lieferanten-Abnehmer-Beziehung, gerade für den ergebnisverantwortlichen Anbieter, denn dieser garantiert dem Kunden die Performance der zu erbringenden Dienstleistung. Aufgrund der notwendigen Integration des durch den Kunden festgelegten externen Faktors, entsteht durch Nachfrageschwankungen bzw. unterschiedlichen Situationsbedingungen ein hoher Koordinations- und Planungsbedarf. Gleichzeitig ist der Anbieter von PBL seinerseits abhängig von der Zuarbeit seiner Zulieferer, also der Integration vorgelagerter Leistungen. Dies betrifft sowohl die Übernahme und ggf. Weitergabe von Kundenrisiken auf die Zulieferunternehmen, als auch die Koordination der tatsächlichen, gemeinsamen Leistungserbringung.⁵⁸ Je nachdem ob und an welcher Stelle eine Entkopplung der Endleistung mit vorgelagerten Teilleistungen erfolgt, kann über entsprechende Vergütungsmodelle eine Verhaltenssteuerung, z.B. über das Setzen von

⁵⁶ Vgl. zu diesem Abschnitt Hakansson (1982), S. 6ff.

⁵⁷ Quelle: Hines (2004), 172; in enger Anlehnung an Hakansson (1982), S. 15.

⁵⁸ Vgl. Präuer (2004), S. 309.

Anreizen und die Aufteilung von realisierten Effizienzvorteilen, auch der Vorlieferanten erfolgen.⁵⁹ Genauso ist aber auch eine rein transaktionale Lieferantenbeziehung denkbar.⁶⁰ Eine erfolgreiche Koordination in der Leistungserbringung setzt wiederum eine intensivere Kommunikation und engere Kooperation zwischen dem systemintegrierenden PBL-Anbieter und seinen Zulieferern voraus.

Hieraus wird klar, dass der PBL-Anbieter seine Lieferantenbeziehungen in besonderer Weise steuern muss. Dabei spielt der Endkunde als Ausgangspunkt der Leistungserwartung ebenso eine Rolle wie die Komponentenlieferanten als Mit-Träger der Leistungserbringungsrisiken. Allerdings ist kaum denkbar, dass bei der Kombination von Einzelleistungen zu einem komplexen Leistungsbündel alle eingebundenen Institutionen einheitlich agieren.⁶¹ Entscheidend für die Einbindung der Zulieferunternehmen ist, inwieweit diese an die vom Kunden erwartete Leistung gekoppelt sind. Ein Teile-Hersteller, der seine Vorleistung in das Materiallager des PBL-Anbieters liefert weist selbstverständlich einen niedrigeren Kopplungsgrad auf, als ein Systemlieferant, welcher wesentlich zum Gesamtergebnis beiträgt und hierfür eine Verfügbarkeitsgarantie seines Teilsystems abgibt bzw. eine garantierte Prozesslaufzeit seiner Arbeiten verspricht. Die in der folgenden Abbildung skizzierte Verbindung zwischen den Beteiligten der Wertschöpfungskette stellt zwar die jeweilige Lieferantenbeziehung dar, diese kann aber unterschiedlichen Ausprägungen folgen (vgl. Abb. 6). Die folgende Fallstudie greift diese Aspekte nochmals auf und liefert einen konkreten Anwendungsfall für das PBL-Lieferantenbeziehungsmanagement.

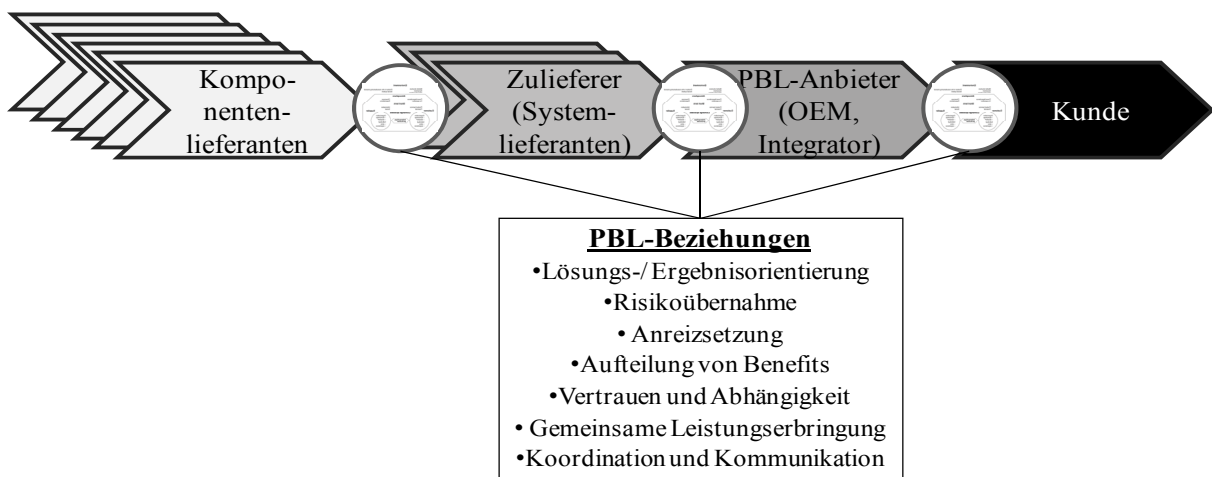


Abb. 6: PBL-Lieferantenbeziehungen entlang der Supply Chain⁶²

⁵⁹ Vgl. Ng et al. (2009), S. 380.

⁶⁰ Vgl. Freiling (2004), S. 690.

⁶¹ Vgl. Cousins/Spekman (2003), S. 24.

⁶² Quelle: eigene Darstellung

3 Fallstudie: Lieferantenmanagement bei einem PBL-Anbieter aus der Rüstungsindustrie

3.1 Methodik und Konstellation der Fallstudie

Das Forschungsfeld für PBL befindet sich, insbesondere im Zusammenhang mit der Ausgestaltung der Lieferantenbeziehungen, noch am Anfang. Angesichts dieses Mangels an konzeptionellen und empirischen Vorarbeiten wurde ein exploratives, fallstudienbasiertes Vorgehen gewählt, da sich dieses besonders gut für wenig untersuchte Phänomene eignet.⁶³ Limitationen in der Generalisierbarkeit werden dabei als ein durch die geringe thematische Verbreitung gegebener Umstand akzeptiert. Der gesamte Forschungsprozess orientierte sich an den Ausführungen von Yin (2009).⁶⁴

Die Problemstellung ergab sich aus einem durch die Autoren durchgeführten, praxisorientierten Forschungsprojekt mit einem Hersteller militärischer Luftfahrzeuge, welches im Folgenden „Beispielunternehmen“ genannt wird. Die Problemstellung wurde anhand der Ergebnisse einer parallelen Literaturanalyse, die in Abschnitt 2.1 zusammengefasst wurde, konkretisiert. Die Nutzung von Daten aus praktischen Forschungsprojekten (im Sinne der Aktionsforschung) wird dabei als Vorteil für die Lösung gering strukturierter Problemstellungen angesehen und auch explizit für die Supply Chain-Forschung gefordert.⁶⁵

Die Auswahl des zugrundeliegenden Falles ist dabei bewusst im Wesentlichen aus zwei Gründen erfolgt.⁶⁶ Zum einen ist die militärische Luftfahrzeugindustrie eine für PBL typische Branche und zum anderen bot das gemeinsame Forschungsprojekt eine gute Möglichkeit besonders intensive Einblicke und detaillierte Daten zu erhalten.⁶⁷ Die Nutzung einer Einzelfallstudie ist hier aufgrund der thematischen Neuartigkeit angemessen. Eine Verbreitung der empirischen Basis ist in einer weiterführenden Forschungsarbeit vorgesehen, insofern kann der Fall auch als Pilotstudie gewertet werden.

Die Datenerhebung erfolgte vor allem mittels semi-strukturierter Interviews im Beispielunternehmen.⁶⁸ Ergänzt wurden diese durch einen Expertenworkshop mit Vertretern aus verschiedenen Unternehmen (und damit Wertschöpfungsstufen) der Luftfahrzeugindustrie. Dieser Workshop wurde genutzt, um die initial gewonnenen Erkenntnisse zu hinterfragen und zu ergänzen. So wurden im Zeitraum von März bis Oktober 2010 insgesamt 18 Personen befragt. Die dabei erhobenen Daten wurden durch eine konzeptionelle Clusterung sowie einem kausalen Netzwerk strukturiert und analysiert.⁶⁹ Um die Erklärungsbildung als weiterführendes Analyseinstrument nutzen zu können, berücksichtigen die Autoren die Besonderheiten der gewählten Fallstudienin-

⁶³ Vgl. Voss et al. (2002), S. 197f.

⁶⁴ Vgl. Yin (2009.)

⁶⁵ Vgl. Naslund (2002), S. 323 bzw. S. 328.

⁶⁶ Vgl. Patton (2002), S. 230ff.

⁶⁷ Vgl. Stuart et al. (2002), S. 426f.

⁶⁸ Siehe auch Übersicht im Anhang; zu semi-strukturierten Interviews und Workshop vgl. Aghamano-ukjan et al. (2009), S. 421f.

⁶⁹ Vgl. Miles/Huberman (1984), S. 127ff. sowie S. 151ff.

dustrie durch kritische Würdigung der vorhandenen, Supply Chain-relevanten Literatur zur (militärischen) Luftfahrtindustrie. Dies dient im Sinne der Triangulation der Erhöhung der Aussagenqualität.⁷⁰

Im konkreten Fall handelt es sich um einen konzerngebundenen, führenden Hersteller von militärischen Luftfahrzeugen mit internationaler Präsenz. Da die Rüstungsindustrie in Europa jedoch relativ heterogen und von nationalen Interessen beeinflusst ist, ist der Anwendungsfall zunächst auf die deutsche Unternehmenszentrale und deren deutschen Hauptkunden begrenzt.⁷¹ Das Beispielunternehmen verantwortet vor allem die Endmontage der verschiedenen Teilsysteme (Motoren, Rumpf, Radar...) zu einem Gesamtsystem (Flugzeug). Diese Struktur einer Wertschöpfungskette mit einem Systemintegrator ist für PBL als durchaus typisch zu beschreiben und trägt zur Validität des gewählten Fallbeispiels bei.

3.2 Fallbeschreibung: PBL-Lieferantenbeziehungen in der militärischen Luftfahrzeugindustrie

Das Beispielunternehmen betreut im Wesentlichen zwei PBL-ähnliche Verträge:⁷²

- einen (PBL 1), in dem eine ergebnisorientierte Leistungserbringung (Verfügbarkeit von Flugzeugersatzteilen) erfolgt, das Flugsystem jedoch schon das Ende seines Lebenszyklus erreicht hat (EG3), sowie
- einen (PBL 2), bei dem eine Form von Anreizgewährung erfolgt, d.h. zusätzliche Vergütungen in Abhängigkeit von Leistungsergebnissen (Verfügbarkeit) und den dafür benötigten Ressourcen vorgesehen ist. Dieses System befindet sich in der Serienproduktion und ist bereits in Betrieb (EG2).

Dass nicht noch mehr PBL-Verträge genutzt werden liegt zum einen in der defensiven Haltung der Hauptkunden zu dem Konzept, zum anderen auch an internen Vorbehalten im Beispielunternehmen. So bestehen interne Vorbehalte bezüglich der Risiken einer verstärkten Wertschöpfungsverantwortung sowie einer ungleichen Verteilung dieser Risiken zwischen dem Kunden, dem Beispielunternehmen und den Vorlieferanten.⁷³

Im Fall des ergebnisorientierten Vertrags (PBL 1) erfolgt daher keinerlei Weitergabe der Leistungsparameter an die Lieferanten. Die Risiken werden im Wesentlichen durch Risikovorsorgemaßnahmen, z.B. eigene Teilelager, optimierte Logistikprozesse o.ä., aufgefangen, zumal die Kosten hierfür dem Endkunden in Rechnung gestellt werden können.⁷⁴ Durch eine Lagerhaltung wird damit bewusst eine Entkopplung des Leistungserstellungsprozesses des PBL-Anbieters und der hierfür notwendigen Vorleistungen von Zulieferern erreicht. Sämtliche Prozesse und Dienstleistungen werden intern, also durch den Systemintegrator selbst übernommen.

⁷⁰ Vgl. Yin (1994), S. 110f.; Denzin (1978), S. 291.

⁷¹ Vgl. Trybus (1999), S. 10.

⁷² EG = Erhebungsgespräch; vgl. Interviews EG1, EG2, EG3

⁷³ Vgl. Glas et al. (2011), S. 207; EG3

⁷⁴ Interview EG3

Es zeigt sich, dass ein PBL-basierter Vertrag zwischen dem Endkunden und dem Anbieter nicht zwingend eine PBL-orientierte Lieferantenbeziehung zwischen dem Anbieter und seinen Zulieferern nach sich zieht. Trotzdem sind diese Beziehungen nicht rein transaktional, denn für langlebige Systeme, wie Flugzeuge mit Lebenszyklen von über 30 Jahren, bestehen mit den meisten Lieferanten längerfristige Beziehungen, z.B. zur Vermeidung von Obsoleszenzen.⁷⁵

Für den anreizbasierten PBL-Vertrag (PBL 2) ergibt sich dagegen eine relativ komplexe Situation. Das Beispielunternehmen ist für die Teileverfügbarkeit in beim Endkunden angesiedelten Ersatzteillägern zuständig. Je höher die Verfügbarkeit und je niedriger der hierfür benötigte Ressourcenaufwand, desto höher fällt eine jährliche Bonuszahlung an den Anbieter aus. Wird eine garantierte Mindestverfügbarkeit gegenüber dem Endkunden nicht eingehalten, dann wird eine Vertragsstrafe fällig, die mit der Jahresvergütung des Anbieters verrechnet wird.

In diesem Fall werden die Zulieferunternehmen ausschließlich vom Beispielunternehmen gesteuert und sind an dieses durch einen eigenen PBL-Vertrag gebunden. Die vertraglichen Leistungsgrößen des Lieferantenvertrags weichen aber von denen des Endkundenvertrags ab (Reaktionszeit für benötigte Ersatzteile). Sollte durch die Minderleistung einzelner Lieferanten die endkundenseitige Zielgröße (Verfügbarkeit) nicht erreicht werden, so wirkt die Vertragsstrafe zunächst auf den Systemintegrator. Das Beispielunternehmen kann die Strafe jedoch anteilig an die für die Kürzung verantwortlichen Lieferanten weitergeben. Allerdings ist dies den Anteil des betreffenden Lieferanten begrenzt.⁷⁶

Allerdings verzichtet das Beispielunternehmen auch darauf, erhaltene Bonuszahlungen an die Unterlieferanten weiterzugeben.⁷⁷ Insofern lässt sich für diese Lieferantenbeziehungen nur eine teilweise PBL-Orientierung feststellen. Plakativ kann man dies mit „Strafe Ja – Bonus Nein“ beischreiben.

Bestrebungen des Anbieterunternehmens, weitere PBL-Verträge in Zusammenarbeit mit den Lieferanten anzubieten, sind bisher an der Ablehnung der Lieferanten gescheitert. Hierfür wird eine Reihe von Gründen genannt.⁷⁸ Zum einen ist die Lieferantenstruktur und der Beschaffungsmarkt in der militärischen Luftfahrtindustrie sehr heterogen. Kleine Nischenanbieter von Spezialkomponenten sind ebenso unverzichtbar wie große Systemlieferanten.

Allerdings hat jede Unternehmensgröße bzw. -spezialisierung tendenziell stark unterschiedliche Risikoprofile zur Folge, was der PBL-immanenten Risikoübernahme teilweise stark entgegensteht. Eine Top-Down-Durchsetzung von PBL durch den Anbieter

⁷⁵ Vgl. Burghardt et al. (2002), S. 675.

⁷⁶ Hierzu ein vereinfachtes Beispiel: Lieferant L hat einen Wertschöpfungsanteil von 50%, hier gleich 50€. Die Gesamtzahlung von 100€ wird aufgrund Minderleistung um 5% auf 95€ gekürzt, also um 5€. Hiervon können dem Wertschöpfungsanteil von L entsprechend jedoch nur 50%, also 2,5€, an L weitergegeben werden. Die restliche Pönale von 2,5€ ist durch den Anbieter zu tragen.

⁷⁷ Für den gesamten Absatz: Interview EG2

⁷⁸ Hierzu Interview EG1

scheint aufgrund der Marktsituation kaum denkbar. Denn aufgrund der geringen Stückzahlen des Rüstungsgeschäfts gegenüber der zivilen Luftfahrtindustrie, der hochspezifischen Technologie, den langen Produktlebenszyklen und der damit verbundenen geringeren Attraktivität kann der Zuliefermarkt der militärischen Luftfahrtindustrie als oligopolistisch geprägt bezeichnet werden.⁷⁹ Dies wird sich aufgrund der geplanten Einsparungen in den Rüstungsetats der wichtigsten Industrienationen und dem daraus erwarteten Konsolidierungsprozess weiter verschärfen.⁸⁰ Die langen Produktlaufzeiten in Verbindung mit der spezifischen Technologie führen sogar oft dazu, dass Vergabeentscheidungen für einen Lieferanten ein Lebenszyklus-Monopol bedeuten.⁸¹

Selbst wenn Lieferanten einer Einbindung nach PBL-Kriterien positiv gegenüber stehen, könnten diese mit Perspektive auf die ihnen wiederum vorgelagerte Zuliefererstruktur bzw. Machtposition darin schnell an Grenzen des Risikotransfers gelangen.⁸² Je weniger ein Zulieferer seinen Fokus auf das Rüstungsgeschäft hat, desto weniger dürfte er zu einer Risikoübernahme im Rahmen von PBL bereit sein.⁸³ Um dennoch die PBL-Anforderungen erfüllen zu können, sind deshalb Risikopuffer, z.B. Sicherheitsbestände, nötig, was allerdings die Kosten entlang der Wertschöpfungskette massiv erhöhen würde. Insofern sieht sich das Beispielunternehmen einer Reihe von Herausforderungen bei der Gestaltung von Lieferantenbeziehungen gegenüber. Diese werden im folgenden Abschnitt genauer analysiert und dann mit den Grundlagen aus Kapitel 2 zu einem „Supplier Relationship Management (SRM)-Modell für PBL“ weiterentwickelt.

3.3 Fallstudienanalyse und Entwicklung eines PBL-SRM-Modells

Aus der vorangegangenen Fallbeschreibung lassen sich in Bezug auf die Lieferantenbeziehungen des betrachteten PBL-Anbieters einige Erkenntnisse ableiten.

Zuerst ist festzustellen, dass die enge PBL-Beziehung zwischen Kunde und Integrator nur bedingt auf vorgelagerte Beziehungen zwischen Integrator und Lieferanten umgesetzt werden. Vielmehr scheinen geringes Vertrauen, vergleichsweise geringes Interesse und ausgeprägtes Machtdenken dazu zu führen, dass PBL auf vorgelagerten Stufen nicht oder nur partiell umgesetzt wird. Dies ist konsistent zu früheren Analysen der Marktsituation in der Luftfahrzeugindustrie, welche starke Veränderungen innerhalb der Supply Chain konstatiert, die sich in einer Machtverschiebung von den OEM-Herstellern zu den Lieferanten, dem Konflikt bezüglich des Zugangs zum gemeinsamen Abnehmer (also den Flugzeugbetreibern) insbesondere im Wartungs- und Instandhaltungsgeschäft und den daraus resultierenden, von gegensätzlichen Interessen geprägten Lieferantenbeziehungen, äußern.⁸⁴

⁷⁹ Interview EG1, vgl. dazu auch Hartley (1998), S. 58.

⁸⁰ Interview EG1, vgl. dazu auch Glas et al. (2011), S. 202f.

⁸¹ Interview EG1, vgl. dazu auch Hartley (1998), S. 59f.

⁸² Interview EG4, vgl. dazu auch Kim et al. (2007), S. 1844.

⁸³ Interview EG4.

⁸⁴ Vgl. Rosetti/Choi (2005), S. 47ff.

Nichtsdestotrotz herrscht weiterhin eine hohe gegenseitige Abhängigkeit, denn die OEMs können beim herrschenden Konkurrenzdruck den technologischen Weiterentwicklungsaufwand nicht alleine tragen und die Zulieferer haben für den eigenen wirtschaftlichen Erfolg ein Interesse an erfolgreichen OEM-Systemen (und dem daran anknüpfenden, lukrativen Markt für Wartung und Instandhaltung).⁸⁵

Allerdings bedingt der Einsatz eines Systemintegrators in PBL, dass vorgelagerte Modullieferanten ihren direkten Kundenzugang verlieren. In den betrachteten Fallbeispielen ist nicht zu erkennen, dass den Lieferanten hierfür ein Ausgleich zuteil wurde. Das würde auch die festgestellte, geringe Bereitschaft zur tieferen Integration in PBL-Verträge erklären, obwohl die Einbindung der Lieferanten als sehr wichtig bezeichnet wird.⁸⁶ Eine Angleichung der Ziele von Lieferanten und Anbieter durch gerechtere Risiko-Anreizaufteilung scheint daher ein zentraler Erfolgsfaktor für Lieferantenbeziehungen in PBL.⁸⁷ Maßgebender Faktor für die gemeinsamen Ziele ist hierbei der Kunde der gemeinsam erbrachten PBL-Lösung. Zwar wirkt der Kunde, wie beide Vertragsbeispiele belegen, nicht zwingend direkt auf die Lieferantenbeziehung ein; dennoch prägen die mit ihm vereinbarten Leistungserwartungen und –anreize wesentlich die Ziele des Anbieters, auf die es die Lieferanten auszurichten gilt. Ähnliches sollte, angesichts der in der Fallstudie angedeuteten Probleme zur Einbindung der Upstream-Komponentenlieferanten, auch auf weiteren Ebenen der Lieferkette gegebenenfalls berücksichtigt werden.

Im Rückbezug auf das in 2.2 vorgestellte Interaktions-Modell bedeutet dies, dass das IMP-Modell die PBL-relevanten Beziehungsaspekte zwar in großen Teilen abdeckt, die Leistungserwartung des Kunden aber ebenso fehlt wie die Interessensangleichung über Anreiz-/Risikomechanismen. Die Transformation des vom Kunden erwarteten Outcome in eine Performance-Anreiz-Risiko-Struktur für den Systemintegrator ist bereits ein großes praktisches Problem. Die adäquate Definition des Outcome und die Disposition von Risiken und Anreizen auf eine gewisse Anzahl an Systemlieferanten und wichtiger Komponentenhersteller stellt mit Sicherheit eine enorme Koordinationsleistung des PBL-Anbieters dar. Daher wird vorgeschlagen, diese Aspekte als zusätzliche Elemente in ein weiterentwickeltes „IMP Supplier Relationship Modell für PBL“ aufzunehmen, wobei die Kunden- und Leistungserwartung sich als Rahmenvorgabe in der Kooperationsumwelt wiederfindet und die Zielangleichung der Kooperationsatmosphäre zugeordnet wird (vgl. Abb. 7).

Darauf aufbauend sollen auch die Gestaltungsmöglichkeiten für PBL-Beziehungen für den in diesem Beitrag fokussierten Ausschnitt der Wertschöpfungskette, der Dyade zwischen PBL-Anbieter und dessen Systemlieferanten, aufgezeigt werden. Folgt man den wesentlichen Charakteristika von PBL (Ergebnisorientierung, Leistungsvergütung), so ist eine Beziehung nur dann vollständig „Performance-based“, wenn auch beide Aspekte in die Beziehung mit eingehen. („Full PBL“). Erfolgt nur eine teilweise

⁸⁵ Vgl. Bales et al. (2004), S. 254.

⁸⁶ Vgl. Sols et al. (2007), S. 41.

⁸⁷ Vgl. Buse et al. (2001), S. 20.}

Umsetzung (entweder Ergebnisorientierung oder Leistungsvergütung) der PBL-Parameter, kann dies als „Partial PBL“ bezeichnet werden. Basiert eine Beziehung auf keinem der beiden Eckpfeiler, wird diese „Non-PBL“ genannt. Während „Non-PBL“ für spezifische Auswirkungen von PBL auf die Lieferanten-Abnehmer-Beziehungen keine Aussagekraft hat, so ist dies dennoch eine Gestaltungsoption für PBL-Anbieter. Außerdem kann sie als Beleg dafür angesehen werden, dass der Einfluss des PBL-Kunden auf die Zuliefererbeziehungen des PBL-Anbieters nicht zwingend ist (vgl. Abb. 8).

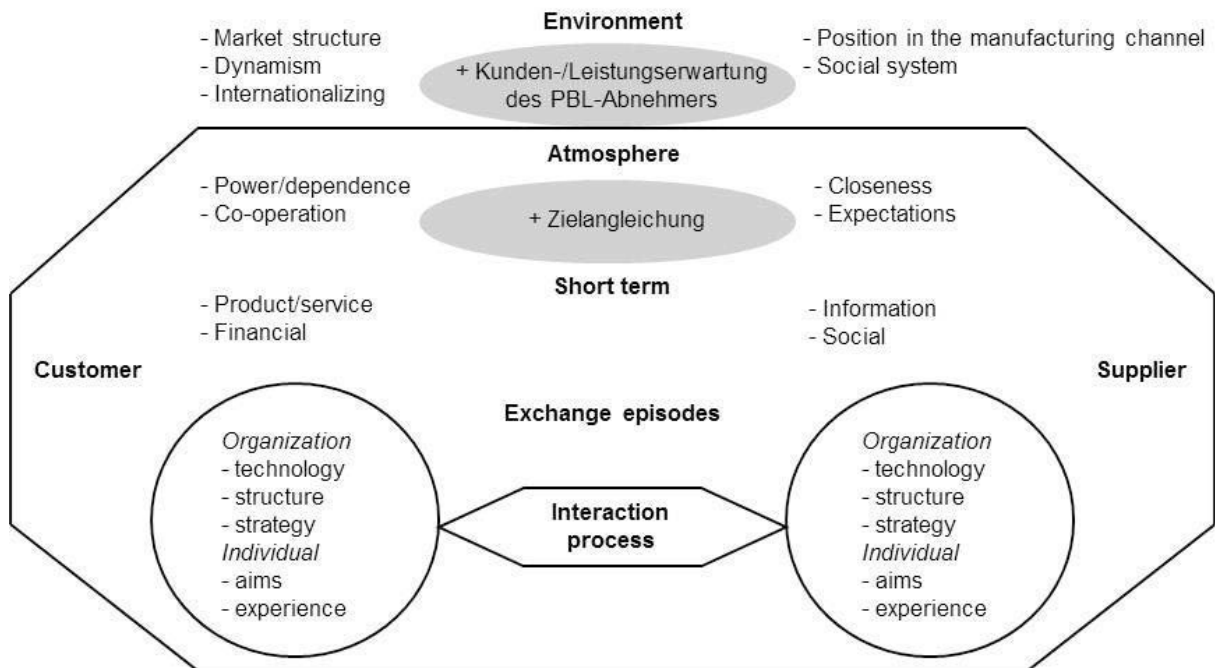


Abb. 7: Supplier Relationship-Modell für Performance-based Logistics

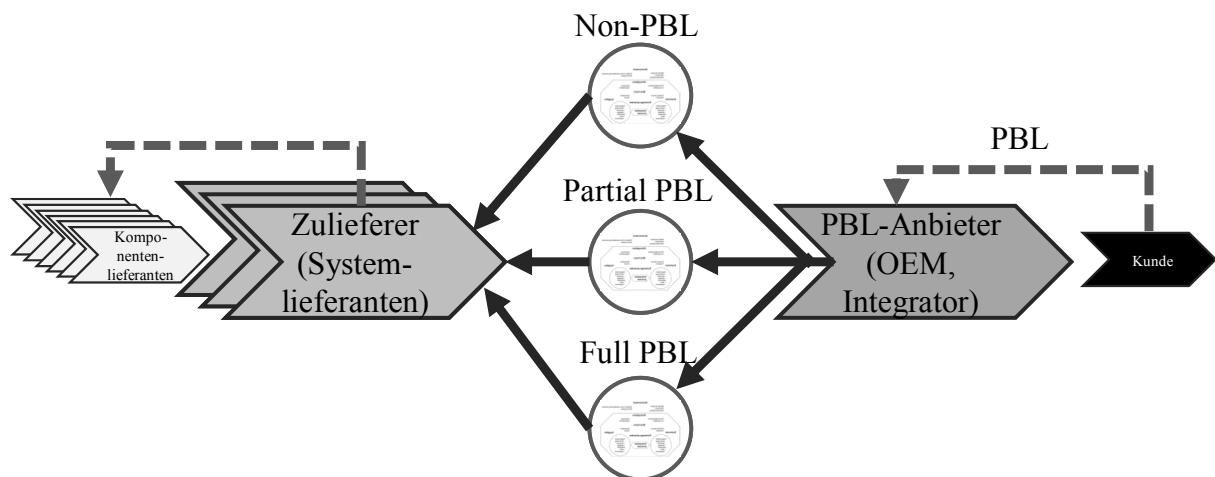


Abb. 8: Supplier Relationship-Typen in der Performance-based Logistics-Supply Chain

Während dieses Kapitel die Besonderheiten von PBL für Lieferantenbeziehungen anhand einer Fallstudie herausarbeitete, skizziert der nächste Abschnitt mögliche theoriegeleitete Ansätze hierfür.

4 Theoretische Erklärungsmuster

Die Auswirkungen von PBL auf die Zulieferkette eines Anbieters tangiert eine Vielzahl an Problemstellungen der betriebswirtschaftlichen Forschung. Als wesentliche Treiber der Entwicklung wurden in diesem Beitrag die Kernkompetenzkonzentration, Outsourcing und Lean Management genannt, wobei die ersten beiden Begriffe eine Optimierung strategischer Unternehmensentscheidungen bezweckt (Effektivität der Wertschöpfung), während letzterer eher auf die operativen Ebene (Effizienz der Wertschöpfung) abzielt. Bedenkt man, dass PBL den ergebnisorientierten Leistungsaustausch von Dienstleistungen und die Erschließung von Optimierungspotentialen bezweckt, dann erkennt man, dass vielfältige Berührungspunkte zu einzelnen Unternehmensfunktionen (Beschaffung, Produktion, Absatz, Controlling, Finanzierung, Forschung und Entwicklung, Marketing etc.) und dynamischen Prozessen (Change, Performance, Innovations- und Qualitätsmanagement) bestehen.

Ein einzelnes Erklärungsmuster ist deshalb wohl kaum in der Lage, sämtliche Partialaspekte von PBL hinreichend zu untersuchen. Zudem führt die Verwendung multipler Theorien und Konzepte zu einer Methoden- und Theorietriangulation und damit möglicherweise zu einer höheren Konsistenz und Validität der Aussagen zu PBL.⁸⁸

Die nutzbaren Erklärungsmuster können auf mehreren Ebenen ansetzen, wobei grob eine totale von einer partiellen Analyseebene unterschieden werden kann. In einer Auswertung der bisherigen Forschung zu PBL wurde im Schwerpunkt die neue Institutionenökonomik mit der Transaktionskostentheorie, der Prinzipal-Agent-Theorie und der Theorie übertragbarer Verfügungsrechte, genutzt. Daneben kamen Ansätze des Relational Contracting und der Service-dominant Logic zum Einsatz.⁸⁹

Nimmt man diese Theorien als Ausgangspunkt, um weitere Zugänge zur Thematik zu finden, so eignen sich zur Analyse des Gesamtzusammenhangs sicherlich noch weitere grundlegende Theorien und Konzepte. So kann die System- und Netzwerktheorie, genutzt werden, um die vielschichtigen Kooperationsbeziehungen zu beleuchten, wobei Transaktionskosten sicherlich eine Rolle spielen werden. Der Resource-Dependence-Ansatz und insbesondere der Resource-Based-View mit Verzweigungen, z.B. des Relational View, des Kernkompetenzenansatzes und Dynamic Capabilities, könnten ebenfalls helfen, die Arbeitsteilung und Spezialisierung auf unterschiedlichen Wertschöpfungsstufen zu untersuchen.⁹⁰

Spezielle Problemstellungen, z.B. hinsichtlich der Performance Messung eines Leistungsbündels oder bezüglich des Innovations-, Kommunikations- oder Interaktionsverhaltens der Akteure in einem speziellen Fall, können mit Hilfe weiterer Theorien untersucht werden. Beispielhaft werden genannt: Die Kontingenztheorie für die Analyse spezifischer Situationsbedingungen, die Diffusionstheorie, die Informationsöko-

⁸⁸ Vgl. Blaikie (1991), S. 115f.; Flick (2008), S. 8f; Bamberger/Wrona (1996), S. 143ff.

⁸⁹ Vgl. Selviaridis (2011), S. 7f.

⁹⁰ Vgl. u.a. Friedrich (1984); Williamson (1975); Vargo/Lusch (2004), S. 1ff.; Dyer/Singh (1998), S. 660ff.; Prahalad/Hamel (1990), S. 79ff.; Teece et al. (1997), S. 509ff., außerdem Dowling/Lechner (1998), S. 86ff.

nomik, die Social-Exchange-Theorie, die Motivationstheorie und die Organisationstheorie zur Reflexion der Wirkung von Anreizen und der Nutzung von Innovationen.⁹¹

Ziel einer deduktiv-analytischen Forschungsstrategie in einem multikausalen Erklärungsansatz ist es, diejenigen Theorien herauszugreifen und in einen Zusammenhang zu stellen, die am ehesten geeignet scheinen, neue Aussagen zu generieren, wobei hier die Analyse der Kooperation des PBL-Anbieters mit den Vorlieferanten im Mittelpunkt steht (vgl. Abb. 9).

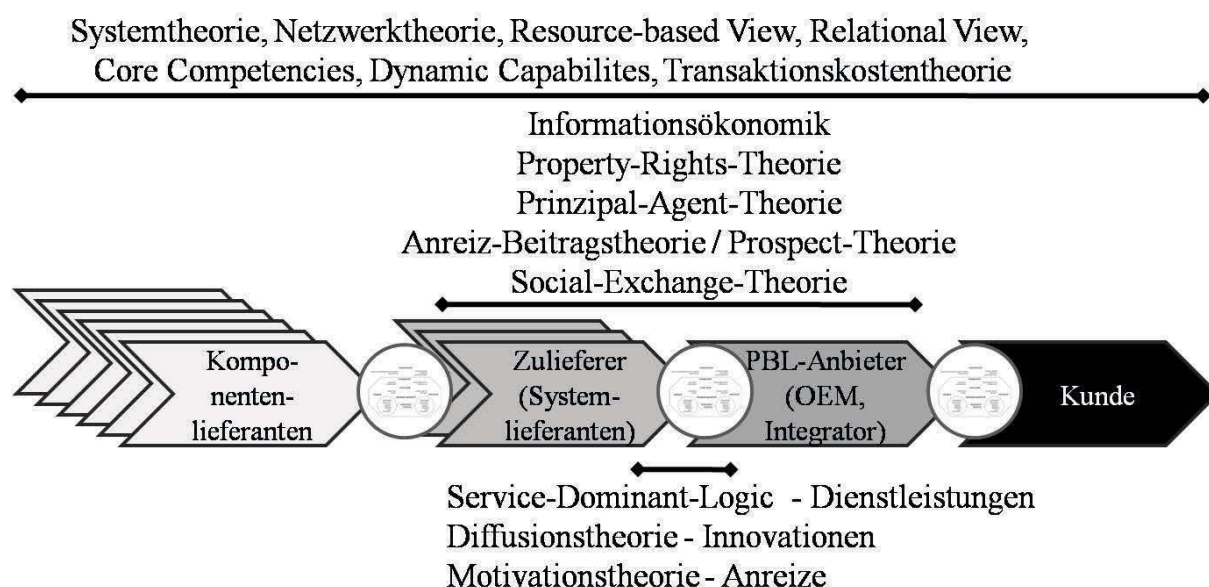


Abb. 9: Erklärungsansätze für das Supplier Relationship-Management von PBL

5 Zusammenfassung und Ausblick

Dieser Beitrag verfolgte zwei Ziele: Zum einen sollte das Konzept PBL und dessen Auswirkungen für die Wertschöpfungsstrukturen der Anbieter, insbesondere deren Zuliefererbeziehungen darstellen. Zum anderen sollten durch die Analyse verschiedener Lieferanten-Abnehmer-Beziehungen Forschungsdefizite aufgedeckt und damit weiterer Forschungsbedarf konkretisiert werden.

Aus den Entwicklungen der Unternehmenspraxis erwachsen neue Herausforderungen für den Einkauf im Management komplexer Dienstleistungsverträge und entsprechender Lieferantenbeziehungen. Ein Weg zur Steuerung der Lieferanten sind Vertragskonzepte, die mit „Performance-based Logistics“ bezeichnet werden und als konstituierende Merkmale „Ergebnisorientierung“ und „Leistungsvergütung“ aufweisen.

Als Folge von PBL verändern sich die Lieferanten-Abnehmer-Beziehungen aus Sicht des PBL-Anbieters. Als Analyseansatz für diese Veränderungen wurde das IMP-Beziehungsmodell ausgewählt. Das Fallbeispiel der militärischen Luftfahrtindustrie zeigte, dass PBL-Anbieter über verschiedene Gestaltungsoptionen für ihre Zulieferer-

⁹¹ Vgl. u.a. Fielder (1967); Ashour (1973); Rogers (2003); Picot (1991), S. 145ff.; Darby/Karny (1973); Picot et al. (2005), S. 72ff.; Blau (1964); Rosenstiel (2000); Richartz (2009).

beziehungen verfügen, deren Anwendung sich nach zahlreichen, die Beziehungen beeinflussenden Faktoren richtet. Während die meisten Aspekte im gewählten Modell berücksichtigt sind, fehlen mit der Kundennutzenorientierung („Outcome“) und der Zielangleichung (Risiko und Anreizangleichung) zwei wesentliche Aspekte von PBL. Diese wurden in einem weiterentwickelten „Supplier Relationship-Modell für PBL“ berücksichtigt. Dazu wurden „Full-“, „Partial-“ und „Non PBL“ als grundsätzliche Gestaltungsmöglichkeiten für PBL-Zuliefererbeziehungen herausgearbeitet.

Allerdings ist dieser Beitrag einigen Limitationen unterworfen, weshalb das „PBL-Beziehungsmodell“ zunächst als Vorschlag angesehen wird. Denn die Erkenntnisse können aufgrund der gewählten Einzelfallstudie, trotz der Verwendung eines PBL-typischen Falles, nicht generalisiert werden. Zum anderen ist das Beziehungsmodell nur aus dem Blickwinkel der Beziehungsinhalte, nicht aber prozessual betrachtet worden. Außerdem ist die Auswirkung der Endkundenbeziehung auf die Anbieter-Zuliefererbeziehungen noch nicht ausreichend beleuchtet. Hierfür können theoretische Erklärungsansätze genutzt werden, die in diesem Beitrag jedoch nur angedeutet wurden. Zuletzt fehlen noch Empfehlungen für die praktische Gestaltung.

Deshalb sind weitere Forschungsarbeiten notwendig. Eine industrieübergreifende Auswahl der Analyseeinheiten würde helfen, situative Besonderheiten herauszufiltern und die Generalisierbarkeit des Modells zu erhöhen. Dies könnte wichtige Einblicke für die prozessuale Erweiterung des Modells oder für praxisrelevante Handlungsempfehlungen liefern. Nicht zuletzt können verschiedene Theorieansätze weitere Erklärungen für PBL-Beziehungen beisteuern. Aufgrund der Vielschichtigkeit des PBL-Konzeptes erscheinen multiperspektivische Analysen zweckmäßig.

Es ist zu erwarten, dass die Beschaffung komplexer Leistungsbündel weiter zunehmen wird. Deshalb sollte dieser Beitrag als erster Schritt zu einem besseren Verständnis der Herausforderungen des Lieferantenmanagements in ergebnisorientierten Vertragskonzepten und nicht als abschließendes Urteil angesehen werden.

6 Anhang

Übersicht über geführte Interviews

Zeitraum: März bis Oktober 2010

Thema	Organisation	Funktion	Anzahl Personen	Quellen-Code ⁹²
Beschaffung für PBL	Fallunternehmen	Supply Chain	5	EG1
Fallbeispiel PBL, mit Anreizen	Fallunternehmen	Vertragsmanagement	1	EG2
Fallbeispiel PBL, rein ergebnisorientiert	Fallunternehmen	Vertragsmanagement	1	EG3
PBL / Anreizorientierte Vergabe, Workshop	Industrieverband, Mitgliederunternehmen	Customer Services, Operations, Vertrieb	11	EG4

7 Literaturverzeichnis

- Aghamanoukjan, A.; Buber, R.; Meyer, M. (2009): Qualitative Interviews. In: Buber, R.; Holzmüller, H. (Hg.): Qualitative Marktforschung. Konzepte - Methoden - Analysen. 2., überarb. Aufl. Wiesbaden: Gabler (Gabler-Lehrbuch), S. 415–436.
- Ashour, A.S. (1973), The Contingency Model of Leadership Effectiveness, An Evaluation, in: Organizational Behaviour and Human Performance, Jg. 9, 1973, H. 3, S. 339-355.
- Axelsson, B.; Wynstra, F. (2002): Buying business services. Chichester, New York: John Wiley.
- Baines, T.; Lightfoot, H.; Evans, S.; Neely, A.; Greenough, R.; Peppard, J. et al. (2007): State-of-the-art in product-service systems. In: IMechE, Jg. Vol. 221, Pt. B, S. 1543–1551.
- Bales, R. R.; Maull, R. S.; Radnor, Z. (2004): The development of supply chain management within the aerospace manufacturing sector. In: Supply Chain Management, Jg. 9, H. 3, S. 250–255.
- Bamberger, I./Wrona, T. (1996), Der Ressourcenansatz und seine Bedeutung für die strategische Unternehmensführung, in: ZfbF, 48.Jg., 1996, S. 130-153.
- Bensaou, M. (1999): Portfolios of Buyer-Supplier Relationships. In: Sloan Management Review, Jg. 40, H. 4, S. 35–44.
- Berkowitz, D.; Gupta, J. N. D.; Simpson, J. T.; McWilliams, J. B. (2004): Defining and implementing performance-based logistics in government. In: Defense Acquisition Review Journal, Jg. 11, H. 3, S. 255–267.
- Blau, P. (1964), Exchange and power in social life, New York, 1964.
- Boutellier, R. (2003): Make-or-Buy. Eigenfertigung vs. Fremdfertigung. In: Boutellier, R.; Wagner, S. M.; Wehrli, H. P. (Hg.): Handbuch Beschaffung. Strategien, Methoden, Umsetzung. München: Hanser, S. 453–470.
- Burghardt, D.; Germer, T.; Sippel, S. (2002): Flugzeugstandardisierung und Beschaffungsmanagement bei der Deutschen Lufthansa AG. In: Hahn, D.; Kaufmann, L. (Hg.): Handbuch industrielles Be-

⁹² EG = Erhebungsgespräch

- schaffungsmanagement. Internationale Konzepte - innovative Instrumente - aktuelle Praxisbeispiele. 2., überarb. und erw. Aufl. Wiesbaden: Gabler, S. 673–695.
- Buse, C.; Freiling, J.; Weissenfels, S. (2001): Turning Product Business into Service Business: Performance Contracting as a Challenge of SME Customer/Supplier Networks. Bochum. Ruhr University of Bochum.
- Campbell, J. D. (1995): Outsourcing in maintenance management: A valid alternative to self-provision. In: *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Jg. 1, H. 3, S. 18–24.
- CAPS Research (2003): Managing Your "Services Spend" in today's Service Economy. Herausgegeben von CAPS Research. CAPS Research. Tempe.
- Carter, J. R.; Narasimhan, R. (1996): Is Purchasing Really Strategic? In: *International Journal of Purchasing and Materials Management*, Jg. 32, H. 1, S. 20–28.
- Corsten, H.; Gössinger, R. (2003): Dienstleistungsmanagement. Theoretische und konzeptionelle Überlegungen. In: *Industrie Management*, Jg. 19, H. 4, S. 23–27.
- Cousins, P. D.; Spekman, R. (2003): Strategic supply and the management of inter- and intra-organisational relationships. In: *Journal of Purchasing and Supply Management*, Jg. 9, H. 1, S. 19–29.
- Darby, M. R.; Karni, E. (1973), Free Competition and the Optimal Amount of Fraud, in: *Journal of Law and Economics*, 16. Jg., 1973, April, S. 67–86.
- Denzin, N. K. (1978): The Research Act in Sociology. Denzin, N.K.: A Theoretical Introduction to Sociological Methods. 2. Aufl. New York: McGraw-Hill.
- Dowling, M.; Lechner, C. (1998), Kooperative Wettbewerbsbeziehungen: Theoretische Ansätze und Managementstrategien, in: *DBW*, 58. Jg., 1998, H. 1, S. 86–102.
- Dyer, J.H.; Singh, H. (1998), The relational view: Cooperative strategy and sources of interorganizational competitive advantage, in: *Academy of Management Review*, 23. Jg., 1998, H. 4, S. 660–679.
- Ellram, L. M. (1991): A Managerial Guideline for the Development and Implementation of Purchasing Partnerships. In: *International Journal of Purchasing and Materials Management*, Jg. 31, H. 2, S. 2–8.
- Ellram, L. M.; Carr, A. (1994): Strategic Purchasing: A History and Review of the Literature. In: *International Journal of Purchasing and Materials Management*, Jg. 30, H. 2, S. 9–19.
- Engelhardt, W. H.; Kleinaltenkamp, M.; Reckenfelderbäumer, M. (1993), Leistungsbündel als Absatzobjekte; in: *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, 45. Jg., 1993, S. 395–426.
- Eßig, M.; Glas, A.; Scheckenhofer, M. (2009): Controlling von Performance Based Logistics. In: *Controlling*, Jg. 21, H. 8–9, S. 438–443.
- Fearon, H. E.; Bales, W. A. (1995): Purchasing of Nontraditional Goods and Services. Herausgegeben von CAPS Research. Tempe.
- Fiedler, F.E. (1967), A Theory of Leadership Effectiveness, New York, 1967.
- Freiling, J. (2003): Pro und Kontra für die Einführung innovativer Betreibermodelle. Bestandsaufnahme und Handlungskonsequenzen aus Anbietersicht. In: *Industrie Management*, Jg. 19, H. 4, S. 32–35.
- Freiling, J. (2004): Performance Contracting. In: Backhaus, K.; Voeth, M. (Hg.): *Handbuch Industriegütermarketing. Strategien, Instrumente, Anwendungen*. 1. Aufl. Wiesbaden: Gabler, S. 677–695.
- Friedrich, D. (1984), Systemtheorie und ökonomische Modelle, eine Einführung in systemtheoretische Grundlagen, Konzeptionen und Methoden der Wirtschaftstheorie und Ökonometrie, Freiburg i.B., 1984.
- Gadde, L. -E; Jellbo, O. (2002): System sourcing. opportunities and problems. In: *European Journal of Purchasing and Supply Management*, Jg. 8, H. 4, S. 43–51.
- Gansler, J.S.; Lucyshyn, W. (2006), Evaluation of Performance Based Logistics, http://www.acquisitionresearch.org/_files/FY2006/UMD-LM-06-040.pdf, Stand: 02.02.2011.

- Geary, S.; Vitasek, K. (2008), *Performance-Based Logistics, A Contractor's Guide to Life Cycle Product Support Management*, Stoneham, Bellevue, 2008.
- Glas, A.; Kleemann, F. C.; Eßig, M. (2011): Performance-based Logistics als neues Beschaffungskonzept der öffentlichen Hand. Konzeption und Anwendung am Beispiel von Rüstungsgütern. In: Bogaschewsky, R.; Eßig, M.; Lasch, R.; Stölzle, W. (Hg.): *Supply Management Research. Aktuelle Forschungsergebnisse 2011. Tagungsband des wissenschaftlichen Symposiums Supply Management*; Bd. 4. 1. Aufl. Wiesbaden: Gabler, S. 187–213.
- Gruneberg, S.; Hughes, W.; Ancell, D. (2007): Risk under performance-based contracting in the UK construction sector. In: *Construction Management and Economics*, Jg. 25, H. 7, S. 691–699.
- Hakansson, H. (1982): *International Marketing and Purchasing of Industrial Goods*. Chichester: John Wiley.
- Hansen, S. J. (2006): *Performance contracting. Expanding horizons*. 2. Aufl. Lilburn GA, Boca Roton FL: Fairmont Press; CRC Press.
- Hartley, K. (1998): Defence Procurement, the Single Market and the European Armaments Agency. In: Arrowsmith, S.; Davies, A. (Hg.): *Public procurement: global revolution*. London: Kluwer Law Internat. (International economic development law, 8), S. 57–69.
- Heide, J. B.; John, G. (1990): Alliances in Industrial Purchasing: The Determinants of Joint Action in Buyer-Supplier Relationships. In: *Journal of Marketing Research*, Jg. 27, H. 1, S. 24–36.
- Helander, A.; Möller, K. (2008): System supplier's roles from equipment supplier to performance provider. In: *Journal of Business & Industrial Marketing*, Jg. 23, H. 8, S. 577–585.
- Hines, T. (2004): *Supply chain strategies. Customer-driven and customer-focused*. Amsterdam: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Hornschild, K.; Kinkel, S.; Lay, G. (2004): Product-related Services: Operator Models in German Mechanical Engineering Firms. In: *DIW Economic Bulletin*, Jg. 41, H. 2, S. 65–68.
- Hypko, P.; Tilebein, M.; Gleich, R. (2010): Clarifying the concept of performance-based contracting in manufacturing industries. A research synthesis. In: *Journal of Service Management*, Jg. 21, H. 5, S. 625–655.
- Kim, S. H.; Cohen, M. A.; Netessine, S. (2007): Performance Contracting in After-Sales Service Supply Chains. In: *Management Science*, Jg. 53, H. 12, S. 1843–1858.
- Kleikamp, C. (2002): *Performance Contracting auf Industriegütermärkten. Eine Analyse der Eintrittsentscheidung und des Vermarktungsprozesses*. Lohmar, Köln: Eul.
- Koll, S. (2010): Betreibermodelle: Eisenmann sieht Trend zu maßgeschneiderten Lösungen Lackieren mit vollem Risiko. In: *Industrieanzeiger*, H. 10, S. 54.
- Large, R. (2009), *Strategisches Beschaffungsmanagement, Eine praxisorientierte Einführung mit Fallstudien*, 4. Aufl., Wiesbaden, 2009.
- Lawther, W. C. (2003): Contracting for the 21st century: A Partnership Model. In: Abramson, M. A.; Harris, R. L., III (Hg.): *The Procurement Revolution*. Lanham: Rowman & Littlefield Publishers, S. 167–216.
- Lay, G. (2007), *Betreibermodelle für Investitionsgüter, Verbreitung, Chancen und Risiken, Erfolgsfaktoren*, Stuttgart, 2007.
- Martin, L. L. (2003): Making Performance-Based Contracting Perform. What the Federal Government Can Learn from State and Local Governments. In: Abramson, M. A.; Harris, R. L., III (Hg.): *The Procurement Revolution*. Lanham: Rowman & Littlefield Publishers, S. 87–125.
- Meier, H. (2004): Service im globalen Umfeld. Innovative Ansätze einer zukunftsorientierten Dienstleistungsgestaltung. In: Meier, H. (Hg.): *Dienstleistungsorientierte Geschäftsmodelle im Maschinen- und Anlagenbau. Vom Basisangebot bis zum Betreibermodell*. Berlin: Springer, S. 3–14.
- Miles, M. B.; Huberman, A. M. (1984): *Qualitative data analysis. A sourcebook of new methods*. Beverly Hills: Sage Publ.
- Monitor Group (2004): *Industrial Services Strategies. The quest for faster growth and higher margins. Unter Mitarbeit von C. B. Henkel. Herausgegeben von Monitor Group*. Zürich.

- Moser, R. (2007): Strategic Purchasing and Supply Management. A Strategy-Based Selection of Suppliers. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
- Naslund, D. (2002): Logistics need qualitative research - especially action research. In: International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Jg. 32, H. 5, S. 321–338.
- Nelson, P. (1970), Information and Consumer Behavior, in: Journal of Political Economy, 78. Jg., 1970, H. 2, S. 311-329.
- Ng, I.; Maull, R.; Yip, N. (2009a): Outcome-based contracts as a driver for systems thinking and service-dominant logic in service science: Evidence from the defence industry. In: European Management Journal, Jg. 27, H. 6, S. 377–387.
- Ng, I.; Nudurupati, S. S. (2010): Outcome-based service contracts in the defence industry: mitigating the challenges. In: Journal of Service Management, Jg. 21, H. 5, S. 656–674.
- Ng, I.; Williams, J.; Neely, A. (2009b): Outcome-based contracting. Changing the boundaries of B2B customer relationships. Herausgegeben von Advanced Institute of Management Research. London.
- Oliva, R.; Kallenberg, R. (2003): Managing the transition from products to services. In: International Journal of Service Industry Management, Jg. 14, H. 2, S. 160–172.
- Park, Jk; Shin, K.; Chang, T. -W; Park, Jw (2010): An integrative framework for supplier relationship management. In: Industrial Management & Data Systems, Jg. 110, H. 4, S. 495–515.
- Patton, M. Q. (2002): Qualitative research & evaluation methods. 3. Aufl Thousand Oaks, Calif.: Sage.
- Picot, A. (1991), Ökonomische Theorien der Organisation, Ein Überblick über neuere Ansätze und deren betriebswirtschaftliches Anwendungspotential, in: Ordelheide, D./Rudolph, B./Büßelmann, E (Hrsg.), Betriebswirtschaftslehre und ökonomische Theorie, Stuttgart, 1991, S. 143-170.
- Picot, A.; Dietl, H.; Franck, E. (2005), Organisation, eine ökonomische Perspektive, 4., überarb. Aufl., Stuttgart, 2005.
- Pilling, B. K.; Zhang, L. (1992): Cooperative Exchange: Rewards and Risks. In: International Journal of Purchasing and Materials Management, Jg. 28, H. 2, S. 2–9.
- Prahalad, C.K. /Hamel, G.(1990), The Core Competence of the Corporation, in: Harvard Business Review, May-June 1990, pp. 79-91
- Präuer, A. (2004): Solutions Sourcing. Strategien und Strukturen interorganisationaler Wertschöpfungssysteme. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
- Randall, W. S.; Pohlen, T. L.; Hanna, J. B. (2010): Evolving a theory of Performance-based Logistics using insights from service dominant logic. In: Journal of Business Logistics, Jg. 31, H. 2, S. 35–61.
- Reck, R. F.; Long, B. G. (1988): Purchasing: A Competitive Weapon. In: International Journal of Purchasing and Materials Management, Jg. 24, H. 3, S. 2–8.
- Richartz, J. (2009), Anreizsysteme zur Steuerung der Hersteller-Händler-Beziehung in der Automobilindustrie, Frankfurt a. M. 2009.
- Rogers, E.M. (2003), Diffusion of Innovations, 5. Aufl., New York et al., 2003.
- Rosenstiel, L. von (2000), Grundlagen der Organisationspsychologie: Basiswissen und Anwendungshinweise, 4. überarb. u. erw. Aufl., Stuttgart, 2000.
- Rosetti, C. L.; Choi, T. Y. (2005): On the dark side of strategic sourcing: Experiences from the aerospace industry. In: Academy of Management Executive, Jg. 19, H. 1, S. 46–60.
- Schönberger, L. (2011): Buyer-supplier relationships in service procurement : the impact of relationship quality on service performance. Vallendar: WHU.
- Selviaridis, K. (2011): Performance-Based Contracting. State of the Art and Future Directions. Veranstaltung vom 2011, aus der Reihe "20th Annual IPSERA Conference". Maastricht, NL.
- Sheth, J. N.; Sharma, A. (1997): Supplier Relationships. Emerging Issues and Challenges. In: Industrial Marketing Management, Jg. 26, H. 2, S. 91–100.

- Smeltzer, L. R.; Ogden, J. A. (2002): Purchasing Professionals' Perceived Differences between Purchasing Materials and Purchasing Services. In: *Journal of Supply Chain Management*, Jg. 38, H. 1, S. 54–70.
- Sols, A.; Nowicki, D.; Verma, D. (2007): Defining the Fundamental Framework of an Effective Performance-Based Logistics (PBL) Contract. In: *Engineering Management Journal*, Jg. 19, H. 2, S. 40–50.
- Stuart, F. I.; McCutcheon, D.; Handfield, R. B.; McLachlin, R.; Samson, D. (2002): Effective case research in operations management: a process perspective. In: *Journal of Operations Management*, Jg. 20, H. 5, S. 419–433.
- Svahn, S.; Westerlund, M. (2009): Purchasing strategies in supply relationships. In: *Journal of Business & Industrial Marketing*, Jg. 24, H. 3-4, S. 173–181.
- Tang, C. S. (1999): Supplier Relations Map. In: *International Journal of Logistics: Research and Applications*, Jg. 2, H. 1, S. 39–56.
- Teece, D.J.; Pisano, G.; Shuen, Am. (1997), Dynamic capabilities and strategic management, in: *Strategic Management Journal*, 18. Jg., 1997, H. 7, S. 509-533.
- Trybus, M. (1999): European defence procurement law. International and national procurement systems as models for a liberalised defence procurement market in Europe. Univ. of Wales--Aberystwyth. The Hague: Kluwer Law Internat. (European monograph series, 21).
- Vanteddu, G.; Chinnam, R. B. ; Gushikin O. (2011): Supply chain focus dependent supplier selection problem. In: *International Journal of Production Economics*, Jg. 129, H. 1, S. 204–216.
- Vargo, S.L.; Lusch, R.F. (2004), Evolving to a new dominant Logic for Marketing, in: *Journal of Marketing*, 68. Jg., 2004, H. 1, S. 1-17.
- Voss, C.; Tsikrikis, N.; Frohlich, M. (2002): Case research in operations management,. In: *International Journal of Operations & Production Management*, Jg. 22, H. 2, S. 195–219.
- Weddeling, M. (2010): Performance Contracting für hybride Produkte. Eine konzeptionelle und empirische Analyse des investiven Nachfragerverhaltens. Hamburg: Kovac.
- Williamson, O.E. (1975), Markets and Hierarchies, Analysis and Antitrust Implications, A Study in the Economics of Internal Organization, New York, 1975.
- Wilson, D. T. (1995): An Integrated Model of Buyer-Supplier Relationships. In: *Journal of the Academy of Marketing Science*, Jg. 23, H. 4, S. 335–345.
- Wittreich, W. J. (1966): Tips on buying professional services. In: *Management Review*, Jg. 55, H. 5, S. 56–59.
- Woo, K. -S; Ennew, C. T. (2004): Business-to-business relationship quality. An IMP interaction-based conceptualization and measurement. In: *European Journal of Marketing*, Jg. 38, H. 9-10, S. 1252–1271.
- Yin, R. K. (1994): Case Study Research: 2. Aufl. Newbury Park: Sage Publications.
- Yin, R. K. (2009): Case study research. Design and methods. 4. Aufl. Thousand Oaks: Sage.
- Zuther, M. (2002): Flexible Konfiguration von Betreibernetzwerken. Aachen: Shaker.
- Zuther, M. (2004): Flexible Konfiguration von Betreibernetzwerken. In: Meier, H. (Hg.): Dienstleistungsorientierte Geschäftsmodelle im Maschinen- und Anlagenbau. Vom Basisangebot bis zum Betreibermodell. Berlin: Springer, S. 175–189.

Rahmenbedingungen für strategische Lieferantenentwicklung

Sebastian M. Durst

Roland Berger Strategy Consultants,
Löffelstr. 46, 70597 Stuttgart,
sebastian_durst@de.rolandberger.com

Eric Sucky

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

Abstract/Zusammenfassung

Die Wirtschaftskrise und die aktuell erfolgende, rasante Erholung unterstreichen die Relevanz eines gesunden und schlagkräftigen Lieferantennetzwerkes. Damit gewinnt die strategische Entwicklung von Lieferanten als wesentlicher Bestandteil eines systematischen Lieferantenmanagements weiter an Bedeutung. Mittels einer empirischen Studie unter 200 Abnehmern zu jeweils zwei von deren Lieferanten wird aufgezeigt, wie und vor allen Dingen unter welchen Umständen, also Rahmenbedingungen, Abnehmer ihre Lieferanten strategisch entwickeln sollten.

1 Relevanz von Lieferantenentwicklung und Forschungsfrage

Lieferanten spielen eine entscheidende Rolle für den Erfolg eines Unternehmens. Dies unterstreicht allein schon die Tatsache, dass in vielen Industrien der Anteil der Wertschöpfung, welcher auf Lieferanten entfällt, in einer Größenordnung von 50 Prozent und mehr liegt.¹ Lieferanten leisten damit einen entscheidenden Beitrag zu wettbewerbsfähigen Kostenstrukturen eines Abnehmers, seiner Innovationsfähigkeit und seiner operativen Leistungsfähigkeit in Bezug auf Qualität, Lieferzeit und -zuverlässigkeit sowie Flexibilität.²

Ist ein Abnehmer nicht mit der Leistung und/oder den Fähigkeiten eines Lieferanten zufrieden, stehen ihm mehrere Optionen – auch in Kombination – zur Verfügung:³

- Lieferantenwechsel, d.h. Zukauf des Gutes von einem fähigeren Lieferanten.
- Vertikale Integration, d.h. Eigenfertigung des bislang zugekauften Gutes.
- Lieferantenentwicklung, d.h. Investition von Ressourcen in den Lieferanten, um dessen Leistung und/oder Fähigkeiten zum eigenen Vorteil zu verbessern.

Letztgenannte Option gewinnt in der unternehmerischen Praxis zunehmend an Bedeutung.⁴ Dafür sind nach Meinung der Autoren mehrere Gründe ausschlaggebend:

- Die fortschreitende Vernetzung und Spezialisierung der Unternehmen führt dazu, dass Lieferantenwechsel zunehmend kostspieliger und zeitintensiver werden.
- Der anhaltende Trend zur Fokussierung auf die eigenen Kernkompetenzen steht einem Insourcing entgegen.
- Die zunehmende Professionalisierung im Einkauf macht den Einsatz von Instrumenten notwendig, die über die klassischen kaufmännischen Hebel hinausgehen.⁵
- Die Wirtschaftskrise und die aktuell erfolgende, rasante Erholung hat vielen Unternehmen den Wert stabiler Partnerschaften mit starken und verlässlichen Wertschöpfungspartnern vor Augen geführt.

Parallel zur Praxisrelevanz hat auch das wissenschaftliche Interesse an Lieferantenentwicklung deutlich zugenommen. So ist die Anzahl der jährlich veröffentlichten, auf großzahligen Erhebungen basierenden Publikationen zur Lieferantenentwicklung stark gestiegen. Lagen bis Mitte der 90er Jahre erst vier derartige Publikationen vor, hat sich diese Anzahl in den letzten 15 Jahren auf heute über 30 beinahe verzehnfacht.⁶

Trotzdem ist das Forschungsgebiet der Lieferantenentwicklung bei weitem noch nicht umfassend erschlossen. So arbeiteten Terpend et al. auf Basis einer Analyse von 151 empirischen Publikationen zu Abnehmer-Lieferant-Beziehungen unter anderem Lieferantenentwicklung als "[...] area of potential interest [...]"⁷ für die weitere Forschung

¹ Vgl. CAPS Research (2008), S. 1.

² Vgl. ähnlich Wagner (2006a), S. 554.

³ Vgl. Krause et al. (2000), S. 34.

⁴ Vgl. Modi/Mabert (2007), S. 42.

⁵ Mit kaufmännischen Hebeln sind typische Ansätze im strategischen Einkauf wie beispielsweise Nachverhandlungen, Mehrjahresverträge, Bedarfsbündelung oder Vormaterialbündelung gemeint.

⁶ Vgl. Durst/Sucky (2010), S. 40.

⁷ Terpend et al. (2008), S. 42.

heraus. Dies gilt insbesondere für Rahmenbedingungen und deren Einfluss auf Intensität und Erfolg von Lieferantenentwicklung, die in empirischen Studien bislang nur eine untergeordnete Rolle spielen. So wurde beispielsweise der Einfluss von Macht bzw. Abhängigkeit auf Lieferantenentwicklung bislang nur partiell überprüft.⁸ Allerdings besteht diese Lücke nicht nur im Bereich Lieferantenentwicklung. So konstatieren van der Vaart und van Donk auf Basis der Analyse von 33 umfragebasierten Publikationen zum Zusammenhang zwischen Supply Chain Integration und finanzieller Performance unter anderem eine mangelnde Auseinandersetzung mit dem Einfluss von "[...] business conditions and power [...]".⁹ Aber auch andere Rahmenbedingungen, die für Lieferantenentwicklung potenziell relevant sein könnten – wie beispielsweise die Kompetenz von Abnehmer und Lieferant, durch den Einsatz geeigneter Methoden eine gemeinsame Optimierungsanstrengung zum Erfolg zu führen oder die Ressourcenausstattung des Abnehmers für Lieferantenentwicklung – sind bislang nicht empirisch beleuchtet.

Vor dem Hintergrund der zunehmenden Bedeutung von Lieferantenentwicklung und der genannten Lücken konzentriert sich diese Arbeit auf die empirische Untersuchung von ausgewählten Rahmenbedingungen, Optionen und Erfolgswirkung strategischer Lieferantenentwicklung. Im Kern steht dabei die folgende Forschungsfrage:

Welche Rahmenbedingungen wirken sich positiv bzw. negativ auf die Intensität und den Erfolg von strategischer Lieferantenentwicklung aus?

Aus praktischer Perspektive soll eine empirisch fundierte Antwort auf die Frage gegeben werden welche Optionen strategischer Lieferantenentwicklung Unternehmen unter bestimmten Rahmenbedingungen und in Abhängigkeit bestimmter Ziele von Unternehmen nutzen sollten.

2 Begriffsverständnis von strategischer Lieferantenentwicklung

Lieferantenentwicklung ist Teil eines systematischen Lieferantenmanagement. Letzterer Begriff wird in der wissenschaftlichen Literatur sehr unterschiedlich verwendet.¹⁰ Beispielsweise identifiziert Wagner sechs Arten der Verwendung bzw. Interpretation von Lieferantenmanagement, die vom reinen Schlagwort bis zu umfassenden, integrierten Konzepten reichen.¹¹ In jüngeren Publikationen dominiert tendenziell ein umfassendes, integriertes Verständnis von Lieferantenmanagement. So definieren bspw. Lasch und Janker Lieferantenmanagement als "[...] die marktorientierte Planung, Steuerung und Kontrolle von einzelnen Lieferanten-Abnehmer-Beziehungen sowie des gesamten Lieferantenstammes im Rahmen des strategisch marktorientierten Beschaf-

⁸ Vgl. die Beiträge von Carr et al. (2008), sowie Krause et al. (2007).

⁹ van der Vaart/van Donk (2008), S. 52.

¹⁰ Gleichzeitig ist die Abgrenzung zu anderen Begriffen wie Supplier Relationship Management (SRM) unklar. Beispielsweise verstehen Appelfeller und Buchholz die Gestaltung des Lieferantenmanagements als einen Bestandteil des SRM, vgl. Appelfeller/Buchholz (2005), S. 5. Hingegen verwendet Wannenwetsch die Termini Lieferantenmanagement und SRM synonym, vgl. Wannenwetsch (2005), S. 150.

¹¹ Vgl. Wagner (2001), S. 87-99.

fungsmanagements [...]".¹² Dies umfasst explizit auch Lieferantenentwicklung,¹³ ein Instrument das nach Krause und Ellram als "[...] any effort of a buying firm with a supplier to increase its performance and/or capabilities and meet the buying firm's short and/or long-term supply needs"¹⁴ definiert werden kann. Obwohl diese Definition breit angelegt ist, arbeitet sie entscheidende Elemente der Lieferantenentwicklung heraus:

- Lieferantenentwicklung geht als "any effort of a buying firm" auf eine Anstrengung – zumindest aber auf die Initiative – des Abnehmers zurück. Dies schließt eigene Verbesserungsmaßnahmen des Lieferanten expressis verbis aus der Definition aus, lässt aber offen, wie groß der Aufwand auf Abnehmerseite ist.
- Scheinbar trivial, beschreibt Lieferantenentwicklung gemeinsame Aktivitäten "with a supplier". Damit wird die lieferantenspezifische Facette von Lieferantenentwicklung unterstrichen, es geht also um die Entwicklung eines einzelnen Lieferanten.
- Lieferantenentwicklung wirkt sich zunächst auf den Lieferanten aus, Ziel ist "to increase its performance and/or capabilities". Damit bezweckt Lieferantenentwicklung sowohl die (kurzfristige) Steigerung der Lieferantenleistung, etwa in puncto Zeit, Qualität oder Kosten als auch die (langfristige) Verbesserung der Fähigkeiten des Lieferanten.
- Ultimatives Ziel der Lieferantenentwicklung ist es aber, "the buying firm's short and/or long-term supply needs" zu erfüllen. Lieferantenentwicklung ist kein Selbstzweck, sondern dient der Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit des Abnehmers.

Im aktuellen Artikel ist von "strategischer" Lieferantenentwicklung die Rede. Durch diesen Zusatz sollen drei Aspekte der Entwicklung von Lieferanten akzentuiert werden:

- Antizipation: Strategische Lieferantenentwicklung erfolgt auf Basis einer geplanten Auswahl der zu entwickelnden Lieferanten. Sie unterscheidet sich damit von reaktiven Aktivitäten aufgrund einer "Schlechtleistung" von Lieferanten.
- Wettbewerbsfähigkeit: Strategische Lieferantenentwicklung zielt auf die Differenzierung des Abnehmers bzw. die Unterstützung seiner Kostenführerschaft. Sie geht damit über rein beschaffungsorientierte Zielsetzungen hinaus.
- Nachhaltigkeit: Strategische Lieferantenentwicklung bezweckt die Verbesserung von Leistung und/oder Fähigkeiten im Sinne eines "win-win" für Abnehmer und Lieferant. Sie unterscheidet sich damit von einer einseitigen Weitergabe von Kostendruck durch den Abnehmer.

Zusammenfassend lässt daher das diesem Artikel zu Grunde liegende Verständnis von strategischer Lieferantenentwicklung in Anlehnung an die oben angeführte Definition von Krause und Ellram¹⁵ wie folgt formulieren: Strategische Lieferantenentwicklung bezeichnet die antizipative und nachhaltige Verbesserung der Leistung und/oder Fä-

¹² Lasch/Janker (2008), S. 1001. Eine weitere, breit angelegte Definition findet sich bei Large (2003), S. 28-29.

¹³ Vgl. Lasch/Janker (2008), S. 1004.

¹⁴ Krause/Ellram (1997), S. 39.

¹⁵ Vgl. S. 17, bzw. Krause/Ellram (1997), S. 39.

higkeiten von Lieferanten durch den Abnehmer zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit des Abnehmers.

3 Modell der strategischen Lieferantenentwicklung

3.1 Wahl des Analyseverfahrens

Multivariate Analyseverfahren erlauben die gleichzeitige Analyse einer größeren Anzahl von Variablen und damit die Untersuchung komplexer Phänomene. Unter anderem deshalb haben sie sich inzwischen als methodischer Standard in der betriebswirtschaftlichen Forschung etabliert.¹⁶ Das zu entwickelnde Modell soll multiple Zusammenhänge zwischen Rahmenbedingungen, Optionen strategischer Lieferantenentwicklung und der Wettbewerbsfähigkeit des Abnehmers abbilden, weshalb nur ein multivariates Analyseverfahren in Frage kommt. Dabei stehen etliche Verfahren der multivariaten Analyse zur Verfügung.¹⁷ Aktuell gilt die Strukturgleichungsmodellierung¹⁸ als das leistungsfähigste multivariate Analyseverfahren.¹⁹ Zentrale Idee des Verfahrens ist, "[...] dass auf der Grundlage von in einem Datensatz ermittelter Varianzen und Kovarianzen von Indikatoren (manifesten Variablen) Schlüsse im Hinblick auf Abhängigkeitsbeziehungen zwischen komplexen Konstrukten (latenten Variablen) gezogen werden."²⁰ Bei der Strukturgleichungsmodellierung sind zwei Ansätze zu unterscheiden:²¹

1. Die Kovarianzstrukturanalyse, auch LISREL-Ansatz genannt, bei der die Modellparameter simultan so geschätzt werden, dass eine Funktion minimiert wird, die die Distanz zwischen empirischer und vom Modell implizierter Kovarianzmatrix misst.²²
2. Die Varianzstrukturanalyse, auch PLS (Partial Least Squares)-Pfadanalyse bzw. PLS-Ansatz genannt, bei der sich die entsprechenden Algorithmen unter der Annahme, dass die übrigen Modellparameter bereits bekannt sind, jeweils nur auf Teilmodelle beschränken. Maximiert wird dabei die erklärte Varianz der abhängigen Variablen im Strukturmodell und in den reflektiven Messmodellen.²³

Wurden in der Vergangenheit beide Verfahren häufig als konkurrierend betrachtet, setzt sich inzwischen die Erkenntnis durch, dass diese eher als komplementär zueinander zu verstehen sind. Dabei ist keines der beiden Verfahren per se überlegen. Viel-

¹⁶ Vgl. ähnlich Kuß (2007), S. 215.

¹⁷ Für eine anwendungsorientierte Einführung in multivariate Analyseverfahren vgl. Backhaus et al. (2008).

¹⁸ Der Begriff der Kausalanalyse ist "insofern problematisch als die Anwendungen in der Regel auf Querschnittsdaten beruhen, die keine Überprüfung von Kausalitäten im strengerem Sinn [...] erlauben", Kuß (2007), S. 258. Korrekter ist daher z.B. die Bezeichnung "Strukturgleichungsanalyse mit latenten Variablen", vgl. Homburg/Klarmann (2006), S. 741, Fußnote 1, oder "Strukturgleichungsmodellierung bzw. -verfahren", vgl. Fassott (2006), S. 68, Fußnote 2. Im Folgenden wird von Strukturgleichungsmodellierung gesprochen.

¹⁹ Vgl. Homburg (1992), S. 499.

²⁰ Kuß (2007), S. 258. Zum Konstruktbegriff vgl. Unterkapitel.

²¹ Vgl. Homburg/Klarmann (2006), S. 734.

²² Vgl. Betzin/Henseler (2005), S. 50.

²³ Für eine detaillierte Beschreibung des PLS-Schätzalgorithmus vgl. Betzin/Henseler (2005), S. 60-68.

mehr sondern es kommt darauf an, "[...] was der Anwender bei gegebener Datenlage mit seinem Modell erreichen will."²⁴ Für die vorliegende Untersuchung wird der PLS-Ansatz gewählt. Ausschlaggebend für diese Entscheidung sind die vielfältigen Möglichkeiten zur Modellierung sowohl reflektiver als auch formativer Messmodelle, die der PLS-Ansatz bietet.

3.2 Modellkonstrukte

Das zu entwickelnde Modell der strategischen Lieferantenentwicklung soll ausgewählte Rahmenbedingungen mit strategischer Lieferantenentwicklung und deren Erfolgswirkung verknüpfen. Hierzu werden in diesem Kapitel zunächst die Modellkonstrukte inhaltlich beschrieben und ihre Auswahl begründet. Zur Ermittlung der Konstrukte, insbesondere zur Identifikation von relevanten Rahmenbedingungen, wurden 20 explorative Experteninterviews mit Einkaufsleitern bzw. Verantwortlichen für Lieferantenmanagement/-entwicklung durchgeführt. Die Interviews dauerten jeweils etwa 2 Stunden und wurden durch die Autoren vor Ort bei den Unternehmen geführt.

Dabei wurden drei Rahmenbedingungen als besonders relevant von den Gesprächspartnern hervorgehoben. Erstens die Abhängigkeit von Abnehmer und Lieferant.²⁵ Konkret bedeutet eine hohe Abhängigkeit des Abnehmers vom Lieferanten (im Modell das Konstrukt ABHA), dass der Abnehmer im Falle eines angestrebten Lieferantenwechsels Schwierigkeiten hätte, einen äquivalenten Zulieferer zu finden bzw. der Wechsel mit hohen Kosten (z.B. zur Anpassung von Produktionsanlagen oder für das Redesign von Komponenten) verbunden wäre. Umgekehrt beschreibt die Abhängigkeit des Lieferanten vom Abnehmer (im Modell das Konstrukt ABHL), dass der Lieferant den Abnehmer nur schwer durch andere ersetzen könnte bzw. sein Geschäft unter einem Wegfall dieses Abnehmers leiden würde, etwa im Sinne von Umsatz- und Gewinneinbußen.

Als zweite wichtige Rahmenbedingung wurde in den Experteninterviews die Methodenkompetenz von Abnehmer und Lieferant angeführt. Der Begriff der Methodenkompetenzen ist aus dem Bereich der Pädagogik entlehnt und bezeichnet die Fähigkeit zur Anwendung bestimmter Werkzeuge und Vorgehensweisen, die für die Erfüllung einer Aufgabe notwendig sind.²⁶ Inhaltlich geht es im Kontext strategischer Lieferantenentwicklung um methodische Kompetenzen in diversen Bereichen.

²⁴ Scholderer/Balderjahn (2005), S. 98.

²⁵ Abhängigkeit bzw. Macht ist ein in wissenschaftlicher Literatur zu interorganisationalen Beziehungen bereits seit langem weit verbreitetes und vielfach auch empirisch untersuchtes Sujet, vgl. Frazier (1983), S. 158.

²⁶ Vgl. Anwender (2001), S. 238.

Im Rahmen der Vor-Ort-Experteninterviews wurden folgende Bereiche und Methoden als besonders relevant identifiziert:²⁷

- Produktentwicklung, z.B. Projekt- bzw. Prozessmanagement.
- Produktoptimierung, z.B. Wertanalyse²⁸ oder Design-to-Cost.²⁹
- Produktion, z.B. Six Sigma³⁰ oder Lean Manufacturing.³¹
- Logistik, z.B. Prozessanalyse oder Methoden zur Bestandsreduzierung.
- Qualität, z.B. Total Quality Management³² oder Statistical Process Control.³³

Der Kerngedanke in Bezug auf den Abnehmer ist, dass derartige Methodenkompetenzen ihn in die Lage versetzen, Entwicklungsbedarfe beim Lieferanten zu identifizieren und/oder Verbesserungsmaßnahmen gemeinsam mit dem Lieferanten zu entwickeln, soweit notwendig im eigenen Unternehmen durchzuführen sowie in der Umsetzung unternehmensübergreifend zu steuern (im Modell das Konstrukt MEKA). Aus Perspektive des Lieferanten steht die Fähigkeit zur Identifikation, Planung, Durchführung und Kontrolle von Verbesserungsmaßnahmen im Zentrum, sei es im Rahmen einer Eigenoptimierung oder einer gemeinsamen Optimierung mit dem Abnehmer (im Modell das Konstrukt MEKL).

Dritte Rahmenbedingung ist die Ressourcenausstattung des Abnehmers im Hinblick auf strategische Lieferantenentwicklung (im Modell das Konstrukt RESA). Konkret geht es um die Frage, ob der Abnehmer über ausreichend Ressourcen verfügt, um strategische Lieferantenentwicklung (erfolgreich) zu betreiben. Gemeint sind damit personelle Ressourcen, z.B. qualifizierte Mitarbeiter zur Durchführung gemeinsamer Opti-

²⁷ Die im Folgenden genannten Methoden sind als Beispiele zu verstehen, um den Terminus Methodenkompetenz in den einzelnen Bereichen greifbar zu machen und sind nicht notwendigerweise überschneidungsfrei. Z.B. kann Statistical Process Control als Instrument des Total Quality Management angesehen werden, vgl. Oakland (2003), S. 14.

²⁸ Wertanalyse kann als Denkweise (Fokus: Erkennung und Eliminierung überflüssiger Kosten), Wirksystem (Fokus: Lösung komplexer, nicht vollständig algorithmisierbarer Probleme) und als funktionsorientierte Methode (Fokus: Wertsteigerung des Analyseobjektes) verstanden werden, vgl. Corsten/Gössinger (2008), S. 895. Im vorliegenden Kontext wird das letztgenannte Verständnis zu Grunde gelegt.

²⁹ Im weiteren Sinne kann Design-to-cost definiert werden als "[...] tool used to enhance the affordability of products, systems, or services over their useful lifetime or, in short, their life cycle." Michaels/Wood (1989), S. xvii.

³⁰ Six Sigma beschreibt einen umfassenden Ansatz zur Verbesserung der Qualität von Prozessoutputs. Als weiterführende Literatur sei das Werk von Pyzdek empfohlen, vgl. Pyzdek (2003).

³¹ Basierend auf dem Toyota Production System (TPS) beschreibt Lean Manufacturing bzw. Lean Production eine Philosophie, die darauf abzielt, ausgehend von den Anforderungen des Endkunden Verschwendung von Ressourcen zu eliminieren. Als weiterführende Literatur sei der Klassiker von Womack et al. empfohlen, vgl. Womack et al. (1990). Für einen kurzen Überblick vgl. Corsten/Gössinger (2008), S. 470-472.

³² Umfassend kann Total Quality Management (TQM) verstanden werden als "[...] Führungsmethode einer Organisation, die Qualität in den Mittelpunkt stellt und durch Zufriedenstellung der Kunden auf langfristigen Geschäftserfolg sowie auf Nutzen für die Mitglieder der Organisation und für die Gesellschaft zielt." DIN EN ISO 8402. Aus instrumenteller Perspektive, die der vorliegenden Arbeit zu Grunde liegt, kann TQM als Oberbegriff für eine Reihe von Methoden und Instrumenten des Qualitätsmanagements interpretiert werden, z.B. Analyse- und Problemlösungstechniken wie Ursache-Wirkungs-Diagramme oder die Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA), vgl. Corsten/Gössinger (2008), S. 829-830.

³³ Statistical Process Control "[...] is a set of tools for managing processes, and determining and monitoring the quality of the outputs of an organization. It is also a strategy for reducing variation in products, deliveries, processes, materials, attitudes and equipment." Oakland (2003), S. 20.

mierungsprojekte, finanzielle Mittel, z.B. zur Entwicklung des Lieferanten durch finanzielle Unterstützung sowie Managementressourcen, um strategische Lieferantenentwicklung zu planen, mit dem Lieferanten gemeinsam durchzuführen und nachzuhalten. Da strategische Lieferantenentwicklung vom Abnehmer initiiert und verantwortet wird, wird die Ressourcensituation auf Abnehmerseite geprüft. Dies bedeutet nicht, dass Aufwand zur strategischen Entwicklung von Lieferanten nur beim Abnehmer anfällt.

Im Modell sollen die Auswirkungen dieser Rahmenbedingungen auf Lieferantenentwicklung und deren Erfolg überprüft werden. Lieferantenentwicklung umfasst ein breites Spektrum sehr heterogener Aktivitäten.³⁴ Zur Ableitung verwertbarer Erkenntnisse ist daher eine differenziertere Betrachtung notwendig. Daher wurden auf Basis in Anlehnung an bestehende Segmentierungsvorschläge in der Literatur sowie den Vor-Ort-Experteninterviews drei Optionen strategischer Lieferantenentwicklung entwickelt: Abnehmergesteuerte Eigenoptimierung³⁵ des Lieferanten (im Modell das Konstrukt EIGO), Gemeinsame Optimierungsprojekte (im Modell das Konstrukt GEMO) und eine Finanzielle Unterstützung/Beteiligung (im Modell das Konstrukt FINU).

Der Kerngedanke der ersten Option strategischer Lieferantenentwicklung – Abnehmergesteuerte Eigenoptimierung des Lieferanten – ist die indirekte Entwicklung eines Lieferanten durch systematisches Feedback und präzise Zielvorgaben. Der Weg zur Zielerreichung wird dem Lieferanten überlassen. Der Abnehmer bringt sich also nicht aktiv in den Verbesserungsprozess ein, steuert ihn aber über Feedback sowie Zielvorgaben und hält die Ergebnisse nach.

Kerngedanke der zweiten Option strategischer Lieferantenentwicklung – Gemeinsame Optimierungsprojekte – ist der Transfer von Wissen vom Abnehmer zum Lieferanten, etwa durch Beratung und Schulung von Lieferantenmitarbeitern oder die Entsendung von Mitarbeitern zum Lieferanten. Da derartige Aktivitäten häufig in gemeinsame Optimierungsprojekte eingebettet sind, wird diese Option strategischer Lieferantenentwicklung entsprechend bezeichnet.

Der Kerngedanke der dritten Option strategischer Lieferantenentwicklung – Finanzielle Unterstützung/Beteiligung – ist die Entwicklung ausgewählter Lieferanten durch den Transfer von Kapital. Die Ziele und Formen dieser Option strategischer Lieferantenentwicklung sind heterogen. So kann beispielsweise eine Erweiterung der Fähigkeiten des Lieferanten und damit indirekt der des Herstellers im Vordergrund stehen, etwa durch spezielles, durch den Abnehmer (mit-)finanziertes Equipment oder eine en-

³⁴ Vgl. Durst/Sucky (2010), S. 47.

³⁵ Mathematisch bezeichnet Optimierung das Auffinden optimaler Parameter innerhalb eines (komplexen) Systems, wobei ein Zielfunktionswert – häufig unter Nebenbedingungen – minimiert oder maximiert wird, vgl. Boyd/Vandenberghe (2004). Für eine Definition, Klassifikation und typische Beispiele für Optimierungsmodelle für den Bereich Operations Research vgl. Domschke/Drexel (2005), S. 3-7. Für aktuelle Anwendungsbeispiele vgl. z.B. Sucky (2007), S. 3643-3645, oder Sucky (2006), S. 526-528. Umgangssprachlich bezeichnet Optimierung die Verbesserung eines Zustands oder Prozesses in Bezug auf eine oder mehrere Dimensionen, z.B. Qualität, Kosten oder Zeit. Letzteres Verständnis liegt im vorliegenden Kontext zu Grunde, weil es in der unternehmerischen Praxis dominiert.

gere Zusammenarbeit deren Basis eine Unternehmensbeteiligung darstellt. Der Erwerb eines 10 prozentigen Anteils am Elektroautopionier Tesla durch den Automobilhersteller Daimler Mitte Mai 2009 kann beispielsweise in diesem Sinne interpretiert werden.³⁶ In Summe bilden die drei Optionen ein vollständiges Programm zur strategischen Entwicklung von Lieferanten, das eine differenzierte und umfassende Analyse entsprechender Aktivitäten erlaubt.

Die zentrale Zielsetzung strategischer Lieferantenentwicklung besteht in der Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit des Abnehmers. Als Wettbewerbsfähigkeit wird die Fähigkeit eines Unternehmens bezeichnet, sich in Konkurrenz mit anderen Anbietern am Markt zu behaupten. Eng damit verbunden ist der Begriff des Wettbewerbsvorteils.³⁷ Unternehmen können Wettbewerbsvorteile auf zwei Arten realisieren: Entweder sie sind in der Lage, ein im Vergleich zum Wettbewerb identisches Produkt bzw. eine identische Dienstleistung zu einem niedrigeren Preis anzubieten (Kostenvorteil). Oder sie sind in der Lage, ein Produkt bzw. eine Dienstleistung derartig zu verändern, dass die Kunden bereit sind, einen Preisaufschlag zu bezahlen, der die zusätzlichen Kosten für die Differenzierung übersteigt (Differenzierungsvorteil).³⁸ Je nach dem, auf welchen Vorteil ein Unternehmen abzielt, können gemäß Porter die generischen Wettbewerbsstrategien Differenzierung und Kostenführerschaft unterschieden werden.³⁹ Lieferanten haben häufig einen Anteil an der Wertschöpfung eines Unternehmens von über 50 Prozent.⁴⁰ Will ein Unternehmen also erfolgreich im Wettbewerb agieren, muss ein substanzieller Beitrag zur Differenzierung und/oder Kostenführerschaft auch von Lieferantenseite kommen.⁴¹ In Anlehnung an die beiden generischen Wettbewerbsstrategien Porters sollen daher die Auswirkungen strategischer Lieferantenentwicklung auf die Wettbewerbsfähigkeit des Abnehmers im Sinne einer Differenzierung vom Wettbewerb bzw. einer Kostenführerschaft untersucht werden.⁴² Konkret misst das Konstrukt Differenzierung (im Modell das Konstrukt DIFF) den Beitrag strategischer Lieferantenentwicklung zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit des Abnehmers durch Verbesserungen in puncto Qualität, Lieferzeit, Lieferzuverlässigkeit, Fle-

³⁶ Vgl. Handelsblatt Nr. 95 vom 19.05.2009.

³⁷ Vgl. Grant (2005), S. 225.

³⁸ Vgl. Grant (2005), S. 241-242.

³⁹ Porter unterscheidet zudem noch Fokussierung als dritte generische Wettbewerbsstrategie für einzelne Segmente, vgl. Porter (1980), S. 35-40.

⁴⁰ So liegt der Anteil der Lieferantenwertschöpfung bei Unternehmen aus der Halbleiterindustrie im Schnitt bei 60 Prozent, der Chemieindustrie bei 56 Prozent, der Elektronikindustrie bei 53 Prozent und der Nahrungsmittel- und Getränkeindustrie bei 47 Prozent, vgl. CAPS Research (2008), S. 1. Ein Extrembeispiel stellen Automobilhersteller dar. Bei ihnen liegt der Anteil der Lieferantenwertschöpfung im Schnitt bei 78 Prozent, vgl. Verband der Automobilindustrie (2008), S. 78.

⁴¹ Porter schreibt, dass sich Kostenführerschaft und Differenzierung als Strategien gegenseitig ausschließen. Unternehmen, die beide Strategien verfolgen bzw. dieses versuchen, seien automatisch zum Scheitern verurteilt: "The firm stuck in the middle is almost guaranteed low profitability." Porter (1980), S. 41. Diese Argumentation wird von etlichen Autoren kritisiert und kann aufgrund von Beispielen von Unternehmen, die gerade eine Kombination aus Kostenführerschaft und Differenzierung erfolgreich macht, als überholt angesehen werden, vgl. z.B. Grant (2005), S. 242-244.

⁴² Eine in dieser Form differenzierte Betrachtung der Auswirkungen von Lieferantenentwicklung auf den Abnehmer untersucht bereits Wagner, vgl. Wagner (2005), S. 310 und Wagner (2006b), S. 688.

xibilität und/oder Innovationskraft. Das Konstrukt Kostenführerschaft (im Modell das Konstrukt KOST) stellt auf den Beitrag strategischer Lieferantenentwicklung zur Wettbewerbsfähigkeit des Abnehmers durch Senkung der Material-, Qualitäts-, Lager-, Fertigungs- und/oder Transportkosten ab.

Zur Operationalisierung der Modellkonstrukte wurde im Wesentlichen auf in der Literatur bestehende Konstrukte zurückgegriffen.⁴³ Dies war in acht von zehn Fällen möglich (Ausnahmen bilden die Messmodelle MEKA und MEKL). Trotzdem wurde für alle zehn Konstrukte ein umfassender Prozess zur Entwicklung der Messmodelle durchlaufen. Dieser umfasste zum einen drei Expertenworkshops, in denen die Richtigkeit der Einteilung der Konstrukte in formative und reflektive Messmodelle überprüft sowie die Indikatorfragen auf Vollständigkeit, Verständlichkeit und Eindeutigkeit getestet wurden. Zum zweiten wurde ein statistischer Pre-Test der Messmodelle gemäß des Vorschlags von Anderson und Gerbing auf Basis einer Emailumfrage unter 24 Personen durchgeführt.⁴⁴ Aus diesen beiden Pre-Tests ergaben sich kleinere Anpassungen, die in die Messmodelle eingearbeitet wurden. Im Ergebnis ergaben sich sieben reflektive und drei formative Messmodelle, die mit insgesamt 44 Indikatorfragen operationalisiert wurden. Für alle Indikatorfragen wird eine fünfzählige Likert-Skalierung verwendet.⁴⁵ Details können dem Fragebogen in Anhang I entnommen werden.

3.3 Modellhypothesen

In diesem Unterkapitel erfolgt die theoriegestützte Verknüpfung der oben beschriebenen Modellkonstrukte. Dabei wird bewusst sowohl auf die Transaktionskostentheorie als auch den ressourcenbasierten Ansatz zurückgegriffen, um eine multitheoretische Fundierung des Modells der strategischen Lieferantenentwicklung zu erreichen. Ziel ist die Entwicklung eines Strukturmodells, das Rahmenbedingungen, strategische Lieferantenentwicklung und deren Auswirkungen auf den Abnehmer miteinander verknüpft. Zur besseren Orientierung gibt Abbildung 1 bereits an dieser Stelle einen Überblick über die insgesamt 18 Hypothesen (H1.1 bis H8), die im Folgenden theoretisch fundiert und expliziert werden.

Aus Sicht der Transaktionskostentheorie kann Lieferantenentwicklung als transaktionspezifische Investition des Abnehmers in den Lieferanten betrachtet werden, da sie sowohl spezifisch (in aller Regel nicht auf andere Lieferanten übertragbar) als auch kostenwirksam (personellen und/oder finanziellen Aufwand implizierend) ist. Mit der Höhe einer transaktionsspezifischen Investition steigt aber die Abhängigkeit der Transaktionspartner.⁴⁶ Schließlich kann der Vorteil der getätigten Investition nur innerhalb der Transaktionsbeziehung voll genutzt werden. Damit erhöht sich die Gefahr

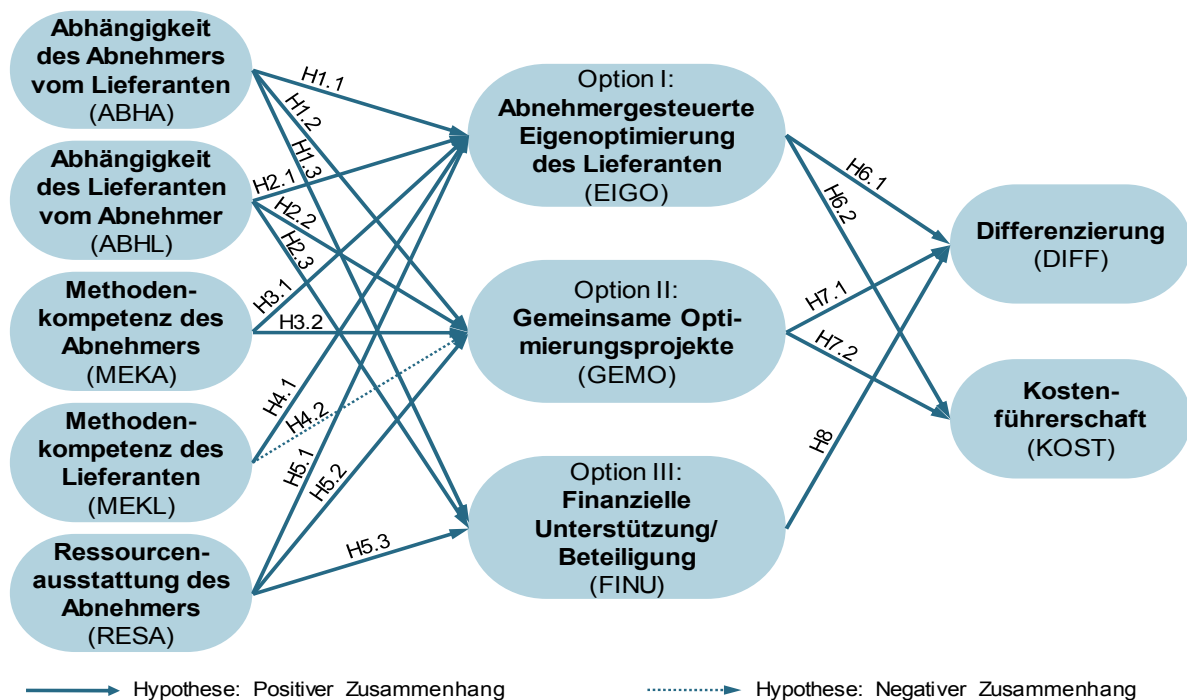
⁴³ Vgl. hierzu Diller, der in der Konstruktüberflutung – also die Entwicklung immer neuer Konstrukte – eine der wesentlichen Fehlentwicklungen bei der Handhabung von Strukturgleichungsmodellen sieht. Vgl. Diller (2006), S. 612.

⁴⁴ Vgl. Anderson/Gerbing (1991), S. 734-735.

⁴⁵ Dabei wird die Annahme getroffen, die jeweiligen Merkmalsausprägungen seien äquidistant. Benannt ist diese weit verbreitete Skalierung nach dem Sozialforscher Rensis Likert. Vgl. Kuß (2007), S. 87.

⁴⁶ Vgl. hierzu und im Folgenden Erlei/Jost (2001), S. 41-42, sowie Ebers/Gotsch (2006), S. 281-282.

opportunistischen Verhaltens, weil ein Transaktionspartner versuchen könnte, die Abhängigkeit des anderen zu seinen Gunsten zu nutzen. Übertragen auf den Kontext strategischer Lieferantenentwicklung könnte beispielsweise mit einem Lieferanten vor der Durchführung eines gemeinsamen Design-to-cost-Projektes für die von ihm gelieferte Komponente vereinbart werden, dass die identifizierten Einsparungen 50:50 aufgeteilt werden. Nach der Durchführung könnte der Lieferant allerdings darauf bestehen, nur einen geringeren Teil der Einsparungen an den Abnehmer weiterzugeben. Ceteris paribus wird der Abnehmer aufgrund von Opportunitätskostenüberlegungen bereit sein, so lange auf seinen Teil der identifizierten Einsparungen zu verzichten, bis das Preisniveau der nächstbesten Lieferquelle erreicht ist. Eine Sicherungsmaßnahme gegen opportunistisches Verhalten kann die bewusste Wahl von Rahmenbedingungen darstellen, die negative Anreize für opportunistisches Verhalten setzen. Ist ein Lieferant beispielsweise vom Abnehmer abhängig, etwa weil er einen Großteil seines Umsatzes mit diesem erzielt, so wirkt diese Rahmenbedingung einem opportunistischen Verhalten des Lieferanten entgegen. Schließlich kann der Abnehmer glaubhaft drohen, opportunistisches Verhalten des Lieferanten zum Beispiel durch Entzug von künftigen Aufträgen zu sanktionieren. Damit kann ein positiver Zusammenhang zwischen der Abhängigkeit des Lieferanten vom Abnehmer und der Bereitschaft des Abnehmers, den Lieferanten zu entwickeln, abgeleitet werden.

Abbildung 1: Visualisierung des Hypothesengerüsts⁴⁷

Es lassen sich also folgende Hypothesen ableiten:

Je größer die Abhängigkeit des Abnehmers vom Lieferanten (ABHA),

H 1.1 ...desto intensiver steuert der Abnehmer die Eigenoptimierung des

⁴⁷ Eigene Darstellung.

Lieferanten durch Zielvorgaben (EIGO).

H 1.2 ...desto intensiver berät und schult der Abnehmer den Lieferanten im Rahmen gemeinsamer Optimierungsprojekte (GEMO).

H 1.3 ...desto intensiver unterstützt der Abnehmer den Lieferanten finanziell bzw. beteiligt sich am Lieferantenunternehmen (FINU).

Für den umgekehrten Fall einer Abhängigkeit des Abnehmers vom Lieferanten würde sich nach derselben Argumentation ein negativer Zusammenhang ergeben. Allerdings lässt sich auf Basis der Transaktionskostentheorie ebenfalls argumentieren, dass transaktionsspezifische Investitionen auf besonders wichtige Lieferanten konzentriert werden. Dabei handelt es sich tendenziell um Lieferanten, von denen der Abnehmer abhängig ist. Dieser Argumentationslinie folgend ergeben sich folgende Hypothesen:

Je größer die Abhängigkeit des Lieferanten vom Abnehmer (ABHL),

H 2.1 ...desto intensiver steuert der Abnehmer die Eigenoptimierung des Lieferanten durch Zielvorgaben (EIGO).

H 2.2 ...desto intensiver berät und schult der Abnehmer den Lieferanten im Rahmen gemeinsamer Optimierungsprojekte (GEMO).

H 2.3 ...desto intensiver unterstützt der Abnehmer den Lieferanten finanziell bzw. beteiligt sich am Lieferantenunternehmen (FINU).

Gemäß dem ressourcenbasierten Ansatz kann strategische Lieferantenentwicklung als rentenstiftende Ressource interpretiert werden, da sie ihn – bei erfolgreicher Anwendung – in die Lage versetzt, sein Lieferantennetzwerk kontinuierlich und systematisch zum eigenen Vorteil zu verbessern und dabei alle Merkmale von rentenstiftenden Ressourcen erfüllt.⁴⁸ Gemäß dem ressourcenbasierten Ansatz sollen Unternehmen ihre materiellen und immateriellen Mittel für Aufbau, Entwicklung und Erhalt derjenigen Ressourcen einsetzen, die besonders ergiebig sind. Hat ein Unternehmen strategische Lieferantenentwicklung für sich als rentenstiftende Ressource identifiziert, so ist zu erwarten, dass es Mittel für den Aufbau, die Entwicklung und den Erhalt dieser Ressource bereitstellt. Dabei ist zu erwarten, dass strategische Lieferantenentwicklung umso ausgeprägter ist, je umfangreicher die von einem Unternehmen zur Ausbildung dieser Ressource bereitgestellten Mittel sind. Es lässt sich also ein positiver Zusammenhang zwischen den bereitgestellten Mitteln – z.B. im Sinne der eingebrachten Methodenkompetenz – und strategischer Lieferantenentwicklung ableiten. Dabei spielt es in dieser Argumentation keine Rolle, ob die Methodenkompetenz vom Abnehmer oder vom Lieferanten stammt. Dies gilt jedoch nur für die ersten beiden Optionen strategischer Lieferantenentwicklung, bei denen Methodenkompetenzen im oben beschriebenen Sinne eine relevante Rolle spielen. Es lassen sich folgende Hypothesen ableiten:

⁴⁸ Vgl. Barney (1991), S. 105-106 für die vier im Folgenden genannten Kriterien. a) Werthaltigkeit: Wahrnehmbarer Kundennutzen durch ein überlegeneres Lieferantennetzwerk; b) Knappheit: Geringe Verbreitung von Lieferantenentwicklung in vielen Industrien/Unternehmen; c) Keine bzw. eingeschränkte Imitierbarkeit: Idiosynkratische Historizität durch evolutionäre und kontext-spezifische Entwicklung von Lieferanten; d) Keine Substituierbarkeit: Je nach Situation nicht durch andere Lieferantenmanagementinstrumente substituierbar.

Je höher die Methodenkompetenz des Abnehmers (MEKA),

H 3.1 ...desto intensiver steuert er die Eigenoptimierung des Lieferanten durch Zielvorgaben (EIGO).

H 3.2 ...desto intensiver berät und schult er den Lieferanten im Rahmen gemeinsamer Optimierungsprojekte (GEMO).

Je höher die Methodenkompetenz des Lieferanten (MEKL),

H 4.1 ...desto intensiver steuert der Abnehmer die Eigenoptimierung des Lieferanten durch Zielvorgaben (EIGO).

H 4.2 ...desto weniger intensiv berät und schult der Abnehmer den Lieferanten im Rahmen gemeinsamer Optimierungsprojekte (GEMO).

Einer ähnlichen Argumentation folgend wie im Falle der eingebrachten Methodenkompetenz kann auf Basis des ressourcenbasierten Ansatzes ein positiver Zusammenhang zwischen den bereitgestellten Mitteln – im Sinne der Ressourcenausstattung des Abnehmers in puncto Personal, Kapital und Management-Commitment – und strategischer Lieferantenentwicklung abgeleitet werden. Dieser Zusammenhang ist dabei für alle drei Optionen strategischer Lieferantenentwicklung argumentierbar.

Je größer die Ressourcenausstattung des Abnehmers (RESA),

H 5.1 ...desto intensiver steuert er die Eigenoptimierung des Lieferanten durch Zielvorgaben (EIGO).

H 5.2 ...desto intensiver berät und schult er den Lieferanten im Rahmen gemeinsamer Optimierungsprojekte (GEMO).

H 5.3 ...desto intensiver unterstützt er den Lieferanten finanziell bzw. beteiligt sich am Lieferantenunternehmen (FINU).

Sowohl die Transaktionskostentheorie als auch der ressourcenbasierte Ansatz stützen die Hypothese eines positiven Wirkungszusammenhangs zwischen strategischer Lieferantenentwicklung und der Wettbewerbsfähigkeit des Abnehmers. In der Transaktionskostentheorie stellt strategische Lieferantenentwicklung eine bewusste, geplante transaktionsspezifische Investition des Abnehmers in den Lieferanten dar. Es ist also davon auszugehen, dass ein Abnehmer strategische Lieferantenentwicklung nur dann betreiben wird, wenn diese für ihn vorteilhaft ist. Vor diesem Hintergrund kann die Hypothese eines positiven Zusammenhangs zwischen strategischer Lieferantenentwicklung und den Produktions- bzw. Transaktionskosten aus Abnehmersicht abgeleitet werden. Diese theoretisch positive Wirkung strategischer Lieferantenentwicklung soll für das Modell bewusst breit verstanden werden, d.h. auch in Hinblick auf einen Beitrag strategischer Lieferantenentwicklung zur Differenzierung des Abnehmers, etwa durch die Verbesserung seiner Qualität, Lieferzeit und -zuverlässigkeit, Fertigungsflexibilität oder Innovationskraft.

Im Rahmen des ressourcenbasierten Ansatzes kann strategische Lieferantenentwicklung aus Abnehmerperspektive als rentenstiftende Ressource interpretiert werden. So kann strategische Lieferantenentwicklung einen Abnehmer befähigen, eine einge-

schlagene Qualitätsführerstrategie konsequent umzusetzen. Dies kann in einem erhöhten Kundennutzen resultieren und gleichzeitig den Abnehmer vom Wettbewerb abheben. Gleichzeitig kann ein Abnehmer durch systematische Lieferantenentwicklung auch seine Beschaffungskosten senken. Entsprechend sollen folgende Hypothesen zur Erfolgswirkung strategischer Lieferantenentwicklung überprüft werden:

Je intensiver der Abnehmer die Eigenoptimierung von Lieferanten durch Zielvorgaben steuert (EIGO),

H 6.1 ...desto deutlicher stärkt er seine Wettbewerbsfähigkeit durch Differenzierung vom Wettbewerb (DIFF).

H 6.2 ...desto deutlicher stärkt er seine Wettbewerbsfähigkeit durch Kostenführerschaft (KOST).

Je intensiver der Abnehmer Lieferanten im Rahmen gemeinsamer Optimierungsprojekte berät und schult (GEMO),

H 7.1 ...desto deutlicher stärkt er seine Wettbewerbsfähigkeit durch Differenzierung vom Wettbewerb (DIFF).

H 7.2 ...desto deutlicher stärkt er seine Wettbewerbsfähigkeit durch Kostenführerschaft (KOST).

Je intensiver der Abnehmer Lieferanten finanziell unterstützt bzw. sich an Lieferantenunternehmen beteiligt (FINU),

H 8 ...desto deutlicher stärkt er seine Wettbewerbsfähigkeit durch Differenzierung vom Wettbewerb (DIFF).

4 Prüfung des Modells der strategischen Lieferantenentwicklung

4.1 Beschreibung und Prüfung der Datengrundlage

Die Datenerhebung erfolgte von Februar bis März 2009 durch das Markt- und Meinungsforschungsinstitut OmniQuest auf Basis von Computer-Assisted Telephone Interviews (CATI). Die Grundgesamtheit für die Telefoninterviews auf Abnehmerseite bildeten die in Bezug auf ihren Jahresumsatz größten Unternehmen in den drei Branchen Automobilindustrie, Maschinen- und Anlagenbau sowie Pharma- und Biotechnologie aus den Ländern Deutschland, Österreich und Schweiz.⁴⁹ Insgesamt konnten 200 vollständige Interviews realisiert werden. Die durchschnittliche Dauer der Interviews betrug 28 Minuten. Die Antwortrate kann mit 43 Prozent gerechnet auf die 470 Fälle, in denen der Ansprechpartner bzw. das Sekretariat des Ansprechpartners tatsächlich erreicht wurde, als sehr gut bezeichnet werden. Dabei bleibt noch unberück-

⁴⁹ Kriterien für die Branchenauswahl waren: (1) Branchengröße/-relevanz: Der Fokus sollte auf für den deutschsprachigen Raum wichtige Branchen gelegt werden. (2) Lieferantenentwicklungsengagement: Ziel war eine Mischung im Hinblick auf das durchschnittliche Engagement für Lieferantenentwicklung. Hier gilt die Automobilindustrie unbestritten als Vorreiter, der Maschinen- und Anlagenbau als eher durchschnittlich und die Pharma- und Biotechnologie schneidet eher unterdurchschnittlich ab. Vgl. Wagner (2006a), S. 564. Kriterium für die Länderauswahl war die Verbreitung der deutschen Sprache. In der Schweiz lag der Fokus auf dem deutschsprachigen Teil.

sichtigt, dass mit weiteren 54 Ansprechpartner Terminvereinbarungen bestanden, die aufgrund der bereits erreichten Wunschfallzahl (200 Interviews) nicht mehr genutzt wurden.

Zielperson für die Interviews war primär der Einkaufsleiter. Alternativ wurde nach einer Person aus dem Management gefragt, die für Lieferantenentwicklung zuständig ist. Die Funktionen der interviewten Personen in den Unternehmen spiegeln dies deutlich wider. 72 Prozent sind Einkaufsleiter, weitere 8 Prozent Leiter SCM / Logistik und 7 Prozent Leiter Lieferantenmanagement bzw. Lieferantenentwicklung. Bei den restlichen 13 Prozent handelt es sich um Mitglieder der Geschäftsführung bzw. um sonstige Mitarbeiter aus dem Einkauf wie strategische Einkäufer. Damit wurde die für die Befragung richtige Zielgruppe erreicht.

Die 200 Abnehmer wurden jeweils zu zwei konkreten Lieferanten befragt, mit denen Lieferantenentwicklung betrieben wurde: Ein Lieferant, mit dem Lieferantenentwicklung nach Einschätzung des Interviewpartners erfolgreich betrieben wurde, sowie ein weiterer Lieferant, mit dem Lieferantenentwicklung nach Einschätzung des Interviewpartners weniger erfolgreich betrieben wurde.⁵⁰ Eine Überprüfung der Abnehmerantworten in Bezug auf die Zielerreichung ergab in allen Fällen statistisch signifikante Unterschiede zwischen nach Abnehmeraussage erfolgreich bzw. weniger erfolgreich entwickelten Lieferanten. Daraus folgt, dass die Ansprechpartner sehr bewusst Beispiele gewählt haben, bei denen die Lieferantenentwicklung erfolgreich bzw. weniger erfolgreich verlief, mithin die Bezeichnung "erfolgreich/weniger erfolgreich" zutrifft.

Neben der skizzierten Prüfung der formalen Analysevoraussetzungen (ausreichende Stichprobengröße, Befragung der richtigen Unternehmen/Ansprechpartner etc.) wurden die Datensätze auf mögliche Verzerrungen durch "nonresponse bias" überprüft, wobei sich zwei grundlegende Fälle unterscheiden werden können:⁵¹

- Unit-Nonresponse: Die Zielperson ist nicht zu erreichen oder verweigert die Teilnahme an der Umfrage. Entsprechend liegt gar kein Datensatz vor. Um mögliche Verzerrungen durch Unit-Nonresponse zu prüfen, wurde der aus Datenbanken stammende Jahresumsatz der befragten Unternehmen mit dem Jahresumsatz der nichtbefragten Unternehmen verglichen. Die Mittelwerte der befragten Unternehmen wichen dabei nicht statistisch signifikant von denen der nicht befragten Unternehmen ab. Zudem wurde in Anlehnung an Armstrong und Overton überprüft, ob die Antworten der "ersten 30 Prozent" der Interviewpartner mit den Angaben der "letzten 30 Prozent" Interviewpartner übereinstimmen.⁵² Auch hier ergaben sich keine statistisch signifikanten Abweichungen der Mittelwerte.
- Item-Nonresponse: Damit wird das Problem unvollständiger Datensätze ("missing values") bezeichnet, etwa weil der Befragte die Beantwortung einzelner Fragen

⁵⁰ Dieser Ansatz wurde in ähnlicher Form auch in anderen Untersuchungen zur Lieferantenentwicklung erfolgreich genutzt, vgl. Modi/Mabert (2007), S. 49, Krause (1997), S. 13 oder Carr/Kaynak (2007), S. 354.

⁵¹ Vgl. Schnell et al. (2005), S. 306. Neben der Unit- und Item-Nonresponse werden teilweise noch Spezialformen unterschieden, z.B. Wave-Nonresponse, Drop-outs, Observation-Nonresponse und Missing by Design. Für detailliertere Informationen vgl. Göthlich (2007), S. 119-120.

⁵² Vgl. den Vorschlag bei Armstrong/Overton (1977), S. 397.

verweigert hat oder Antworten unbrauchbar sind. Eine Analyse der Datensätze ergab, dass 247 Datensätze komplett vollständig und bei weiteren 138 Datensätze maximal 6 der 44 Indikatorfragen nicht beantwortet wurden. Bei letzteren wird daher eine konventionelle Imputation durch Mittelwertergänzung durchgeführt. Die übrigen 15 Datensätze werden wegen unvollständiger Angaben ausgeschlossen.

Die Abnehmeraussagen zu diesen 385 Abnehmer-Lieferant-Beziehungen bilden damit die Analyseeinheit auf der die Auswertungen der Messmodelle und des Strukturmodells basieren

4.2 Gütebeurteilung der Messmodelle

Im nächsten Schritt wurden die sieben reflektiven sowie die drei formativen Messmodelle des Strukturgleichungsmodells hinsichtlich ihrer Güte beurteilt. Dabei wurden für die reflektiven Messmodelle sechs Gütearten wie folgt überprüft:⁵³

- Expertenvalidität (Ausmaß der Übereinstimmung zwischen a priori beabsichtigter und tatsächlicher Indikatorzuordnung) mittels Expertenbefragung im Rahmen eines Pre-Tests.⁵⁴
- Inhaltsvalidität (Abbildungsgrad der Konstruktbedeutung durch die Indikatoren) mittels exploratorischer Faktorenanalyse.
- Indikatorreliabilität (Erklärungsgrad der Indikatorvarianz durch das Konstrukt) mittels Überprüfung der Ladungen der Indikatoren.
- Konstruktreliabilität (Erklärungsgrad, wie gut ein Konstrukt durch die ihm zugeordneten Indikatorvariablen gemessen wird) mittels der Maße Interne Konsistenz und Cronbachsches Alpha.
- Diskriminanzvalidität (Unterschiedlichkeitsgrad der Messungen verschiedener Konstrukte mit einem Messinstrument) mittels des Maßes Durchschnittlich Erfassete Varianz (DEV).
- Vorhersagevalidität (Grad der Rekonstruierbarkeit des Konstrukts durch die Indikatoren) mittels Stone Geissers Q^2 (Kommunalität).

Auf eine detaillierte Darstellung der Ergebnisse aus der Überprüfung der genannten Gütekriterien wird an dieser Stelle aus Platzgründen verzichtet. Es sei lediglich festgehalten, dass die sieben reflektiven Messmodelle – nach Eliminierung eines einzelnen Indikators bei dem Konstrukt GEMO – sämtliche Gütekriterien erfüllen.

Bei einem formativen Messmodell formen bzw. begründen die Indikatoren die latente Variable. Im Vergleich zu reflektiven Messmodellen ist also die Kausalitätsbeziehung zwischen Indikatoren und Konstrukt umgekehrt. Entsprechend können Verfahren zur Gütebeurteilung reflektiver Messmodelle nicht auf formative Messmodelle übertragen werden.⁵⁵ Vielmehr ist bei formativen Konstrukten entscheidend, dass möglichst sämtliche Indikatoren, die einen Einfluss auf das Konstrukt haben, umfassend berücksich-

⁵³ Vgl. Krafft et al. (2005), S. 75, sowie ergänzend Huber et al. (2007), S. 34-38 (Vorhersagevalidität) und Homburg/Giering (1996), S. 8 (Cronbachsches Alpha).

⁵⁴ Vgl. hierzu die Ausführungen in Unterkapitel 3.2.

⁵⁵ Vgl. Diamantopoulos/Siguaw (2000), S. 21.

tigt werden.⁵⁶ Dennoch ist es notwendig, die Validität formativer Indikatoren über eine Bewertung ihrer Inhaltsvalidität hinausgehend zu beurteilen. Daher wurden die drei formativen Messmodelle des Strukturgleichungsmodells in Hinblick auf folgende Gütekriterien überprüft:⁵⁷

- Expertenvalidität (Ausmaß der Übereinstimmung zwischen a priori beabsichtigter und tatsächlicher Indikatorzuordnung) mittels Expertenbefragung im Rahmen eines Pre-Tests.⁵⁸
- Indikatorrelevanz (Überprüfung der Indikatoren auf ihren Beitrag zur Konstruktbildung) mittels Interpretation der Gewichte.
- Diskriminanzvalidität (Ausmaß der Erfassung unterschiedlicher Sachverhalte durch die verschiedenen formativen Messmodelle) mittels der Überprüfung der Korrelationen zwischen den Konstrukten.
- Externe bzw. nomologische Validität (Evaluation der Gültigkeit der Konstruktmessung) mittels Prüfung und Bestätigung eines Großteils der theoretisch fundierten Zusammenhänge des Strukturgleichungsmodells.⁵⁹

Wie schon bei den reflektiven Messmodellen wird auf eine ausführliche Darstellung der Messergebnisse verzichtet. Festgehalten werden soll lediglich, dass die formativen Messmodelle alle Gütekriterien erfüllt haben. Den verwendeten Messmodellen kann eine ausreichende Güte beschieden werden, die die Voraussetzung für die Analyse des Strukturmodells bildet.

4.3 Gütebeurteilung des Strukturmodells

Aufgrund der wenig restriktiven Verteilungsannahmen des PLS-Schätzalgorithmus können – anders als bei kovarianzbasierten Verfahren der Strukturgleichungsmodellierung – im Rahmen des PLS-Verfahrens keine inferenzstatistischen Tests zur Messung der Gesamtgüte des Modells durchgeführt werden. Stattdessen steht eine Reihe von nichtparametrischen Tests bzw. Kriterien zur Verfügung, um die Güte des Modells auf Einzelkonstrukt- bzw. Einzelpfadebene zu beurteilen. Zur Bewertung des Strukturmodells werden daher folgenden Gütearten und Methoden angewandt:⁶⁰

- Bestimmtheitsmaß (Anteil der erklärten Varianz des Konstrukts) mittels des Bestimmtheitsmaßes R^2
- Substanzieller Erklärungsbeitrag (Substanzieller Einfluss der exogenen Variablen auf die endogenen Variablen) mittels der Effektgröße f^2
- Prognoserelevanz (Anpassung des Modells an die empirischen Daten) mittels des Stone-Geisser-Test-Kriterium

⁵⁶ Vgl. Huber et al. (2007), S. 38.

⁵⁷ In Anlehnung an Krafft et al. (2005), S. 82. Zur Diskriminanzvalidität vgl. Huber et al. (2007), S. 38. Die angegebenen Formeln werden im Folgenden erläutert.

⁵⁸ Vgl. hierzu die Ausführungen in Unterkapitel 3.2.

⁵⁹ Vgl. hierzu Kapitel 5.2.

⁶⁰ Vgl. Krafft et al. (2005), S. 85. Die Auswertung des Ausmaßes und der Signifikanz der Pfadkoeffizienten erfolgt separat in Unterkapitel 5.2.

Die Überprüfung dieser Gütearten ergab, dass die Erklärungskraft der vorgelagerten Konstrukte nur schwach bis leicht moderat ist. So liegen die Werte des Bestimmtheitsmaßes der endogenen Variablen mit Ausnahme des Konstruktes "Finanzielle Unterstützung" zwischen 0,184 und 0,286.⁶¹ Die verhältnismäßig geringen Werte der Effektgröße f^2 für die bestätigten Hypothesen, die zwischen 0,021 und 0,092 liegen, unterstreichen dies. Beides sind Hinweise darauf, dass zur Erklärung, ob bzw. wie intensiv Unternehmen strategische Lieferantenentwicklung betreiben, noch andere Rahmenbedingungen eine Rolle spielen. Analog sind zur Erklärung einer Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit durch Differenzierung bzw. Kostenführerschaft mit Hilfe von strategischer Lieferantenentwicklung noch weitere Faktoren in das Modell einzu-beziehen. Da die Werte von Stone-Geissers Q^2 (Redundanz) für alle reflektiven endogenen Messmodelle⁶² oberhalb des Grenzwertes Null liegt, kann diesen latenten Variablen Prognoserelevanz beschieden werden.

Wie erwähnt bildet das Konstrukt "Finanzielle Unterstützung" eine Ausnahme. Für dieses beträgt das Bestimmtheitsmaß nur 0,045, womit die vorgelagerten Konstrukte quasi keinen Beitrag zur Erklärung dieses Konstrukts leisten. Dies ist allerdings keine Überraschung, da – wie ein Blick in die Daten zeigt – diese Option strategischer Lieferantenentwicklung von den Unternehmen so gut wie gar nicht betrieben wird.

Damit ist die Güteprüfung der Messmodelle sowie des Strukturmodells erfolgreich abgeschlossen. Bei der im folgenden Kapitel dargestellten Untersuchung und Interpretation der Pfadkoeffizienten muss allerdings die schwache Erklärungskraft der im Modell vorgelagerten Konstrukte berücksichtigt werden.

5 Interpretation der empirischen Erkenntnisse

5.1 Interpretation der Durchschnittswerte

Vor der eigentlichen Interpretation des Strukturgleichungsmodells wird zunächst ein Blick auf die durchschnittlichen Antworten aller Indikatoren eines Konstruktes geworfen. Diese sind in Tabelle 1 zusammengefasst. In Bezug auf die Rahmenbedingungen strategischer Lieferantenentwicklung ergibt sich folgendes Bild: Im Schnitt schätzen die Abnehmer ihre Abhängigkeit vom jeweiligen Lieferanten als mittelhoch ein (3,3). Dabei besteht ein signifikanter, aber in absoluten Werten geringer Unterschied zwischen Lieferanten, die erfolgreich entwickelt wurden (3,2), und Lieferanten, die weniger erfolgreich entwickelt wurden (3,4).⁶³ Überraschend ist allerdings, dass die Abnehmer ihre eigene Abhängigkeit vom Lieferanten (3,3) deutlich höher einschätzen als die Abhängigkeit des Lieferanten von ihnen (2,7). Dieser Unterschied ist ebenfalls statistisch signifikant,⁶⁴ widerspricht aber dem üblichen Bild, dass der Abnehmer am län-

⁶¹ Vgl. beispielsweise Chin (1998), S. 323, der R^2 -Werte von 0,67, 0,33 und 0,19 als substanziell, moderat bzw. schwach bezeichnet.

⁶² Das Kriterium kann nur für diese Messmodelle geprüft werden, vgl. Huber et al. (2007), S. 107.

⁶³ Signifikanz geprüft mittels Wilcoxon-Test.

⁶⁴ Signifikanz geprüft mittels Wilcoxon-Test.

geren Hebel sitzt. Ihre eigene Methodenkompetenz schätzen die Abnehmer im Schnitt als hoch ein (3,8). Da dieses Konstrukt – wie auch die Ressourcenausstattung des Abnehmers – nicht bezogen auf eine bestimmte Lieferantenbeziehung erfragt wurde, kann nicht zwischen unterschiedlichen Lieferantengruppen differenziert werden. Interessant ist in diesem Zusammenhang vor allem, dass die Abnehmer die Methodenkompetenz der entwickelten Lieferanten im Schnitt nur als mittelhoch einschätzen (3,1) und damit signifikant geringer als die eigene Methodenkompetenz (3,8).⁶⁵ Vielsagend ist auch die Tatsache, dass die Methodenkompetenz erfolgreich entwickelter Lieferanten (3,5) signifikant über der weniger erfolgreich entwickelter Lieferanten liegt (2,6). Eine fehlende Methodenkompetenz des Lieferanten stellt also aus Abnehmersicht einen potenziellen Grund für einen geringeren Erfolg bei strategischer Lieferantenentwicklung dar. Dies sollte vor allen Dingen für Option I strategischer Lieferantenentwicklung gelten bei der der Abnehmer die eigentliche Entwicklung dem Lieferanten selbst überlässt und sich auf die Steuerung durch Zielvorgaben beschränkt.

Konstrukt	Durchschnitt (alle)	Durchschnitt (Lieferanten die erfolgreich entwi- ckelt wurden)	Durchschnitt (Lieferanten die weniger erfolgreich entwickelt wurden)
Abhängigkeit des Abnehmers vom Lieferanten (ABHA)	3,3	3,2	3,4*
Abhängigkeit des Lieferanten vom Abnehmer (ABHL)	2,7	2,7	2,8
Methodenkompetenz des Abnehmers (MEKA)	3,8	-	-
Methodenkompetenz des Lieferanten (MEKL)	3,1	3,5	2,6*
Ressourcenausstattung des Abnehmers (RESA)	2,8	-	-
1 = sehr gering ... 5 = sehr hoch			
Abnehmergesteuerte Eigenoptimierung des Lieferanten (EIGO)	3,7	3,9	3,6*
Gemeinsame Optimierungsprojekte (GEMO)	2,2	2,3	2,0*
Finanzielle Unterstützung/Beteiligung (FINU)	1,1	1,2	1,1*
1 = gar nicht ... 5 = sehr intensiv [bezogen auf die Durchführung entsprechender Aktivitäten]			
Differenzierung (DIFF)	2,9	3,4	2,5*
Kostenführerschaft (KOST)	2,9	3,3	2,6*
1 = nicht erreicht ... 5 = voll erreicht [bezogen auf den Grad der Erreichung entsprechender Ziele durch strategische Lieferantenentwicklung]			
* = Unterschied signifikant auf einem Niveau von mindestens $\alpha = 0,05$			

Tabelle 1: Durchschnittswerte auf Konstruktebene⁶⁶⁶⁵ Signifikanz geprüft mittels Wilcoxon-Test.⁶⁶ Eigene Darstellung.

In Bezug auf die drei Optionen strategischer Lieferantenentwicklung zeichnet sich ein differenziertes Bild ab. Option I, die Abnehmergesteuerte Eigenoptimierung des Lieferanten, wird im Schnitt intensiv genutzt (3,7). Option II, also gemeinsame Optimierungsprojekte mit dem Lieferanten, kommt in moderatem Umfang zum Einsatz (2,2). Option III, die finanzielle Unterstützung von Lieferanten bzw. eine Beteiligung am Lieferantenunternehmen, wird fast gar nicht genutzt (1,1). Bei allen drei Optionen strategischer Lieferantenentwicklung zeigen sich signifikante Unterschiede zwischen Lieferanten, die erfolgreich entwickelt wurden, und Lieferanten, bei denen dies weniger erfolgreich funktioniert hat. Allerdings kann dies im Sinne eines möglichen Kausalzusammenhangs ambivalent gedeutet werden. So könnte einerseits argumentiert werden, dass eine weniger intensive Lieferantenentwicklung tendenziell weniger erfolgreich ist. Andererseits könnte ein sich abzeichnender Misserfolg dazu führen, dass eingeleitete Anstrengungen zur Lieferantenentwicklung zurückgefahren werden.

Mit strategischer Lieferantenentwicklung verfolgen Abnehmer konkrete Ziele. Den Zielerreichungsgrad für die durch Lieferantenentwicklung verfolgten Differenzierungs- bzw. Kostensenkungsziele schätzen die Unternehmen im Schnitt als mittelhoch ein (2,9). Diese Größenordnung entspricht der auch in anderen Studien belegten Erkenntnis, dass Unternehmen zwar mit den Ergebnissen ihrer Lieferantenentwicklung zufrieden sind, aber noch Steigerungspotenzial besteht.⁶⁷ Allerdings müssen die dargestellten Gesamtdurchschnittswerte (jeweils 2,9) mit einer gewissen Vorsicht interpretiert werden. Schließlich wurde im Rahmen der Abnehmerbefragung explizit nach einem erfolgreich und nach einem weniger erfolgreich entwickelten Lieferanten gefragt. Wie die Experteninterviews vermuten lassen, sollte der Anteil erfolgreich entwickelter Lieferanten in der Praxis jedoch über 50 Prozent liegen. Die Gesamtdurchschnittswerte zeichnen also mit jeweils 2,9 ein vermutlich zu negatives Bild. Wie zu erwarten, ist der Unterschied zwischen erfolgreich (3,4 bzw. 3,3) und weniger erfolgreich entwickelten Lieferanten (2,5 bzw. 2,6) nicht nur signifikant, sondern im Hinblick auf die Durchschnittswerte auch sehr deutlich. Dieser Unterschied steckt allerdings, wie oben erläutert, bereits in der Fragestellung, ist also nicht überraschend.

5.2 Interpretation der Pfadkoeffizienten

Um eine Aussage über die Bestätigung oder Ablehnung der Modellhypothesen machen zu können, sind die Modellverbindungen auf Signifikanz zu prüfen.⁶⁸ Dies erfolgt mit Hilfe des Ausmaßes und der Signifikanz der Pfadkoeffizienten zwischen den latenten Konstrukten. Dabei gelten folgende Kriterien bzw. Grenzwerte:

- Die Pfadkoeffizienten sollten einen Wert von 0,1 überschreiten und das zuvor postulierte Vorzeichen (positiver bzw. negativer Einfluss auf das unabhängige Konstrukt) aufweisen.⁶⁹

⁶⁷ Vgl. z.B. Watts/Hahn (1993), S. 16.

⁶⁸ Vgl. Huber et al. (2007), S. 104.

⁶⁹ Vgl. Huber et al. (2007), S. 104.

- Die Pfadkoeffizienten sollten signifikant auf einem Niveau von mindestens $\alpha = 0,05$ sein. Hierfür gelten die Grenzwerte für den zweiseitigen t-Test ($\geq 1,960$ bis $< 2,576$ für ein Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$, $\geq 2,576$ bis $< 3,291$ für ein Niveau von $\alpha = 0,01$ und $\geq 3,291$ für ein $\alpha = 0,001$). Die Werte werden auf Basis der Bootstrapping-Prozedur ermittelt.

Auf Basis dieser Analysen können folgende Ergebnisse festgehalten werden, die in Abbildung grafisch festgehalten sind. Erstens werden 12 der 18 Hypothesen auf einem Signifikanzniveau von mindestens $\alpha = 0,05$ bestätigt: Sechs Hypothesen werden auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,001$ bestätigt. Drei Hypothesen werden auf einem Niveau von $\alpha = 0,01$ bestätigt. Drei weitere Hypothesen werden auf einem Niveau von $\alpha = 0,05$ bestätigt. Die übrigen sechs Hypothesen werden abgelehnt, da weder der Wert der Pfadkoeffizienten noch die zugehörigen t-Werte die erforderlichen Grenzwerte erreichen. Im Folgenden werden die einzelnen Hypothesen interpretiert.

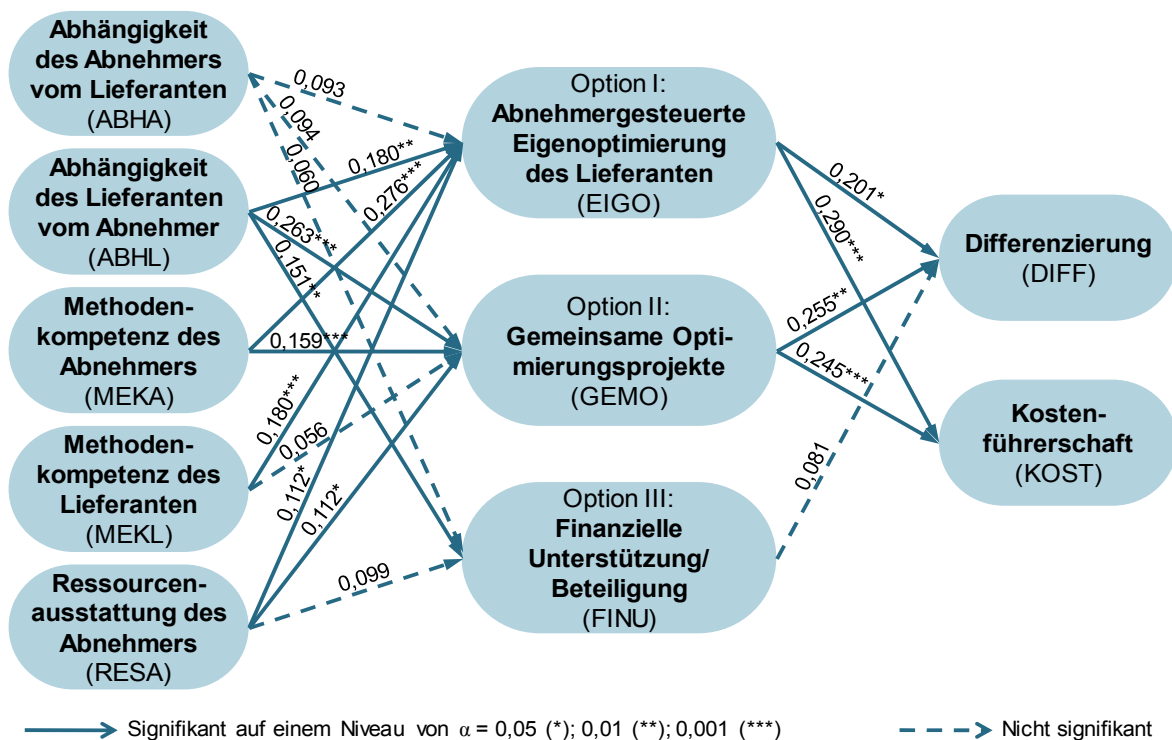


Abbildung 2: Pfadmodell inklusive Ausmaß und Signifikanz der Pfadkoeffizienten⁷⁰

Wie aus Abbildung 2 ersichtlich, wirken sich vier der fünf Rahmenbedingungen signifikant positiv auf Option I, die durch den Abnehmer mit Hilfe von Feedback und Zielvorgaben gesteuerte Eigenoptimierung des Lieferanten, aus. Den größten Erklärungsbeitrag leistet die Methodenkompetenz des Abnehmers mit einem Pfadkoeffizienten von 0,276 signifikant auf einem Niveau von $\alpha = 0,001$. Je größer die für Lieferantenentwicklung relevante Methodenkompetenz des Abnehmers, desto intensiver steuert dieser die Eigenoptimierung des Lieferanten. Ein wesentlicher Grund hierfür ist vermutlich, dass methodisch kompetentere Abnehmer besser in der Lage sind, Verbesserungspotenziale beim Lieferanten zu identifizieren und ihren Lieferanten realistischere

⁷⁰ Eigene Darstellung.

Zielvorgaben machen. Schließlich ist die Formulierung qualitativ hochwertiger Ziele anspruchsvoll.⁷¹

Auch die Methodenkompetenz des Lieferanten wirkt sich mit einem Pfadkoeffizienten von 0,180 signifikant auf einem Niveau von $\alpha = 0,001$ positiv auf Option I strategischer Lieferantenentwicklung aus. Je besser der Lieferant also aufgrund entsprechender Methodenkenntnisse in der Lage ist, sich selbst zu entwickeln, desto intensiver macht sich der Abnehmer dies zu Nutze, indem er den Lieferanten durch Bewertungen und Feedback zur Eigenentwicklung motiviert und diese über Zielvorgaben steuert. Da Option I strategischer Lieferantenentwicklung auf eine eigenverantwortliche Optimierung des Lieferanten setzt, ist allerdings erstaunlich, dass sich die Methodenkompetenz des Abnehmers im Vergleich zu der des Lieferanten deutlicher auswirkt, wie ein Vergleich der Pfadkoeffizienten zeigt (0,276 vs. 0,180, jeweils signifikant auf einem Niveau von $\alpha = 0,001$). Ein möglicher Grund könnte die im Schnitt deutlich niedrigere Beurteilung der Methodenkompetenz des Lieferanten durch den Abnehmer sein.⁷² Mit anderen Worten: Abnehmer setzen die methodische Kompetenz des Lieferanten grundsätzlich niedriger an. Damit spielt diese zwar eine Rolle, aber in der Wahrnehmung der Abnehmer keine so entscheidende wie die eigene Methodenkompetenz.

Ähnlich intensiv wie die Methodenkompetenz des Lieferanten wirkt sich auch dessen Abhängigkeit vom Abnehmer aus (Pfadkoeffizient 0,180; Signifikanzniveau $\alpha = 0,01$). Je größer diese Abhängigkeit, desto intensiver nutzt der Abnehmer Leistungsfeedback und Zielvorgaben, um den Lieferanten zum eigenen Vorteil zu entwickeln. Ein wesentlicher Grund liegt vermutlich in der größeren Bereitschaft abhängiger Lieferanten, Anregungen und Vorgaben ihrer Abnehmer Folge zu leisten.

Die Ressourcenausstattung des Abnehmers wirkt sich ebenfalls positiv – wenn auch mit einem Pfadkoeffizienten von 0,112 und einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,01$ weniger deutlich – auf Option I strategischer Lieferantenentwicklung aus. Je besser die Ausstattung des Abnehmers für Lieferantenentwicklung in puncto Personal, Kapital sowie Zeit und Aufmerksamkeit des Topmanagements, desto intensiver steuert dieser die Eigenoptimierung seiner Lieferanten. Ein wesentlicher Grund ist vermutlich, dass auch die indirekte Entwicklung des Lieferanten Ressourcen benötigt, beispielsweise für eine umfassende cross-funktionale Bewertung der Lieferantenleistung und -fähigkeiten oder das konsequente Nachhalten der Zielvorgaben.

Kein signifikanter Zusammenhang wurde für die vermutete positive Beziehung zwischen der Abhängigkeit des Abnehmers vom Lieferanten und der Abnehmergesteuerten Eigenoptimierung des Lieferanten festgestellt. Da sich die Abhängigkeit des Abnehmers vom Lieferanten auf keine der drei Optionen strategischer Lieferantenentwicklung signifikant auswirkt, kann auf Basis der vorliegenden Studie festgehalten werden, dass diese Rahmenbedingung für strategische Lieferantenentwicklung keine Rolle zu spielen scheint. Ein möglicher Grund könnte in gegenläufigen Effekten lie-

⁷¹ Vgl. beispielsweise die verbreitete, aber nicht leicht zu erfüllende Forderung, Ziele sollen "SMART" sein: Spezifisch, Messbar, Akzeptabel, Realistisch, Terminiert, vgl. Stolzenberg/Heberle (2006), S. 49.

⁷² Vgl. Tabelle 1 und die zugehörigen Erläuterungen.

gen, die eine Abhängigkeit des Abnehmers vom Lieferanten impliziert.⁷³ Auf der einen Seite haben Abnehmer ein erhöhtes Interesse daran, Lieferanten von denen sie abhängig sind, in ihrem Sinne weiterzuentwickeln. Schließlich ist eine erfolgreiche Zusammenarbeit für den Abnehmer wichtig. Gleichzeitig allerdings kann die Abhängigkeit des Abnehmers die Entwicklung des Lieferanten erschweren. So hat ein Lieferant, der sich der Abhängigkeit seines Abnehmers sicher ist, eventuell kein bzw. nur ein geringeres Interesse an der Umsetzung von Zielvorgaben oder der Durchführung von gemeinsamen Optimierungsprojekten, da dies für ihn zusätzlichen Aufwand bedeutet. Letzteres unterstreicht auch die Bemerkung des Leiters der Lieferantenentwicklung bei einem Automobilhersteller: "Zu einem Bosch gehen wir erst gar nicht. Der ist zu mächtig."⁷⁴ Allerdings ist möglicherweise auch das Interesse des Abnehmers an einer strategischen Entwicklung des Lieferanten gedämpft: Schließlich kann Lieferantenentwicklung die Abhängigkeit des Abnehmers weiter erhöhen, weil lieferantenspezifische Investitionen in Form von Personal und Kapital getätigt werden müssen.

Auf Option II strategischer Lieferantenentwicklung, die Beratung und Schulung des Lieferanten im Rahmen gemeinsamer Optimierungsprojekte, wirken sich drei der fünf Rahmenbedingungen signifikant positiv aus. Den größten Effekt hat mit einem Pfadkoeffizienten von 0,263 auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,001$ die Abhängigkeit des Lieferanten vom Abnehmer. Je abhängiger der Lieferant, desto intensiver berät und schult ihn der Abnehmer im Rahmen gemeinsamer Optimierungsprojekte. Ein wesentlicher Grund für diesen Zusammenhang stellt vermutlich die höhere Kooperationsbereitschaft abhängiger Lieferanten dar, sich auf diese Weise entwickeln zu lassen. Denn gemeinsame Optimierungsprojekte erfordern vom Lieferanten neben dem Einsatz von Ressourcen häufig auch die Bereitschaft zu größerer Transparenz gegenüber dem Abnehmer. So ist es beispielsweise nicht unüblich, dass in derartigen Projekten Prozesse des Lieferanten durchleuchtet oder Kostenstrukturen untersucht werden. Insbesondere letztere legen Lieferanten nur ungern offen. Einen weiteren Grund stellen vermutlich die Ressourcen dar, die auch der Abnehmer für diese Option strategischer Lieferantenentwicklung investieren muss. Insbesondere der Aufwand für gemeinsame Optimierungsprojekte ist – abhängig von der Art und Dauer des Projektes – häufig auch für den Abnehmer sehr groß. Die investierten Ressourcen müssen durch einen entsprechenden Return on Investment gerechtfertigt werden. Dabei determiniert einerseits die Bereitschaft des Lieferanten, in derartigen Projekten entwickelte Lösungsansätze zeitnah und vollständig zu implementieren, den Erfolg der Projekte. Diese Bereitschaft sollte bei abhängigen Lieferanten höher sein. Einer der Interviewpartner brachte dies folgendermaßen auf den Punkt: "Wenn ein gesundes Wettbewerbsverhältnis existiert, dann ist die Motivation von Lieferanten, sich entwickeln zu lassen, in der Regel sehr hoch."⁷⁵ Andererseits möchte der Abnehmer sicher sein, dass die Ergebnisse aus der von ihm initiierten Lieferantenentwicklung primär dem eigenen Unterneh-

⁷³ Vgl. auch die theoretischen Überlegungen auf Basis des ressourcenbasierten Ansatzes in Unterkapitel 3.3.

⁷⁴ Quelle: Experteninterview.

⁷⁵ Quelle: Experteninterview.

men – und nicht etwa dem Wettbewerb – zu Gute kommen. Auch diese Forderung lässt sich bei abhängigen Lieferanten leichter durchsetzen.

Kein positiver Zusammenhang konnte hingegen für die Abhängigkeit des Abnehmers vom Lieferanten und Option II festgestellt werden. Mögliche Interpretationen für die Nichtsignifikanz der Beziehung wurden bereits in Unterkapitel 5.1 erörtert.

Mit einem Pfadkoeffizienten von 0,159 signifikant auf einem Niveau von $\alpha = 0,001$ stellt die Methodenkompetenz des Abnehmers einen weiteren wichtigen Einflussfaktor auf Option II strategischer Lieferantenentwicklung dar. Je größer also die methodische Kompetenz des Abnehmers, desto intensiver betreibt er Lieferantenentwicklung durch gemeinsame Optimierungsprojekte. Wesentlicher Grund ist vermutlich, dass derartiges Methodenwissen eine Voraussetzung für erfolgreiche Projekte darstellt, etwa wenn es um die Identifizierung und Eliminierung unnötiger Prozessschritte geht. Dies unterstreicht auch die Entstehungsgeschichte etlicher Lieferantenentwicklungsprogramme. Beispielsweise ging das Programm POLE (Prozess-Optimierung mit Lieferanten-Einbindung) der Porsche AG 1993 aus einem umfangreichen Verbesserungsprogramm bei Porsche selbst hervor.⁷⁶ Neben der Optimierung der eigenen Prozesse und Strukturen eignete sich Porsche damit die methodische Kompetenz an, um im Rahmen von POLE erfolgreich Optimierungsprojekte gemeinsam mit Lieferanten durchzuführen. Wie wichtig eine profunde Kenntnis adäquater Methoden ist, unterstreicht auch folgende Aussage eines Interviewpartners: "Wir wollen Unternehmen, die ihr Geschäft seit 30 bis 40 Jahren erfolgreich betreiben, etwas erzählen."⁷⁷

Nicht signifikant hingegen ist die vermutete negative Beziehung zwischen der Methodenkompetenz des Lieferanten und gemeinsamen Optimierungsprojekten. Dies steht im Widerspruch zu Aussagen aus den geführten Experteninterviews. Diese ließen vermuten, dass Abnehmer insbesondere diejenigen Lieferanten mit Hilfe von gemeinsamen Optimierungsprojekten entwickeln, deren Methodenkompetenzen einen geringeren Reifegrad besitzen und bei denen daher tendenziell größere Verbesserungspotenziale existieren. Allerdings schätzen – wie oben gezeigt – die Abnehmer die Methodenkompetenz der Lieferanten im Vergleich zu den eigenen methodischen Kompetenzen im Schnitt grundsätzlich niedriger ein. Eventuell ist dies ein Grund für die Nichtsignifikanz des entsprechenden Zusammenhangs.

Ein positiver Zusammenhang – wenn auch mit einem Pfadkoeffizienten von 0,112 auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ kein deutlicher – konnte zwischen der Ressourcenausstattung des Abnehmers und Option II strategischer Lieferantenentwicklung festgestellt werden. Auch dieser Zusammenhang scheint unmittelbar einleuchtend: Abnehmer, die über mehr personelle und finanzielle Ressourcen für Lieferantenentwicklung verfügen bzw. bei denen das Topmanagement dem Thema eine höhere Aufmerksamkeit zuteil werden lässt, betreiben intensiver strategische Lieferantenentwicklung.

⁷⁶ Vgl. Keßler (2004), S. 29. Etwas später ging aus dem POLE-Programm die Porsche Consulting GmbH hervor, um das Konzept von POLE zusätzlich auf dem freien Markt als eigene Beratungsdienstleistung anzubieten.

⁷⁷ Quelle: Experteninterview.

Auf Option III strategischer Lieferantenentwicklung – die finanzielle Unterstützung des Lieferanten bzw. die Beteiligung des Abnehmers am Lieferanten – wirkt sich lediglich einer der drei vermuteten Rahmenfaktoren signifikant aus. Dafür sind eventuell Gründe ausschlaggebend, die dem Konstrukt Finanzielle Unterstützung/Beteiligung immanent sind. So wird strategische Lieferantenentwicklung gemäß Option III von den Unternehmen quasi nicht betrieben.⁷⁸ Dies bestätigen auch andere Studien.⁷⁹ Sehr wahrscheinlich liegt darin ein wesentlicher Grund für die Nichtsignifikanz der meisten Pfadverbindungen zu und von diesem Konstrukt. Damit muss auch die signifikante Verbindung zwischen der Abhängigkeit des Lieferanten vom Abnehmer mit Vorsicht betrachtet werden.

Wie Abbildung zeigt, sind vier der fünf Pfade zwischen den Optionen strategischer Lieferantenentwicklung und den Konstrukten Differenzierung und Kostenführerschaft signifikant auf einem Niveau von mindestens $\alpha = 0,05$. Damit lässt sich für die ersten beiden Optionen strategischer Lieferantenentwicklung ein positiver Zusammenhang im Hinblick auf die Wettbewerbsfähigkeit des Abnehmers konstatieren. Diese empirisch fundierte Erkenntnis ist von großer Wichtigkeit, da sie die Legitimationsgrundlage für die strategische Entwicklung von Lieferanten liefert. Schließlich stellen Aktivitäten strategischer Lieferantenentwicklung abhängig von Option und Umfang eine kleinere bzw. größere Investition des Abnehmers in einen spezifischen Lieferanten dar.⁸⁰ Derartige Investitionen müssen sich, zumindest im Schnitt, positiv auf die Wettbewerbsfähigkeit des Abnehmers auswirken. Dies kann auf Basis der durchgeführten Umfrage für Option I und II strategischer Lieferantenentwicklung bestätigt werden. Gleichzeitig deckt sich diese Erkenntnis mit der Mehrzahl anderer empirischer Studien, die ähnliche Zusammenhänge beleuchtet haben.⁸¹ Für Option III bestätigt sich ein analoger Zusammenhang allerdings nicht. Mögliche Gründe hierfür wurden bereits oben erörtert.

5.3 Handlungsempfehlungen für Unternehmen

Um die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit einer praktischen Umsetzung zugänglich zu machen, werden aus den gewonnenen Erkenntnissen zwei konkrete Handlungsempfehlungen für Unternehmen abgeleitet:

Die erste Handlungsempfehlung lautet, dass Unternehmen sich die Potenziale aus strategischer Lieferantenentwicklung systematisch erschließen sollten. Wie empirisch gezeigt werden konnte, wirkt sich strategische Lieferantenentwicklung signifikant positiv auf die Wettbewerbsfähigkeit des Abnehmers aus. Dies ist eine zentrale Erkenntnis der vorliegenden Arbeit und trifft in mehrfacher Hinsicht zu: Mit Blick auf die Optionen strategischer Lieferantenentwicklung gilt sie sowohl für die Abnehmergesteuerte Eigenoptimierung des Lieferanten als auch für gemeinsame Optimierungsprojekte. Mit

⁷⁸ Vgl. hierzu auch Tabelle 1 und die entsprechenden Erläuterungen.

⁷⁹ Vgl. z.B. Wagner (2006a), S. 560.

⁸⁰ Vgl. hierzu auch die Interpretation strategischer Lieferantenentwicklung als transaktionsspezifische Investition in Unterkapitel 3.3.

⁸¹ Vgl. z.B. die Arbeiten von Sánchez-Rodríguez (2009) oder Krause et al. (2007).

Blick auf die Wettbewerbsfähigkeit des Abnehmers wirkt sich strategische Lieferantenentwicklung positiv sowohl auf eine Differenzierung vom Wettbewerb als auch im Sinne einer Kostenführerschaft aus. Beispiele aus den Experteninterviews unterstreichen dies. Andere wissenschaftliche Erhebungen bestätigen ähnliche Zusammenhänge. Strategische Lieferantenentwicklung – erfolgreich angewandt – rechnet sich für den Abnehmer. Dies gilt freilich nicht für Option III strategischer Lieferantenentwicklung, die finanzielle Unterstützung bzw. Beteiligung.

Die zweite Handlungsempfehlung lautet, dass Unternehmen geeignete Rahmenbedingungen für strategische Lieferantenentwicklung schaffen bzw. wählen sollten. Wie durch das untersuchte Modell gezeigt werden konnte, ist die Schaffung geeigneter interner und externer Rahmenbedingungen entscheidend für den Erfolg eines Lieferantenentwicklungsprogramms. Eine wesentliche Rahmenbedingung bildet die Methodenkompetenz des Abnehmers. Konkret geht es um die Fähigkeit zur Anwendung bestimmter Werkzeuge und Vorgehensweisen, etwa um gemeinsame Optimierungsprojekte effektiv und effizient durchzuführen. Ein Methodenbaukasten, der abhängig von der Zielsetzung des Programms relevante Verfahren wie beispielsweise Wertstromanalyse oder Design-to-Cost umfasst, sollte entwickelt und mit Leitfäden, Prüflisten etc. hinterlegt werden. Gleichzeitig müssen Mitarbeiter, die Lieferantenentwicklung betreiben, geschult und ausgebildet werden. Wo notwendig, kann entsprechendes Methodenwissen auch extern zugekauft werden. Dabei müssen aber auch die eigenen Grenzen erkannt werden. Abnehmer sollten beispielsweise nur Lieferanten derjenigen Warengruppen mit Hilfe von gemeinsamen Optimierungsprojekten entwickeln, deren Industriespezifika eine Anwendung ihrer Methoden erlauben. Im Falle einer Entwicklung des Lieferanten durch Leistungsfeedback und Zielvorgaben ist zudem eine entsprechende Methodenkompetenz des Lieferanten wichtig. Abnehmer sollten also bei der Formulierung von Verbesserungszielen das Kompetenzniveau des Lieferanten berücksichtigen, um herausfordernde, aber realistische Vorgaben zu machen.

Eine weitere wesentliche Rahmenbedingung ist die Abhängigkeit des zu entwickelnden Lieferanten vom Abnehmer. Diese sollte als Auswahlkriterium bei der Selektion von Lieferanten für strategische Lieferantenentwicklung berücksichtigt werden. Eine hohe Abhängigkeit des Lieferanten vom Abnehmer steigert dessen Bereitschaft, sich entwickeln zu lassen und auch aufwändigere Veränderungen vorzunehmen. Gleichzeitig erhöht dies die Sicherheit für den Abnehmer, dass die in die Entwicklung des Lieferanten investierten Ressourcen dem eigenen Unternehmen zu Gute kommen.

Schließlich ist auch eine adäquate Ressourcenausstattung in einem umfassenden Sinn von großer Wichtigkeit. Dies gilt zum einen für die Aufmerksamkeit des Topmanagements. Strategische Lieferantenentwicklung ist eine Investition des Abnehmers in die eigene Wettbewerbsfähigkeit und in die der Wertschöpfungskette. Investitionsentscheidungen werden vom Topmanagement getroffen und müssen von diesem unterstützt und durchgesetzt werden. Daher ist ein eindeutiges Commitment unerlässlich, wenn strategische Lieferantenentwicklung erfolgreich betrieben werden soll. Dies impliziert auch ein aktives Engagement des Managements, etwa im Rahmen von Zielvereinbarungsgesprächen mit wichtigen Lieferanten. Zum Zweiten ist eine adäquate Aus-

stattung mit personellen und finanziellen Ressourcen wichtig. Dabei geht es nicht nur um die Einrichtung einer Abteilung oder eines Teams zur Lieferantenentwicklung. Vielmehr ist die Mobilisierung vieler Bereiche notwendig, etwa wenn es um die Formulierung und Konsolidierung von Lieferantenbewertungen oder die Zusammenarbeit mit Lieferanten in cross-funktionalen Zirkeln geht. Dennoch haben die Expertengespräche gezeigt, dass die Einrichtung einer Abteilung bzw. eines dedizierten Teams zur strategischen Lieferantenentwicklung sehr sinnvoll ist. Dieses bildet den zentralen Kern, der Lieferantenentwicklungsaktivitäten initiiert, vorantreibt und teilweise auch eigenverantwortlich durchführt.

6 Beitrag dieses Artikels und Ausblick

Auf Basis des entwickelten Modells der strategischen Lieferantenentwicklung konnte nachgewiesen werden, dass Abnehmer bestimmte Optionen strategischer Lieferantenentwicklung insbesondere bei Vorliegen bestimmter Rahmenbedingungen erfolgreich nutzen. Damit wurde die Qualität der bereits in anderen Studien nachgewiesenen positiven Wirkung von Lieferantenentwicklung insofern erhöht, als erfolgsrelevante Kontingenzzfaktoren identifiziert wurden. Auf dieser Basis konnten konkrete Handlungsempfehlungen für die unternehmerische Praxis entwickelt werden.

Wie jede Studie weist auch die vorliegende Arbeit eine Reihe von Einschränkungen auf. So muss zunächst beachtet werden, dass die mit dieser Arbeit dargelegte, singuläre empirische Evidenz nicht ausreicht, um die postulierten konzeptuellen Zusammenhänge reliabel zu bestätigen. Erst wenn mehrere empirische Studien entsprechende Zusammenhänge validiert haben, kann die darunterliegende Theorie als bewährt angesehen werden.⁸² Darüber hinaus erlaubt der für diese Arbeit genutzte PLS-Ansatz im Gegensatz zur Kovarianzstrukturanalyse aufgrund fehlender globaler Gütemaße keine ganzheitliche Beurteilung des entwickelten Modells. Damit kann nicht festgestellt werden, ob dem entwickelten Modell ein wichtiger struktureller Pfad fehlt.⁸³ Zudem erlaubt der Querschnittscharakter der durchgeführten Studie streng genommen keinen Nachweis von Kausalität.⁸⁴

Im Hinblick auf Vorschläge für künftige Forschungsaktivitäten soll zunächst die grundsätzliche Anregung gegeben werden, empirische Untersuchungen verstärkt auf Kontingenzzfaktoren zu fokussieren. Damit ließen sich statt pauschaler Aussagen spezifische Empfehlungen ableiten und – so die Hypothese der Autoren – auch die Praxisnähe betriebswirtschaftlicher Forschung verbessern. Auch die folgenden Anregungen könnten zukünftige Forschungsaktivitäten leiten:

- Untersuchung weiterer Rahmenbedingungen: Die ermittelten, relativ niedrigen Werte des Bestimmtheitsmaßes R^2 für die endogenen Variablen im Modell der strategischen Lieferantenentwicklung sind ein Hinweis darauf, dass neben den im

⁸² Allerdings impliziert auch die Bewährung einer Theorie keine Wahrheitsgarantie, vgl. Gadenne (2006), S. 35.

⁸³ Vgl. Homburg/Klarmann (2006), S. 734.

⁸⁴ Vgl. Kuß (2007), S. 258. Daher wurde auch bewusst der irreführende Terminus "Kausalanalyse" als Bezeichnung für die Strukturgleichungsmodellierung mit latenten Variablen vermieden.

Rahmen dieser Arbeit untersuchten Faktoren noch weitere Rahmenbedingungen eine wesentlichen Rolle spielen.⁸⁵

- Übertragung auf andere Industrien/nationale Kontexte: Im Rahmen dieser Arbeit wurden Unternehmen der Automobilindustrie, des Maschinen- und Anlagenbaus sowie der Pharma- und Biotechindustrie aus Deutschland, Österreich und der Schweiz befragt. Eine Übertragung auf andere Industrien und nationale Kontexte ist damit nicht ohne weiteres möglich und könnte einen Pfad für künftige Forschungsaktivitäten darstellen.
- Erneute Überprüfung des Modells nach der Wirtschaftskrise: Die telefonische Befragung der Unternehmen fand von Februar bis April 2009 und damit relativ am Anfang der globalen Wirtschaftskrise statt. Gleichzeitig wurde im Rahmen parallel laufender Experteninterviews registriert, dass der Stellenwert stabiler Partnerschaften mit starken Wertschöpfungspartnern in den Augen der Unternehmen steigt. Vor diesem Hintergrund wäre eine erneute Überprüfung der untersuchten Zusammenhänge nach der Wirtschaftskrise interessant.

Die Autoren hoffen durch diese Arbeit Anstoß und Anregung für weitere Forschungsaktivitäten auf dem spannenden und wichtigen Gebiet der strategischen Lieferantenentwicklung gegeben zu haben.

Literaturverzeichnis

- Anderson, J. C./Gerbing, D. W. (1991): Predicting the Performance of Measures in a Confirmatory Factor Analysis with a Pretest Assessment of their Substantive Validities, *JOURNAL OF APPLIED PSYCHOLOGY*, Vol. 76, S. 732-740.
- Anwander, Armin (2001): Strategien erfolgreich verwirklichen: Wie aus Strategien echte Wettbewerbsvorteile werden, Springer, Berlin et al.
- Appelfeller, Wieland/Buchholz, Wolfgang (2005): Supplier Relationship Management: Strategie, Organisation und IT des modernen Beschaffungsmanagements, Gabler, Wiesbaden.
- Armstrong, J. Scott/Overton, Terry. S. (1977): Estimating Nonresponse Bias in Mail Surveys, *Journal of Marketing Research*, Vol. 14, S. 396-402.
- Backhaus, Klaus/Erichson, Bernd/Plinke, Wulff/Weiber, Rolf (2008): Multivariate Analysemethoden: Eine anwendungsorientierte Einführung, Springer, Berlin et al.
- Barney, Jay B. (1991): Firm Resources and Sustained Competitive Advantage, *Journal of Management*, Vol. 17, S. 99-120.
- Betzin, J./Henseler, Jörg (2005): Einführung in die Funktionsweise des PLS-Algorithmus, in: Handbuch PLS-Pfadmodellierung, Bliemel, Friedhelm/Eggert, Andreas/Fassott, Georg/Henseler, Jörg, eds., Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 49-69 Seiten.
- Boyd, Stephen/Vandenberghe, Lieven (2004): Convex Optimization, Cambridge University Press, Cambridge et al.
- CAPS Research (2008): Cross-Industry Report of Standard Benchmarks - October 2008, www.capsresearch.org, Vol. 01.12.2008, S.
- Carr, Amelia S./Kaynak, Hale (2007): Communication Methods, Information Sharing, Supplier Development and Performance: An Empirical Study of their Relationships, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 27, S. 346-370.

⁸⁵ Vgl. Unterkapitel 5.2.

- Carr, Amelia S./Kaynak, Hale/Hartley, Janet L./Ross, Anthony (2008): Supplier Dependence: Impact on Supplier's Participation and Performance, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 28, S. 899-916.
- Chin, Wynne W. (1998): The Partial Least Squares Approach to Structural Equation Modeling, in: *Modern Methods for Business Research*, Marcoulides, George A., ed., Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, 295-336 Seiten.
- Corsten, Hans/Gössinger, Ralf (2008): *Lexikon der Betriebswirtschaftslehre*, Oldenbourg, München.
- Diamantopoulos, Adamantios/Siguaw, Judy A. (2000): *Introducing LISREL: A Guide for the Uninitiated*, Sage, London et al.
- Diller, Hermann (2006): Probleme der Handhabung von Strukturgleichungsmodellen in der betriebswirtschaftlichen Forschung, *Die Betriebswirtschaft*, Vol. 66, S. 611-617.
- Domschke, Wolfgang/Drexl, Alexander (2005): *Einführung in Operations Research*, Springer, Berlin et al.
- Durst, Sebastian Melchior/Sucky, Eric (2010): Lieferantenentwicklung: Stand der empirischen Forschung, in: *Supply Management Research - Aktuelle Forschungsergebnisse 2009*, Bogaschewsky, Ronald/Eßig, Michael/Lasch, Rainer/Stölzle, Wolfgang, eds., Gabler, Wiesbaden, 37-72 Seiten.
- Ebers, Mark/Gotsch, Wilfried (2006): Institutionenökonomische Theorien der Organisation, in: *Organisationstheorien*, Kieser, Alfred/Ebers, Mark, eds., Kohlhammer, Stuttgart, 247-308 Seiten.
- Erlei, Mathias/Jost, Peter-J. (2001): Theoretische Grundlagen des Transaktionskostenansatzes, in: *Der Transaktionskostenansatz in der Betriebswirtschaftslehre*, Jost, Peter-J., ed., Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 35-75 Seiten.
- Fassott, Georg (2006): Operationalisierung latenter Variablen in Strukturgleichungsmodellen: Eine Standortbestimmung, *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, Vol. 58, S. 67-88.
- Frazier, Gary L. (1983): On the Measurement of Interfirm Power in Channels of Distribution, *Journal of Marketing Research*, Vol. 20, S. 158-166.
- Gadenne, Volker (2006): Empirische Forschung und normative Wissenschaftstheorie. Was bleibt von der Methodologie des kritischen Rationalismus?, in: *Methoden der Sozialforschung*, Diekmann, Andreas, ed., VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 33-50 Seiten.
- Göthlich, Stephan E. (2007): Zum Umgang mit fehlenden Daten in großzahligen empirischen Erhebungen, in: *Methodik der empirischen Forschung*, Albers, Sönke /Klapper, Daniel/Udo, Konrad/Achim, Walter/Joachim, Wolf, eds., Gabler, Wiesbaden, 119-134 Seiten.
- Grant, Robert M. (2005): *Contemporary Strategy Analysis*, Blackwell, Malden et al.
- Homburg, C./Klarmann, M. (2006): Die Kausalanalyse in der empirischen betriebswirtschaftlichen Forschung – Problemfelder und Anwendungsempfehlungen, *Die Betriebswirtschaft*, Vol. 66, S. 727-748.
- Homburg, Christian (1992): Die Kausalanalyse: Eine Einführung, *Wirtschaftswissenschaftliches Studium*, Vol. 21, S. 499-508.
- Homburg, Christian/Giering, Annette (1996): Konzeptualisierung und Operationalisierung komplexer Konstrukte - Ein Leitfaden für die Marketingforschung, *Marketing ZFP*, Vol. 18, S. 5-24.
- Huber, Frank/Herrmann, Andreas/Meyer, Frederik/Vogel, Johannes/Vollhardt, Kai (2007): Kausalmodellierung mit Partial Least Squares: Eine anwendungsorientierte Einführung, Gabler, Wiesbaden.

- Keßler, Manfred (2004): Eine bewährte Strategie wurde über Nacht verdoppelt, Caracho – Das Kundenmagazin von Porsche Consulting, Vol. 1, S. 28-29.
- Krafft, Manfred/Götz, Oliver/Liehr-Gobbers, Kerstin (2005): Die Validierung von Strukturgleichungsmodellen mit Hilfe des Partial-Least-Squares (PLS)-Ansatzes, in: Handbuch PLS-Pfadmodellierung, Bliemel, Friedhelm/Eggert, Andreas/Fassott, Georg/Henseler, Jörg, eds., Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 71-86 Seiten.
- Krause, Daniel R. (1997): Supplier Development: Current Practices and Outcomes, The Journal of Supply Chain Management, Vol. 33, S. 12-19.
- Krause, Daniel R./Ellram, Lisa M. (1997): Success Factors in Supplier Development, International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 27, S. 39-52.
- Krause, Daniel R./Handfield, Robert B./Tyler, Beverly B. (2007): The Relationships Between Supplier Development, Commitment, Social Capital Accumulation and Performance Improvement, Journal of Operations Management, Vol. 25, S. 528-545.
- Krause, Daniel R./Scannell, Thomas V./Calantone, Roger J. (2000): A Structural Analysis of the Effectiveness of Buying Firms' Strategies to Improve Supplier Performance, Decision Sciences, Vol. 31, S. 33-55.
- Kuß, Alfred (2007): Marktforschung: Grundlagen der Datenerhebung und Datenanalyse, Gabler, Wiesbaden.
- Large, Rudolf (2003): Interpersonelle Kommunikation und erfolgreiches Lieferantenmanagement, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden.
- Lasch, R./Janker, C. G. (2008): Lieferantenmanagement, in: Handbuch Logistik, Arnold, Dieter/Isermann, Heinz/Kuhn, Axel/Tempelmeier, Horst/Furmanns, Kai, eds., Springer, Berlin et al., 1001-1009 Seiten.
- Michaels, Jackson V./Wood, William P. (1989): Design to Cost, Wiley-Interscience, New York.
- Modi, Sachin B./Mabert, Vincent A. (2007): Supplier Development: Improving Supplier Performance Through Knowledge Transfer, Journal of Operations Management, Vol. 25, S. 42-64.
- Oakland, John S. (2003): Statistical Process Control, Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Porter, Michael E. (1980): Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors, Free Press, New York.
- Pyzdek, Thomas (2003): The Six Sigma Handbook: A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels, McGraw-Hill, New York.
- Sánchez-Rodríguez, Cristóbal (2009): Effect of Strategic Purchasing on Supplier Development and Performance: A Structural Model, Journal of Business & Industrial Marketing, Vol. 24, S. 161-172.
- Schnell, Rainer/Hill, Paul B./Esser, Elke (2005): Methoden der empirischen Sozialforschung, Oldenbourg, München und Wien.
- Scholderer, Joachim/Balderjahn, Ingo (2005): PLS versus LISREL: Ein Methodenvergleich, in: Handbuch PLS-Pfadmodellierung, Bliemel, Friedhelm/Eggert, Andreas/Fassott, Georg/Henseler, Jörg, eds., Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 87-98 Seiten.
- Stolzenberg, Kerstin/Heberle, Krischan (2006): Change Management: Veränderungsprozesse erfolgreich gestalten, Mitarbeiter mobilisieren, Springer, Berlin et al.
- Sucky, Eric (2006): A Bargaining Model with Asymmetric Information for a Single Supplier-Single Buyer Problem, European Journal of Operational Research, Vol. 171, S. 516-535.
- Sucky, Eric (2007): A Model for Dynamic Strategic Vendor Selection, Computers & Operations Research, Vol. 34, S. 3638-3651.
- Terpend, Regis/Tyler, Beverly B./Krause, Daniel R./Handfield, Robert B. (2008): Buyer-supplier Relationships: Derived Value over Two Decades, Journal of Supply Chain Management, Vol. 44, S. 28-55.

- van der Vaart, Taco/van Donk, Dirk Pieter (2008): A Critical Review of Survey-based Research in Supply Chain Integration, *International Journal of Production Economics*, Vol. 111, S. 42-55.
- Verband der Automobilindustrie (2008): Auto Jahresbericht 2008, Henrich Druck + Medien, Frankfurt am Main.
- Wagner, Stephan M. (2001): Strategisches Lieferantenmanagement in Industrieunternehmen: Eine empirische Untersuchung von Gestaltungskonzepten, Peter Lang GmbH, Frankfurt am Main.
- Wagner, Stephan M. (2005): The Relationship Between a Firm's Efforts to Develop Deficient Suppliers and Competitive Advantage, in: 14th Annual IPSERA Conference, 2005, Archamps (France), 307-323 Seiten.
- Wagner, Stephan M. (2006a): Supplier Development Practices: An Exploratory Study, *European Journal of Marketing*, Vol. 40, S. 554-571.
- Wagner, Stephan M. (2006b): A Firm's Responses to Deficient Suppliers and Competitive Advantage, *Journal of Business Research*, Vol. 59, S. 686-695.
- Wannenwetsch, Helmut (2005): Vernetztes Supply Chain Management: SCM-Integration über die gesamte Wertschöpfungskette, Springer, Berlin et al.
- Watts, Charles A./Hahn, Chan K. (1993): Supplier Development Programs: An Empirical Analysis, *The Journal of Supply Chain Management*, Vol. 29, S. 10-17.
- Womack, James P./Jones, Daniel T./Roos, Daniel (1990): The Machine that Changed the World, Rawson Associates, New York.

Anhang: Fragebogen

Der im Folgenden abgebildete Fragebogen wurde für die telefonische Befragung der Abnehmer genutzt. Er umfasst vier Teile: (A) Einleitende Fragen, (B.1) Fragen zu einem erfolgreich entwickelten Lieferanten, (B.2) Fragen zu einem weniger erfolgreich entwickelten Lieferanten, (C) Fragen zur Lieferantenentwicklung in diesem Unternehmen allgemein sowie statistische Angaben zum befragten Ansprechpartner.

Teil A. Einleitende Fragen

Zunächst ein paar **allgemeine Fragen zur Lieferantenentwicklung** in Ihrem Unternehmen:

Haben Sie im Unternehmen eine eigene Abteilung für Lieferantenentwicklung?	Ja				Nein
<i>Falls ja:</i> Wie viele Mitarbeiter arbeiten in dieser Abteilung?	Anzahl Mitarbeiter				
Gibt es standardisierte Prozesse für Lieferantenentwicklung?	Ja				Nein
Welchen Stellenwert nimmt Lieferantenentwicklung in Ihrem Unternehmen aktuell ein? Skala von 1 = nicht wichtig bis 5 = sehr wichtig.	1	2	3	4	5
Welchen Stellenwert wird Lieferantenentwicklung in Ihrem Unternehmen vermutlich in 3-5 Jahren einnehmen? Skala von 1 = nicht wichtig bis 5 = sehr wichtig.	1	2	3	4	5

Teil B.1 ERFOLGREICHE Lieferantenentwicklung

Bitte stellen Sie sich einen Ihrer Lieferanten vor, mit dem Sie ERFOLGREICH Lieferantenentwicklung betrieben haben. Die folgenden Fragen beziehen sich auf die Beziehung zu DIESEM Lieferanten. Zunächst bitte ich Sie um ein paar **allgemeine Angaben** zu diesem Lieferanten.

Seit wie vielen Jahren sind Sie Kunde dieses Lieferanten?	Zahl (Jahre)				
Welchen Anteil Ihres Bedarfes an den jeweiligen Produkten kaufen Sie im Schnitt bei diesem Lieferanten?	Zahl in Prozent				
Für wie viele Millionen Euro kaufen Sie im Jahr von diesem Lieferanten?	Zahl in Millionen Euro				
Wie viel Prozent Ihres gesamten Einkaufsvolumens entspricht dieser Betrag?	Zahl in Prozent				
Wie viele Millionen Euro Umsatz macht dieser Lieferant im Jahr insgesamt?	Zahl in Millionen Euro				
Wie lautet das Hauptprodukt, das Sie bei diesem Lieferanten kaufen?	Text (Warengruppe)				
Wie stark ist dieses Produkt speziell auf Ihr Unternehmen angepasst? Skala von 1 = nicht angepasst bis 5 = stark angepasst"	1	2	3	4	5

Inwieweit führen Sie folgende Lieferantenentwicklungsaktivitäten mit diesem Lieferanten durch? – Skala von 1 = gar nicht bis 5 = sehr intensiv.

	Gar nicht				Sehr intensiv
Wir bewerten diesen Lieferanten formal.	1	2	3	4	5
Wir geben diesem Lieferanten Verbesserungsziele vor.	1	2	3	4	5
Wir geben diesem Lieferanten Leistungsfeedback.	1	2	3	4	5
Wir auditieren diesen Lieferanten.	1	2	3	4	5

Wir beraten diesen Lieferanten bzgl. Produktion, z.B. Prozesse oder Maschineneinstellung.	1	2	3	4	5
Wir beraten diesen Lieferanten bzgl. Produktentwicklung, z.B. Projektmanagement oder Prozesse.	1	2	3	4	5
Wir beraten diesen Lieferanten bzgl. Technologie, z.B. Materialien oder Software.	1	2	3	4	5
Wir beraten diesen Lieferanten bzgl. Qualität, z.B. Qualitätssicherungsmaßnahmen oder Prüfmittel.	1	2	3	4	5
Wir schulen Mitarbeiter dieses Lieferanten.	1	2	3	4	5
Wie entsenden Mitarbeiter zu diesem Lieferanten, z.B. für Projektarbeit.	1	2	3	4	5
Wir beteiligen uns finanziell an diesem Lieferantenunternehmen.	1	2	3	4	5
Wir stellen diesem Lieferanten Kapital für neue Investition bereit.	1	2	3	4	5
Wir unterstützen diesen Lieferanten finanziell.	1	2	3	4	5

Wie wichtig waren die folgenden Ziele im Rahmen der genannten Lieferantenentwicklungsaktivitäten? – Skala von 1 = nicht wichtig bis 5 = sehr wichtig.

Bitte sagen Sie mir dazu jeweils gleichzeitig, inwieweit Sie diese Ziele durch die Lieferantenentwicklung für Ihr Unternehmen erreicht haben. – Skala von 1 = nicht erreicht bis 5 = voll erreicht.

	Nicht wichtig			Sehr wichtig	
	Nicht erreicht			Voll erreicht	
Senkung der Materialkosten für Ihre Produkte	1	2	3	4	5
Senkung Ihrer Qualitätskosten	1	2	3	4	5
Senkung Ihrer Lagerkosten	1	2	3	4	5
Senkung Ihrer Fertigungskosten	1	2	3	4	5
Senkung Ihrer Transportkosten	1	2	3	4	5
Verbesserung Ihrer Produktqualität	1	2	3	4	5
Verkürzung Ihrer Lieferzeiten	1	2	3	4	5
Verbesserung Ihrer Lieferzuverlässigkeit	1	2	3	4	5
Verbesserung Ihrer Fertigungsflexibilität	1	2	3	4	5
Stärkung Ihrer Innovationskraft	1	2	3	4	5

In welchem Verhältnis fiel ungefähr der Aufwand für die Lieferantenentwicklung zwischen Ihrem Unternehmen und dem Lieferanten an und in welchem Verhältnis wurden anschließend die Ergebnisse aufgeteilt?

	Lieferant		Abnehmer	
Aufwand	Zahl		Zahl	
Ergebnisse	Zahl		Zahl	

Wie hoch schätzen Sie die methodische Kompetenz dieses Lieferanten in den folgenden Bereichen ein? – Skala von 1 = minimal bis 5 = sehr hoch.

	Mini- mal			Sehr hoch	
Produktentwicklung, z.B. Projektmanagement oder Prozesse	1	2	3	4	5
Produktoptimierung, z.B. Wertanalyse oder Design-to-cost	1	2	3	4	5
Produktion, z.B. Six Sigma oder Lean Manufacturing	1	2	3	4	5
Logistik, z.B. Prozessanalyse oder Methoden zur Bestandreduzierung	1	2	3	4	5
Qualität, z.B. Total Quality Management oder Statistical Process Control	1	2	3	4	5

Inwieweit stimmen Sie folgenden Aussagen zu? – Skala von 1 = stimme nicht zu bis 5 = stimme voll zu.

	Stimme nicht zu			Stimme voll zu	
Es gibt ausreichend wettbewerbsfähige Lieferanten für diese Produkte.	1	2	3	4	5
Würden wir nicht mehr von diesem Lieferanten kaufen, könnten wir das Volumen leicht von anderen Lieferanten beziehen.	1	2	3	4	5
Unser Fertigungssystem kann leicht an die Produkte eines neuen Lieferanten angepasst werden.	1	2	3	4	5
Ein neuer Lieferant würde nur geringe Anpassungen von unserer Seite erfordern.	1	2	3	4	5
Würden wir nicht mehr von diesem Lieferanten kaufen, könnte dieser uns leicht durch andere Abnehmer ersetzen	1	2	3	4	5
Es wäre relativ einfach für diesen Lieferanten, einen anderen Abnehmer für die Produkte zu finden.	1	2	3	4	5
Neue Abnehmer zu finden, würde keine negativen Effekte auf die Preise des Lieferanten haben.	1	2	3	4	5
Wenn die Beziehung zu uns beendet würde, würde das Geschäft des Lieferanten nicht darunter leiden.	1	2	3	4	5

Teil B.2 WENIGER erfolgreiche Lieferantenentwicklung

Bitte stellen Sie sich nun einen zweiten Lieferanten vor, bei dem die Lieferantenentwicklung WENIGER erfolgreich verlief. Ich werde Ihnen nun nochmals die Fragen von eben stellen, die sich nun auf die Beziehung zu DIESEM ZWEITEN Lieferanten beziehen.

Wiederholung der Fragen aus Teil B.1 (komplett)

Teil C. Lieferantenentwicklung allgemein

Nun ein paar Fragen zum Stand der Lieferantenentwicklung in Ihrem Unternehmen:

Inwieweit stimmen Sie folgenden Aussagen zu? – Skala von 1 = stimme nicht zu bis 5 = stimme voll zu.

	Stimme nicht zu				Stimme voll zu
Die personelle Situation schränkt unsere Möglichkeiten im Bereich der Lieferantenentwicklung ein.	1	2	3	4	5
Uns fehlen die finanziellen Mittel, um mehr Lieferantenentwicklung zu betreiben.	1	2	3	4	5
Lieferantenentwicklung wird bei uns eingeschränkt durch die Zeit und Aufmerksamkeit, die das Topmanagement dem Thema widmet.	1	2	3	4	5
Wir würden mehr Lieferantenentwicklung betreiben, wenn wir mehr Ressourcen hätten.	1	2	3	4	5

Wie hoch schätzen Sie die methodische Kompetenz Ihres Unternehmens in den folgenden Bereichen ein? – Skala von 1 = minimal bis 5 = sehr hoch.

	Mini- mal				Sehr hoch
Produktentwicklung, z.B. Projektmanagement oder Prozesse	1	2	3	4	5
Produktoptimierung, z.B. Wertanalyse oder Design-to-Cost	1	2	3	4	5
Produktion, z.B. Six Sigma oder Lean Manufacturing	1	2	3	4	5
Logistik, z.B. Prozessanalyse oder Methoden zur Bestandsreduzierung	1	2	3	4	5
Qualität, z.B. Total Quality Management oder Statistical Process Control	1	2	3	4	5

Mit welchem Anteil Ihrer Lieferanten – gemessen in Prozent Ihres gesamten Einkaufsvolumens – führen Sie die folgenden Lieferantenentwicklungsaktivitäten durch?

Formale Lieferantenbewertung inkl. Leistungsfeedback	Zahl in Prozent
Setzen von Verbesserungszielen	Zahl in Prozent
Beratung von Lieferanten, z.B. im Hinblick auf Produktentwicklung oder -optimierung	Zahl in Prozent
Schulung von Lieferantenmitarbeitern	Zahl in Prozent
Entsendung von Personal zu Lieferanten, z.B. für Projektarbeit	Zahl in Prozent
Finanzielle Unterstützung von Lieferanten, z.B. durch gemeinsame Investitionen	Zahl in Prozent
Finanzielle Beteiligung an Lieferantenunternehmen	Zahl in Prozent

Abschließend ein paar kurze Fragen zu Ihrer Person:

Welche Funktion üben Sie in Ihrem Unternehmen aus?	Text
Wie lange sind Sie bereits in dieser Funktion tätig?	Zahl (Jahre)
Wie lange sind Sie bereits in Ihrem Unternehmen tätig?	Zahl (Jahre)

Möchten Sie ein Exemplar der Studie zugeschickt bekommen?	Ja	Nein

Falls ja:

Name	Text
E-Mailadresse	Text

Nun eine letzte Bitte: Für den Erfolg dieser Studie ist es sehr wichtig, Abnehmer UND Lieferanten zu befragen, um beide Seiten zu beleuchten. Können Sie mir daher Ansprechpartner bei den beiden Lieferanten nennen, zu denen Sie mir eben Auskünfte erteilt haben? Ihre Angaben behandeln wir selbstverständlich streng vertraulich.

Lieferant, der ERFOLGREICH entwickelt wurde:

Name des Lieferantenunternehmens	Text
Ansprechpartner beim Lieferanten	Text
Telefonnummer des Ansprechpartners	Text (Telefonnummer)

Lieferant, der WENIGER erfolgreich entwickelt wurde:

Name des Lieferantenunternehmens	Text
Ansprechpartner beim Lieferanten	Text
Telefonnummer des Ansprechpartners	Text (Telefonnummer)

Management of Supplier Innovation: A Framework for Accessing and Realizing Innovation from Suppliers

Stefan Winter

Faculty of Business and Economics, Chair for Logistics,
Dresden University of Technology, Münchner Platz 3, 01062 Dresden,
stefan.winter@tu-dresden.de

Rainer Lasch

Faculty of Business and Economics, Chair for Logistics,
Dresden University of Technology, Münchner Platz 3, 01062 Dresden,
rainer.lasch@tu-dresden.de

Abstract

In this article a framework with requirements for accessing and successfully realizing supplier innovation is presented. The framework is developed based on a literature review about contributions focused on requirements for supplier innovation to provide a comprehensive approach. It is recommended that 1) a company should not only wait, but also demand and stimulate supplier innovation; 2) company related requirements have to be fulfilled so that purchasing can serve as a gateway for supplier innovation; 3) a comprehensive and systematic supplier management should be introduced; 4) relationship related requirements have to be considered to overcome supplier innovation barriers; 5) project related requirements have to be complied with to support the innovation cooperation; 6) a company should use appropriate channels to provide supplier innovation; and 7) supplier incentives have to be introduced to access supplier innovation.

1 Introduction

“The sources and the process of innovation are rarely confined within the boundaries of individual firms”¹. INEMEK AND MATTHYSENS argue that many companies are relying more extensively on external sources to be innovative.² Innovation requires the combination of inputs from multiple sources such as higher institutes and contract research organizations, suppliers, customers, and competitors.³ The amount of innovation from external sources is estimated on average at 45% in branches such as pharmaceuticals, high technology/electronics, automotive, retail, and oil and chemicals.⁴ According to INEMEK AND MATTHYSENS, suppliers and buyer-supplier relationships are especially important determinants of innovation.⁵ It is advantageous to cooperate with suppliers on innovation because they are aware of the customer’s business and needs. Furthermore, mechanisms for knowledge transfer from supplier to customer are usually already in place.⁶ However, suppliers are an often underutilized source of innovation, even though this is often related to lower risk and faster payoffs in contrast to other sources.⁷

By means of supplier innovation companies can improve cost, quality, and timeliness of their products.⁸ Supplier innovations can have multiple forms. LASCH AND WINTER distinguish between product and process innovations as relevant supplier innovations. By means of product innovation the product should for example become better, safer, simpler, faster, or cheaper. As process innovations production and logistical innovations can be differentiated. Through process innovations for example manufacturing cost at supplier’s side can be reduced, which makes the product cheaper, or time savings can be realized, whereas the product can be delivered faster.⁹ According to AZADEGAN ET AL. supplier innovations which can have an effect on customer manufacturing performance are new products, new methods of production, new markets, new sources of supply, or new business processes.¹⁰ Furthermore, LYNCH AND ROGERS identified technological inventions, product improvements, process innovations, systems solutions, market extension, and new business models as possible relevant supplier innovations.¹¹

¹ Dodgon (1996), p. 286.

² Cp. Inemek/Matthyssens (2010), p. 189.

³ Cp. Dodgon (1996), p. 286.

⁴ Cp. Linder et al. (2003), p. 43.

⁵ Cp. Inemek/Matthyssens (2010), p. 189.

⁶ Cp. Yu (2008), p. 8; Henke/Zhang (2010), p. 41.

⁷ Cp. Lynch/Rogers (2007), s.p.

⁸ Cp. Azadegan et al. (2008), p. 14.

⁹ Cp. Lasch/Winter (2010), p. 27.

¹⁰ Cp. Azadegan et al. (2008), p. 14.

¹¹ Cp. Lynch/Rogers (2007), s.p.

Supplier innovations can be initiated by the supplier or the buyer.¹² On the one hand, the purchasing department can wait until suppliers come up with innovative ideas.¹³ Suppliers should signalize innovative ideas to the buyer.¹⁴ The purchasing department serves here as a gatekeeper for supplier ideas which are submitted.¹⁵ In the following this possibility is referred to as ‘supplier innovation push’.

On the other hand, the purchasing department can proactively demand innovations from suppliers.¹⁶ It is not enough to rely on the innovation thinking of suppliers. Innovation activities have to be systematically stimulated.¹⁷ A buyer should not wait until the supplier comes up with ideas because there is the risk that the supplier presents the innovative idea to competitors, which also profit from the idea.¹⁸ This possibility is referred to as ‘supplier innovation pull’ in the following. It is recommended that companies should consider both possibilities: supplier innovation push and pull for accessing supplier innovation.

Accessing supplier innovation is regarded as valuable and an objective for top companies.¹⁹ However, many companies are only scratching the surface of potential available through the exploitation of supplier innovation.²⁰ To access and successfully realize supplier innovations various requirements have to be met. For the identification of requirements for supplier innovation a literature review has been conducted. It was focussed on the identification of contributions especially with the term supplier innovation. Table 1 shows an overview of relevant contributions about supplier innovation. The different contributions deal with requirements for supplier innovation. However, none of these contributions presents a comprehensive approach with all relevant requirements for accessing and successfully realizing supplier innovation. Furthermore, only interactions between isolated requirements could be found, but interactions between requirement categories are missing.

The aim of this paper is to develop and present a framework with requirements as recommendations for managerial action for accessing and successfully realizing supplier innovation. The framework serves as an approach with requirements for accessing and successfully realizing supplier innovation which have to be considered. On the one hand, it can be used to check if a company complies with all relevant requirements for supplier innovation. On the other hand, it supports companies which want to perform better in relation to supplier innovation. Furthermore, recommendations for actions are introduced based on the framework and interactions are discussed.

¹² Cp. Groher (2003), p. 222.

¹³ Cp. Schumacher et al. (2008), p. 266.

¹⁴ Cp. Breckner (2004), p. 97.

¹⁵ Cp. Schumacher et al. (2008), p. 245.

¹⁶ Cp. Schumacher et al. (2008), p. 266.

¹⁷ Cp. Schuh et al. (2010), p. 22.

¹⁸ Cp. Strumann (1997), p. 152.

¹⁹ Cp. Rogers (2008), s.p.

²⁰ Cp. Wagner (2008), p. 66.

Author	Title	Background
Breckner (2004)	'E-Innovation Management in the Automobile Industry'	Supplier innovation barriers and incentives
Gassmann (2003)	'Suppliers as a Source of Innovation in R&D'	Management of innovations from suppliers
Groher (2003)	'Design of Supplier Integration in the New Product Development Process'	Requirements for long-term successful vertical innovation cooperation
Henke/Zhang (2010)	Increasing Supplier-Driven Innovation	Customer collaborative activities to increase supplier innovation
Lynch/Rogers (2007)	Capturing Innovation from Suppliers	Requirements to access supplier inventiveness
Monczka et al. (2010a)	Implementing Supplier Innovation: Case Study Findings	Findings for obtaining and accelerating supplier innovation
Monczka et al. (2010b)	Accelerating Innovation through Effective Supplier Collaboration	Requirements for accelerating innovation
Rink/Wagner (2009)	'Fresh Wind: Like This Purchasing Fosters Innovation'	Success effects and factors for supplier integration in the innovation process
Rogers (2008)	Value Focused Relationships: The Key to Assessing Supplier Innovation	Requirements for assessing supplier innovation
Schiele/Haas (2007)	'Supplier as a Source of Innovation'	Key factors for a successful integration of suppliers in the innovation process
Schiele (2010)	'Innovations from and with Suppliers – Results of a Quantitative Survey'	Organizational requirements for an innovation open company and characteristics of innovative suppliers
Schumacher et al. (2008)	'The 3 Factors of Purchasing'	Requirements on the innovation management in purchasing
Wagner (2009a)	Getting Innovation from Suppliers	Recommendations for getting innovation out of suppliers
Wagner (2009b)	'Supplier Innovation'	Basic requirements for the exploitation of the innovation potential of suppliers and the successful and early integration of suppliers in development activities

Table 1: Contributions about Supplier Innovation Requirements

The paper is organized as follows. After the introduction and the literature review with relevant supplier innovation contributions, the different identified requirements summarized into categories are presented. Afterwards, the framework is developed by introducing two further requirement categories and then recommendations for action as well as requirement interactions are discussed. Finally, a conclusion with limitations and future research prospects is presented.

2 Requirements for Supplier Innovation

The identified requirements in Table 1 can be classified into four categories: company related requirements, supplier management related requirements, relationship related requirements, and project related requirements. In the following the requirements are presented and described by examples.

2.1 Company Related Requirements

The role of purchasing management should be extended to the acquisition of innovations.²¹ The purchasing department serves as a gateway between the company and the

²¹ Cp. Monczka et al. (2010a), p. 68.

supplier, or rather, the buying market. Consequently, purchasing increasingly has coordination and management functions in relation to innovation.²² In order that purchasing management can serve as an effective gateway, some company related requirements have to be fulfilled: joint strategy formulation, advanced sourcing, formulated processes and rules, open innovation culture, cross-functional collaboration and value-based innovation view.

The role of purchasing should be related to the innovation strategy of the company.²³ To accelerate contributions to the company's target achievement, the buying department should be involved in the formulation of the company and innovation strategy. For the connection of the company and purchasing strategy, roadmaps have proved of value. Roadmaps include objectives for every relevant field of technology and the necessary steps for the realization of these objectives.²⁴

A further requirement is a new structure of the purchasing department open for innovation.²⁵ SCHUMACHER ET AL. suggest a differentiation between advanced sourcing, strategic purchasing, and operative purchasing. The operative purchasing department is responsible for the material planning and the operative supply chain management. The strategic purchasing department is responsible for the selection and care of suppliers. Advanced sourcing belongs to the strategic level and embraces purchasers which are involved in the development process. It serves as a gatekeeper for innovative ideas of suppliers and is responsible for the early involvement of suppliers.²⁶ By means of advanced sourcing, technical and commercial decisions can be improved and opportunities for the acquisition of innovations can be maximized.²⁷ However, a whole department does not have to handle advanced sourcing. Depending on the company size, it can also be a task description of a single staff member.²⁸

Furthermore, clear formulated processes and rules enable the application of tools.²⁹ A formalized product development process with clearly defined steps, milestones, continue and cancel decisions, as well as tasks and responsibilities, facilitates the cooperation between the parties.³⁰ A defined process improves innovation success.³¹ For the involvement of purchasing and consequently suppliers in product development, appropriate purchasing involvement points can be defined.³² For the compliance of processes stage-gate-processes can be used. Here, milestones of single phases are defined by so

²² Cp. Groher (2003), p. 221.

²³ Cp. Monczka et al. (2010a), p. 68.

²⁴ Cp. Schumacher et al. (2008), p. 255.

²⁵ Cp. Schumacher et al. (2008), p. 253.

²⁶ Cp. Schumacher et al. (2008), p. 253-256.

²⁷ Cp. Monczka et al. (2010b), s.p.

²⁸ Cp. Schumacher et al. (2008), p. 255.

²⁹ Cp. Schumacher et al. (2008), p. 262.

³⁰ Cp. Schiele/Haas (2007), p. 30.

³¹ Cp. Monczka et al. (2010a), p. 67.

³² Cp. Schiele (2010), p. 25.

called gateways where certain named positions have to sign off before the project can be continued.³³ A formalized stage-gate-process is crucial for the success of new product development and leads in general to shorter product development times.³⁴

For the stimulation and achievement of supplier innovation, a company-wide innovation culture in general and especially for supplier innovations should be developed.³⁵ External innovations need a receptive internal culture. The company must be motivated to access and absorb external innovations.³⁶ Supplier innovations require a positive and open innovation climate because the supplier is interested in a high realization probability. Indicators for that are for example joint innovation generation activities, defined contact persons in development and purchasing department, as well as a working promoter model.³⁷

The access to supplier innovations, internal alignment, and collaboration are required.³⁸ A cross-functional collaboration, for example, between purchasing, research and development, engineering, and sales, is a prerequisite for an optimal supplier management and consequently for the identification and the connection of innovative suppliers.³⁹ Internal cooperation is also a requirement for external cooperation and consequently for the successful integration of suppliers in the innovation process.⁴⁰ For this reason a cooperative company culture which focuses on cross-functional cooperation instead of functional area thinking is important for an innovation management in purchasing.⁴¹ An indicator for that is, for example, a cross-functional innovation committee which decides on the prosecution of ideas.⁴²

Companies should have a mature view, beyond the simple cost focus, about supplier relationships.⁴³ Furthermore, the company should be aware that the two perspectives, cost versus innovation, lead to different results. Suppliers hesitate to provide innovations if there is a too strong focus on cost. This can be for example avoided by design-in-workshops which focus on both sides.⁴⁴ Companies should define the value of an idea in relation to performance and cost to bring the idea successfully to the market.⁴⁵ Therefore, the purchasing department should evaluate the short-term and long-term

³³ Cp. Schumacher et al. (2008), p. 266.

³⁴ Cp. Monczka et al. (2010a), p. 67.

³⁵ Cp. Monczka et al. (2010a), p. 67-68.

³⁶ Cp. Rogers (2008), s.p.

³⁷ Cp. Breckner (2004), p. 130.

³⁸ Cp. Rogers (2008), s.p.

³⁹ Cp. Wagner (2009b), p. 170.

⁴⁰ Cp. Schumacher et al. (2008), p. 267; Schiele/Haas (2007), p. 31.

⁴¹ Cp. Schumacher et al. (2008), p. 253-254.

⁴² Cp. Schiele/Haas (2007), p. 31.

⁴³ Cp. Lynch/Rogers (2007), s.p.

⁴⁴ Cp. Monczka et al. (2010a), p. 67.

⁴⁵ Cp. Rogers (2008), s.p.

tradeoffs between innovation benefit and price, for example, by means of using business case analysis.⁴⁶

2.2 *Supplier Management Related Requirements*

As a basis for the better exploitation of the innovation potential of suppliers, a comprehensive and systematic supplier management should exist. Supplier management includes the management of the supply base, supplier integration, and supplier development.⁴⁷

In relation to supplier base management innovative suppliers have to be identified and attracted.⁴⁸ The purchasing department can investigate the procurement market for the most innovative suppliers. Here both existing and potential suppliers can be implied.⁴⁹ SCHIELE suggests that companies should first concentrate on the innovation potential of existing suppliers and then successively create new innovative suppliers.⁵⁰ Companies should structure their supply base into categories and identify suppliers which are able to provide innovations.⁵¹ MONCZKA ET AL. recommend a focused world wide supplier scouting and an assessment of the suppliers regarding their innovation potential. This requires both soft and hard innovation measures to assess the innovation potential of suppliers.⁵²

SCHIELE argues that waiting passively for supplier ideas as well as the worldwide search for supplier ideas is not promising because suppliers can only develop their whole innovation power if they are integrated into company processes.⁵³ Suppliers should be involved in the company processes – especially into product development – to increase supplier innovation activities. Customers can involve suppliers in various stages of the product life cycle, for example, in the early phase for design suggestions or in the later phase to manage after-sale product quality.⁵⁴ Suppliers should be involved in the early phase of the innovation process⁵⁵, and suppliers should belong to the top class.⁵⁶ Furthermore, experiences with the supplier and the length of the relationship are important for supplier selection.⁵⁷ Supplier's downstream customer orientation is also relevant.⁵⁸ Basically, companies should cooperate with suppliers that are

⁴⁶ Cp. Monczka et al. (2010a), p. 68.

⁴⁷ Cp. Wagner (2009b), p. 168-169.

⁴⁸ Cp. Wagner (2009a), p. 8.

⁴⁹ Cp. Breckner (2004), p. 98.

⁵⁰ Cp. Schiele (2010), p. 32.

⁵¹ Cp. Monczka et al. (2009), p. 751-752.

⁵² Cp. Monczka et al. (2010a), p. 66.

⁵³ Cp. Schiele (2010), p. 28.

⁵⁴ Cp. Henke/Zhang (2010), p. 44.

⁵⁵ Cp. Gassmann (2003), p. 636.

⁵⁶ Cp. Schiele/Haas (2007), p. 31.

⁵⁷ Cp. Rink/Wagner (2009), p. 22.

⁵⁸ Cp. Wagner (2009a), p. 8.

strategically aligned.⁵⁹ The more the supplier is involved and knows about customer needs, plans, strategies, and product development programs, the more the supplier can perceive future business opportunities in relation to innovation activities. Consequently, the supplier is motivated to work on customer-related innovations activities which benefit both parties.⁶⁰ In addition, it is advantageous if guest engineers work within the development team of the buying company during a product development project.⁶¹

Furthermore, supplier development programs are important. Results of a survey from SCHIELE suggest that collaborative improvement efforts contribute considerably to innovation generation of suppliers. Suppliers which are intensively involved in development programs of buying companies provide valuable innovation contributions. Innovative suppliers participate in quality, technical, and innovation initiatives. Furthermore, joint investments are conducted with innovative suppliers.⁶² Consequently, as part of supplier development programs, active measures can be introduced which have a positive effect on a supplier's innovation contribution. By means of reactive and preventive supplier development measures, competitiveness of the supplier and, consequently, of the purchasing company can be increased.⁶³ The buyer should support the supplier in order to improve, for example, quality and cost. Supporting the supplier signals trust in the supplier's long-term capabilities whereby the supplier is motivated to invest in customer-specific innovations.⁶⁴ Supplier development measures are, for example, the auditing of the supplier with regard to quality and innovation management standards or the joint development of improvements on the supplier's side.⁶⁵

2.3 *Relationship Related Requirements*

The category relationship related requirements refers to the handling and treatment of a certain supplier. These requirements are interconnected. Relationship related requirements are: preferred customer status, fair treatment, know-how protection, and the development of trust. Innovation activities by the supplier for the buyer mostly depend on the preferred customer status of the buyer.⁶⁶ Preferred customer status refers to the attractiveness of the buyer from the supplier's point of view.⁶⁷ In interdependent supplier-buyer-relationships it is important that the buyer is attractive to the point of having a status as preferred customer so that the supplier offers innovations exclusively to the buyer.⁶⁸ Suppliers are going to offer innovations to customers with which they

⁵⁹ Cp. Monczka et al. (2010a), p. 65.

⁶⁰ Cp. Henke/Zhang (2010), p. 44.

⁶¹ Cp. Schiele/Haas (2007), p. 31.

⁶² Cp. Schiele (2010), p. 36-37.

⁶³ Cp. Wagner (2009b), p. 169.

⁶⁴ Cp. Henke/Zhang (2010), p. 45.

⁶⁵ Cp. Schiele/Haas (2007), p. 30-31.

⁶⁶ Cp. Schumacher et al. (2008), p. 254.

⁶⁷ Cp. Schiele et al. (2010), p. 378.

⁶⁸ Cp. Breckner (2004), p. 125.

have closest working relations before they provide these to other customers.⁶⁹ Preferred customer status can be achieved for example by means of a balanced and equitable approach to intellectual property (IP) ownership as well as collective development agreements.⁷⁰

Furthermore, suppliers prefer to work and innovate with customers that treat them well.⁷¹ Supply agreements should be established that fit project objectives and balance the interest of both parties. Especially important here is the fair compensation of the supplier for its innovation contribution.⁷² Benefits from joint innovation projects should be fairly shared which contributes to the successful realization of the project.⁷³ Fair means that the supplier gets an appropriate proportion from the benefit.⁷⁴ Suppliers which participate in the benefits of an innovation project are rather willing to cooperate in the future.⁷⁵ Furthermore, the risk/reward profile should be aligned and balanced.⁷⁶

A big innovation barrier for suppliers is a lack of know-how protection by the buyer. Problems arise if the buying company prevents patenting of innovation ideas and lacks in confidentiality of knowledge as well as transfers development documents to competitive suppliers.⁷⁷ Therefore, the buying company should establish an IP strategy and negotiate IP rights with the supplier before the innovation project starts. The buyer can own all, some, or none of the rights. However, the IP strategy should be fixed before the negotiations start. Barriers in collaboration, communication, and information exchange can arise if IP ownership is not defined at the beginning.⁷⁸ Furthermore, technical documents should only be transferred if the supplier agrees.⁷⁹

An important requirement is the development and maintenance of trust with innovative suppliers. Trust can, for example, be improved by treating the supplier's IP as confidential, by appropriate information sharing, by regarding equity in the risk/reward equation, and by supporting the supplier during unforeseen events.⁸⁰ Trust is important for the cooperation, above all for the information exchange and also for the usage of resources.⁸¹ Successful cooperation and positive experiences over time develop trust

⁶⁹ Cp. Henke/Zhang (2010), p. 43.

⁷⁰ Cp. Monczka et al. (2010b), s.p.

⁷¹ Cp. Wagner (2009a), p. 9.

⁷² Cp. Monczka et al. (2010a), p. 65.

⁷³ Cp. Wagner (2009a), p. 9; Wagner (2009b), p. 170-171.

⁷⁴ Cp. Wagner (2009b), p. 170-171.

⁷⁵ Cp. Wagner (2009a), p. 9.

⁷⁶ Cp. Monczka et al. (2010a), p. 65.

⁷⁷ Cp. Breckner (2004), p. 130.

⁷⁸ Cp. Monczka et al. (2010a), p. 63.

⁷⁹ Cp. Breckner (2004), p. 130.

⁸⁰ Cp. Monczka et al. (2010b), s.p.

⁸¹ Cp. Wagner (2009b), p. 171.

and foster innovations.⁸² Furthermore, joint buyer-supplier-activities entail the generation of trust and foster subsequent supplier innovation.⁸³ Good relationships require financial, human, and technological investments of both parties which signalize the importance of the relationship and further foster trust.⁸⁴

2.4 *Project Related Requirements*

Project related requirements refer to a special innovation project with a certain supplier and include: top management support, project management approaches, information exchange, and a definition of innovation. Long-term successfully vertical innovation cooperation requires support and facilitation of activities by the top management. Alternatively, a so called ‘godfather’, which should be a high-ranking management member, can be established to promote a target-oriented innovation project.⁸⁵

Furthermore, effective project management approaches are required to manage innovation projects with suppliers. Unstructured approaches can derail innovation projects.⁸⁶ For the management of complex relationships in innovation projects with multiple companies, robust project teams are required.⁸⁷ Functional roles should be clearly defined in the company and in the supplier networks.⁸⁸ Personnel changes should be carefully observed and at least key persons should be maintained the whole time. Personnel turnover should be avoided because it results in information loss, priority changes, changing personnel commitments, and an overall loss of continuity. Furthermore, in joint innovation projects the human dimension must be considered. Effective communication within the team, similarity of team members in relation to attitudes and behavior, an open information exchange, mutual support, participation in decision making, and high project commitment must be ensured.⁸⁹

To guarantee coordination and cooperation between key persons, approaches for communication and collaboration have to be developed. At the beginning of an innovation project this regards the top organizational level and in later phases the involved personnel.⁹⁰ The involved personnel should have the same as possible complete level of information. The open exchange of confidential information is important for successful projects.⁹¹ The buying company should demonstrate openness and should share information in a timely manner. Furthermore, the purchasing company should communicate plans, expectations, and its technology roadmap to the supplier. An open and

⁸² Cp. Monczka et al. (2010a), p. 64.

⁸³ Cp. Henke/Zhang (2010), p. 41.

⁸⁴ Cp. Monczka et al. (2010a), p. 64.

⁸⁵ Cp. Groher (2003), p. 220-221.

⁸⁶ Cp. Monczka et al. (2010a), p. 63.

⁸⁷ Cp. Monczka et al. (2010a), p. 63-64.

⁸⁸ Cp. Monczka et al. (2010b), s.p.

⁸⁹ Cp. Wagner (2009a), p. 9.

⁹⁰ Cp. Monczka et al. (2010a), p. 64.

⁹¹ Cp. Wagner (2009b), p. 171.

honest communication creates a trustful environment and facilitates the commitment of the supplier to the partnership.⁹² Moreover, there should be a mutual understanding about what innovations are regarded valuable. The value of a supplier innovation should take a broader view than simple price or cost; also other aspects such as speed to market should be regarded.⁹³ It has to be focussed on customer needs. Based on the voice of the customer, supplier innovation requirements have to be developed. Finally, the voice of the customer has to be communicated throughout the supply chain to guarantee that suppliers can satisfy customer needs.⁹⁴

3 Framework

It is recommended that a company should consider all requirements for accessing and successfully realizing supplier innovation. For example, on the one hand, if internal company requirements are fulfilled, the company is open to supplier innovation; but if trust is not established, the supplier hesitates to make an innovative contribution. On the other hand, if the supplier wants to make an innovative contribution, but the company is not open to innovative supplier ideas, then the innovation comes to nothing. Consequently, a comprehensive approach is necessary to access and successfully realize supplier innovation.

Therefore, first of all company related requirements have to be met as a basis for the purchasing department to work effectively as a gateway for supplier innovation. Second, a comprehensive and systematic supplier management has to be established to exploit the innovation potential of suppliers. Third, to cooperate with a certain supplier relationship, related requirements have to be fulfilled so that the supplier will focus on innovative contributions for the buying company. Fourth, project related issues to support the innovation cooperation with a certain supplier have to be complied with.

Additionally, two further categories, channels for supplier innovation and incentives for supplier innovation, mentioned only superficially in some contributions from Table 1, have been identified and investigated more precisely. The different channels and incentives serve as further requirements for accessing supplier innovation. Appropriate channels for supplier innovation have to be introduced in order to provide the possibilities of push and pull supplier innovations. Without channels, buyer and supplier cannot exchange innovation. Furthermore, supplier incentives have to be developed to motivate suppliers to provide innovations. Without appropriate incentives the supplier will not make innovative contributions. In the following the channels and incentives are presented in more detail. Afterwards, the framework with recommendations for actions and interactions between the requirements are discussed.

⁹² Cp. Henke/Zhang (2010), p. 44.

⁹³ Cp. Lynch/Rogers (2007), s.p.

⁹⁴ Cp. Monczka et al. (2010a), p. 66-67.

3.1 *Channels for Supplier Innovation*

The purchasing department has to monitor the procurement market and to inform about innovative ideas from suppliers.⁹⁵ Therefore, channels, such as supplier days, for the integration of supplier ideas have to be established.⁹⁶ Furthermore, as channels for accessing supplier innovation, purchasing conversations, networking, innovation workshops, innovation competitions, and an internet portal for suppliers have been identified.⁹⁷

For innovative ideas of suppliers the purchasing department is often the first contact.⁹⁸ Purchasing conversations are periodic.⁹⁹ These serve mostly for negotiations, for example, about delivery conditions or prices, conclusion of a contract, or technical clarifications.¹⁰⁰ At such conversations suppliers have the opportunity to inform the purchasing company about possible innovations or already existing innovation projects.¹⁰¹ On the other side also the purchaser can ask the supplier about innovative ideas.

Whereas purchasing conversations are normally between sales and purchasing personnel, conversations can also take place between other personnel of the buyer and supplier. Important are the informal contacts between development departments of buyer and suppliers as well as the contacts between sales of suppliers and development department of the buyer.¹⁰² Contacts can be supported for example by so called technology clubs¹⁰³, innovation clubs¹⁰⁴, or memberships in user groups of suppliers.¹⁰⁵

A further possibility to foster supplier innovations is the application of supplier days.¹⁰⁶ It can be distinguished between supplier days which serve as pure information events and supplier days which aim also at the preparation of improvement measures and determination of objectives.¹⁰⁷ As information events, supplier days can serve to get suggestions for improvements by suppliers.¹⁰⁸ Furthermore, supplier days can be used for the discussion of future innovations.¹⁰⁹ Secondly, measures for the optimization of the cooperation can be developed. The purchasing company can support suppliers by the

⁹⁵ Cp. Breckner (2004), p. 96.

⁹⁶ Cp. Schuh et al. (2010), p. 22.

⁹⁷ Cp. i.e. Groher (2003), p. 222 et seq.; Hartmann (2004), p. 84.

⁹⁸ Cp. Groher (2003), p. 222.

⁹⁹ Cp. Strumann (1997), p. 154; Groher (2003), p. 225.

¹⁰⁰ Cp. Groher (2003), p. 225; Dreyer (2000), p. 130.

¹⁰¹ Cp. Strumann (1997), p. 154; Groher (2003), p. 225.

¹⁰² Cp. Groher (2003), p. 225.

¹⁰³ Cp. Groher (2003), p. 223.

¹⁰⁴ Cp. Hartmann (2004), p. 84.

¹⁰⁵ Cp. Strumann (1997), p. 155.

¹⁰⁶ Cp. Groher (2003), p. 223.

¹⁰⁷ Cp. Dreyer (2000), p. 144.

¹⁰⁸ Cp. Arnolds et al. (2010), p. 148.

¹⁰⁹ Cp. Groher (2003), p. 225.

presentation of tools and measures to reduce cost, increase quality, and achieve time savings.¹¹⁰

Then, selected suppliers can be invited into the company to present their innovations. Some companies organize technology shows, where suppliers present their scope of technologies, mostly finished products or development issues.¹¹¹ Other companies are conducting innovation fairs, where suppliers discuss and present their innovation projects.¹¹² The company Audi, for example, first organized in 1999 an innovation offensive, where selected innovative suppliers based on defined fields of innovation were invited to present their newest innovations.¹¹³

Further instruments to foster supplier innovations are innovation workshops or supplier workshops.¹¹⁴ Workshops can be used to get innovations from invited suppliers. Different forms of workshops can be distinguished.¹¹⁵ Workshops can be conducted with and without a defined problem definition.¹¹⁶ Workshops can also serve as a starting point for the introduction of continuous improvement processes on the supplier's side.¹¹⁷ Moreover, suppliers can also use such workshops to present innovations.¹¹⁸

Furthermore, innovation competitions can be used in the early and also in the later phase of the innovation process to gather supplier innovations. In the early phase they serve to get innovative ideas. In the later phases they aim at searching innovative approaches or solutions for existing problems.¹¹⁹ For example, it can be distinguished between idea competitions, concept competitions, and performance competitions. Idea competitions serve to develop improvement suggestions.¹²⁰ Concept competitions support the comparison of planned approaches for the development, manufacturing, and delivery of products from suppliers based on defined requirements.¹²¹ In contrast, performance competitions aim, for example, at product innovations or cost reductions.¹²²

Supplier innovations can be fostered and supported by an internet portal for suppliers. By means of this channel the supplier can introduce innovations to the purchasing company.¹²³ In this connection all possible subjects and selected subjects can be admit-

¹¹⁰ Cp. Wildemann (2000), p. 348.

¹¹¹ Cp. Groher (2003), p. 224.

¹¹² Cp. Hartmann (2004), p. 84.

¹¹³ Cp. Groher (2003), p. 226-228.

¹¹⁴ Cp. Hartmann (2004) p. 84; Groher (2003), p. 223-224.

¹¹⁵ Cp. Schumacher et al. (2008), p. 266.

¹¹⁶ Cp. Rink/Wagner (2009), p. 22.

¹¹⁷ Cp. Wildemann (2000), p. 352.

¹¹⁸ Cp. Strumann (1997), p. 155.

¹¹⁹ Cp. Reichwald/Piller (2009), p. 198.

¹²⁰ Cp. Reichwald/Piller (2009), p. 198.

¹²¹ Cp. Dreyer (2000), p. 141.

¹²² Cp. Hartmann (2004), p. 84.

¹²³ Cp. Monczka et al. (2010b), s.p.

ted.¹²⁴ Certain information can be asked for via a form which can lead to a faster check of the innovation. The internet portal for suppliers serves also as a filter for supplier innovations. Evaluated ideas can be transmitted to the specialist department.¹²⁵

3.2 *Incentives for Supplier Innovation*

An appropriate incentive system can be used to increase the attractiveness of the buying company to attract supplier innovations.¹²⁶ A company can specifically stimulate the willingness of a supplier to make innovative contributions by means of selected mechanisms.¹²⁷ Furthermore, suppliers will only maintain their innovative contributions for the buyer as long as incentives are high enough; incentives offered by the company should also be higher than incentives from competitors. In this connection an appropriate compensation for supplier innovations is required so that the supplier has the possibility to reinvest in new innovations.¹²⁸

Supplier incentives found in the literature have been grouped into the three categories: feedback of the supplier evaluation result, special business relationships, and compensation of supplier innovations. These supplier incentives can be used to stimulate supplier innovation.

First, there are some incentives which are related to the supplier evaluation result. The buyer can give the supplier feedback about the analysis and comparison of the offers from suppliers, whereas the supplier receives feedback about areas of underperformance.¹²⁹ Furthermore, a supplier classification can be conducted. For example, suppliers can be classified into performance groups such as outstanding, acceptable, and marginal as incentive for improvements.¹³⁰ Alternatively, suppliers can be ranked without performance classes based on different criteria.¹³¹ For example, suppliers can be ranked in comparison to other suppliers on the criteria innovation.¹³² Lastly, good supplier evaluation results can be published – for example in newspapers.¹³³ Companies can give supplier awards for outstanding performance or for performance improvements.¹³⁴ For example, innovation prizes can be awarded to suppliers for specific innovative performance.¹³⁵

¹²⁴ Cp. Breckner (2004), p. 152.

¹²⁵ Cp. Groher (2003), p. 222-223.

¹²⁶ Cp. Breckner (2004), p. 125.

¹²⁷ Cp. Sako (1996), p. 270.

¹²⁸ Cp. Breckner (2004), p. 126.

¹²⁹ Cp. Arnolds et al. (2010), p. 240.

¹³⁰ Cp. Dobler/Burt (1996), p. 437.

¹³¹ Cp. Arnold (1997), p. 191; Dobler/Burt (1996), p. 437.

¹³² Cp. Lasch/Winter (2010), p. 31.

¹³³ Cp. Arnolds et al. (2010), p. 240; Dobler/Burt (1996), p. 437.

¹³⁴ Cp. Arnold (1997), p. 191; Chidambaranathan et al. (2009), p. 1092; Modi/Mabert (2007), p. 44.

¹³⁵ Cp. Lasch/Winter (2010), p. 31; Groher (2003), p. 218.

Second, the prospect of a special business relationship can serve as an incentive for supplier innovation.¹³⁶ Special business relationships embrace different kinds of incentives that can motivate the supplier to performance improvements and innovations. The company can start with the prospect of accepting the supplier in the supplier pool in order to motivate the supplier for innovative contributions.¹³⁷ Furthermore, the company can indicate follow-up business as an incentive.¹³⁸ Also the prospect of being a preferred supplier or rather the special consideration for new orders motivates the supplier to performance improvements and gives the supplier an incentive for innovations.¹³⁹ The buyer can also increase the purchasing volume from one supplier as incentive for performance improvements.¹⁴⁰ Here the supplier will be motivated to innovate.¹⁴¹ Moreover, the supplier responsibility can be increased as an incentive.¹⁴² Lastly, image development, or possibly joint marketing, by means of, for example, component branding, can be used as an incentive in relation to special business relations.¹⁴³

Third, supplier innovations should be rewarded.¹⁴⁴ Supplier innovations are often connected to prior investments of the supplier in research and development, IP, and personnel resources. Without the prospect of fair compensation the supplier will not be willing to share its inventions with other companies.¹⁴⁵ A special factor concerning the compensation of innovations is the compensation of development performance of the supplier. Companies that do not compensate development cost of suppliers will mostly get innovations that other companies have already accessed.¹⁴⁶ Consequently, an incentive for supplier innovations is, for example, the compensation of at least development and tool cost. In this connection the buying company should also demonstrate responsibility for quantity fluctuations and guarantee the purchase or compensation of a minimum order. Furthermore, combined development and delivery contracts are a big incentive for supplier innovation because the supplier can better plan capacity utilization and revenues.¹⁴⁷ A further incentive for improvement contributions are monetary rewards and nonmonetary rewards, such as the transfer of manufacturing equipment.¹⁴⁸ Rewards motivate the supplier for future innovations.¹⁴⁹ Lastly, the supplier can share

¹³⁶ Cp. Breckner (2004), p. 131.

¹³⁷ Cp. Lasch/Winter (2010), p. 31.

¹³⁸ Cp. Kruse (1998), p. 41; Chidambaranathan et al. (2009), p. 1092; Modi/Mabert (2007), p. 44.

¹³⁹ Cp. Krause et al. (2002), p. 36; Breckner (2004), p. 131.

¹⁴⁰ Cp. Jackson et al. (2009), p. 265; Krause et al. (2002), p. 36; Chidambaranathan et al. (2009), p. 1092; Modi/Mabert (2007), p. 44; Jiang/Bai (2010), p. 1412.

¹⁴¹ Cp. Sako (1996), p. 270.

¹⁴² Cp. Kruse (1998), p. 41.

¹⁴³ Cp. Breckner (2004), p. 131.

¹⁴⁴ Cp. Sako (1996), p. 270.

¹⁴⁵ Cp. Rogers (2008), s.p.

¹⁴⁶ Cp. Groher (2003), p. 219.

¹⁴⁷ Cp. Breckner (2004), p. 127-129.

¹⁴⁸ Cp. Arnold (1997), p. 191; Kruse (1998), p. 41; Jackson et al. (2009), p. 4.

¹⁴⁹ Cp. Lasch/Winter (2010), p. 24.

in the revenue or savings¹⁵⁰ as a reward for innovative contributions which serves as a further incentive to innovate.¹⁵¹

4 Discussion

On the basis of the identified requirements above, a framework has been developed (see Figure 1).

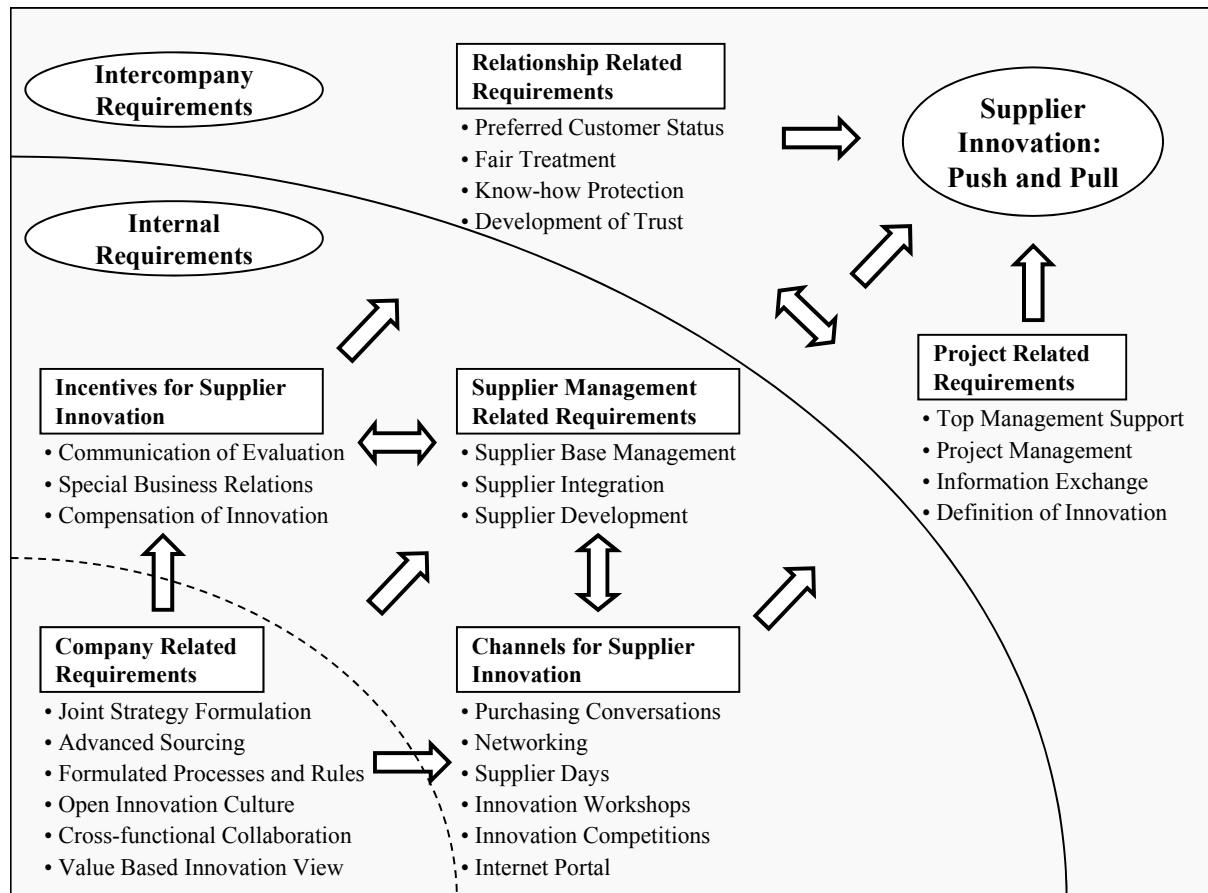


Figure 1: Framework for Accessing and Successfully Realizing Supplier Innovation

On the one hand, the company should demand and stimulate innovations from suppliers. However, to focus on supplier innovation pull is not enough because ideas from suppliers or potential suppliers are not always considered. On the other hand, a company should not just wait for innovative supplier ideas because suppliers can be unaware of innovations which are required by the company. Therefore, a company has to consider both supplier innovation push and pull to exploit the whole innovation potential of suppliers. To access and successfully realize push and pull supplier innovation a company has to consider the different requirements. In general, it can be distinguished between internal company and intercompany requirements. Furthermore, internal requirements can be divided into basic requirements and instrumental requirements. Basic requirements are the company related requirements. Instrumental requirements

¹⁵⁰ Cp. Kruse (1998), p. 41; Modi/Mabert (2007), p. 44.

¹⁵¹ Cp. Sako (1996), p. 270.

are the supplier management related requirements, channels, and incentives for supplier innovation. Intercompany requirements are the relationship and project related requirements because here the supplier is involved.

Before purchasing can effectively work to access and successfully realize supplier innovation, some functional overlapping issues have to be fulfilled. For the exploitation of the innovation potential of suppliers a comprehensive and systematic supplier management has to be introduced. To access and successfully realize innovation from suppliers a company must overcome supplier innovation barriers by means of application of certain supplier relationship measures. The company must support innovation projects with suppliers in order to access and successfully realize supplier innovation. A company should use appropriate channels to access push and pull supplier innovation. For accessing supplier innovation, an appropriate supplier incentive system has to be introduced.

The company related requirements are the basis for the compliance with the internal instrumental, and the intercompany requirements. Purchasing can only effectively work if company related requirements are fulfilled. For example, an optimal supplier management requires cross-functional collaboration. Furthermore, channels and incentives for supplier innovation can only achieve their desired effect if basic requirements are complied with. Supplier management, channels, and incentives for supplier innovation are instruments of the purchasing department to access supplier innovation and are simultaneously used. Incentives motivate suppliers to use channels for supplier innovation. Channels are used for supplier management, for example, to integrate suppliers.

Channels can also be the basis or at least support innovation projects with suppliers. For example, supplier days can be used as initiation for supplier development projects. A supplier incentive system supports the relationship with suppliers. For example, incentives such as special business relations increase the attractiveness of the buying firm and can lead to preferred customer status.

Finally, relationship and project related requirements influence each other. A good supplier relationship is the basis for a successful innovation project with a certain supplier. For example, trust is the basis for information exchange in projects with suppliers. However, information exchange leads to trust again. Through successful innovation projects relationships with suppliers can be improved.

The consideration of the requirements is not a chronological, but a parallel process (see Figure 2). A company has to consider some functional overlapping company related issues as a basis. After purchasing activities have started, relationship activities with suppliers can be initiated. Thereafter innovation project activities can begin.

A company should consider all requirement categories to access and successfully realize supplier innovation. If company related requirements are fulfilled and consequently a company is open for supplier innovation, suppliers will be more open for push and pull supplier innovations. Furthermore, good supplier relationships and successful innovation projects motivate suppliers for future cooperation. Suppliers will be more

open for further supplier innovations, both push and pull. Finally, supplier management related requirements, channels, and incentives for supplier innovation serve as instruments for accessing push and pull supplier innovation. Supplier management measures such as supplier integration and supplier development give suppliers the opportunity for valuable innovations. Incentives motivate suppliers also for future innovations. All in all, a comprehensive consideration of all requirements will increase future supplier innovation.

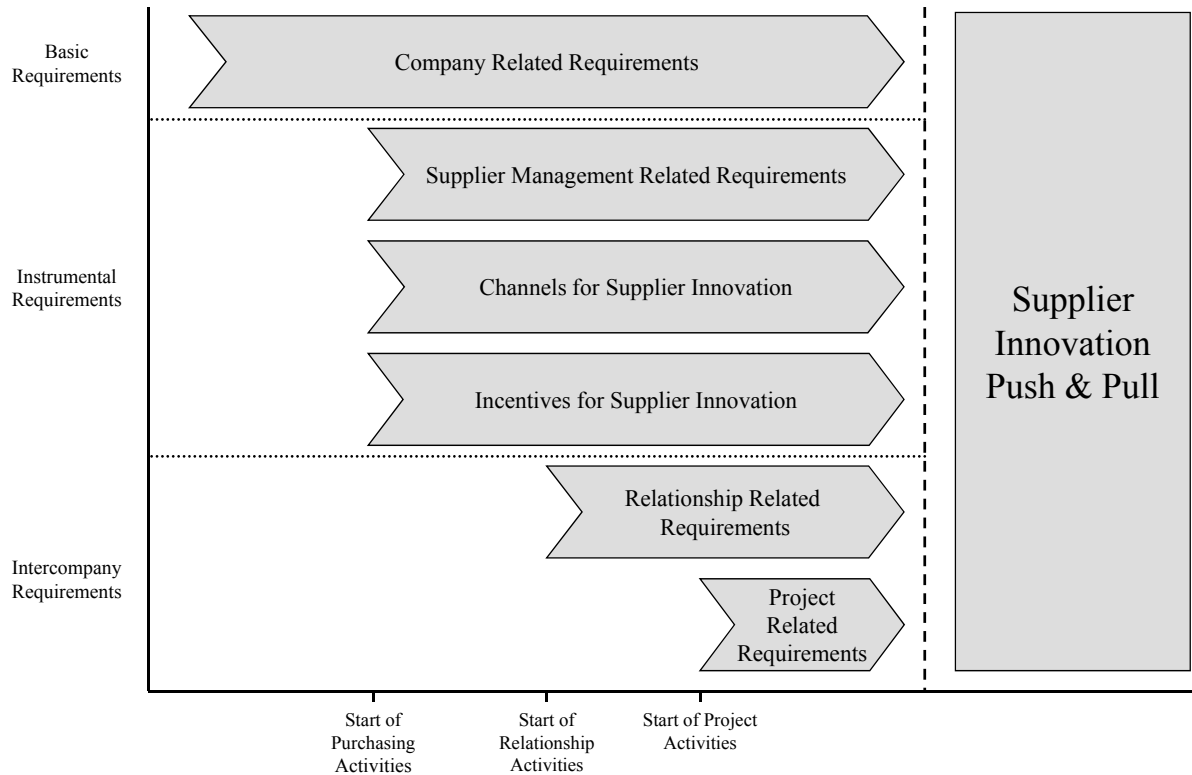


Figure 2: Consideration of Requirements

5 Conclusion

This paper provides a framework with requirements for accessing supplier innovation in order to exploit the innovation potential of suppliers. The following propositions serve as recommendations for actions: First, a company should consider both the possibility of supplier innovation push and the possibility of supplier innovation pull. Second, company related requirements have to be fulfilled so that purchasing can serve as a gateway between the company and suppliers to access and successfully realize supplier innovation. Third, a comprehensive and systematic supplier management should be introduced as a requirement. Fourth, relationship related requirements have to be considered to overcome supplier innovation barriers. Fifth, project related requirements have to be complied with to support the innovation cooperation with a supplier. Sixth, a company should use appropriate channels to provide push and pull supplier innovation. Seventh, supplier incentives have to be introduced to access supplier innovation.

This presented framework is more operational in terms of giving a company and purchasing department recommendations about what has to be considered for accessing and successfully realizing supplier innovation. However, the requirements identified in the literature are mostly based on case study research. Therefore, future research should address the validation of the requirements by a quantitative study and investigate their influence on accessing and successfully realizing supplier innovation. Furthermore, interactions between requirement categories, especially between single requirements, should be examined in more detail. This paper only focuses on requirements which a company can influence. However, requirements on the supplier's side should also be investigated.

6 References

- Arnold, U. (1997): Beschaffungsmanagement, 2nd Ed., Stuttgart.
- Arnolds, H.; Heege, F.; Röh, C.; Tussing, W. (2010): Materialwirtschaft und Einkauf, 11th Ed., Wiesbaden.
- Arash, A.; Dooley, K. J.; Carter, P. L.; Carter, J. R. (2008): Supplier Innovativeness and the Role of Interorganizational Learning in Enhancing Manufacturer Capabilities, in: *Journal of Supply Chain Management* 44 (4), p. 14-35.
- Breckner, C. (2004): E-Innovationsmanagement in der Automobilindustrie, Köln.
- Chidambaranathan, C. M.; Deshmukh, S. G. (2009): Analyzing the interaction of critical factors of supplier development using Interpretive Structural Modeling – an empirical study, in: *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 43 (11-12), p. 1081-1093.
- Dobler, D. W.; Burt, D. N. (1996): Purchasing and Supply Management, 6th Ed., New York et al.
- Dodgson, M. (1996): Technological Collaboration and Innovation, in: Dodgson, M.; Rothwell, R. (Eds.): *The Handbook of Industrial Innovation*, Cheltenham, p. 285-292.
- Dreyer, H. W. (2000): Lieferantentypspezifische Bewertung von Lieferleistungen, Frankfurt am Main.
- Gassmann, O. (2003): Lieferanten als Innovationsquelle in F&E, in: Boutellier, R.; Wagner, S. M.; Wehrli, H. P. (Eds.): *Handbuch Beschaffung*, München et al., p. 631-646.
- Groher, E. J. (2003): Gestaltung der Integration von Lieferanten in den Produktentstehungsprozess, München.
- Hartmann, H. (2004): Lieferantenmanagement, Gernsbach.
- Henke, J. W.; Zhang, C. (2010): Increasing Supplier-Driven Innovation, in: *MIT Sloan Management Review* 51 (2), p. 41-46.
- Inemek, A.; Matthyssens, P. (2010): The impact of global buyer-supplier relationships on supplier innovation, in: *International Purchasing & Supply Education & Research Association (IPSERA)* (Eds.): *Supply Management - Missing Link in Strategic Management? Proceedings of the 19th Annual IPSERA Conference*, Lappeenranta, p. 189-211.
- Jackson, E.; Gorton, M.; White, J. (2009): A structural analysis of contractual innovations within the CIS milk industry, in: *Proceedings of the 3rd International European Forum on System Dynamics and Innovation in Food Networks*, Innsbruck, p. 263-278.
- Jiang, H.; Bai, L. (2010): Supplier Performance Management Based on Benchmarking Methodology, in: *International Conference on Logistics Systems and Intelligent Management 2010* 3 (9-10 Jan.), p. 1409-1412.
- Krause, D. R.; Scannell, T. V.; Calantone, R. J. (2000): A Structural Analysis of the Effectiveness of Buying Firms' Strategies to Improve Supplier Performance, in: *Decision Sciences* 31(1), p. 33-55.
- Kruse, K. O. (1998): Anreizsysteme in Abnehmer-Zulieferer-Kooperationen, Hamburg.

- Lasch, R.; Winter, S. (2010): Identifikation und Bewertung der Innovationsleistung im Rahmen des Lieferantenmanagements, in: Bogaschewsky, R.; Essig, M.; Lasch, R.; Stölzle, W. (Eds.): Supply Management Research - Aktuelle Forschungsergebnisse 2009, Wiesbaden, p. 3-36.
- Linder, J. C.; Jarvenpaa, S.; Davenport, T. H. (2003): Toward an Innovation Sourcing Strategy, in: MIT Sloan Management Review 44 (4), p. 43-49.
- Lynch, R. P.; Rogers, S. (2007): Capturing Innovation from Suppliers, 92nd Annual International Supply Management Conference May 2007.
- Modi, S. B.; Mabert, V. A. (2007): Supplier development: Improving supplier performance through knowledge transfer, in: Journal of Operations Management 25 (1), p. 42-64.
- Monczka, R. M.; Handfield, R. B.; Giunipero, L.; Patterson, J. L. (2009): Purchasing & Supply Chain Management, 4th Ed., Mason.
- Monczka, R. M.; Carter, P. L.; Scannell, T. V.; Carter, J. R. (2010a): Implementing Supplier Innovation: Case Study Findings, Tempe.
- Monczka, R. M.; Scannell, T. V.; Carter, P. L.; Carter, J. R. (2010b): Accelerating Innovation through Effective Supplier Collaboration, 95th ISM International Supply Management Conference April 2010.
- Reichwald, R.; Piller, F. (2009): Interaktive Wertschöpfung, 2nd Ed., Wiesbaden.
- Rink, C.; Wagner, S. M. (2009): Frischer Wind: So fördert der Einkauf Innovationen, in: Beschaffung aktuell 56 (8), p. 20-22.
- Rogers, S. R. (2008): Value Focused Relationships: The Key to Accessing Supplier Innovation, 93rd Annual International Supply Management Conference May 2008.
- Sako, M. (1996): Supplier Relationships and Innovation, in: Dodgson, M.; Rothwell, R. (Eds.): The Handbook of Industrial Innovation, Cheltenham, p. 268-274.
- Schiele, H.; Haas, C. (2007): Innovationsquelle Lieferant, in: Beschaffung aktuell 38 (4), p. 30-31.
- Schiele, H. (2010): Innovationen von und mit Lieferanten – Ergebnisse einer quantitativen Studie, Enschede.
- Schiele, H.; Veldman, J.; Hüttinger, L. (2010): Supplier Innovativeness and Supplier Pricing: The Role of Preferred Customer Status, in: International Purchasing & Supply Education & Research Association (IPSERA) (Eds.): Supply Management - Missing Link in Strategic Management? Proceedings of the 19th Annual IPSERA Conference, Lappeenranta, p. 378-394.
- Strumann, A. (1997): Vertikale Kooperation bei Produktinnovationen im Investitionsgüterbereich, Köln.
- Schuh, G.; Wellensiek, M.; Kreysa, J. (2010): Wie der Einkauf aus der Krise neue Stärke schöpft, in: Beschaffung aktuell v.u. (6), p. 22.
- Schumacher, S. C.; Schiele, H.; Contzen, M.; Zachau, T. (2008): Die 3 Faktoren des Einkauf, Weinheim.
- Wagner, S. M. (2008): Innovative Lieferanten mit einbinden, in: Handelszeitung 147 (20), p. 66.
- Wagner, S. M. (2009a): Getting Innovation from Suppliers, in: Research - Technology Management, p. 8-9.
- Wagner, S. M. (2009b): Lieferanteninnovation, in: Boutellier, R.; Wagner, S. M. (Eds.): Innovation: Welche Rolle spielt die Beschaffung?, in: SVME-Schriftenreihe zur Materialwirtschaft 16, Aarau, p. 161-174.
- Wildemann, H. (2000): Einkaufspotentialanalyse: Programme zur partnerschaftlichen Erschließung von Rationalisierungspotentialen, München.
- Yu, L. (2008): Collaborating With the Right Partner, in: MIT Sloan Management Review 50 (1), p. 8-9.

Competitive Priorities and Business Performance: Toward Purchasing Categories' Contribution to Business Success

Markus Amann

Universität der Bundeswehr München,
Werner-Heisenberg-Weg 39, 85577 Neubiberg,
markus.amann@unibw.de

Michael Eßig

Universität der Bundeswehr München,
Werner-Heisenberg-Weg 39, 85577 Neubiberg,
michael.essig@unibw.de

Abstract

Based on previous studies on competitive priorities for purchasing the paper explores the relationship of business performance with category performance as a mediating variable. In turn, category performance is stated to be influenced by certain purchasing tools. By means of structural equation modeling using data from a larger survey in ten countries world-wide the results indicate that there are significant relations between the postulated constructs. Consequently, the contribution of purchasing categories to business success is evident.

1 Introduction

Beginning with Skinner's early work on the missing link in corporate strategy (Skinner, 1969) competitive priorities have intensively been discussed during the last decades (Wheelwright, 1984; Hayes and Wheelwright, 1984; Fine and Hax, 1985; Cleveland et al., 1989; Leong et al., 1990; Anderson et al., 1991; Vickery, 1991; De Meyer, 1992; Corbett and Van Wassenhove, 1993; Hill, 1993; Westbrook and Williamson, 1993; Hayes and Pisano, 1994; Dröge and Vickery, 1994; Leong and Ward, 1995; Azzone and Rangone, 1996; Choi and Hartley, 1996; Clark, 1996; Kim and Arnold, 1996; Sheu and Laughlin, 1996; Stanley et al., 1996; Choe et al., 1997; Swink and Hegarty, 1998; Ahn et al., 1999; Berry et al., 1999; Dangayach and Deshmukh, 2001; Gilgeous, 2001; Swamidass et al., 2001; Lei and Goldhar, 2002; or Schmenner and Vastag, 2006). According to this, competitive priorities are understood as vital elements of a market-oriented strategy consisting of cost, quality, delivery and flexibility. Using competitive priorities a coordination of corporate, business and functional level can be accomplished (Wheelwright, 1984). Furthermore, the alignment of competitive priorities with the requirements of the marketplace is essential in order to achieve business performance (Kerr and Greenhalgh, 1991).

Within the discussion of competitive priorities the research attention is mainly concentrated on manufacturing strategy and its relation to the marketing strategy at the functional level or to the business strategy at the corporate level. Only a few articles examine other functional strategies in terms of competitive priorities (Krause et al., 2001; Chen and Paulraj, 2004; Cousins, 2005; Krause et al., 2007; González-Benito, 2007). In this regard Krause et al. (2001) develop a set of measures of purchasing's competitive priorities, but their contribution to business success is not determined. González-Benito (2007) is able to identify the effect of purchasing efficacy on business performance, however certain influences on purchasing's competitive priorities still remain ambiguous. Additionally, the importance of the category level within the purchasing strategy is fully neglected, since as it is known strategies can differ among diverse categories (Monczka and Markham, 2007). Consequently, the present paper extends the understanding of purchasing's effect on firm success by analysing the relationship between purchasing tools, competitive priorities at the category level and business performance.

2 Review of literature

The literature review concentrates on different fields of purchasing which are important for the operationalisation of our postulated research model. In this regard, we examine purchasing tools, competitive priorities for purchasing at the category level and business performance before we introduce and evaluate our framework by means of structural equation modeling.

2.1 Relationship-based purchasing tools

Purchasing tools are in line with supply strategies and assist supply management to focus attention on appropriate measures in order to achieve the objectives of supply. The type of purchasing tool indicates the quality of the relationship with the supplier, e.g. arm's length or close partnerships (Dwyer et al., 1987). The present paper focuses on effects on purchasing performance that arise from close relationships with suppliers. The intense exchange of information between the cooperating parties is a crucial element of close relationships. Consequently, we consider purchasing tools / techniques such as vendor managed inventory (VMI), just-in-time replenishment, shared production planning and/or demand forecast information, as well as joint planning and replenishment with suppliers. In terms of VMI, the supplier monitors inventory levels of the buyer and makes the main inventory replenishment decisions for his customer (Waller et al., 1999). As a result, asset management is transferred from the customer to his supplier in order to improve inventory's effectiveness and efficiency (Disney and Towill, 2003). Similar to VMI, just-in-time (JiT) replenishment is a pull (reactive) concept and supply activities are merely initiated by shortage. In essence, JiT suggests limiting the production of units only to current needs, quantities and time frames (Womack et al., 1990). Mutual sharing of information and joint planning between the involved parties focuses on materials flows in terms of time, quantities and qualities. Since the purchasing and the logistics function are in the flow of information, they can initiate and be affected by changes in the information system at the same time (Cooper and Ellram, 1993).

2.2 Category performance and business performance

Purchasing's performance refers to items bought at the right price, in the required quality and quantity for the delivery at the right time to the right customer (Monczka et al., 2005). The specification of these objectives is derived from the purchasing's function strategy and corresponding competitive priorities, such as cost, quality, delivery, or flexibility (Krause et al., 2001). Usually, companies build purchasing categories covering the whole purchasing spend. This categorisation of purchase items includes any kind of purchasing target, not just standardised commodities and is able to consider different management objectives among different purchasing categories (Monczka and Markham, 2007). Consequently, the purchasing strategy consists of diverse category strategies, which in turn are operationalised by means of competitive priorities. The multitude of competitive priorities at the category level is aligned with the purchasing strategy at the functional level (Monczka et al., 2005). Anyhow, competitive priorities can vary among purchasing categories and are able to affect category performance in different ways.

Again, functional strategies have to be coherent to the business strategy in order to positively impact firm performance (Nath and Sudharshan, 1994). As a result, the purchasing strategy must be aligned with the business strategy enabling category performance to positively influence business performance. Business performance is reflected in a number of different measures, such as the quantity of new products or services introduced, the return on investment, the net profit or the sales growth (Neely, 1999; Medori and Steeples, 2000).

3 Research framework and hypotheses

Based on the literature above our hypothesised model intends to examine the relationships between purchasing tools and performance at the category level as well as their effects on business performance. Purchasing's strategic role and its contribution to business success is indeed frequently discussed, but it is hardly proven in a scientific way (Ramsay, 2001; González-Benito, 2007).

According to this, our model suggests that an increased emphasis on relationship-based purchasing tools leads to a better achievement of purchasing objectives in terms of competitive priorities at the category level which in turn positively influence financial measures at the corporate level (Figure 1). Category performance is understood as a mediating variable within our model.

The consequent research hypotheses are the following:

H1: A higher emphasis on relationship-based purchasing tools at the category level is likely to result into a better category performance in terms of competitive priorities.

H2: A better achievement of category's competitive priorities is likely to end up in a higher business performance at the firm level.



Fig. 1: Postulated structural model

4 Methodology

4.1 Sample and data collection

The hypotheses were tested using data of a larger data set collected in ten countries around the globe (Canada, Finland, France, Germany, Italy, the Netherlands, Spain, Sweden, United Kingdom, and the United States of America) through an online survey questionnaire about purchasing priorities, purchasing practices, purchasing performance, and business performance. According to Boyer et al. (2002), this method delivers higher levels of accuracy and reduced missing values due to either respondent or data entry error. Firms were sampled from the membership lists of the corresponding national purchasing associations. Sampling criteria were pre-agreed among the participating researchers. The industries represented in the sample were classified through ISIC codes and consisted of (1) agriculture, forestry, fishing, and mining, (2) manufacturing, (3) electricity, gas, and water supply, (4) construction, (5) wholesale and retail, (6) hotels and restaurants, (7) transportation, storage and communication, (8) financial services, (9) professional and administrative services, (10) public administration and defence, (11) human health and social work activities, as well as (12) arts, entertainment and recreation. The corresponding firms were first contacted and ask for participation. Reminder e-mails and telephone calls were conducted after four weeks to those

who had not responded, since tracking internet respondents by means of online feedback software for market research is very easy. In the end 1,402 responses were received in total, resulting in a response rate of over 10 per cent in each country.

In order to assess the degree of non-response bias, the responses were divided into two groups (a, b), whereas (a) represents early responses received within two weeks and (b) late responses received within the third week or later. Possible differences between (a) and (b) were examined in regard to mean responses to each of our model's variables using a t-test and assuming that (b) were similar to non-respondents (Scott & Overton 1997). There were no significant differences at $p < 0.05$ between (a) and (b). As a consequence, early respondents were not very different from those who did not respond. In addition, the ten country-specific subsamples were also proved to be appropriate in terms of pooling (Knoppen 2010).

According to reduce the probability of common method bias we used different scales and formats for the independent and the criterion measures (Podsakoff et al. 2003). Additionally, we tested for common method bias by means of examining the unrotated factor solution (Podsakoff & Organ 1986). We were able to determine three factors (eigen value >1.0) that almost equally account for the variance in the measures ($R^2 = 0.70$). Consequently, neither a single nor a general factor is likely to account for the majority of the covariance among the measures.

4.2 *Measures and measurement validation*

The operationalisation of the constructs is built on existing measures. The category performance items are based on Krause et al. (2001) and Monczka et al. (2005) using a seven point semantic differential scale from 1 (much worse than target) to 7 (much better than target). By means of the questionnaire all respondents had to select one of their purchase categories and answer questions in regard to corresponding competitive priorities, the use of purchasing tools and practices, as well as the resulting performance outcomes. Purchasing tools indicating the frequency of use in order to support the relationship to suppliers were measured by means of a scale range from 1 (never) to 6 (always). The items of the construct business performance are set on Neely (1999) and Medori and Steeple (2000) using a seven point scale from 1 (far worse) to 7 (far better).

Discrete factors were identified in consistency to the literature using principal component analysis combined with varimax rotation. In terms of unidimensionality the related indicators are significantly associated with their corresponding constructs, i.e. that they are always associated with only one construct (Fornel & Larcker 1981). We used AMOS 18.0 (Arbuckle 2009) in order to assess the overall fit of the measurement model and multiple fit indices from multiple families of fit criteria (Bollen 1989; Shah & Goldstein 2006) by means of confirmatory factor analysis (CFA). Our proposed measurement model is supported by all examined fit indices (NFI = 0.982; NNFI = 0.988; RFI = 0.967; IFI = 0.994; CFI = 0.993) what indicates a fine model fit. RMSEA

(0.020) also attests a good model fit. Consequently, the results suggest that the constructs exhibit unidimensionality. Table 1 comprises further results of the CFA.

Constructs and variables	CFA loadings
Modell: ($\chi^2 = 38.370$; d.f. = 25; $p = 0.043$; $\chi^2/\text{d.f.} = 1.535$; RMSEA = 0.020; NFI = 0.982; NNFI = 0.988; RFI = 0.967; IFI = 0.994; CFI = 0.993)	
Purchasing tools (Cronbach's $\alpha = 0.766$)	
Vendor managed inventory	0.729
Share production planning and/or demand forecast information with suppliers	eliminated
Joint planning and replenishment with suppliers	0.847
Just-in-time replenishment	0.604
Category performance (Cronbach's $\alpha = 0.728$)	
The purchasing price	eliminated
The level of supplier product/service quality	0.683
The level of user satisfaction with the purchasing function	0.660
The supplier time-to-market for new or improved products/services	eliminated
The level of product/service delivery speed from suppliers	0.708
Business performance (Cronbach's $\alpha = 0.858$)	
Number of new products/services introduced in the market	eliminated
ROI (Return on investments)	0.580
Net profit	0.839
Sales growth	0.861

Note: RMSEA - Root Mean Square Error of Approximation; NFI - Normed Fit Index; NNFI - Non-Normed Fit Index; RFI - Relative Fit Index; IFI - Incremental Fit Index; CFI - Comparative Fit Index

Tab. 1: Confirmatory factor analysis

The Cronbach's alpha values for the constructs measured are excellent following Nunnally (1994), not a single construct is below 0.7. Each of the estimated indicators' loadings of the corresponding constructs is highly significant ($p < 0.001$) what can give evidence for convergent validity and the verification of the postulated relationships among indicators and constructs (Anderson & Gerbing 1988). Additionally, apart from one exception the average variance extracted (AVE) estimates support for convergent validity and discriminant validity (Fornell & Larcker 1981). In this regard, only category performance slightly violates the AVE threshold of 0.50, nevertheless

the construct complies with the conditions of the Fornell-Larcker criterion. Composite reliability for all scales is given (Bagozzi & Yi 1988; Bagozzi & Baumgartner 1994) and attests internal consistency of the measurement. Descriptive statistics, composite reliability, AVE and intercorrelations are shown in Table 2. The measurement model consists of three multi-item constructs with a total of 9 indicators (see Table 1).

Variables	1	2	3
Purchasing tools (1)	0.73		
Category performance (2)	0.28	0.67	
Business performance (3)	0.06	0.22	0.82
Mean	2.76	4.22	4.64
Standard deviation	2.02	1.42	1.69
Composite reliability	0.77	0.71	0.86
Average variance extracted	0.53	0.45	0.68

Note: The square root of the average variance extracted is shown in bold on the diagonal; correlations are in the lower triangle of the matrix

Tab. 2: Confirmatory factor analysis

5 Results

The postulated path model produced a good fit to the data ($\chi^2 = 38.370$; d.f. = 25; $p = 0.043$; $\chi^2/\text{d.f.} = 1.535$; RMSEA = 0.020; NFI = 0.982; NNFI = 0.988; RFI = 0.967; IFI = 0.994; CFI = 0.993). Table 3 shows the results of the hypotheses testing, whereas the path model with its significance levels is illustrated in Figure 2.

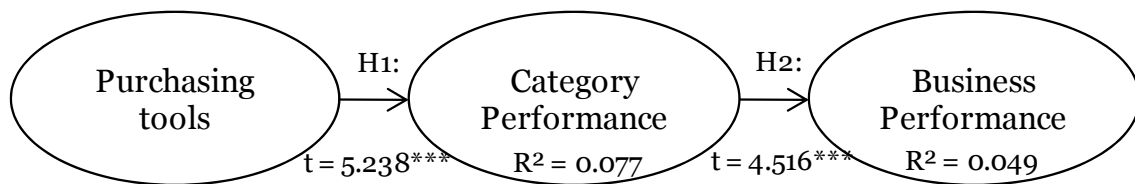


Fig. 2: Path significance of the evaluated structural model

Hypothesis 1 postulates that a higher emphasis on relationship-based purchasing tools leads to a better achievement of category performance in terms of competitive priorities. The standardised parameter estimate of 0.278 ($p < 0.001$) indicates a moderate, highly significant, positive effect of relationship-based purchasing tools on category performance. Consequently, the results provide support for H1. The parameter estimate of 0.222 ($p < 0.001$) for hypothesis 2 also gives evidence that a better achievement of category performance leads to a higher business performance. As a result, our findings support H2.

Path	Standardised parameter estimates
Purchasing tools --> category performance	0.278 (0.209)***
Category performance --> business performance	0.222 (0.335)***

Note: *** $p < 0.001$ (two-tailed test); figures in parentheses represent unstandardised β -coefficients

Tab. 3: Results of hypotheses testing

6 Discussion

The above stated results largely provide support for our entire hypothesised model. We are able to show that relationship-based purchasing tools such as VMI or JiT positively influences purchasing's competitive priorities in terms of category performance. Additionally, there is a definite effect of category performance on business performance. Thus, long-term relationships to suppliers that are based on partnerships can lead to an increase of purchasing performance at the category level and to the augmentation of business success. A prerequisite for real partnerships is the mutual investment in the relationship through suppliers and buyers at the same time. From buyers' viewpoint the investment can be compensated through improved purchasing success. But the success of the purchasing function is also related to several other factors such as operational buying, market circumstances (supplier or buyer power) or the disposition. Anyhow, our results state that nearly eight per cent of the variance of category performance and the corresponding competitive priorities can be explained through relationship-based purchasing tools. In regard to the business performance almost five per cent of the variance is explained through category performance. Since business performance may not be dependent on a single category - otherwise risk reduction and diversification should take place - these findings seem to be fairly realistic.

7 Managerial implications and limitations

These results have some implications for the purchasing department: In terms of purchasing tools the purchasing department is able to effectively manage supplier relations in order to improve category performance and the achievement of functional objectives. In turn, a moderate contribution of category performance to the business success and increased financial performance respectively is evident which support the strategic role of purchasing. Finally, the evidence of purchasing's contribution to business performance is able to improve the recognition of the purchasing department within the company.

Nevertheless, our findings are based on only a limited number of indicators shaping the corresponding constructs. In terms of category performance and the underlying competitive priorities e.g. price and flexibility are almost blanked. Effects associated with category performance refer to only one purchasing category and the construct itself shows slight weaknesses regarding its operationalisation. As a consequence the contribution of category performance to the explanation of business performance is

restricted. Otherwise, the dominance of a single category on business performance would be very evident and shall evoke careful management of risks and dependencies.

8 References

- Ahn, H.-S.; Jung, H.-D.; Ahn, B.-H. and Rhee, S.-K. (1999): Supply Chain Competitiveness and Capabilities of Constituent Firms: An Exploratory Study of the Korean Home Appliance Industry, *Supply Chain Management*, 4 (5): 242-253.
- Anderson, J.C. and Gerbing, D.W. (1988): Structural Equation Modelling in Practice: A Review and Recommended Two-Step Approach, *Psychological Bulletin*, 103 (3): 411-423.
- Anderson, J.C.; Schroeder, R.G. and Cleveland, G. (1991): The Process of Manufacturing Strategy: Some Empirical Observations and Conclusions, *International Journal of Operations & Production Management*, 11 (3): 86-110.
- Arbuckle, J.L. (2009): *Amos 18.0 User's Guide*, Chicago.
- Azzone, G. and Rangone, A. (1996): Measuring Manufacturing Competence: A Fuzzy Approach, *International Journal of Production Research*, 34 (9): 2527-2532.
- Bagozzi, R.P. and Baumgartner, H. (1994): The Evaluation of Structural Equation Models and Hypothesis Testing, In: Bagozzi, R.P. (Ed.): *Principles of Marketing Research*, Wiley John & Sons: Cambridge, 386-422.
- Bagozzi, R.P. and Yi, Y. (1988): On the Evaluation of Structural Equation Models, *Journal of Academy of Marketing Science*, 16 (1): 74-94.
- Berry, W.L.; Hill, T. and Klompmaker, J.E. (1999): Aligning Marketing and Manufacturing Strategies with the Market, *International Journal of Production Research*, 37 (16): 3599-3618.
- Bollen, K.A. (1989): *Structural Equations with Latent Variables*, John Wiley & Sons: New York.
- Boyer, K.K.; Olsen, J.R.; Calantone, R.J. and Jackson, E.C. (2002): Print Versus Electronic Surveys: A Comparison of Two Data Collection Methodologies, *Journal of Operations Management*, 20 (4): 357-373.
- Chen, I.J. and Paulraj, A. (2004): Understanding Supply Chain Management: Critical Research and a Theoretical Framework, *International Journal of Production Research*, 42 (1): 131-163.
- Choe, K.; Booth, D. and Hu, M. (1997): Production Competence and Its Impact on Business Performance, *Journal of Manufacturing Systems*, 16 (6): 409-421.
- Choi, T.Y. and Hartley, J.L. (1996): An Exploration of Supplier Selection Practices Across the Supply Chain, *Journal of Operations Management*, 14 (4): 333-343.
- Clark, K.B. (1996): Competing Through Manufacturing and the New Manufacturing Paradigm: Is Manufacturing Strategy Passé?, *Production and Operations Management*, 5 (1): 42-58.
- Cleveland, G.; Schroeder, R.G. and Anderson, J.C. (1989): A Theory of Production Competence, *Decision Sciences*, 20 (3): 655-668.
- Cooper, M.C. and Ellram, L.M. (1993): Characteristics of Supply Chain Management and the Implications for Purchasing and Logistics Strategy, *International Journal of Logistics Management*, 4(2): 13-24.
- Corbett, C. and Van Wassenhove, L. (1993): Trade-Offs? What Trade-Offs? Competence and Competitiveness in Manufacturing Strategy, *California Management Review*, 35 (4): 107-122.
- Cousins, P. (2005): The Alignment of Appropriate Firm and Supply Strategies for Competitive Advantage, *International Journal of Operations & Production Management*, 25 (5): 403-428.
- Dangayach, G.S. and Deshmukh, S.G. (2001): Manufacturing Strategy: Literature Review and Some Issues, *International Journal of Operations & Production Management*, 27 (7): 884-932.
- De Meyer, A. (1992): An Empirical Investigation of Manufacturing Strategies in European Industry, in: Voss, C.A. (Ed.), *Manufacturing Strategy: Process and Content*, London et al, 221-238.

- Dinsey, S.M. and Towill, D.R. (2003): Vendor-Managed Inventory and Bullwhip Reduction in a Two-Level Supply Chain, *International Journal of Operations & Productions Management*, 23 (6): 625-651.
- Dröge, C. and Vickery, S. (1994): Source and Outcomes of Competitive Advantage: An Exploratory Study in the Furniture Industry, *Decision Sciences*, 25 (5/6): 669-689.
- Dwyer, F.R.; Schurr, P.H. and Oh, S. (1987): Developing Buyer-Seller Relationships, *The Journal of Marketing*, 51 (2): 11-27.
- Fornell, C. and Larcker, D.F. (1981): Evaluation Structural Equation Models With Unobservable Variables and Measurement Error, *Journal of Marketing Research*, 18 (1): 39-50.
- Fine, C.H. and Hax, A.C. (1985): Manufacturing Strategy: A Methodology and an Illustration, *Interfaces*, 15 (6): 28-46.
- Gilgeous, V. (2001): The Strategic Role of Manufacturing, *International Journal of Production Research*, 39 (6): S. 1257-1287.
- González-Benito, J. (2007): A Theory of Purchasing's Contribution to Business Performance, *Journal of Operations Management*, 25 (4): 901-917.
- Hayes, R.H. and Wheelwright, S.C. (1984): *Restoring Our Competitive Edge: Competing Through Manufacturing*, New York.
- Hayes, R.H. and Pisano, G.P. (1994): Beyond World-Class: The New Manufacturing Strategy, *Harvard Business Review*, 72 (1): 77-86.
- Hill, T. (1993): *Manufacturing Strategy: The Strategic Management of the Manufacturing Function*, 2nd ed., London.
- Kerr, R.M. and Greenhalgh, G.R. (1991): Aspects of Manufacturing Strategy, *Production Planning and Control*, 2 (3): 194-206.
- Kim, J.S. and Arnold, P. (1996): Operationalizing Manufacturing Strategy: An Exploratory Study of Constructs and Linkage, *International Journal of Operations & Production Management*, 16 (12): 45-73.
- Knoppen, D.; Bernardes, E.; Brandon-Jones, A.; Dabhilkar, M.; Luzzini, D.; Ronchi, S.; van Raaij, E.; Alkin, M.; Bengtsson, L.; Caniato, F.; Essig, M.; Hartley, J.; Johnson, F.; Karjalainen, K.; Lakemond, N.; Lehmann, L.; Miemczyk, J.; Rüdiger, M.; Salmi, A.; Spina, G.; Wynstra, F. and Zsidisin, G. (2010): Analysis of Equivalence Among Sub-Samples: Preliminary Results of the International Purchasing Survey, *Proceedings of the 17th International Annual EurOMA Conference*, 6-9 June 2010, Portugal.
- Krause, D.R.; Pagell, M. and Curkovic, S. (2001): Toward a Measure of Competitive Priorities for Purchasing, *Journal of Operations Management*, 19 (4): 497-512.
- Krause, D.R.; Handfield, R.B. and Tyler, B.B. (2007): The Relationships between Supplier Development, Commitment, Social Capital Accumulation and Performance Improvement, *Journal of Operations Management*, 25 (2): 528-545.
- Lei, D. and Goldhar, J.D. (2002): Knowledge and Organizational Properties of CIM Technology, *International Journal of Manufacturing, Technology and Management*, 4 (1/2): 134-157.
- Leong, G.K.; Snyder, D.L. and Ward, P.T. (1990): Research in the Process and Content of Manufacturing Strategy, in: *OMEGA The International Journal of Management Science*, 18 (2): 109-122.
- Leong, G.K. and Ward, P. (1994), The Six Ps of Manufacturing Strategy, *International Journal of Operations & Production Management*, 15 (12): 32-45.
- Medori, D. and Steeple, D. (2000): A Framework for Auditing and Enhancing Performance Measurement Systems, *International Journal of Operations & Production Management*, 20(5): 520-533.
- Monczka, R.M. and Markham, W.J. (2007): Category Strategies and Supplier Management, *Supply Chain Management Review*, 11 (6): 24-30.
- Monczka, R.; Trent, R. and Handfield, R. (2005): *Purchasing and Supply Chain Management*, 3rd ed., Mason: Batesville (MS).

- Nath, D. and Sudharshan, D. (1994): Measuring Strategic Coherence Through Patterns of Strategic Choice, *Strategic Management Journal*, 15 (1): 43-61.
- Neely, A.D. (1999): The Performance Measurement Revolution: Why Now and What Next?, *International Journal of Operations & Production Management*, 19(2): 205-228.
- Nunnally, J.C. (1994): *Psychometric Theory*, 3rd ed., McGraw-Hill: New York.
- Podsakoff, P.M. and Organ, D.W. (1986): Self-reports in Organizational Research: Problems and Prospects, *Journal of Management*, 12 (4): 531-544.
- Podsakoff, P.M.; MacKenzie, S.B.; Lee, J.-Y. and Podsakoff, N.P. (2003): Common Method Biases in Behavioral Research: A Critical Review of the Literature and Recommended Remedies, *Journal of Applied Psychology*, 88 (5): 879-903.
- Ramsay, J. (2001): Purchasing's Strategic Irrelevance, *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 7 (4): 257-263.
- Schmenner, R.W. and Vastag, G. (2006): Revisiting the Theory of Production Competence: Extensions and Cross-Validations, *Journal of Operations Management*, 24 (6): 893-909.
- Scott, J.A. and Overton, T.S. (1977): Estimating Nonresponse Bias in Mail Surveys, *Journal of Marketing Research*, 14 (3): 396-402.
- Shah, R. and Goldstein, S. (2006): Use of Structural Equation Modeling in Operations Management Research: Looking Back and Forward, *Journal of Operations Management*, 24(1): 148-169.
- Sheu, C. and Laughlin, J.L. (1996): Integrating Marketing and Manufacturing Functions Through Focused Manufacturing Design, *Integrated Manufacturing Systems*, 7 (6): S. 16-23.
- Skinner, W. (1969): Manufacturing - Missing Link in Corporate Strategy, *Harvard Business Review*, 47 (3): 136-145.
- Stanley, L.; Fawcett, S.E. and Smith, S.R. (1996): Production Capability in International Operations: The Impact of Planning and Information Support, *Journal of Managerial Issues*, 8 (4): 440-456.
- Swamidass, P.M.; Darlow, N. and Baines, T. (2001): Evolving Forms of Manufacturing Strategy Development: Evidence and Implications, *International Journal of Operations & Production Management*, 21 (10): 1289-1304.
- Swink, M. and Hegarty, W.H. (1998): Core Manufacturing Capabilities and Their Links to Product Differentiation, *International Journal of Operations & Production Management*, 18 (4): 374-396.
- Vickery, S.K. (1991): A Theory of Production Competence Revisited, *Decision Sciences*, 22 (4): 635-643.
- Waller, M.; Johnson, M.E. and Davis, T. (1999): Vendor managed inventory in the retail supply chain. *Journal of Business Logistics* 20 (1): 183-203.
- Westbrook, R. and Williamson, P. (1993): Mass Customization: Japan's New Frontier, *European Management Journal*, 11 (1): 38-45.
- Wheelwright, S.C. (1984): Manufacturing Strategy: Defining the Missing Link, *Strategic Management Journal*, 5 (1): 77-91.
- Wheelwright, S.C. and Hayes, R.H. (1985): Competing through Manufacturing, *Harvard Business Review*, 63 (1): 99-109.
- Womack, J.P.; Jones, D.T. and D. Roos (1990): *The Machine That Changed The World*, Rawson Associates: New York.

Integration von Losgrößenplanung und Tourenplanung zur Nivellierung der Volumenströme in der Automobilindustrie

Martin Grunewald

Institut für Automobilwirtschaft und Industrielle Produktion,
Lehrstuhl für Produktion und Logistik, Technische Universität Braunschweig,
Katharinenstraße 3, 38106 Braunschweig,
m.grunewald@tu-braunschweig.de

Thomas Volling

Institut für Automobilwirtschaft und Industrielle Produktion,
Lehrstuhl für Produktion und Logistik, Technische Universität Braunschweig,
Katharinenstraße 3, 38106 Braunschweig,
t.volling@tu-braunschweig.de

Thomas S. Spengler

Institut für Automobilwirtschaft und Industrielle Produktion,
Lehrstuhl für Produktion und Logistik, Technische Universität Braunschweig,
Katharinenstraße 3, 38106 Braunschweig,
t.spengler@tu-braunschweig.de

Abstract/Zusammenfassung

Auf Grund der hohen Teilevielfalt in der (deutschen) Automobilindustrie werden nur wenige, ausgewählte Komponenten in der Produktionsprogrammplanung berücksichtigt. Damit lassen sich Schwankungen für einen Großteil der Teilebedarfe nicht ausschließen. In der nachfolgenden Losgrößen- und Tourenplanung werden diese Schwankungen ungedämpft, oder sogar durch Losbildung verstärkt, weitergegeben. Dies führt zu schwankenden Transportmengen, was mit erhöhten Transportkosten durch eine schlechte Auslastung einhergeht. Aus diesem Grund besteht in der Automobilindustrie ein hohes Interesse an der Nivellierung von Volumenströmen. Die hierfür erforderlichen nivellierenden Losgrößen- und Tourenplanungsansätze existieren allerdings bislang nicht. Vor diesem Hintergrund wird im Beitrag ein neuer Ansatz zur Nivellierung der Teilelogistik vorgestellt. Der Ansatz integriert Losgrößen- und Tourenplanung. Die Nivellierung wird durch eine Losgrößenpolitik erreicht, die nur gedämpft auf Bedarfsschwankungen reagiert. Die Stärke der Dämpfung und damit der Nivellierung wird als neuer Freiheitsgrad in das Entscheidungsproblem der Tourenplanung integriert. Zur Lösung des integrierten Problems wird das originär stochastische Optimierungsmodell in ein äquivalentes deterministisches nichtlineares Optimierungsmodell überführt, welches mittels Dekomposition und Standardheuristiken gelöst werden kann. An einem anschaulichen Beispiel wird die Anwendung des neuen Planungsansatzes verdeutlicht.

1 Einleitung

Das Produktangebot von (deutschen) Automobilherstellern ist durch eine hohe Vielfalt vom Kunden wählbarer Ausstattungsmerkmale charakterisiert. Zur Realisierung dieser Vielfalt bedarf es eines großen Teilespektrums, das bei den gegenwertigen Wertschöpfungsstrukturen in der Automobilindustrie mittels eines weit verzweigten Netzes an Zulieferern bezogen wird. Für ein einziges Fahrzeug werden oftmals mehr als zehntausend Teile von mehreren hundert Zulieferern verbaut.

Um mit dieser Vielfalt umzugehen, sind in der Automobilindustrie produktionssynchrone Beschaffungskonzepte wie Just-In-Time und Just-In-Sequence entwickelt worden. Diese Konzepte sind allerdings nur bei wenigen, insbesondere hochwertigen und besonders variantenreichen Teilen sinnvoll. Für alle übrigen Teile ist eine Produktion wirtschaftlicher Lose mit anschließender Lagerhaltung die betriebswirtschaftlich günstigere Alternative. Dementsprechend bestehen in der Teilelogistik von Automobilherstellern vorrangig Lieferketten mit Losbildung und Lagerung. Laut einer Umfrage von Göpfert unter den deutschen Automobilherstellern aus dem Jahr 2008 werden mehr als 70% des Teilevolumens per Lieferkette mit Lagerung beschafft.¹

Für diese Lieferketten sind im Rahmen der Beschaffungsplanung zwei aufeinander aufbauende Planungsprobleme zu lösen: die Losgrößenplanung und die Tourenplanung. In bestehenden Planungssystemen werden diese Aufgaben sequenziell gelöst. Ausgangspunkt sind die durch die Produktionsprogrammplanung terminierten Kundenaufträge, aus denen mittels Stücklistenauflösung die Teilebedarfe abgeleitet werden. Diese Teilebedarfe werden im Rahmen der Losgrößenplanung zu terminierten Bestellmengen zusammengefasst, auf deren Basis schließlich innerhalb der Tourenplanung kostenminimale Touren gebildet werden. Oftmals wird die Tourenplanung durch einen Logistikdienstleister geleistet.²

Dieses Vorgehen in der Planung führt zu starken Schwankungen in den Bestellmengen bzw. Transportmengen. Dies ist dadurch begründet, dass in der Produktionsprogrammplanung zwar die Bedarfe zentraler Komponenten in der Zielfunktion oder durch Kapazitätsrestriktionen berücksichtigt werden. Der größte Teil der zu beschaffenden Teile wird allerdings nicht explizit betrachtet. Ausgeprägte Schwankungen lassen sich damit nicht ausschließen. Durch das sequenzielle Vorgehen bei der Losgrößen- und Tourenplanung werden diese schwankenden Teilebedarfe ungedämpft, bzw. durch die Losbildung nochmals verstärkt, weitergegeben. Die Variabilität der Bestellmengen führt in der Tourenplanung zu stark schwankenden Transportmengen und damit zu schlecht ausgelasteten Transportmitteln. Weitere negative Konsequenzen sind ein höherer Koordinationsaufwand in der Disposition des Automobilherstellers sowie erhöhte Sicherheitsbestände bei Zulieferern. Vor diesem Hintergrund erklären sich Initiativen in der Automobilindustrie zur Nivellierung der Teilelogistik.

¹ Vgl. Göpfert (2009), S. 158.

² Vgl. Meyr (2004), S. 455.

Unter Nivellierung wird die Reduktion der Bestellmengenunterschiede zwischen den einzelnen Perioden verstanden. In Abbildung 1 ist die Wirkung der Nivellierung beispielhaft dargestellt. Ohne Nivellierung schwanken die Bestellmengen und damit auch die Transportmenge stark. Die Schwankungen sind dabei so stark, dass in einigen Perioden die bereitgestellte Transportkapazität überschritten wird, was zu zusätzlichen Transportkosten führt. Im Fall mit Nivellierung sind Bestellmengen und Transportmenge so weit gedämpft, dass die bereitgestellte Transportkapazität nicht überschritten wird. Folglich wird eine gleichmäßig hohe Auslastung erzielt. Kosten für zusätzliche Transporte fallen nicht an. Um diese Nivellierung zu erreichen, sind Bestände beim Automobilhersteller notwendig. Diese implizieren zusätzliche Lagerkosten im Werk. Um diesen Zielkonflikt der Nivellierung zu lösen, ist folglich ein integrativer Ansatz von Losgrößen- und Tourenplanung notwendig.

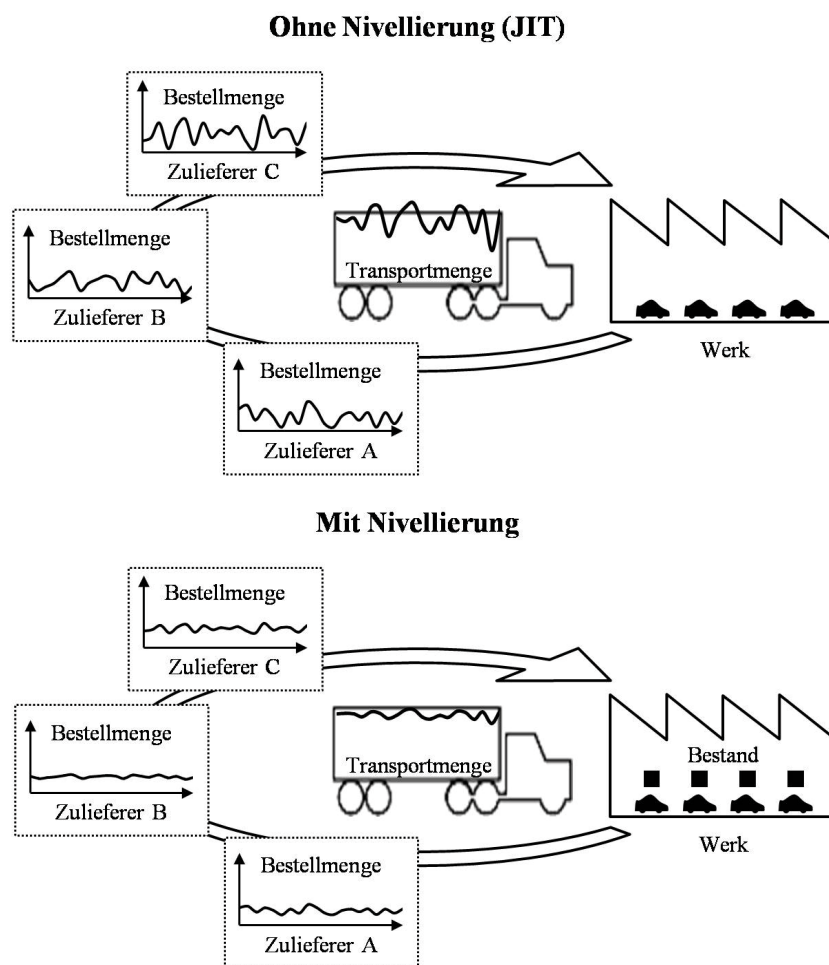


Abb.1: Vergleich Transportnetzwerk mit und ohne Nivellierung

Die Planung wird weiterhin dadurch erschwert, dass nur für wenige Tage vor Produktionsstart das Produktionsprogramm und damit auch die Teilebedarfe fixiert sind. Bei Volkswagen werden aktuell sechs Tage angestrebt³, bei BMW hingegen vier Tage⁴. In

³ Vgl. Bäumann (28.01.2010).

⁴ Vgl. Dechantsreiter (28.01.2010).

der Praxis ist der fixierte Zeitraum auf Grund vielfältiger kurzfristiger Restriktionen deutlich kürzer. Außerhalb dieses Zeitraums unterliegen die Bedarfe fortwährenden Anpassungen. Aus Sicht der Beschaffung sind sie folglich unsicher. Um die Potentiale der Nivellierung in der Tourenplanung zu nutzen, muss ein ausreichend langer Zeitraum herangezogen werden. Demnach ist davon auszugehen, dass die Bedarfe im Rahmen der Planung nur stochastisch bekannt sind. Es sind folglich zusätzlich zu den beschriebenen Transportkosten und Lagerbestandskosten auch die Kosten für Transportkapazitätsflexibilität und Sicherheitsbestand zum Ausgleich der Unsicherheit der Bedarfe zu betrachten. Da benötigte Transportkapazität und Sicherheitsbestand von der Bestellmenge abhängig sind, sind sie auch von der Nivellierung abhängig.

Vor diesem Hintergrund wird im vorliegenden Beitrag ein Optimierungsmodell entwickelt, welches die Nivellierung der Teilelogistik bei unsicheren Bedarfen darstellt. Das Modell integriert Losgrößen- und Tourenplanung unter Einbeziehung der Informationen zum volatilen Bedarf und dem Transportnetzwerk.

Der anschließende Teil des Beitrags ist wie folgt aufgebaut. In Kapitel 2 wird ein Überblick über die relevante Literatur gegeben. In Kapitel 3 folgt die stochastische Formulierung des Modells. Daran schließt sich in Kapitel 4 eine äquivalente deterministische Formulierung des stochastischen Modells an. Strategien zum Lösen des formulierten Modells werden in Kapitel 5 diskutiert. In Kapitel 6 wird ein Beispiel zur Veranschaulichung vorgestellt. Eine Schlussbetrachtung folgt in Kapitel 7.

2 Literaturüberblick

In der Literatur wird die integrierte Losgrößen- und Tourenplanung als Inventory Routing Problem (IRP) bezeichnet. Im IRP wird simultan über die Liefermenge eines Produktes und die Tour, die ein Transportmittel fahren soll, entschieden. In der Literatur wird fast ausschließlich eine 1 (Produzent): n (Kunden)-Beziehung betrachtet. Dabei entscheidet der Produzent über die Liefermenge und den Tourenplan. Dies ist z.B. in der Praxis der Fall bei Vendor-Managed-Inventory-Systemen, bei denen der Produzent für die mengen- und termingerechte Versorgung der Kunden zuständig ist.

Wesentliche Merkmale zur Unterscheidung der IRP-Ansätze sind die Nachfrage (deterministisch, stochastisch) und die Kapazität. Deterministische IRP-Ansätze beschäftigen sich mit der klassischen Fragestellung der Terminierung der Liefermenge und der Tourenplanung zur Nachfrageerfüllung und lösen damit den Zielkonflikt zwischen Transportkosten und Kosten für den (Umlauf-)Bestand. Im stochastischen Fall des IRPs ist die Nachfrage unsicher und schwankt über die Perioden, so dass Kosten für Transportkapazitätsflexibilität, Sicherheitsbestände und Fehlmengen zusätzlich in die Entscheidung über Liefermenge und Tourenplan einfließen. Bezüglich der Kapazität kann das IRP in Ansätze mit kapazitierten und unkapazitierten Transportmitteln unterschieden werden. In der Praxis ist insbesondere das kapazitierte IRP relevant.

In der Automobilindustrie besteht ein typisches Zuliefernetzwerk aus vielen Zulieferern und einem Kunden, dem Automobilwerk. Diese n (Produzenten):1 (Kunde)-Beziehung ist aber äquivalent zur in der Wissenschaft vorherrschenden 1: n -

Entscheidungssituation. Auch in der Automobilindustrie trifft ein Akteur, in diesem Fall das Automobilwerk, die Entscheidungen über Liefermenge (Bestellmenge) und Tourenplan. Ob Teile zentral bei einem Produzenten aufgeladen und dezentral bei n Kunden abgeladen werden oder ob Teile bei n Zulieferern dezentral aufgeladen und bei einem zentralen Kunden abgeladen werden, ist irrelevant, da nur die Transportkapazität und nicht auch die Reihenfolge der Besuche betrachtet wird. Im Gegensatz zur 1:n-Entscheidungssituation wird in der n:1-Entscheidungssituation der Sicherheitsbestand zentral beim Automobilwerk angelegt. Da aber die Teile von den Zulieferern durch ein Werk meist exklusiv bezogen werden, sind die Aggregationseffekte sehr gering und vernachlässigbar.

Für das in diesem Beitrag betrachtete Problem der Losgrößen- und Tourenplanung aus der Automobilindustrie sind die Bedarfe (Nachfrage) unsicher und es sind nur kapazitierte Transportmittel relevant. Im Folgenden werden nur IRP-Ansätze betrachtet, die diese Anforderungen grundlegend erfüllen. Für allgemeine Literaturüberblicke zum IRP sei auf Andersson et al.⁵, Moin et al.⁶, Baita et al.⁷ und Federgruen et al.⁸ verwiesen.

Ein wichtiger Aspekt zur Unterscheidung der Ansätze in Bezug auf die betrachtete Ausgangslage ist der Umgang mit der Unsicherheit der Nachfrage. Die verschiedenen Ansätze behandeln die Unsicherheit der Nachfrage sehr unterschiedlich. Auf der einen Seite wird die Unsicherheit der Nachfrage durch Fehlmengen, Umlaufbestände oder Sicherheitsbestände ausgeglichen. Auf der anderen Seite gibt es Ansätze, die eine erhöhte Transportkapazität zum Ausgleich der Unsicherheit der Nachfrage verwenden.

Am häufigsten werden erwartete Fehlmengen- und Lagerkosten in der Zielfunktion berücksichtigt⁹. In diesen Ansätzen wird neben dem Tourenplan über Liefermenge und/oder den Zeitpunkt der Lieferung entschieden. Implizit erfolgt demnach auch die Festlegung der Sicherheitsbestände. Eine verfrühte oder größere Lieferung birgt eventuell Vorteile in der Tourenplanung, kann aber zu zusätzlichen Lagerkosten führen. Demgegenüber ist eine verspätete oder reduzierte Lieferung möglicherweise vorteilhaft für die Tourenplanung, kann aber zu Fehlmengenkosten führen. Damit wird die Unsicherheit der Nachfrage durch Fehlmengen oder Umlaufbestand ausgeglichen. Die Option, die Unsicherheit der Nachfrage durch Transportkapazitätsflexibilität auszugleichen, wird nicht betrachtet.

⁵ Vgl. Andersson et al. (2010), S. 1515–1536.

⁶ Vgl. Moin et al. (2007), S. 1185–1194.

⁷ Vgl. Baita et al. (1998), S. 585–598.

⁸ Vgl. Federgruen et al. (1995), S. 297–373.

⁹ Vgl. Federgruen et al. (1984), S. 1019–1037, Dror et al. (1985), S. 1–23, Federgruen et al. (1986), S. 75–82, Trudeau et al. (1992), S. 171–184, Bassok et al. (1995), S. 256–266, Herer et al. (1997), S. 69–81, Reiman et al. (1999), S. 361–380, Berman et al. (2001), S. 192–213.

Ähnlich betrachten Adelman¹⁰, Hvattum et al.¹¹ und Kleywegt et al.¹² die Unsicherheit der Nachfrage. Auch hier kommen die erwarteten Fehlmengen- und Lagerkosten in der Zielfunktion zum Tragen. Im Unterschied zu den anderen Ansätzen wird aber keine einzelne Zufallsvariable der Unsicherheit der Nachfrage zu Grunde gelegt, sondern ein Markov-Prozess. Letztendlich ergibt sich aber kein Unterschied im Umgang mit der Unsicherheit der Nachfrage zu den oben genannten Ansätzen.

Gaur et al.¹³ und Custódio et al.¹⁴ schränken die Entscheidungssituation über Liefermenge und Tour bei stochastischer Nachfrage noch weiter ein. Zur Lösung der Modelle wird die unsichere Nachfrage durch die Erwartungswerte ersetzt. Im Nachgang wird dann der benötigte Sicherheitsbestand zum Ausgleich der unsicheren Nachfrage aus der Verteilung der Nachfrage berechnet. Die Kosten für den Sicherheitsbestand gehen aber nicht in das IRP mit ein. Damit wird der Sicherheitsbestand nur nachträglich betrachtet. Insgesamt entspricht dies einem deterministischen IRP, bei dem nachträglich eine Unsicherheitsbetrachtung vorgenommen wird.

Bell et al.¹⁵ und Bard et al.¹⁶ betrachten die Unsicherheit anders als die anderen Ansätze. Es wird davon ausgegangen, dass die Nachfrage einer Periode innerhalb eines Intervalls liegt. Gleichzeitig gehen sie davon aus, dass die Liefermengen einer Periode innerhalb dieses Intervalls liegen. Damit schwankt die Liefermenge über die Perioden. Da Bell et al. und Bard et al. von einem fixen Fuhrpark ausgehen, muss die Kapazität des Fuhrparks so gewählt sein, dass die schwankenden Liefermengen transportiert werden können. Die Unsicherheit der Nachfrage wird durch eine erhöhte Transportkapazität ausgeglichen. Fehlmengen oder Sicherheitsbestände werden nicht betrachtet.

Zusammenfassend zeigt sich, dass in allen Ansätzen die Unsicherheit der Nachfrage entweder durch Fehlmengen, Sicherheitsbestände oder Transportkapazität ausgeglichen wird. Um aber die Vorteile der Nivellierung bei stochastischem Bedarf abzubilden ist eine integrierte Betrachtung von benötigten Transportkapazitäten und Sicherheitsbeständen notwendig. Die Betrachtung von Fehlmengen ist in der Automobilindustrie von untergeordneter Bedeutung, da die damit einhergehenden Kosten (z.B. Produktionsausfälle) in der Regel als prohibitiv hoch angesehen werden können.

Daher wird im Folgenden ein neues Modell zur integrierten Losgrößen- und Tourenplanung zur Nivellierung der Teilelogistik in der Automobilindustrie unter Berücksichtigung der unsicheren Bedarfe entwickelt. Dazu wird zuerst ein stochastisches Optimierungsmodell formuliert. Unter der Voraussetzung normalverteilter Bedarfe kann das stochastische Modell in ein äquivalentes deterministisches nichtlineares Modell umgeformt werden. Dieses nichtlineare Modell kann mittels Dekomposition und Stan-

¹⁰ Vgl. Adelman (2004), S. 499–514.

¹¹ Vgl. Hvattum et al. (2009), S. 527–557, Hvattum et al. (2009), S. 268–285.

¹² Vgl. Kleywegt et al. (2004), S. 42–70, Kleywegt et al. (2002), S. 94–118.

¹³ Vgl. Gaur et al. (2004), S. 813–822.

¹⁴ Vgl. Custódio et al. (2006), S. 169–187.

¹⁵ Vgl. Bell et al. (1983), S. 4–23.

¹⁶ Vgl. Bard et al. (1998), S. 189–203.

dardheuristiken für das Vehicle-Routing-Problem (VRP) gelöst werden. Im Folgenden wird zunächst die stochastische Modellformulierung dargestellt.

3 Stochastische Modellformulierung

Ausgangspunkt der mathematischen Modellierung ist die Chance-Constraint-Formulierung des stochastischen VRPs von Stewart et al.¹⁷ In diesem Modell wird nur über die Tour unter Berücksichtigung des stochastischen Bedarfs entschieden. Damit wird die Unsicherheit des Bedarfs vollständig über die Transportkapazitäten ausgeglichen.

In der Modellformulierung besteht die Menge aller Knoten aus den Zulieferern und dem Automobilwerk. Außer dem Automobilwerk sind jedem Knoten ein Teil und damit ein Bedarf zugeordnet. Es ist x_{ijk} die binäre Entscheidungsvariable, ob ein Transportmittel k von i nach j fährt und c_{ij} sind die Transportkosten von i nach j . Weiterhin bezeichnet D_i die Zufallsvariable des Bedarfs, Q die Kapazität eines Transportmittels und m die Anzahl der verfügbaren Transportmittel. Sei α die Wahrscheinlichkeit, dass die Kapazität eines Transportmittels überschritten wird, so ergibt sich die Chance-Constraint-Formulierung des VRPs zu

$$\min_x \sum_k \sum_{i,j} c_{ij} x_{ijk} \quad (1)$$

u. d. N.

$$P \left(\sum_{i,j} D_i \cdot x_{ijk} \leq Q \right) \geq 1 - \alpha, \text{ für alle } k = 1..m, \quad (2)$$

$$x = [x_{ijk}] \in S_m. \quad (3)$$

In der Zielfunktion (1) werden die Transportkosten minimiert. In der Kapazitätsrestriktion (2) wird angegeben, dass die Wahrscheinlichkeit, dass die Summe der Bedarfe einer Tour die Transportmittelkapazität nicht überschreitet, größer sein soll als $(1-\alpha)$. Nebenbedingung (3) besagt, dass der Tourenplan x eine zulässige Lösung eines multiplen Traveling-Salesman-Problems (TSP) sein muss.

An Kapazitätsrestriktion (2) lässt sich der Zusammenhang zwischen Streuung des Bedarfs und der Transportkapazität erkennen. Wenn der Bedarf bei gleichem Erwartungswert stärker streut, dann sind auch große Mengen des Bedarfs wahrscheinlicher. Damit ist es wahrscheinlicher, dass die Fahrzeugkapazität bei gleicher Tourzuordnung überschritten wird. Da aber die Überschreitungswahrscheinlichkeit α fix gegeben ist, wird mehr Transportkapazität benötigt. Insgesamt steigen mit wachsender Streuung des Bedarfs bei gleichem Erwartungswert die benötigte Transportkapazität und damit auch die Transportkosten.

¹⁷ Vgl. Stewart et al. (1983), S. 374.

Ansatzpunkt für die Nivellierung ist eben diese Streuung des Bedarfs. Dazu wird der Nivellierungsgrad als Entscheidungsvariable eingeführt. Dieser hat Einfluss auf die benötigte Transportkapazität und auf die Sicherheitsbestände. Ein hoher Nivellierungsgrad hat hohe Sicherheitsbestände, aber geringe benötigte Transportkapazitäten zur Folge, da die Differenz zwischen Bestellmenge und Bedarf groß und die Schwankung der Bestellmenge gering ist. Im Extremfall der vollständigen Nivellierung wird die Unsicherheit des Bedarfs vollständig durch den Sicherheitsbestand ausgeglichen. Dieses Vorgehen entspricht einer (r,q)-Politik. Ein niedriger Nivellierungsgrad hat hingegen geringe Sicherheitsbestände, aber hohe Transportkapazitäten zur Folge, da die Differenz zwischen Bestellmenge und Bedarf klein und die Schwankung der Bestellmenge groß ist. Im Extremfall, wenn keine Nivellierung stattfindet, ist die Bestellmenge gleich dem Bedarf und die Unsicherheit des Bedarfs wird vollständig durch die Transportkapazität ausgeglichen. Dieses Vorgehen entspricht einer bedarfssynchronen Beschaffung (JIT).

Zur Modellierung des Nivellierungsgrads wird angenommen, dass ein funktionaler Zusammenhang zwischen den Zufallsvariablen Bestellmenge Γ_i und Bedarf D_i über den Nivellierungsgrad η_i besteht (siehe (4)). Dabei soll gelten, dass die Erwartungswerte von Bestellmenge Γ_i und Bedarf D_i gleich sind (siehe (5)). Des Weiteren soll die Varianz der Bestellmenge das Produkt aus eins minus dem Nivellierungsgrad η_i und Varianz des Bedarfs D_i sein (siehe (6)). Und letztendlich sollen Bestellmenge Γ_i und Bedarf D_i der gleichen Verteilungsklasse angehören (siehe (7)).

$$\text{Wenn } \Gamma_i = f(D_i, \eta_i), \text{ dann soll gelten} \quad (4)$$

$$E(\Gamma_i) = E(D_i) = \mu_i \text{ und} \quad (5)$$

$$\text{Var}(\Gamma_i) = (1 - \eta_i) \cdot \text{Var}(D_i) = (1 - \eta_i) \cdot \sigma_i^2, \text{ wobei} \quad (6)$$

$$\Gamma_i \text{ und } D_i \text{ aus der gleichen Verteilungsklasse.} \quad (7)$$

Dies bedeutet, dass eine Funktion $f()$ unter den Bedingungen (5)-(7) die nivellierende Eigenschaften in dem Sinne hat, dass die Varianz der Bestellmenge bei gleichem Erwartungswert in Bezug auf den Bedarf um den Faktor $(1-\eta_i)$ reduziert wird. Damit lässt sich die Funktion $f()$ als Bestellmengenpolitik mit nivellierender Eigenschaft interpretieren. Die Existenz einer solchen Nivellierungsfunktion ist gegeben, sofern der Erwartungswert und die Varianz des Bedarfs endlich und unabhängig voneinander sind. Dies ist für die Normalverteilung der Fall. Im Anhang ist eine Nivellierungsfunktion für die Normalverteilung zu finden.

Der Nivellierungsgrad soll minimal null werden, da keine Verstärkung der Varianz erwünscht ist. Ein Nivellierungsgrad von null bedeutet, dass die Bestellmenge nicht nivelliert ist und dem Bedarf entspricht. Maximal kann der Nivellierungsgrad eins werden, was vollständige Nivellierung bedeutet. Die Bestellmenge ist demnach konstant gleich dem Erwartungswert des Bedarfs.

Auf der einen Seite bedeutet ein Nivellierungsgrad größer als null, dass die Varianz der Bestellmenge kleiner als die des Bedarfs ist, sodass auch die benötigte Transportkapazität sinkt. Mit steigendem Nivellierungsgrad fällt die Varianz der Bestellmenge und auch die benötigte Transportkapazität. Auf der anderen Seite entsteht durch einen Nivellierungsgrad größer als null eine Differenz zwischen Bestellmenge und Bedarf. Diese Differenz wird mit steigendem Nivellierungsgrad größer und muss durch einen größeren Sicherheitsbestand ausgeglichen werden.

Um das Modell zu vervollständigen werden die Sicherheitsbestandskosten als Produkt aus Lagerkostensatz h_i und Sicherheitsbestand l_i , der abhängig von der Entscheidungsvariable Nivellierungsgrad η_i ist, beschrieben. Damit ergibt sich das allgemeingültige Modell in der stochastischen Chance-Constraint-Formulierung zu:

$$\min_{x, \eta} \sum_k \sum_{i,j} c_{ij} x_{ijk} + \sum_i h_i \cdot l_i(\eta_i) \quad (8)$$

u. d. N.

$$P \left(\sum_{i,j} \Gamma_i(D_i, \eta_i) x_{ijk} \leq Q \right) \geq 1 - \alpha, \text{ für alle } k=1..m, \quad (9)$$

$$x = [x_{ijk}] \in S_m, \eta = [\eta_i] \in [0,1]^n. \quad (10)$$

In der Zielfunktion (8) wird die Summe aus Transportkosten und Sicherheitsbestandskosten minimiert. In der Kapazitätsbedingung (9) wird im Unterschied zu (2) der Bedarf durch die Bestellmenge ersetzt, die von Bedarf und Nivellierungsgrad abhängig ist. In Nebenbedingung (10) wird analog zu (3) gefordert, dass x eine zulässige Lösung des m -TSP ist. Zusätzlich wird in (10) noch der Wertebereich für den Nivellierungsgrad angegeben. Dieses Modell ist allgemeingültig, da die Annahmen (5)-(7) zum funktionalen Zusammenhang zwischen der Bestellmenge und dem Bedarf keine Bedeutung für die Modellformulierung haben.

Zur Lösungsfindung ist das Modell (8)-(10) nicht geeignet, da die Sicherheitsbestandskosten in der Zielfunktion (8) nur implizit beschrieben und die Nebenbedingungen (9) stochastisch formuliert sind. Aus diesem Grund wird Modell (8)-(10) im folgenden Abschnitt unter der Annahme der Normalverteilung in ein explizites äquivalentes deterministisches Modell umgeformt.

4 Deterministische Modellformulierung

Im ersten Schritt soll gezeigt werden, wie das Ausgangsmodell (1)-(3) von Stewart et al.¹⁸ in ein äquivalentes deterministisches Modell umgeformt werden kann. Im zweiten Schritt wird gezeigt, wie dieses Vorgehen auf das Modell (8)-(10) angewendet werden kann. Im letzten Schritt wird der Sicherheitsbestand in Abhängigkeit des Bedarfs explizit bestimmt.

¹⁸ Vgl. Stewart et al. (1983), S. 374.

Seien die Bedarfe D_i stochastisch unabhängig voneinander und existiert eine Konstante z , so dass gilt:

$$P \left(\frac{\sum_{i,j} D_i \cdot x_{ijk} - \sum_{i,j} \mu_i \cdot x_{ijk}}{\left(\sum_{i,j} \sigma_i^2 \cdot x_{ijk}^2 \right)^{1/2}} \leq z \right) = 1 - \alpha, \quad (11)$$

dann kann die stochastische Nebenbedingung (2) durch die deterministische Ungleichung

$$\sum_{i,j} \mu_i \cdot x_{ijk} + z \cdot \left(\sum_{i,j} \sigma_i^2 \cdot x_{ijk}^2 \right)^{1/2} \leq Q, \text{ für alle } k=1..m, \quad (12)$$

ersetzt werden.¹⁹ Im Allgemeinen ist aber z nicht unabhängig von x . Die Unabhängigkeit gilt wenn

$$\frac{\sum_{i,j} D_i \cdot x_{ijk} - \sum_{i,j} \mu_i \cdot x_{ijk}}{\left(\sum_{i,j} \sigma_i^2 \cdot x_{ijk}^2 \right)^{1/2}} \quad (13)$$

die gleiche Verteilung besitzt wie

$$\frac{D_i - \mu_i}{\sigma_i}.^{20} \quad (14)$$

Dies gilt insbesondere für faltungsinvariante Verteilungen, wie Poisson-, Binomial-, Chi-Quadrat- und Normalverteilung. Bei normverteilter Bedarf entspricht z in Ungleichung (12) dem $(1-\alpha)$ -Quantil der Standardnormalverteilung.

Dieses Vorgehen kann auch auf die Ungleichung (9) angewendet werden, denn in (7) wird verlangt, dass die Bestellmenge der gleichen Verteilungsklasse wie der Bedarf angehören soll. So kann unter der Annahme eines normalverteilten Bedarfs auch von einer normalverteilten Bestellmenge ausgegangen werden. Mit dem Wissen, dass $x_{ijk}^2 = x_{ijk}$ ergibt sich folgende zu (9) äquivalente deterministische Ungleichung:

$$\sum_{i,j} \mu_i \cdot x_{ijk} + z_{1-\alpha}^{N(0,1)} \cdot \left(\sum_{i,j} (1 - \eta_i) \cdot \sigma_i^2 \cdot x_{ijk} \right)^{1/2} \leq Q, \text{ für alle } k=1..m. \quad (15)$$

Der erste Summand in Ungleichung (15) ist unabhängig vom Nivellierungsgrad. Er beschreibt die Summe der Erwartungswerte für Zulieferer, die dem Fahrzeug k in einer Tour zugeordnet sind. Unter der naheliegenden Annahme, dass die Wahrscheinlichkeit

¹⁹ Vgl. Vajda (1972), S. 80–81.

²⁰ Vgl. Vajda (1972), S. 81.

der Überschreitung der Transportmittelkapazität α kleiner als 50% ist, ist der zweite Summand positiv. Damit muss die Kapazitätsrestriktion (15) mindestens für die Erwartungswerte der Bedarfe der entsprechenden Tour gelten.

Der zweite Summand ist vom Nivellierungsgrad abhängig und repräsentiert den Teil der benötigten Transportkapazität, der auf Grund der Unsicherheit des Bedarfs resultiert. Mit steigendem Nivellierungsgrad wird der zweite Summand der Ungleichung (15) kleiner. Damit wird auch die beanspruchte Transportkapazität kleiner.

Im folgenden letzten Schritt wird der Sicherheitsbestand in Abhängigkeit vom Nivellierungsgrad bestimmt. Im Allgemeinen ergibt sich für einen beliebig normalverteilten Bedarf X bei einem alpha-Servicegrad von $(1 - \beta)$ der Sicherheitsbestand SB wie folgt

$$SB = z_{1-\beta}^{N(0,1)} \cdot \sqrt{Var(X)}.^{21} \quad (16)$$

Da aber in Abhängigkeit vom Bedarf bestellt wird, muss nur Sicherheitsbestand für die Differenz aus Bedarf und Bestellmenge aufgebaut werden. Umso geringer diese Differenz ist (d.h. je geringer die Nivellierung), desto geringer ist auch der benötigte Sicherheitsbestand. Damit ergibt sich der benötigte Sicherheitsbestand l_i zu:

$$l_i = z_{1-\beta}^{N(0,1)} \cdot \sqrt{Var(D_i - \Gamma_i)}. \quad (17)$$

Auf Grund der komplexen nichtlinearen Abhängigkeit der Bestellmenge Γ_i vom Bedarf D_i kann die Varianz von $(D_i - \Gamma_i)$ nicht exakt bestimmt werden. Daher wird eine obere Schranke für die Varianz von $(D_i - \Gamma_i)$ ermittelt. Die Berechnung der oberen Schranke ist dem Anhang zu entnehmen. Die obere Schranke in Gleichung (18) wird zur weiteren Berechnung des Sicherheitsbestandes verwendet. Sie stellt eine gute Annäherung dar. Für einen Nivellierungsgrad η_i gleich null (d.h. keine Nivellierung) ist auch der Sicherheitsbestand gleich null. Bei einem Nivellierungsgrad η_i gleich eins (d.h. vollständige Nivellierung) ergibt sich hingegen ein Sicherheitsbestand in Höhe des Sicherheitsbestandes des Bedarfs.

$$l_i \approx z_{1-\beta}^{N(0,1)} \cdot \sqrt{1 + (1 - \eta_i) - 2\sqrt{1 - \eta_i}} \cdot \sigma_i. \quad (18)$$

Insgesamt ergibt sich unter Annahme der Normalverteilung des Bedarfs das Modell (8)-(10) zu

$$\min_{x, \eta} \sum_k \sum_{i,j} c_{ij} x_{ijk} + \sum_i h_i \cdot z_{1-\beta}^{N(0,1)} \cdot \sqrt{1 + (1 - \eta_i) - 2\sqrt{1 - \eta_i}} \cdot \sigma_i \quad (19)$$

u. d. N.

$$\sum_{i,j} \mu_i x_{ijk} + z_{1-\alpha}^{N(0,1)} \cdot \left(\sum_{i,j} (1 - \eta_i) \cdot \sigma_i^2 \cdot x_{ijk} \right)^{1/2} \leq Q, \text{ für alle } k=1..m, \quad (20)$$

$$x = [x_{ijk}] \in S_m, \eta = [\eta_i] \in [0, 1]^n. \quad (21)$$

²¹ Vgl. Silver et al. (1998), S. 244.

Bei einem Nivellierungsgrad von null ist das Modell äquivalent zum stochastischen VRP in der Chance-Constraint-Formulierung von Stewart et al.²² (Modell (1)-(3)). Bei einem Nivellierungsgrad von eins hingegen entspricht es einem deterministischen IRP, in dem Tourenplan und Sicherheitsbestand unabhängig voneinander bestimmt werden, ähnlich den Modellen von Gaur et al.²³ und Custódio et al.²⁴. Liegt der Nivellierungsgrad zwischen null und eins, zeigt sich der oben beschriebene Zielkonflikt zwischen Transportkapazität und Sicherheitsbestand.

Die Modellformulierung (19)-(21) beschreibt ein nichtlineares deterministisches Optimierungsproblem. Die Nichtlinearität betrifft sowohl die Zielfunktion als auch die Nebenbedingungen. Dies macht dieses NP-schwere Problem selbst für kleine Instanzen sehr schwer lösbar. Aus diesem Grund soll im folgenden Kapitel auf eine geeignete Lösungsstrategie eingegangen werden.

5 Lösungsstrategie für die deterministische Modellformulierung

Da das vorgestellte Modell (19)-(21) die Integration von Losgrößen- und Tourenplanung darstellt, ist die Dekomposition des Problems ein naheliegender Weg zur Reduktion der Komplexität. Daher wird das Modell (19)-(21) in Losgrößen- und Tourenplanung dekomponiert. Das Losgrößenproblem vereinfacht sich für eine vorgegebene Tour T zu

$$\min_{\eta} \sum_{i \in T} h_i \cdot z_{1-\beta}^{N(0,1)} \cdot \sqrt{1 + (1 - \eta_i) - 2\sqrt{1 - \eta_i}} \cdot \sigma_i \quad (22)$$

u. d. N.

$$\sum_{i \in T} (1 - \eta_i) \cdot \sigma_i^2 \leq \tilde{Q} = \left(\frac{Q - \sum_{i \in T} \mu_i}{z_{1-\alpha}^{N(0,1)}} \right)^2, \quad (23)$$

$$\eta = [\eta_i] \in [0, 1]^n. \quad (24)$$

In der Zielfunktion (22) werden auf Grund der fixierten Tour nur noch die Sicherheitsbestandskosten betrachtet. Die Nebenbedingung (20) vereinfacht sich durch Umformung in die lineare Nebenbedingung (23). Dabei ist zu beachten, dass diese Umformung nur gültig ist, wenn das Quantil $z_{1-\alpha}^{N(0,1)}$ größer als null ist. Dies ist genau dann der Fall, wenn die Wahrscheinlichkeit der Kapazitätsüberschreitung α kleiner als 50% ist. Wie oben beschrieben ergibt sich hieraus keine Einschränkung für die Praxis. Als Entscheidungsvariable verbleibt nur noch der Nivellierungsgrad (siehe (24)). Insgesamt ergibt sich ein nichtlineares Optimierungsproblem, in dem nur die Zielfunktion nichtlinear ist. Solche Probleme lassen sich effizient optimal lösen z.B. mit sequentieller quadratischer Programmierung.

²² Vgl. Stewart et al. (1983), S. 371–385.

²³ Vgl. Gaur et al. (2004), S. 813–822.

²⁴ Vgl. Custódio et al. (2006), S. 169–187.

Die Lösung aus dem Losgrößenproblem kann in das Tourenplanungsproblem integriert werden. Das Tourenplanungsproblem gehört aber zur Klasse der NP-schweren Probleme. Damit ist die Ermittlung eines optimalen Tourenplans bei bekanntem Nivellierungsgrad nur für kleine Instanzen effizient lösbar. Für größere Probleme bieten sich Heuristiken an. Viele Heuristiken für das VRP sind für das Modell (19)-(21) adaptierbar. So fern die Kapazitätsrestriktion nicht für die Lösungssuche benutzt wird, muss nur in der Auswertung der Kapazitätsrestriktion die Lösung des Losgrößenproblems (22)-(24) mit betrachtet werden. Auf diese Weise lässt sich z.B. die Savings-Heuristik²⁵ für das Problem adaptieren.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass trotz der Nichtlinearität in Zielfunktion und Nebenbedingung das vorgestellte Modell (19)-(21) mittels Standardheuristiken durch Dekomposition gelöst werden kann.

6 Beispiel

Das folgende Beispiel verdeutlicht den Zusammenhang zwischen Nivellierungsgrad, Transportkapazitäten und Sicherheitsbestand. Abbildung 2 zeigt das betrachtete Zuliefernetzwerk mit den entsprechenden Transportkosten zwischen den einzelnen Knoten. Knoten 0 stellt das Werk des Automobilherstellers und die Knoten 1 bis 5 die Zulieferer dar. Jeder Zulieferer produziert und liefert genau ein Teil. Der Bedarf der einzelnen Teile ist normalverteilt. Teil 1 und 2 haben einen Erwartungswert von fünf und eine Varianz von eins. Teil 3 hat einen Erwartungswert von fünf und eine Varianz von vier. Und Teil 4 und 5 haben einen Erwartungswert von zehn und eine Varianz von vier.

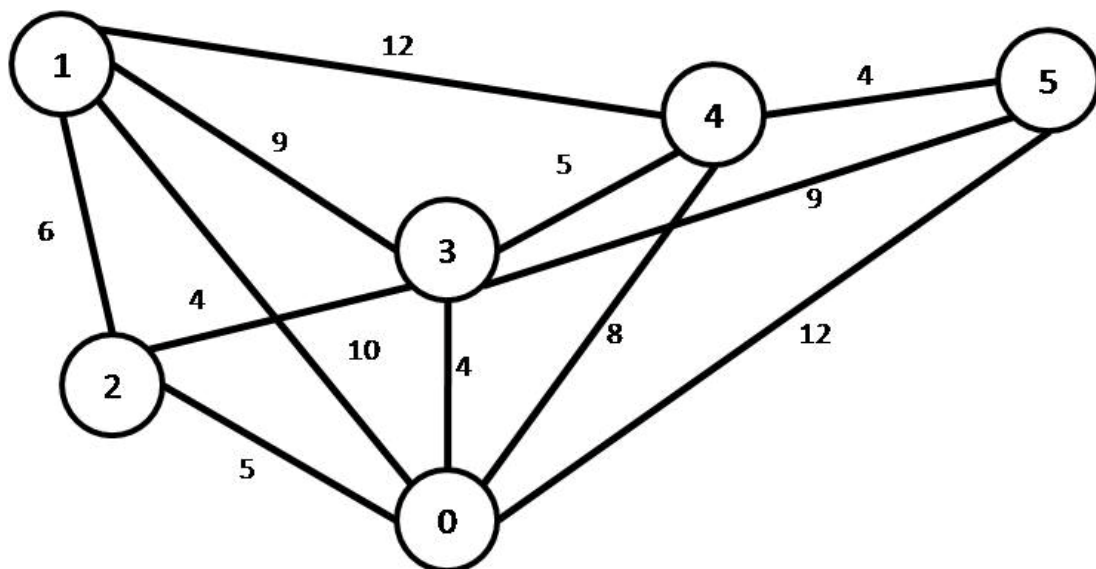


Abb. 2: Zuliefernetzwerk mit Transportkosten nach Stewart et al.²⁶

²⁵ Vgl. Clarke et al. (1964), S. 568–581.

²⁶ Vgl. Stewart et al. (1983), S. 376.

Es stehen zwei Fahrzeuge mit je 30 Einheiten Kapazität zur Verfügung. Die Wahrscheinlichkeit, dass die Kapazitätsrestriktion verletzt wird, soll kleiner als 5% sein ($\alpha=0,05$). Für einen alpha-Servicegrad von 99% soll für alle Teile Sicherheitsbestand aufgebaut werden ($\beta=0,01$). Der Lagerkostensatz beträgt für alle Teile 0,5 Geldeinheiten. Die optimale Lösung, die Lösung ohne Nivellierung und die Lösung bei vollständiger Nivellierung sind der Tabelle 1 zu entnehmen.

Nivellierungsgrad	Tour	Stopps	Transportmenge	Transportkosten	Sicherheitsbestandskosten	Gesamtkosten
$\eta_i = 0, i = 1, 2, 3$	1	1, 2, 3	19,03	24	0	24,00
$\eta_i = 0, i = 4, 5$	2	4, 5	24,65	24	0	24,00
(keine Nivellierung)		Total	43,68	48	0	48,00
$\eta_i^* = 0, i = 1, 2$	1	1, 2	12,33	21	0	21,00
$\eta_i^* \approx 0,23, i = 3, 4, 5$	2	3, 4, 5	30,00	25	0,85	25,85
(Optimale Lösung)		Total	42,33	46	0,85	46,85
$\eta_i = 1, i = 1, 2$	1	1, 2	10,00	21	2,33	23,33
$\eta_i = 1, i = 3, 4, 5$	2	3, 4, 5	25,00	25	6,98	31,98
(vollst. Nivellierung)		Total	35,00	46	9,31	55,31

Tab. 1: Überblick Lösungen Beispiel

Ohne Nivellierung wird Tour 1 mit den Stopps 1, 2, 3, und die Tour 2 mit den Stopps 4 und 5 gewählt. Die Tour mit den Stopps 3, 4 und 5 ist nicht möglich, da die Summe der Teile mit rund 30,70 die Transportmittelkapazität von 30 überschreitet. Die Unsicherheit des Bedarfs wird alleinig durch eine erhöhte Transportkapazität ausgeglichen. Dies entspricht der Lösung für das stochastische VRP in der Chance-Constraint-Formulierung.

Durch Nivellierung kann erreicht werden, dass die Unsicherheit des Bedarfs verstärkt durch Sicherheitsbestand ausgeglichen wird. Da die Lagerkosten für alle Teile gleich sind, sind die Nivellierungsgrade von Teil 3, 4 und 5 in der optimalen Lösung gleich groß. Die Nivellierung führt dazu, dass die Transportkapazität für die Tour mit den Stopps 3, 4 und 5 nicht mehr überschritten wird. Dies führt zu Einsparungen bei den Transportkosten von 2 Geldeinheiten. Im Gegenzug werden aber Sicherheitsbestände benötigt um die Differenz zwischen Bedarf und Bestellmenge auszugleichen. Diese Sicherheitsbestandskosten von 0,85 Geldeinheiten sind jedoch geringer als die Ersparnis bei den Transportkosten. Damit führt dies zu einer besseren und insgesamt optimalen Gesamtlösung.

Zum Vergleich sei einmal die Lösung bei vollständiger Nivellierung in Tabelle 1 dargestellt. Dies entspricht der Lösung eines IRPs mit vom Tourenplan unabhängiger Sicherheitsbestandskalkulation. Zwar können auch hier Transportkosten gesenkt werden, aber die Sicherheitsbestandskosten sind viel höher als bei der optimalen Lösung. Damit zeigt sich beispielhaft die Vorteilhaftigkeit einer (teilweisen) Nivellierung.

7 Schlussbetrachtung

In diesem Beitrag wird die Losgrößen- und Tourenplanung integriert, um die Teilelogistik in der Automobilindustrie zu nivellieren. Das vorgestellte Optimierungsmodell quantifiziert die Auswirkungen der Nivellierung auf Transport- und Lagerkosten bei unsicheren Bedarfen. Es kann gezeigt werden, dass dieses nichtlineare Optimierungsmodell mittels Dekomposition und Standardheuristiken für das VRP lösbar ist. Durch die simultane Betrachtung von Transportkapazitätsflexibilität und Sicherheitsbestand in Abhängigkeit von der Nivellierung wird in einem Beispiel gezeigt, dass bessere Lösungen gefunden werden als bei den bisherigen Ansätzen.

Weiterer Forschungsbedarf besteht zum einen im wissenschaftlichen Bereich und zum anderen in der Praxisanwendung. Aus wissenschaftlicher Sicht muss ein effizientes und effektives Lösungsverfahren für das vorgestellte Modell entwickelt werden. Im Bezug zur Praxis ist die Annahme über die Normalverteilung der Bedarfe empirisch zu überprüfen. Darüberhinaus ist ein wesentlicher Punkt die Quantifizierung der Auswirkungen der Nivellierung in der Praxis über Transportkapazitäten und Sicherheitsbestände hinaus, denn durch eine nivellierte und damit verstetigte Teilelogistik ist der Koordinationsaufwand geringer. Dies lässt sich aber in Abhängigkeit der Nivellierung sehr schwer bestimmen. Des Weiteren verringern sich die Sicherheitsbestände bei den Zulieferern durch die Nivellierung der Bestellmengen, da zum Ausgleich der weniger stark schwankenden Bestellmengen auch weniger Sicherheitsbestände erforderlich sind. Dies setzt sich auf die nachfolgenden Stufen von Zulieferern fort. Aber auch hier ist eine Quantifizierung der Vorteile durch die Nivellierung schwierig, da ein (finanzieller) Ausgleich entlang der Wertschöpfungskette bis zum Automobilhersteller erfolgen müsste. Insgesamt wird daher durch den vorgestellten Ansatz die positive Auswirkung der Nivellierung tendenziell unterschätzt.

8 Anhang

8.1 Notationen und Parameter

$$i, j = 1 \dots n,$$

$$n = \text{Anzahl Zulieferer/Teile},$$

$$i, j = 0 \leftrightarrow \text{Automobilwerk},$$

$$k = 1 \dots m,$$

$$m = \text{Anzahl Fahrzeuge},$$

$$c_{ij} = \text{Transportkosten von } i \text{ nach } j,$$

$$h_i = \text{Lagerkostensatz für Teil } i,$$

$$l_i = \text{Sicherheitsbestand von Teil } i,$$

$$S_m = \text{Menge aller zulässigen Lösungen für m-TSP},$$

$$T = \text{Gegebene Tour},$$

$$Q = \text{Transportmittelkapazität},$$

$$D_i = \text{Unsicherer Bedarf für Teil } i,$$

$$\Gamma_i = \text{Unsichere Bestellmenge für Teil } i,$$

$$\mu_i = \text{Erwartungswert des Bedarfs von Teil } i,$$

$$\sigma_i = \text{Standardabweichung des Bedarfs von Teil } i,$$

$$f() = \text{Nivellierungsfunktion},$$

$$\alpha = \text{Wahrscheinlichkeit der Kapazitätsüberschreitung},$$

$$\beta = \text{Sicherheitsniveau des Sicherheitsbestandes},$$

$$z_{1-\alpha}^{N(0,1)} = (1-\alpha)\text{-Quantil der Standardnormalverteilung},$$

$$z_{1-\beta}^{N(0,1)} = (1-\beta)\text{-Quantil der Standardnormalverteilung}.$$

8.2 Entscheidungsvariablen

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{wenn Fahrzeug } k \text{ von } i \text{ nach } j \text{ fährt,} \\ 0, & \text{sonst,} \end{cases}$$

$$\eta_i = \text{Nivellierungsgrad für } i.$$

8.3 Nivellierungsfunktion für Normalverteilung

Durch Gleichsetzen der Dichtefunktionen der Bestellmenge mit dem Bedarf unter den in (4)-(7) gegebenen Bedingungen ergibt sich für einen normalverteilten Bedarf folgender funktionaler Zusammenhang:

$$\Gamma_i = f(D_i, \eta_i) = \mu_i + \sqrt{1 - \eta_i} \cdot \sigma_i \sqrt{\left(\frac{D_i - \mu_i}{\sigma_i}\right)^2 - 2 \ln(\sqrt{1 - \eta_i})}, \quad \eta_i \in [0, 1)$$

$$\eta_i = 1, \text{ dann}$$

$$\Gamma_i = \mu_i.$$

8.4 Approximation des Sicherheitsbestandes für normalverteilte Bedarfe

$$\text{Var}(D_i - \Gamma_i) = \text{Var}(D_i) + \text{Var}(\Gamma_i) - 2\text{Cov}(D_i, \Gamma_i)$$

$$= \sigma_i^2 + (1 - \eta_i) \cdot \sigma_i^2 - 2\text{Cov}(D_i, \Gamma_i)$$

mit

$$\text{Cov}(D_i, \Gamma_i) = \text{Cov}\left(D_i, \mu_i + \sqrt{1 - \eta_i} \cdot \sigma_i \sqrt{\left(\frac{D_i - \mu_i}{\sigma_i}\right)^2 - 2 \ln(\sqrt{1 - \eta_i})}\right)$$

$$= \sqrt{1 - \eta_i} \cdot \sigma_i \cdot \text{Cov}\left(D_i, \sqrt{\left(\frac{D_i - \mu_i}{\sigma_i}\right)^2 + 2 \ln\left(\frac{1}{\sqrt{1 - \eta_i}}\right)}\right)$$

$$\geq \sqrt{1 - \eta_i} \cdot \sigma_i \cdot \text{Cov}\left(D_i, \sqrt{\left(\frac{D_i - \mu_i}{\sigma_i}\right)^2} + \sqrt{2 \ln\left(\frac{1}{\sqrt{1 - \eta_i}}\right)}\right)$$

$$= \sqrt{1 - \eta_i} \cdot \text{Cov}(D_i, D_i)$$

$$= \sqrt{1 - \eta_i} \cdot \sigma_i^2$$

folgt

$$\text{Var}(D_i - \Gamma_i) \leq \sigma_i^2 + (1 - \eta_i) \cdot \sigma_i^2 - 2\sqrt{1 - \eta_i} \cdot \sigma_i^2$$

$$z_{1-\beta}^{N(0,1)} \geq 0$$

$$\Leftrightarrow$$

$$l_i \leq z_{1-\beta}^{N(0,1)} \cdot \sqrt{1 + (1 - \eta_i) - 2\sqrt{1 - \eta_i}} \cdot \sigma_i$$

9 Literaturverzeichnis

- Adelman, D. (2004): A price-directed approach to stochastic inventory/routing. In: *Operations Research*, Jg. 52, H. 4, S. 499–514.
- Andersson, H.; Hoff, A.; Christiansen, M.; Hasle, G.; Løkketangen, A. (2010): Industrial aspects and literature survey: Combined inventory management and routing. In: *Computers and Operations Research*, Jg. 37, H. 9, S. 1515–1536.
- Baita, F.; Ukovich, W.; Pesenti, R.; Favaretto, D. (1998): Dynamic routing-and-inventory problems: a review. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Jg. 32A, H. 8, S. 585–598.
- Bard, J. F.; Huang, L.; Jaillet, P.; Dror, M. (1998): A decomposition approach to the inventory routing problem with satellite facilities. In: *Transportation Science*, Jg. 32, H. 2, S. 189–203.
- Bassok, Y.; Ernst, R. (1995): Dynamic allocations for multi-product distribution. In: *Transportation Science*, Jg. 29, H. 3, S. 256–266.
- Bäumann, L. (28.01.2010): Stabilisierung von Produktionsprogrammen – Aktivitäten zur Absicherung von Prognosemodellen. Veranstaltung vom 28.01.2010, aus der Reihe "8. Branchenforum Automobil-Logistik". Sindelfingen.
- Bell, W. J.; Dalberto, L. M.; Fisher, M. L.; Greenfield, A. J.; Jaikumar, R.; Kedia, P.; Mack, R. G.; Prutzman, P. J. (1983): Improving the Distribution of Industrial Gases with an On-line Computerized Routing and Sheduling Optimizer. In: *Interfaces*, Jg. 13, H. 6, S. 4–23.
- Berman, O.; Larson, R. C. (2001): Deliveries in an inventory/routing problem using stochastic dynamic programming. In: *Transportation Science*, Jg. 35, H. 2, S. 192–213.
- Clarke, G.; Wright, J. W. (1964): Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. In: *Operations Research*, Jg. 12, H. 4, S. 568–581.
- Custódio, A. L.; Oliveira, C. (2006): Redesigning distribution operations: A case study on integrating inventory management and vehicle route design. In: *International Journal of Logistics: Research and Applications*, Jg. 9, H. 2, S. 169–187.
- Dechantsreiter, H. (28.01.2010): Durchlaufzeit als Treiber der Prozesseffizienz. Chancen für die Akteure in der Supply Chain. Veranstaltung vom 28.01.2010, aus der Reihe "8. Branchenforum Automobil-Logistik". Sindelfingen.
- Dror, M.; Ball, M.; Golden, B. (1985): A computational comparison of algorithms for the inventory routing problem. In: *Annals of Operations Research*, Jg. 4, H. 1, S. 1–23.
- Federgruen, A.; Simchi-Levi, D. (1995): Analysis of vehicle routing and inventory-routing problems. In: *Handbooks in Operations Research and Management Science*, Jg. 8, H. C, S. 297–373.
- Federgruen, A.; Prastacos, G.; Zipkin, P. H. (1986): Allocation and Distribution Model for Perishable Products. In: *Operations Research*, Jg. 34, H. 1, S. 75–82.
- Federgruen, A.; Zipkin, P. (1984): A Combined Vehicle Routing and Inventory Allocation Problem. In: *Operations Research*, Jg. 32, H. 5, S. 1019–1037.
- Gaur, V.; Fisher, M. L. (2004): A periodic inventory routing problem at a supermarket chain. In: *Operations Research*, Jg. 52, H. 6, S. 813–822.
- Göpfert, I. (2009): Logistiknetze der Zukunft: das neue Hersteller-Zulieferer-Verhältnis in der Automobilindustrie. In: Göpfert, Ingrid (Hg.): *Logistik der Zukunft - Logistics for the future*. 5. Aufl. Wiesbaden: Gabler, S. 127–166.
- Herer, Y. T.; Levy, R. (1997): The metered inventory routing problem, an integrative heuristic algorithm. In: *International Journal of Production Economics*, Jg. 51, H. 1-2, S. 69–81.
- Hvattum, L. M.; Løkketangen, A.; Laporte, G. (2009): Scenario tree-based heuristics for stochastic inventory-routing problems. In: *INFORMS Journal on Computing*, Jg. 21, H. 2, S. 268–285.
- Hvattum, L. M.; Løkketangen, A. (2009): Using scenario trees and progressive hedging for stochastic inventory routing problems. In: *Journal of Heuristics*, Jg. 15, H. 6, S. 527–557.
- Kleywegt, A. J.; Nori, V. S.; Savelsbergh, M. W. P. (2002): The stochastic inventory routing problem with direct deliveries. In: *Transportation Science*, Jg. 36, H. 1, S. 94–118.

- Kleywegt, A. J.; Non, V. S.; Savelsbergh, M. W. P. (2004): Dynamic Programming Approximations for a Stochastic Inventory Routing Problem. In: *Transportation Science*, Jg. 38, H. 1, S. 42–70.
- Meyr, H. (2004): Supply chain planning in the German automotive industry. In: *OR Spectrum*, Jg. 26, H. 4, S. 447–470.
- Moin, N. H.; Salhi, S. (2007): Inventory routing problems: A logistical overview. In: *Journal of the Operational Research Society*, Jg. 58, H. 9, S. 1185–1194.
- Reiman, M. I.; Rubio, R.; Wein, L. M. (1999): Heavy traffic analysis of the dynamic stochastic inventory-routing problem. In: *Transportation Science*, Jg. 33, H. 4, S. 361–380.
- Silver, E. A.; Pyke, D. F.; Peterson, R. (1998): *Inventory management and production planning and scheduling*. 3. Aufl. New York, NY: Wiley.
- Stewart, W. R.; Golden, B. L. (1983): Stochastic vehicle routing: A comprehensive approach. In: *European Journal of Operational Research*, Jg. 14, H. 4, S. 371–385.
- Trudeau, P.; Dror, M. (1992): Stochastic inventory routing: Route design with stockouts and route failures. In: *Transportation Science*, Jg. 26, H. 3, S. 171–184.
- Vajda, S. (1972): *Probabilistic programming*. New York, NY [u.a.]: Academic Press.

Optimale Bestellmengen im Newsvendor-Modell unter Einbeziehung zukünftiger Auswirkungen von Fehlmengen

Marko Schneider

Friedrich-Schiller-Universität Jena,
Lehrstuhl für Wirtschafts- und Sozialstatistik,
Carl-Zeiß-Straße 3, 07743 Jena,
marko.schneider@wiwi.uni-jena.de

Zusammenfassung

Empirische und experimentelle Ergebnisse stimmen häufig nicht mit der Lösung des klassischen Newsvendor-Modells überein und legen den Einbezug weiterer Kriterien bei der Bestimmung der Bestellmenge nahe. Als Alternative zur Berücksichtigung zusätzlicher Kriterien als Nebenbedingungen wird ein zweiperiodiges Modell vorgeschlagen, das zukünftige Auswirkungen einer Bestellmengenentscheidung direkt berücksichtigt. Insbesondere wird angenommen, dass die Nachfragen sowie die Gewinne beider Perioden abhängig sind.

1 Einführung

1.1 Das klassische Newsvendor-Modell

Das klassische Newsvendor-Modell¹ ist ein grundlegendes Modell des Operational Research und dient der Bestimmung optimaler Bestellmengen. Es betrachtet eine einzelne Verkaufsperiode eines bestimmten Produktes. Ein Unternehmer, typischerweise ein Einzelhändler, legt die Bestellmenge y_X des Produktes noch vor Kenntnis der Ausprägung der zufälligen Nachfrage fest. Die Nachfrage X sei stetig mit bekannter Verteilung, begrenztem Wertebereich $X \in [x_{\min}, x_{\max}]$ und streng monoton wachsender Verteilungsfunktion F_X . Zudem wird angenommen, dass die Dichtefunktion f_X der Nachfrage unimodal und im Intervall $[0, x_{\max}[$ differenzierbar ist. Beispielsweise erfüllt eine nach oben gestutzte Weibullverteilung die getroffenen Annahmen.

Aus der Zufälligkeit der Nachfrage resultiert eine Fehlmenge, so dass die Bestellmengenentscheidung ein Abwägen zwischen dem erwarteten Unter- und dem erwarteten Überbestand ist. Zur Gewichtung der erwarteten Fehlmengen werden der Einkaufspreis c , der Verkaufspreis p und der Abverkaufspreis z ($p > c > z$) herangezogen. Als Zielfunktion dient der erwartete Gewinn; dessen Maximierung führt zur optimalen Bestellmenge

$$y_X^{\text{cl}} = F_X^{-1} \left(\frac{p - c}{p - z} \right), \quad (1)$$

welche sich im Wertebereich der Nachfrage X befindet.

In einer empirischen Studie² wurde jedoch festgestellt, dass die Gewichtung der erwarteten Fehlmengen in der Realität eine höhere Komplexität aufweist als allein anhand der Preise p , c und z . Eine mögliche Erklärung ist, dass zusätzliche Entscheidungskriterien in die Bestimmung der Bestellmenge einfließen. Beispielsweise wären Auswirkungen von Unter- und Überbestand, die über den erwarteten Gewinn der aktuellen Periode hinaus gehen, solche zusätzlichen, die Komplexität erhöhenden Kriterien.

Des Weiteren lagen die in einer experimentellen Studie³ beobachteten Bestellmengen deutlich näher an der erwarteten Nachfrage als die Lösung y_X^{cl} des klassischen Newsvendor-Modells. Die Autoren begründen dieses Ergebnis mit einer möglichen Präferenz der Entscheider zur Fehlmengenreduktion. Auch dies würde bedeuten, dass den (erwarteten) Fehlmengen in der Realität eine größere Bedeutung zukommt, als durch die Zielfunktion des klassischen Newsvendor-Modells vorgesehen.

Zudem wird in der Literatur⁴ kritisiert, dass die Bestellmenge y_X^{cl} zu realitätsfernen Ausprägungen wichtiger Leistungskennzahlen führen kann.

¹ Vgl. z. B. Hopp/Spearman (2001), S. 65 ff.; Cachon/Terwiesch (2009), S. 220 ff.

² Vgl. Corbett/Fransoo (2007), S. 12 ff.

³ Vgl. Schweitzer/Cachon (2000), S. 410 ff.

⁴ Vgl. Cachon/Terwiesch (2009), S. 246.

Diese Erkenntnisse sowie Einwände bezüglich bestimmter Modellannahmen führten zur Entwicklung zahlreicher Erweiterungen des klassischen Modells: Zum Beispiel wurden dem erwarteten Gewinn als Zielfunktion Nebenbedingungen hinzugefügt⁵ oder mehrere Perioden betrachtet⁶.

1.2 Newsvendor-Modelle mit Nebenbedingungen

Nebenbedingungen begrenzen die Ausprägung wichtiger Leistungskennzahlen. Beispiele solcher zusätzlichen Kriterien sind die Wahrscheinlichkeit von Fehlmengen beziehungsweise von daraus resultierenden Verlusten sowie das erwartete Ausmaß derselben. Der Vorgabe von Nebenbedingungen liegt die Annahme zu Grunde, dass dadurch zukünftige Auswirkungen der heutigen Bestellmengenentscheidung verhindert und die Verkaufsperioden weiterhin isoliert betrachtet werden können. Die Festlegung entsprechender Grenzen für die Leistungskennzahlen ist jedoch schwierig.

2 Ein zweiperiodiges Newsvendor-Modell

In Anlehnung an die empirischen und experimentellen Ergebnisse sowie an die Modellvariation durch Nebenbedingungen sollen zusätzliche Kriterien in die Entscheidungsfindung einfließen. Ungünstige Ausprägungen dieser Kriterien können langfristig negative Konsequenzen nach sich ziehen, die es zu verringern gilt. Zum Beispiel wird bei zu geringer Bestellmenge nur ein Teil der Nachfrage bedient, was zur Enttäuschung von Kunden und so zur Verringerung von zukünftiger Nachfrage und zukünftigem Gewinn führen kann. Eine zu große Bestellmenge verursacht möglicherweise einen erheblichen Verlust und in der Folge die Geschäftsaufgabe beziehungsweise Insolvenz; zukünftiger Gewinn entfiere vollständig.

Als Alternative zur Ergänzung der Zielfunktion um Nebenbedingungen, beispielsweise einer Untergrenze für den erwarteten Anteil befriedigter Nachfrage und einer Obergrenze für die Wahrscheinlichkeit einer Insolvenz, sollen im vorliegenden Ansatz die Konsequenzen *direkt* in einem *zweiperiodigen* Modell berücksichtigt werden. Genauer formuliert fließen damit nicht zusätzliche Kriterien, sondern zusätzlich die *langfristigen* Auswirkungen der Bestellmengenentscheidung in die Entscheidungsfindung ein. Die *kurzfristigen* Auswirkungen auf den Gewinn der aktuellen Periode sind hingegen im klassischen Newsvendor-Modell bereits berücksichtigt.

2.1 Grundidee

Die Ausprägungen von Knappheit und Restbestand in Periode 1 werden wesentlich durch die Bestellmengenentscheidung in Periode 1 bestimmt und wirken sich zweifach auf den Gewinn der Folgeperiode aus: Zum einen wird durch eine kleinere Bestell-

⁵ Vgl. z. B. Lin/Kroll (1997), S. 563 f.; Jammerneegg/Kischka (2008), S. 4 und 10; Zhang/Xu/Wu (2009), S. 421 ff.

⁶ Vgl. z. B. Ding/Puterman/Bisi (2002), S. 518 ff.; Matsuyama (2006), S. 171 ff.; Ahmed/Çakmak/Shapiro (2007), S. 234 ff..

menge in Periode 1 eine durch Enttäuschung verursachte Reduktion zukünftiger Nachfrage wahrscheinlicher, zum anderen wird eine durch Verlust ausgelöste Geschäftsaufgabe unwahrscheinlicher. Die Nachfrage in Periode 1 hat eine entgegengesetzte Wirkung, entzieht sich im Rahmen dieses Modells jedoch der Einflussnahme. Der vorliegende Ansatz nimmt somit explizit an, dass die Nachfragen sowie die Gewinne beider Perioden *abhängig* sind, und unterscheidet sich damit von einem Großteil⁷ der mehrperiodigen Newsvendor-Modelle in der Literatur.

Es wird von einem einzelnen Produkt mit zwei Verkaufsperioden ausgegangen. In Periode 1 wird die Bestellmenge y_X vor dem Auftreten der zufälligen Nachfrage X festgelegt. Für letztere gelten die Annahmen aus dem klassischen Newsvendor-Modell. In Periode 2 wird die zufällige Nachfrage mit $Z = (Z | y_X, X)$ bezeichnet; sie sei ebenso stetig mit begrenztem Wertebereich $(Z | y_X, x) \in [(z_{\min} | y_X, x), (z_{\max} | y_X, x)]$ ($z_{\min} > 0$) und streng monoton wachsender Verteilungsfunktion $F_{(Z | y_X, x)}$. Insbesondere sind die Nachfragen X und $(Z | y_X, X)$ nicht unabhängig. Die Verteilung von Z ist erst zu Beginn der Periode 2 bekannt; die Kleinschreibung von x kennzeichnet die dann geltende Kenntnis dieser Nachfragerealisation.

Nicht bediente Nachfrage der Periode 1 kann nicht für die Periode 2 zurückgestellt werden; Restbestand der Periode 1 wird zum Preis z abverkauft und kann nicht für die Periode 2 aufgehoben werden. Mit $\pi_1(y_X, X)$ wird der Gewinn der Periode 1 bezeichnet. Die Preise p , c und z werden als über beide Perioden konstant angenommen; $i \geq 0$ sei der Zinssatz bezüglich des zeitlichen Abstands beider Verkaufsperioden. Die Bestellmenge y_Z und die Nachfrage $(Z | y_X, X)$ bestimmen über den Gewinn $\pi_2(y_Z, (Z | y_X, X))$ der Periode 2. Die Zufallsvariable

$$\pi_{pV}(y_X, y_Z, X, (Z | y_X, X)) = \pi_1(y_X, X) + (1+i)^{-1} \cdot \pi_2(y_Z, (Z | y_X, X)) \quad (2)$$

ist der Barwert der Gewinne beider Perioden; dessen Erwartungswert soll durch die Bestellmengen maximiert werden.

2.2 Ansatz

Die Bestellmengenentscheidung y_X in Periode 1 wirkt sich zweifach auf die Periode 2 aus. Eine *erste Komponente* bewirkt die Abhängigkeit der (*beobachtbaren*) Nachfragen X und $(Z | y_X, X)$. Es wird unterstellt, dass in der Periode 2 zusätzlich zu $(Z | y_X, X)$ eine *potentielle* Nachfrage ε existiert; diese sei eine stetige Zufallsvariable mit begrenztem Wertebereich $\varepsilon \in [\varepsilon_{\min}, \varepsilon_{\max}]$ und streng monoton wachsender Verteilungsfunktion F_ε . Insbesondere seien die Nachfragen ε und X unabhängig mit bereits zu Beginn der Periode 1 bekannten Verteilungen. Folgender Zusammenhang zwischen der potentiellen Nachfrage ε und der beobachtbaren Nachfrage $(Z | y_X, X)$ wird angenommen:

⁷ Vgl. z. B. See/Sim (2010), S. 10 f..

$$(Z | y_X, X) = \varepsilon \cdot \min\left(\frac{y_X}{X}, 1\right) \quad (3)$$

beziehungsweise äquivalent

$$F_{(Z|y_X, X)}(s) = F_\varepsilon\left(\frac{s}{\min\left(\frac{y_X}{X}, 1\right)}\right) \quad (4)$$

mit dem Anteil befriedigter Nachfrage $\min(\frac{y_X}{X}, 1)$ in Periode 1. Die Zufallsvariablen $(Z | y_X, X)$ und ε unterscheiden sich nur bei Knappheit in Periode 1.

Zusätzlich zur zukünftigen Auswirkung von Knappheit modelliert eine *zweite Komponente* die mögliche Konsequenz von Restbestand für die Folgeperiode. Unter Vorgabe eines Überlebensniveaus $\bar{\pi} \leq 0$ wird unterstellt, dass die Geschäftstätigkeit in Periode 2 genau dann fortgeführt werden kann, wenn der Gewinn in Periode 1 diesen exogenen Schwellenwert erreicht oder überschreitet. Aus einer Unterschreitung von $\bar{\pi}$ würde $y_Z = 0$ als Bestellmenge und damit $\pi_2(y_Z, (Z | y_X, X)) = 0$ als Gewinn in Periode 2 folgen. Inhaltlich bedeutet dieser Ansatz, dass die finanziellen Mittel nicht zur Deckung von Fixkosten ausreichen, falls in Periode 1 ein erheblicher Verlust auftritt. Die Gewinne beider Perioden sind damit offensichtlich abhängig.

Die Bedingung für die Fortführung der Geschäftstätigkeit in Periode 2 kann bei gegebener Bestellmenge y_X als Funktion der Nachfrage X in Periode 1 angegeben werden (siehe Abschnitt 5.1):

$$\pi_1(y_X, X) \geq \bar{\pi} \Leftrightarrow X \geq \frac{c-z}{p-z} y_X + \frac{\bar{\pi}}{p-z} \quad (5)$$

Daraus folgt für die Wahrscheinlichkeit, die Geschäftstätigkeit in Periode 2 nicht fortsetzen zu können:

$$P(\pi_1(y_X, X) < \bar{\pi}) = F_X\left(\frac{c-z}{p-z} y_X + \frac{\bar{\pi}}{p-z}\right) \quad (6)$$

An dieser Stelle wird eine weitere Annahme getroffen, um die Konkavität der Zielfunktion in Periode 1 sicherzustellen: Der Modus x_{mod} der Nachfrage in Periode 1 sei innerhalb des Wertebereiches von X nicht zu nah an x_{min} bzw. nicht zu weit entfernt von x_{max} , genauer:

$$x_{\text{mod}} \geq \frac{c-z}{p-z} x_{\text{max}} + \frac{\bar{\pi}}{p-z} \quad (7)$$

Diese Annahme ist desto eher erfüllt, je größer die Profitabilität $\frac{p-c}{p-z}$ des Produktes und je kleiner der Schwellenwert $\bar{\pi}$ ist.

Die Bestellmengenentscheidungen erfolgen dynamisch nach Bellmans Optimalitätsprinzip: Die Bestellmenge y_X der Periode 1 wird unter der Annahme festgelegt, dass die Bestellmengenwahl y_Z der Periode 2 nach dem Bekanntwerden der Nachfragerrea-

lisation x optimal bezüglich des erwarteten Gewinns $E(\pi_2(y_Z, (Z | y_X, x)))$ erfolgt. Die Lösung erhält man durch *Rückwärtsinduktion*.

2.3 Ergebnisse

Zunächst interessiert die Bestellmengenentscheidung in Periode 2. Diese wird auf Grundlage der Kenntnis der Bestellmenge y_X , der Nachfragerealisation x sowie des Gewinns $\pi_1(y_X, x)$ der Periode 1 getroffen. Im Fall der Einstellung der Geschäftstätigkeit nach der Periode 1 ist die Lösung trivial: $(y_Z^* | y_X, x) = 0$. Im anderen Fall soll die Bestellmenge y_Z den erwarteten Gewinn $E(\pi_2(y_Z, (Z | y_X, x)))$ in Periode 2 maximieren. Da es die letzte Periode ist, entspricht die Lösung der des klassischen Modells (vgl. Formel (1)) bezogen auf die Verteilung der beobachtbaren Nachfrage $(Z | y_X, x)$. Gemäß Formel (4) kann die optimale Bestellmenge auch unter Verwendung der Verteilungsfunktion der potentiellen Nachfrage ε angegeben werden (siehe Abschnitt 5.2):

$$\begin{aligned} (y_Z^* | y_X, x) &= \begin{cases} F_{(Z|y_X, x)}^{-1} \left(\frac{p-c}{p-z} \right) & , \quad \pi_1(y_X, x) \geq \bar{\pi} \\ 0 & , \quad \pi_1(y_X, x) < \bar{\pi} \end{cases} \\ &= \begin{cases} \min \left(\frac{y_X}{x}, 1 \right) \cdot F_{\varepsilon}^{-1} \left(\frac{p-c}{p-z} \right) & , \quad \pi_1(y_X, x) \geq \bar{\pi} \\ 0 & , \quad \pi_1(y_X, x) < \bar{\pi} \end{cases} \end{aligned} \quad (8)$$

Die optimale Bestellmenge der Periode 2 überschreitet niemals $F_{\varepsilon}^{-1} \left(\frac{p-c}{p-z} \right)$ und liegt bei Fortführung der Geschäftstätigkeit im Wertebereich der Nachfrage $(Z | y_X, x)$.

Zum Beginn der Periode 1 ist die Nachfragerealisation x unbekannt; die optimale Bestellmenge der Periode 2 ist eine Funktion der Bestellmenge y_X und der Zufallsvariable X . Diese Funktion $(y_Z^* | y_X, X)$ gibt die zukünftige Bestellmengenpolitik an und wird in die Zielfunktion der Periode 1 eingesetzt (Rückwärtsinduktion). Damit verbleibt die Bestellmenge y_X der Periode 1 als einzige Entscheidungsvariable zur Maximierung des erwarteten Barwerts der Gewinne (siehe Abschnitt 5.3):

$$\begin{aligned} &E(\pi_{PV}(y_X, (y_Z^* | y_X, X), X, (Z | y_X, X))) \\ &= E(\pi_1(y_X, X)) + (1+i)^{-1} \cdot E(\pi_2((y_Z^* | y_X, X), (Z | y_X, X))) \\ &= (p-z) \cdot E(\min(y_X, X)) - (c-z) \cdot y_X \\ &\quad + (1+i)^{-1} \cdot w \cdot \left[E \left(\min \left(\frac{y_X}{x}, 1 \right) \right) - P(\pi_1(y_X, X) < \bar{\pi}) \right] \end{aligned} \quad (9)$$

Dabei ist w ein potentieller erwarteter Gewinn der Periode 2 bei Wahl der Bestellmenge $F_{\varepsilon}^{-1}(\frac{p-c}{p-z})$ und bei Vorliegen der Nachfrage ε (siehe Abschnitt 5.3); w ist konstant bezüglich der Bestellmenge y_X sowie größer null. Der von eckigen Klammern umgebene Term entspricht der Differenz aus dem erwarteten Anteil befriedigter Nachfrage in Periode 1 und der Wahrscheinlichkeit der Geschäftsaufgabe nach Periode 1. Dieser Korrekturfaktor nimmt bei Bestellmengen $y_X \in [x_{\min}, x_{\max}]$ Ausprägungen zwischen null und eins an. Es wird deutlich, dass der vorliegende Ansatz einem Newsvendor-Modell mit entsprechenden Nebenbedingungen sehr ähnlich ist; die langfristigen Auswirkungen der Bestellmengenentscheidung werden jedoch direkt berücksichtigt durch das Abwägen zwischen $E(\min(\frac{y_X}{X}, 1))$ und $P(\pi_1(y_X, X) < \bar{\pi})$ in der Zielfunktion.

Als optimale Bestellmenge der Periode 1 resultiert (siehe Abschnitt 5.4):

$$y_X^* = F_X^{-1} \left(\left(\frac{p-c}{p-z} \right) + (1+i)^{-1} \cdot \frac{w}{p-z} \cdot \left[(1 - F_X(y_X^*)) \cdot E\left(\frac{1}{X} \mid X \geq y_X^*\right) - \frac{c-z}{p-z} \cdot f_X\left(\frac{c-z}{p-z} y_X^* + \frac{\bar{\pi}}{p-z}\right) \right] \right) \quad (10)$$

Diese Lösung ist im Unterschied zu $(y_Z^* \mid y_X, x)$ nur implizit angegeben. Auch die optimale Bestellmenge y_X^* liegt im Wertebereich der zugehörigen Nachfrage. Der von eckigen Klammern umgebene Term entspricht der Differenz aus dem Anstieg des erwarteten Anteils befriedigter Nachfrage in Periode 1 und dem Anstieg der Wahrscheinlichkeit der Aufgabe der Geschäftstätigkeit nach Periode 1. Das Vorzeichen dieser Differenz entscheidet darüber, ob die Bestellmenge y_X^* kleiner oder größer als die Lösung des klassischen Newsvendor-Modells ist. Damit ist auch in der Lösung (10) das Abwägen zwischen den erwarteten zukünftigen Auswirkungen von Unter- und Überbestand ersichtlich. Sollte für die Bestellmenge y_X^* die Fortführung der Geschäftstätigkeit sicher sein, so ist y_X^* größer als die Lösung des klassischen Newsvendor-Modells.

2.4 Komparative Statik

Zur Bewertung der Lösungen (8) und (10) des vorliegenden Ansatzes ist deren Änderung bei Variation eines exogenen Parameters von Interesse. Insbesondere ist die Richtung der Änderung von Bedeutung, angezeigt durch das Vorzeichen der ersten Ableitung der jeweiligen optimalen Bestellmenge nach dem Parameter p , c , z , $\bar{\pi}$ oder i (siehe Abschnitt 5.5). Die Tabelle 1 enthält die Ergebnisse.

Parameter	Änderung der optimalen Bestellmenge	
	y_X^* (Periode 1)	$(y_Z^* y_X, x)$ (Periode 2 im Fall $\pi_1(y_X, x) \geq \bar{\pi}$)
p	> 0 für $y_X^* \geq y_X^{cl}$	> 0
c	< 0 für $y_X^* \geq y_X^{cl}$	< 0
z	> 0 für $y_X^* \geq y_X^{cl}$	> 0
$\bar{\pi}$	≤ 0	$= 0$
i	$\begin{cases} > 0 & , \quad y_X^* < y_X^{cl} \\ = 0 & , \quad y_X^* = y_X^{cl} \\ < 0 & , \quad y_X^* > y_X^{cl} \end{cases}$	$= 0$

Tab. 1: Änderung der optimalen Bestellmenge bei Änderung eines exogenen Parameters

Die Resultate für die Bestellmenge $(y_Z^* | y_X, x)$ unterscheiden sich nicht von denen, die man für die Bestellmenge y_X^{cl} im klassischen Newsvendor-Modell erhalten würde: Eine Erhöhung des Verkaufspreises p oder des Abverkaufspreises z bewirkt einen Anstieg der optimalen Bestellmenge, eine Erhöhung des Einkaufspreises c das Gegenteil. Die Ursache dafür ist, dass die Opportunitätskosten von Knappheit gegenüber den Kosten von Restbestand durch ein größeres p oder z stärker gewichtet werden (für ein größeres c umgekehrt). Da es keine Folgeperiode gibt, haben die Parameter $\bar{\pi}$ und i keinen Einfluss.

Die Ergebnisse für die Bestellmenge y_X^* sind nicht grundsätzlich verschieden, die Auswirkungen einer Parameteränderung sind jedoch komplexer. Eine Erhöhung des Verkaufspreises p erzeugt zum einen eine größere Gewichtung von Knappheit gegenüber Restbestand im Gewinn der Periode 1, zum anderen eine höhere Wahrscheinlichkeit der Fortführung der Geschäftstätigkeit nach der Periode 1. Beide Effekte wirken auf eine Erhöhung der Bestellmenge y_X^* hin. Der dritte Effekt einer Erhöhung von p ist jedoch die Erhöhung des Gewinns in Periode 2; sowohl die Gefahr enttäuschter Nachfrage als auch die der Geschäftsaufgabe nach Periode 1 wird damit in der Zielfunktion stärker gewichtet. Nur in dem Fall, dass der erwartete Anteil befriedigter Nachfrage in Periode 1 bei einer Bestellmengenerhöhung stärker steigt als die Wahrscheinlichkeit der Geschäftsaufgabe (siehe den von eckigen Klammern umgebenen Term in Formel (10)), wirkt der dritte Effekt in die gleiche Richtung wie die ersten beiden. Dies ist der Fall, wenn y_X^* die Bestellmenge y_X^{cl} im klassischen Newsvendor-Modell überschreitet oder dieser entspricht. Sonst ist die Richtung der Änderung von y_X^* bei einer Variation von p unbestimmt. Eine Erhöhung des Abverkaufspreises z

wirkt analog und eine Erhöhung des Einkaufspreises c entgegengesetzt. Ein größerer Schwellenwert $\bar{\pi}$ erhöht gegebenenfalls die Wahrscheinlichkeit der Geschäftsaufgabe und verringert in diesem Fall die optimale Bestellmenge y_x^* . Ein größerer Zinssatz i führt zu einer geringeren Gewichtung des Gewinns der zweiten Periode in der Zielfunktion (9), die optimale Bestellmenge y_x^* nähert sich in der Folge der Lösung y_x^{cl} des klassischen Newsvendor-Modells an.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die komparative Statik bezüglich der exogenen Modellparameter intuitive Ergebnisse liefert.

3 Fazit

Das vorliegende Modell knüpft an empirische und experimentelle Ergebnisse an, die den Einbezug zusätzlicher Kriterien in die Entscheidungsfindung nahe legen. Dem liegt die Tatsache zu Grunde, dass einzelne aufeinander folgende Verkaufsperioden zumeist nicht losgelöst voneinander betrachtet und deren Bestellmengen nicht unabhängig voneinander optimiert werden können, da die Bestellmengenentscheidungen Auswirkungen über die jeweils aktuelle Periode hinaus haben. Im vorgestellten Modell werden zwei entgegengesetzte Effekte bezüglich der Folgeperiode unterschieden: zum einen die Enttäuschung von Kunden durch eine zu geringe und zum anderen die eventuelle Geschäftsaufgabe aufgrund einer zu großen Bestellmenge. Beide Ereignisse können den Gewinn der Folgeperiode verringern, haben jedoch entgegengesetzte Implikationen für die Bestellmenge der aktuellen Periode.

Der vorgestellte Ansatz unterscheidet sich von Newsvendor-Modellen mit Nebenbedingungen, da die zukünftigen Auswirkungen der Bestellmengenentscheidung direkt modelliert werden. Während einer Einhaltung von Nebenbedingungen die Annahme zu Grunde liegt, dass damit langfristige Auswirkungen vermieden werden können, geht das zweiperiodige Newsvendor-Modell davon aus, dass bereits eine kleine Fehlmenge Auswirkungen haben kann. Aufgabe der Bestellmengenentscheidung ist es daher, die verschiedenen Auswirkungen ökonomisch abzuwägen. Dieses Abwägen lässt sich sowohl in der Zielfunktion (vgl. Formel (9)) als auch in der Lösung (vgl. Formel (10)) der Periode 1 leicht erkennen. Letztere unterscheidet sich von der des klassischen Modells. Sie ist tendenziell größer hinsichtlich der zukünftigen Folgen von Knappheit und tendenziell kleiner hinsichtlich der zukünftigen Folgen von Restbestand. Welcher Effekt überwiegt, wird durch die Parameter des Modells sowie durch die Verteilungen der Nachfragen bestimmt.

Hervorzuheben ist, dass das vorliegende Modell explizit die Abhängigkeit der Nachfragen sowie der Gewinne beider Perioden annimmt. Zudem sei erwähnt, dass allgemeinere Ergebnisse möglich sind. Diese sind formal aufwendiger und werden in einer weiteren Veröffentlichung enthalten sein.

4 Literaturverzeichnis

- Ahmed, S. / Çakmak, U. / Shapiro, A. (2007): Coherent risk measures in inventory problems, in: European Journal of Operational Research, Vol. 182, S. 226-238.
- Cachon, G. / Terwiesch, C. (2009): Matching Supply with Demand: An Introduction to Operations Management, 2. Auflage, McGraw-Hill, Boston.
- Corbett, C. J. / Fransoo, J. C. (2007): Entrepreneurs and Newsvendors: Do Small Businesses Follow the Newsvendor Logic When Making Inventory Decisions? Working Paper, UCLA Anderson School of Management und Technische Universiteit Eindhoven.
- Ding, X. / Puterman, M. L. / Bisi, A. (2002): The Censored Newsvendor and the Optimal Acquisition of Information, in: Operations Research, Vol. 50, Heft 3, S. 517-527.
- Hopp, W. J. / Spearman, M. L. (2001): Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management, 2. Auflage, McGraw-Hill, Boston.
- Jammernegg, W. / Kischka, P. (2008): A Newsvendor Model with Service and Loss Constraints, in: Jena Research Papers in Business and Economics, Heft 21/2008, S. 1-18.
- Lin, C.-S. / Kroll, D. E. (1997): The single-item newsboy problem with dual performance measures and quantity discounts, in: European Journal of Operational Research, Vol. 100, Heft 3, S. 562-565.
- Matsuyama, K. (2006): The multi-period newsboy problem, in: European Journal of Operational Research, Vol. 171, S. 170-188.
- Schweitzer, M. E. / Cachon, G. P. (2000): Decision Bias in the Newsvendor Problem with a Known Demand Distribution: Experimental Evidence, in: Management Science, 46. Jg., Heft 3, S. 404-420.
- See, C.-T. / Sim, M. (2010): Robust Approximation to Multiperiod Inventory Management, in: Operations Research, Vol. 58, Heft 3, S. 583-594.
- Zhang, D. / Xu, H. / Wu, Y. (2009): Single and multi-period optimal inventory control models with risk-averse constraints, in: European Journal of Operational Research, Vol. 199, No. 2, pp. 420-434.

5 Anhang

5.1 Herleitung zu Formel (5)

Der Gewinn der Periode 1 berechnet sich als Differenz aus mit der Stückmarge $(p - c)$ gewichtetem Absatz $\min(y_X, X)$ und mit den Stückkosten $(c - z)$ gewichtetem Restbestand $\max(y_X - X, 0)$.

$$\begin{aligned}\pi_1(y_X, X) &= (p - c) \cdot \min(y_X, X) - (c - z) \cdot \max(y_X - X, 0) \\ &= (p - c) \cdot \min(y_X, X) + (c - z) \cdot [\min(y_X, X) - y_X] \\ &= (p - z) \cdot \min(y_X, X) - (c - z) \cdot y_X\end{aligned}$$

Der Gewinn $\pi_1(y_X, X)$ ist eine monoton wachsende Funktion der zufälligen Nachfrage X . Er hat die Ausprägung $\bar{\pi}$ genau dann, wenn folgende Gleichung gilt:

$$\pi_1(y_X, X) = \bar{\pi} \Leftrightarrow \min(y_X, X) = \frac{c-z}{p-z} y_X + \frac{\bar{\pi}}{p-z}.$$

Wegen $\frac{c-z}{p-z} \in]0,1[$ und der Annahme $\bar{\pi} \leq 0$ gilt $y_X > \frac{c-z}{p-z} y_X + \frac{\bar{\pi}}{p-z}$, so dass obige Gleichung nur durch eine Nachfrage X kleiner der Bestellmenge y_X erfüllt werden kann:

$$\pi_1(y_X, X) = \bar{\pi} \Leftrightarrow X = \frac{c-z}{p-z} y_X + \frac{\bar{\pi}}{p-z}$$

Bei einer größeren Nachfrage X überschreitet der Gewinn den Schwellenwert $\bar{\pi}$, so dass

$$\pi_1(y_X, X) \geq \bar{\pi} \Leftrightarrow X \geq \frac{c-z}{p-z} y_X + \frac{\bar{\pi}}{p-z} \quad \text{beziehungsweise}$$

$$\pi_1(y_X, X) < \bar{\pi} \Leftrightarrow X < \frac{c-z}{p-z} y_X + \frac{\bar{\pi}}{p-z}$$

gilt (Formel (5)).

5.2 Herleitung zu Formel (8)

In Periode 2 ist, analog zu Formel (1), im Fall der Fortführung der Geschäftstätigkeit die Bestellmenge

$$(y_Z^* | y_X, x) = F_{(Z|y_X, x)}^{-1}\left(\frac{p-c}{p-z}\right)$$

optimal. Aus dem Zusammenhang zwischen den Verteilungen von $(Z | y_X, x)$ und ε (vgl. Formel (4)) resultiert

$$\min\left(\frac{y_X}{x}, 1\right) \cdot F_{\varepsilon}^{-1}\left(F_{(Z|y_X, x)}(s)\right) = s.$$

Durch die Wahl von $s = F_{(Z|y_X, x)}^{-1}\left(\frac{p-c}{p-z}\right)$ als Argument erhält man

$$F_{(Z|y_X, x)}^{-1}\left(\frac{p-c}{p-z}\right) = \min\left(\frac{y_X}{x}, 1\right) \cdot F_{\varepsilon}^{-1}\left(\frac{p-c}{p-z}\right)$$

und damit (Formel (8) im Fall $\pi_1(y_X, x) \geq \bar{\pi}$)

$$(y_Z^* | y_X, x) = \min\left(\frac{y_X}{x}, 1\right) \cdot F_{\varepsilon}^{-1}\left(\frac{p-c}{p-z}\right).$$

5.3 Herleitung zu Formel (9)

Der Gewinn der Periode 2 berechnet sich, analog zum Gewinn der Periode 1, als Differenz aus mit der Stückmarge $(p - c)$ gewichtetem Absatz und mit den Stückkosten $(c - z)$ gewichtetem Restbestand. Bei Nichtfortführung der Geschäftstätigkeit nach Periode 1 wird für Periode 2 ein Gewinn in Höhe von null angenommen.

$$\begin{aligned}
 & \pi_2(y_Z, (Z | y_X, X)) \\
 &= \begin{cases} (p - c) \cdot \min(y_Z, (Z | y_X, x)) - (c - z) \cdot \max(y_Z - (Z | y_X, x), 0) & , \quad \pi_1(y_X, x) \geq \bar{\pi} \\ 0 & , \quad \pi_1(y_X, x) < \bar{\pi} \end{cases} \\
 &= \begin{cases} (p - c) \cdot \min(y_Z, (Z | y_X, x)) + (c - z) \cdot [\min(y_Z, (Z | y_X, x)) - y_Z] & , \quad \pi_1(y_X, x) \geq \bar{\pi} \\ 0 & , \quad \pi_1(y_X, x) < \bar{\pi} \end{cases} \\
 &= \begin{cases} (p - z) \cdot \min(y_Z, (Z | y_X, x)) - (c - z) \cdot y_Z & , \quad \pi_1(y_X, x) \geq \bar{\pi} \\ 0 & , \quad \pi_1(y_X, x) < \bar{\pi} \end{cases}
 \end{aligned}$$

Durch Modellierung der Nachfrage $(Z | y_X, X)$ gemäß Formel (3), Berücksichtigung der Formel (5) bei der Fallunterscheidung sowie Festlegung der Bestellmenge y_Z gemäß Formel (8) lässt sich der Gewinn der Periode 2 wie folgt angeben:

$$\begin{aligned}
 & \pi_2((y_Z^* | y_X, X), (Z | y_X, X)) \\
 &= \begin{cases} (p - z) \cdot \min(\frac{y_X}{x}, 1) \cdot \min(F_\varepsilon^{-1}(\frac{p-c}{p-z}), \varepsilon) - (c - z) \cdot \min(\frac{y_X}{x}, 1) \cdot F_\varepsilon^{-1}(\frac{p-c}{p-z}) & , \quad \pi_1(y_X, x) \geq \bar{\pi} \\ 0 & , \quad \pi_1(y_X, x) < \bar{\pi} \end{cases} \\
 &= \left[(p - z) \cdot \min(F_\varepsilon^{-1}(\frac{p-c}{p-z}), \varepsilon) - (c - z) \cdot F_\varepsilon^{-1}(\frac{p-c}{p-z}) \right] \cdot \begin{cases} \min(\frac{y_X}{x}, 1) & , \quad x \geq \frac{c-z}{p-z} y_X + \frac{\bar{\pi}}{p-z} \\ 0 & , \quad x < \frac{c-z}{p-z} y_X + \frac{\bar{\pi}}{p-z} \end{cases}
 \end{aligned}$$

Unter Berücksichtigung der Unabhängigkeit der Nachfragen X und ε erhält man für den erwarteten Gewinn der Periode 2

$$\begin{aligned}
 & E(\pi_2((y_Z^* | y_X, X), (Z | y_X, X))) \\
 &= \left[(p - z) \cdot E(\min(F_\varepsilon^{-1}(\frac{p-c}{p-z}), \varepsilon)) - (c - z) \cdot F_\varepsilon^{-1}(\frac{p-c}{p-z}) \right] \\
 &\quad \cdot \left[E(\min(\frac{y_X}{X}, 1)) - \int_{x_{\min}}^{\frac{c-z}{p-z} y_X + \frac{\bar{\pi}}{p-z}} \min(\frac{y_X}{r}, 1) \cdot f_X(r) dr \right] \\
 &= w \cdot [E(\min(\frac{y_X}{X}, 1)) - F_X(\frac{c-z}{p-z} y_X + \frac{\bar{\pi}}{p-z})] \\
 &= w \cdot [E(\min(\frac{y_X}{X}, 1)) - P(\pi_1(y_X, X) < \bar{\pi})]
 \end{aligned}$$

mit der Konstante

$$w := (p - z) \cdot E(\min(F_\varepsilon^{-1}(\frac{p-c}{p-z}), \varepsilon)) - (c - z) \cdot F_\varepsilon^{-1}(\frac{p-c}{p-z}),$$

die sich als potentieller erwarteter Gewinn der Periode 2 im Fall der Bestellmenge $F_\varepsilon^{-1}(\frac{p-c}{p-z})$ und der potentiellen Nachfrage ε interpretieren lässt. Es gilt $w > 0$:

$$\begin{aligned}
 w &= (p - z) \cdot E(\min(F_\varepsilon^{-1}(\frac{p-c}{p-z}), \varepsilon)) - (c - z) \cdot F_\varepsilon^{-1}(\frac{p-c}{p-z}) \\
 &= (p - z) \cdot \left[F_\varepsilon^{-1}(\frac{p-c}{p-z}) - \int_{\varepsilon_{\min}}^{F_\varepsilon^{-1}(\frac{p-c}{p-z})} F_\varepsilon(r) dr \right] - (c - z) \cdot F_\varepsilon^{-1}(\frac{p-c}{p-z}) \\
 &= (p - c) \cdot F_\varepsilon^{-1}(\frac{p-c}{p-z}) - (p - z) \cdot \underbrace{\int_{\varepsilon_{\min}}^{F_\varepsilon^{-1}(\frac{p-c}{p-z})} F_\varepsilon(r) dr}_{< \frac{p-c}{p-z} [F_\varepsilon^{-1}(\frac{p-c}{p-z}) - \varepsilon_{\min}]} > (p - c) \cdot \varepsilon_{\min} \geq 0
 \end{aligned}$$

Zudem gilt für den erwarteten Gewinn der Periode 1:

$$E(\pi_1(y_X, X)) = (p - z) \cdot E(\min(y_X, X)) - (c - z) \cdot y_X$$

Die Zielfunktion der Periode 1 ergibt sich aus dem Barwert der Gewinne beider Perioden (vgl. Formel (2)) durch Festlegung der Bestellmenge y_Z gemäß Formel (8) und Erwartungswertbildung (Formel (9)):

$$\begin{aligned} & E(\pi_{pV}(y_X, (y_Z^* | y_X, X), X, (Z | y_X, X))) \\ &= E(\pi_1(y_X, X)) + (1+i)^{-1} \cdot E(\pi_2((y_Z^* | y_X, X), (Z | y_X, X))) \\ &= (p-z) \cdot E(\min(y_X, X)) - (c-z) \cdot y_X + (1+i)^{-1} \cdot w \cdot [E(\min(\frac{y_X}{X}, 1)) - P(\pi_1(y_X, X) < \bar{\pi})] \end{aligned}$$

5.4 Herleitung zu Formel (10)

Die Zielfunktion der Periode 1 gemäß Formel (9) lässt sich auch wie folgt angeben:

$$\begin{aligned} & E(\pi_{pV}(y_X, (y_Z^* | y_X, X), X, (Z | y_X, X))) \\ &= (p-c) \cdot y_X - (p-z) \cdot \int_{x_{\min}}^{y_X} F_X(r) dr \\ &\quad + (1+i)^{-1} \cdot w \cdot \left[F_X(y_X) + y_X \int_{y_X}^{x_{\max}} \frac{1}{r} \cdot f_X(r) dr - F_X\left(\frac{c-z}{p-z} y_X + \frac{\bar{\pi}}{p-z}\right) \right] \end{aligned}$$

Benötigt wird die erste und zweite Ableitung dieser Zielfunktion:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial y_X} E(\pi_{pV}(\cdot)) &= (p-c) - (p-z) \cdot F_X(y_X) \\ &\quad + (1+i)^{-1} \cdot w \cdot \left[\int_{y_X}^{x_{\max}} \frac{1}{r} \cdot f_X(r) dr - \frac{c-z}{p-z} \cdot f_X\left(\frac{c-z}{p-z} y_X + \frac{\bar{\pi}}{p-z}\right) \right] \\ \frac{\partial^2}{\partial y_X^2} E(\pi_{pV}(\cdot)) &= -(p-z) \cdot f_X(y_X) \\ &\quad - (1+i)^{-1} \cdot w \cdot \left[\frac{1}{y_X} \cdot f_X(y_X) + \left(\frac{c-z}{p-z}\right)^2 \cdot f'_X\left(\frac{c-z}{p-z} y_X + \frac{\bar{\pi}}{p-z}\right) \right] \end{aligned}$$

Die erste Ableitung der Zielfunktion hat in den Intervallen $y_X \leq x_{\min}$ und $y_X \geq x_{\max}$ folgende Ausprägungen

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial y_X} E(\pi_{pV}(\cdot)) \Big|_{y_X \leq x_{\min}} &= \underbrace{(p-c)}_{>0} + \underbrace{(1+i)^{-1}}_{>0} \cdot \underbrace{w}_{>0} \cdot \underbrace{E\left(\frac{1}{X}\right)}_{>0} > 0 \\ \frac{\partial}{\partial y_X} E(\pi_{pV}(\cdot)) \Big|_{y_X \geq x_{\max}} &= -\underbrace{(c-z)}_{>0} - \underbrace{(1+i)^{-1}}_{>0} \cdot \underbrace{w}_{>0} \cdot \underbrace{\frac{c-z}{p-z}}_{>0} \cdot \underbrace{f_X\left(\frac{c-z}{p-z} y_X + \frac{\bar{\pi}}{p-z}\right)}_{\geq 0} < 0 \end{aligned}$$

und ist im Intervall $y_X \in]x_{\min}, x_{\max}[$ streng monoton fallend, da die zweite Ableitung der Zielfunktion in diesem Intervall negativ ist:

$$\begin{aligned} & \left. \frac{\partial^2}{\partial y_X^2} E(\pi_{PV}(\cdot)) \right|_{y_X \in]x_{\min}, x_{\max}[} \\ &= - \underbrace{(p-z)}_{>0} \cdot \underbrace{f_X(y_X)}_{>0} - \underbrace{(1+i)^{-1}}_{>0} \cdot \underbrace{\frac{w}{p-z}}_{>0} \cdot \underbrace{\left[\frac{1}{y_X} \cdot f_X(y_X) + \left(\frac{c-z}{p-z} \right)^2 \cdot f'_X \left(\frac{c-z}{p-z} y_X + \frac{\bar{\pi}}{p-z} \right) \right]}_{\geq 0} < 0 \end{aligned}$$

Insbesondere gilt

$$f_X(y_X) > 0 \text{ und } f'_X \left(\frac{c-z}{p-z} y_X + \frac{\bar{\pi}}{p-z} \right) \geq 0 \text{ f\"ur } y_X \in]x_{\min}, x_{\max}[,$$

da die Verteilungsfunktion von X annahmegemäß streng monoton wachsend ist sowie die Dichtefunktion von X als unimodal mit $x_{\text{mod}} \geq \frac{c-z}{p-z} x_{\max} + \frac{\bar{\pi}}{p-z}$ sowie als im Intervall $[0, x_{\max}]$ differenzierbar angenommen wurde.

Da die erste Ableitung der Zielfunktion zudem im Intervall $y_X \in]x_{\min}, x_{\max}[$ stetig verläuft, muss genau eine Stelle y_X existieren, an der sie die Ausprägung null annimmt. Diese Stelle kann der notwendigen Bedingung entnommen werden

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial y_X} E(\pi_{PV}(y_X, (y_Z^* | y_X, X), X, (Z | y_X, X))) = 0 \\ \Leftrightarrow & y_X = F_X^{-1} \left(\frac{p-c}{p-z} + (1+i)^{-1} \cdot \frac{w}{p-z} \cdot \left[\int_{y_X}^{x_{\max}} \frac{1}{r} \cdot f_X(r) dr - \frac{c-z}{p-z} \cdot f_X \left(\frac{c-z}{p-z} y_X + \frac{\bar{\pi}}{p-z} \right) \right] \right) \\ \Leftrightarrow & y_X = F_X^{-1} \left(\frac{p-c}{p-z} + (1+i)^{-1} \cdot \frac{w}{p-z} \cdot \left[(1 - F_X(y_X)) \cdot E\left(\frac{1}{X} | X \geq y_X\right) - \frac{c-z}{p-z} \cdot f_X \left(\frac{c-z}{p-z} y_X + \frac{\bar{\pi}}{p-z} \right) \right] \right) \end{aligned}$$

und wird mit y_X^* bezeichnet (Formel (10)). Es gilt $y_X^* \in]x_{\min}, x_{\max}[$. Die hinreichende Bedingung für ein Maximum ist wegen der Negativität der zweiten Ableitung im Intervall $y_X \in]x_{\min}, x_{\max}[$ erfüllt. Zudem ist der Extrempunkt ein globales Maximum, da die Zielfunktion für Bestellmengen $y_X \leq x_{\min}$ streng monoton wächst und für Bestellmengen $y_X \geq x_{\max}$ streng monoton fällt.

5.5 Herleitung zur komparativen Statik

Die optimale Bestellmenge y_X^* in Periode 1 (vgl. Formel (10)) ist nicht explizit, sondern implizit gegeben durch folgende Gleichung:

$$h(p, c, z, \dots, y_X^*) := \left. \frac{\partial}{\partial y_X} E(\pi_{PV}(y_X, (y_Z^* | y_X, X), X, (Z | y_X, X))) \right|_{y_X=y_X^*} = 0$$

Die Ableitung von y_X^* nach einem exogenen Parameter $a \in \{p, c, z, \bar{\pi}, i\}$ berechnet sich wie folgt:

$$\frac{\partial}{\partial a} y_X^* = - \frac{\frac{\partial h}{\partial a}}{\frac{\partial h}{\partial y_X^*}} = - \frac{\frac{\partial^2}{\partial y_X \partial a} E(\pi_{PV}(y_X, (y_Z^* | y_X, X), X, (Z | y_X, X))) \Big|_{y_X=y_X^*}}{\frac{\partial^2}{\partial y_X^2} E(\pi_{PV}(y_X, (y_Z^* | y_X, X), X, (Z | y_X, X))) \Big|_{y_X=y_X^*}}$$

Da der Nenner negativ ist, folgt insbesondere:

$$\text{sign}\left(\frac{\partial}{\partial a} y_X^*\right) = \text{sign}\left(\frac{\partial^2}{\partial y_X \partial a} E(\pi_{PV}(y_X, (y_Z^* | y_X, X), X, (Z | y_X, X))) \Big|_{y_X=y_X^*}\right)$$

Es ist zu beachten, dass der potentielle erwartete Gewinn w der Periode 2 zwar konstant bezüglich der Bestellmengenentscheidung y_X ist, jedoch zugleich eine Funktion der exogenen Parameter p , c und z darstellt.

Für den Verkaufspreis p als exogenen Parameter gilt (vgl. Tabelle 1):

$$\begin{aligned} & \frac{\partial^2}{\partial y_X \partial p} E(\pi_{PV}(y_X, (y_Z^* | y_X, X), X, (Z | y_X, X))) \Big|_{y_X=y_X^*} \\ &= \underbrace{\left[1 - F_X(y_X^*)\right]}_{>0} + \underbrace{(1+i)^{-1} \cdot w \cdot \frac{c-z}{(p-z)^2}}_{>0} \cdot \left[\underbrace{f_X\left(\frac{c-z}{p-z} y_X^* + \frac{\bar{\pi}}{p-z}\right)}_{\geq 0} + \underbrace{\left(\frac{c-z}{p-z} y_X^* + \frac{\bar{\pi}}{p-z}\right) \cdot f'_X\left(\frac{c-z}{p-z} y_X^* + \frac{\bar{\pi}}{p-z}\right)}_{\geq 0} \right] \\ &+ \underbrace{(1+i)^{-1}}_{>0} \cdot \underbrace{\left[F_\varepsilon^{-1}\left(\frac{p-c}{p-z}\right) - \int_{\varepsilon_{\min}}^{F_\varepsilon^{-1}\left(\frac{p-c}{p-z}\right)} F_\varepsilon(r) dr \right]}_{>0} \cdot \underbrace{\left[\int_{y_X^*}^{x_{\max}} \frac{1}{r} \cdot f_X(r) dr - \frac{c-z}{p-z} \cdot f_X\left(\frac{c-z}{p-z} y_X^* + \frac{\bar{\pi}}{p-z}\right) \right]}_{\geq 0 \text{ für } y_X^* \geq y_X^{\text{cl}}} \end{aligned}$$

$$> 0 \text{ für } y_X^* \geq y_X^{\text{cl}}$$

$$\Rightarrow \frac{\partial}{\partial p} y_X^* > 0 \text{ für } y_X^* \geq y_X^{\text{cl}}$$

Die komparative Statik für die verbleibenden Parameter erfolgt analog.

Die optimale Bestellmenge $(y_Z^* | y_X, x)$ in Periode 2 (vgl. Formel (8)) ist explizit gegeben. Deren Ableitung z. B. nach dem Verkaufspreis p ergibt (vgl. Tabelle 1)

$$\frac{\partial}{\partial p} (y_Z^* | y_X, x) = \underbrace{\min\left(\frac{y_X}{x}, 1\right)}_{>0} \cdot \underbrace{\frac{c-z}{(p-z)^2}}_{>0} \cdot \underbrace{\lambda_\varepsilon\left(\frac{p-c}{p-z}\right)}_{>0} > 0$$

mit $\lambda_\varepsilon(r) := \frac{\partial}{\partial r} F_\varepsilon^{-1}(r)$ als Anstieg der inversen Verteilungsfunktion von ε an der Stelle r .

Selektives Produktionspostponement in Mode-Supply-Chains für risikoaverse Entscheidungsträger

Michael Oberländer

Fakultät für Wirtschaftswissenschaften,
Universität Regensburg, 93040 Regensburg,
michael.oberlaender@wiwi.uni-regensburg.de

Zusammenfassung

Aus einem Modesortiment soll eine Teilmenge von Artikeln selektiert werden, die auf einer Quick-Response-Kapazität, die nur in begrenztem Ausmaß zur Verfügung steht, produziert werden soll. Der Vorteil dieser Quick-Response-Produktion liegt darin, dass der Produktionsbeginn zeitlich näher an der Eröffnung der Verkaufssaison liegt und somit bereits bessere Prognosen für die Saisonnachfrage vorliegen als dies beim Beginn der Produktion der restlichen Artikel der Fall ist. Welche Artikel sollen nun aber für ein solches Produktionspostponement ausgewählt werden? Es existiert bereits ein Präferenzindexverfahren um diesem Problem für risikoneutrale Entscheidungsträger eine Lösung zuzuführen. Für risikoaverse Entscheidungsträger wurde dieses Selektionsproblem aber noch nicht allgemein gelöst. Es wird nun das für den risikoneutralen Fall vorhandene heuristische Verfahren in geeigneter Form erweitert, um es für Entscheidungsträger mit beliebig starken Ausprägungen von Risikoaversion nutzbar zu machen. Das angepasste Verfahren wird anhand einer konkreten Beispielrechnung demonstriert und mit der Vorgehensweise bei neutraler Risikoeinstellung verglichen. Die Güte der heuristischen Lösungen wird schließlich mittels Monte-Carlo-Simulationen beurteilt.

1 Einleitung

Modeprodukte sind allgemein gekennzeichnet durch kurze Produktlebenszyklen, eine große Variantenvielfalt und eine hohe Volatilität der Saisonnachfrage. Dies bedingt hohe Absatzrisikokosten, die als Überdeckungskosten (bei Angebotsüberschuss) oder Unterdeckungskosten (bei Nachfrageüberschuss) in Erscheinung treten. Nicht nur, aber insbesondere in der Bekleidungsindustrie wird die Möglichkeit zur Beschaffung und Produktion aus bzw. in Niedriglohnländern stark genutzt. Der Einsatz dieser wenig agilen Beschaffungs- oder Produktionskapazitäten erhöht aber wiederum die eingangs erwähnten Absatzrisikokosten, da auf verbesserte Nachfrageprognosen, die mit näher rückender Verkaufssaison verfügbar werden, nicht mehr reagiert werden kann. Kommen dagegen reaktionsschnelle, absatzmarktnahe, aber unter Umständen nur in begrenztem Ausmaß zur Verfügung stehende Quick-Response-Kapazitäten (Reaktivkapazitäten) zum Einsatz, kann das Absatzrisiko reduziert werden. Für Unternehmen stellt sich also die Frage, welche Artikel eines Modesortiments auf langsameren Produktionskapazitäten und welche auf Reaktivkapazitäten (Produktionspostponement) produziert werden sollen.

DIRUF entwickelte eine auf dem Newsvendor-Modell fußende Heuristik, mit deren Hilfe diejenigen Artikel eines Modesortimentes ausgewählt werden können, für deren Produktion die knappe Reaktivkapazität genutzt werden soll.¹ Die Zielsetzung war dabei die Maximierung der Gewinnerwartung; es wurden also risikoneutrale Entscheidungsträger vorausgesetzt. Zusätzlich sollen nun aber Entscheidungsträger betrachtet werden, welche ein risikoaverses Verhalten an den Tag legen. Speziell zum Newsvendor-Modell gibt es zahlreiche Erweiterungen, welche alternative Risikopräferenzen berücksichtigen. Bereits LAU diskutierte verschiedene Optimierungsvorschriften für das Newsvendor-Modell.² Für die folgenden Betrachtungen soll die Risikoaversion durch die Anwendung des Bernoulli-Prinzips mit einer exponentiellen Risikonutzenfunktion modelliert werden, welche sich im Zusammenhang mit dem Newsvendor-Modell als besonders gut geeignet erwiesen hat.³ Schon ECKHOUDT ET AL. führten für das Newsvendor-Modell konkrete Berechnungen mit einer exponentiellen Risikonutzenfunktion durch, unterstellten aber eine sehr einfache Zwei-Punkt-Verteilung für die Saisonnachfrage.⁴ Zuletzt nutzte VAN MIEGHEM eine exponentielle Risikonutzenfunktion in Kombination mit dem Newsvendor-Modell um die optimale Verteilung von Ressourcen in Netzwerken zu bestimmen.⁵

Betrachtet man nur einen einzelnen Artikel, so kann gezeigt werden, dass mit wachsender Risikoaversion das Verbesserungspotenzial von der Produktion auf Quick-Response-Kapazitäten gegenüber der Produktion auf Low-Cost-Kapazitäten progressiv

¹ Vgl. Diruf (2001), Diruf (2007).

² Vgl. Lau (1980). Einen ausführlichen Literaturüberblick gibt Khouja (1999).

³ Vgl. Oberländer (2008), S. 126-175.

⁴ Vgl. Eeckhoudt et al. (1995).

⁵ Vgl. Mieghem (2007).

höher bewertet wird.⁶ Wie das klassische Newsvendor-Problem grundsätzlich sowohl für risikoneutrale als auch für risikoaverse Entscheidungsträger gelöst werden kann wird in Abschnitt 2 kurz erläutert. Für das eingangs skizzierte Entscheidungsproblem, bei dem aus einem Sortiment eine Auswahl an Artikeln für die Produktion auf einer nur begrenzt zur Verfügung stehenden Reaktivkapazität getroffen werden muss, wird in Abschnitt 3 eine erweiterte Heuristik entwickelt und diskutiert, die das Problem für risikoaverse Entscheidungsträger löst. Das neue Verfahren wird anhand einer konkreten Beispielrechnung demonstriert und mit der Vorgehensweise bei neutraler Risikoeinstellung verglichen. Die Güte der heuristischen Lösungen wird schließlich mit Hilfe von Monte-Carlo-Simulationen beurteilt.

2 Das klassische Newsvendor-Problem

2.1 Lösung des klassischen Newsvendor-Problems für risikoneutrale Entscheidungsträger

Die Entscheidungssituation des klassischen Newsvendor-Problems lautet wie folgt: Für ein Modeprodukt ist vor Beginn der Verkaufssaison die optimale Produktions- oder Bestellmenge x_0 festzulegen. Wurde diese Menge einmal festgelegt, dann sind keine Nachbestellungen mehr möglich. Die Nachfrage während der Verkaufssaison wird mit r bezeichnet. Diese ist aus Sicht des Entscheidungszeitpunktes eine normalverteilte Zufallsvariable mit dem Mittelwert μ_0 und der Standardabweichung σ_0 , was einen Variationskoeffizienten von $v_0 = \sigma_0/\mu_0$ impliziert. Die entsprechende Dichtefunktion lautet φ_r , die Verteilungsfunktion Φ_r . Seien c die Herstell- bzw. Einkaufskosten pro Stück des betrachteten Modeprodukts und p der Stückpreis, mit dem es während der Verkaufssaison verkauft wird. Etwaige überschüssige Produktionsmengen $x_0 - r$ können nach dem Ende der Saison nur zu einem stark reduzierten Preis $p_{\bar{u}}$ verkauft werden. Es gilt $p_{\bar{u}} < c < p$. Die Preisreduzierungsspanne ergibt sich als $p_s = p - p_{\bar{u}}$. Der Stückdeckungsbeitrag $c_u = p - c$ kann auch als Fehlmengen- oder Unterdeckungskostensatz für jedes Stück nicht befriedigter Nachfrage interpretiert werden. Analog können Überdeckungskosten $c_{\bar{u}} = c - p_{\bar{u}}$ definiert werden für jedes nicht verkaufte Stück am Ende der Saison. Der Gewinn G_0 in Abhängigkeit von der realisierten Nachfrage r bei einer gewählten Bestellmenge x_0 kann dann wie folgt mathematisch formuliert werden:

$$G_0(r|x_0) = \begin{cases} (p - p_{\bar{u}})r - (c - p_{\bar{u}})x_0 = p_s r - c_{\bar{u}} x_0, & \text{für } r \leq x_0 \\ (p - c)x_0 = c_u x_0 & , \text{für } r > x_0 \end{cases} \quad (1)$$

Der erwartete Gewinn ergibt sich als

$$E(G_0) = c_u \mu_0 - c_{\bar{u}} \sigma_0 z_0 - p_s \sigma_0 \Psi(z_0) \quad (2)$$

⁶ Vgl. Oberländer (2008), S. 230-246.

mit der standardisierten Bestellmenge (dem „Zuschlagsfaktor“)

$$z_0 = \frac{x_0 - \mu_0}{\sigma_0} \quad (3)$$

und der Servicefunktion

$$\Psi(z) = \varphi(z) - z \cdot \Phi(-z) \quad (4)$$

wobei φ und Φ die Dichtefunktion bzw. Die Verteilungsfunktion der Standardnormalverteilung bezeichnen. Der erwartete Gewinn ist maximal für

$$z_0^* = \Phi^{-1}\left(\frac{c_u}{p_s}\right) = \Phi^{-1}(\omega_0^*). \quad (5)$$

Dabei kann das als *Critical Ratio* bezeichnete Verhältnis

$$\omega_0^* = \frac{c_u}{p_s} \quad (6)$$

interpretiert werden als relativer Stückdeckungsbeitrag oder als α -Servicegrad. Die optimale Bestell- oder Produktionsmenge ergibt sich dann als

$$x_0^* = \mu_0 + z_0^* \sigma_0 \quad (7)$$

und der maximale erwartete Gewinn

$$E(G_0^*) = E(G_0 | z_0 = z_0^*) = p_s \mu_0 \left[\omega_0^* - v_0 \cdot \varphi(\Phi^{-1}(\omega_0^*)) \right] \quad (8)$$

lässt sich berechnen durch Einsetzen von Gleichung (5) in Gleichung (2).⁷

2.2 Lösung des klassischen Newsvendor-Problems für risikoaverse Entscheidungsträger

Das risikoaverse Verhalten eines Entscheidungsträgers wird im Folgenden abgebildet durch die Anwendung des Bernoulli-Prinzips mit einer exponentiellen Risikonutzenfunktion

$$u(G) = -e^{-d \cdot G}. \quad (9)$$

Verschiedene Ausprägungen von Risikoscheue können dabei durch den Risikoaversionskoeffizienten $d > 0$ modelliert werden. Je größer d gewählt wird, desto größer ist die dadurch repräsentierte Risikoscheue.

⁷ Zur Berechnung der optimalen Bestellmenge für das Newsvendor-Problem vgl. beispielsweise Lau (1980), S. 529 oder Simchi-Levi et al. (2005), S. 120.

Die Nutzenfunktion angewandt auf den Gewinn (1) im klassischen Newsvendor-Modell ergibt

$$u[G_0(r|x_0)] = \begin{cases} -e^{-d(p_s r - c_{ii} x_0)}, & \text{für } r \leq x_0 \\ -e^{-dc_u x_0}, & \text{für } r > x_0. \end{cases} \quad (10)$$

Der sich daraus ergebende Erwartungsnutzen⁸

$$E[u(G_0)] = \int_{-\infty}^{+\infty} u[G_0(r|x_0)] \varphi_r(r) dr \quad (11)$$

kann in Abhängigkeit von der standardisierten Bestellmenge z_0 berechnet werden als

$$E[u(G_0)] = -e^{-dc_u(\mu_0 + z_0 \sigma_0)} \cdot \left[e^{\frac{1}{2}d^2 p_s^2 \sigma_0^2 + dp_s z_0 \sigma_0} \cdot \Phi(z_0 + dp_s \sigma_0) + \Phi(-z_0) \right]. \quad (12)$$

Die erste Ableitung des Erwartungsnutzens nach z_0 ergibt

$$\begin{aligned} \frac{\partial E[u(G_0)]}{\partial z_0} = & -e^{-dc_u(\mu_0 + z_0 \sigma_0)} \cdot \left\{ e^{\frac{1}{2}d^2 p_s^2 \sigma_0^2 + dp_s z_0 \sigma_0} \left[dc_{ii} \sigma_0 \Phi(z_0 + dp_s \sigma_0) + \varphi(z_0 + dp_s \sigma_0) \right] \right. \\ & \left. - dc_u \sigma_0 \Phi(-z_0) - \varphi(z_0) \right\}. \end{aligned} \quad (13)$$

Die optimale standardisierte Menge $z_{0,e}^*$ kann nun numerisch bestimmt werden durch Maximierung des Erwartungsnutzens (12) oder durch Auffinden der Nullstelle in (13). Die optimale Bestellmenge $x_{0,e}^*$ kann dann wieder gemäß (7) berechnet werden.

3 Optimale Selektion von Modeartikeln für die Produktion auf begrenzten Reaktivkapazitäten

3.1 Erweiterte Modellannahmen

Wir betrachten nun nicht mehr nur einen Artikel, sondern ein ganzes Modesortiment bestehend aus m Artikeln. Für jeden Artikel i ($i = 1, \dots, m$) sind die erforderlichen Daten p_i , c_i und p_{ii} gemäß Abschnitt 2.1 gegeben. Weiterhin gibt es nicht nur einen einzigen möglichen Zeitpunkt zur Produktion bzw. Bestellung der Artikelmenen, sondern zwei mögliche Bestellzeitpunkte t_0 und t_1 . Für jeden Artikel kann die gewünschte Produktionsmenge entweder komplett zum frühen Zeitpunkt t_0 (Priorproduktion) oder zum späteren Zeitpunkt t_1 (Postponementproduktion) in Auftrag gegeben werden. Während die

⁸ Für eine ausführlichere Herleitung siehe Oberländer (2008), S. 160-162.

Produktionskapazität zum frühen Zeitpunkt t_0 unbeschränkt ist, stehen zum späteren Zeitpunkt t_1 nur begrenzte Reaktivkapazitäten mit einer Gesamtkapazität in Höhe von B zur Verfügung. Jedem Artikel i ist ein spezifischer Kapazitätsverbrauch b_i pro produziertem Stück zugeordnet. Für die Produktion auf den begrenzten Reaktivkapazitäten fallen keine höheren Stückkosten an und die Reaktivkapazitäten sind in dem Sinne variantenflexibel, dass jeder der m Artikel auf ihnen gefertigt werden kann.

Der Vorteil der Produktion zum späteren Zeitpunkt t_1 liegt darin, dass zu diesem Zeitpunkt bereits genauere Prognosen bezüglich der Nachfrageverteilung in der Verkaufssaison vorliegen. Präziser ausgedrückt: Zum frühen Zeitpunkt t_0 liegen Informationen über die Saisonnachfrage r_i nur in Form einer vergleichsweise ungenauen Priorprognose vor. Diese Priorprognose kann durch eine Normalverteilung beschrieben werden. Die Prior-Nachfrageerwartung für Artikel i wird mit μ_{0i} und die Prior-Nachfragestreuung mit σ_{0i} bezeichnet. Zum Zeitpunkt t_1 , der näher am Beginn der Verkaufssaison liegt, hat sich die Nachfrageprognose deutlich verbessert. Diese verbesserte und ebenfalls normalverteilte Posteriorprognose ist gekennzeichnet durch die Posterior-Nachfrageerwartung μ_{1i} und die Posterior-Nachfragestreuung σ_{1i} für Artikel i . Der Grad der Prognoseverbesserung für jeden Artikel wird durch den Parameter α_i quantifiziert. Dieser Parameter stellt das Verhältnis der verbesserten Posterior-Nachfragestreuung σ_{1i} zur schlechteren Prior-Nachfragestreuung σ_{0i} dar:

$$\alpha_i = \frac{\sigma_{1i}}{\sigma_{0i}} \quad (14-1)$$

Je kleiner der Wert $\alpha_i \in [0;1]$ also ist, desto stärker hat sich die Nachfrageprognose zum Zeitpunkt t_1 im Vergleich zum Zeitpunkt t_0 verbessert. Die dargestellte Prognoseverbesserung wird wie folgt modelliert:

Die Posterior-Nachfrageerwartung μ_{1i} wird für jeden Artikel als Stichprobenwert einer Normalverteilung ermittelt, welche den Erwartungswert μ_{0i} und die Streuung $\sqrt{1-\alpha_i^2} \cdot \sigma_{0i}$ besitzt:

$$\mu_{1i} \sim NV\left(\mu_{0i}, (1-\alpha_i^2) \cdot \sigma_{0i}^2\right) \quad (14-2)$$

Die Nachfrageverteilung r_i aus Sicht des Zeitpunktes t_1 entspricht dann einer Normalverteilung mit Erwartungswert μ_{1i} und Streuung $\sigma_{1i} = \alpha_i \cdot \sigma_{0i}$:

$$r_i \sim NV\left(\mu_{1i}, \alpha_i^2 \cdot \sigma_{0i}^2\right) \quad (14-3)$$

Es kann gezeigt werden, dass die Kombination dieser beiden Nachfrageverteilungen aus Sicht des Zeitpunktes t_0 eine normalverteilte Saisonnachfrage mit den Parametern μ_{0i} und σ_{0i} ergibt.⁹

⁹ Die Konsistenz dieses Ansatzes wird mit Hilfe der Bayes-Theorie gezeigt in Diruf (2007), S. 215-216.

Die zum späteren Zeitpunkt t_1 zu produzierende Artikelmenge wird also konkret auch erst in t_1 festgelegt, und zwar in Abhängigkeit von den dann vorliegenden verbesserten Prognosedaten. Für einen Artikel, der erst in t_1 produziert werden soll, kann also aus Sicht des Priorzeitpunktes die Produktionsmenge lediglich als Erwartungswert quantifiziert werden. Dennoch muss bereits in t_0 entschieden werden, welche Artikel erst später produziert werden sollen, wobei insbesondere die Kapazitätsbegrenzung B für die Reaktivkapazitäten zu beachten ist. Hierbei soll nun folgende Vereinfachung gelten: Die Kapazitätsbegrenzung B stellt in dem Sinne eine „weiche“ Grenze dar, dass die Einhaltung der Kapazitätsrestriktion B bei der Disposition der Artikelmenen als eingehalten gilt, wenn die Summe der *Erwartungswerte* der Posterior-Kapazitätsverbräuche die Grenze B nicht überschreitet. Die Reaktivkapazitäten besitzen also über eine gewisse Mengenflexibilität, um die im Mix der posterior zu produzierenden Artikel eventuell auftretenden Mengen, die über die Summe der entsprechenden Erwartungswert aus Priorsicht hinaus gehen, abzufangen.

3.2 Lösung des Selektionsproblems für risikoneutrale Entscheidungsträger

Wäre die Reaktivkapazität nicht beschränkt, dann wäre es offensichtlich optimal, alle Artikel i erst zum Posteriorzeitpunkt zu produzieren, weil hier verbesserte Prognosedaten vorliegen und somit die aus den Absatzrisiken entstehenden Kosten (Unter- und Überdeckungskosten) minimiert würden. Wenn wir jetzt aber von einer Kapazitätsgrenze B ausgehen, die so klein ist, dass nicht alle Artikel auf den Reaktivkapazitäten produziert werden können, dann lautet das Entscheidungsproblem für risikoneutrale Entscheidungsträger folgendermaßen:

Welche Artikel aus dem Gesamtsortiment sind für ein Produktionspostponement auszuwählen, wenn die Gewinnerwartung für das Gesamtsortiment unter Einhaltung der Kapazitätsrestriktion B maximiert werden soll?

DIRUF hat gezeigt, dass es sich bei diesem Entscheidungsproblem um ein *stochastisches Rucksackproblem* handelt, welches er mit Hilfe eines *Präferenzindexverfahrens* gelöst hat.¹⁰ Dieses heuristische Verfahren lautet wie folgt:¹¹

Schritt 1 des Präferenzindexverfahrens:

Berechne für jeden Artikel i den *Postponementindex* P_i als „Postponement-Verbesserung ΔG_i^* pro Kapazitätsverbrauch $b_i \cdot E(x_i^*)$ des Artikels i “.

Dabei berechnet sich der (erwartete) Kapazitätsverbrauch von Artikel i als Produkt aus spezifischem Kapazitätsverbrauch und der erwarteten Posterior-Produktionsmenge

$$b_i \cdot E(x_{1i}^*) = b_i \cdot (\mu_{0i} + z_{0i}^* \cdot \alpha_i \sigma_{0i}). \quad (15)$$

¹⁰ Vgl. Diruf (2001), S. 24-26.

¹¹ In Anlehnung an Diruf (2007), S. 120-121.

Der Erwartungswert $E(x_1^*)$ für die in t_1 zu produzierende Menge ergibt sich dabei leicht aus den folgenden Überlegungen: Wenn in t_1 der verbesserte Prognosewert μ_{1i} bekannt ist, lautet die dann optimale Produktionsmenge analog zu (7)

$$x_{1i}^* = \mu_{1i} + z_{0i}^* \cdot \alpha_i \sigma_{0i}, \quad (16)$$

weil sich die Kosten- und Preisdaten im Vergleich zu t_0 nicht geändert haben. Aus Sicht des Priorzeitpunktes ist μ_{1i} aber selbst eine Zufallsvariable mit Mittelwert μ_{0i} und deshalb gilt

$$E(x_{1i}^*) = \mu_{0i} + z_{0i}^* \cdot \alpha_i \sigma_{0i}. \quad (17)$$

Die Postponement-Verbesserung ΔG_i^* aus Priorsicht ergibt sich als Differenz aus dem Gewinnerwartungswert bei optimaler Posteriorproduktion und dem Gewinnerwartungswert bei optimaler Priorproduktion:

$$\Delta G_i^* = E(G_{1i}^*) - E(G_{0i}^*) \quad (18)$$

Die Gewinnerwartung bei optimaler Produktion zum Zeitpunkt t_0 ergibt sich gemäß (8) als

$$E(G_{0i}^*) = p_{si} \mu_{0i} \left[\omega_{0i}^* - v_{0i} \cdot \varphi(z_{0i}^*) \right]. \quad (19)$$

Mit den Überlegungen zu (16) kann die Gewinnerwartung bei optimaler Posteriorproduktion aus Sicht von Zeitpunkt t_1 als

$$E(G_{1i}^* | \text{posterior}) = p_{si} \mu_{1i} \left[\omega_{0i}^* - \frac{\alpha_i \sigma_{0i}}{\mu_{1i}} \cdot \varphi(z_{0i}^*) \right] \quad (20)$$

berechnet werden. Der entsprechende Erwartungswert aus Priorsicht ist dann wiederum

$$E(G_{1i}^*) = p_{si} \mu_{0i} \left[\omega_{0i}^* - \alpha_i v_{0i} \cdot \varphi(z_{0i}^*) \right] \quad (21)$$

und die Postponement-Verbesserung ΔG_i^* kann schließlich als

$$\begin{aligned} \Delta G_i^* &= p_{si} \mu_{0i} \left[\omega_{0i}^* - \alpha_i v_{0i} \cdot \varphi(z_{0i}^*) \right] - p_{si} \mu_{0i} \left[\omega_{0i}^* - v_{0i} \cdot \varphi(z_{0i}^*) \right] \\ &= p_{si} \sigma_{0i} (1 - \alpha_i) \varphi(z_{0i}^*) \end{aligned} \quad (22)$$

ermittelt werden.¹²

¹² Vgl. Diruf (2007), S. 28-29.

Der Postponementindex P_i lautet also zusammengefasst

$$\begin{aligned}
 P_i &= \frac{\Delta G_i^*}{b_i \cdot E(x_{li}^*)} = \frac{p_{si} \cdot \sigma_{0i} (1 - \alpha_i) \cdot \varphi(z_{0i}^*)}{b_i \cdot (\mu_{0i} + z_{0i}^* \cdot \alpha_i \sigma_{0i})} \\
 &= \frac{p_{si} \cdot (1 - \alpha_i) \cdot v_{0i} \cdot \varphi(z_{0i}^*)}{b_i \cdot (1 + z_{0i}^* \cdot \alpha_i \cdot v_{0i})}.
 \end{aligned} \tag{23}$$

Schritt 2 des Präferenzindexverfahrens:

Ordne die m Artikel nach fallenden Werten für den *Postponementindex* P_i .

Schritt 3 des Präferenzindexverfahrens:

Selektiere die Artikel sukzessive nach fallender Rangordnung für die Produktion auf der Reaktivkapazität, solange die kumulierten Kapazitätsverbräuche

$$B_i = b_i (\mu_{0i} + z_{0i}^* \cdot \alpha_i \sigma_{0i}) \tag{24}$$

der selektierten Artikel die begrenzte Reaktivkapazität nicht überschreiten.

□

Stark vereinfachend lässt sich anhand dieses Verfahrens (unabhängig von einer fallabhängigen konkreten Anwendung des Verfahrens) folgende Empfehlung geben: Es sind vorrangig diejenigen Artikel eines Modesortiments für die Produktion auf knappen Reaktivkapazitäten auszuwählen, welche eine hohe Preisspanne p_{si} , eine hohe relative Prognoseunsicherheit v_{0i} , eine hohe Prognoseverbesserung $1 - \alpha_i$ und einen niedrigen spezifischen Kapazitätsverbrauch b_i aufweisen.¹³

3.3 Lösung des Selektionsproblems für risikoaverse Entscheidungsträger

Wie in Gleichung (12) gezeigt, kann der Erwartungsnutzen $E[u(G_{0i})]$ für Artikel i bei Anwendung einer exponentiellen Risikonutzenfunktion in Abhängigkeit von der standardisierten Produktionsmenge (dem „Zuschlagsfaktor“) z_{0i} dargestellt werden. Die optimale Produktionsmenge $z_{0i,e}^*$ und damit auch der Erwartungsnutzen $E[u(G_{0i,e}^*)]$ bei optimaler Prior-Produktion lassen sich aber nur mit Hilfe numerischer Methoden ermitteln. Für eine Erweiterung des oben angegebenen Präferenzindexverfahrens wird zum Vergleich mit der optimalen Prior-Produktion noch der Erwartungsnutzen $E[u(G_{li,e}^*)]$ bei optimaler Posterior-Produktion benötigt, und zwar aus Sicht des frühen Zeitpunktes t_0 .

¹³ Vgl. Diruf (2007), S. 121. Für weiter führende Analysen siehe ebenfalls Diruf (2007), S. 122-123.

Formal ist $E[u(G_{1i,e}^*)]$ also der Erwartungswert der Posterior-Erwartungswerte

$$E[u(G_{1i,e}^*)] = \int_{-\infty}^{\infty} E[u(G_{1i,e}^*(\mu_{1i} | \text{posterior}))] \cdot \varphi_{\mu_{1i}}(\mu_{1i}) d\mu_{1i}, \quad (25)$$

wobei $\varphi_{\mu_{1i}}$ die Dichtefunktion der Normalverteilung mit Mittelwert μ_{0i} und Varianz $(1 - \alpha_i^2) \cdot \sigma_{0i}^2$ bezeichnet. Nun hängt aber $E[u(G_{1i,e}^*(\mu_{1i} | \text{posterior}))]$ vom jeweiligen zum Zeitpunkt t_1 vorliegenden Prognosewert μ_{1i} ab und kann prinzipiell auch nur numerisch für jeden Einzelfall ermittelt werden. Der Wert $E[u(G_{1i,e}^*)]$ kann demnach nur durch numerische Integration oder alternativ durch eine Monte-Carlo-Simulation bestimmt werden.¹⁴ Um den Rechenaufwand für das hier zu erweiternde (ohnein „nur“ heuristische) Verfahren nicht zu groß werden zu lassen, wird im Folgenden der „exakte“ Wert $E[u(G_{1i,e}^*)]$ approximiert durch das Maximum $E[u(\tilde{G}_{1i,e}^*)]$ der Funktion

$$E[u(\tilde{G}_{1i,e}^*)] = -e^{-dc_{ui}(\mu_{0i} + z_{1i}\alpha_i\sigma_{0i})} \cdot \left[e^{\frac{1}{2}d^2 p_{si}^2 \sigma_{0i}^2 + dp_{si}z_{1i}\alpha_i\sigma_{0i}} \cdot \Phi(z_{1i} + dp_{si}\alpha_i\sigma_{0i}) + \Phi(-z_{1i}) \right]. \quad (26)$$

Diese Funktion stellt quasi einen Prior-Erwartungsnutzen in Abhängigkeit von der standardisierten Produktionsmenge z_{1i} dar, wobei für die Nachfrageverteilung der Erwartungswert μ_{0i} und die Streuung $\alpha_i\sigma_{0i}$ unterstellt werden. Die standardisierte Produktionsmenge, welche den Ausdruck (26) maximiert, wird mit $\tilde{z}_{1i,e}^*$ bezeichnet.

Besser interpretierbar als der abstrakte Wert des Erwartungsnutzens und auf Grund seiner Dimension („Geldeinheiten“) auch besser geeignet für eine Verwendung im Rahmen des oben beschriebenen Präferenzindexverfahrens ist das sogenannte *Sicherheitsäquivalent*, welches sich für eine exponentielle Risikonutzenfunktion allgemein berechnet als

$$S\ddot{A} = u^{-1} \{ E[u(G)] \} = \frac{\ln \{ E[u(G)] \}}{-d}. \quad (27)$$

Das Sicherheitsäquivalent ist derjenige *sichere* Geldbetrag, der für einen Entscheidungsträger den gleichen Nutzen spendet wie die unsichere Auszahlung G . Bezogen auf das vorliegende Entscheidungsproblem ergeben sich die Sicherheitsäquivalente

$$S\ddot{A}_{0i} = u^{-1} \{ E[u(G_{0i,e}^*)] \} = \frac{\ln \{ E[u(G_{0i,e}^*)] \}}{-d} \quad (28)$$

und

$$S\ddot{A}_{1i} = u^{-1} \{ E[u(\tilde{G}_{1i,e}^*)] \} = \frac{\ln \{ E[u(\tilde{G}_{1i,e}^*)] \}}{-d}. \quad (29)$$

¹⁴ Vgl. Oberländer (2008), S. 231-232.

Im Nenner des Postponementindex P_i tritt der (erwartete) Kapazitätsverbrauch von Artikel i als Produkt aus spezifischem Kapazitätsverbrauch und der (aus Sicht von t_0) erwarteten Posterior-Produktionsmenge auf. Letztere müsste bei Anwendung des Bernoulli-Prinzips mit einer Risikonutzenfunktion formal ermittelt werden als

$$E(x_{1i,e}^*) = \int_{-\infty}^{\infty} x_{1i,e}^*(\mu_{1i} | \text{posterior}) \cdot \varphi_{\mu_{1i}}(\mu_{1i}) d\mu_{1i}, \quad (30)$$

weil die optimale Posterior-Produktionsmenge jeweils vom im Zeitpunkt t_1 realisierten Prognosewert μ_{1i} abhängt. Hier gelten die gleichen Überlegungen wie bezüglich Ausdruck (25) und die erwartete optimale Posterior-Produktionsmenge wird für die Anwendung in der hier vorgestellten Heuristik approximiert als

$$E(\tilde{x}_{1i,e}^*) = \mu_{0i} + \tilde{z}_{1i,e}^* \cdot \alpha_i \sigma_{0i}. \quad (31)$$

Unter Berücksichtigung dieser Überlegungen wird das Präferenzindexverfahren von DIRUF für die Anwendung im Falle risikoscheuer Entscheidungsträger wie folgt angepasst:

Schritt 1 des Präferenzindexverfahrens:

Berechne für jeden Artikel i den Postponementindex

$$\begin{aligned} P_{i,e} &= \frac{\Delta S \ddot{A}_i}{b_i \cdot E(\tilde{x}_{1i,e}^*)} = \frac{S \ddot{A}_{1i} - S \ddot{A}_{0i}}{b_i \cdot (\mu_{0i} + \tilde{z}_{1i,e}^* \cdot \alpha_i \sigma_{0i})} \\ &= \frac{\ln \{E[u(\tilde{G}_{1i,e}^*)]\} - \ln \{E[u(G_{0i,e}^*)]\}}{-d \cdot b_i \cdot (\mu_{0i} + \tilde{z}_{1i,e}^* \cdot \alpha_i \sigma_{0i})}. \end{aligned} \quad (32)$$

Schritt 2 des Präferenzindexverfahrens:

Ordne die m Artikel nach fallenden Werten für den *Postponementindex* $P_{i,e}$.

Schritt 3 des Präferenzindexverfahrens:

Selektiere die Artikel sukzessive nach fallender Rangordnung für die Produktion auf der Reaktivkapazität, solange die kumulierten Kapazitätsverbräuche

$$B_{i,e} = b_i \cdot (\mu_{0i} + \tilde{z}_{1i,e}^* \cdot \alpha_i \sigma_{0i}) \quad (33)$$

der selektierten Artikel die begrenzte Reaktivkapazität nicht überschreiten.

□

Als stark vereinfachende Empfehlung anhand des Präferenzindexverfahrens für *risikoneutrale* Entscheidungsträger wurde unter anderem geraten: Es sind vorrangig diejenigen Artikel für ein Produktionspostponement auszuwählen, welche eine hohe Preisspanne p_{si} , eine hohe relative Prognoseunsicherheit v_{0i} und eine hohe Prognoseverbesserung $1 - \alpha_i$ aufweisen. Dies liegt an der Tatsache, dass ΔG_i^* *direkt proportional* zu diesen drei Parametern ist. Dagegen wächst die Verbesserung des Sicherheitsäquivalents *progressiv* sowohl mit steigender Preisspanne p_{si} als auch mit steigendem Variationskoeffizienten v_{0i} , aber nur *degressiv* mit wachsender Prognoseverbesserung $1 - \alpha_i$.¹⁵

3.4 Anwendung der Verfahren auf ein numerisches Beispiel

Im Folgenden soll ein Modesortiment mit $m = 30$ Artikeln betrachtet werden. Es steht eine Reaktivkapazität mit einer Kapazitätsbeschränkung in Höhe von $B = 130.000$ zur Verfügung. Die Parameterwerte μ_{0i} , σ_{0i} , α_i , p_i , c_i , p_{iii} und b_i sowie die daraus abgeleiteten Kennzahlen v_{0i} und p_{si} für die einzelnen Artikel sind in Tabelle 1 aufgeführt. Weiterhin enthält Tabelle 1 für jeden Artikel die berechneten Werte für den Critical Ratio ω_{0i}^* , den optimalen Zuschlagsfaktor z_{0i}^* bei Risikoneutralität, den erwarteten Verbrauch B_i gemäß Gleichung (24) an Reaktivkapazität (falls der Artikel erst in t_1 produziert werden sollte) und den Postponementindex P_i gemäß Gleichung (23) aus Schritt 1 des DIRUFschen Präferenzindexverfahrens.

Nach Sortierung der Artikel gemäß Schritt 2 werden gemäß Schritt 3 die Artikel 18, 15, 4, 3, 10, 9, 26, 28, 8, 7 und 20 für die Posteriorproduktion ausgewählt. Die auf eine ganze Zahl gerundete Summe der erwarteten Reaktivkapazitätsverbräuche beträgt jetzt (zufälligerweise) 120000. Der nach der Rangordnung der Postponementindizes nächste Artikel wäre der Artikel 24. Dieser kann aber auf Grund seines hohen Kapazitätsverbrauches B_{24} nicht mehr zusätzlich auf der Reaktivkapazität produziert werden. Gleiches gilt für den nächsten Artikel 21. Der in der Rangordnung nächste Artikel 1 kann dagegen noch komplett auf der Reaktivkapazität gefertigt werden. Die folgenden Artikel 23 und 25 haben wieder zu hohe B_i -Werte, als dass sie berücksichtigt werden könnten. Der letzte Artikel, der noch für die Produktion in t_1 ausgewählt wird, ist Artikel 29. Alle Artikel, die bei Risikoneutralität des Entscheidungsträgers für ein Produktionspostponement ausgewählt werden, sind in Tabelle 1 durch ein „ja“ in der Spalte ganz rechts gekennzeichnet.

¹⁵ Vgl. Oberländer (2008), S. 241-242.

Artikel i	μ_{0i}	σ_{0i}	v_{0i}	α_i	p_i	c_i	p_{ii}	p_{si}	b_i	ω_{0i}^*	z_{0i}^*	B_i	P_i	prod. in t_I
1	4400	1300	29,5%	65%	76	37	5	71	1	54,9%	0,12	4505	2,84	ja
2	2400	600	25,0%	75%	58	46	9	49	1	24,5%	-0,69	2089	1,11	nein
3	9000	3900	43,3%	30%	80	18	1	79	1	78,5%	0,79	9923	6,35	ja
4	8200	2100	25,6%	25%	128	46	13	115	1	71,3%	0,56	8495	7,26	ja
5	14800	7400	50,0%	85%	112	25	14	98	1	88,8%	1,21	22440	0,92	nein
6	6400	1500	23,4%	65%	63	16	11	52	1	90,4%	1,30	7671	0,61	nein
7	8200	1300	15,9%	20%	103	34	8	95	1	72,6%	0,60	8356	3,94	ja
8	14400	3500	24,3%	35%	77	36	7	70	1	58,6%	0,22	14665	4,23	ja
9	3600	900	25,0%	55%	148	55	12	136	1	68,4%	0,48	3837	5,11	ja
10	20000	5400	27,0%	45%	100	60	7	93	1	43,0%	-0,18	19572	5,54	ja
11	16000	7100	44,4%	85%	88	32	6	82	1	68,3%	0,48	18872	1,65	nein
12	18200	1900	10,4%	80%	86	36	3	83	1	60,2%	0,26	18595	0,65	nein
13	15600	2100	13,5%	55%	76	10	6	70	1	94,3%	1,58	17424	0,44	nein
14	4400	500	11,4%	80%	117	68	1	116	1	42,2%	-0,20	4322	1,05	nein
15	13600	6000	44,1%	30%	128	38	11	117	1	76,9%	0,74	14925	10,02	ja
16	5600	700	12,5%	35%	42	11	2	40	1	77,5%	0,76	5785	0,94	nein
17	19600	5400	27,6%	55%	45	6	1	44	1	88,6%	1,21	23186	0,89	nein
18	13400	6100	45,5%	25%	135	33	9	126	1	81,0%	0,88	14736	10,63	ja
19	16600	4200	25,3%	75%	130	36	14	116	1	81,0%	0,88	19369	1,70	nein
20	4000	1000	25,0%	50%	109	30	8	101	1	78,2%	0,78	4390	3,39	ja
21	10000	3100	31,0%	50%	62	35	11	51	1	52,9%	0,07	10114	3,11	nein
22	20000	9400	47,0%	65%	74	21	12	62	1	85,5%	1,06	26461	1,76	nein
23	19400	7800	40,2%	80%	88	39	2	86	1	57,0%	0,18	20497	2,57	nein
24	20000	8100	40,5%	35%	84	20	11	73	1	87,7%	1,16	23285	3,37	nein
25	5400	1500	27,8%	40%	99	19	10	89	1	89,9%	1,28	6165	2,30	nein
26	16800	6100	36,3%	40%	69	25	4	65	1	67,7%	0,46	17920	4,77	ja
27	4600	500	10,9%	65%	104	42	8	96	1	64,6%	0,37	4722	1,32	nein
28	2800	1000	35,7%	35%	107	20	6	101	1	86,1%	1,09	3180	4,56	ja
29	3600	600	16,7%	55%	90	66	5	85	1	28,2%	-0,58	3410	2,27	ja
30	8000	2700	33,8%	65%	67	28	14	53	1	73,6%	0,63	9107	1,80	nein

Tab. 1: Beispieldaten und Berechnungen für risikoneutrale Entscheidungsträger

Art. i	$z_{0i,e}^*$	$\tilde{z}_{1i,e}^*$	$E[u(G_{0i,e}^*)]$	$E[u(\tilde{G}_{1i,e}^*)]$	$S\ddot{A}_{0i}$	$S\ddot{A}_{1i}$	$\Delta S\ddot{A}_i$	$B_{i,e}$	$P_{i,e}$	prod. in t_l
1	0,075	0,092	-0,875	-0,863	133388	147143	13755	4478	3,07	<i>nein</i>
2	-0,701	-0,698	-0,981	-0,978	19506	21840	2333	2086	1,12	nein
3	0,583	0,727	-0,647	-0,590	435901	528102	92201	9850	9,36	ja
4	0,412	0,525	-0,564	-0,522	573176	650778	77602	8475	9,16	ja
5	0,681	0,760	-0,393	-0,363	933371	1014098	80728	19580	4,12	nein
6	1,245	1,265	-0,752	-0,747	284934	291071	6137	7634	0,80	nein
7	0,524	0,586	-0,594	-0,573	520131	557396	37265	8352	4,46	<i>nein</i>
8	0,082	0,169	-0,618	-0,574	481930	555397	73467	14608	5,03	ja
9	0,404	0,438	-0,750	-0,734	287167	309613	22446	3817	5,88	ja
10	-0,408	-0,280	-0,567	-0,495	567634	704188	136554	19319	7,07	ja
11	0,126	0,178	-0,551	-0,521	595786	652740	56954	17073	3,34	nein
12	0,172	0,189	-0,430	-0,424	843568	857753	14185	18488	0,77	nein
13	1,462	1,515	-0,367	-0,362	1002980	1017377	14396	17349	0,83	nein
14	-0,222	-0,217	-0,825	-0,821	192451	197153	4702	4313	1,09	nein
15	0,278	0,598	-0,428	-0,318	848620	1145438	296818	14676	20,22	ja
16	0,737	0,749	-0,848	-0,843	164944	170629	5685	5783	0,98	nein
17	1,031	1,110	-0,499	-0,481	695601	732273	36672	22897	1,60	nein
18	0,355	0,744	-0,388	-0,272	947979	1301514	353535	14535	24,32	ja
19	0,547	0,629	-0,261	-0,243	1344041	1413980	69939	18583	3,76	nein
20	0,712	0,746	-0,754	-0,741	282847	300279	17431	4373	3,99	<i>nein</i>
21	-0,008	0,033	-0,817	-0,789	202447	237389	34942	10051	3,48	nein
22	0,642	0,786	-0,451	-0,399	795831	918208	122377	24805	4,93	nein
23	-0,185	-0,113	-0,553	-0,507	592687	679559	86872	18695	4,65	nein
24	0,728	1,007	-0,361	-0,295	1018838	1220611	201772	22854	8,83	<i>ja</i>
25	1,174	1,235	-0,670	-0,656	400932	421360	20429	6141	3,33	nein
26	0,221	0,364	-0,574	-0,509	554479	675503	121024	17687	6,84	ja
27	0,346	0,356	-0,766	-0,761	266770	273351	6582	4716	1,40	nein
28	1,013	1,061	-0,805	-0,790	217292	235298	18006	3171	5,68	ja
29	-0,595	-0,586	-0,933	-0,926	68966	76860	7894	3407	2,32	<i>nein</i>
30	0,539	0,571	-0,772	-0,757	258960	278946	19986	9003	2,22	nein

Tab. 2: Berechnungen für risikoaverse Entscheidungsträger mit $d = 1 \cdot 10^{-6}$

Jetzt soll die Artikelselektion für risikoaverse Entscheidungsträger durchgeführt werden, so dass der Erwartungsnutzen für eine exponentielle Risikonutzenfunktion möglichst maximal wird. Tabelle 2 zeigt die Berechnungsergebnisse bei Anwendung einer exponentiellen Risikonutzenfunktion mit dem Parameterwert $d = 1 \cdot 10^{-6}$. Gemäß der Rangordnung nach $P_{i,e}$ werden die Artikel 18, 15, 3, 4, 24, 10, 26, 9, 28 und 8 für die Posteriorproduktion selektiert. Es ist dann eine Ausschöpfung der Reaktivkapazität in Höhe von 128.993 erreicht und es können keine weiteren Artikel für die Produktion in t_1 ausgewählt werden. Im Vergleich zum risikoneutralen Fall werden also die Artikel 1, 7, 20 und 29 *nicht* ausgewählt, dafür aber Artikel 24. In der rechten Spalte von Tabelle 2 sind die selektierten Artikel wieder mit einem „ja“ markiert. Die Änderungen zur risikoneutralen Selektion sind dabei in kursiver Schrift hervorgehoben.

Als dritte Beispielrechnung soll schließlich ein Fall mit noch deutlich größerer Risikoscheue betrachtet werden. Tabelle 3 zeigt die Berechnungsergebnisse, wenn für die exponentielle Risikonutzenfunktion der Parameterwert $d = 3 \cdot 10^{-6}$ zur Anwendung kommt. Gemäß der Rangordnung nach $P_{i,e}$ werden zunächst die Artikel 18, 15, 24, 3, 5, 4, 22 und 26 für die Posteriorproduktion selektiert. Es ist dann eine Ausschöpfung der Reaktivkapazität in Höhe von 121.356 erreicht. Die in der Rangordnung folgenden Artikel 23, 10, 19 und 11 haben einen zu hohen Kapazitätsverbrauch und können deshalb nicht für die Posteriorproduktion gewählt werden. Die noch freie Kapazität wird von den Artikeln 28 und 9 ausgeschöpft. Die Artikelselektion unterscheidet sich also jetzt wesentlich deutlicher vom risikoneutralen Fall als dies noch beim Risikoaversionsgrad $d = 1 \cdot 10^{-6}$ der Fall war. Im Vergleich zum risikoneutralen Fall werden jetzt die Artikel 1, 7, 8, 10, 20 und 29 *nicht* ausgewählt, dafür aber die Artikel 5, 22 und 24. In der rechten Spalte von Tabelle 3 kennzeichnet ein „ja“ wiederum die selektierten Artikel und die Änderungen zur risikoneutralen Selektion sind durch die kursive Schriftart hervorgehoben.

Art. i	$z_{0i,e}^*$	$\tilde{z}_{1i,e}^*$	$E[u(G_{0i,e}^*)]$	$E[u(\tilde{G}_{1i,e}^*)]$	$S\ddot{A}_{0i}$	$S\ddot{A}_{1i}$	$\Delta S\ddot{A}_i$	$B_{i,e}$	$P_{i,e}$	prod. in t_l
1	-0,022	0,029	-0,677	-0,646	130023	145726	15702	4424	3,55	<i>nein</i>
2	-0,721	-0,714	-0,943	-0,937	19399	21779	2381	2079	1,15	nein
3	0,179	0,603	-0,328	-0,209	371302	522333	151032	9706	15,56	ja
4	0,115	0,449	-0,199	-0,143	538918	648657	109738	8436	13,01	ja
5	-0,334	-0,112	-0,225	-0,123	497311	699733	202422	14095	14,36	<i>ja</i>
6	1,127	1,188	-0,432	-0,420	279801	288903	9102	7559	1,20	nein
7	0,369	0,555	-0,216	-0,188	510975	557031	46056	8344	5,52	<i>nein</i>
8	-0,185	0,076	-0,255	-0,191	455531	552207	96676	14493	6,67	<i>nein</i>
9	0,257	0,356	-0,433	-0,398	278957	307138	28180	3776	7,46	ja
10	-0,877	-0,489	-0,227	-0,126	493631	689778	196147	18811	10,43	<i>nein</i>
11	-0,558	-0,406	-0,297	-0,213	404927	515647	110720	13550	8,17	nein
12	-0,004	0,049	-0,082	-0,078	832255	850531	18276	18274	1,00	nein
13	1,230	1,386	-0,052	-0,048	983433	1011466	28033	17201	1,63	nein
14	-0,275	-0,259	-0,563	-0,554	191547	196575	5028	4296	1,17	nein
15	-0,601	0,324	-0,212	-0,035	517487	1116271	598785	14183	42,22	ja
16	0,700	0,736	-0,611	-0,599	164426	170566	6140	5780	1,06	nein
17	0,683	0,917	-0,143	-0,116	649328	718300	68972	22325	3,09	nein
18	-0,636	0,484	-0,210	-0,022	519610	1275275	755664	14138	53,45	ja
19	-0,098	0,141	-0,030	-0,019	1173433	1318411	144979	17043	8,51	nein
20	0,578	0,678	-0,437	-0,408	275994	298568	22575	4339	5,20	<i>nein</i>
21	-0,171	-0,049	-0,560	-0,494	193032	235054	42022	9925	4,23	nein
22	-0,157	0,257	-0,204	-0,089	530599	806722	276123	21572	12,80	<i>ja</i>
23	-0,897	-0,685	-0,306	-0,190	394510	554417	159907	15125	10,57	nein
24	-0,101	0,706	-0,110	-0,028	735157	1186126	450968	22002	20,50	<i>ja</i>
25	0,975	1,154	-0,314	-0,285	386017	418977	32960	6093	5,41	nein
26	-0,247	0,174	-0,246	-0,137	468152	661898	193746	17225	11,25	ja
27	0,290	0,319	-0,451	-0,441	265617	272865	7248	4704	1,54	nein
28	0,868	1,010	-0,534	-0,495	209321	234322	25002	3153	7,93	ja
29	-0,633	-0,607	-0,814	-0,794	68571	76741	8170	3400	2,40	<i>nein</i>
30	0,358	0,453	-0,477	-0,440	246410	273656	27246	8795	3,10	nein

Tab. 3: Berechnungen für risikoaverse Entscheidungsträger mit $d = 3 \cdot 10^{-6}$

Zur Überprüfung, ob die Selektionen gemäß des angepassten Präferenzindexverfahrens für risikoaverse Entscheidungsträger wirklich bessere Ergebnisse bezüglich des Entscheidungskriteriums „Maximierung des Erwartungsnutzens“ liefern als das DIRUFsche Verfahren, wurden Monte-Carlo-Simulationen durchgeführt. Es wurden jeweils 10.000 Verkaufssaisons simuliert. Die Prognoseverbesserungen und die letztendlichen Saisonnachfragen für alle 30 Artikel wurden dabei per Zufallsexperiment ermittelt. Unterstellt wurde weiterhin, dass jeweils die aus Sicht des risikoaversen Entscheidungsträgers optimalen Prior- bzw. Posteriorproduktionsmengen hergestellt werden. Das heißt insbesondere auch bei Anwendung der „risikoneutral optimalen Selektion“ wurden lediglich die Produktionszeitpunkte durch diese Selektion bestimmt. Zu diesen Zeitpunkten wurden dann aber nicht die gewinnerwartungsoptimalen Produktionsmengen, sondern die aus Sicht des risikoaversen Entscheidungsträgers optimalen Mengen produziert. Unterschiede in den Ergebnissen der Simulationsläufe sind also allein auf die Artikelselektion zurück zu führen und nicht darauf, dass aus Sicht des risikoaversen Entscheidungsträgers „falsche“ Produktionsmengen disponiert wurden. Für jede der simulierten Verkaufssaisons wurde berechnet, wie hoch der gesamte erzielte Gewinn bei „risikoneutraler Selektion“ und bei „risikoaverser Selektion“ gewesen wäre. Auf diese Gewinne wurde die entsprechende Nutzenfunktion angewandt und darüber der Durchschnitt über alle 10.000 Simulationsläufe gebildet. Diese Werte sind in den Tabellen 4 und 5 als $E[u(G)]$ ausgewiesen. Zusätzlich enthalten die Tabellen das entsprechende Sicherheitsäquivalent $S\ddot{A}$. Wie zu erkennen ist, sind die Unterschiede bei „schwacher“ Risikoaversion ($d = 1 \cdot 10^{-6}$) nur gering, wenn auch die risikoaverse Selektion das leicht bessere Ergebnis liefert. Auch bei größerer Risikoscheue ($d = 3 \cdot 10^{-6}$) liefert die risikoaverse Selektion ein besseres Ergebnis als das Standardverfahren, wobei hier die Unterschiede deutlicher ausgeprägt sind.

	$E[u(G)]$	$S\ddot{A}$
risikoneutrale Selektion	$-7,779 \cdot 10^{-9}$	16.369.268
risikoaverse Selektion	$-7,667 \cdot 10^{-9}$	16.383.761

Tab. 4: Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation für $d = 1 \cdot 10^{-6}$

	$E[u(G)]$	$S\ddot{A}$
risikoneutrale Selektion	$-5,065 \cdot 10^{-19}$	14.042.251
risikoaverse Selektion	$-3,372 \cdot 10^{-19}$	14.177.859

Tab. 5: Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation für $d = 3 \cdot 10^{-6}$

4 Zusammenfassung

Besteht die Möglichkeit, mit der Produktion von Modeartikeln erst zu einem späteren Zeitpunkt, der näher an der Eröffnung der Verkaufssaison liegt, zu beginnen, können Absatzrisikokosten vermieden werden, weil bereits bessere Prognosen für die Saisonnachfrage vorliegen. Stehen solche reaktiven Produktionskapazitäten aber nur in begrenztem Ausmaß zur Verfügung, so dass mit ihnen nur ein Teil eines Modesortiments produziert werden kann, entsteht ein Selektionsproblem: Welche Artikel sollen auf „langsamen“ Produktionskapazitäten gefertigt werden und welche Artikel sollen für die Produktion auf den Reaktivkapazitäten selektiert werden? DIRUF hat dieses Problem mit einem Präferenzindexverfahren für risikoneutrale Entscheidungsträger, die eine Maximierung des erwarteten Gewinns anstreben, gelöst. Unbeantwortet blieb die Frage, ob risikoscheue Entscheidungsträger eine andere Auswahl treffen sollten, und wenn ja, wie diese Auswahl dann aussehen muss. Um diese Frage zu beantworten, wurde das Präferenzindexverfahren in passender Weise modifiziert. Statt der Verbesserung in der Gewinnerwartung wurde die Verbesserung des Sicherheitsäquivalents bei Anwendung des Bernoulli-Prinzips mit exponentieller Risikonutzenfunktion für die Berechnung des Postponementindex für einen Artikel gewählt. Anhand eines numerischen Beispiels wurde demonstriert, wie sich die Artikelselektion mit steigender Risikoscheue immer deutlicher von der risikoneutralen Selektion unterscheidet. Eine Monte-Carlo-Simulation für das betrachtete Beispielsortiment lieferte die Bestätigung, dass die Artikelselektion gemäß dem angepassten Verfahren für einen risikoscheuen Entscheidungsträger bessere Ergebnisse liefert.

5 Literaturverzeichnis

- Diruf, G. (2001): Senkung der Absatzrisiken für Modeprodukte durch selektives Produktionspostponement, Entwicklung eines Optimierungsmodells zur Unterstützung von Postponemententscheidungen (Bamberger betriebswirtschaftliche Beiträge, 128).
- Diruf, G. (2007): Nutzung agiler Produktionsprozesse in Supply Chains für Modeprodukte, Strategien und Optimierungsmodelle zur Reduzierung von Absatzrisiken, Frankfurt am Main u.a..
- Eeckhoudt, L., Gollier, C., Schlesinger, H. (1995): The Risk-averse (and Prudent) Newsboy, in: Management Science, 41 (5), S. 786–794.
- Khouja, M., (1999): The Single-Period (News-Vendor) Problem: Literature Review and Suggestions for Future Research, in: Omega, the International Journal of Management Science, 27 (5), S. 537–553.
- Lau, H.-S., (1980): The Newsboy Problem under Alternative Optimization Objectives, in: Journal of Operational Research Society, 31, S. 525–535.
- Mieghem, J. A. van, (2007): Risk Mitigation in Newsvendor Networks: Resource Diversification, Flexibility, Sharing, and Hedging, in: Management Science, 53 (8), S. 1269–1288.
- Oberländer, M. (2008): Optimale Beschaffungs- und Postponementstrategien in Mode-Supply-Chains: Entscheidungswirkungen alternativer Risikopräferenzen bei hohem Absatzrisiko, Hamburg.
- Simchi-Levi, D., Chen, X., Bramel, J. (2005): The Logic of Logistics, Theory, Algorithms, and Applications for Logistics and Supply Chain Management, 2. ed. (Springer Series in Operations Research), New York.

Decentralized Multicriteria Decision Making in Collaborative Forwarding of Air Cargo Freight

Martin Berger

Fraunhofer Institute for Industrial Mathematics (ITWM),
Department Optimization, Fraunhofer-Platz 1, 67663 Kaiserslautern,
martin.berger@itwm.fraunhofer.de

Christina Erben

Fraunhofer Institute for Industrial Mathematics (ITWM),
Department Optimization, Fraunhofer-Platz 1, 67663 Kaiserslautern

Michael Schröder

Fraunhofer Institute for Industrial Mathematics (ITWM),
Department Optimization, Fraunhofer-Platz 1, 67663 Kaiserslautern

Abstract

The business of the air cargo industry is to forward air cargo freight from the shipper to the consignee, which is a highly dynamic process and complex due to many factors: the global transnational destinations; time shifts; language barriers; many collaborating logistics companies like airlines, freight forwarders, ground handling agents and trucking companies. This process is called the door to door (D2D) process because it starts at the door of the shipper and ends at the door of the consignee.

Many decision makers of different companies with their own perspectives along the logistic chain of the D2D process decide how freight is transported and handled in their authority. Collaboration enables them to operate on a global market and contracted service agreements guarantee that the business is profitable for all of them. However, most of the decision makers have only limited insights how their decisions influence the decisions of follow-up logistic partners and therewith it is hardly to predict whether goods are delivered on time and as initially requested.

Decision support for planning transportation and handling options has great potential to improve air freight forwarding in the D2D process. However, a central planning authority cannot be realized due to the heterogeneity of decision makers, organizational boundaries, the individual interests of the logistics companies and their global operations.

We argue that it is possible to overcome the deficient situation of complex logistics networks like in the air cargo industry by using optimization methods for decentralized decision making. We propose a multicriteria optimization algorithm, which enables the decision makers to align their decisions better with the decisions of the involved partners. Our approach guarantees that sensitive information of the logistics companies are kept local and only the most necessary information is shared along the logistic chain. Hence, it is not necessary to maintain distributed information at a central instance.

The forwarding is planned with regard to uncertainty and multiple criteria, like the expected forwarding costs and the probability to deliver the freight on time. The approach supports both the initial planning and replanning situations after disruptions in the forwarding process. The concepts of our algorithm are not limited to the forwarding of air cargo but can potentially be also applied in other freight forwarding processes.

This research is developed within the project ADiWa funded by means of the German Federal Ministry of Education and Research under the promotional reference 01IA08006. The authors take the responsibility for the contents.

1 Introduction

1.1 Forwarding air cargo freight

To put it simply, the business of the air cargo industry is to forward air freight from the shipper to the consignee. However, in the logistics sense, forwarding air cargo is a highly dynamic process and complex due to many factors: the global transnational destinations; time shifts; language barriers; many collaborating logistics companies like airlines, freight forwarders, ground handling agents, and trucking companies.

The International Air Transport Association is currently forcing an industry initiative called Cargo 2000, which aims at quality and efficiency improving standards for the forwarding process of air freight. In the following, we call this process the door to door (D2D) process because it starts at the shipper's door and ends at the door of the consignee. It is operated via a freight carrier network¹ that is defined by the involved logistics companies. The main locations of a D2D process are illustrated in Fig. 1.



Fig. 1: Door to door process with the following main locations from left to right: shipper; export warehouse; export hub; export ground handling.

The D2D process is executed by many decision makers of different logistics companies, which have their own perspective of the overall logistic chain from door to door. Each individual controls one chain link and has to decide how air freight is handled and transported in his authority. Collaboration enables them to operate on a global market and contracted service agreements guarantee that the business is profitable for all of them.

However, besides the agreements, most of the decision makers have only limited insights how their decisions influence the decisions of follow-up logistic partners. How their decisions influence the overall performance of the freight forwarding, whether goods are delivered on time and as initially requested, is hardly to predict. Nowadays there is no information technology (IT) infrastructure that entirely supports planning and execution of air freight forwarding from door to door. Consequently, the decision makers coordinate their local planning only loosely via telephone, fax, or email.

1.2 Reasons for a decentral planning concept

Decision support for planning transportation and handling options has great potential to improve air freight forwarding in the D2D process. However, we claim that a central planning authority for the air cargo D2D process cannot be realized due to several reasons:

1. The planning has to be done across organizational boundaries. Often the collaborating companies along the D2D chain have only a loose relationship, sometimes es-

¹ Schöneberger (2005), pp. 4-9

established ad hoc for a single transport. Their IT systems span a wide spectrum and are typically not integrated. Only lean interfaces providing a small amount of standardized information seem realistic.

2. It is hard to imagine how a central planning authority for the D2D operations could be established. It would have to be international by nature; it has to integrate world-wide operating logistics companies and regional forwarders, together with a multitude of local handling agents in many countries. It would have to access data relevant for planning from all these companies. Furthermore, it must be authorized to impose an overall plan with executable operations on all companies.
3. The planning process has to address the interest of the collaborating companies to keep a large part of planning relevant data internal, most notably, the cost structures. Even if some information, e.g., for flights, are available in public, most collaborating companies want to maintain sensitive data, e.g., costs, transportation times, and the reliability of their fleet, only in their private IT environment. A central planning authority that must have access to such internal data during plan computation would not be accepted.

From these considerations, it is clear that only a decentralized planning concept can be realized for the D2D process. Our approach advances from a completely independent planning to a loosely coupled coordinated planning and resembles other concepts of collaboration in supply chains, like collaborative planning, forecasting, and replenishment (CPFR).

1.3 Planning problems in D2D forwarding

When the customer requests forwarding of air cargo freight, the decision maker responsible for the customer contact promises that the freight is delivered at a certain time. The milestone “proof of delivery” (POD) of Cargo 2000 results from the pick-up time of the freight at the shipper and the actual promised time that is needed to deliver the freight to the consignee. The POD milestone marks a delivery deadline to which we refer to as POD time in the following.

Whether the decision maker can promise the requested POD time is result of an initial planning problem. Nowadays, this problem is independently solved for each customer request by using rough transportation times for the freight carrier network. The times are unrealistically assumed to be deterministic. The POD time results from accumulating transportation times along a D2D chain selected by the decision maker. Decision makers of the D2D process also face an adaptive replanning problem whenever delays occur. For the currently authorized decision maker, it is hard to decide under time pressure whether a delay really endangers the POD time and how the schedule has to be replanned. Often decisions are made based on experience only or by suboptimal coordination with the follow-up decision makers. In this paper, we address both the initial and the adaptive planning problem of the D2D process and propose a decentralized approach that can be used to solve both planning problems.

1.4 Literature Review

Transportation planning problems for freight forwarding are intensively studied in the literature. We review freight transportation in general and discuss optimization problems and solution approaches that are related to our problem. Finally, we evaluate research that regards the differences of central and decentral organization of transportation problems.

A good overview of transportation problems is given in Crainic (2003). Grünert and Sebastian (2000) discuss planning models for long-haul operations of post and express freight. However, the proposed central decision support is designed for a single logistics company that is responsible for the entire forwarding process. In Krajewska and Kopfer (2009), a planning approach for landside forwarding less-than-truckload shipments is proposed that integrates hired subcontractors besides the trucking company's fleet. Research for air cargo has mainly focused on air cargo assignment to capacities of the airlines. In Bartodziej et al. (2007), a mathematical programming approach to revenue management in cargo airlines is studied. Optimization models for air container and cargo loading problems in freight forwarding are proposed in Wu (2010). Both a deterministic and a stochastic problem under uncertainty are solved by means of mixed integer programming, stochastic and robust optimization. However, the paper only discusses the renting and loading of the freight of the airlines and ignores the forwarding from the door of the shipper to the carrier as well as the forwarding after the flight to the door of the consignee. In Cho et al. (2010), a multiobjective dynamic programming approach for intermodal transport planning is proposed but the approach disregards uncertainty and is not proposed for a decentralized setup.

Planning the transportation of air cargo freight is strongly related to multicriteria shortest path problems (MSPP). MSPPs are solved for example with labeling algorithms and dynamic programming (Desrochers and Soumis (1988), Iori et al. (2010), Reinhardt and Pisinger (2011)) or with Markov decision processes (Wakuta (2001)). A comparison for some of the solution methods is given in Raith and Ehrgott (2009) and Tarapata (2007). Coutinho-Rodrigues et al. (1999) propose an interactive approach for bicriteria shortest path problems that uses a k-shortest path procedure discussed in Azevedo et al. (1993). Most methods for MSPP are designed for central planning and it is often not straight forward to apply them in a decentralized setup. In Abram and Rhodes (1982), a decentralized algorithm is proposed that finds shortest paths in dynamic networks. However, this approach does not address stochastic edge lengths and time-dependent availability of edges to model delays and missings of follow-up transports. Stochastic shortest path problems are also widely studied Bertsekas and Tsitsiklis (1991) and Murthy and Sarkar (1998). However, research on stochastic problems that also considers multiple criteria is rare (Nielen et al. (2009)).

In Hülsmann and Windt (2007), a paradigm change in logistics from central control and planning toward decentralized and autonomous perspectives and its implications for decision making are studied. In Duffie (2008), different decision making structures for logistic systems are discussed: hierarchy, heterarchy, responsible autonomy, and

anarchy. In order to meet the requirements of the D2D process, a decentralized approach for decision support must be addressed that delegates control in heterarchic and hierarchic structures, i.e., heterarchic local planning and hierarchic global planning.

To our best knowledge, no existing approach in the literature simultaneously addresses multicriteria decentralized transportation planning under uncertainty with fixed time-tables for the start times of the transports, a setup we face in forwarding air cargo freight.

1.5 Contribution of this Work

This work is a continuation of Berger and Schröder (2011). We argue that it is possible to overcome the deficient situation of complex transportation chains like in the air cargo industry by using optimization methods for decentralized decision making. We propose a dynamic programming approach that enables the decision makers in the decentralized situation to make decisions better aligned with decisions from others. The approach guarantees that sensitive information of the logistics companies are kept local and only the most necessary information is shared along the logistic chain for a better planning. The transportation is planned with regard to uncertainty and multiple criteria, like the expected transportation costs and the probability to deliver the freight in the desired POD. Our approach solves both the initial and adaptive planning problem of the D2D forwarding process and provides the decision makers an evaluation of their transport options with respect to the optimization criteria.

We further show that it is decentralized by nature and needs lean information exchange without sharing sensitive data. Through its concept, it is as strong as a centralized approach that gathers all distributed information but that still authorizes the logistic service providers to decide individually. Hence, it is not necessary to maintain distributed information at a central instance.

We also emphasize that the concepts of our algorithm are not limited to the forwarding of air cargo but can analogously be applied in other freight forwarding processes like land or sea cargo forwarding where multiple logistics providers are involved as well.

1.6 Outline of the Paper

In Sect. 2, we introduce the planning model our algorithms work on. In Sect. 3, we introduce the decentralized multicriteria dynamic program that is solved in the decentralized D2D setup. We evaluate our algorithm in Sect. 4. In Sect. 4.1 we present a conceptual analysis. Sect. 4.2 shows an empirical study based on simulations of the D2D process where transportation is initially planned and in case of delays adaptively replanned. We conclude the paper in Sect. 5.

2 Planning Model

Our decentralized decision support is designed for a decision maker who has to plan the forwarding of a single air freight consignment. It supports him in two situations: when he has to assign an initial forwarding plan for the air freight; and when he has to

reschedule the forwarding due to severe disruptions during execution of the D2D process. Our methods work for both the initial planning and the replanning. Without loss of generality, we mainly focus on the initial planning situation because the replanning can be viewed as initial planning for the decision maker who is currently in control of the forwarding. Interdependencies between cargo are disregarded in the global planning but we assume that they are locally regarded in the transport planning of each decision maker. We keep the global planning problem simple in this way but locally regard the effects of interdependencies.

We consider a planning situation in which the air freight must be picked up at the shipper at time $a_0 \in \mathbb{R}_0^+$ and whose POD is at time $t_{POD} \in \mathbb{R}_0^+$. Our approach relies on a stochastic model of the planning situation that regards delays in transportation. For simplicity's sake, we consider the transport steps of the forwarding as being binomial distributed: a transport is on time with a probability $p \in [0,1]$ and delayed with probability $1-p$. Our approach can straightforwardly be extended to more detailed probability distributions without increasing the worst-case runtime complexity.

We assume an acyclic transport network $G(L,E)$ to send air freight from a shipper to a consignee. The nodes L of the network are possible locations of the D2D chain. The edges E represent transport relations that connect the locations and that have several transport options attached to forward the air freight. Without loss of generality, we assume that there is at least one path from the shipper to every location in the transport network and that there is at least one path from every location to the consignee. Hence, we assume that $G(L,E)$ is a weakly connected graph. These assumptions are no restrictions since locations that are not on a path from the shipper and that are not on a path to the consignee cannot be used within the D2D process chain. An example for a transport network topology is given in Fig. 2 to which Table 1 associates possible D2D locations.

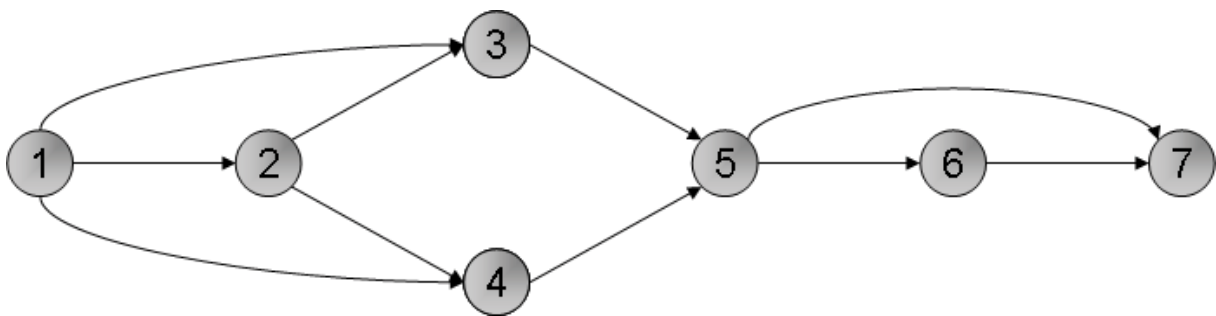


Fig. 2: Example for a transport network topology.

Node	D2D location
1	Shipper
2	Export warehouse
3	Export hub 1
4	Export hub 2
5	Import hub
6	Import warehouse
7	Consignee

Table 1: Possible D2D locations for the nodes of the transport network of Fig. 2.

In such a given transport network with $n \in \mathbb{N}$ locations, the sink location L_n represents the consignee and the source location L_1 represents the shipper. We formalize the connections between the locations as follows:² a function $e^+ : L \rightarrow 2^L$ returns all direct predecessor locations that forward to a location and a function $e^- : L \rightarrow 2^L$ gives all direct successor locations of a location. When the context is clear, we simply use the location indices in these functions, i.e., we use functions $e^+, e^- : \{1, \dots, n\} \rightarrow 2^{\{1, \dots, n\}}$.

Furthermore, we have transport options for all transport relations in E : The k -th transport option T_{ij}^k of $m_{ij} \in \mathbb{N}$ options from location L_i to location L_j is described by a starting time $s_{ij}^k \in \mathbb{R}_0^+$, a regular arrival time $a_{ij}^k \in \mathbb{R}_0^+$ and a delayed arrival time $l_{ij}^k \in \mathbb{R}_0^+$ at the next location L_j . The binomial distributed lateness probability is expressed as follows: The on time arrival time a_{ij}^k is realized with a probability $p_{ij}^k \in [0, 1]$ whereas a delayed arrival time l_{ij}^k is realized with probability $1 - p_{ij}^k$. The costs $c_{ij}^k \in \mathbb{R}_0^+$ for the transport T_{ij}^k are known for each option and are assumed to be independent of delays.

Our decentralized decision support provides the current decision maker in the D2D process an evaluation of his transport options that reflects the influence of his decisions on the follow-up forwarding operations. The decision maker at location L_i of the D2D chain who receives an air freight item at time t , gets an evaluation of his transport options with respect to the following two criteria:

1. The criterion $C(i, t)$ describes the expected costs for the remaining transport chain from location L_i to final destination L_n ,
2. The criterion $P(i, t)$ describes the probability to achieve the POD at time t_{POD} by taking possible delays into account.

² The notation 2^L means the power set of the set L .

The decision maker of each location L_i follows a business policy $\alpha_i \in [0,1]$ that represents a weight between the criteria for the expected costs and the POD probability. A value of one yields a business policy in which the decision maker only wants to maximize the probability of a POD whereas a value of zero represents his intention to minimize expected costs. The model could be easily extended to more than these two criteria.

The air freight forwarding is successively planned with respect to the expected costs $C(i,t)$ and the overall POD probability $P(i,t)$ by solving a bicriteria stochastic optimization problem for the current location L_i at time t with respect to the remaining logistic chain.

3 Decentralized Multicriteria Dynamic Program

In this section, we introduce our dynamic programming approach to solve our initial and adaptive planning problems for the D2D process.

Dynamic programming is a method for efficiently solving a broad range of search and optimization problems that exhibit the following two characteristics:

1. The problem can be broken down into easy subproblems, which are reused multiple times.
2. The global optimal solution can be constructed from locally optimal solutions to the subproblems.

These characteristics enable us to approach the forwarding problem in a decentralized way. The local planning subproblem is solved at each location and the global solution is constructed by combining the local solutions sharing only the expected costs and the POD probability between the locations. A dynamic program can be solved by recursion. In the following, we describe the main steps of the recursive algorithm and use an additional notation for the set of possible arrival times at a location L_j :

$$A_j := \left\{ a_{ij}^k \mid \forall L_i \in e^+(L_j), k = 1, \dots, m_{ij} \right\} \cup \left\{ l_{ij}^k \mid \forall L_i \in e^+(L_j), k = 1, \dots, m_{ij} \right\}, j = 2, \dots, n, \\ A_1 := \{a_0\}.$$

3.1 Initialization

Our algorithm initially calculates the expected costs $C(n,t)$ and the POD probability $P(n,t)$ of the consignee location L_n for all $t \in A_n$ as follows:

$$C(n,t) := 0, \\ P(n,t) := \begin{cases} 1, & t \leq t_{POD}, \\ 0, & t > t_{POD}. \end{cases}$$

3.2 Recursion

We assume that the expected costs $C(j, t)$ and the POD probability $P(j, t)$ were calculated in the previous recursion steps for all times $t \in A_j$ and for all successor locations $L_j \in e^-(L_i)$ of location L_i . Then we can calculate $C(i, t)$ and $P(i, t)$ for all times $t \in A_i$ as follows:

- For all $k \in \{1, \dots, m_{ij}\}$ where the start times s_{ij}^k are earlier than the current time t , i.e., $s_{ij}^k < t$, we set the expected costs and the POD probability as follows:

$$C(i, t) = 0, \quad P(i, t) = 0.$$

- Let $K(i, j, t) := \{k \mid k \in \{1, \dots, m_{ij}\} \wedge s_{ij}^k \geq t\}$ be indices of the feasible transport options from L_i to L_j at time t . Furthermore, let $s_{ij} := \min_{k \in \{1, \dots, m_{ij}\}} s_{ij}^k$ be the earliest start time of a transport option from L_i to L_j . For the indices $k \in K(i, j, t)$ we calculate the expected costs and the POD probability as follows:

$$\begin{aligned} \tilde{C}(i, j, t, k) &:= c_{ij}^k + p_{ij}^k C(j, a_{ij}^k) + (1 - p_{ij}^k) C(j, l_{ij}^k), \\ \tilde{P}(i, j, t, k) &:= p_{ij}^k P(j, a_{ij}^k) + (1 - p_{ij}^k) P(j, l_{ij}^k), \\ \bar{C} &:= \sum_{j \in e^-(i)} \sum_{k \in K(i, j, s_{ij})} \tilde{C}(i, j, t, k), \\ \bar{P} &:= \sum_{j \in e^-(i)} \sum_{k \in K(i, j, s_{ij})} \tilde{P}(i, j, t, k). \end{aligned}$$

We define the indices $j^* \in e^-(i)$ and $k^* \in K(i, j^*, t)$ as follows:

$$(j^*, k^*) := \arg \min_{j \in e^-(i), k \in K(i, j, t)} (1 - \alpha_i) \frac{\tilde{C}(i, j, t, k)}{\bar{C}} - \alpha_i \frac{\tilde{P}(i, j, t, k)}{\bar{P}}.$$

The index j^* yields the local optimal transport connection and the index k^* the local optimal transport option T_{ij}^k from L_i to L_j according to the business policy α_i . Finally, the expected costs and the POD probability for L_i at the time t are as follows:

$$C(i, t) := \tilde{C}(i, j^*, t, k^*), \quad P(i, t) := \tilde{P}(i, j^*, t, k^*).$$

3.3 Termination

The recursion terminates when the expected costs $C(1, a_0)$ and the POD probability $P(1, a_0)$ for the first location L_1 are calculated.

3.4 Decentralization of the Algorithm

In Berger and Schröder (2011) our dynamic program is illustrated from a centralistic point of view. Here we highlight details of the decentralistic point of view. We especially focus on the initial planning problem. The replanning problem is solved analogously, because it only differs in which location is the requesting location.

In order to execute the dynamic program in a decentralized fashion, the initialization of $C(n, t)$, $P(n, t)$ shown in Sect. 3.1 and the recursive solving of the local planning problems shown in Sect. 3.2, i.e. the calculation of $C(i, t)$, $P(i, t)$, $i = n-1, \dots, 1$, have to be done on the corresponding nodes L of the transport network that do not share all necessary data. The only information that needs to be exchanged to start the planning is the following:

1. The POD time t_{POD} has to be communicated from L_1 to L_n ,
2. and the arrival times A_j have to be communicated from the predecessors $L_i \in e^+(L_j)$ to the successors L_j for $j = 2, \dots, n$.

The planning location L_1 sends a request containing t_{POD} to the location L_n . At location L_n the values of the criteria $C(n, t)$, $P(n, t)$ for the times $t \in A_n$ are initially calculated. These values are send to all predecessors $e^+(L_n)$ of location L_n . Each location L_i of the network solves its local planning problem once all successors $L_j \in e^-(L_i)$ have reported $C(j, t)$, $P(j, t)$ for all times $t \in A_j$. After solving the local planning problem, location L_i sends $C(i, t)$, $P(i, t)$ for all times $t \in A_i$ to its predecessors. This recursion terminates when the requesting location L_1 has solved its local planning problem.

4 Evaluation

4.1 Conceptual Analysis

Our dynamic programming approach exploits information of the entire transport network but one important property of it is that it must not exchange all local information like

- the business policies α_j ,
- the transport data $T_{jx}^k, a_{jx}^k, l_{jx}^k, p_{jx}^k$,
- and their cost structure c_{jx}^k .

The only information that needs to be propagated backwards in the network are possible times to process the freight, i.e.

$$t \in \left\{ s_{jx}^k \mid k = 1, \dots, m_{jx}, \forall L_x \in e^-(L_j) \right\},$$

the corresponding expected costs $C(j, t)$ and the POD probability $P(j, t)$ for further forwarding it to the consignee. Each location inserts its local information in the planning and implicitly propagates it backwards in the network. Fig. 3 illustrates what data have to be exchanged between locations and what data are sealed locally.

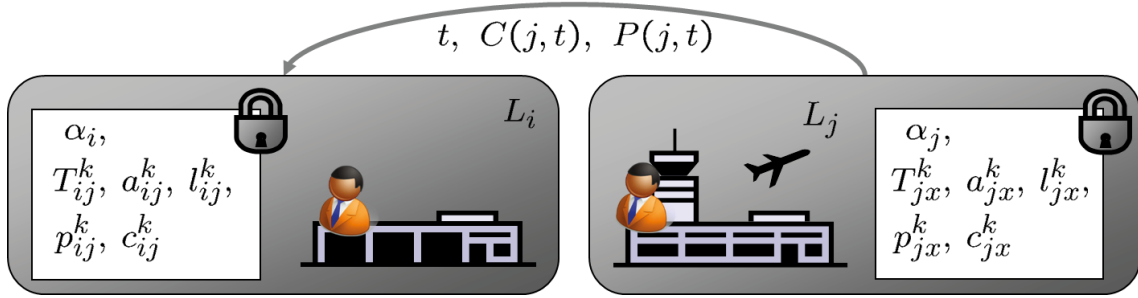


Fig. 3: Illustration that shows which data need to be exchange and what data are sealed locally by our planning approach.

The risk that sensitive information can be reengineered by means of executing the algorithm multiple times with slightly changed input parameters is low because the exchanged information is aggregated with information of several follow-up logistic service providers. It is hard to deduce individual data of decision makers just with the help of the aggregated criteria. Only the direct predecessor of the last decision maker can potentially gain insights if he knows that he directly precedes the last decision maker. However, such an attack is unlikely, rather artificial and can be easily prevented by assuring decision makers do not know whether they are direct predecessors of the last decision maker.

Our dynamic program could also be executed by a central authority who knows all information. However, we state that this algorithm also works perfectly in the described decentralized setup without the need to maintain all relevant information from a central instance.

4.2 Empirical Studies

In this subsection, we evaluate the dynamic programming algorithm by empirical studies. First, we simulate D2D forwarding where our dynamic program is used to choose a follow-up transport option and evaluate the outcomes of the simulations. Then we present an example of how the dynamic program can be applied in planning situations.

4.2.1 Simulation of the D2D forwarding process

We first simulate an example of a D2D process on a transport network as it is illustrated in Fig. 2 and transport options given in Table 2. The transport network was discussed with experts of the air cargo industry and represents a small but realistic and typical network structure: for example the nodes 3 and 4 represent alternative export hubs; the transport connections from the shipper node 1 directly to the export hubs 3 and 4 and the connection from the import hub node 5 to the consignee node 7 represent

transport options that skip the warehouses 2 and 6. The data of the transport options are fictive but were designed to model a realistic situation. In the given example, an air freight item should be picked up at the shipper location L_1 at $a_0 = 6$ am and should be delivered at the consignee location L_7 at $t_{POD} = 5$ pm.

T_{ij}^k	s_{ij}^k	a_{ij}^k	l_{ij}^k	p_{ij}^k	c_{ij}^k
T_{12}^1	6	7	8	0.95	100
T_{12}^2	6	7.5	8.5	0.98	90
T_{12}^3	7	8.5	9	0.90	80
T_{13}^1	7	10	11.5	0.92	250
T_{14}^1	7	10.5	11.25	0.99	270
T_{23}^1	7	10	11	0.95	100
T_{23}^2	7.5	11	12	0.98	80
T_{23}^3	9	12	12.5	0.90	70
T_{24}^1	7	10	11	0.95	100
T_{24}^2	7.5	11	12	0.96	65
T_{35}^1	10	14	15	0.95	210
T_{35}^2	11	14	15	0.90	200
T_{35}^3	13	15	16	0.50	100
T_{45}^1	10	14	15	0.95	210
T_{45}^2	11	14	15	0.90	200
T_{45}^3	12	15	16	0.92	200
T_{56}^1	14	15	16	0.90	200
T_{56}^2	15	16	17	0.70	100
T_{56}^3	19	20	21	0.45	90
T_{57}^1	15	16.5	17.5	0.99	250
T_{67}^1	15	16	17	0.90	200
T_{67}^2	16	17	17.5	0.70	100
T_{67}^3	21	21.5	22	0.45	90

Table 2: Transport options for the transport network of Fig. 2.

We simulate the D2D process via the transport network in two scenarios:

1. We choose 21 equal business policies for the locations of the transport network, i.e.

$$\alpha(q) = \frac{q}{20}, \alpha_i = \alpha(q), \quad \forall L_i \in L, q = 0, 1, \dots, 20.$$

Equal business policies can be assumed for D2D processes where all decision makers have equal preferences regarding their decision criteria.

2. We uniformly choose 20 independent business policies for all locations, i.e.

$$\alpha_i(q) = \text{rand}(0, 1), \quad \forall L_i \in L, q = 0, 1, \dots, 19.$$

Independent business policies can be assumed when each decision maker has different preferences, e.g., when they belong to autonomous logistics companies.

For all business policy setups, the forwarding of the air freight is simulated 1000 times by uniformly choosing on time arrivals for the transport options.

The mean μ and standard deviation σ for the realized overall costs and the POD probability are evaluated for all simulated forwarding's. The rounded results for the equal business policies are given in Table 3. Table 4 shows the results for uniformly chosen independent business policies.

The results of Table 3 for equal business policies show that our method achieves a robust planning support for the simulated forwarding: for most business policies a POD probability mean of 1 is achieved; the standard deviations for both criteria are acceptable.

The results of Table 4 for randomly chosen business policies show that our method achieves also a robust planning support for this setup: for more than half of the business policies a POD probability mean of 1 is achieved; the standard deviations for both criteria are acceptable.

When we compare the two setups we observe that the variations of the outcome for the setup where business policies are chosen randomly are varying more often. This results from contradicting business policies α .

q	$\alpha(q)$	$\mu(\text{cost})$	$\mu(\text{POD})$	$\sigma(\text{cost})$	$\sigma(\text{POD})$
0	0	430	0	0	0
1	0.05	430	0	0	0
2	0.1	439	26	9	44
3	0.15	439	26	9	44
4	0.2	439	26	9	44
5	0.25	467	52	35	50
6	0.3	604	100	14	7
7	0.35	604	100	14	7
8	0.4	604	100	14	7
9	0.45	604	100	14	7
10	0.5	604	100	14	7
11	0.55	604	100	14	7
12	0.6	604	100	14	7
13	0.65	604	100	14	7
14	0.7	604	100	14	7
15	0.75	604	100	14	7
16	0.8	604	100	14	7
17	0.85	604	100	14	7
18	0.9	604	100	14	7
19	0.95	720	100	0	0
20	1	720	100	0	0

Table 3: Mean and standard deviation for the realized costs and the POD simulated with 21 equal business policies.

q	$\mu(\text{cost})$	$\mu(\text{POD})$	$\sigma(\text{cost})$	$\sigma(\text{POD})$
0	611	93	31	25
1	604	100	14	7
2	720	100	0	0
3	604	100	14	7
4	720	100	0	0
5	720	100	0	0
6	467	52	35	50
7	467	52	35	50
8	604	100	14	7
9	720	100	0	0
10	720	100	0	0
11	720	100	0	0
12	604	100	14	7
13	467	52	35	50
14	467	52	35	50
15	430	0	0	0
16	617	99	20	9
17	430	0	0	0
18	720	100	0	0
19	467	52	35	50

Table 4: Mean and standard deviation for the realized costs and the POD simulated with 20 randomly independent business policies.

4.2.2 Application to Planning Situation

Finally, we present results of how the planning algorithm supports decision making in forwarding air freight. We take the previous evaluation setup, its transport network of Fig. 2, the transport options of Table 2 and the air freight item that should be picked up at the shipper location L_1 at time $a_0 = 6$ am and should be delivered at the consignee location L_7 at $t_{\text{POD}} = 5$ pm. The decision maker for the transport from the location L_1

wants to coordinate himself with the possible follow-up decision makers by using the distributed planning algorithm. We assume that all follow-up decision makers follow a business policy of $\alpha_i = 0.5, i = 1, \dots, 7$. The first decision maker however does not fix his policy in advance. Instead he wants to compare different nondominated transport options. Therefore, we start the dynamic program for different business policies $\alpha_1 = 0.1q, q = 0, 1, \dots, 10$ of the first decision maker. For each of the eleven resulting business policy setups of the decision maker, we start the dynamic program and gain an evaluation of the transport options of the first decision maker. Table 5 and Fig. 4 illustrate the resulting three nondominated transport options for the first decision maker.

T_{ij}^k	$C(1, a_0)$	$P(1, a_0)$
T_{12}^2	602	98
T_{12}^3	465	50
T_{14}^1	720	99

Table 5 : Expected costs and POD probability of the three nondominated transport options.

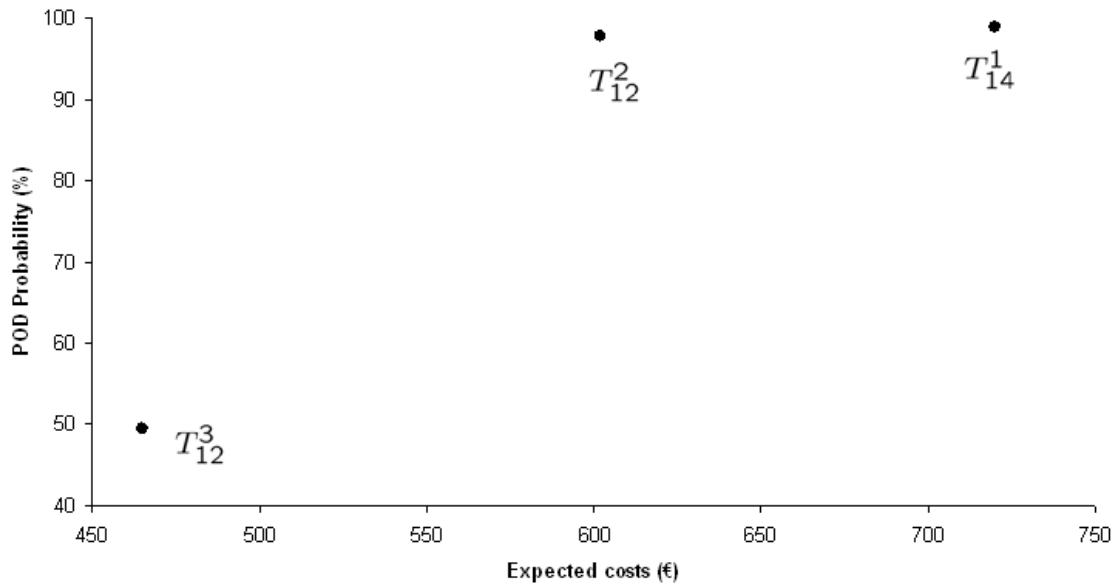


Fig. 4 : Nondominated transport options for the first transportation step from the shipper.

The decision maker who has to decide the first transportation step from the shipper is now able to compare his nondominated transport options that correspond to different business policies he can choose. Each evaluated transport option is aligned with the entire D2D transport network. In this way, the decision maker has a feedback of possible follow-up decisions. For getting these results with the dynamic program he does not have to share all detailed information with a central planning instance and maintains his authority.

5 Conclusions

In this paper, we presented initial results of providing decentralized decision support for forwarding air cargo freight along the door to door process chain. We proposed a dynamic programming approach that enables the decision makers to coordinate transportation with the follow-up decision makers in the process chain. Our algorithm needs only lean information exchange that does not reveal sensitive data of the collaborating logistics companies. Each participant can plan his decision locally and the algorithm coordinates the local planning options of the participants. Therefore, it can operate decentralized planning situations.

In future, research we refine our decentralized decision support approach: we will extend the approach for other criteria that are important for the D2D process like a Carbon dioxide footprint predictor of the transportation and a utilization measure of the warehouses and hubs; we will replace the binomial distribution of the lateness of the transport options by more detailed probability distributions. We will compare it to other planning algorithms, e.g., an adapted multiobjective stochastic shortest path problem solver or to a stochastic programming approach. We will also test our approach on real world transport networks and transport data in order to substantiate the practical relevance of our work.

6 References

- Abram J, Rhodes I (1982): Some shortest path algorithms with decentralized information and communication requirements. *IEEE Trans Autom Control* 27(3):570–582. doi:10.1109/tac.1982.1102987
- Azevedo JA, Costa MEOS, Madeira JJERS, Martins EQV (1993): An algorithm for the ranking of shortest paths. *Eur J Oper Res* 69(1):97–106. doi:10.1016/0377-2217(93)90095-5
- Bartodziej P, Derigs U, Zils M (2007): O&D revenue management in cargo airlines—a mathematical programming approach. *OR Spectr* 29(1):105–121. doi:10.1007/s00291-005-0019-y
- Berger M, Schröder M (2011): Multicriteria decentralized decision making in logistic chains: a dynamic programming approach for collaborative forwarding of air cargo freight. *Logist Res* 3(2):121–132. doi:10.1007/s12159-011-0055-8
- Bertsekas DP, Tsitsiklis JN (1991): An analysis of stochastic shortest path problems. *Math Oper Res* 16(3):580–595. doi:10.1287/moor.16.3.580
- Cho J, Kim H, Choi H (2010): An intermodal transport network planning algorithm using dynamic programming—a case study: from Busan to Rotterdam in intermodal freight routing. *Appl Intell* 1–13. doi:10.1007/s10489-010-0223-6
- Cormen TH, Leiserson CE, Rivest RL, Stein C (2001): *Introduction to algorithms*. 2nd edn. MIT Press, Cambridge
- Coutinho-Rodrigues JM, Clímaco JCN, Current JR (1999): An interactive bi-objective shortest path approach: searching for unsupported nondominated solutions. *Comput Oper Res* 26:789–798. doi:10.1016/s0305-0548(98)00094-x
- Crainic T (2003): *Handbook of transportation science*. In: *International Ser Oper Res Management Sci*, vol 56, 2nd edn. Chap. Long Haul Freight Transportation. Springer, New York, pp 451–516
- Desrochers M, Soumis F (1988): A generalized permanent labelling algorithm for the shortest path problem with time windows. *IFOR* 26(3):191–212
- Duffie NA (2008): Challenges in design of heterarchical controls for dynamic logistic systems. In: Kreowski HJ, Scholz-Reiter B, Haasis HD (eds) *Dynamics in logistics*. Springer, Berlin, pp 3–24. doi:10.1007/978-3-540-76862-3

- Grünert T, Sebastian HJ (2000): Planning models for long-haul operations of postal and express shipment companies. *Eur J Oper Res* 122(2):289–309. doi:10.1016/s0377-2217(99)00234-9
- Hülsmann M, Windt K (eds) (2007): Understanding autonomous cooperation & control in logistics—the impact on management, information and communication and material flow. Springer, Berlin
- Iori M, Martello S, Pretolani D (2010): An aggregate label setting policy for the multi-objective shortest path problem. *Eur J Oper Res* 207(3):1489–1496. doi:10.1016/j.ejor.2010.06.035
- Krajewska M, Kopfer H (2009): Transportation planning in freight forwarding companies: Tabu search algorithm for the integrated operational transportation planning problem. *Eur J Oper Res* 197(2):741–751
- Murthy I, Sarkar S (1998): Stochastic shortest path problems with piecewise-linear concave utility functions. *Manag Sci* 44(11):125–136. doi:10.1287/mnsc.44.11.s125
- Nielsen LR, Pretolani D, Andersen KA (2009): Bicriterion shortest paths in stochastic time-dependent networks. In: Barichard V, Ehrgott M, Gandibleux X, Tkindt V (eds) *Multiobjective programming and goal programming, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*. vol 618, Springer, Berlin, pp 57–67
- Raith A, Ehrgott M (2009): A comparison of solution strategies for biobjective shortest path problems. *Comput Oper Res* 36:1299–1331. doi:10.1016/j.cor.2008.02.002
- Reinhardt LB, Pisinger D (2011): Multi-objective and multiconstrained non-additive shortest path problems. *Comput Oper Res* 38:605–616. doi:10.1016/j.cor.2010.08.003
- Schönberger J (2005): Operational freight carrier planning: basic concepts, optimization models and advanced memetic algorithms. 1st edn. Springer, Berlin
- Tarapata Z (2007): Selected multicriteria shortest path problems: An analysis of complexity, models and adaptation of standard algorithms. *Int J Appl Math Comput Sci* 17:269–287. doi:10.2478/v10006-007-0023-2
- Wakuta K (2001): A multi-objective shortest path problem. *Math Meth Oper Res* 54:445–454. doi:10.1007/s001860100169
- Wu Y (2010): Modeling of containerized air cargo forwarding problems under uncertainty. *J Oper Res Soc* (to appear). doi:10.1057/jors.2010.84

Bidding in Combinatorial Transport Auctions

Tobias Buer

Chair of Logistics, University of Bremen,
Wilhelm-Herbst-Straße 5, 28359 Bremen, Germany,
tobias.buer@uni-bremen.de

Herbert Kopfer

Chair of Logistics, University of Bremen,
Wilhelm-Herbst-Straße 5, 28359 Bremen, Germany,
kopfer@uni-bremen.de

Abstract

This paper examines a Bid Generation and Evaluation Problem (BGEP) faced by a freight carrier in a combinatorial procurement auction for transport requests. Combinatorial Auctions allow carriers to bid on any subset of the set of tendered transport requests (bundle bidding). The BGEP determines the set of bundle bids that a carrier should submit in an auction. A single bundle bid consists of a subset of the transport requests and a price charged for executing the bundle of transport requests. We develop an exact and a heuristic bidding strategy. The exact approach generates and evaluates all possible bundle bids, whereas the heuristic strategy focuses on promising request combinations identified by a synergy measure. The bidding strategies are evaluated by means of a computational study with 45 benchmark instances. The heuristic strategy generates only about 22 percent of the bundle bids of the exact strategy, nevertheless, the generated bundle bids still win about 73 percent of the revenue achievable by the carrier in a combinatorial auction.

1 Introduction and Literature Review

This contribution examines a Bid Generation and Evaluation Problem (BGEP) faced by a freight carrier in a combinatorial procurement auction for transport requests. A combinatorial auction is used to simultaneously tender a set of heterogeneous transport requests. On the one hand, combinatorial auctions can be applied by carriers to implement collaborative planning in a groupage system¹; on the other hand, large shippers conduct combinatorial auctions to procure their required transport services from many carriers². Real-world transport procurement auctions are usually voluminous, i. e., in a single auction some hundred requests with an annual value of several million US-Dollar are allocated³.

In contrast to conventional auctions, combinatorial auctions allow bidders to submit bundle bids. A bundle bid is a bid on any subset of the tendered transport requests. The bid price is the amount of money the bidding carrier charges to fulfill all transport requests of the bundle bid. Furthermore, bundle bids are all-or-nothing bids, i. e., a carrier either wins all requests composed in a bundle bid or none. For this reason, carriers are safe to express their valuations for combinations of requests which usually differ from the sum of the valuations of the respective individual requests. This is due to economies of scope and the effects of the compatibility between transport requests, i. e., the costs to fulfill a request significantly depend on the amount and characteristics of additional requests a carrier has to fulfill, e. g., the requests can be executed at lower costs, if they can be combined in a well-balanced tour.

The literature regarding combinatorial auctions for transport services is predominantly concerned with the formulation and solution of Winner Determination Problems (WDP)⁴. In this class of problems, which are often formulated as NP-hard combinatorial optimization problems, an auctioneer has to decide, which of the submitted bundle bids should be accepted⁵. Typically, in a WDP the bundle bids are usually considered as input data for the problem and are given. However, in practice carriers have to generate and evaluate bundle bids, if they participate in a combinatorial auction. Given n tendered requests, a carrier has to look at up to $2^n - 1$ possible request combinations for which she has to calculate a bid price, which makes the problem difficult to solve.

Only a few problem types of BGEP are treated in the literature, nevertheless, two streams can be identified. On the one hand, there are central approaches which assume, that carriers reveal their cost function and the auctioneer calculates the relevant bid prices himself⁶. This can simplify the BGEP and the corresponding WDP, but requires the willingness to share sensitive information. On the other hand, distributed or local

¹ Kopfer and Pankratz (1999)

² Caplice and Sheffi (2006), Sheffi (2004)

³ Caplice and Sheffi (2006)

⁴ for a recent review of the literature cf. Abrache et al. (2007)

⁵ e. g., Sheffi (2004), Buer and Pankratz (2010b), Buer and Pankratz (2010a)

⁶ Chen et al. (2009), Beil et al. (2007)

approaches explicitly try to calculate bundle bids though this is computationally challenging⁷.

In this contribution, we follow the distributed approach to avoid the necessity to share information which is often private. The study at hand distinguishes itself from the existing distributed approaches as follows. Wang and Xia⁸ consider full-truckload requests, bundle bids are generated in order to minimize the total empty movement of the vehicles, and the price of a set of requests (bundle) always equals the sum of the prices of the individual requests. In contrast, for the study at hand we assume less-than-truckload requests whose prices are not independent of each other. Gujo and Schwind⁹ describe an information system to support a groupage system that is able, among other things, to calculate marginal prices (based on the solution of a capacitated vehicle routing problem with time windows and time dependent travel times) for individual requests but apparently not for bundled requests. Lee et al.¹⁰ propose a quadratic constrained problem formulation and different solution approaches to construct a single optimal or near-optimal bundle bid. Our approach constructs many bundle bids and we explicitly evaluate our approaches by taking into account the solution of an auctioneer's winner determination problem. This is also done by Song and Regan¹¹ who consider full-truckload transport networks with up to ten new requests to bid for. Our approach is able to generate bundle bids for up to 40 less-than-truckload requests. However, our approach does not yet consider existing commitments to transport requests; we leave this to future research.

In Section 2, we formulate a basic bid generation and evaluation problem which combines bundling of requests with route planning based on the traveling salesman problem. We assume carriers are bidding according to their honest preferences and therefore do not integrate game theoretic considerations. To solve the proposed BGEP, in Section 3 we develop an exact algorithm and a heuristic algorithm. These solution approaches are also called bidding strategies. Furthermore, we evaluate the algorithms by means of computational experiments in Section 4. To do this, we propose new benchmark instances and incorporate the solution of a WDP in our evaluation method. Section 5 concludes the paper and gives hints for future research.¹²

2 Bid Generation and Evaluation Problem

The Bid Generation and Evaluation Problem (BGEP) has to be solved by a carrier c in a combinatorial transport auction. The carrier c has to decide on which subsets of transport contracts a bundle bid should be placed and which price should be charged

⁷ Song and Regan (2005), Lee and Kumara (2007), Gujo and Schwind (2008), Wang and Xia (2005)

⁸ Wang and Xia (2005)

⁹ Gujo and Schwind (2008)

¹⁰ Lee et al. (2007)

¹¹ Song and Regan (2005)

for each subset. The goal is to maximize the sum of prices of the bundle bids that are accepted as winning bids by the auctioneer.

2.1 Problem Formulation Using Auctioneer's Knowledge

The problem setting is characterized by asymmetric information between the auctioneer and the bidding carriers. The outcome of the BGEP heavily depends on external factors which cannot be controlled by the bidding carrier c . On the one hand, the auctioneer and not the carrier is responsible to formulate and solve the WDP of the combinatorial auction. On the other hand, of course, the solution of the WDP does not depend on the bundle bids submitted by carrier c only, but on all submitted bundle bids including those by the rivals of carrier c .

To illustrate these issues, we pretend that carrier c would have the information that is usually only accessible to the auctioneer and, additionally, we make the following assumptions for the auction scenario.

- Bundle bidding is allowed.
- The auctioneer formulates the WDP as the well-known set covering problem without further constraints. Set partitioning formulations of the WDP are also discussed in the literature, however, everything equal, these can lead to higher procurement costs for the auctioneer¹³.
- Carriers bid truthfully, that is, prices of bundle bids reflect the true valuations of the bidders and there is no strategic bidding. From this follows, that each carrier looks on his own situation independently of his rivals' bids.
- The pricing happens cost-based; the price of bundle is proportional to the costs of executing the requests. Therefore, we can focus on the calculation of the occurring costs of executing requests.

The WDP given by (1), (3), (4), without (2), is solved by the auctioneer. These equations define the well-known NP-hard set covering problem. The set of submitted bundle bids B can be partitioned into the subsets B^c and B^r with $B^c \cup B^r = B$ and $B^c \cap B^r = \emptyset$. B^c denotes the set of bids submitted by carrier c and B^r denotes the set of bids submitted by the rivals of carrier c , i. e., all other carriers. For each submitted bundle bid $b \in B$, the auctioneer decides, whether b is accepted as winning bid ($x_b = 1$) or not ($x_b = 0$). The goal is to minimize the total procurement costs (1), i. e., the sum of the prices of all winning bids. A feasible set of winning bids covers each transport request at least once (3). If bundle bid b contains transport request t , then b covers t and $a_{t,b} = 1$, otherwise $a_{t,b} = 0$.

$$\text{lex min } f_1(x) = \sum_{b \in B^c \cup B^r} p_b x_b, \quad (1)$$

$$\text{lex max } f_2(x) = \sum_{b \in B^c} p_b x_b, \quad (2)$$

¹³ e. g., Buer and Pankratz (2010a)

subject to

$$\sum_{b \in B^c \cup B^r} a_{t,b} x_b \geq 1, \quad \forall t \in T, \quad (3)$$

$$x_b \in \{0,1\}, \quad \forall b \in B^c \cup B^r. \quad (4)$$

At the top-level of this hierarchical approach we model supplier selection alternatives and the corresponding investment and switching costs. The model presented above will be used as the base-level of the hierarchical approach to evaluate the impacts of the supplier selection decisions on mid-term performance.

If a profit maximizing carrier c was aware of both, this formulation of the WDP and the set of bundle bids B^r , he could design his set of bundle bids B^c in order to maximize the sum of the prices of his accepted bundle bids. This goal could be integrated as a second objective function (2) which has to be maximized. Both objective functions (1) and (2) are to be optimized lexicographically. As the auctioneer is responsible to solve the WDP, the minimization of the total procurement cost ranks first priority and the maximization of carriers c revenue ranks second priority.

Because of asymmetric information, we cannot use model (1)–(4) directly. However, the model illustrates these issues at hand and can be used for evaluation purposes. In the following section, we change the point of view to the bidding carrier c and give details of the nature of the transport requests.

2.2 Problem Formulation from the Carrier's Perspective

In order to concretize the transport requests, we assume a procurement scenario of a shipper (auctioneer) where the transport requests are structured similar to the requests in a Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP). Carrier c has an unlimited number of vehicles. Each vehicle has equal capacity C . We are given a complete graph $G(N, E)$ with an edge set E and a node set $N = V \cup \{d, w\}$. The nodes represent geographical locations. Node $d \in N$ is the depot of carrier c , node $w \in N$ is the warehouse of the auctioneer, and the nodes $i \in V$ represent locations of the auctioneer's customers. Each customer $i \in V$ has a positive resource demand of $r_i \leq C$ that has to be fulfilled by a single delivery from the warehouse w . The demands of several customers can be fulfilled in a single tour. A tour is a sequence of nodes $(d, w, \dots, d)$ that starts and ends at the depot d . The second node is the warehouse w . All remaining nodes in the tour are a subset of customers $V' \subseteq V$ that can be served from warehouse w by a single vehicle, i. e., $\sum_{i \in V'} r_i \leq C$.

We distinguish the warehouse w of the auctioneer and the depot d of carrier c because in this scenario, the carriers have equal vehicles, no existing transport commitment and therefore differ only in their depot location. For this reason, the geographical location of the depot is the only cause for different transportation costs of the carriers. However, we consider this difference in the generation of benchmark instance (Section 4) and therefore can set both nodes equal in Section 3.

Each feasible tour of carrier c is related to a bundle bid $b \in B^c$. The price p_b of bundle bid b corresponds to the minimum tour length. Hence, for each feasible tour a Traveling Salesman Problem (TSP) has to be solved. The requests in bundle bid b correspond to the customer nodes $V' \subseteq V$. As the WDP introduced in Section 2.1, apart from the covering constraint, does not restrict possible combinations of accepted bundle bids, combinations of requests which make an infeasible tour do not have to be considered as possible bundle bids. Those set of requests are implicitly given through combinations of bids corresponding to feasible tours. Therefore, the number of possible bundle bids equals the number of all feasible tours which is less or equal $2^{|V|} - 1$.

To generate competitive bundle bids, we cannot limit ourselves to well-balanced tours which probably would result from solving a CVRP (slightly modified to account for the obligatory warehouse node). The competitiveness of a bundle bid depends also on the set of bids B^r of the rivaling carriers and is finally judged by the auctioneer. Even a bid based on a pendulum tour that is hardly used to capacity can be competitive, if from the auctioneer's perspective it fits exceptionally well to bundle bids in B^r .

In this setting, the Bid Generation and Evaluation Problem (BGEP) is the problem of generating all feasible tours and evaluating them by the minimum tour length. In the next section, we propose two bidding strategies or solution approaches to the BGEP.

3 Exact and Heuristic Bidding Strategies

For the introduced BGEP two bid generation and evaluation strategies (*bidding strategies*) are presented. The first strategy is a brute force method that generates and evaluates all feasible bundle bids. Therefore, it is called Optimal Bidding Strategy (OBS). The second bidding strategy measures the synergy between transport requests and generates only a subset of all feasible and promising bundles. It is denoted as Heuristic Synergy-based Bidding Strategy (HBS). Alg. 1 gives an overview of the general structure of both methods. While the evaluation phases of OBS and HBS are equal, OBS and HBS differ in the generation phase indicated by the procedure *generateSetOfBundles*. In Alg. 1, $v(b) \subseteq V$ denotes the set of customer nodes or transport requests in bundle b , respectively. The price of bundle b is denoted by p_b . In this setting, the Bid Generation and Evaluation Problem (BGEP) is the problem of generating all feasible tours and evaluating them by the minimum tour length. In the next section, we propose two bidding strategies or solution approaches to the BGEP.

Alg. 1: Overview Bidding Strategy

Input: depot node d of carrier c , customer nodes V , resource demand $r_i, \forall i \in V$

```

 $B^c \leftarrow \text{generateSetOfBundles}(V, r)$            // with  $p_b = 0, \forall b \in B^c$ 
foreach  $b \in B^c$  do
     $p_b \leftarrow \text{evaluateBundle}(v(b), d)$ 
end
return set of bundle bids  $B^c$ 

```

The WDP introduced in Section 2.1 assumes OR-bids. Therefore, a carrier can submit as many bids as possible and there are no further interdependencies between the bids. The usage of a more expressive bidding language¹⁴ could require a third phase in which a subset of the generated and evaluated bundle bids is selected and some of the bids have to be connected by logical operators provided by the bidding language. As the WDP uses OR-bids, we can omit this phase. The carrier simply submits all generated and evaluated bundle bids to the auctioneer.

3.1 Optimal Bidding Strategy (OBS)

The first solution procedure is the Optimal Bidding Strategy (OBS). It generates and evaluates all feasible tours. For simplification and in conformance with the benchmark instances introduced in Section 4, we now assume that the depot node d of carrier c equals the warehouse w of the auctioneer. The travel distance $dist_{d,w}$ between d and w is zero. Therefore, a feasible tour visits a subset $V' \subseteq V$ of the customer nodes whose total resource demand is less or equal the vehicle capacity C , that is $\sum_{i \in V'} r_i \leq C$.

In the *bundle generation phase*, all feasible bundles are generated by means of a depth-first-search. The procedure builds a binary search tree on the set of customer nodes V . In each decision node, a customer node is either part of the bundle or not part of the bundle. The nodes $i \in V$ are examined in increasing order of their resource demand r_i . Therefore, the search process can early fathom those decision nodes that would lead to tours which violate the capacity constraint. The cardinality of the set of generated bundles B^c is usually considerably smaller than $2^{|V|}-1$. Up to now, the price p_b of a generated bundle bid $b \in B^c$ has not been initialized. This is done in the next phase.

In the *bundle evaluation phase*, for each bundle bid $b \in B^c$ a price is calculated. As we assume cost-based pricing, we calculate the costs of executing the transport requests for each bundle $b \in B^c$. This corresponds to visiting each of the customer nodes $v(b) \subseteq V$ in bundle bid b and the depot d exactly once. The minimum tour length is given by the solution of the (symmetric) Traveling Salesman Problem (TSP). To solve the TSP for each $b \in B^c$, we apply the solver Concorde¹⁵ which is the best solver currently known for the symmetric TSP. The minimum length of the tour defined by $v(b)$ and d is considered as the price p_b of a bundle b .

3.2 Heuristic Synergy-based Bidding Strategy (HBS)

The Heuristic Synergy-based Bidding Strategy (HBS, cf. Alg. 2) is equal to OBS in the bundle evaluation phase but differs from OBS in the bundle generation phase. The idea is to generate all two-combinations of requests B^2 , with $|v(b)| = 2$ and $\sum_{i \in V'} r_i \leq C$ for every $b \in B^2$. For each bundle the synergy between the two requests is estimated. The focus is in those two-combinations with the highest synergies. That is, we only

¹⁴ see e. g., Nisan (2000)

¹⁵ Applegate et al. (2007)

generate those feasible request combinations that contain one of the best two-request combinations and hope to generate very competitive bundles.

Alg. 2: Overview Bidding Strategy

Input: depot node d of carrier c , customer nodes V , resource demand $r_i, \forall i \in V$

$B^2 \leftarrow \{b \mid v(b) \in 2^V \wedge |v(b)| = 2 \wedge \sum_{i \in v(b)} r_i \leq C\}$

foreach $b \in B^2$ **do**

$s_b \leftarrow \text{evaluateSynergy}(v(b))$

end

$B^s \leftarrow \{b \in B^2 : s_b \geq s^{10\%}\}$

$B^c \leftarrow \text{extendSetOfBundles}(B^s, V, r)$

foreach $b \in B^c$ **do**

$p_b \leftarrow \text{evaluateBundle}(v(b), d)$

end

return set of bundle bids B^c

The procedure `evaluateSynergy` measures the synergy between two transport requests $i, j \in V$. Therefore, we combine the well-known savings heuristic¹⁶ with the idle vehicle capacity after joining the requests in a bundle. The synergy $s(i, j)$ between requests i and j is measured as indicated in (5) and (6).

$$s(i, j) = \sigma(i, j) c(i, j) \quad (5)$$

$$= (\text{dist}_{d,i} + \text{dist}_{d,j} - \text{dist}_{i,j}) (C - r_i - r_j) \quad (6)$$

The higher the reduced travel distance $\sigma(i, j)$ and the higher the idle vehicle capacity $c(i, j)$ after combining i and j in a bundle, the higher the synergy $s(i, j)$ between i and j . After the synergies for all two-combinations of requests are determined, those ten percent of the combinations with the highest synergy values $s(i, j)$ are selected and denoted by B^{2s} . The respective synergy threshold value is indicated by $s^{10\%}$ in Alg. 2. Based on the two-request combinations with the highest synergies B^{2s} , all possible request combinations $v(b) \in 2^V$ are constructed that fulfill the capacity restriction and also contain at least one of the two-request combinations: $B^c = \{b \mid v(b) \in 2^V \wedge \sum_{i \in v(b)} r_i \leq C \wedge \exists b' \in B^{2s} : v(b') \subseteq v(b)\}$.

Finally, every bundle in B^c is evaluated by calculating the length of the minimum traveling salesman tour, as already explained for the bidding strategy OBS in Section 3.1.

4 Evaluation

We evaluate the proposed bidding strategies OBS and SBS by means of a computational study. For this, we use both strategies to generate a set of bundle bids B^c , respectively and optimally solve a WDP with an additionally given set of rivaling bundle bids B^r (cf. 2.1). Next, both bidding strategies can be compared by means of the achieved revenue for carrier c , the computing time and the number of generated and

¹⁶ Clarke and Wright (1964)

evaluated bundle bids. For this, we first explain how we have generated the used BGEP benchmark instances and then present and discuss the numerical results.

4.1 Generation of Benchmark Instances

The two bidding strategies OBS and SBS are compared by means of artificial benchmark instances. An instance consists of two essential parts, a set of nodes and the set of bundle bids B' submitted by the rivals of carrier c . The constructed instances can be distinguished by predefined values for

- the vehicle capacity C ,
- the number of customer nodes $|V|$, and
- the number of rivaling bundle bids $|B'|$.

The set of nodes consists of a depot node d and a set of customer nodes V . For each customer $i \in V$ a resource demand r_i is given. We set the warehouse node equal to the depot node $w = d$, as explained below. The distances between the nodes can be calculated according to the Euclidean distances (L_2 -norm) rounded to the nearest integer value. In order to generate customer nodes and demands, we simply use the values of the instances of the CVRP introduced by Christofides et al.¹⁷ which are available in the OR LIBRARY¹⁸. The first node of a CVRP instance is used as the depot node d . The following n nodes of a CVRP instance together with their resource demands are considered as the customer nodes of the BGEP instance.

The second part of a BGEP instance is the set of bundle bids B' . Each bundle bid $b \in B'$ is randomly constructed as follows. First of all, the customer node combination, i. e., a feasible tour, of the bundle bid is determined.

1. The predefined vehicle capacity C is randomly reduced to C' , i. e., C is multiplied by a random, uniformly distributed number between zero and one. Therefore, the method is also able to generate tours with a low degree of capacity utilization regarding the vehicle capacity C .
2. A request or customer node is drawn randomly and added to the bundle, if the request is not yet part of the bundle and the capacity constraint C' is satisfied.
3. Step 2 is repeated until a drawn customer node violates the capacity constraint the first time.

In the second phase of the instance generation, the prices of the bundles are calculated. The price of a bundle is the minimum length of the traveling salesman tour that contains the depot d and all customer nodes of the bundle multiplied by a random number. For each bundle bid, the number is chosen randomly from the interval $[0.7, 1.3]$. Because of the random modifications of the vehicle capacities and the bid prices, we set the depot and the warehouse node equal $d = w$.

¹⁷ Christofides et al. (1979)

¹⁸ <http://people.brunel.ac.uk/~mastjjb/jeb/orlib/vrpinfo.html>, files `vrpnc1.txt` to `vrpnc5.txt`, and `vrpnc11.txt`, and `vrpnc12.txt`

Although we use only a small number of 45 benchmark instances for the following tests, all in all 1520 artificial instances have been generated and are available from the authors upon request. These instances range from 20 to 199 customer nodes ($|V|$), from 1000 to 5000 rivaling bundle bids ($|B'|$), and from vehicle capacities between 60 and 200. For the following benchmark test, only a small subset of instances was used, as these instances could be solved by the exact bidding strategy OBS in reasonable time.

4.2 Results and Discussion

We perform computational experiments to evaluate the proposed methods by means of artificial benchmark instances. The results are given in Tab. 1 and Tab. 2. Both tables are structured in the same way. There are five groups of columns, the first group characterizes the instance and the remain four groups show performance figures: the revenue of the bidding carrier, i. e., the sum of the prices of the carrier's accepted bundle bids ($f_2(x)$), the total procurement cost of the auctioneer, i. e., the sum of the prices of all accepted bundle bids ($f_1(x)$), the number of bids $|B^c|$ submitted by carrier c , and the required computing time in seconds. For each performance group, the left column indicates the absolute results of the OBS bidding strategy. The right column indicates the results of the bidding strategy SBS relative to the OBS results. For example, the results for instance 59 in Tab. 2 are read as follows. The heuristic bidding strategy SBS achieves 90.8 percent of the revenue of the OBS strategy by constructing only 17.1 percent of the bundle bids; the minimum total cost of the auctioneer's winner determination problem increase by 3.3 percent. The last three rows of Tab. 1 state the minimum, maximum, and mean values of each column.

Additionally, the last row of Tab. 2 shows the figure mean II, which indicates the mean value for each column over the instances of Tab. 1 and Tab. 2 altogether. Taking into account the nature of the used benchmark instances and the underlying structure of the shipper's (auctioneer's) transport demand, the numerical results of Tab. 1 and Tab. 2 can be summarized as follows.

- A carrier using the SBS bidding approach can achieve on average 73 percent of the revenue the carrier could achieve by using the OBS approach (cf. Tab. 2, mean II). For the set of instances with 40 requests this value even increases to about 90 percent.
- The bidding strategy SBS reduces the number of evaluated bundle bids compared to the bidding strategy OBS by about 78 percent (cf. Tab. 2, mean II of column No. Bids).
- The time to evaluate the bundled transport requests decreases approximately by the same order of magnitude. The reason for this is, that the actual evaluation of the bundled transport requests requires about twenty-time the time of the bundle generation (not indicated in Tab. 1). The bundle evaluation process is the same in both procedures. Therefore, a decrease in the number of bundle bids to evaluate affects the run time approximately in the same proportion.

Instance		Revenue f_2		WDP Cost f_1		No. Bids $ B^c $		Time (s)	
Id	$ B^r $	OBS	SBS (%)	OBS	SBS (%)	OBS	SBS (%)	OBS	SBS (%)
1	1,000	225	37.33	384.47	103.68	3,332	26.59	73	28.77
2		100	100.00	408.75	100.00	1,004	40.74	21	57.14
3		256	91.02	365.64	102.93	12,967	9.10	254	22.83
4		154	74.68	361.20	107.03	12,967	9.10	294	9.18
5		188	107.98	361.99	105.71	12,967	9.10	256	10.94
6		261	102.68	510.47	101.13	12,217	42.66	242	44.21
7		117	0.00	387.56	102.01	2,004	16.57	39	25.64
305	2,000	81	119.75	370.52	101.81	3,332	26.59	66	30.30
306		76	100.00	407.23	100.00	1,004	40.74	20	55.00
307		0	-	340.25	100.00	12,967	9.10	260	10.00
308		271	0.00	362.10	105.62	12,967	9.10	249	10.44
309		172	0.00	345.86	102.69	12,967	9.10	483	10.35
310		167	100.00	487.77	100.00	12,217	42.66	443	44.02
311		0	-	334.30	100.00	2,004	16.57	81	18.52
609	3,000	80	100.00	373.41	100.00	3,332	26.59	127	25.98
610		76	100.00	405.02	100.00	1,004	40.74	37	51.35
611		98	0.00	359.05	100.49	12,967	9.10	473	10.57
612		181	0.00	365.58	102.29	12,967	9.10	346	7.80
613		0	-	355.05	100.00	12,967	9.10	248	10.48
614		157	100.00	474.74	100.00	12,217	42.66	234	43.59
615		0	-	347.09	100.00	2,004	16.57	37	24.32
913	4,000	0	-	348.91	100.00	3,332	26.59	62	32.26
914		0	-	378.90	100.00	1,004	40.74	19	57.89
915		142	0.00	350.49	101.64	12,967	9.10	249	10.44
916		0	-	356.71	100.00	12,967	9.10	247	10.53
917		0	-	343.26	100.00	12,967	9.10	247	10.53
918		0	-	463.57	100.00	12,217	42.66	232	44.40
919		0	-	345.12	100.00	2,004	16.57	38	26.32
1217	5,000	97	100.00	357.72	100.00	3,332	26.59	62	32.26
1218		0	-	385.64	100.00	1,004	40.74	19	57.89
1219		251	31.47	358.33	100.03	12,967	9.10	247	10.53
1220		0	-	356.09	100.00	12,967	9.10	246	10.98
1221		92	100.00	346.66	100.00	12,967	9.10	248	10.48
1222		0	-	477.98	100.00	12,217	42.66	232	44.40
1223		0	-	351.59	100.00	2,004	16.57	37	24.32
min		0.00	0.00	334.30	100.00	1,004.00	9.10	19.00	7.80
max		271.00	119.75	510.47	107.03	12,967.00	42.66	483.00	57.89
mean		92.63	65.00	380.83	101.06	8,208.29	21.98	184.80	26.71

Tab. 1: Results for instances with 20 requests.

- The minimum procurement cost of the auctioneer increase by up to 7 percent, if carrier c uses bidding strategy SBS (cf. Tab. 1, max f_l). Therefore, in order to reduce the auctioneer's procurement costs, the auctioneer could also offer decision support for the bidding carriers to help them identifying competitive combinations of transport requests.
- Despite troubles of comparing the scenario at hand with the scenario of Song and Regan¹⁹, the proposed bidding strategies are able to solve larger instances with about 40 transport requests. Nevertheless, there are real world procurement scenarios, where the manageable size of the exact bidding strategy OBS is not sufficiently fast.

¹⁹ Song and Regan (2005)

Instance		Revenue f_2		WDP Cost f_1		No. Bids $ B^c $		Time (s)	
Id	$ B^r $	OBS	SBS (%)	OBS	SBS (%)	OBS	SBS (%)	OBS	SBS (%)
57	1,000	671	82.56	745.32	103.86	283,203	21.12	11,832	15.24
58		560	88.75	820.52	100.26	14,177	30.29	321	30.22
59		655	90.84	743.59	103.30	719,504	17.12	16,694	22.07
60		709	84.34	754.14	103.64	719,504	17.12	15,176	17.36
61		580	109.14	752.46	104.97	719,504	17.12	14,974	19.58
63		492	96.34	854.01	102.20	34,199	29.69	664	31.02
361	2,000	671	73.62	737.28	102.74	283,203	21.12	5,453	21.29
362		452	91.81	812.78	100.29	14,177	30.29	269	35.69
363		469	84.22	735.06	101.48	719,504	17.12	14,014	17.15
364		496	100.20	735.41	103.20	719,504	17.12	14,056	17.37
min		452	73.62	735.06	100.26	14,177.00	17.12	269.00	15.24
max		709	109.14	854.01	104.97	719,504.00	30.29	16,694.00	35.69
mean		575.50	90.18	769.06	102.59	422,647.90	21.81	9,345.30	22.70
mean II		199.93	73.12	467.10	101.40	10,0305.98	21.94	2220.47	25.81

Tab. 2: Results for instances with 40 requests.

- For instances with increasing number of rivaling bundle bids $|B^r|$ carrier c is not able to win any business (for OBS $f_2 = 0$).
- Finally, we remark that the carrier's revenue may even increase for some instances (e. g., 5, 6, 61) by using the heuristic bidding strategy SBS. Clearly, if all bidders agree on submitting less competitive bids, each bidder could increase his revenue. However, such an alignment of interest is usually forbidden by law.

5 Conclusion and Outlook

This paper considers the Bid Generation and Evaluation Problem (BGEP) of a carrier that participates in a combinatorial transport auction. The carrier's task is to decide on which subsets of transport requests to place a bid (generation) and what price to charge for this bundle (evaluation). The goal is to maximize the sum of the prices of the carrier's accepted bids. However, the acceptance decision is made by the auctioneer and does not lie in the carrier's circle of influence. Furthermore, we assume the carrier reveals his true preferences and is not aware of the bundle bids submitted by other carriers.

The carrier faces a BGEP either if he collaborates with other carriers by means of a groupage system²⁰ or if the carrier participates in a transport procurement auction of a large shipper²¹. Here, the focus is on the last scenario. We assume transport requests at which a set of customers with different demands have to be delivered with a good from a single warehouse (single pickup node, multiple delivery nodes). The decision is made on the tactical level with a medium term decision horizon as opposed to the collaborative scenario, where the problem has to be solved usually in shorter intervals, i. e., during daily or weekly planning.

²⁰ Kopfer and Pankratz (1999)

²¹ Caplice and Sheffi, 2006

Two solution approaches, i. e., bidding strategies, for the BGEP are presented. The first approach, called OBS, is a straight forward brute force method that generates all possible bundles of transport requests, i. e., combinations of requests that can be executed in a single tour taking into account capacity constraints. All bundles are evaluated by solving a traveling salesman problem. The price of a bundle is given by the minimum length of the tour which is required to fulfill all requests in the bundle. On the contrary, the proposed heuristic bidding strategy SBS first generates and evaluates all possible two-combinations of transport requests. By means of a synergy measure those ten percent request combinations featuring the highest synergy are selected. Thereupon, only these two-request-bundles are systematically extended by more requests (again, taking into account capacity constraints). Finally and equally to the OBS approach, for each generated bundle a price is calculated according the length of the minimum traveling salesman tour through the depot and all bundle nodes.

Both bidding strategies, the OBS and the SBS one, are compared by means of 45 artificial benchmark instances with up to 40 transport requests. The heuristic strategy generates only about 22 percent of the bundle bids of the exact strategy, nevertheless, the generated bundle bids still win about 73 percent of the achievable revenue.

In order to further investigate how a carrier should bid in a combinatorial transport auction and to improve decision support methods, the study at hand can be extended in several ways.

- Algorithmic improvements should be achievable by integrating the bundle generation and evaluation phase with the goal to increase solution speed and to solve larger problem instances to optimum exactly.
- Additional measures for synergy between two or more requests can be developed.
- Characteristics of accepted bundle bids and non-accepted bundle bids can be investigated. From this, conclusions may be drawn to improve the bidding strategies.
- Existing transport requests of a carrier should be considered.

Furthermore, the BGEP can be studied on the basis of additional characteristics of transport requests, for example general pick-up and delivery requests or requests with time window constraints.

Acknowledgments. This research was supported in part by the German Research Foundation (DFG) as part of the project “Kooperative Rundreiseplanung bei rollierender Planung”.

6 References

- Abrache, J.; Crainic, T.; Gendreau, M.; Rekik, M. (2007): Combinatorial auctions, in: *Annals of Operations Research* 153 (34), pp. 131-164.
- Applegate, D. L.; Bixby, R. E.; Chvátal, V.; Cook, W. J. (2007): *The Traveling Salesman Problem: A Computational Study*. Princeton University Press.
- Beil, D. R.; Cohn, A.; Sinha, A. (2007): Simplified bidding and solution methodology for truckload procurement and other vcg combinatorial auctions. Ross School of Business Working Paper Series Working Paper No. 1034, Stephen M. Ross School of Business, University of Michigan.
- Buer, T.; Pankratz, G. (2010a): Grasp with hybrid path relinking for bi-objective winner determination in combinatorial transportation auctions, in: *Business Research* 3 (2), pp. 192-213.

- Buer, T.; G. Pankratz (2010b): Solving a bi-objective winner determination problem in a transportation procurement auction, in: *Logistics Research* 2 (2), pp. 65-78.
- Caplice, C.; Sheffi, Y. (2006): Combinatorial auctions for truckload transportation. In Cramton, P.; Shoham, Y.; Steinberg, R. (Eds.): *Combinatorial Auctions*, pp. 539-571. Cambridge, MA: MIT Press.
- Chen, R. L.-Y.; AhmadBeygi, S.; Cohn, A.; Beil, D. R.; Sinha, A. (2009): Solving truckload procurement auctions over an exponential number of bundles, in: *Transportation Science* 43 (4), pp. 493-510.
- Christofides, N.; Mingozzi, A.; Toth, P. (1979): The vehicle routing problem, in: Christofides, A.; Mingozzi, A.; Toth, P.; Sandi, C. (Eds.): *Combinatorial Optimization*, pp. 315-338. Chichester, UK: Wiley.
- Clarke, G.; Wright, J. (1964): Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points, in: *Operations Research* 12 (4), pp. 568-581.
- Gujo, O.; Schwind, M. (2008): Bid formation in a combinatorial auction for logistics services, in: Aalst, W.; Mylopoulos, J.; Sadeh, N. M.; Shaw, M. J.; Szyperski, C.; Filipe, J.; Cordeiro, J.; Cardoso, J. (Eds.): *Enterprise Information Systems, Volume 12 of Lecture Notes in Business Information Processing*, pp. 303-315, Springer Berlin Heidelberg.
- Kopfer, H.; G. Pankratz (1999): Das Groupage-Problem kooperierender Verkehrsträger, in: Kall, P.; Lüthi, H.-J. (Eds.): *Operations Research Proceedings 1998*, Berlin, pp. 453-462. Springer.
- Lee, C.-G.; Kwon, R. H.; Ma, Z. (2007): A carrier's optimal bid generation problem in combinatorial auctions for transportation procurement, in: *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 43 (2), pp. 173-191.
- Nisan, N. (2000): Bidding and allocation in combinatorial auctions, in: *Proceedings of the 2nd ACM Conference on Electronic Commerce*, pp. 1-12.
- Sheffi, Y. (2004): Combinatorial auctions in the procurement of transportation services, in: *Interfaces* 34 (4), 245-252.
- Song, J.; A. Regan (2005): Approximation algorithms for the bid construction problem in combinatorial auctions for the procurement of freight transportation contracts, in: *Transportation Research Part B: Methodological* 39 (10), pp. 914-933.
- Wang, X.; Xia, M.: (2005): Combinatorial bid generation problem for transportation service procurement, in: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1923, 189-198.

A Genetic Programming Approach for Estimating Opportunity Costs of Stockouts in Logistic Systems

Sebastian Langton

Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insb. Logistik-Management,
Helmut Schmidt Universität Hamburg, Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg,
s.langton@hsu-hh.de

Martin J. Geiger

Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insb. Logistik-Management,
Helmut Schmidt Universität Hamburg, Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg,
m.j.geiger@hsu-hh.de

Abstract

The approach introduced in this paper depicts the topic of stockout cost quantification, which is commonly seen as a not yet solved problem in scientific literature. Our work is motivated by the limited amount of research dealing with this problem and, primarily in the field of inventory management, a subsequent need for applicable methods providing reliable stockout cost parameters for sophisticated optimization models. In this context, we focus on the problem of estimating opportunity costs as the most difficult cost component related to stockouts. Additionally to the determination of pagatoric stockout costs, a method for eliciting relevant expert-information on consequences of stockout cases is presented. Subsequently, a Genetic Programming approach for learning opportunity cost functions from the case-based information is introduced. It is shown on exemplary tests instances that solutions can be generated, which converge to structurally similar opportunity cost functions for representative stockout-items and are satisfactory in comparison to adequate benchmarks.

1 Introduction

Stockouts are defined as events within logistic systems when items (material, parts, products, etc.) are not available for a demanding process at the right time and quantity. In scientific literature different synonyms of the term “stockout” can be found, e.g. “shortage”, “out-of-stock” or “depletion”.¹ Focusing a specific company as one element of the supply chain, stockouts occur in two generic cases: Either internal demands by the production process cannot be actuated according to the production schedule, or external customer demands cannot be fulfilled within lead time. Monetary evaluation of stockout consequences, i.e. the quantification of stockout costs, outlines a set of problems both for research and application. These difficulties are based on the fact of stockout costs mainly implying opportunity costs. As opportunity costs of stockouts, depending on the industry, the company and even the field within the company, appear in various shapes and dimensions, they cannot be calculated on a basis of common systematics. Subsequently, the absence of reliable methods for estimating these costs is one explanation for why sophisticated inventory models have not been applied in practice broadly.² However, measuring stockout costs is an essential element for balancing inventory holding cost against costs of being out of stock in a way that minimizes the sum of these two opposed cost types.³

This paper is organized as follows: After a short introduction to the characteristics of stockout costs in this section, we provide a selection of important contributions from literature on the topic of opportunity costs following to stockout events in **section 2**. **Section 3** explains the necessary preprocessing-work and introduces the actual problem, which we are going to focus on and solve in this paper: learning opportunity cost functions, based on expert-decisions. In **section 4**, following to a short introduction on Genetic Programming (GP), a computational solution for this problem is adduced by presenting our GP-algorithm. In **section 5**, we explain the construction of the test instances for experimental work and, after applying the GP-algorithm on these instances, results are analyzed in detail. **Section 6** concludes our results and gives hints for subsidiary research on the approach.

1.1 Causes of stockouts

In a general sense, stockouts are one consequence of uncertainty within logistic networks.⁴ Different types of uncertainties exist. As a basic classification, we can distinguish between *structural* and *informatory uncertainty*.⁵ *Structural uncertainty* comes up by external factors, namely not predictable variations and disruptive events in sup-

¹ Vgl. Love (1979), S. 6.

² Vgl. Anderson/Fitzsimons/Simester (2006), S. 1751.

³ Vgl. Needham/Evers (1998), S. 149.

⁴ Vgl. Dion/Banting (1995), S. 341.

⁵ Vgl. Jahnke (1995), S. 18-20, S. 204-205.

ply and demand processes. Examples of variations in supply and demand are amendments in lead time of suppliers or volatile quantities of customer orders. As examples of disruptive events, strikes or natural catastrophes can be listed. Inventory management models try to integrate these structural uncertainties by using random variables and related parameters like means and standard deviations. These parameters are estimated by time series analyses and forecasting techniques. However, such methods cannot cover all characteristics of prospective supply and demand. This necessity of parameter-approximation and the subsequent acceptance of incomplete information can be termed as *informatory uncertainty*. In this sense, *informatory uncertainty* can be regarded as an aspect being derived from structural uncertainty. For an insight on specific causes of stockouts within these two categories of uncertainty, see Love⁶ and Gruen.⁷

1.2 Consequences and cost effects of stockouts

Depending on specific stockout contexts and situations, different consequences will occur. Consequences can be evaluated on a basis of monetary units, which is commonly denoted as *quantification of stockout costs*. In this sense, stockout costs can be seen as an assortment of stockout consequences, each of them having a degree of severeness expressed by a monetary quantum. Love states fittingly: “The actual shortage cost consists of one or more cost components from a conglomerate of possible cost effects.”⁸ Consequences and linked cost effects of stockouts can be sectioned by two main categories, each category referring to one of two possible scenarios following to a stockout situation:

The *first scenario* mirrors a situation when an imminent stockout has not occurred yet and still can be avoided by emergency activities.⁹ Hence, this case can be characterized as a situation of scarcity leading to a stockout, if no actions of avoidance are initiated. Within this first category, two different *sub-scenarios* have to be regarded separately: First, a stocked out item being purchased from an external supplier and second, the item being produced in-house as a self-manufactured item.

The *second scenario* describes a situation where an imminent stockout can't be avoided or is not avoided on purpose. Within this category, two different *sub-scenarios* have to be distinguished as well: First, the demand coming from the ‘internal customer’, i.e. the in-house production system. Second, the demand coming from an ‘external customer’ of a company's sales market.

Table 1 visualizes both mentioned main scenarios and depicts typical cost effects for each sub-scenario as pagatoric costs and opportunity costs of stockouts.

⁶ Love (1979), S. 233-235.

⁷ Vgl. Gruen/Corsten/Bharadwaj (2002), S. 38-46.

⁸ Vgl. Love (1979), S. 233.

⁹ Vgl. Needham/Evers (1998), S. 149-150.

Main scenario	1: Remedial Action		2: No remedial Action	
Related cost category	Indirect stockout costs (pagatoric costs)		Direct stockout costs (opportunity costs)	
Sub-scenario	1.1: Purchased item	1.2: In-house manufactured item	2.1: Internal demand (production)	2.2 External demand (customer)
Affected field of a company	Purchasing	Production	Production	Sales/Distribution
Potential consequences	1.1.1: Emergency Purchase 1.1.2: Usage of substitute item	1.2.1: Overtime Production 1.2.2: Subcontracting 1.2.3: Emergency Hiring 1.2.4: Usage of substitute item	2.1.1: Production Downtime 2.1.2: Deviation from planned production schedule 2.1.3: Unsafe conditions	2.2.1: Lost sale, lost customer 2.2.2: Backlogged demand
Related cost effects	By 1.1.1: Higher material price; loss of purchase quantity discount; additional administrative work; rush shipment costs By 1.1.2: Higher unit cost, adaption costs; eventually: stockout costs of substitute item	By 1.2.1: Higher labor rate; separate shift premiums By 1.2.2: Higher foreign production cost By 1.2.3: Inefficient labor; inferior quality of work; extra training cost By 1.2.4: Higher unit cost; adaption cost; eventually: stockout costs of substitute item	By 2.1.1: Idle workforce; idle machines and equipment By 2.1.2: Additional set-up costs; eventually: cost effects of sub-scenario 2.2 By 2.1.3: Damages at materials and production machines	By 2.2.1: Lost contribution margin; lost prospective contribution margin By 2.2.2: Goodwill losses; rush delivery; contract penalty; lawsuit; additional administrative work

Tab. 1: Consequences and related cost effects of stockouts¹⁰

1.3 Pagatoric vs. opportunity costs of stockouts: Basic characteristics

On principle, charging cost components according to the first main scenario (remedial action) can be regarded a solvable task. As such *pagatoric costs* evolve as tangible quantities for avoiding actions, a focal company is usually able to determine them.

In contrast, cost components according to the second main scenario (no remedial action) are hardly quantifiable in stockout contexts. The reason for this fact is the evolving characteristic of direct stockout costs in the manner of *opportunity costs*. *Zimmermann* generally defines opportunity costs as anticipated cost effects that have to be

¹⁰ Vgl. Love (1979), S. 234; Needham/Evers (1998), S. 149; Fitzsimons (2000), S. 249-252.

calculated for not taking another opportunity instead of the actually chosen one.¹¹ With respect to stockout consequences, related opportunity costs possess intangible characteristics and occur in an ill-structured and stochastic manner. As being from a priori a not exactly predictable quantity, opportunity costs of stockouts cannot be calculated in a deterministic sense and usually have to be estimated.

2 Opportunity costs of stockouts: literature review

Looking at available scientific literature for the problem at hand, yet only limited research has examined the topic of stockout cost. While there has been extensive work on inventory models, surprisingly little research has been conducted on methods for evaluating stockout consequences. Subsequently, a general and comprehensive model for calculating the costs of stockouts is not available in literature.¹² The small amount of previous literature provides some deliberations, models and empirical studies. For structuring this work, we decided to assign them into two basic categories, namely ‘*theoretical literature*’ and ‘*empirical literature*’.

2.1 Theoretical literature:

The stream of research related to the first category has evolved in the manner of some theoretical-descriptive deliberations and models. On the one hand, contributions from different monographs on logistics or cost accounting can be identified. Links to the topic in logistics-management literature can be exemplarily found at Schmid¹³, Love¹⁴, Gattorna¹⁵ or van Vliet¹⁶. On the other hand, researchers developed theoretical models for creating formal methods in quantifying stockout costs, mainly designed as rule-based decision trees. Partly, authors tested their methods on practical applications, in order to collect input data and provide evidence on validity and reliability. Chang and Niland provide an early theoretical approach.¹⁷ They develop a model, consisting of a decision tree with outcomes from a stockout, and adapt it to the context of a wholesaler in the steel industry. A general method for calculating the expected cost of a stockout, using probabilities and cost quantities for each possible outcome, is shown. Furthermore, their results show that opportunity costs over-proportionally correlate both with the number of stockouts within the period of cognition and with the duration of this period. Adapting the approach, Oral *et al.* develop a similar decision-tree-model.¹⁸ They also examine one company for compiling real world data and feed it in their decision tree model. Additionally to Chang, they apply statistical appraisals in the select-

¹¹ Vgl. Zimmermann (1995), S. 25-27.

¹² Vgl. Zinn/Liu (2001), S. 50.

¹³ Vgl. Schmid (1977), S. 8, S. 33-34.

¹⁴ Vgl. Love (1979), S. 234.

¹⁵ Vgl. Gattorna/Day/Hargreaves (1991), S. 22-28.

¹⁶ Vgl. van Vliet (2008), S. 27-29.

¹⁷ Vgl. Chang/Niland (1967), S. 428-431.

¹⁸ Vgl. Oral *et al.* (1972), S. 345-348.

ed items-subset for analyzing relationships between stockout costs and product data. Detecting correlations between unit stockout cost and unit gross profit, they present a non-linear regression model for estimating the stated exponential relationship. *Aguirregabiria* modeled the issue of stockout probability as a strategic decision problem between manufacturers and retailers.¹⁹ He constructed a structural model for evaluating the stockout effects on profits of manufacturers and retailers, and on the welfare of consumers.

2.2 Empirical literature:

Empirical approaches mainly focus on distribution or retailing systems. This implies exploring, categorizing and evaluating impacts by stockouts on the reaction and behavior of customers. With respect to provided results, empirical literature on stockout costs can be structured as follows: Either *empirical-descriptive studies* are conducted by measuring frequencies of customer reactions to stockouts in detail. Or researchers, often additionally to the observing of response frequencies, try to identify independent variables which influence and explain customers' behavior (being the dependent variable) and, thus, provide *empirical-explanatory studies*.

2.2.1 Empirical-descriptive studies:

A first meaningful descriptive empirical study in a retail context was conducted by *Walter and Grabner*.²⁰ After handing out questionnaires to customers, the authors studied the intended customer reactions after stockout occurrences. Based on this data, they developed a model with six possible customer responses. Results indicated that the most probable customer reaction to a stockout was to buy a surrogate product of a different brand at the same price. Many empirical studies that followed were influenced by this contribution. After removing five high-runner items from the shelf of a grocery store, *Emmelhainz et al.* conducted interviews with customers on their behavior.²¹ In fact, their analysis showed customers' behavior being more various than in previous studies reported. With respect to the frequency of each reaction, Emmelhainz et al. showed that the most common behavior was to purchase a different size or variety of the same brand (41 %), followed by switching brands (32 %) and the intention of going to another store (14 %). *Dion et al.* conducted a study in a business-to-business context, based on an inquiry sent to 180 buyers of companies.²² In case of a supplier being out of stock for an item, buyers were confronted with a couple of questions on consequences and cost effects in their company. Two main conclusions were drawn: on the one hand, buyers reported of costly production disruptions caused by stockouts, on the other hand the majority tended to switch to another supplier for purchasing the stocked out item, without switching to another brand. *Gruen et al.* conducted the most

¹⁹ Vgl. Aguirregabiria (2005), S. 4-9.

²⁰ Vgl. Walter/Grabner (1975), S. 56-60.

²¹ Vgl. Emmelhainz/Emmelhainz/Stock (1991), S. 130-138.

²² Vgl. Dion et al. (1991), S. 24-26.

comprehensive empirical-descriptive study.²³ Using compiled data of more than 600 retailers and 70,000 customers, it was shown that the stockout rates varied among single retailers at a certain degree: on an average day, stocked-out items show a proportion of between 5 % to 10 % of the whole product program. It was also found that retailers lose almost 50 % of intended purchases when consumers experience a stockout-situation. *Campo et al.* confirm our finding that available stockout literature is fairly sparse and largely empirical.²⁴ Observing two product categories, they compare consumer reactions to stockouts with reactions to permanent assortment reduction. Testing two hypotheses, they derive the conclusion of having a strong correlation between stockout-frequency and stockout-losses within an observed time period. Further, a significant positive correlation between the duration of stockouts and stockout-losses was identified as well.

2.2.2 Empirical- explanatory studies:

An early explanatory contribution was done by *Schary and Christopher* who evaluated results of more than 1000 interviews with customers of different stores.²⁵ Significant positive correlations between customers' brand loyalty and their tendency to switch to different stores after stockouts were ascertained. A second important finding was the fact of a decreased store image measured at customers who had experienced a stockout situation, compared to customers who had not. After analyzing results of four controlled laboratory experiments in a simulated internet retailer environment, *Fitzsimons* showed new insights in short and long term effects of stockouts.²⁶ By investigating variables which influence consumer satisfaction, the commitment of the customer to the stocked out item was identified as being one important independent variable. A second observation evolved with respect to the long-term effect of stockouts: consumers being exposed to a stockout at one store significantly less likely returned to that store for a subsequent visit. *Zinn and Liu* presented a comprehensive explanatory study of consumer short term response to stockouts as well.²⁷ After defining and measuring 24 variables and classifying them into four categories, they conducted a correlation analysis between these variables and observed customer reactions to stockouts. As a result, they state that variables out of the demographic category do not significantly influence the behavior of a customer. By contrast, a significant correlation between situation-related variables and reactions to stockouts was observed. In a more recent attempt, *Anderson et al.* quantitatively measured short-term and long-term stockout costs in a large-scale field experiment, conducted in a mail-order catalog.²⁸ For measuring short-run costs of stockouts, both customers' reactions to the stocked out item

²³ Vgl. Gruen/Corsten/Bharadwaj (2002), S. 20-35.

²⁴ Campo/Gijsbrechts/Nisol (2004), S. 835.

²⁵ Schary/Christopher (1979), S. 60-68.

²⁶ Fitzsimons (2000), S. 253-257.

²⁷ Zinn/Liu (2001), S. 53-66.

²⁸ Anderson/Fitzsimons/Simester (2006), S. 1753-1760.

and reactions with respect to other items of orders were recorded. Results confirmed that, after experiencing a stockout at a single item of an order, the probability of customers cancelling their full order increased. Besides testing different tactics for mitigating short-term costs of stockouts, they additionally counted long-run costs of stockouts by tracking customers' subsequent purchasing in a following period of 13 months. Comparing these customers to a reference group, *Anderson et al.* reliably showed a significant and adverse impact of stockouts on long-run demand.

2.2.3 Open research issues:

Looking at introduced literature, the majority of attempts in quantifying stockout costs has empirical character and is conducted in distribution or retailing contexts. With respect to consequences of stockouts (see **section 1.2**), these approaches focus on evolving cost effects in the manner of good-will-losses, lost sales, and lost customers. A scientific approach focusing on opportunity costs of stockouts in production systems has, to the best of our knowledge, not yet been provided. Apart from this gap of stockout research in production contexts, three basic problems of existing approaches emerge for practical reasons:

1. High context-/company-specific proceedings at proposed stockout costs investigations.
2. Uneconomical ratios between efforts for and benefits from stockout cost quantification.
3. Absence of normative decision support methods for tactical/operational problems in stockout management.

As a consequence, common applications of models for estimating stockout costs are not observable. Drawing a conclusion from the literature review, we identified significant research needs, notably linked to the following two aspects: primarily, we note a gap at generic, cross-situational methods for reliably estimating stockout costs. Additionally, such methods should be applicable with reasonable effort, compared to veritable benefits that firms earn from reliable stockout cost quantities.

3 Introduction of a two-step solution approach

Common stockout research tries to explore “hard” facts on stockout consequences by empirical measurements, which is important information. However, another reliable source of “soft” information exists and should not be neglected in this complex field: decision makers’ knowledge in the context of stockout management. A decision maker usually is an expert within a specific scope of responsibility and capable of delivering relevant information in the manner of personal experience. E.g., purchasers might provide information on consequences of stocked-out material in a production system, or sales-managers are able to give forecasts on customer reactions to a stocked-out product. Accordingly, the underlying idea of our approach is to use the possibility of eliciting relevant knowledge, comparable to preferences elicitation methods of Multiattribute Decision Making (MADM). We believe that combining such information with ob-

servable hard facts can make the detection and evaluation of stockout consequences more reliable and efficient.

For a better understanding of the focused problem covered in this paper, we provide a short survey on the basic framework of our solution approach in **table 2**. Note that we use the expression *items* here for all logistic items of a company (material, parts, components, finished products, etc.). Step 1, being separated into two consecutive sub-steps, is introduced as the necessary work of pre-processing before attaining the focused problem in step 2. For an insight in step 2 and the basic problem herein, which will be solved in **Section 4** by applying our Genetic Programming algorithm, we shortly introduce its specific characteristics as well.

Step 1 sub-step 1.1	Multivariate cluster analysis and representative items determination: • Collecting stockout-relevant data of items (material, parts, products) • Calculating similarity between items according to stockout aspects • Cluster analysis and identification of representative items for each cluster
Step 1 sub-step 1.2	Case-based elicitation and storage of expert knowledge: • Compilation of relevant operational data for imminent stockout cases of representative items • Elicitation of expert knowledge in operational business by putting surrogate questions concerning imminent stockout cases • Storage of stockout cases and related expert-statements in a data base
Step 2	Computational data analysis (focused problem): • Iterative learning of linear and non-linear opportunity cost functions, based on expert-statements at stockout cases of representative items

Tab. 2: Pre-processing (step 1) and computational data analysis (step 2)

3.1 Pre-processing (step 1): Clustering and knowledge elicitation

3.1.1 Sub-step 1.1: Multivariate cluster analysis and representative items determination

Within the frame of our approach proposed, there is some preparatory work to be done before being able to address the actual problem of quantifying opportunity costs. During the process of sub-step 1.1, the object is to cluster all items according to stockout-relevant properties. As a result of this process, items being similar to each other according to relevant stockout aspects are located in a reasonable number of disjoint clusters. For purposes of our approach, this work then has to be completed by the task of determining one representative item for each cluster (see **figure 1**).

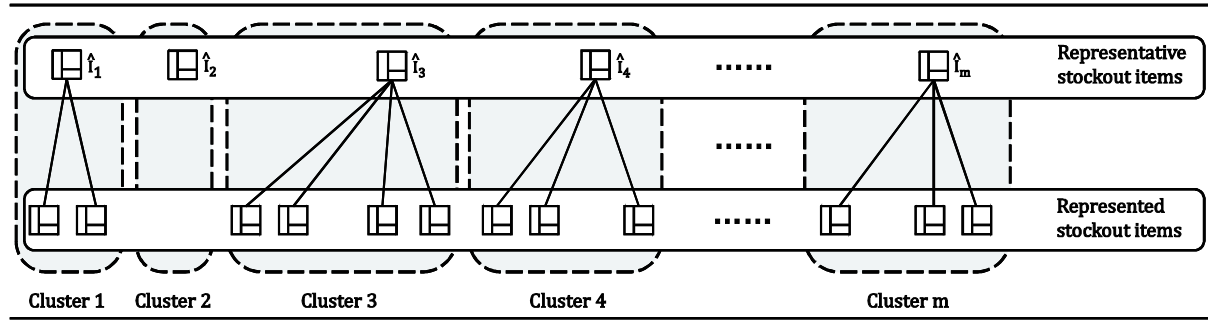


Fig. 1: Clustering and representative items determination (pre-processing)

The process of clustering and representative items determination is motivated by the fact that, for reasons of effort, it is not possible to determine opportunity cost (functions) for all items a company is dealing with. As a solution, we implement the idea of exploring opportunity cost functions vicariously for representative items and transferring the functions to similar ones, located in the same cluster. This procedure has two advantages: first, we limit the effort of compiling relevant information on analyzed stockout cases. Second, we raise the probability of eliciting high quality information when confronting an expert with representative stockout cases (as the quality of expert-decisions decreases with the quantity of decisions he has to take within a time period of interrogation). This process plays a crucial role for sub-step 1.2, where we describe how an expert can be confronted with stockout cases.

In a formal way we can describe our clustering problem in a stockout context as follows. A set of clusters $C = \{c_1, \dots, c_m\}$ has to be constructed from a given set of items $I = \{i_1, \dots, i_n\}$. For this process of clustering, we define a fixed set A of o generic attributes. The values of these attributes represent stockout-relevant data of items. Then, for each item $i_j \in I$, there is a set of attribute values $A_j = \{a_{j1}, \dots, a_{jo}\}$. For calculating similarities between stockout items and the consecutive application of our clustering algorithm, the values of all attributes a_{jk} over all items with $k = 1, \dots, o$ and $j = 1, \dots, n$ can then be put in a matrix M :

$$M: a_{jk} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1o} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2o} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{3o} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & a_{no} \end{pmatrix}$$

Depending on the context, an appropriate set of relevant item-attributes can be chosen for calculating similarities between items. For example, taking into consideration the stockout-similarity of items within the company's production as a logistic system, one attribute could represent the where-used list of an item. By constructing a binary matrix on the basis of a binary variable $b_{jl} = \{0,1\}$, with $b_{jl} = 1$, if item I_j is used in product $p_l \in P, l = 1, \dots, p$ and $b_{jl} = 0$ otherwise, we are able to calculate a partial similarity between items related to one attribute. As a similarity measure, a binary variable-based similarity coefficient, like *Jaccard-coefficient* or *Tanimoto/Rogers-coefficient*, can be used. By constructing further relevant attributes and suited similari-

ty-measures for each attribute of A , all partial similarities can be aggregated on a basis of an appropriate aggregation function, and total similarity-values between items of the entire set I can be calculated. Having calculated $\frac{n(n-1)}{2}$ similarity values for the set I , we are able to apply a partitioning k-means clustering algorithm in order to generate a set of $C = \{c_1, \dots, c_m\}$ clusters. Finally, we have to select one item $\hat{i}_i$ being a representative one of cluster c_i . For determining $\hat{i}_i$, the frequency of stockouts from an adequate previous period is taken as the relevant criterion, and we select the item with the highest stockout rate in a previous period, simply because it comes with the largest amount of data for the subsequent computation of stockout costs.

3.1.2 Sub-step 1.2: Case-based elicitation and storage of expert knowledge

Main objective of sub-step 1.2 is the process of eliciting expert knowledge about consequences of individual stockout cases. This is done by creating and putting surrogate questions, which are linked to appropriate stockout cases of representative stockout items. Usually, an appropriate expert in the considered stockout context is able to provide relevant knowledge by responding to an imminent stockout a priori. **Figure 2** displays the data of a representative stockout case given to the expert and, with respect to step 2, shortly demonstrates the idea of using the expert-statements for the learning of opportunity cost functions.

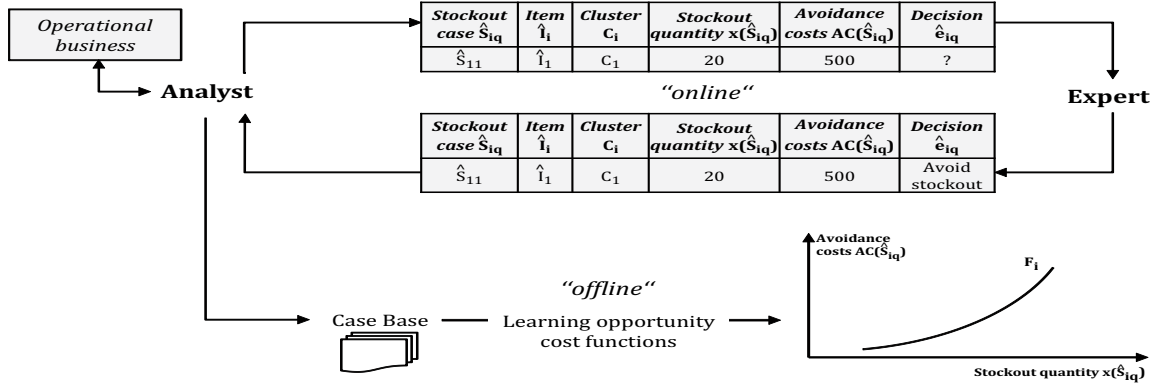


Fig. 2: Knowledge Elicitation and further use of expert knowledge

For each representative item $\hat{i}_i$, a sufficient number of stockout cases occurring in operational business has to be observed over a prospective time period. Within this period, a set of stockout cases will come up and have to be analyzed. We denote this set as $\hat{S}_i = \{\hat{s}_{i1}, \dots, \hat{s}_{ir_i}\}$ and define a single stockout case as $\hat{s}_{iq} \in \hat{S}_i$ with $q = 1, \dots, r_i$. Interpreting this notation, it becomes clear that for each representative item $\hat{i}_i$ we assume different amounts of stockout cases in each set $\hat{S}_i$.

Being confronted with an imminent stockout case $\hat{s}_{iq}$, the interviewed expert can chose at each case between two basic decisions: Either he decides to avoid the menacing stockout, or he prefers to permit it. As costs for avoiding the stockout case, denoting them as $AC(\hat{s}_{iq})$, are calculated and represented to the expert a priori, he implicitly

will give us some information on opportunity costs of the regarded stockout case with his decision. Assuming he is acting rationally, his choice will be made for the better, i.e. the less expensive alternative. Taking the example of one exemplary stockout case in **figure 2**, stockout-avoidance cost is 500 monetary units. For the case of the decision being ‘*permit stockout*’, we state that the expert implicitly articulates the information “stockout consequences of case $\hat{S}_{iq}$ are less expensive than activities for avoiding the stockout”. Hence, it can be concluded that, likewise, opportunity cost of stockout case $\hat{S}_{iq}$ amount less than 500 monetary units. Assuming the opposite decision of an expert choosing to ‘*avoid stockout*’, we would get the information of $\hat{S}_{iq}$ being a stockout case, where the opportunity cost of the stockout amount more than 500 monetary units. Ending up with explaining the process of knowledge-elicitation here, we complete sub-step 1.2 by introducing a binary variable $\hat{e}_{iq} \in \{0,1\}$, linked to each stockout case $\hat{S}_{iq}$. Therefore, if the expert decision for case $\hat{S}_{iq}$ is ‘*permit stockout*’ we set the value $\hat{e}_{iq} = 0$, while in case of the answer being ‘*avoid stockout*’ we set $\hat{e}_{iq} = 1$.

3.2 Computational data analysis (step 2): Learning functions

Based on outcome data of sub-step 1.2, it is now necessary to find a way of learning relevant relationships from elicited expert knowledge. This means, one has to analyze the expert-statements which were handed back for each stockout case $\hat{S}_{iq}$ of a representative item $\hat{i}_i$. For a deeper understanding of the problem, we present a simplified example of 25 decisions made by an expert for 25 imminent stockout cases in **figure 3**.

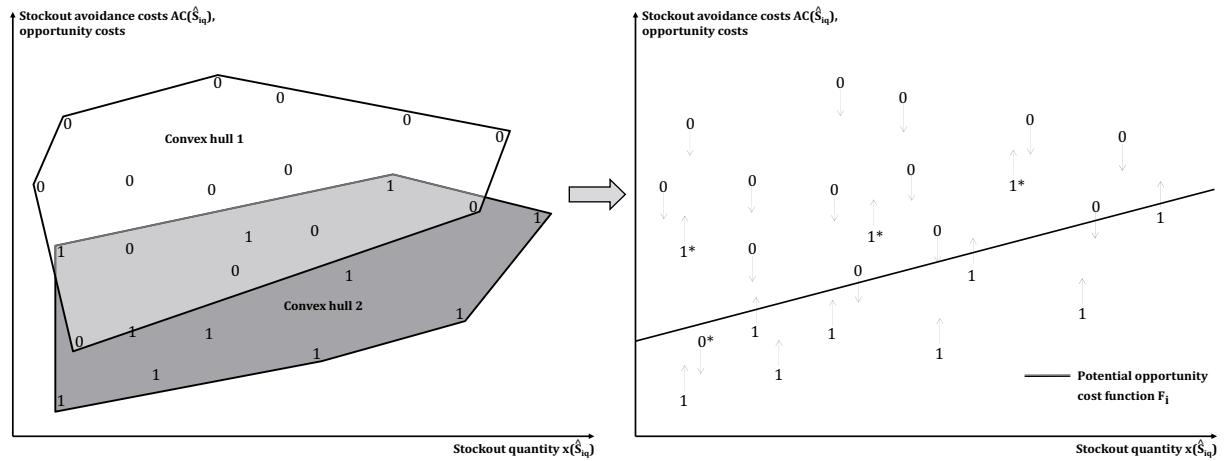


Fig. 3: Expert decisions, convex hulls and potential opportunity cost function

Analyzing this figure, two conclusions, which are important for the way of solving the problem, can be drawn. First, we state that there is an upper and a lower area, where equal decisions ‘*permit stockout*’ and ‘*avoid stockout*’ are made. Both of these areas can be identified by constructing a convex hull for the set of cases with the same decision attribute.

Regarding each convex hull and contained cases separately in **figure 3** (see *convex hull 1* with $\hat{e}_{iq} = 0$ and *convex hull 2* with $\hat{e}_{iq} = 1$), they could be interpreted as *consistent areas*, because expert-statements are consistent for one single hull. Second, an

area of inconsistency can be discovered in the diagram, discernible as the intersection of both convex hulls. Within this intersection close to the supposed opportunity cost function, we usually observe the occurrence of both decisions ($\hat{e}_{iq} = 0$ or 1). Inconsistent decisions are made from time to time herein, as the expert cannot say for sure, which one is the right decision. This effect is caused by the fact that the expert, from a priori not exactly knowing consequences and cost effects following to a stockout, makes estimations on stockout consequences and their severeness. Note that **figure 3** shows a simplified linear functional relationship. In the case of non-linear interrelations, some special aspects with respect to the intersection of both convex hulls come up and have to be taken into consideration.

Using these insights on the character of expert-decisions in this context, we are now able to do further deliberations with respect to our focused objective. The decisions for stockout cases of a representative item $\hat{i}_i$ make the determination of an adequate opportunity cost function F_i possible. As output, such a function shall display an opportunity cost value, with relation to the stockout quantity $x(\hat{S}_{iq})$ of case $\hat{S}_{iq}$ as the function input. Logically, such a function can show linear or non-linear characteristics, as it is supposed to be located within the mentioned area of inconsistency. Hence, the idea of learning such opportunity cost functions from given expert statements is the following: we basically have to look for such monotonically increasing functions, for which stockout cases with $\hat{e}_{iq} = 0$ are exclusively located “above” and stockout cases with $\hat{e}_{iq} = 1$ are exclusively located “below”. However, some misclassified stockout cases for function candidates have to be accepted, as the existence of the area of inconsistency cannot be neglected. Coming back to our example, we illustrate an exemplary solution for determining a linear and strongly monotonically increasing opportunity cost function from given expert-statements in **figure 3**.

Up to this point, we simplified our problem by assuming linear relationships in the data. Hence, it could be formulated as a linear optimization problem with the objective of minimizing the number of stockout cases being located on the “wrong” side of the opportunity cost function F_i (we call them *ill-located cases*). An ill-located case $\hat{S}_{iq}^*$ is defined as a case with $\hat{e}_{iq} = 0$ and being located ‘below’, or as a case with $\hat{e}_{iq} = 1$ and being located ‘above’ a constructed opportunity cost function. In **figure 3**, four ill-located cases are identifiable, each marked with an asterisk.

We count these cases by introducing some $\hat{i}_{iq}(\hat{e}_{iq}, F_i)$. The variable $\hat{i}_{iq}$ assumes 1, if $\hat{e}_{iq} = 0$ and $F_i(x(\hat{S}_{iq})) > AC(\hat{S}_{iq})$, or if $\hat{e}_{iq} = 1$ and $F_i(x(\hat{S}_{iq})) < AC(\hat{S}_{iq})$, and 0 otherwise. Analyzing one representative item $\hat{i}_i$, the problem then lies in the identification of one best function F_i , or a set of best functions, which minimize the number of misclassified stockout cases: $\text{Min } \sum_{q=1}^{r_i} \hat{i}_{iq}(\hat{e}_{iq}, F_i)$.

4 Learning opportunity cost functions with Genetic Programming (GP)

For solving the stated problem, we decided to construct an approach using the functional principle of *Genetic Programming (GP)*. The main reason for selecting GP as an appropriate method was its ability of solving problems domain-independently and au-

tomatically, starting from a high-level statement of what needs to be done in a problem context.²⁹ Especially for the reason of being able to solve problems without any information on the structure of a solution in advance (e.g. on linearity or non-linearity of functions) GP seems to be very advantageous for solving our problem. It has to be said that being characterized by a randomized process, GP does not guarantee optimal results. However, this randomness has been proven to be very advantageous at numerous applications.³⁰

4.1 Short introduction to Genetic Programming

Genetic Programming (GP) as a metaheuristic concept belongs, among others, to the group of *Evolutionary Computation Techniques* and, in its development process, was fundamentally forced by *Koza*.³¹ GP can be regarded as a so-called structure-detecting method, meaning determinations on the solution structure, e.g. information on linearity or non-linearity of functions that have to be explored from a data base, are not necessary. As problems can be solved automatically, GP also falls into the category of *Machine Learning-methods*. **Algorithm 1** describes the general principle of GP.³²

Algorithm 1 General idea of Genetic Programming

- 1: Randomly create an initial population of programs from the available set of primitives.
 - 2: **repeat**
 - 3: Execute each program of the initial population and compute its fitness.
 - 4: Select a subset of programs from the population with sufficient fitness-based probabilities to participate in the reproduction process.
 - 5: Create new individual programs by applying a set of genetic operations with specified probabilities for each operation.
 - 6: **until** an acceptable solution is found or some other stopping condition is met
 - 7: **return** the best individual(s)
-

4.1.1 Population, fitness and selection of individuals in GP:

In GP-methods, a prevailing set of programs is considered as a *population*. Similar to *Genetic Algorithms (GA)*, a current generation of the population has to be transformed into a new one with the aim of creating better programs by this process of reproduction. Programs in GP are equivalents to individuals (also called chromosomes) in GA. Programs basically consist of *operators* and *operands* being linked together according to specific rules. Operators usually represent arithmetic expressions (+, -, *, /), Boolean expressions (AND, OR, NOT), mathematical functions ($\sin x$, $\cos x$, ...) or ele-

²⁹ Vgl. Poli (2008), S. 1.

³⁰ Vgl. Loveard/Ciesielski (2001), S. 1071; McKee (2002), S. 444-450; O'Neill et al. (2010), S. 340-341.

³¹ Vgl. Koza (1998), S. 1-789.

³² Vgl. Poli (2008), S. 3.

ments of programming (e.g. if-else-requests). By contrast, operands represent constant parameters or variables of programs. According to this principle, *Koza* introduced a tree-notation for programs in GP. He fixed some formal rules, enabling GP-users to structure individuals systematically and visually. **Figure 4** represents this notation for exemplary individuals. An important fact when constructing a GP-tree is the property of operators always representing the root or branches (uncolored nodes), while operands are located at terminals of the tree (grey colored nodes).

The quality of each program is quantified by a numeric evaluation called *fitness*. From generation to generation, a subset of programs is selected to take part in the reproduction process. One idea in GP is to proportionately link the probability of being selected as a reproducer to the fitness value of a program. Thus, programs with a higher fitness-quantity are more probable to be reproduced into the next generation. Using our formal notation of **section 3.2**, a population $F_{i1}, \dots, F_{iv}$ of v functions is given. For a function (program) F_{it} of the population, the related fitness value $f(F_{it})$ can be calculated and has to be minimized in our context. Then, the probability $P(F_{iu})$ of one considered individual F_{iu} being selected as reproducer, can be calculated by $P(F_{iu}) = c - f(F_{iu})$ with, e.g., $c = \max_t \{f(F_{it})\}$. Note that this is exemplarily one (common) possibility of selecting programs, other practices can be found in literature.³³

4.1.2 Genetic operations in GP:

Primary genetic operations being applied for reproducing new generations in GP are (equally to the evolutionary process in nature) *recombination* and *mutation*. Both of these transformation operators are applied on individuals and selected on a basis of probabilities. At *recombination-processes*, which is the predominant genetic operation in GP, different forms of *crossover-operators* are used.³⁴ Generally, in the case of crossovers being deployed, new child-programs will be generated by randomly combining certain parts from two selected parental programs. *Mutation-processes* produce new child-programs by manipulating the structure of a randomly chosen part within a selected parental program. Thus, contrary to crossover-operations, where at least two parental programs are recombined, mutation is performed by manipulating only one program. Concluding to this characteristic of a mutation-process, it can be stated that it is actually mutation bringing innovation to individuals in GP.³⁵ In **figure 4**, we exemplarily show the functional principles of recombination (crossover) and mutation.

³³ Vgl. Koza (1998), S. 95-99; O'Neill et al. (2010), S. 343-344.

³⁴ Vgl. Uy et al. (2010), S. 3-7.

³⁵ Vgl. Banzhaf et al. (1998), S. 25.

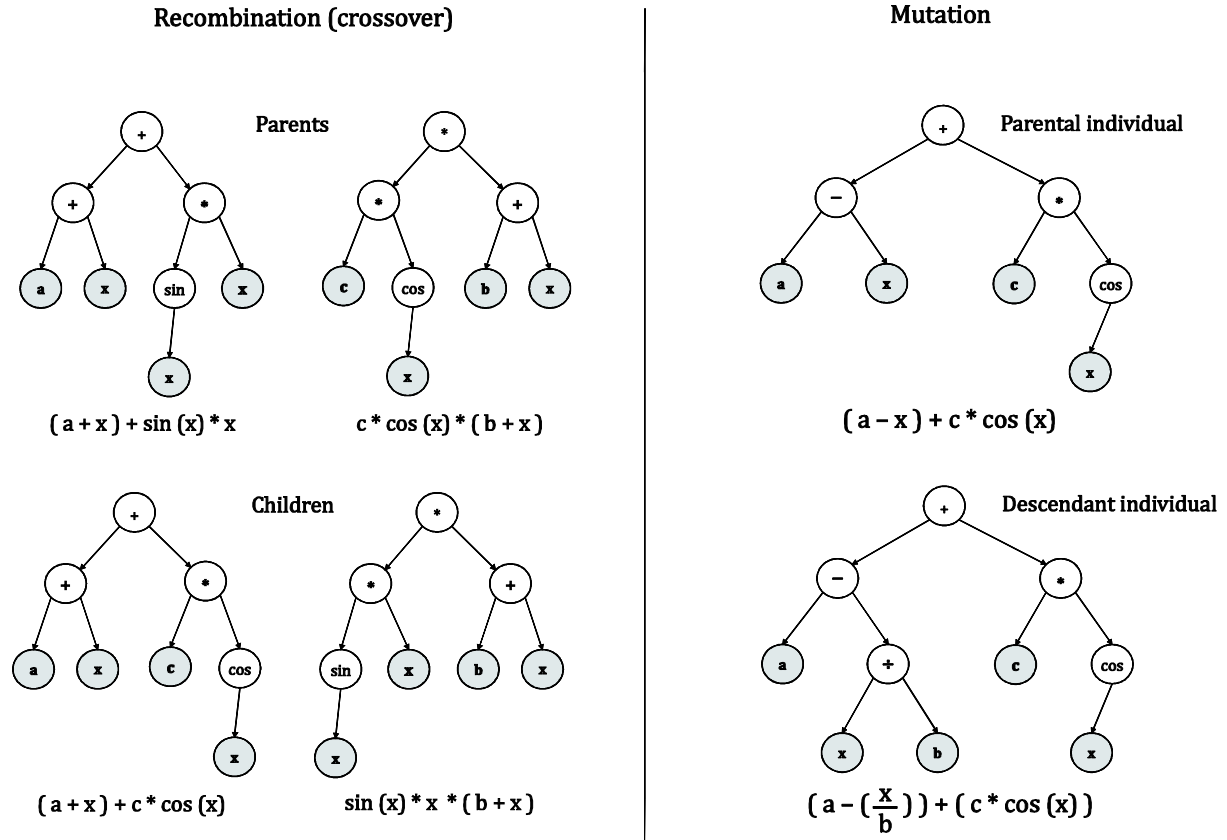


Fig. 4: Genetic operations at Genetic Programming

4.2 An algorithm for learning opportunity costs functions

In this section, our GP-approach adapted for the problem of learning opportunity cost functions is presented. We adduce two phases being proceeded within our algorithm structure: phase one, generating an initial population of opportunity cost functions, and phase two, iteratively improving individuals of the starting population. Our aim was to construct an iterative solution approach that is able first, to find solutions converging to structurally similar opportunity cost functions, and second to generate these solutions within an acceptable computation time. The design of the pseudo code used in our GP-approach is outlined in **algorithm 2**.

Algorithm 2 GP-code for learning opportunity cost functions

- 1: Generate initial population containing r_i individuals:
 For each stockout-case $\hat{S}_{iq}$, compute a function $a + bx$ with $a = 0$ and $b = \frac{AC(\hat{S}_{iq})}{x(\hat{S}_{iq})}$.
 - 2: **repeat**
 - 3: **repeat**
 - 4: Select some element of the current population based on its fitness.
 - 5: Generate a mutated function based on the chosen individual.
 - 6: **until** $4r_i$ candidate solutions have been generated.
 - 7: Determine the next population: Select the best r_i solutions of the candidate set and the current population (no duplicate functions allowed).
 - 8: Delete the set of candidate solutions.
 - 9: **until** Termination criterion met
-

Starting from a set of linear additive functions, which are created based on the stock-out cases, the GP algorithm tries to identify better functions by employing mutation operators. Each population consists of r_i functions, equivalent to the number of cases in $\hat{S}_i$. Subsequent populations are chosen on the basis of the previous one, and $4r_i$ variations, which are obtained by mutating the functions. In a first phase of the GP algorithm, we only mutate the values a, b of the linear additive function. Later on, the structure of the function is modified also, switching from a linear additive formulation to more complex non-linear (exponential) alternatives.

Throughout search, we ensure that the best alternatives are kept, therefore implementing an important elitism strategy. Consequently, the quality of functions may not become inferior at any time.

Search terminates once a function F_{iu} has been identified which reaches the theoretical minimum value of $f(F_{iu}) = 0$. Besides, a maximum number of populations is given as a second termination criterion, and this has been set to 100,000, leading to an examination of at most $400,000 * r_i$ mutated alternatives.

5 Experimental work and results

5.1 Generated test instances

For testing our GP-algorithm, eight exemplary test instances were created, each of them containing stockout cases with expert's statements. One instance consists of 500 stockout cases of one set $\hat{S}_i$ for one representative stockout-item $\hat{i}_i$. Assuming that unknown opportunity cost functions, which have to be detected, exist somehow in the expert's mind as mathematically formalizable relations and significantly influence his decisions for single stockout cases, we generated stockout cases with reference to an underlying function in the background, calling it '*background-function*' F_i^B . In **figure 5**, the basic idea lying behind the construction-process of our test instances is shown, here being simplified for the case of a linear relationship. In order to construct non-linear test-instance data as well, we transferred these relations adequately.

For generating heterogeneous test instances, the operators and operands of the background-function were varied. Basically, we formed two groups of test instances which can be differentiated by structurally two different characteristics of the background-functions: *linearity* and *non-linearity*. All background-functions are strictly monotonically increasing. We did not construct non-strictly monotonically and non-monotonically increasing structures. As we did not assume piecewise linearity for this tests as well, background-functions are all continuous and have no non-differentiable points. The two groups can then be classified as follows:

1. Test instances generated on a basis of a linear, continuous and strictly monotonically increasing background function: *l-c-smi_1.1* and *l-c-smi_1.2*.
2. Test instances generated on a basis a of non-linear, continuous and strictly monotonically increasing background function: *nl-c-smi_2.1*, *nl-c-smi_2.2*, *nl-c-smi_3.1*, *nl-c-smi_3.2*, *nl-c-smi_4.1* and *nl-c-smi_4.2*.

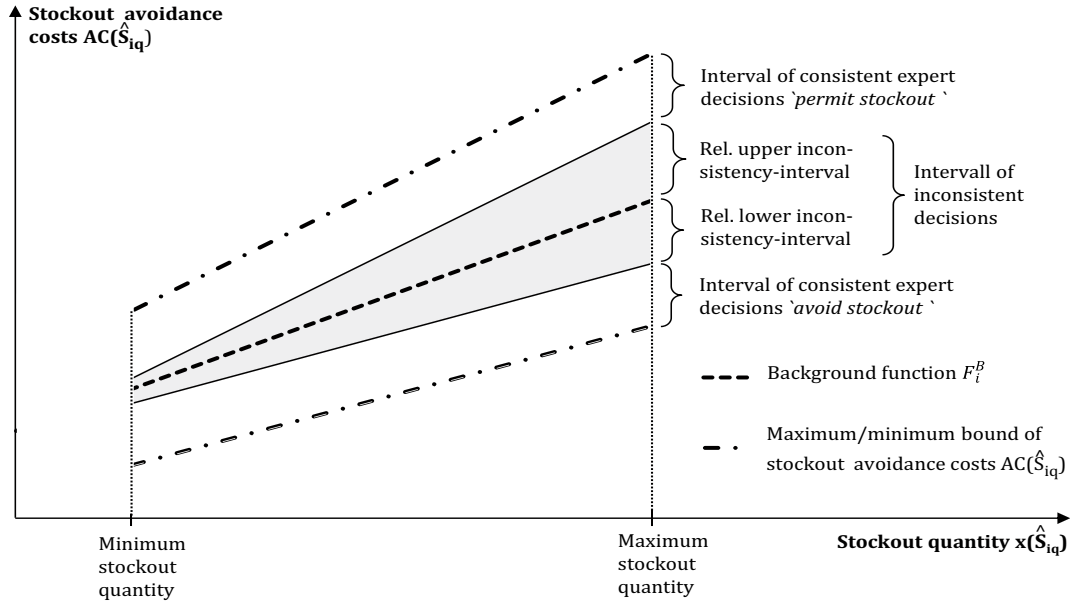


Fig. 5: Basic relationships in test instance data

Formal notations of background-function structures and a visual representation of the data for each instance are depicted in **table 3**. Note *RUI* being the abbreviation of the *Relative Upper Inconsistency-interval* and *RLI* of *Relative Lower Inconsistency-interval*, as both areas are defined relatively to the progressional behavior of the background function. Referring to the formal notations from **section 3** (without using indices now), the last row of **table 3** presents the number of ill-located cases in relation to the background function F_i^B . In the context of GP, this number $f(F_i^B)$ can be interpreted as the “fitness value” of the background function.

Test instance	Structure of background function	Formal notation	RUI	RLI	$f(F_i^B)$
l-c-smi_1.1	lin., contin., strict. monot. incr.	$F_i^B(x) = 20000 + 40 * x$	0.30	0.25	74
l-c-smi_1.2	lin., contin., strict. monot. incr.	$F_i^B(x) = 20000 + 40 * x$	0.00	0.00	0
nl-c-smi_2.1	non-lin., contin., strict. monot. incr.	$F_i^B(x) = 40 * x + x^{1.9} + 10000$	0.30	0.25	74
nl-c-sm_2.2	non-lin., contin., strict. monot. incr.	$F_i^B(x) = 40 * x + x^{1.9} + 10000$	0.00	0.00	0
nl-c-smi_3.1	non-lin., contin., strict. monot. incr.	$F_i^B(x) = (40 * x)^{0.5} + 100$	0.30	0.25	77
nl-c-smi_3.2	non-lin., contin., strict. monot. incr.	$F_i^B(x) = (40 * x)^{0.5} + 100$	0.00	0.00	0
nl-c-smi_4.1	non-lin., contin., strict. monot. incr.	$F_i^B(x) = 100 * \ln(40x)$	0.30	0.25	74
nl-c-smi_4.2	non-lin., contin., strict. monot. incr.	$F_i^B(x) = 20000 + 40 * x$	0.00	0.00	0

Tab. 3: Test instances

The object implemented in our GP-algorithm is to find, for each data instance, a set of functions which are structurally similar to the initial background function and do not

categorize more stockout cases as ill-located ones. In other words, by applying our GP-code, the obtained solutions shall represent functions which structurally converge to one core function (ideally against the background function) and have the same or a smaller fitness than the background function.

In **figures 6 and 7**, all data points (representing stockout cases) for two exemplary test instances (*l-c-smi_1.1* and *nl-c-smi_4.1*) are shown in plotted diagrams. As it can be seen in **table 3**, *l-c-smi_1.1* has a linear data structure, while *nl-c-smi_4.1* was constructed by an underlying non-linear relationship.

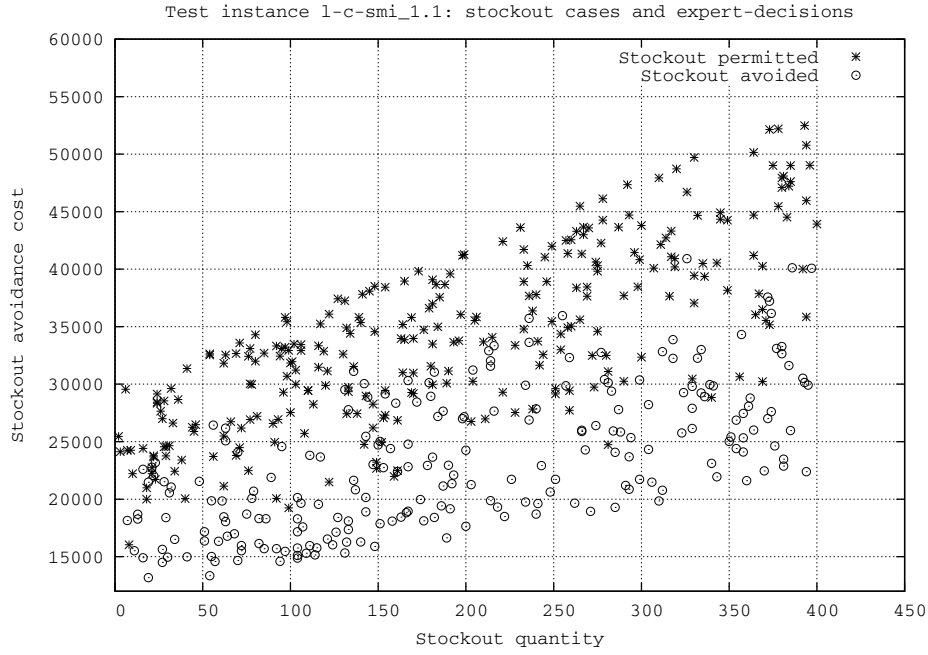


Fig. 6: Expert decisions at exemplary test instance *l-c-smi_1.1*

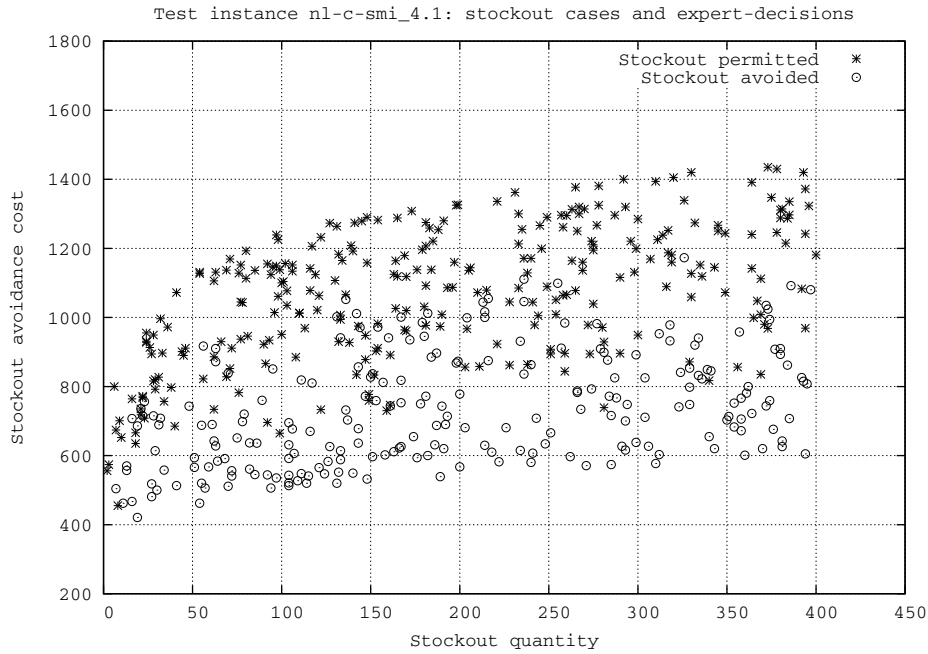


Fig. 7: Expert decisions at exemplary test instance *nl-c-smi_4.1*

5.2 Results

All our computations were performed on an Intel Core 2 Quad CPU with each 3.00 GHz and 8 GB RAM in total. The GP-Algorithm for learning opportunity cost functions was, like the code for generating our test instances, coded in .NET 2010. No use has been made of parallel processing. The presented results are based on 20 independent test runs on each instance. On the available hardware, an average of 33 seconds has been recorded for a single run. In **table 4**, detailed computational results of our implemented GP-algorithm are exemplarily presented for the two test instances l-c-smi_1.1 and nl-c-smi_4.1.

Test instance	Solutions (learned functions) from GP: $F_i^{GP}(x)$			$f(F_i^B)$	$f(F_i^{GP})$
l-c-smi_1.1	$(20425 + (39 * x))$	$(20438 + (39 * x))$	$(20450 + (39 * x))$	74	72
	$(20426 + (39 * x))$	$(20439 + (39 * x))$	$(20451 + (39 * x))$		
	$(20427 + (39 * x))$	$(20440 + (39 * x))$	$(20452 + (39 * x))$		
	$(20428 + (39 * x))$	$(20441 + (39 * x))$	$(20453 + (39 * x))$		
	$(20429 + (39 * x))$	$(20442 + (39 * x))$	$(20454 + (39 * x))$		
	$(20430 + (39 * x))$	$(20443 + (39 * x))$	$(20455 + (39 * x))$		
	$(20431 + (39 * x))$	$(20444 + (39 * x))$	$(20456 + (39 * x))$		
	$(20432 + (39 * x))$	$(20445 + (39 * x))$	$(20457 + (39 * x))$		
	$(20433 + (39 * x))$	$(20446 + (39 * x))$	$(20458 + (39 * x))$		
	$(20434 + (39 * x))$	$(20447 + (39 * x))$	$(20459 + (39 * x))$		
	$(20435 + (39 * x))$	$(20448 + (39 * x))$	$(20460 + (39 * x))$		
	$(20436 + (39 * x))$	$(20449 + (39 * x))$	$(20461 + (39 * x))$		
	$(20437 + (39 * x))$				
nl-c-smi_4.1	$(436 + (43 * (x^{0.46})))$	$(451 + (44 * (x^{0.46})))$	$(469 + (36 * (x^{0.46})))$	74	73
	$(436 + (45 * (x^{0.46})))$	$(452 + (44 * (x^{0.46})))$	$(469 + (38 * (x^{0.46})))$		
	$(439 + (45 * (x^{0.46})))$	$(453 + (42 * (x^{0.46})))$	$(471 + (34 * (x^{0.46})))$		
	$(440 + (45 * (x^{0.46})))$	$(453 + (44 * (x^{0.46})))$	$(471 + (36 * (x^{0.46})))$		
	$(441 + (45 * (x^{0.46})))$	$(456 + (39 * (x^{0.46})))$	$(472 + (34 * (x^{0.46})))$		
	$(442 + (45 * (x^{0.46})))$	$(457 + (79 * (x^{0.46})))$	$(472 + (36 * (x^{0.46})))$		
	$(443 + (45 * (x^{0.46})))$	$(457 + (39 * (x^{0.46})))$	$(482 + (33 * (x^{0.46})))$		
	$(444 + (45 * (x^{0.46})))$	$(458 + (39 * (x^{0.46})))$	$(483 + (33 * (x^{0.46})))$		
	$(445 + (40 * (x^{0.46})))$	$(458 + (41 * (x^{0.46})))$	$(487 + (31 * (x^{0.46})))$		
	$(445 + (45 * (x^{0.46})))$	$(459 + (39 * (x^{0.46})))$	$(488 + (31 * (x^{0.46})))$		
	$(446 + (42 * (x^{0.46})))$	$(459 + (41 * (x^{0.46})))$	$(493 + (29 * (x^{0.46})))$		
	$(447 + (42 * (x^{0.46})))$	$(460 + (39 * (x^{0.46})))$	$(494 + (29 * (x^{0.46})))$		
	$(448 + (42 * (x^{0.46})))$	$(460 + (41 * (x^{0.46})))$	$(501 + (27 * (x^{0.46})))$		
	$(449 + (42 * (x^{0.46})))$	$(468 + (36 * (x^{0.46})))$			
	$(450 + (42 * (x^{0.46})))$	$(468 + (38 * (x^{0.46})))$			

Tab. 4: Detailed results for test instances l-c-smi_1.1 and nl-c-smi_4.1

The second and third row represent the opportunity cost functions with best fitness values that were obtained. Being learned from the data of each instance by our GP-algorithm, we chose the formal notation F_i^{GP} for this set of best known functions. The fourth row presents the “fitness value” $f(F_i^B)$ of the underlying background function

for each test instance, while in row five we listed the fitness value of the best found opportunity cost functions, denoted as $f(F_i^{GP})$.

Providing a graphical depiction, **figures 8 and 9** exemplarily show the first-place opportunity cost function F_i^{GP} of **table 4** for both test instances l-c-smi_1.1 and nl-c-smi_4.1.

Test instance 1.1: stockout cases, expert-decisions and learned opportunity cost function

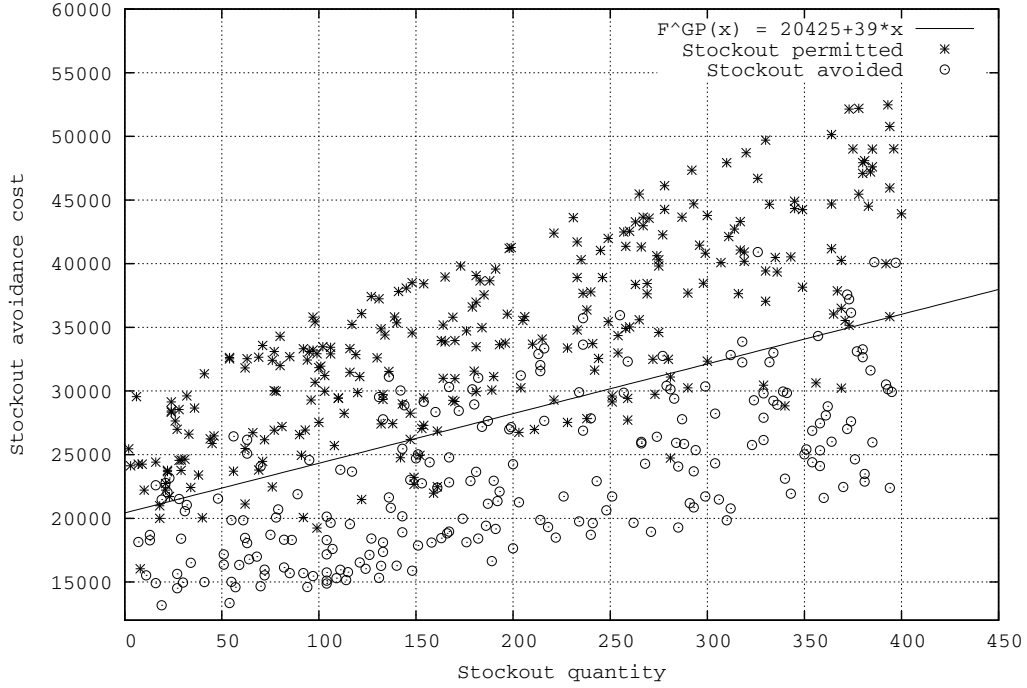


Fig. 8: Exemplary function F_i^{GP} for test instance l-c-smi_1.1

Test instance 4.1: stockout cases, expert-decisions and learned opportunity cost function

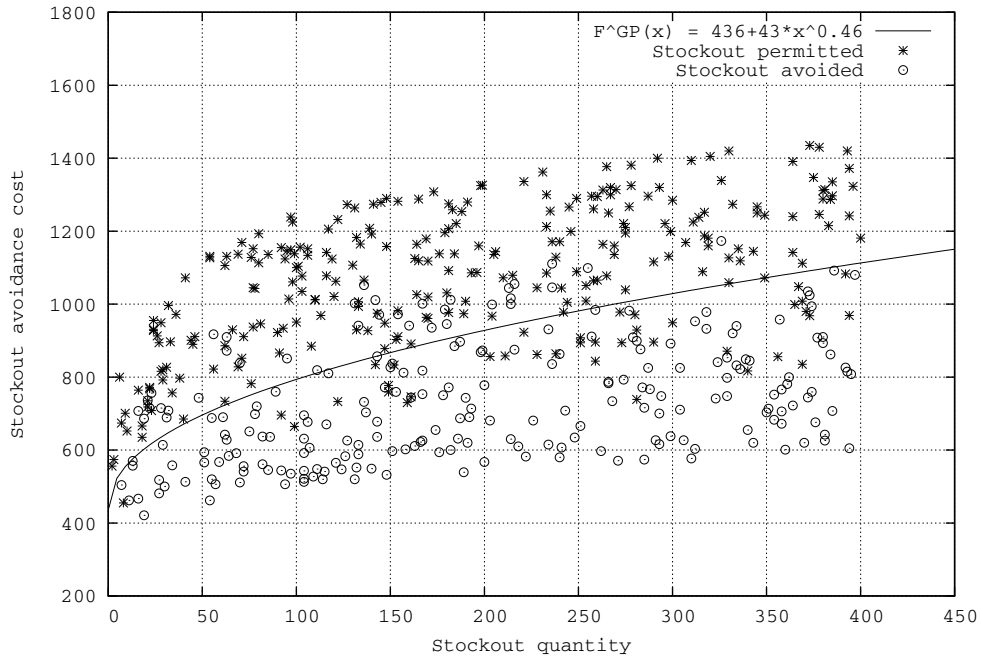


Fig. 9: Exemplary function F_i^{GP} for test instance nl-c-smi_4.1

For a survey on the fitness values of obtained opportunity cost functions with respect to all test instances, see **table 5**. As it can be concluded from the values of $f(F_i^B)$ and $f(F_i^{GP})$, for test instances with positive RUI and RLI values, our GP-approach creates functions with better fitness values than given from the primordial background function. Thus, in case of an existing inconsistency area in the data structure of a test instance, what we usually assume, we continuously get satisfying results. By contrast, at instances with no inconsistencies (RUI = RLI = 0), the fitness $f(F_i^{GP})$ is, except for the linear test instance l-c-smi_1.2, not as good as $f(F_i^B)$. However, the most important conclusion we draw from our results is the following: for each instance, regardless of whether having a linear or non-linear structure, the code constantly provides solutions that structurally converge to similar test instance-specific opportunity cost functions. These functions, being learned by the algorithm, are structurally very similar to the initial background functions we had used for generating our test instance data.

No.	Test instance	$f(F_i^B)$	$f(F_i^{GP})$
1	l-c-smi_1.1	74	72
2	l-c-smi_1.2	0	0
3	nl-c-smi_2.1	74	73
4	nl-c-smi_2.2	0	10
5	nl-c-smi_3.1	77	72
6	nl-c-smi_3.2	0	1
7	nl-c-smi_4.1	74	73
8	nl-c-smi_4.2	0	10

Tab. 5: Results for all test instances

For investigating the quality of our GP-results, a sophisticated and adequate data mining approach should serve for benchmarks. As Neural Networks (NN) have been applied successfully on manifold data mining problems we decided to use an appropriate NN-construction.³⁶ Therefore, benchmarks were produced by the NN-software *Membrain* (downloadable at: www.membrain-nn.de/english/download_en.htm). Our GP-algorithm outperforms the NN-software at the first 6 test instances, except for instance *nl-c-smi_2.2*. Concerning the last two instances, it distinctly underperforms in comparison to the NN-results. It becomes clear that the GP-results are satisfying, as long as the background functions are restricted to linear or exponential nature. Except for linear and exponential operators, we have not implemented further arithmetic expressions or functions as operators in the mutation process of the GP-algorithm yet. We strongly assume that this fact is the reason for inferior results of the GP-approach at *nl-c-smi_4.1* and *nl-c-smi_4.2*, as these sets were constructed on the basis a logarithmic operator in the background function. Implementing arithmetic operators into the mutation phase could significantly improve the quality of the solutions.

³⁶ Vgl. Brameier/Banzhaf (2001), S. 21-25; Zhang (2000), S. 451-458.

6 Summary and Conclusion

In this paper, the problem of quantifying opportunity costs of stockouts in logistic systems has been investigated. After introducing the nature of stockout costs and conducting a literature survey on this topic, in a first step we have presented the idea of additionally using and evaluating implicit and practical knowledge of an expert in the considered stockout context. We provided a method showing how to elicit expert knowledge by putting surrogate questions related to stockout cases a priori. In a further step, the idea of Genetic Programming-approaches was introduced and the construction of our GP-algorithm was presented. The algorithm fundamentally was structured in two main phases: after generating a population of linear functions as initial solutions, we successively break off the linearity-condition for operators and thus iteratively improve the fitness value of opportunity cost functions. Our test instances were introduced and the results of our experimentally-driven work were presented. Computational results indicate two main facts: Firstly, a GP-algorithm like the one we constructed, is able to learn opportunity cost functions from case-based data. This implies that we are capable of identifying unknown opportunity cost functions which somehow exist in the expert's mind and significantly influence his decisions at imminent stockout cases, comparable to utility functions in Multiattribute Decision Theory. Secondly, it has been shown, that obtained solutions structurally converge to similar opportunity cost functions for each instance of our test data. This can be seen as a crucial fact, as for the case of obtaining structurally diverging solutions, the effect of learning functions would diminish. Finally assessing the quality of obtained solutions, benchmarks from a NN-software showed a satisfying performance of the GP-algorithm.

Assuming the existence of non-strictly monotonically increasing or even non-monotonically opportunity cost functions, the results of our approach may not reflect these functions closely enough. Therefore, with respect to future research, our approach is appropriate for being extended to the possibility of learning structurally more complex opportunity cost functions. Thus, test instances being generated on a basis of sine- and cosine-functions could be regarded. This would mean, we have to extend our set of operators in GP from actually arithmetic expressions to mathematical functions. Additionally, another interesting task might be to analyze different manifestations of upper consistency and inconsistency scopes at case-based expert decisions, and eventually to develop a measure for characterizing the data set with respect to its consistency grade.

7 References

- Aguirregabiria, V. (2005): Retail stockouts and manufacturer brand competition. Working Paper. Boston University.
- Anderson, E. T.; Fitzsimons, G. J.; Simester, D. (2006): Measuring and mitigating the costs of stockouts, in: *Management Science* 52(11), S. 1751-1763.
- Banzhaf, W.; Nordin, P.; Keller, R. E.; Francone, F. D. (1998): *Genetic programming: An introduction*, San Francisco.
- Brameier, M.; Banzhaf, W. (2001): A comparison of linear genetic programming and neural networks in medical data mining, in: *IEEE Transactions on Evolutionary Computation* 5(1), S. 17-26.
- Campo, K.; Gijsbrechts, E.; Nisol, P. (2004): Dynamics in consumer response to product unavailability: do stock-out reactions signal response to permanent assortment reductions?, in: *Journal of Business Research* 57(8), S. 834-843.
- Chang, Y. S.; Niland, P. (1967): A model for measuring stock depletion costs, in: *Operations Research* 15(3), S. 427-447.
- Dion, P.A.; Banting, P.M. (1995): Buyer reactions to product stockouts in business to business markets, in: *Industrial Marketing Management* 24(4), S. 341-350.
- Dion, P. A.; Hasey, L. M.; Dorin, P. C.; Lundin, J. (1991): Consequences of inventory stockouts, in: *Industrial marketing management* 20(1), S. 23-27.
- Emmelhainz, L. W.; Emmelhainz, M. A.; Stock, J. (1991): Logistics implications of retail stockouts, in: *Journal of Business Logistics* 12(2), S. 129-142.
- Fitzsimons, G. J. (2000): Consumer Response to Stockouts, in: *Journal of Consumer Research* 27(2), S. 249-266.
- Gattorna, J. ; Day, A.; Hargreaves, J. (1991): Effective Logistics Management, in: *Logistics Information Management* 4(2), S. 2-86.
- Gruen, T. W.; Corsten, D. S.; Bharadwaj, S. (2002): *Retail Out of Stocks: A Worldwide Examination of Extent, Causes, and Consumer Responses*, Atlanta/St. Gallen/Colorado Springs.
- Jahnke, H. (1995): *Produktion bei Unsicherheit: Elemente einer betriebswirtschaftlichen Produktionslehre bei Unsicherheit*, Heidelberg.
- Koza, J. R. (1998): *Genetic programming: On the programming of computers by means of natural selection*, 6th edition, Massachusetts.
- Love, S. F. (1979): *Inventory control*, New York.
- Loveard, T.; Ciesielski, V.: Representing classification problems in genetic programming, in: *Proceedings of the 2001 Congress on Evolutionary Computation*, S. 1070–1077.
- McKee, T.: Genetic programming and rough sets: A hybrid approach to bankruptcy classification. *European Journal of Operational Research*, 138(2):436–451, April 2002.
- Needham, P. M.; Evers, P. T. (1998): The influence of individual cost factors on the use of emergency transshipments in: *Transportation Research Part E* 34(2), S. 149-160.
- O'Neill, M.; Vanneschi, L.; Gustafson, S.; Banzhaf, W (2010): Open issues in genetic programming, in: *Genetic Programming and Evolvable Machines* 11(3-4), S. 339-363.
- Oral, M.; Salvador, M. S.; Reisman, A.; Dean, B. V. (1972): On the evaluation of shortage costs for inventory control of finished goods, in: *Management Science* 18(6), S. 344-351.
- Poli, R.; Langdon, W. B.; McPhee, N. F. (2008): *A Field Guide to Genetic Programming*, San Francisco.
- Schary, P.; Christopher, M. (1979): The anatomy of a stockout, in: *Journal of Retailing* 55(2), S. 59–70.
- Schmid, O. (1977): *Modelle zur Quantifizierung der Fehlmengenkosten als Grundlage optimaler Lieferservicestrategien bei temporärer Lieferunfähigkeit*, Frankfurt/Main, 1977.
- Uy, N. Q.; Hoai, N. X.; O'Neill, M.; McKay, R. I.; Galván-López, E. (2010): Semantically-based crossover in genetic programming: application to real-valued symbolic regression, in: *Genetic Programming and Evolvable Machines* 11, S. 1-29.

- van Vliet, J. (2008): Stockout costs and consequences: Irritated customers or idle inventory? *APICS – the performance advantage* 18(4), S. 26-29.
- Walter, C. K.; Grabner, J. R. (1975): Stockout cost models: Empirical tests in a retail situation, in: *The Journal of Marketing* 39(3), S. 56-60.
- Zhang, G.P. (2000): Neural Networks for Classification: A Survey, in: *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)* 30(4), S. 451-462.
- Zimmerman, J. L. (1995): *Accounting for decision making and control*, 6th edition, New York.
- Zinn, W.; Liu, P. C (2001): Consumer Response to Retail Stockouts, in: *Journal of Business Logistics* 22(1), S. 49-71.

Simultane Maschinenbelegungs- und Personaleinsatzplanung in KMUs anhand eines Fallbeispiels aus der Druckereibranche

Karen Puttkammer

Lehrstuhl für Produktion und Logistik, Institut für Automobilwirtschaft und Industrielle Produktion, Technische Universität Braunschweig, Katharinenstraße 3, 38106 Braunschweig, k.puttkammer@tu-braunschweig.de

Rainer Kleber

Lehrstuhl für Produktion und Logistik, Fakultät für Wirtschaftswissenschaft, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Universitätsplatz 2, 39106 Magdeburg, rainer.kleber@ovgu.de

Tobias Schulz

Lehrstuhl für Produktion und Logistik, Fakultät für Wirtschaftswissenschaft, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Universitätsplatz 2, 39106 Magdeburg, tobias.schulz@ovgu.de

Karl Inderfurth

Lehrstuhl für Produktion und Logistik, Fakultät für Wirtschaftswissenschaft, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Universitätsplatz 2, 39106 Magdeburg, karl.inderfurth@ovgu.de

Zusammenfassung

In dem vorliegenden Beitrag zur Produktionslogistik wird die auftragsorientierte Fertigung von Druckaufträgen in der maschinellen Werkstattproduktion klein- und mittelständischer Unternehmen (KMU) am Fallbeispiel einer Akzidenzdruckerei betrachtet. Wesentliche Planungsaufgaben stellen dabei die Maschinenbelegungs- und die Personaleinsatzplanung mit der Qualifikation der Mitarbeiter als verbindendem Element dar. In der Literatur und der praktischen Anwendung werden die Teilprobleme weitgehend getrennt voneinander betrachtet und häufig sukzessive gelöst. Ein solches Vorgehen ist jedoch insbesondere in KMUs problematisch, da Interdependenzen zwischen den Teilproblemen nicht in ausreichendem Maße berücksichtigt werden können. Solche liegen beispielsweise vor, wenn qualifiziertes Personal die Prozesse an den Maschinen durchgehend begleiten muss, dieses aber nur eingeschränkt zur Verfügung steht. In diesem Beitrag wird ein multikriterielles Optimierungsmodell für die Simultanplanung von Maschinenbelegung und Personaleinsatz vorgestellt. Der zu lösende Zielkonflikt entsteht dadurch, dass die Optimierung von Zeitzielen in der Maschinenbelegungsplanung, wie beispielsweise die Minimierung von Verspätungen, im Widerspruch zu einem die Kosten minimierenden kompakten Personaleinsatz steht. Durch die Formulierung des Modells kann maßgeblich zum Verständnis der Problemstruktur beigetragen werden.

1 Einleitung

In dem vorliegenden Beitrag zur operativen Produktionslogistik wird die auftragsorientierte Fertigung von Druckaufträgen in der maschinellen Werkstattproduktion am Fallbeispiel einer Akzidenzdruckerei betrachtet. Die einzelnen Arbeitsvorgänge werden unter Einsatz von Maschinen durch unterschiedlich qualifizierte Mitarbeiter gesteuert und ausgeführt. Wesentliche Planungsaufgaben stellen deshalb die Maschinenbelegungs- und die Personaleinsatzplanung dar. Dabei müssen nicht nur die einzelnen Arbeitsvorgänge terminiert und einer Maschine und mindestens einem Mitarbeiter zugewiesen werden, sondern es muss auch sichergestellt werden, dass der zugewiesene Mitarbeiter im benötigten Zeitraum verfügbar ist. Ablaufbedingte Wartezeiten der Mitarbeiter sind weitestgehend zu vermeiden.¹ Die Qualifikation der Mitarbeiter ist das verbindende Element zwischen dem Personaleinsatz und der Maschinenbelegung. Sie gibt an, ob Mitarbeiter und Maschinen gleichzeitig einem Vorgang zugeordnet werden dürfen.

In der Literatur und der praktischen Anwendung werden die Maschinenbelegungs- und Personaleinsatzplanung weitgehend getrennt voneinander betrachtet und häufig sukzessive durchgeführt. Ein solches Vorgehen ist jedoch dann problematisch, wenn die Interaktion zwischen den beiden Teilproblemen groß ist. Dies ist bei klein- und mittelständischen Unternehmen in besonderem Maße der Fall, da nicht davon ausgegangen werden kann, dass jederzeit Mitarbeiter mit der gerade benötigten Qualifikation verfügbar sind. Stehen nicht genug qualifizierte Mitarbeiter zur Verfügung, schränken insbesondere arbeitsrechtliche Regelungen den Mitarbeitereinsatz und damit unmittelbar den Maschineneinsatz ein. Somit kann ein sukzessives Vorgehen zu unzulässigen Plänen führen, die manuelle Eingriffe durch den Planer erfordern und tendenziell schlecht in Bezug auf zeit- oder kostenbezogene Zielkriterien abschneiden. Aus Sicht des Anwendungsfalls zählen zu den Zielkriterien vor allem eine Minimierung der Verspätungen sowie der Personalkosten.

In diesem Beitrag werden die beiden Teilprobleme simultan behandelt und es wird untersucht, welche Vorteile eine solche Vorgehensweise mit sich bringt. Insbesondere soll eine Entscheidungsunterstützung geleistet und auf diese Weise zur Optimierung der operativen Produktionslogistik beigetragen werden. Zu diesem Zweck wird ein mathematisches Modell erstellt, in welchem die grundlegenden Interaktionen zwischen den Teilproblemen korrekt abgebildet werden. Auf diese Weise können vorgegebene Pläne auf Zulässigkeit geprüft und bewertet werden.

Im Anschluss an eine Beschreibung der Prozesse und Herausforderungen eines Praxisfalls wird ein Literaturüberblick über relevante Ansätze zur Modellierung der Teilprobleme gegeben. Anschließend wird ein multikriterielles Optimierungsmodell für das integrierte Planungsproblem vorgestellt, welches das aus der Literatur bekannte Multi-Mode Resource-Constrained Project Scheduling Problem (MRCPSp) unter

¹ Vgl. Günther und Tempelmeier (2009), S. 132.

Berücksichtigung zeitlicher Abstände zwischen den Vorgängen um Aspekte der Personaleinsatzplanung wie arbeitsrechtliche Regelungen erweitert. Schließlich soll anhand eines numerischen Beispiels ein Eindruck vom Potenzial des Modellansatzes gegeben werden.

2 Prozessbeschreibung und Herausforderungen im Praxisfall

Als Praxisanwendung dient dieser Arbeit ein Unternehmen der Druckereibranche, genauer gesagt aus dem Bereich des Akzidenzdrucks. Im Akzidenzdruck tätige Unternehmen erstellen auf Auftrag vielfältige Produkte für eine heterogene Gruppe von Kunden. Entwicklungen der letzten Jahre zeigen, dass der Kundenanspruch im Akzidenzdruck merklich gestiegen ist. Die Branche sieht sich vom Markt vorgegebenen, sinkenden Preisen gegenüber. Gleichzeitig werden kürzere Lieferzeiten gefordert. Apenberg und Partner (2010) sagen zudem eine langfristige Konsolidierung des Marktes für Druckereileistungen voraus. Es wird geschätzt, dass sich das Absatzpotenzial der deutschen Branche innerhalb der nächsten fünf Jahre um drei Milliarden Euro verringern wird und ca. 3500 Betriebe schließen oder fusionieren werden. In Anbetracht schwankender Auftragslagen gewinnt der Aspekt eines flexiblen Mitarbeitereinsatzes als Wettbewerbsvorteil an Bedeutung. Gleichzeitig erhöht sich damit aber auch die Komplexität der Produktionsplanung.

Obwohl man die Erzeugnisse in verschiedenen Produktklassen wie Zeitschriften, Broschüren oder Flyer zusammenfassen kann, ist jeder Auftrag dennoch einzigartig bezüglich seiner Eigenschaften. Abgesehen von der Druckvorlage, also dem Motiv, unterscheiden sie sich unter anderem bezüglich der Auflage, des Druckverfahrens und der erforderlichen weiterverarbeitenden Schritte in der Buchbinderei. Somit hat jeder Auftrag einen unterschiedlichen Bedarf an personellen und maschinellen Ressourcen. Der Akzidenzdruck lässt sich demnach in die auftragsorientierte Einzelfertigung einordnen, in der sich der Produktionsprozess typischerweise aus mehreren Vorgängen zusammensetzt. In der Vorstufe werden die vom Kunden zur Verfügung gestellten Daten so bearbeitet, dass auf ihrer Grundlage Druckplatten hergestellt werden können. Nach der Belichtung der Platten schließt sich der Druckvorgang an, welcher mit mehreren unterschiedlichen Verfahren erfolgen kann. Es folgen je nach Kundenwunsch verschiedene weiterverarbeitende Prozesse in der Buchbinderei, wie z.B. Bindungen, Heftungen und der Endbeschnitt. Mit dem Verpacken der Ware endet die Auftragsbearbeitung im Unternehmen. Qualifikationseinschränkungen der Mitarbeiter spielen insofern eine Rolle, als beispielsweise die im Druckbereich tätigen Mitarbeiter jeweils nur ein Druckverfahren beherrschen.

Die Planungsaufgabe besteht zum einen darin, die Vorgänge an den Maschinen zu disponieren (Maschinenbelegung). Zum anderen soll jedem Vorgang mindestens ein Mitarbeiter zugeordnet werden (Personaleinsatz). Dies geschieht unter der Zielsetzung einer Minimierung der Lieferterminüberschreitungen der Aufträge, wobei längere Verspätungen überproportional zu berücksichtigen sind. Gleichzeitig sollen die Personalkosten möglichst gering gehalten werden. Neben der Qualifikation müssen noch

weitere Restriktionen im Planungsprozess beachtet werden, wie die Reihenfolgebeziehungen zwischen den Vorgängen und die Kapazitätsrestriktionen der Maschinen und Mitarbeiter. Die Einschränkungen bezüglich des Mitarbeiterereinsatzes sind vielfältig und ergeben sich u.a. aus den Bestimmungen des Arbeitszeitgesetzes (ArbZG) und aus den branchenspezifischen Tarifverträgen. Im Anhang sind wesentliche relevante Vorschriften zusammenfassend dargestellt.

Derzeit erfolgt die Planung noch manuell auf Basis von Erfahrungswissen in zwei Planungsschritten. In einem ersten Schritt wird die Auftragsreihenfolge an jeder Maschine festgelegt, sodass Liefertermine möglichst eingehalten und lange Rüstzeiten vermieden werden. Zur Planung der Auftragsreihenfolge wird eine elektronische Plantafel genutzt, die jedoch keine Entscheidungsunterstützung leistet. In einem zweiten Schritt wird nun entschieden, welcher Mitarbeiter in welcher Schicht arbeiten soll. Es wird allerdings nicht explizit festgelegt, welche Vorgänge durch welchen Mitarbeiter bearbeitet werden. Problematisch bei dieser sequentiellen Vorgehensweise ist, dass die eingeschränkte Mitarbeiterverfügbarkeit im ersten Schritt vernachlässigt wird und im zweiten Schritt ein unzulässiger Plan erzeugt werden kann. Das führt dazu, dass zugesagte Liefertermine häufig nicht eingehalten werden können. In der Praxis wird dem Problem begegnet, indem z.B. die Schichten nicht vollständig mit Fertigungsvorgängen verplant werden. Zudem wird der Plan bis zu drei Mal täglich aktualisiert. Dabei wird der aktuelle Bearbeitungsstand berücksichtigt. Es ist jedoch festzuhalten, dass der entsprechende Planer viel Erfahrung benötigt, um alle relevanten Restriktionen zu berücksichtigen, und eine befriedigende Zielerreichung nicht gewährleistet ist. Wünschenswert wäre es, die Planung mithilfe modellbasierter Entscheidungsunterstützungssysteme zu vereinfachen, um unabhängiger von der Person des Planers zu werden.

3 Literaturüberblick

Im folgenden Abschnitt soll ein Überblick über relevante Ansätze zur Maschinenbelegungs- und Personaleinsatzplanung gegeben werden.

3.1 *Relevante Ansätze der Maschinenbelegungsplanung*

Im Rahmen der Maschinenbelegungsplanung werden Vorgänge den einzelnen Arbeitssystemen zugeteilt und die Reihenfolge der Bearbeitung festgelegt.² Dabei müssen Reihenfolgebeziehungen und die Kapazitätsbeschränkungen der Ressourcen eingehalten werden. Die Maschinenbelegungsplanung kann als ressourcenbeschränktes Projektplanungsproblem formuliert werden.³ Eine solche Formulierung ermöglicht die Berücksichtigung verschiedener beschränkt verfügbarer Ressourcen, wie Maschinen und Arbeitskräfte. Unterscheidet man dabei zwischen verschiedenen Ausführungsmodi, d.h. unterschiedlichen Kombinationen von Vorgangszeit und Ressourcenbeanspru-

² Vgl. Domschke u. a. (1997), S. 16.

³ Vgl. Brucker u. a. (1999), S. 5, Heilmann (2000), S. 1.

chung, spricht man auch von einem Multi-Mode Resource-Constrained Project Scheduling Problem (MRCPSP). Die Lösung des MRCPSP besteht aus der Festlegung von Start- oder Endzeitpunkten und der Auswahl eines Ausführungsmodus für jeden Vorgang. Eine erste Modellformulierung findet sich in Talbot (1982).

Neben der Minimierung der Projektdauer gibt es noch eine Anzahl weiterer Zielsetzungen, die im Rahmen der Projektplanung relevant sein können. Hartmann und Briskorn (2010) sowie Weglarz u.a. (2011) geben einen Überblick über die in der Literatur verwandten Kriterien.⁴ Zu den zeitorientierten Zielen gehört die Minimierung der durchschnittlichen Durchlaufzeit und die Minimierung der Summe der Verspätungen. Zu den monetären Zielsetzungen zählen beispielsweise die Maximierung des Gesamtkapitalwertes oder die Maximierung der projektbezogenen Cashflows. Zudem können sich Zielsetzungen auf die Ressourcen und die damit verbundenen Kosten beziehen. Bei dem sog. Ressourceninvestitionsproblem werden die Kosten der Ressourcenbereitstellung unter Berücksichtigung eines vorgegebenen Projektendes minimiert.⁵ Verschiedene Formulierungen von Zielfunktionen, die eine gleichmäßige Auslastung der Ressourcen verfolgen, sind in Neumann und Zimmermann (1999) zu finden.⁶

Es gibt verschiedenste Erweiterungen des MRCPSP⁷, von denen im Folgenden die für unseren Modellansatz relevanten erläutert werden. Die Annahme, dass von den Ressourcen in jeder Periode die gleiche Kapazität zur Verfügung steht, ist insbesondere bei Berücksichtigung personeller Ressourcen sehr restriktiv. Verschiedene Schichtpläne, sowie Urlaubs- oder Weiterbildungstage sind dafür die Ursache. Eine entsprechende Verallgemeinerung wird von Sprecher (1994) vorgeschlagen.⁸ In Druckereibetrieben sind häufig zeitliche Abstände zwischen der Beendigung des einen und dem Beginn des Folgevorgangs einzuhalten. Minimale Abstände kommen beispielsweise in Form von Trocken- oder Ruhezeiten vor. Maximale Abstände sind in der Industrie dann zu finden, wenn z.B. Materialien in einem bestimmten Zustand weiter verarbeitet werden müssen. Das Problem unter Berücksichtigung allgemeiner zeitlicher Abstände wird als MRCPSP/max bezeichnet.⁹ Schließlich schränken Rahmenbedingungen die Verfügbarkeit von Arbeitskräften in Zeiträumen wie einer Schicht, einem Tag oder einer Woche ein. Im Rahmen der Projektplanung können diese in Form von partiell erneuerbaren Ressourcen modelliert werden.¹⁰

Bezüglich seiner Lösungskomplexität gehört das MRCPSP zu der Klasse NP-schwerer Probleme. Die Aufgabe, eine zulässige Lösung zu finden, stellt bei mindestens zwei erneuerbaren Ressourcen bereits ein NP-vollständiges Problem dar.¹¹ Neuere Untersu-

⁴ Vgl. Hartmann und Briskorn (2010), S. 6ff, Weglarz u. a. (2011), S. 196f.

⁵ Vgl. Drexel und Kimms (2001), S. 340f.

⁶ Vgl. Neumann und Zimmermann (1999), S. 594f.

⁷ Vgl. Hartmann und Briskorn (2010), Weglarz u. a. (2011)

⁸ Vgl. Sprecher (1994), S. 3.

⁹ Vgl. Sprecher (1994), S. 19ff, Weglarz u. a. (2011), S. 195.

¹⁰ Vgl. Böttcher u. a. (1999), S. 543ff.

¹¹ Vgl. Elloumi und Fortemps (2010), S. 32.

chungen zeigen, dass mit vertretbarem Aufwand Probleme mit einer Größe von bis zu 20 Vorgängen optimal gelöst werden können. Für größere, praxisnahe Probleme existiert jedoch kein Algorithmus, der das Auffinden einer optimalen Lösung mit vertretbarem Aufwand gewährleistet.¹²

3.2 *Relevante Ansätze der Personaleinsatzplanung*

Die Personaleinsatzplanung kann allgemein als Zuordnung von Arbeitskräften zu Allokationsobjekten beschrieben werden. Arbeitskräfte können Einzelpersonen oder Gruppen bzw. Kategorien von Arbeitskräften sein. Demnach wird entweder von individueller oder kollektiver Personalplanung gesprochen.¹³ Allokationsobjekte sind z.B. Abteilungen, Stellen, Dienstzeiten oder einzelne Tätigkeiten. Ziel der Personaleinsatzplanung ist es, einen bestehenden Personalbedarf durch den entsprechenden Personaleinsatz zu decken. Dabei muss sowohl die quantitative als auch die qualitative Dimension der Personaleinsatzplanung beachtet werden. Während die quantitative Dimension die Anzahl der zur Deckung des Personalbedarfs eingesetzten Arbeitskräfte anspricht, fordert die qualitative Dimension, dass nur hinreichend qualifiziertes Personal eingesetzt wird.¹⁴ In den wenigsten Fällen ist es möglich, eine exakte Personalbedarfsdeckung zu erreichen. Daher wird häufig auf die Zielsetzung, die Personalbedarfsüberdeckung und -unterdeckung zu minimieren, ausgewichen. Oft wird die Personalbedarfsdeckung aber auch als Satisfizierungsziel modelliert. Eine Deckung des Personalbedarfs ist damit Voraussetzung für eine zulässige Lösung. Optimiert werden dann z.B. die Anzahl der eingesetzten Mitarbeiter, die Anzahl der Einsatzstunden oder die Personalkosten.¹⁵

Für die hier betrachtete Problemstellung kann die Personaleinsatzplanung durch den Begriff der Dienstplanung konkretisiert werden. Sie wird als Personalplanung beschrieben, „die eine Zuordnung von Mitarbeitern zu Tätigkeiten unter Berücksichtigung von Zuordnungsbeschränkungen vornimmt sowie simultan Tätigkeiten unter Beachtung von Terminrestriktionen, Reihenfolgebeziehungen, Wegzeiten und Verfügbarkeiten von Arbeitskräften im Planungszeitraum (bzw. Teilen des Planungszeitraums) terminiert“.¹⁶ Während bei der Personaleinsatzplanung die Zuordnung von Arbeitskräften zu Objekten betrachtet wird, rückt hier der temporale Aspekt zusätzlich in den Vordergrund. Das Aufgabenfeld der Dienstplanung wird in der englischsprachigen Literatur weiter unterteilt in das Days-off Problem, das Shift Scheduling und das Tour Scheduling. Das Days-off Problem betrachtet die Verteilung von arbeitsfreien Tagen und Arbeitstagen innerhalb der Woche, sodass der tägliche Mitarbeiterbedarf gedeckt wird.¹⁷ Der Planungshorizont kann sich über mehrere Wochen erstrecken. Beim Shift

¹² Vgl. Weglarz u. a. (2011), S. 189.

¹³ Vgl. Schroll (2007), S. 1.

¹⁴ Vgl. Spengler (2004), S. 1470ff.

¹⁵ Vgl. Schroll (2007), S. 11.

¹⁶ Salewski (1997), S. 120.

¹⁷ Vgl. Emmons und Burns (1991), Pinedo (2009), S. 318ff.

Scheduling werden die Mitarbeiter in verschiedene Schichten oder Dienste innerhalb eines Tages eingeteilt. Dabei soll der stündliche Personalbedarf gedeckt werden.¹⁸ Das Tour Scheduling kombiniert schließlich das Days-off und Shift Scheduling. Der damit generierte Einsatzplan enthält sowohl die arbeitsfreien Tage einer Woche als auch die Schichteinteilung an den Arbeitstagen.¹⁹

Je nachdem, welche konkrete Problemstellung abgebildet wird und welche Erweiterungen berücksichtigt werden, finden sich zahlreiche Modellformulierungen. Der Großteil geht auf eine grundlegende Problemformulierung von Dantzig (1954) zurück. Es ist zu beachten, dass hier von einer homogenen Belegschaft bzw. nur einer Arbeitskräftekategorie ausgegangen wird. Bei Berücksichtigung aller Aspekte, die in der Dienstplanung betrachtet werden, lassen sich viele Parallelen zur Projektplanung erkennen. Besonders Reihenfolgebeziehungen, Terminrestriktionen oder minimale zeitliche Abstände in Form von Wegzeiten finden sich bei Dienstplanungsproblemen wieder. Aus diesem Grund können Dienstplanungsprobleme auch als ressourcenbeschränkte Projektplanungsprobleme formuliert werden.²⁰

Die meisten Dienstplanungsprobleme gehören zur Klasse NP-schwerer Probleme.²¹ Die Komplexität der Problemstellung wird beeinflusst durch den Planungshorizont, die Anzahl der Arbeitskräfte und ihrer verschiedenen Kategorien. Ernst u.a. (2004) geben einen Überblick über gängige Lösungsverfahren.²²

Das Konzept unterschiedlicher Mitarbeiterqualifikation wird im Rahmen von Multi Skill Project Scheduling Problemen (MSPSP) behandelt. Hierbei werden Projekte betrachtet, die in erster Linie vom Mitarbeiterereinsatz abhängig sind. Andere Ressourcen spielen keine Rolle, weil sie entweder unbegrenzt verfügbar oder leicht und kostengünstig zu beschaffen sind. In der Literatur wird meistens die Softwareentwicklung als Beispiel herangezogen.²³

Bei den obigen Modellansätzen wird der Einsatz personeller Ressourcen jedoch nur vereinfacht dargestellt, da weder Pausen noch die Möglichkeit von Überstunden berücksichtigt werden. Zum anderen ist die Vernachlässigung anderer Ressourcengruppen problematisch. Insgesamt ist zu konstatieren, dass eine auf den Praxisfall anwendbare Modellformulierung für die Maschinenbelegung und den Personaleinsatz, die außerdem alle spezifischen Restriktionen der Humanressourcen berücksichtigt, aus der Literatur bisher nicht bekannt ist.

¹⁸ Vgl. Bechtold und Jacobs (1990), Pinedo (2009), S. 325ff.

¹⁹ Vgl. Brusco und Jacobs (2001), Jarrah u. a. (1994).

²⁰ Vgl. Salewski u. a. (1997), S. 88.

²¹ Vgl. Cai und Li (2000), S. 360, Pinedo (2009), S. 216.

²² Vgl. Ernst u. a. (2004), S. 16ff.

²³ Vgl. Bellenguez-Morineau (2008), S. 85f.

4 Ein integriertes Planungsmodell

An dieser Stelle soll eine Erweiterung des MRCPSp zur simultanen Maschinenbelegungs- und Personaleinsatzplanung für die auftragsorientierte Einzelfertigung unter Berücksichtigung von Schichteinteilungen vorgestellt werden. Zunächst werden Grundannahmen und Symbole erläutert.

Grundsätzlich müssen die Besonderheiten der personellen und maschinellen Ressourcenarten berücksichtigt werden. Dabei beschreibt der Index r eine bestimmte Ressource aus einer der beiden Mengen der Humanressourcen R^H bzw. der maschinellen Ressourcen R^M . Der gesamte Planungshorizont T (etwa mehrere Tage oder Wochen) wird in einzelne Teilperioden t (Minuten bis Stunden) unterteilt. Wie in der Praxis üblich, werden die Mitarbeiter dabei anhand von Schichten eingeplant, wobei eine Schicht s eine bestimmte Anzahl an Teilperioden umfasst. Abbildung 1 verdeutlicht dieses Vorgehen, in welchem angelehnt an den Praxisfall jede der 3 achtstündigen Schichten eines Tages in 32 Perioden à 15 Minuten unterteilt wird.

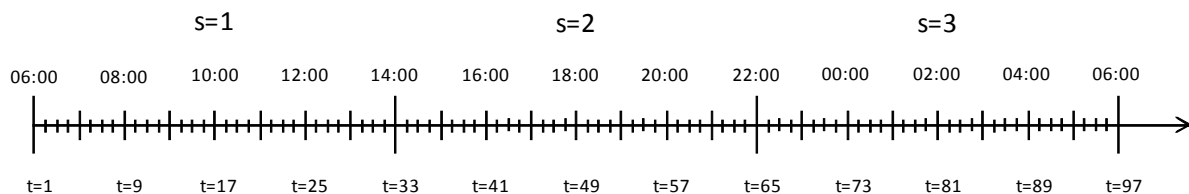


Abbildung 1: Unterteilung des Planungshorizonts in Schichten und Teilperioden

Der Arbeitsbeginn jedes Mitarbeiters erfolgt zu Beginn einer Schicht, deren Beginn nachfolgend mit ST_s bezeichnet wird. Da in der obigen Abbildung die zweite Schicht in Periode 33 beginnt, wäre ST_2 beispielsweise gleich 33. Obwohl der Planer festsetzt, dass ein Mitarbeiter seine Arbeit zum Schichtbeginn aufnehmen soll, verlangt er allerdings größtmögliche Flexibilität bei der Festlegung des entsprechenden Arbeitsendes. Diese Forderung wird mithilfe sogenannter Schichtmodelle realisiert. Jedes Schichtmodell ω (mit $\omega \in \Omega$) enthält dabei folgende Informationen: die Anwesenheitsdauer des Mitarbeiters A_ω sowie die gesetzlich vorgeschriebene Pausenzeit, aus der sich die maximale nutzbare Arbeitszeit eines Mitarbeiters in diesem Schichtmodell $Z_\omega^{\max}$ ergibt. Des Weiteren benötigt der Planer die entstehenden Personalkosten c_{rso} , die abhängig vom Mitarbeiter r und der entsprechenden Schicht s sind (z.B. durch einen Nachtarbeitszuschlag in der dritten Schicht). Beispielsweise könnte ein Schichtmodell eine Anwesenheitszeit von 10 Stunden (40 Perioden) verlangen, wobei dem Mitarbeiter 45 Minuten Pausenzeit zusteht (3 Perioden). Würde die Planung einen Mitarbeiter nach diesem Schichtmodell in $s=1$ einplanen, stünde seine Arbeitskraft also in 37 Perioden zwischen 6 und 16 Uhr zur Verfügung. Dabei ist es durchaus möglich und erwünscht, dass sich Schichten überlappen und ein Mitarbeiter in einer Schicht beginnt, aber auch noch zu Beginn der nachfolgenden Schicht verfügbar ist. Dies muss allerdings durch entsprechende Überstundenkosten im Personalkostensatz c_{rso} berücksichtigt werden. Aufgrund arbeitsrechtlicher Regelungen darf die Gesamtarbeitszeit eines Mitarbeiters im Planungshorizont die festgelegte Höchstgrenze $W_r^{\max}$ nicht überschrei-

ten. Darüber wird z.B. gewährleistet, dass Überstunden mittelfristig ausgeglichen werden. Genauso ist es möglich, eine Mindestarbeitszeit $W_r^{\min}$ für jeden Mitarbeiter zu fixieren.

Die verfügbaren Ressourcen sollen mithilfe des hier beschriebenen Simultanplanungsansatzes möglichst effizient zur Erfüllung der Kundenaufträge eingesetzt werden. Jeder ankommende Kundenauftrag wird dabei zunächst wie bei der Projektplanung in verschiedene Vorgänge unterteilt, die nacheinander abgearbeitet werden. Die einzelnen Vorgänge erhalten in diesem Modellrahmen den Index j (mit $j=0, \dots, J$), der fortlaufend alle Vorgänge über alle Kundenaufträge nummeriert. Dabei entspricht der Vorgang $j=0$ einer Dummyquelle für alle nachfolgenden Vorgänge. Durch die fortlaufende Nummerierung ist es allerdings nicht mehr möglich zu erkennen, ob ein Vorgang einen Kundenauftrag abschließt. Aus diesem Grund wird ein binärer Parameter β_j eingeführt, der nur dann eins ist, wenn j der letzte Vorgang eines Auftrags ist. Da nur die letzten Vorgänge der Aufträge aus Kundensicht relevant sind, wird auch nur für diese jeweils ein Fertigstellungs- bzw. Liefertermin D_j definiert.

Zwischen zwei aufeinanderfolgenden Vorgängen i und j kann es zu ablaufbedingten Mindestwartezeiten kommen, die durch $q_{ij}^{\min}$ dargestellt werden. Dabei beschreibt der Index i stets einen direkten Vorgänger des Vorgangs j , wobei diese Informationen auch in den Vorgängermengen P_j zusammengefasst sind. Das Modell verzichtet auf eine Definition von zeitlichen Maximalabständen, da sie für die Abbildung des Praxisfalls nicht relevant sind.

Zur korrekten Berücksichtigung der Mitarbeiterqualifikation verknüpfen Ausführungsmodi die Produktionsfaktoren Mitarbeiter und Maschine.²⁴ Dabei wird vorgangsbezogen für jede zulässige Zuordnung von Mitarbeitern und Maschinen ein eigener Modus mit dem Index $m=1, \dots, M_j$ definiert. Die Bearbeitungszeit jedes Vorgangs hängt vom gewählten Modus ab und wird nachfolgend mit p_{jm} bezeichnet. Zudem nimmt jeder Vorgang j auch abhängig vom gewählten Modus eine bestimmte Kapazität der Ressource r in Anspruch. Dieser Zusammenhang wird mithilfe des Parameters k_{jmr} wiedergegeben. Zur Abarbeitung eintreffender Kundenaufträge besitzt dabei jede Maschine r in jeder Periode K_{rt} Kapazitätseinheiten.

Zielsetzung der simultanen Maschinenbelegungs- und Personaleinsatzplanung ist es, die ankommenden Kundenaufträge möglichst termingerecht zu bearbeiten. Dazu ist es notwendig, für jeden Bearbeitungsschritt neben dem gewünschten Endtermin auch den Bearbeitungsmodus festzulegen, der die relevanten Informationen bezüglich der einzusetzenden Ressourcen enthält. Die binäre Entscheidungsvariable x_{jmt} repräsentiert diese Entscheidung im folgenden Optimierungsmodell, indem sie festlegt, ob ein Vorgang j mit dem Bearbeitungsmodus m in Periode t fertiggestellt wird. Aufgrund der simultanen Betrachtungsweise konzentriert sich die Entscheidungsfindung aber nicht nur auf die möglichst termingerechte Einplanung der einzelnen Vorgänge, sondern versucht auch, die anfallenden Personalkosten korrekt zu berücksichtigen und möglichst gering zu halten. Zu diesem Zweck werden perioden- und schichtbezogene Entschei-

²⁴ Steinrücke (2007), S. 22.

ungsvariablen zur Einplanung der Mitarbeiter in dem Modell eingeführt. Mithilfe der schichtbezogenen Binärvariable $a_{r\omega}$ wird beschrieben, ob ein Mitarbeiter r in Schicht s im Schichtmodell ω eingesetzt wird. Da dem Mitarbeiter aus arbeitsrechtlichen Gründen auch Pausen zustehen, kann er zumeist nicht während der gesamten Schicht produktive Tätigkeiten verrichten. Aus diesem Grund beschreibt die periodenbezogene Binärvariable z_{rt} ob Mitarbeiter r für eine Tätigkeit ($z_{rt}=1$) oder eine Pause ($z_{rt}=0$) in Periode t eingeplant wird. Das Modell kann demnach wie folgt aufgestellt werden:

$$\min \alpha \cdot \left(\frac{L - L^{\text{opt}}}{L^{\text{opt}}} \right) + (1 - \alpha) \cdot \left(\frac{C - C^{\text{opt}}}{C^{\text{opt}}} \right) \quad (1)$$

$$\text{mit } L = \sum_{j=1}^J \beta_j \cdot \left[\sum_{m=1}^{M_j} \sum_{t=D_j+1}^T (t - D_j)^2 \cdot x_{jmt} \right] \quad \text{und } C = \sum_{s=1}^S \sum_{\omega \in \Omega} \sum_{r \in R^H} c_{r\omega} \cdot a_{r\omega}$$

u.d.N.

$$\sum_{m=1}^{M_j} \sum_{t=1}^T x_{jmt} = 1 \quad \forall j = 0, \dots, J \quad (2)$$

$$\sum_{m=1}^{M_j} \sum_{t=1}^T t \cdot x_{jmt} + q_{ij}^{\min} \leq \sum_{m=1}^{M_j} \sum_{t=1}^T (t - p_{jm}) \cdot x_{jmt} \quad \forall j = 1, \dots, J; i \in P_j \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^{M_j} k_{jmr} \sum_{\tau=t}^{\min\{t+p_{jm}-1; T\}} x_{jm\tau} \leq K_{rt} \quad \forall r \in R^M; t = 1, \dots, T \quad (4)$$

$$\sum_{\omega \in \Omega} a_{r\omega} \leq 1 \quad \forall r \in R^H; s = 1, \dots, S \quad (5)$$

$$\sum_{\omega \in \Omega} a_{r,s-2,\omega} + \sum_{\omega \in \Omega} a_{r,s-1,\omega} + \sum_{\omega \in \Omega} a_{r,s,\omega} \leq 1 \quad \forall r \in R^H; s = 1, \dots, S \quad (6)$$

$$\sum_{\tau=s-18}^s \sum_{\omega \in \Omega} a_{r\tau\omega} \leq 5 \quad \forall r \in R^H; s = 1, \dots, S \quad (7)$$

$$\sum_{\omega \in \Omega} a_{r\omega} = 0 \quad \forall r \in R^H; s \in S_{\text{Sun}} \quad (8)$$

$$a_{r\omega} = \bar{a}_{r\omega} \quad \forall r \in R^H; s = -17, \dots, 0; \omega = 1, \dots, \Omega \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^{M_j} k_{jmr} \sum_{\tau=t}^{\min\{t+p_{jm}-1; T\}} x_{jm\tau} = z_{rt} \quad \forall r \in R^H; t = 1, \dots, T \quad (10)$$

$$z_{r,32(s-1)+\tau} \leq \sum_{\omega \in \Omega} b_{\tau+32,\omega} \cdot a_{r,s-1,\omega} + \sum_{\omega \in \Omega} b_{\tau\omega} \cdot a_{r\omega} \quad \forall r \in R^H; s = 1, \dots, S; \tau = 1, \dots, 32 \quad (11)$$

$$\sum_{\tau=t}^{t+25} z_{rt} \leq 24 \quad \forall r \in R^H; t = 1, \dots, T - 25 \quad (12)$$

$$\sum_{t=ST_s}^{\min\{ST_s+A_\omega-1; T\}} z_{rt} \leq Z_\omega^{\max} \quad \forall r \in R^H; s = 1, \dots, S; \omega \in \Omega \quad (13)$$

$$\sum_{t=1}^T z_{rt} \leq W_r^{\max} \quad \text{und} \quad \sum_{t=1}^T z_{rt} \geq W_r^{\min} \quad \forall r \in R^H \quad (14)$$

$$a_{rs\omega} \in \{0, 1\} \quad \forall r \in R^H; s = 1, \dots, S; \omega \in \Omega \quad (15)$$

$$x_{jmt} \in \{0, 1\} \quad \forall j = 0, \dots, J + 1; t = 1, \dots, T; m = 1, \dots, M_j \quad (16)$$

$$z_{rt} \in \{0, 1\} \quad \forall r \in R^H; t = 1, \dots, T \quad (17)$$

Im Rahmen einer multikriteriellen Optimierung lässt sich die Zielfunktion auf verschiedene Weise modellieren.²⁵ Eine Möglichkeit der Modellierung ist, die relative Abweichung der beiden Zielkriterien (Summe der quadrierten Verspätungen L sowie Personalkosten C) von ihrem jeweiligen Optimum (L^{opt} und C^{opt}) zu messen und mit dem Faktor α bzw. $(1-\alpha)$ zu gewichten. Die entsprechenden Optimalwerte L^{opt} und C^{opt} werden dabei in einem vorgelagerten Schritt bestimmt. Im Term L wird die Summe der Quadratverspätungen über alle Aufträge zusammengefasst, wobei längere Verspätungen überproportional berücksichtigt werden. Darin bezeichnet $\sum_{m=1}^{M_j} \sum_{t=D_j+1}^T (t - D_j) \cdot x_{jmt}$ die Verspätung eines Vorgangs j , die sich aus der Differenz zwischen dem Fertigstellungszeitpunkt des jeweiligen Vorgangs und seinem Fälligkeitstermin D_j ergibt. Dadurch, dass die Differenz nur über die Perioden nach dem Fälligkeitstermin aufaddiert wird, werden nur positive Verspätungen berücksichtigt. Eine verfrühte Fertigstellung eines Auftrags spielt dagegen keine Rolle. Da nur die Verspätung des gesamten Kundenauftrags entscheidungsrelevant ist, wird der oben angegebene Verspätungsterm mit dem Faktor β_j multipliziert, der nur für die letzten Vorgänge eines Kundenauftrags gleich eins ist. Analog zur Definition des Verspätungskriteriums lassen sich die Personalkosten definieren, bei denen die Kosten aller Mitarbeiter im Schichteinsatz aufsummiert werden.

Die Nebenbedingungen (2) bis (4) entsprechen den Standardnebenbedingungen des MRCPSPP bei Berücksichtigung von zeitlichen Mindestabständen zwischen den Vorgängen. Gleichung (2) fordert zum Beispiel, dass jeder Vorgang genau einmal in einem Modus eingeplant werden muss. Die Reihenfolgebedingung (3) beinhaltet die Berücksichtigung minimaler zeitlicher Abstände zwischen zwei aufeinanderfolgenden Vorgängen i und j , während Restriktion (4) die Kapazitätsrestriktion der maschinellen Ressourcen wiedergibt. Aufgrund der separaten Betrachtung jeder maschinellen Res-

²⁵ Collette und Siarry (2003).

source werden die kapazitätsbezogenen Daten so aufgearbeitet, dass $k_{jmr} \in \{0;1\}$ und $K_{rt} \in \{0;1\}$ für alle j, m, r und t gilt.

Die nachfolgenden Bedingungen (5) bis (14) betreffen den Mitarbeiterereinsatz und damit die Personalplanung. Grundlegend beschreiben diese Restriktionen eine Erweiterung des Modells von Dantzig (1954), in das zusätzlich komplexe Schichtmuster, eine individuelle Betrachtung des Personals unter Berücksichtigung arbeitsrechtlicher Vorgaben sowie der zeitabhängige Ressourcenbedarf eingefügt werden. Gemäß (5) darf ein Mitarbeiter höchstens in einem Schichtmodell pro Schicht eingeteilt werden. Zudem verlangt Restriktion (6), dass eine Arbeitskraft in drei aufeinander folgenden Schichten maximal einmal eingeplant wird. In dem zuvor beschriebenen Modellkontext bedeutet dies, dass ein Mitarbeiter nicht mehr als eine Schicht pro Tag arbeitet. Restriktion (7) beschreibt, dass eine Person an maximal fünf Tagen in der Woche arbeiten darf. Ebenso wird in der darauffolgenden Nebenbedingung (8) eingeschränkt, dass kein Mitarbeiter in einer Sonntagsschicht S_{sun} eingeteilt werden darf, wodurch am Sonntag auch kein Vorgang bearbeitet werden kann. Mitarbeiterereinsätze vor Beginn des Planungshorizontes $\bar{a}_{\text{rs0}}$ werden mit Hilfe von Restriktion (9) berücksichtigt.

Gleichung (10) definiert die Arbeitsvariable z_{rt} . Eine Person arbeitet immer dann, wenn sich ein Vorgang j in der Bearbeitung befindet, dessen Modus den Einsatz der betreffenden Person vorsieht. Restriktion (11) sagt aus, dass ein Mitarbeiter in einer Periode t nur arbeiten kann, wenn er aufgrund der Schichtplanung auch anwesend ist. Der Parameter $b_{t\omega}$ nimmt den Wert eins an, wenn Periode t eine Anwesenheitsperiode nach Schichtmodell ω ist. Ist der Mitarbeiter in dieses Schichtmodell eingeteilt, steht seine Kapazität in der entsprechenden Periode zur Verfügung. Generell kann eine Arbeitskraft aus zwei Gründen in Schicht s anwesend sein. Zum einen könnte der Mitarbeiter in Schicht s eingeteilt sein. Zum anderen könnte die Arbeitskraft aber auch in der vorhergehenden Schicht $s-1$ in ein Schichtmodell eingeplant worden sein, das Überstunden vorsieht, die zu Beginn von s abgearbeitet werden können.

Bedingung (12) fordert, dass eine Arbeitskraft innerhalb von 26 Perioden maximal 24 Perioden arbeitet. Mit dieser Restriktion wird §4 Satz 3 des ArbZG eingehalten, der besagt, dass eine Person höchstens sechs Stunden am Stück arbeiten darf und dann mindestens eine halbe Stunde Pause folgen muss. Ungleichung (13) verlangt, dass die maximale Arbeitszeit innerhalb eines Schichtmodells Z_{ω}^{max} nicht überschritten werden darf. Dazu wird die Arbeitsvariable z_{rt} vom Anfang der Schicht ST_s über die Gesamtanwesenheitszeit des Schichtmodells A_{ω} aufsummiert. Wird die Definition der Arbeitszeitvariablen z_{rt} aus Gleichung (10) in (13) eingesetzt, ist zu erkennen, dass für das Personal das Prinzip der partiell erneuerbaren Ressourcen greift. Die Kapazität der Mitarbeiter ist innerhalb einer Teilmenge an Perioden, welche hier über das Schichtmodell und die Pausenzeiten definiert wird, begrenzt.

Die Nebenbedingung (14) beschreibt schließlich, dass die minimalen und maximalen Arbeitszeiten W_r^{min} und W_r^{max} , die sich aus einer zuvor durchgeführten mittelfristigen Personalplanung ergeben, für jeden Mitarbeiter eingehalten werden. (15) bis (17) geben abschließend die Binärbedingungen wieder.

Mithilfe dieses Optimierungsproblems gelingt es, die Maschinenbelegungs- und Personaleinsatzplanung simultan mit einem Standardsolver zu optimieren. Dabei muss allerdings erwähnt werden, dass je nach gewünschtem Detaillierungsgrad eine sehr große Anzahl an Binärvariablen den Lösungsprozess erschwert. Im folgenden Abschnitt soll für ein kleines Beispiel gezeigt werden, welche Verbesserung der Optimierungsansatz zur simultanen Maschinenbelegungs- und Personaleinsatzplanung gegenüber einer sequentiellen Planung generieren kann.

5 Numerisches Beispiel

Um zu zeigen, wie sich die Ergebnisse der simultanen Planung von denen einer sukzessiven Vorgehensweise unterscheiden, soll an dieser Stelle ein numerisches Beispiel gelöst werden. Da kein Beispiel in praxisrelevanter Größenordnung in angemessener Rechenzeit gelöst werden kann, beschränkt sich dieser Abschnitt auf ein kleines, in Abstimmung mit dem Praxispartner konstruiertes Beispiel mit den folgenden Daten.

Innerhalb von 3 Tagen (mit 9 Schichten à 32 Perioden) sollen 5 Aufträge mit vorgegebenem Liefertermin bearbeitet werden, die jeweils zwei bis drei Vorgänge umfassen. Es sind insgesamt 13 Vorgänge zu planen. Zur Bearbeitung stehen drei Maschinen zur Verfügung, wobei zwei identische Maschinen vom Maschinentyp A (A/1 und A/2) sowie eine Maschine vom Maschinentyp B vorhanden sind. An jeder Maschine vom Typ A können bis zu zwei Arbeitskräfte gleichzeitig eingesetzt werden, wodurch sich die Bearbeitungszeit verringert. An Maschinentyp B kann hingegen immer nur eine Person arbeiten. Der Mitarbeiterpool besteht aus drei Arbeitskräften, die in den jeweiligen Schichten eingesetzt werden können. Die anfallenden Personalkosten variieren dabei zwischen den Mitarbeitern, die einen unterschiedlichen Stundenlohn erhalten, und den Schichten (früh/spät/nachts). Je nach Qualifikation kann ein Mitarbeiter jeweils einen oder beide Maschinentypen bedienen. Aus der Qualifikation und der Anzahl der an den Maschinen einsetzbaren Arbeitskräfte ergeben je Vorgang maximal sechs Ausführungsmodi. Details zu den verwendeten Beispieldaten der Mitarbeiter und Kundenaufträge können Anhang B entnommen werden.

Mithilfe des im vorigen Abschnitt vorgestellten Optimierungsmodells können die Maschinenbelegungs- und Personaleinsatzplanung optimal aufeinander abgestimmt werden. Mit der Festlegung des Parameters α fließen die Präferenzen des Entscheiders in das Entscheidungskalkül ein. Durch unterschiedliche α -Werte erhält man demzufolge verschiedene Lösungen, die zusammen den effizienten Rand der Lösungsmenge bilden. In Abbildung 2 sind die effizienten Lösungspunkte des Beispiels dargestellt. Darin abgetragen ist die Summe der Verspätungen gegenüber den Personalkosten, wobei vier effiziente Punkte ermittelt werden konnten. Die Koordinaten der Punkte sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Um zu den abgebildeten Ergebnissen zu gelangen, wurde das Problem in ILOG OPL Studio 6.3 implementiert und auf einem PC mit zwei Intel Xeon Prozessoren E5420 (je 4 x 2,5 GHz) mit verschiedenen α -Werten gelöst. Die Rechenzeit variierte in Abhängigkeit von dem gewählten α zwischen 4:33 Minuten

und 35:10 Minuten, wobei eine Regelmäßigkeit bzw. ein Zusammenhang zwischen dem α -Wert und der Rechenzeit nicht zu erkennen war.

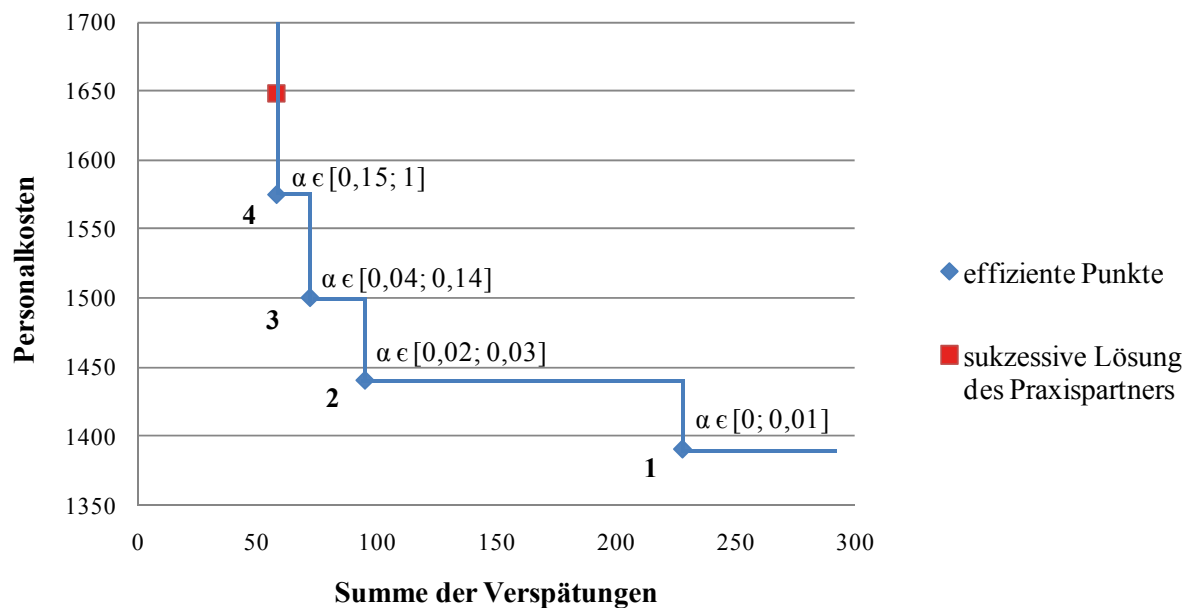


Abbildung 2: Effiziente Punkte des numerischen Beispiels

Aufgrund der geringen Anzahl effizienter Punkte stellt sich der effiziente Rand der Lösungsmenge entsprechend Abbildung 2 als Treppenfunktion dar. Für jeden Punkt ist das Intervall der relevanten α -Werte angegeben.

Lösung	1	2	3	4
α -Intervall	$[0; 0,01]$	$[0,02; 0,03]$	$[0,04; 0,14]$	$[0,15; 1]$
Summe der Verspätungen (in Perioden)	228	95	72	58
Personalkosten	1.390,2	1.440	1.499,8	1.574,4

Tabelle 1: Effiziente Lösungen für das Beispiel als Ergebnis des Simultanplanungsansatzes

Die äußeren Punkte mit $\alpha = 0$ und $\alpha = 1$ sind Extremlösungen. Alle Punkte dazwischen können als Kompromisslösungen bezeichnet werden, bei denen vom Optimum des einen Zielkriteriums zugunsten einer Verbesserung des anderen Zielkriteriums abgewichen wird. Wählt der Entscheider ein α von 0,1, hieße das, dass für den Planer eine prozentuale Abweichung der Personalkosten von ihrem Optimum neunmal schwerwiegender ist als die gleiche prozentuale Abweichung des Verspätungskriteriums von seinem Optimum. In Tabelle 2 und Tabelle 3 sind alle relevanten Daten der simultan ermittelten Lösung mit $\alpha=0,1$ zusammengefasst.

Festzuhalten ist, dass bei der Optimierung des binären linearen Programms stets zulässige Pläne erstellt werden. Die Arbeitseinsätze sind dabei relativ gleichmäßig auf die Mitarbeiter verteilt, wobei die Länge eines Arbeitstages über den Planungszeitraum recht stark variieren kann. Gelegentlich ergeben sich ablaufbedingte Wartezeiten für die Mitarbeiter. Liegt der Fokus der Optimierung auf den Personalkosten, werden kos-

tengünstigere Arbeitskräfte verhältnismäßig häufiger eingesetzt als Arbeitskräfte mit gleicher Qualifikation und höherem Stundenlohn. Inwiefern diese Beobachtungen allgemein gültig sind, müsste in einer umfassenden, numerischen Studie mit weiteren Zahlenbeispielen getestet werden.

Auftrag	1			2			3		4		5		
Vorgang j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Modus	2(A)	2(B)	3(A)	2(B)	3(A)	2(B)	2(B)	3(A)	2(B)	2(A)	2(A)	1(B)	1(A)
Periode der Fertigstellung	20	36	56	16	212	240	130	235	112	212	44	76	116

Tabelle 2: Modi und Fertigstellungstermine der einzelnen Vorgänge (x_{jmt})

	s=1	s=2	s=3	s=4	s=5	s=6	s=7	s=8
Mitarbeiter 1	9	/	/	3	/	/	3	/
Mitarbeiter 2	/	9	/	/	/	/	9	/
Mitarbeiter 3	7	/	/	7	/	/	/	3

Tabelle 3: Ermitteltes Schichtmodell für jeden Mitarbeiter in allen Schichten (a_{rso})

In Abbildung 2 ist neben den effizienten Punkten aus der simultanen Optimierung auch eine Lösung des Praxispartners abgetragen. Diese Lösung wurde ermittelt, indem die Planungsmethodik des verantwortlichen Planers auf das vorliegende Beispiel angewendet wurde. Die Methodik besteht darin, zunächst die Maschinenbelegungsplanung mit dem Ziel der Minimierung der Summe der quadrierten Verspätungen, jedoch losgelöst von allen anderen Informationen, durchzuführen. Die Ergebnisse der Maschinenbelegungsplanung fließen dann in die Personaleinsatzplanung ein, wobei eine Vielzahl manueller Korrekturen vorgenommen werden muss, um ein zulässiges Ergebnis zu erhalten. Es ist zu erkennen, dass mit diesem sukzessiven Vorgehen keine effiziente Lösung erreicht wird.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegende Arbeit versteht sich als Grundlagenarbeit zur operativen Produktionslogistik bei der auftragsorientierten Fertigung von Einzelstücken in einer maschinellen Werkstattfertigung. Dazu wurde das simultane Maschinenbelegungs- und Personaleinsatzplanungsproblem betrachtet. Durch die Formulierung eines binären, linearen Optimierungsproblems konnte zum besseren Verständnis der Struktur des Planungsproblems beigetragen werden.

Die durchgeführte Beispielrechnung lieferte folgende Erkenntnisse, von denen aufgrund der Problemstruktur anzunehmen ist, dass sie auch allgemein gültig sind: Kann

das simultane Modell optimal gelöst werden, liefert es effiziente und damit bessere Ergebnisse bezüglich der vorab festgelegten Zielkriterien als die sukzessive Planung der Maschinenbelegung und des Personaleinsatzes. Es besteht somit Potenzial zur Verbesserung der operativen Produktionslogistik. Manuelle Eingriffe, die bei der sukzessiven Planung nötig werden können, um aus unzulässigen zulässige Maschinenbelegungs- und Personaleinsatzpläne zu generieren, können dabei vollständig vermieden werden. Zudem lassen sich vorgegebene Pläne mithilfe des Modells auf Zulässigkeit prüfen und bewerten.

Aufgrund der hohen Komplexität der Teilprobleme ist davon auszugehen, dass bei Anwendung des Simultanplanungsansatzes Probleme praktischer Größenordnung sehr schwer optimal zu lösen sind. Dieser Problematik wird daher in einer weiteren Phase des Praxisprojektes durch die Entwicklung und Erprobung von heuristischen Lösungsmethoden Rechnung getragen.

7 Anhang A: Arbeitsrechtliche und tarifvertragliche Bestimmungen

Im Folgenden sind wichtige Regelungen des Arbeitszeitgesetzes (ArbZG) und des Manteltarifvertrags für die gewerblichen Arbeitnehmer der Druckindustrie²⁶ zusammengetragen, die die Lage und Dauer von Arbeits- und Pausenzeiten beschränken und daher in der Dienstplanung der Druckerei Berücksichtigung finden müssen:

- Die werktägliche Arbeitszeit der Arbeitnehmer darf acht Stunden nicht überschreiten. Sie kann auf bis zu zehn Stunden verlängert werden. Dann muss innerhalb von sechs Monaten ein Ausgleich gewährt werden, sodass acht Stunden werktäglich nicht überschritten werden (§ 3 ArbZG).
- Die werktägliche Arbeitszeit der Nachtarbeitnehmer darf acht Stunden nicht überschreiten. Sie kann auf bis zu zehn Stunden verlängert werden. Dann muss innerhalb eines Kalendermonats ein Ausgleich gewährt werden, sodass acht Stunden werktäglich nicht überschritten werden (§ 6 (2) ArbZG).
- Arbeitnehmer dürfen nicht länger als sechs Stunden hintereinander ohne Ruhepause beschäftigt werden (§ 4 S. 3 ArbZG).
- Bei einer Arbeitszeit von mehr als sechs bis zu neun Stunden ist die Arbeit durch Ruhepausen von mindestens 30 Minuten zu unterbrechen (§ 4 S.1, 1. Halbsatz ArbZG).
- Bei einer Arbeitszeit von mehr als neun Stunden insgesamt ist die Arbeitszeit durch Ruhepausen von mindestens 45 Minuten zu unterbrechen (§ 4 S.1, 2. Halbsatz ArbZG).
- Die Ruhepausen können in Zeitabschnitte von jeweils mindestens 15 Minuten aufgeteilt werden (§ 4 S. 2 ArbZG).
- Arbeitnehmer dürfen an Sonn- und Feiertagen nicht beschäftigt werden (§ 9 (1) ArbZG)

²⁶ Vgl. Ver.di Bundesvorstand, Hrsg. (2005).

- Die regelmäßige tägliche Arbeitszeit laut Tarifvertrag beträgt sieben Stunden: 35 Stunden ist die regelmäßige wöchentliche Arbeitszeit (§ 3 I. (1) Tarifvertrag). Die wöchentliche Arbeitszeit eines Arbeitnehmers ist jeweils auf fünf Tage, in der Regel Montag bis Freitag zu verteilen (§ 3 II. (1) Tarifvertrag).
- Nach zwei hintereinander folgenden Überstunden ist jedem Arbeitnehmer eine bezahlte Pause von 15 Minuten und bei mehr als drei Überstunden eine bezahlte Pause von 30 Minuten zu gewähren (§ 5 (6) S.1 Tarifvertrag).
- Pro Kalenderjahr dürfen bis zu 13 Samstagsschichten vorgesehen werden (§ 3 II. (3) Tarifvertrag). Dann müssen zwei arbeitsfreie Tage zusammenhängend geplant werden. Bei Vorliegen betrieblicher Erfordernisse können diese auch einzeln gewährt werden (§ 3 II. (5) Tarifvertrag).

8 Anhang B: Daten des numerischen Beispiels

Nachfolgend werden die relevanten Daten des numerischen Beispiels präsentiert. Dabei fasst Tabelle 4 die Daten der Schichtmodelle zusammen. Dazu gehört neben der Verfügbarkeit der Mitarbeiter auch deren maximale Arbeitszeit in einem bestimmten Schichtmodell. Die tatsächlich anfallenden Personalkosten für die entsprechenden Mitarbeiter ergeben sich aus dem Produkt des Stundenlohns und des in Tabelle 4 dargestellten Kostenfaktors. In diesem Fallbeispiel bekommt Mitarbeiter 1 einen Stundenlohn von 21€. Die Mitarbeiter 2 und 3 erhalten 20€ bzw. 17€ pro Stunde. Je nach Schichtmodell und Tageszeit der Schicht variiert der sogenannte Kostenfaktor, der die tatsächlich entlohnte Arbeitszeit (inkl. aller Sozialabgaben und Lohnnebenkosten, sowie Nachtarbeitszuschläge und bezahlter Pausen) widerspiegelt.

Schichtmodell ω	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Verfügbarkeit A_ω (in Perioden)	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52
Max. Arbeitszeit $L_\omega^{\max}$ (in Perioden)	12	16	20	24	26	30	34	37	40	40	40
Kostenfaktor Frühschicht	3,6	4,8	6,0	7,2	7,8	9,0	10,2	11,4	12,6	13,8	15,0
Kostenfaktor Spätschicht	3,6	4,8	6,3	7,8	8,7	10,1	11,6	13,0	15,1	16,5	18,2
Kostenfaktor Nachtschicht	4,6	6,4	8,1	9,9	11,1	12,9	14,1	15,3	16,5	17,7	18,9

Tabelle 4: Daten der Schichtmodelle

Tabelle 5 beinhaltet die benötigten Maschinen zu den einzelnen Vorgängen und die gewünschten Liefertermine. Des Weiteren finden sich in Tabelle 6 alle benötigten Informationen zu den Ausführungsmodi, welche die Ressourcen Mitarbeiter und Maschine miteinander verknüpfen.

Auftrag	1			2			3		4		5		
Vorgang j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Maschinentyp	A	B	A	B	A	B	B	A	B	A	A	B	A
Fälligkeitstermin (in Perioden)	50			244			260		256		50		

Tabelle 5: Aufträge und dazugehörige Vorgänge

Modus m	1	2	3	4	5	6	1	2
Mitarbeiter	1	1	2	2	1 & 2	1 & 2	2	3
Maschine	A/1	A/2	A/1	A/2	A/1	A/2	B	B
Vorgangszeit p_{jm}	20	20	20	20	12	12	16	16
Zulässig für Vorgänge j	1, 3, 5, 8, 10, 11, 13						2, 4, 6, 7, 9, 12	

Tabelle 6: Modi mit den jeweiligen Mitarbeitern

9 Literaturverzeichnis

- Apenberg und Partner (2010) Pressemitteilung vom 30.3.2010. Internetdokument, URL:
<http://www.apenberg.de/c3view.php?sid=ZGs8VDe887bggH8b8gDesgcbHHwb1wgAJ8eeb1g8&c3p=87&c3l=de>
 Zuletzt besucht am 17.5.2011.
- Arbeitszeitgesetz (ArbZG) vom 6. Juni 1994 (BGBl. I S. 1170, 1171), zuletzt geändert durch Artikel 7 des Gesetzes vom 15. Juli 2009 (BGBl. I S. 1939).
- Bechtold, S. E., Jacobs, L. W. (1990) Implicit modeling of flexible break assignments in optimal shift scheduling. *Management Science* 36 (11), S. 1339–1351.
- Bellenguez-Morineau, O. (2008) Methods to solve multi-skill project scheduling problem. *4OR: A Quarterly Journal of Operations Research* 6 (1), S. 85–88.
- Böttcher, J., Drexl, A., Kolisch, R., Salewski, F. (1999) Project scheduling under partially renewable resource constraints. *Management Science* 45 (4), S. 543–559.
- Brucker, P., Drexl, A., Möhring, R., Neumann, K., Pesch, E. (1999) Resource-constrained project scheduling: Notation, classification, models, and methods. *European Journal of Operational Research* 112 (1), S. 3–41.
- Brusco, M. J., Jacobs, L. W. (2001) Starting-time decisions in labor tour scheduling: An experimental analysis and case study. *European Journal of Operational Research* 131 (3), S. 459–475.
- Cai, X., Li, K. N. (2000) A genetic algorithm for scheduling staff of mixed skills under multi-criteria. *European Journal of Operational Research* 125 (2), S. 359–369.
- Collette, Y., Siarry, P. (2003) *Multiobjective optimization: principles and case studies*. Springer, Berlin.
- Dantzig, G. B. (1954) A Comment on Edie's "Traffic Delays at Toll Booths". *Journal of the Operations Research Society of America* 2 (3), S. 339–341.

- Domschke, W., Scholl, A., Voß, S. (1997) Produktionsplanung. Ablauforganisatorische Aspekte. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage, Springer, Berlin.
- Drexl, A., Kimms, A. (2001) Optimization Guided Lower and Upper Bounds for the Resource Investment Problem. *The Journal of the Operational Research Society* 52 (3), S. 340–351.
- Elloumi, S., Fortemps, P. (2010) A hybrid rank-based evolutionary algorithm applied to multi-mode resource-constrained project scheduling problem. *European Journal of Operational Research* 205 (1), S. 31–41.
- Emmons, H., Burns, R. N. (1991) Off-Day Scheduling with Hierarchical Worker Categories. *Operations Research* 39 (3), S. 484.
- Ernst, A. T., Jiang, H., Krishnamoorthy, M., Sier, D. (2004) Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models. *European Journal of Operational Research* 153 (1), S. 3–27.
- Günther, H.-O., Tempelmeier, H. (2009) Produktion und Logistik. 8., überarb. und erw. Aufl., Springer, Berlin.
- Hartmann, S., Briskorn, D. (2010) A survey of variants and extensions of the resource-constrained project scheduling problem. *European Journal of Operational Research* 207 (1), S. 1–14.
- Heilmann, R. (2000) Ressourcenbeschränkte Projektplanung im Mehr-Modus-Fall. Dissertation Universität Karlsruhe, 1999, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden.
- Jarrah, A. I. Z., Bard, J. F., deSilva, A. H. (1994) Solving Large-Scale Tour Scheduling Problems. *Management Science* 40 (9), S. 1124–1144.
- Neumann, K., Zimmermann, J. (1999) Resource levelling for projects with schedule-dependent time windows. *European Journal of Operational Research* 117 (3), S. 591–605.
- Pinedo, M. (2009) Planning and Scheduling in Manufacturing and Services. 2. Auflage, Springer New York.
- Salewski, F. (1997) Klassifikation von Dienstplanungsproblemen. in: Kossbiel, H., Hrsg., Modellgestützte Personalentscheidungen. Hampp, München.
- Salewski, F., Schirmer, A., Drexl, A. (1997) Project scheduling under resource and mode identity constraints: Model, complexity, methods, and application. *European Journal of Operational Research* 102 (1), S. 88–110.
- Schroll, A. (2007) Bedarfs- und mitarbeitergerechte Dienstplanung mit Fuzzy-Control. Dissertation, Universität Magdeburg, 2006, Sierke, Göttingen.
- Spengler, T. (2004) Personaleinsatzplanung. in: Gaugler, E., Hrsg., Handwörterbuch des Personalwesens. Schäffer-Poeschel, Stuttgart, S. 1469–1479.
- Sprecher, A. (1994) Resource constrained project scheduling. Exact methods for the multi-mode case. Springer, Berlin.
- Steinrücke, M. (2007) Termin-, Kapazitäts- und Materialflussplanung bei auftragsorientierter Werkstattfertigung. Habilitationsschrift, Universität Hagen, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden.
- Talbot, F. B. (1982) Resource-Constrained Project Scheduling with Time-Resource Tradeoffs: The Nonpreemptive Case. *Management Science* 28 (10), S. 1197–1210.
- Ver.di Bundesvorstand, Hrsg. (2005) Manteltarifvertrag für die gewerblichen Arbeitnehmer der Druckindustrie im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland. URL: http://www.verdi.de/medien-kunst-industrie.hamburg/tarifpolitik_im_norden/tarifvertraege/druckindustrie/data/mtvdruck.pdf
Zuletzt besucht am 17.5.2011.
- Weglarz, J., Józefowska, J., Mika, M., Waligóra, G. (2011) Project scheduling with finite or infinite number of activity processing modes - A survey. *European Journal of Operational Research* 208 (3), S. 177–205.

A vehicle status approach to rail car fleet sizing with heterogeneous assets

Felix Zesch

4flow AG,
Hallerstr. 1, 10587 Berlin,
f.zesch@4flow.de

Abstract/Zusammenfassung

A fleet-sizing problem with heterogeneous assets faced by a European cargo rail company has motivated this paper. The company operates several thousands of rail cars, each having a price tag in the high five-figure range. Because of the related investment, fleet planning is a critical task. This paper presents an alternative approach to the traditional fleet allocation and queuing models. The approach is based on vehicle statuses rather than on the complex representation of the underlying network or assumptions about distributions. It requires much less data, which are furthermore already easily available in the IT systems of several European rail companies. A two-step solution approach is developed relying on linear regression and linear optimization. It uses the demand side information from the forecasting process effectively, includes an empirically founded representation of all fleet operations and a commitment period for rental rail cars. The approach can be implemented in spreadsheet planning software. Planners and managers alike found the results intuitively right, understood and trusted the approach.

1 Introduction

A highly relevant question for logistics service providers is the size and composition of the fleet they provide to serve their customers. The procurement of an average bulk cargo rail car induces cost in the high five-figure range. Increasing cost for steel is likely to drive up prices in the future. Both factors, size and composition of a fleet, have a high impact on the capital employed and on other financial performance indicators. They also predetermine the possible level of customer satisfaction. High customer satisfaction in terms of service level and transaction speed comes at a high price.

Several approaches to this problem have been presented so far. Two traditional approaches can be distinguished: fleet allocation models¹ representing the time-space structure of the underlying network and cyclic queuing models² solving the problem through a Markovian approach. Other approaches tackle the problem from a systems theory point of view³ or use vehicle statuses.⁴ The last mentioned is interesting to industry because of its easy computability and comparably low requirements to available data. Yet it lacks some essential features for the usage with heterogeneous fleets and does not fit well with demand forecasting processes in place.

This paper contributes an industry-proven two-step approach for sizing and structuring a fleet consisting of one's own heterogeneous rail cars and rental rail cars with a contractual time period. A special emphasis is put on the link to the forecasting process, which delivers the demand data used during the linear regression in the first step of the process. This assures its aptitude for use in a real-world planning process. The paper will answer two questions:

1. How much rail car capacity is needed to serve a certain demand in a given network?
2. What is the optimal mix of rail car types for the determined fleet size?

The findings of this research help practitioners from the railway industry calculate the number of rail cars they need when the available data about the network does not permit the use of traditional approaches like fleet allocation or cyclic queuing models.

The remainder of this paper is structured as follows: A literature review summarizes approaches presented so far to tackle the aforementioned questions and their deficiencies are discussed. In the following chapter, a two-phase solution approach to rail car fleet sizing is developed. In its first phase, linear regression links transport demand to vehicle capacity. In the second phase, the optimal fleet composition is determined through linear optimization. Next, we discuss the application of the approach in a cargo rail company and empirical results. A conclusion with an outlook to future research closes this paper.

¹ Cf. e.g. Sherali and Tuncbilek (1997), Sayarshad and Ghoseiri (2009)

² Cf. e.g. Du and Hall (1997), Papier and Thonemann (2008)

³ Cf. Bojovic (2002)

⁴ Cf. Wurst (2004)

2 Related work

In this section, we review and discuss existing approaches to the strategic rail car fleet sizing problem.⁵

(Beaujon and Turnquist 1991) distinguished two main categories of approaches to rail car fleet-sizing problems: Fleet allocation models explicitly consider the time-space structure of the underlying network. Cyclic queuing models are based upon differences between incoming and outgoing rail cars. Other approaches which do not fit into this categorization have emerged since.⁶

2.1 Fleet Allocation Models

Fleet allocation models try to represent the spatial structure of the network and the time needed to fulfill transports. Usually, they strive to consider the fleet operations for the calculation of the right fleet size. Due to the combinatorial nature of the problem, it is difficult to obtain an optimal solution with this approach in large real-world instances. Therefore, heuristics are required often. Two often cited contributions are (Sherali and Tuncbilek 1997) and (Sayarshad and Ghoseiri 2009).

(Sherali and Tuncbilek 1997) developed a time-space network representation of practical fleet sizing models for the automotive and railroad industries. It deals with the problem of shipping automobiles via railroad auto racks. Yet, it has a very simple network structure and its simplifying assumptions cause severe limitations in use.

(Sayarshad and Ghoseiri 2009) proposed a simulated annealing approach to obtain a solution in a time-space network with discrete demands and travel times. The approach requires a large amount of data (cf. Tab 1).

Generally, the model of a rail network is very complex and requires a lot of data and assumptions where these data are unavailable. In the literature, some stochastic effects are usually taken into account but essential drivers of rail car productivity such as loading and unloading time are not explicitly modeled and cannot be explored separately. The consideration of stochastic effects tends to lend fleet allocation models computationally intractable for large real-world instances.⁷ The complexity of the np-hard problem requires sophisticated solution techniques whose transfer into industrial practice is difficult.

The consideration of fleet operations often takes place in a prescriptive way with weak empirical links to the actual operations practice of a rail cargo company. The transferability of the result is therefore often limited, since the fleet size was determined on the assumption of optimal operations as understood by the operations planning model. Real operations may differ substantially.

⁵ Cf. Gorman and Harrod (2011)

⁶ Cf. e.g. Wurst (2004) and Bojovic (2002)

⁷ Cf. List et al. (2003)

2.2 *Cyclic Queuing Models*

Cyclic queuing models abstract from the spatial structure of the network and use a queuing approach to model the problem.

(Du and Hall 1997) and (Hall 1999) proposed an approach that abstracts from distances in a network. They model a center terminal and two distribution terminals having either a deficit or a surplus of rail cars. Stations are modeled as warehouses with a (s, Q) policy achieving certain service levels. Transports are stochastic and only full truckloads are allowed. The loading at stations is modeled as a queuing system with Poisson-distributed arrival and exponentially distributed service time. The overall sum of rail cars in this M/M/1 system can subsequently be derived.

(Papier and Thonemann 2008) developed a model for a rental car fleet of a European cargo rail company. With assumptions about the distribution of service times and demands, they obtain a $M^X/G/c/c$ queue from which size and structure of the fleet can be derived analytically. The chosen distribution has a high impact on mathematical properties of the solution. Changes in the structure of the demand could make the approach inapplicable. They consider only an average fix service time for all rail cars in the fleet. Yet in industrial practice, deviations of service time from the mean are very high. Therefore, their model does not seem apt to represent fleet operations with non-uniform service times.

Similar to fleet allocation models, cyclic queuing models do not explicitly model the time in which the client uses rail cars during loading or unloading. Yet, these are major levers of rail car productivity deserving explicit consideration.⁸

Commitment periods for rental rail cars as common in rail cargo practice are not considered. It is assumed, that rental cars can be ordered and returned in every period. Different utilizations of rail cars which can have a considerable impact on the number of required rail cars are not considered.

2.3 *Vehicle Status Models*

(Wurst 2004) has presented a different approach including loading and unloading times. His doctoral thesis in German has remained unnoticed by the international community because no quotation in a peer-reviewed journal has been published so far. He models a homogeneous fleet of rail cars through vehicle statuses without the explicit consideration of spatial information about the network.

The approach is based on the assumption that every rail car at every given moment in time is in one defined status of a state space. He differentiates the following rail car statuses

1. Idle standing: rail car waiting for an order
2. Idle running: for repositioning or subsequent loading
3. Loading at client site

⁸ Cf. Wurst (2004)

4. Load runs
5. Unloading or reloading at client site
6. Inoperative: for damaged rail cars or rail cars under maintenance
7. Abroad: due to the current information system landscape in Europe, this is a meta-status for rail cars having passed the border.

The sum of all status times over a certain period combined with the capacity of a rail car then yields a fleet size necessary to serve the network load in a period. One major advantage of this approach is that it models all fleet operations using readily available data. The model can give insight into the effect of productivity increases in each of the rail car statuses.

In order to forecast the capacity needed in a future period, Wurst uses a structural component model⁹ linking rail car statuses to network load. The structural component model consists of a trend component, a cycle component, a season component and a week component. Each of these components contributes information to the approximation function.

Personal inquiries at rail companies indicate that an IT system able to deliver data on rail car statuses as used in (Wurst 2004) exists at least in Denmark, France, Germany, Italy and Switzerland. The methodology is thus utilizable in these countries and the use of readily available data encourages its industrial application.

The approach is compelling because of its empirical foundation and it has proved successful in industry. It evades the difficulties linked to data availability and computability, which fleet allocation and cyclic queuing models have.

2.4 Other Approaches

(Bojovic 2002) use a system theory approach to determine the optimal number of rail cars to satisfy demand by minimizing the total cost. While their primary focus is on allocation decisions, this also reflects fleet sizing concerns. Their optimization model includes information from the rail network, such as yard capacity and the number of loaded and empty rail cars by time and location. Like traditional approaches, this method does not take into account loading and unloading time and requires a significant amount of data that is hardly to come by in industrial practice. Demand side information is not incorporated in a structured way.

2.5 Deficiencies in existing literature

In this section, we have presented and analyzed important contributions to the literature on rail car fleet sizing. A drawback shared by all but one is the amount or type of data required that is often unavailable in practice. Another drawback is the poor empirical foundation of real fleet operations despite large modeling effort. The vehicle status model proposed by (Wurst 2004) is superior to the others in terms of empirical founda-

⁹ Cf. Harvey (1990)

tion of the fleet operations and data requirements. Thus it appears most apt for practical use. Yet, it cannot be used to optimize a fleet of heterogeneous rail cars nor does it consider the available demand-side information with regard to a forecasting process in place. Other deficiencies lie in the non-consideration of penalty cost for unmet demand and the missing commitment period for rental rail cars. This paper aims to close this gap.

3 A Two Stage Approach

The two-stage approach presented in this paper extends the approach from (Wurst 2004) to heterogeneous fleets. The idea from Wurst to use a time series approach for linking historical transport demand and historical rail car capacity is used and refined in the first step. In the new second step, the capacity determined for given demand levels is distributed among several asset types through a linear optimization model; rental cars with a commitment period and the option not to serve a part of the demand are considered.

3.1 Determining the Fleet Size

In this first step, a relationship between the demand side and the supply side is established through linear regression for each geographic cluster. Different rail cars are aligned to a common unit.

3.1.1 Geographic clusters

First, geographic clusters are determined to improve accuracy. The argumentation for this is twofold:

The first underlying idea is to improve the approximation by taking into account the different traits of certain parts of the network. For example, load runs from a production plant to a harbor are much faster than load runs from a production plant to a customer abroad in cooperation with a foreign rail company. Thus, an increase in demand from customers served through a harbor implies a significantly smaller increase in rail car capacity required than an increase in demand from a continental customer.

The second idea is to enable planners to test demand scenarios. The geographic clusters could and should represent regions for which demand forecasts are made. This leads to a better representation of the partial demands considered in the relationship between network load and rail car capacity needed. Subsequently, different scenarios for the development of different markets can be tested using the model.

3.1.2 Aligning Different Types of Rail Cars

In this paper a fleet of heterogeneous rail cars is considered, each having a different load capacity and cost. The wagons transport the same goods, though, and can be substituted one against another. In order to optimize a heterogeneous fleet, the different rail cars need to be aligned to one common unit describing the capacity. To this pur-

pose and as an analogy to galvanic capacity in physics, the capacity of each wagon is expressed in ton hours (th). Note however, that the ton hour represents a capacity of a wagon and not necessarily the weight in a wagon.

Rail cars are often used for heavy goods, therefore, weight is the limiting factor and employed as a capacity measure. If a logistics provider usually experiences the wagons volume as the limiting factor, the unit cubic meter hours (m^3h) could be used alternatively or even combinations of both.

In the second step of the presented approach, the rail car capacity measured in the introduced unit is retranslated into real wagons.

3.1.3 Linear Regression

A mathematical function linking transport demand to the required rail car capacity can be obtained in numerous ways. We use a linear regression approach with nonlinear components. Yet, it is necessary to explore the data set and filter the data first.

To explore the relationship between demand and capacity empirically, a scatter plot is useful. On the abscissa, the sum of rail car status times used in a certain period in the past is plotted, whereas on the ordinate denotes the network load in tons in a past period (cf. fig. 1). The more data points available and the greater the spread between them, the greater the possibilities for interpolation and the more meaningful the results are.

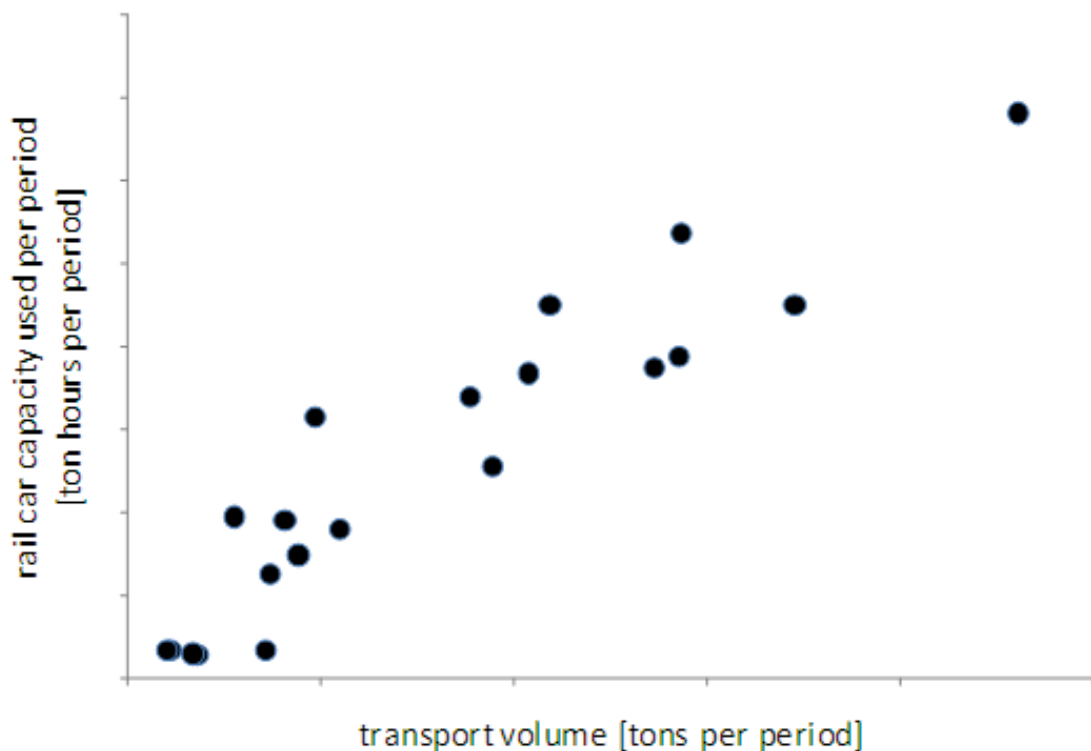


Fig. 1: Scatter plot of an example cluster

In the data set used in this paper, as in usually all real-world data sets, several outliers require special attention. After taking care of them and if necessary, eliminating

them,¹⁰ there will remain a noise resulting in different amounts of capacity used for a certain demand. These differences may be due to operational difficulties, different utilization or other causes. They represent the stochastic nature of rail operations and indicate that there is not one “right” capacity needed for a given demand. The upper edge of the scatter cloud represents the maximum capacity which had been needed so far to serve the demand. It is a managerial decision to which extent the upper edge of the scatter cloud should be cut off to imply and encourage operational effectiveness with a given amount of rail cars. Too many data points being cut off will not allow for serving the demand, whereas a mere approximation of the upper edge might underestimate potential productivity increases through less available wagons.

For a straightforward solution to this problem, an approximation of the upper edge can be considered. This approach is put forward in this paper but it is only one among many possible ones. Other approaches from the field of time-series analysis might perform better. Linear regression is used to demonstrate the general feasibility of the approach.

For an approximation of the upper edge, the data points creating the upper edge need to be identified and all other data points eliminated. Then a linear regression with non-linear components $f_i(d_{xt})$ such as squares or roots of the transport demand d_{xt} can be undertaken. This regression needs to be performed for each geographic cluster x with distinct demand d_{xt} which have been previously defined. This yields a function $\tau_x(d_{xt})$ for each cluster x :

$$\tau_x(d_{xt}) = \beta_0 + \sum_{\forall i} \beta_i f_i(d_{xt}) \quad (1)$$

The regression coefficients β can be determined through the method of least squares.

Then, the aggregate function can be assembled by adding the single demand-capacity functions formerly derived for each market. Eventually, the desired relationship between demand for a transportation network and capacity κ_t required in each period t to transport the network load is established through

$$\kappa_t = \sum_x \tau_x(d_{xt}) \quad (2)$$

Through the link between rail car capacity required and load transported, levers of increasing rail car productivity can be identified through the share of the according rail car statuses.

3.2 Determining the Fleet Composition

The regression from the first step of the process translates demand into capacity needed to serve the demand. Now this capacity needs to be retranslated into rail cars. To do this a linear optimization model seems apt, indicating for each period of time in the future how many wagons are needed depending on an existing demand forecast.

¹⁰ Cf. Barnett and Lewis (1994)

In practice, the task is rarely the procurement of an entirely new fleet but rather the growing or shrinking of a fleet already in use. The motivation to this can be a changed demand or reinvestment needs. Fleets often consist of several types of rail cars all having different ages and cost factors.

Linear Optimization Model

The decision variables are the number of rail cars of each type and the number of rental rail cars. The rail logistics service provider leases rental rail cars against a higher monthly fee for a certain commitment period b comprising several periods t , yet without a long-term cost commitment occurring after the purchase of a rail car. So the objective function determines the amount of own rail cars for the whole horizon considered and the optimal number of rental rail cars in each period.

The first term of the objective function (3) sums up the cost for purchased rail cars. The holding cost C_{Wt} may differ for each period. The second term sums up the cost for rented rail cars, considering their commitment period b . The cost for rental cars may also differ per period to reflect costs due to seasonality. The third term calculates the demand not served by the capacity provided through owned and rental rail cars and induces penalty costs. Demand is deterministic and dynamic for each period. The capacity provided per period may differ according to the length of the period. For example, months have different lengths, so the total transport capacity available during one month differs slightly. This is considered through the variable capacity K_{Wt} of a rail car. Accordingly, K_{Rt} is provided for rental rail cars.

Obviously, in fleet sizing a possible result is that some part of the demand is not served. This is especially valid for demand peaks. Therefore, the model should allow for not serving demand or serving demand in another way than through fix capacity.

Minimum and maximum constraints for each type of rail car can be added to reflect managerial limitations to purchasing or scrapping caused by an existing fleet (5).

Objective Function

$$\begin{aligned} \min_{A_W, B_{Rt}} \sum_{\forall t} \sum_{\forall W} A_W \cdot C_{Wt} + \sum_{\forall t} B_{Rt} \cdot \sum_{l=t}^{l+b} C_{Rl} \\ + \sum_{\forall t} C_{Dt} \cdot \max \left(\sum_{\forall x} \tau_x(d_{xt}) - \left(\sum_{\forall W} A_W \cdot K_{Wt} + \sum_{t-b}^t B_{Rt} \cdot K_{Rt} \right); 0 \right) \end{aligned} \quad (3)$$

Subject to

$$A_W, B_R \in \mathbb{N}_+ \quad (4)$$

$$A_{WL} \leq A_W \leq A_{WU} \quad \forall W \quad (5)$$

Decision Variables

A_W – number of rail cars of type W in the fleet

B_{Rt} – number of rental rail cars in period t

Parameters

b – commitment period for rental rail cars	d_{xt} – demand in cluster x in period t
A_{WL} – lower bound for rail car type W	K_{Rl} – capacity of rental rail car in period l
A_{WU} – upper bound for rail car type W	K_{Wt} – capacity of a rail car of type W in period t
C_{Dt} – penalty cost for unfulfilled demand in period t	t – period of time
C_{Rl} – Cost for a rental rail car in period l	τ_x – approximation function of cluster x for the conversion from transport weight to rail car capacity
C_{Wt} – Cost for a rail car in period t	

With the linear optimization model presented, the structure of the heterogeneous fleet can be determined. Different rail car types with different costs per period and type are considered as well as rental rail cars and the option not to meet some part of the demand. The integer model can be solved easily and quickly using standard solution approaches.

3.3 Empirical Data

In this section, we present the data used to test the approach presented before. Results are reported in the next section.

The approach presented has been tested with industry data from a European rail logistics service provider serving one main customer with a separate fleet with three rail car models and rental rail cars. A common characteristic of the network are few sources with high output and a high number of sinks with different levels of demand. Some of them, such as a harbor from which finished goods are delivered overseas, have a high demand, whereas small customers in rural areas have a rather low demand.

The data stem from two sources. One is the amount of goods transported per period, measured in tons and available per month. The second source is the amount of rail car capacity used measured in ton hours, which is available on a daily basis. As a result monthly data points are used to derive the regression functions $\tau_x(d_{xt})$. Demand and capacity data span from 2008 two years onwards and are clustered in twelve geographic regions. In total, a demand of almost 12 billion tons is considered. The same vehicle statuses as in (Wurst 2004) are employed to describe the capacity required for transportation.

The length of the period is of crucial importance to the results of the process. Generally, the shorter the interval, the more data points available and the more precise the approximation of capacity needed. This is due to peaks occurring in daily demand, which is not uniformly distributed among a week or month. An observation of longer periods such as months, quarters or years could thus lead to wrong interpretations.¹¹ The granu-

¹¹ Cf. Twele (2000)

larity of demand and capacity data obviously needs to be the same to form meaningful data points.

The cost data used stems directly from the controlling department.

4 Results and Discussion

This section reports and discusses the results of an application of the approach to the real-world problem presented in the preceding section. First, we present some insights from the optimization. Then we describe the implications of data availability and data quality during the industrial use in the case company. Finally, we present managerial implications of the approach and discuss its limitations.

4.1 Optimization Results

In optimum, not all demand is served because this would incur too high capacity cost. In the data sample considered, 1.6 % of the demand is not served at all.

This result extends the existing rail car fleet sizing literature. Important papers¹² do not find that it may be economic to meet only a part of the entire demand. Only recently (Sayarshad and Marler 2010) used a multi-objective optimization approach to consider the cost of unmet demand. Their penalty costs are based on managerial decisions while our sample data comprised cost determined in the controlling department and seems more reliable therefore.

Another result from the model is the very rare use of rental rail cars. This is caused by the six-month commitment period for renting a rail car, the demand sample and the underlying cost considerations. A shorter commitment period and more peaks in the demand increases the proportion of rental rail cars used.

4.2 Data Availability drives the approach

The approach presented in this paper needs less data and estimation of coefficients than fleet allocation or cyclic queuing models. The first attempts to use one of these classic approaches in the case company failed due to insufficient data: neither travel and waiting times for distinct locations where available nor distributions of demand or service time, thus making it impossible to model relevant parts of the network. Table 1 indicates the different data requirements of traditional approaches and the approach put forward in this paper.

In cases where the data required for using traditional approaches is not available, the presented approach may be a considerable alternative.

¹² Cf. Papier and Thonemann (2008), Wurst (2004) and Wu, Hartman and Wilson (2005)

Fleet allocation Model	Cyclic Queuing Model	Vehicle Status Model
(Sayarshad and Marler 2010)	(Papier and Thonemann 2008)	This paper
• Ownership cost • Penalty cost • Unit revenue • Demand for loaded packages with origin and destination in each period • Cost of moving a loaded package • Cost of moving an empty package • Cost per period to own or lease a package • Cost of holding a package at origin • Cost of holding a package at destination • Proportion of loaded and empty dispatched packages from origin to destination per period • Capacity of each rail yard • Travel times	• Ownership cost • Penalty cost • Average rental time for a rail car • Geometric distribution of order size • Poisson distribution of demand • Unit revenue • Unit cost	• Ownership cost • Penalty cost • Vehicle statuses for each rail car • Rail car capacity per type • Average demand per period • Commitment period for a rental rail car* • Procurement volume constraints* * optional

Tab 1: Comparison of data requirements for different approaches

4.3 Data quality as additional consideration in the approach

In the case considered, many different demand points existed because of the financial crisis in 2008 and the subsequent drop in transport demand. A two-year history of monthly data from 2008-2009 thus yielded a broad range of transported volume that allowed for estimation of an approximation function.

If only monthly data is available, there is a tendency to underestimate the capacity required because daily and weekly peaks are smoothed.¹³ Therefore, methods to counter-balance the underestimation should be employed. In our case, we use an approximation of the upper edge to obtain more conservative estimates.

¹³ Cf. Crainic and Laporte (1997, p. 431), Twele (2000)

4.4 Suitability for Practice

The entire approach can be modeled using standard spreadsheet software. No sophisticated optimization technique or software is required. This has several advantages. First, no additional investment in software is needed. Second, practitioners understand the approach without having specific expert knowledge. Third, it significantly reduces the amount of training needed to apply the approach. Fourth, the model can be adapted easily to changing needs.

Managers and planners trusted the results of the model because it confirmed their gut level idea of the fleet size necessary to serve a certain demand.

4.5 Managerial Implications

Managers of rail logistics service providers can evaluate the number of rail cars they need to perform their operations given possible changes in demand.

The insight from a vehicle status model can be used to identify effective levers to increase rail car productivity.

Sales managers use prices, costs and fleet sizes to negotiate contract terms with large customers. The approach presented can help them estimate how much capacity is needed to serve a single client with a separate fleet.

Similar to (Wurst 2004), we found that loading and unloading took a significant amount of time to fulfill, thus decreasing rail car productivity. In the data set we used, 58 % of rail car time was used for loading or unloading. This is partially caused by an extraordinary effect of parking unneeded rail cars during the drops in transport demand in 2008, but also afterwards, the share remains high. The focus of the efforts to increase rail car productivity should thus be shifted from transport to loading and unloading. Shared investments in better terminals might be an option worth consideration.

4.6 Limitations and further research

Data Quality

Data quality is crucial for the successful application of this approach as for most other OR approaches in this field. Yet, compared to fleet allocation or cyclic queuing models the vehicle status approach requires less data and fewer assumptions.

In the application of the approach to an industrial problem, the question about the credibility of forecast data became crucial. Management of the case company was very reluctant to apply more sophisticated techniques. They believed that the bigger lever was the improvement of their own data quality and better market forecasts from their clients as input to the process.

Structural Changes on Demand or Supply Side

An underlying assumption of the presented approach is that neither the demand nor the supply side experience significant changes.

For the demand side this means that the structure of the markets remains the same. No new markets are added to the set of approximation functions. If the company enters into a new market, thorough exploration of capacity needs should be undertaken not relying solely on this model.

For the supply side, this means that wagon speed, operational management and maintenance requirements do not change significantly, as this would imply deviations from the vehicle status times used in the first step of the approach.

Consideration of Stochastic Effects

The consideration of stochastic effects on the demand side in our paper is very limited. This is due to the implementation-oriented approach, which required an alignment with the existing forecasting process. The forecasting process in place in the case company does not have stochastic features and uses only adapted monthly point forecasts, which they received from major customers.

5 Conclusion

This paper has presented an alternative approach to sizing and structuring a fleet of heterogeneous rail cars, strategic decisions with a large impact on corporate finance and customer satisfaction. Traditional approaches such as fleet allocation and cyclic queuing models fail to represent essential levers of rail car productivity and require a large amount of data that is seldom readily available in rail cargo companies. In contrast, the approach presented in this paper is based on rail car statuses, which are readily available in the IT systems of many European rail cargo companies. The main traits of the approach are:

- Direct empirical foundation of all fleet operations with primary data from real rail IT systems including loading and unloading
- A commitment period for rental rail cars and the option not to meet demand
- Effective use of demand side information through alignment to the forecasting process
- Simple solution techniques without the need for additional optimization software
- Managers and planners understand the process

Further results of the case study imply that

- It may be not economic to serve the entire demand
- Managers tend to favor improvements of data quality against improvements of solution techniques
- The use of rental cars is hampered by the length of a commitment period
- Loading and unloading have a large potential for increasing rail car productivity.

Future Research

The usage of more sophisticated approaches for linking rail statuses to transport volume is certainly worth exploring as would be the investigation of the stochastic behav-

ior of rail car statuses, which could be used for a more sophisticated modeling approach.

The comparison of the presented and more traditional approaches to the same set of data would be relevant for practitioners to compare modeling effort and results.

6 References

- Barnett, Vic and T. Lewis (1994): Outliers in statistical data. Wiley.
- Beaujon, G. J. and M. A. Turnquist (1991): A model for fleet sizing and vehicle allocation, *Transportation Science*, 25 (1), 19–45.
- Bojovic, N. J. (2002): A general system theory approach to rail freight car fleet sizing, *European Journal of Operational Research*, 136 (1), 136–172.
- Crainic, T. G. and G. Laporte (1997): Planning models for freight transportation, *European Journal of Operational Research*, 97 (3), 409–438.
- Du, Y. and R. Hall (1997): Fleet sizing and empty equipment redistribution for center-terminal transportation networks, *Management Science*, 43 (2), 145–157.
- Gorman, M. F. and S. Harrod (2011): Operations Research Approaches to Asset Management in Freight Rail, Wiley Online Library.
- Hall, R. W. (1999): Stochastic freight flow patterns: implications for fleet optimization, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 33 (6), 449–465.
- Harvey, A. C. (1990): Forecasting, structural time series models and the Kalman filter, Cambridge University Press.
- List, G. F, B. Wood, L. K. Nozick, M. A. Turnquist, D. A. Jones, E. A. Kjeldgaard and C. R. Lawton (2003): Robust optimization for fleet planning under uncertainty, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 39 (3), 209–227.
- Papier, Felix and Ulrich W. Thonemann (2008): Queuing Models for Sizing and Structuring Rental Fleets, *Transportation Science*, 42 (3), 302–317.
- Sayarshad, H. R. and T. Marler (2010): A new multi-objective optimization formulation for rail-car fleet sizing problems, *Operational Research*, 10 (2), 175–198.
- Sayarshad, Hamid R. and Keivan Ghoseiri (2009): A simulated annealing approach for the multi-periodic rail-car fleet sizing problem, *Computers & Operations Research*, 36 (6), 1789–1799.
- Sherali, H. D. and C. H. Tuncbilek (1997): Static and dynamic time-space strategic models and algorithms for multilevel rail-car fleet management, *Management Science*, 43 (2), 235–250.
- Twele, Heike (2000): Methoden zur Modellierung von kurz-und mittelfristigen Nachfrageschwankungen am Beispiel des Schienengüterverkehrs. Wissenschaftliche Arbeiten des Instituts für Verkehrswesen, Eisenbahnbau und -betrieb. Hestra-Verlag.
- Wu, P, J. C. Hartman and G. R. Wilson (2005): An integrated model and solution approach for fleet sizing with heterogeneous assets, *Transportation Science*, 39 (1), 87–103.
- Wurst, C. (2004): Kapazitätssteuerung in Dienstleistungsunternehmen: Optimierungsansätze des Güterwagenmanagements. Kassel University Press.

Bid-prices forecast in capacity control – Initial quantitative experiments

Jörn Schönberger

Chair of Logistics,
University of Bremen, Wilhelm-Herbst-Straße 5, 28359 Bremen,
jsb@uni-bremen.de

Herbert Kopfer

Chair of Logistics,
University of Bremen, Wilhelm-Herbst-Straße 5, 28359 Bremen,
Kopfer@uni-bremen.de

Abstract

Freight carriers offer the fulfillment of road-based transport requests. Typically, a large fraction of the demand is specified in longer term contracts with customers that enable the carrier to setup profitable services which are executed on a regular basis. However, remaining (unused) capacity for a particular service is often filled with additional requests acquired from a spot-market. Here, the carrier has to decide about the acceptance and rejection of consecutively released request proposals. Decision support for this operational decision problem is mainly contributed by capacity control approaches. An important class of capacity control approach is based on the calculation of bid-prices. A bid-price is an approximation of the least revenues that must be earned with the execution of a request in order to increase the carrier's profit. Bid-prices must be updated regularly during the booking period of a transport service. Existing approaches for the calculation and update of bid-prices are based on the solving of a sequence of concatenated linear programs, embedded into a rolling-horizon decision making about consecutively arriving requests. The basic idea is to use linear regression techniques for extrapolating bid-prices instead of re-calculating the bid-price after processed request proposals. In computational experiments we compare the model-based bid-price calculation with the forecasted bid-prices in the application context of the freight carrier business.

1 Introduction

Freight Forwarders organize transport chains by hiring resources from freight carriers. Capacity control is used by a freight carrier to control the consumption of its network resources (trucks, trains, aircrafts,...). Especially, a freight carrier uses capacity control mechanisms to decide if a forwarder's request proposal is accepted or rejected. Decision support in capacity control follows two main directions. One class of approaches is based on the in-advance-specification of a maximal number of requests of a certain product to be accepted for a given product ("contingents"). Incoming requests are not individually tested for profitability but accepted as long as the contingents are not exhausted (Rehkopf, 2006). The other class of network capacity control methods relies on the determination of least revenues ("bid price") an incoming request must bring in. For each incoming request an individual profitability check is carried out. It is checked, if the sum of bid-prices calculated for the demanded resources ("resource bid-price") is dominated by the revenues gained from accepting and fulfilling the request. If and only if this is the case then the request under consideration is accepted (Klein, 2007).

There are two approaches to approximate resource bid-prices in network capacity control. On the one hand, the acceptance decision problem is modeled as a linear program. Here, the resource's shadow prices are fetched from an optimized simplex tableau and they are interpreted as resource's bid-prices (Klein and Steinhardt, 2009). On the other hand, bid-prices are interpreted as linear functions of easy-to-calculated indicator variables like capacity utilization, remaining selling time, or residual demand-to-come. Klein (2007) has demonstrated that the later approach leads to reasonable estimations of resource bid-prices so that the (re-)solving of the firstly mentioned decision models can be avoided. However, the determination of the coefficients in the linear function is a quite sophisticated task that requires huge computational effort.

Motivated by the findings and observations of Klein (2007), we want to find out if the extrapolation of the time series of bid-prices by a simple least-square linear regression procedure also generates reasonable resource bid-prices. Actually, we want to find answers to the following research question: *Is it reasonable to estimate a sequence of bid-prices throughout a selling (booking) period by using simple (out-of-the-box) prediction techniques?* Our research is guided by the following two research hypotheses H_1 and H_2 .

- A prediction of resource bid-prices using least-square linear regression leads to adequate resource bid-prices, which supports the collection of a maximal amount of revenues from an incoming stream of consecutively released requests (H_1).
- The regression-based bid-price determination is severely compromised by wrong capacity predictions. The acceptance decisions derived using the estimated bid-prices leads to a reduced sum of collected revenues if the preciseness of the demand forecast becomes worse (H_2).

The structure of this report is as follows. We start with a compilation of the investigated road-based freight transportation scenario (Section 2). Next, we review some bid-price calculation techniques and introduce the regression-based bid-price estimation (Section 3). This new proposal for predicting resource bid-prices is evaluated within comprehensive computational simulation experiments (Section 4).

2 A Bid-Price-Based Request Acceptance Decision Situation

At first, we give some reference to the application of capacity control in road haulage (Subsection 2.1). Then, we describe the explicit decision problem under investigation (Subsection 2.2). Finally, we propose a rolling horizon planning framework that has been developed to serve a decision support system in the previously mentioned decision situation (Subsection 2.3).

2.1 Literature

Dynamic request acceptance problems belong to the class of capacity control problems (Talluri and van Ryzin, 2005) which are an important decision problem class in operational revenue management (Corsten and Gössinger, 2005). The basic challenge in capacity control is to try to filter an incoming stream of requests so that a scarce resource is used in the most profitable way. Network capacity control considers several linked resources simultaneously (Klein, 2007).

The major challenge in capacity control is that a once made acceptance decision cannot be revised later on. However, if flexible products are offered, it is possible to alter the request fulfillment process after a request has been definitively accepted (Petrick et al., 2010a; Petrick et al., 2010b; Müller-Bungart, 2007; Gallego et al. 2004; Gallego and Phillips, 2004). In road based freight transportation, a product is flexible, if there are two or more routes or services connecting the desired pickup with the requested unloading location.

Capacity control problems are typically represented as dynamic programming models. However, due to the rapidly increasing complexity of the required tree structure to evaluation all possible future states, so called deterministic linear programs (DLP) are used (Klein and Steinhardt, 2009). In a DLP, the evaluation of the future states is expressed in terms of expected values (e.g. the expected number of upcoming requests or the expected sum of expected revenues collectible from the upcoming requests).

Capacity control strategies represent rules that describe under which circumstances a request is accepted (Petrick et al., 2010a). Two forms of strategies are discussed in the scientific literature. At first, product-specific contingents are determined specifying the maximally allowed number of accepted requests (Rehkopf, 2006). A proposed request is accepted without individual profitability inspection as long as the contingent is not exhausted. At second, in a bid-price approach (Klein, 2007), each request is individually checked for profitability. However, the determination of least prices (margin

costs) for requests is a very challenging problem. Few approximation concepts are proposed (Aras et al., 2010; Klein, 2007).

2.2 Decision Problem

A road freight carrier is confronted with an incoming stream of consecutively arriving request proposals specified by different freight forwarders (the customers of the carrier) asking for transport resources. Each request expresses the indivisible demand for the movement of items of a certain quantity, weight and volume through the network $N:=(V,A)$ formed by the set of pickup and delivery points V and connections between these nodes collected in the set A .

The definition of N is based on planned transportation services necessary to fulfill demand specified in longer term contracts. Each service corresponds to a route executed by a certain truck. A regular visit of the nodes in V by a truck of the carrier is necessary for loading and/or unloading goods according to the previously mentioned contracts. To enable the fulfillment of the long term contracts the carrier operates regular transport services. A service s is an ordered sequence $s=(s_1, \dots, s_{n(s)})$ of $n(s)$ nodes taken from V . It is fulfilled by a truck that offers a given capacity CAP_s . This truck visits the nodes $s_1, \dots, s_{n(s)}$ in the defined sequence. All operated services are collected in the set S .

The arcs $a(s,1)=(s_1,s_2)$, $a(s,2):=(s_2,s_3)$, ..., $a(s,n(s)-1):=(s_{n(s)-1},s_{n(s)})$ where $s \in S$ form the arc set A . Each arc (s_i, s_j) has been indexed with the donating service s in order to have several copies of (s_i, s_j) , which are offered by different services, in the set A . An arc $a \in A$ is referred to as **resource** and its capacity $C(a)$ is initialized by $C(a):=CAP_s$. For a given resource $a \in A$ the expression $s(a)$ refers to the service that provides a .

Products are derived from the specified services running in N . A product p is an ordered pair of two nodes $p:=(u, v) \in V \times V$ so that there is at least one service $s^* \in S$, which is able to pick up some goods at u and moves them without transshipment to v where the goods are unloaded. All derived products are collected in the set P . The binary indicator $SPR(s,p,a)$ is set to 1 if and only if service $s \in S$ offers product $p \in P$ and, doing so, uses the resource $a \in A$ (otherwise $SPR(s,p,a)$ is defined to be 0).

A **request** r expresses the demand for a specific product $p:=P(r) \in P$. The carrier expects a profit $REV(P(r))$ from the execution of request r . Thus, the revenue associated with a request depends on the product $P(r)$ demanded by request r . It is assumed that all requests for a given product will lead to the same revenue collection. Later in this report, we will find out that this assumption will cause some problems in road-based freight transportation applications.

At each of the time points t^k ($k=0,1,\dots,K_{max}$) several spot-market request proposals are submitted to the carrier by one or more forwarding companies. These requests are proposed in addition to the already known regular demand fixed in the long-term contracts. The carrier is free to decide if it wants to take the fulfillment responsibility for a spot-market request. However, the carrier has to decide immediately about the acceptance of the recently proposed spot market requests (especially, it cannot wait until further requests become known). We assume that the acceptance of a spot-market re-

quest does not lead to considerable additional accountable route execution costs. Thus, the carriers' total profit is lifted by the collected revenue $REV(P(r))$ associated with the spot-market request r . The carriers' goal is now to filter the most profitable requests from the stream of consecutively arriving requests considering the already made irreversible acceptance decisions as well as the (scarce) capacity of the available resources. Therefore, it decides about the acceptance/rejection of the currently appeared requests guided by a capacity control strategy. The carrier derives its decisions from calculated bid-prices of the available resources. Thus, the carriers' decision problem can be interpreted as a dynamic bid-price determination problem.

At the decision time t^k , the carrier estimates the achievable revenues $REV(P(r))$ associated with a request r . He knows the number $Y^k(P(r))$ of requests for product $P(r)$ already accepted not later than t^{k-1} , and the expected demand-to-come $DTC^k(P(r))$ for product $P(r)$ in the remaining booking phase $[t^k, t^{K_{\max}}]$ as well as the remaining capacities of the available resources. It has to be decided immediately if r is accepted or if the potentially scarce capacity of the resources will be assigned to later arriving requests, which are more profitable but whose appearance is unsure (which results in the rejection of the currently waiting request r). Although the carrier is unable to revise the acceptance decision of a once accepted or rejected request it may revise the assignment of an already accepted request r^* from a service s' to another service s^* if the product $P(r^*)$ is flexible, e.g. if two or even more services offer product $P(r)$ and provide free capacity.

If the carrier accepts a request r at time t^k then it has to allocate sufficient resources on the service selected for the execution of r . This allocated part of the capacity cannot be used anymore for executing requests that appear later on at time point $t^{k+j} > t^k$. Thus, the acceptance of r at time t^k leads to the danger that upcoming requests will be unable to be accepted because of a lack of capacity. Consequently, the revenues associated with the late requests, which cannot be accepted due to a capacity lack, are lost. These lost revenues are opportunity costs. If the acceptance of r at time t^k has to be beneficiary then the benefit of this decision has to be larger than the resulting opportunity costs. At least, revenues $rev(r)$ associated with r should be as large as the observed opportunity costs. These least revenues are called the bid-price $BP_k(r)$ of request r at time t_k . The acceptance rule for request r is now to accept r if and only if $rev(r) \geq BP_k(r)$.

2.3 Rolling-Horizon Planning- System Layout

The procedure *bp_capacity_control()* whose pseudo-code is shown in Figure 1 is used to process a stream of consecutively arriving request proposals. At first, the network N is determined, and the decision times are fixed (a). Next, the iteration counter k is initialized (b) and the set of already accepted requests is inaugurated as well as the net-state is initially described (c). For every decision time t^k the loop (d)-(o) is executed. The current time is fetched first (e). Then a tentative resource allocation is made for the already accepted requests in order to determine the still available capacities of the

resources in $N(f)$. It is continued with the definition of the current instance of the used parameter update model M^k in line (g). The so far used bid-prices are saved, the model is solved, and the resource bid prices are updated in the event that a certain update condition is fulfilled (h). Now, the currently waiting spot-market requests are collected in the set REQ^k (i). The processing of the fetched requests is done by calling the procedure *process_by_bp()* (j). After all requests have been processed the acceptance decisions are sent back to the customers (k). The state of the network is updated, e.g. used and available capacities are adjusted and demand forecasts are revised (l), and the set ACC of already accepted requests is updated (m), and the iteration counter is increased by 1 (n).

```

(a) procedure bp_capacity_control( $N, \{t^1, t^2, \dots, t^{K_{max}}\}$ )
(b)  $k:=1$ ;
(c)  $ACC:=\{\}$ ;
    initialize(Net-State);
(d) while ( $k \leq K_{max}$ ) do
(e)    $Current\_time := t^k$ ;
(f)   make_tentative_assignment( $ACC, N$ );
(g)    $M^k := \text{define\_parameter\_update\_model}(ACC)$ ;
(h)   if (update_condition) then
      {
        History := History  $\cup$  {BP};
        ( $BP$ ) := update_bp( $M^k, History, Net-State$ );
      }
(i)    $REQ^k := \text{fetch\_waiting\_requests}()$ ;
(j)   Process_by_bp( $REQ^k, N, (BP)$ );
(k)   propagate_decisions();
(l)   update(Net-State);
(m)   update( $ACC$ );
(n)    $k=k+1$ 
(o) Wend;
```

Figure 1: Pseudo code of the rolling-horizon capacity control system

In the event that the *update_condition* in line (h) is fulfilled if and only if $k=1$ then we call the procedure in Figure 1 an **offline-bid-price-control** system. In all other cases where the *update_condition* in line (h) is fulfilled also for at least one $k>1$ the procedure is called an **online-bid-price-control** system.

3 Determination of Bid-Prices

In this section, we present several realizations of the bid-price-calculating procedure *update_bp()* as the core component of the capacity control system introduced in Subsection 2.3. We review some bid-price-calculation concepts from literature but also propose a new calculation scheme that is based on a simple linear regression calculation.

3.1 Bid-Price Fixation Based on Residual Capacity and Selling Time

Klein (2007) proposes to determine the current bid-price $BP_k(i)$ of a resource $i \in A$ as a weighted linear combination of the initially calculated bid-price $BP_0(i)$, the so far consumed capacity c_{it} and the so far processed booking time t_k (**time-oriented**) or the still expected resource demand u_{it} (**resource-oriented**).

$$BP_k(i) = BP_0(i) + \alpha_i c_{it} - \beta_i t_k \quad (1)$$

$$BP_k(i) = BP_0(i) + \alpha_i c_{it} - \beta_i u_{it} \quad (2)$$

Formula (1) is used to specify the time-oriented bid-price adjustment and formula (2) applies for the resource-oriented bid-price determination. The calculation of the parameters α_i and β_i is a quite sophisticated and challenging task. Klein (2007) uses simulation-based optimization as well as scatter search to determine these two parameters.

3.2 Model-Based Bid-Price Calculation

In order to define the decision model instance M at time t we introduce the two decision variable families y_p ($p \in P$) and $z_{p,s}$ ($p \in P, s \in S$) to code the revenue maximal contingents for each product p (the y -variables) and the service-specific quotes (the z -variables).

$$\sum_{p \in P} \text{REV}(p) \cdot y_p \rightarrow \max \quad (3)$$

$$\sum_{p \in P} \text{SPR}(s(a), p, a) \cdot z_{p,s(a)} \leq C(a) \quad \forall a \in A \quad (4)$$

$$\sum_{s \in S} z_{p,s} = y_p \quad \forall p \in P \quad (5)$$

$$y_p \leq \text{DTC}(p) \quad \forall p \in P \quad (6)$$

$$y_p, z_{p,s} \geq 0 \quad \forall p \in P, s \in S \quad (7)$$

The total sum of revenues is maximized (3) by finding adequate contingents y_p for each product $p \in P$. We use the linear constraints (4) - (7) to encode the collections of feasible contingents y_p as well as $z_{p,s}$. Constraint (4) ensures that the capacity of the considered resource in the network is not exceeded. All accepted requests must be distributed among the available services that are able to fulfill the considered requests (5). We do not reserve capacity for more requests than expected to appear during the booking phase $[0, t^{K_{\max}}]$ (6). Klein (2007) explains why it is not necessary to enforce the integer-property of the quota decision variables in the model (3) - (7).

In the event that we use a simplex algorithm to solve the DLP (3) - (7) then we are able to fetch shadow prices of all resources $a \in A$ from the final simplex tableau. For a given resource a the shadow price is the entry in the final simplex tableau that is found in the objective function row in the column of the slack variable belonging to the restriction of a 's capacity in the constraint family (4). The shadow price $sp(a)$ of a resource a represents opportunity costs for the utilization of one unit of this resource. Hence, the shadow price of resource a represents the least necessary revenue that must be earned if one unit of this capacity is used in order to increase the overall sum of earned revenues. Consequently, the shadow price of a resource represents a reasonable bid-price for this resource. We set $BP(a) := sp(a)$ for all $a \in A$.

If we solve the DLP (3) – (7) once before the booking period opens, we get a set of product-specific bid-prices and we can use these bid-prices throughout the booking period as lower bound for the revenues of the upcoming requests. We accept an upcoming request if and only if $rev(P(r))$ is larger than the sum of the associated product bid-price $BP(P(r))$, which is the sum of the used resource's bid-prices. Since we do not update the product specific bid-prices anymore during the booking period, this request accepting criterion is called OFFLINE.

$$y_p^k \geq Y^k(p) \quad \forall p \in P \quad (6^*)$$

If we want to embed the model (3) – (7) into the rolling horizon planning framework so that the bid-prices are updated after acceptance decisions have been made and / or before new requests are considered then the model has to be extended in order to be able to consider the time-varying knowledge about the consecutively showing up requests. The re-solving of the instance M^k of model (3) – (7) at time t^k leads to an update of the decision variable values $y_{p,s}^{k-1}$ determined at time t^{k-1} by $y_{p,s}^k$ and z_p^{k-1} by z_p^k as well. The k -indexed decision variables represent the optimal decisions derived with the knowledge at time t^k , z_p^k is the number of requests to be accepted within the overall booking period. Since it is impossible to reject already accepted requests, it has to be ensured, that z_p^k is larger than the number $Y^k(p)$ of requests of product p accepted until time t^{k-1} (6*). Thus, a lower bound of z_p^k must be considered.

$$y_p^k \leq Y^k(p) + DTC^k(p) \quad \forall p \in P \quad (8)$$

However, there is also an upper bound for the number of to be accepted requests induced by the expected demand to come $DTC^k(p)$ after time t^k (8).

We solve now the model (3)-(5), (6*) and (8) at time t^k and update the resource bid-prices $BP^{k-1}(p)$ to $BP^k(p)$. This model-based approach realizes an online calculation of the bid-prices that explicitly considers the increasing resource consumption and therefore the increasing resource scarceness. We refer to this bid-price calculation strategy as MODEL.

3.3 Bid-Price Forecast

We pickup the argumentation of Klein (2007) that the re-solving of the decision model instance (3)-(5), (6*) – (8) should be avoided. However, we propose a more generic approach to determine the bid prices to be used for the next re-planning step. At an intermediate replanning time point t^k during the booking period we have to calculate the new bid-prices $BP_k(i)$ for all resources $i \in A$ after we have accepted previously shown up requests. Thus, the ordered pair $(t^k, BP_k(i))$ has to be re-determined for all resources.

For all of these resources $i \in A$, we know the previously applied bid-prices $BP_0(i), \dots, BP_{k-1}(i)$ considered during the so far processed booking period portion. Similarly to Klein (2007), we assume that the next bid-price $BP_k(i)$ of resource i is a function of other data, so that it can be calculated. In contrast to Klein (2007), we assume that $BP_k(i)$ is able to be calculated from the previous bid-prices of this resource i without taking into account the recent variation of capacity utilization degree or processed time since the opening of the selling period.

We have observed a decreasing trend for $BP_k(i)$ in average (over all resources) with processing booking period, e.g. the average of the resource bid-prices decreases with ongoing time. From this observation we conclude that

- the bid-price of most resources decreases with ongoing time and
- increase of a resource bid price is only temporary.

In order to extrapolate $BP_k(i)$ from $BP_0(i), \dots, BP_{k-1}(i)$ we perform a simple least-square-based linear regression considering the M most recently calculated data points $(t_{k-M}, BP_{k-M}(i)), \dots, (t_{k-1}, BP_{k-1}(i))$. Therefore, we first get the slope $s_k(i)$ of the most appropriate affine linear function and its intersection height $b_k(i)$ with the vertical axis as result of the linear regression at time t^k . We use (9) to determine the next utilized resource bid-price $BP_k(i)$ for each resource i . We refer to this realization of the function *update_bp()* as PROG.

$$BP_k(i) := b_k(i) + (k-M) \cdot s_k(i) \quad (9)$$

4 Computational Evaluation of Bid-Price Calculation Strategies

In this section we report about computational simulation experiments in which we compare the performance of the bid-price calculation strategies MODEL, OFFLINE and PROG. At first, we explain the experimental setup (Subsection 4.1). Then, we define the performance indicators used in the evaluation experiments (Subsection 4.2). We use these indicators to compare the strategy performances after the complete booking period is over (Subsection 4.3) and during the booking period (Subsection 4.4).

4.1 Experimental Setup

We test the three different bid price calculation approaches $\Theta \in \{\text{PROG}, \text{MODEL}, \text{OFFLINE}\}$ within the road-transport network introduced in (Schönberger and Kopfer,

2011). Different streams of incoming requests are defined as non-homogeneous Poisson processes exhibiting a triangle shaped request arrival profile. We provide streams of around 1200 consecutively arriving requests of three different types $\Phi \in \{\text{early, middle, late}\}$, distinguished by the position of the demand peak. In an early-stream, the arrival intensity is maximal after 30% of the booking period is over, in a middle-stream, the maximal intensity is after 60% and finally in a late-stream, the highest arrival intensity is after 90% of the booking period is over. The booking period is partitioned into 10 equidistant sub-periods. All requests arriving during a sub-period and the corresponding acceptance decisions are made at the end of this sub-period.

We consider ad-hoc discounts and investigate the impacts of these unexpected revenue reductions for different appearance frequencies $\Omega \in \{0, 0.2, 0.4, 0.6\}$. If the carrier and the customer from the spot market agree a discount then the revenue corresponding with the request is reduced by 25%.

We configure a comprehensive set of simulation experiments by combining each bid-price determination strategy Θ with different demand shapes Φ and different discounting frequencies Ω . Therefore, $|\{\text{PROG, MODEL, OFFLINE}\} \times \{\text{early, middle, late}\} \times \{0, 0.2, 0.4, 0.6\}| = 3 \cdot 3 \cdot 4 = 36$ different configurations are compared. Each configuration of the capacity control system is applied to ten different request streams each comprising around 1200 consecutively arriving requests. Thus, 360 simulation experiments are carried out.

4.2 Performance Indicators

We have observed and recorded several performance indicators throughout the simulation runs. For a given experimental setting (Θ, Φ, Ω) , we have determined the average observed value of each indicator for the different seeding (expressed by the different streams of incoming requests).

At first, we have saved the sum of revenue $r_t(\Theta, \Phi, \Omega)$ collected up to time t . Furthermore, the capacity utilization $cap_t(\Theta, \Phi, \Omega)$, the cumulated number of accepted requests $c_t(\Theta, \Phi, \Omega)$, the acceptance quote $acc_t(\Theta, \Phi, \Omega)$, and the average bid-prices $bp_t(\Theta, \Phi, \Omega)$ of the resources are recorded during the overall booking period..

$$r_t^*(\Theta, \Phi, \Omega) := (r_t(\Theta, \Phi, \Omega) - r_{t,min}(\Phi, \Omega)) / (r_{t,max}(\Phi, \Omega) - r_{t,min}(\Phi, \Omega)) \quad (10)$$

We compare the earned revenues collected by different bid-price calculation strategies for a given demand setting (Φ, Ω) . Therefore, we first calculate the highest observed sum of revenues $r_{t,max}(\Phi, \Omega) := \max\{r_t(\text{PROG}, \Phi, \Omega), r_t(\text{MODEL}, \Phi, \Omega), r_t(\text{OFFLINE}, \Phi, \Omega)\}$ among the three bid-price calculation methods. Similarly, we determine the lowest sum of revenues $r_{t,min}(\Phi, \Omega)$. Now, we are able to scale the revenue sum into the interval $[0; 1]$ by transforming $r_t(\Theta, \Phi, \Omega)$ to $r_t^*(\Theta, \Phi, \Omega)$ using formula (0).

We denote $r_t^*(\Theta, \Phi, \Omega)$ as normalized revenues. In the event that $r_t^*(\Theta, \Phi, \Omega) = 1$ then the bid-price calculation strategy Θ is the best among the three available strategies for the demand scenario (Φ, Ω) . However, in the event that $r_t^*(\Theta, \Phi, \Omega) = 0$ then Θ exhibits

the worst revenue-performance. An r_t^* -value larger than 0 but smaller than 1 can be interpreted as follows: if $r_t^*(\Theta, \Phi, \Omega)$ is closer to 0 than to 1 then it performs similarly as the least appropriate bid-price calculation strategy but if it is closer to 1 then its performance is close to the performance of the best available strategy.

In the same way, we calculate the normalized capacity utilization $cap_t^*(\Theta, \Phi, \Omega)$, the normalized number of accepted requests $c_t^*(\Theta, \Phi, \Omega)$, normalized acceptance quote $acc_t^*(\Theta, \Phi, \Omega)$, and the normalized resource-averaged bid-price $bp_t^*(\Theta, \Phi, \Omega)$.

4.3 Offline Analysis

We start our presentation and interpretation of the simulation results with a look on the finally observed indicator values after the booking period is over. This is an ex-post-analysis often called offline analysis.

Tab. 1 compiles the normalized revenues observed in the simulation experiments. In most configurations PROG outperforms OFFLINE and even MODEL. This is quite surprising because MODEL uses quite a lot of information to derive the bid-prices with high accuracy and even includes an optimization strategy.

Θ	PROG				MODEL				OFFLINE			
	Ω				Ω				Ω			
	0	0.2	0.4	0.6	0	0.2	0.4	0.6	0	0.2	0.4	0.6
Φ	early	1,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,80	0,91	0,00	0,00	0,00	0,13
	middle	1,00	0,34	1,00	1,00	0,76	0,00	0,79	0,85	0,00	1,00	0,00
	late	0,92	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,97	0,31	0,00	0,00	0,00

Tab. 1: normalized revenues $r_t^*(\Theta, \Phi, \Omega)$

Θ	PROG				MODEL				OFFLINE			
	Ω				Ω				Ω			
	0	0.2	0.4	0.6	0	0.2	0.4	0.6	0	0.2	0.4	0.6
Φ	early	0,86	0,83	0,84	0,82	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
	middle	0,66	0,55	0,77	0,77	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
	late	0,82	0,82	0,89	0,91	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00

Tab. 2: normalized capacity utilization degree $cap_t^*(\Theta, \Phi, \Omega)$

With respect to the capacity utilization degree, the ranking among the bid-price calculation strategies is different. The OFFLINE-strategy is outperformed in all demand scenarios (Φ, Ω) . However, the incorporation of the model-based bid-price calculation leads to the highest capacity utilization degree in all demand scenarios but we observe that the application of the forecasted bid-prices leads to a capacity utilization that is closer to the MODEL-results than to the OFFLINE-results in all demand scenarios ($cap^*_i(PROG, \Phi, \Omega) > 0.5$).

We finally compare the number of accepted requests (Tab. 1). Again, the OFFLINE-strategy exhibits the worst results. If an early demand peak has to be managed and if only few requests are sold for discounted revenues then the PROG-strategy identifies more requests to be profitable than the MODEL-strategy does. In all other cases the MODEL-strategy dominates the PROG-strategy. However, the differences of numbers of the accepted requests are very small.

To conclude our offline-analysis of the simulation results, we state that the OFFLINE-strategy is not able to determine adequate bid-prices. The lowest sum of collected revenues, the lowest capacity utilization degree as well as the smallest number of accepted requests are achieved if OFFLINE is incorporated. The MODEL-strategy and the PROG-strategy exhibit similar performances. The application of the first mentioned strategy leads to a slightly higher capacity utilization but the incorporation of last mentioned strategy collects the highest revenues. Thus, we are able to verify the first hypotheses H_1 of the two initially stated hypotheses: The forecast of the bid-price using only the historical bid-prices leads to reasonable results.

Θ	PROG				MODEL				OFFLINE			
	Ω				Ω				Ω			
	0	0.2	0.4	0.6	0	0.2	0.4	0.6	0	0.2	0.4	0.6
<i>early</i>	1,00	1,00	0,97	0,95	0,98	0,96	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Φ <i>middle</i>	0,99	0,99	0,98	0,94	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>late</i>	0,96	0,88	0,87	0,81	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tab. 3: normalized average number of accepted requests $c^*_i(\Theta, \Phi, \Omega)$

4.4 Online Analysis

In order to find out reasons for the quite high performance of PROG we extend the focus of analysis and consider now also the indicator values during the booking period, e.g. during the execution of the capacity control system (online-analysis). We have carefully investigated the different demand scenarios and have observed quite similar numerical results. As representative demand scenario, we report a comprehensive in-

vestigation for the case where an early demand peak happens ($\Phi=early$) and only few requests ($\Omega=0.2$) are subject to revenue reductions after a bargaining.

Figure 2 shows the development of the normalized request acceptance rate $acc^*_t(\Theta, early, 0.2)$ for all the bid-price calculation strategies, which represents the portion of accepted request that have been accepted at time t from all requests that have been under acceptance decision at this time. At first, we see that OFFLINE has the lowest acceptance rate for the first 80% of the booking period. For the last 20% of the booking period OFFLINE leads to higher acceptance rates than the two other strategies. PROG and MODEL accepts the same number of requests at the first 40% of the booking period because the bid-prices are the same. From $t=0.5$ up to $t=0.9$ MODEL accepts for requests than PROG but from time $t=0.9$ until $t=1.0$ offline is able to accept more requests. From these results we conclude that MODEL accepts more requests in earlier stages of the booking period because it predicts that there will be no demand at the end of the booking period, since the estimation of the overall demand over the booking period is underestimated. All available capacity is assigned to earlier stages of the booking period.

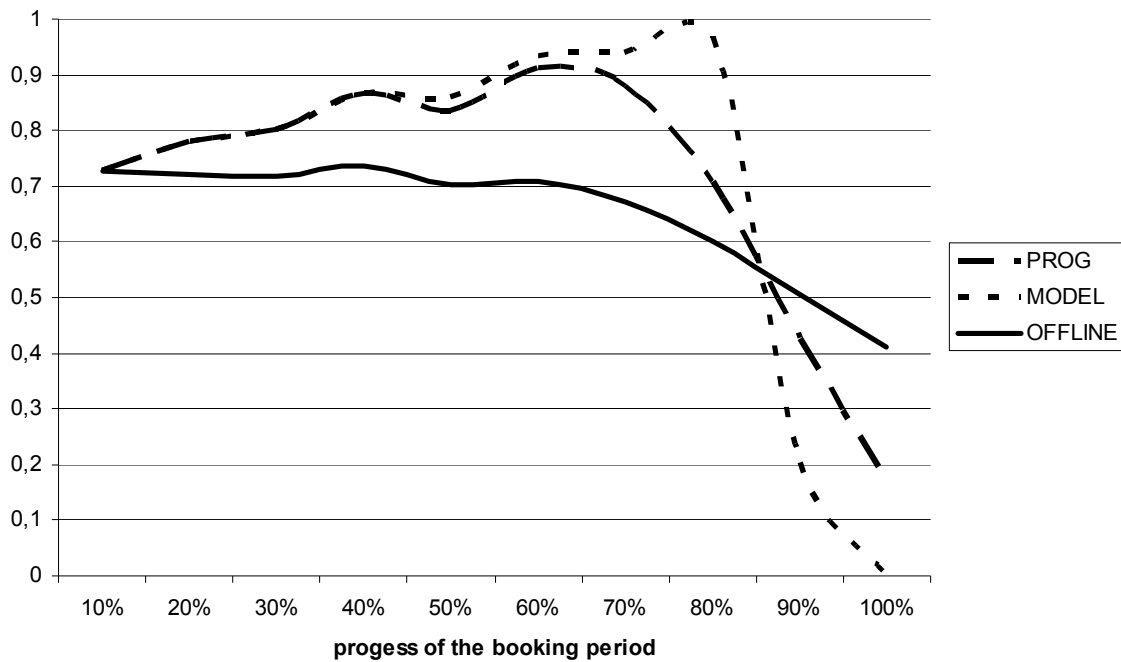


Figure 2: Evolution of the normalized request acceptance rate $acc^*_t(\Theta, early, 0.2)$ during the booking period

The aforementioned conclusion is supported by the observations made from Figure 3. This figure compiles the earnings in each sub-period (the increase of the cumulated sum of revenues). We observe decreasing marginal revenue for each sub-period. In the first 8 sub-periods, PROG as well as MODEL lead to the collection of more additional revenues that OFFLINE is able to do. In the last two sub-periods, OFFLINE collects for revenues since it accepts more requests for execution. However, the high acceptance quote at the end of the booking period cannot compensate the lower revenue collections within the first 80% of the booking period in which the two other strategy

outperform OFFLINE significantly. Within the first 60% of the sales period, PROG as well as MODEL collect nearly the same amount of revenues. Starting from sub-period 7 until sub-period 8 MODEL earns more additional revenues compared to PROG but then MODEL collects less additional revenues compared to PROG and even OFFLINE. The additional earnings of PROG during the two last sub-periods are higher than the additional earnings of MODEL during the sub-periods 7 and 8 so that at the end, PROG collects more revenues than MODEL. Furthermore, PROG is more adequate to exploit the last quarter of the booking period but MODEL exploits the third quarter of the booking period.

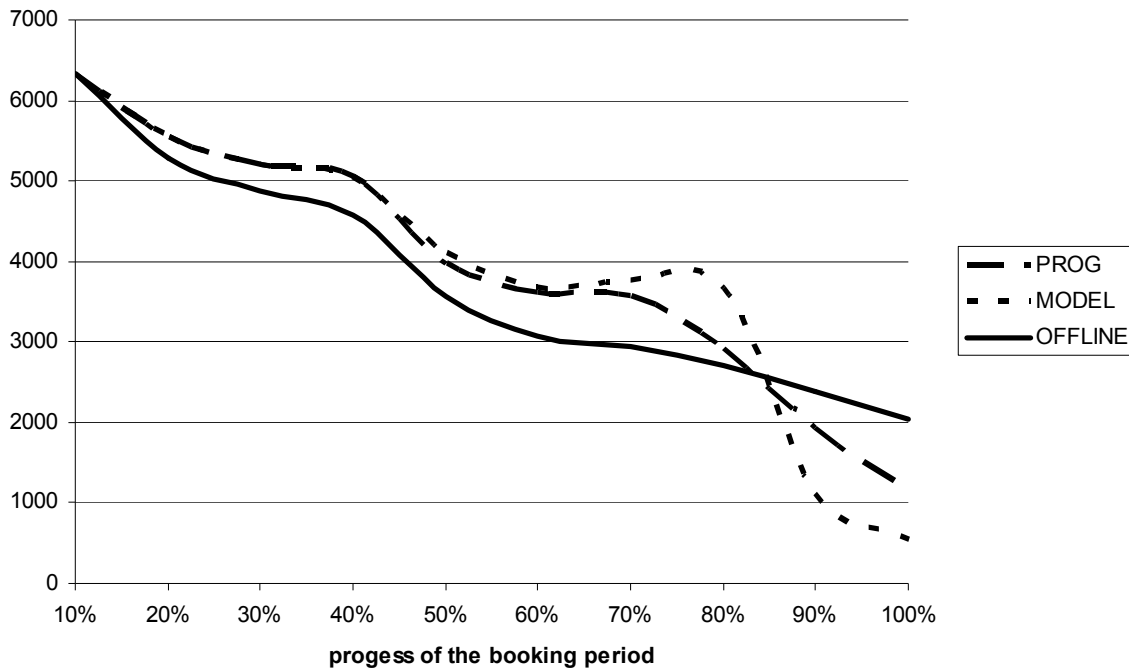


Figure 3: Additional revenue in the sub periods

5 Conclusions and Outlook

We have introduced and tested a new generic approach to extrapolate resource bid-prices in network revenue management using least-square linear regression. This approach has been positively evaluated in a road haulage simulation experiment. We can now answer the initially state research question: It is reasonable to use a least-square linear regression for the prediction of resource bid-prices in the investigated scenario. The bid-price calculation using linear regression supports the collection of a large amount of revenue (this was hypothesis H_1). However, we have also observed that the quality of the demand forecast strongly correlates with the amount of collected revenues (this was expected in hypothesis H_2).

In our upcoming research we will investigate how robust and stable the proposed bid-price calculation is with respect to the quality of the forecast of the number of upcoming requests. Furthermore, we will analyze hybrid bid-price calculation approaches in which different calculation schemes are incorporated at different replanning times.

Acknowledgment

This research was supported by the German Research Foundation (DFG) as part of the Collaborative Research Centre 637 “Autonomous Cooperating Logistic Processes” (Subproject B7).

References

- Aras, N., Aksen, D. , Tekin, M. (2010): Selective multi-depot vehicle routing problem with pricing. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, to appear.
- Corsten, H., Gössinger, R. (2005): Kapazitätssteuerung im Revenue Management}, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaftslehre 67(3), pp. 31-52
- Gallego, G., Iyengar, G. , Phillips, R. Dubey, A. (2004): Managing flexible products on a network. Technical report, Ithaca, United States.
- Gallego, G. and R. Phillips, R. (2004): Revenue management of flexible products. Manufacturing&Service Operations Management 6, pp. 321-337.
- Klein, R. (2007): Network capacity control using self-adjusting bid-prices, in: OR Spectrum 29, pp. 39-60.
- Klein, R., Steinhardt, C. (2009): Revenue Management. Springer.
- Müller-Bungart, M. (2007): Revenue Management with Flexible Products. Springer.
- Petrick, A., Steinhardt, C. , Gönsch, J., Klein, R. (2010a): Using flexible products to cope with demand uncertainty in revenue management. OR Spectrum, to appear.
- Petrick, A., Gönsch, J., Steinhardt, C., Klein, R. (2010b): Dynamic control mechanisms for revenue management with flexible products, in: Computers&Operations Research, pp. 2027-2039.
- Rehkopf, S. (2006): Revenue Management-Konzepte zur Auftragsannahme bei kundenindividueller Produktion. DUV
- Schönberger, J. , Kopfer, H. (2011): Approaching the application borders of network capacity control in road haulage.
- Talluri, K. and van Ryzin, G. (2005): The theory and practice of revenue management. Springer.

Sensornetzbasiertes Supply Chain Event Management zur Optimierung des innerbetrieblichen Asset Managements am Fraunhofer IIS

Sebastian Lempert

Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS,
Abteilung Supply Chain Technologies, Zentrum für Intelligente Objekte ZIO,
Dr. Mack-Str. 81, 90762 Fürth,
sebastian.lempert@iis.fraunhofer.de

Alexander Pflaum

Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS,
Abteilung Supply Chain Technologies, Zentrum für Intelligente Objekte ZIO,
Dr. Mack-Str. 81, 90762 Fürth,
alexander.pflaum@iis.fraunhofer.de

Zusammenfassung

Dieser Beitrag stellt ein internes Projekt des Fraunhofer IIS vor, in welchem der bestehende innerbetriebliche Asset Management Prozess von hochpreisigen Mess- und Prüfgeräten durch den Einsatz eines sensornetzbasierten Supply Chain Event Managements (SCEM) optimiert wird. Zu diesem Zweck werden Empfehlungen für die informationstechnische Umsetzung eines SCEM-Systems erarbeitet. Weiterhin wird ein strukturiertes Vorgehensmodell für die Entwicklung und Einführung eines SCEM-Systems vorgestellt. Zudem werden die bisher erreichten Ergebnisse bei der Entwicklung und Einführung eines sensornetzbasierten SCEM-Systems am Fraunhofer IIS aufgezeigt.

1 Einleitung und Motivation

1.1 *Intransparente und manuell ablaufende Asset Management Prozesse wirken sich negativ auf nachfolgende Wertschöpfungsaktivitäten aus*

Gegenstände wie bspw. Maschinen werden als Asset bezeichnet, wenn sie einen Wert für das Unternehmen darstellen. Das Asset Management umfasst dabei alle Aktivitäten, die für eine optimale und nachhaltige Verwaltung und Nutzung dieser Wertgegenstände während ihres Lebenszyklus nötig sind (vgl. Abb. 1).¹

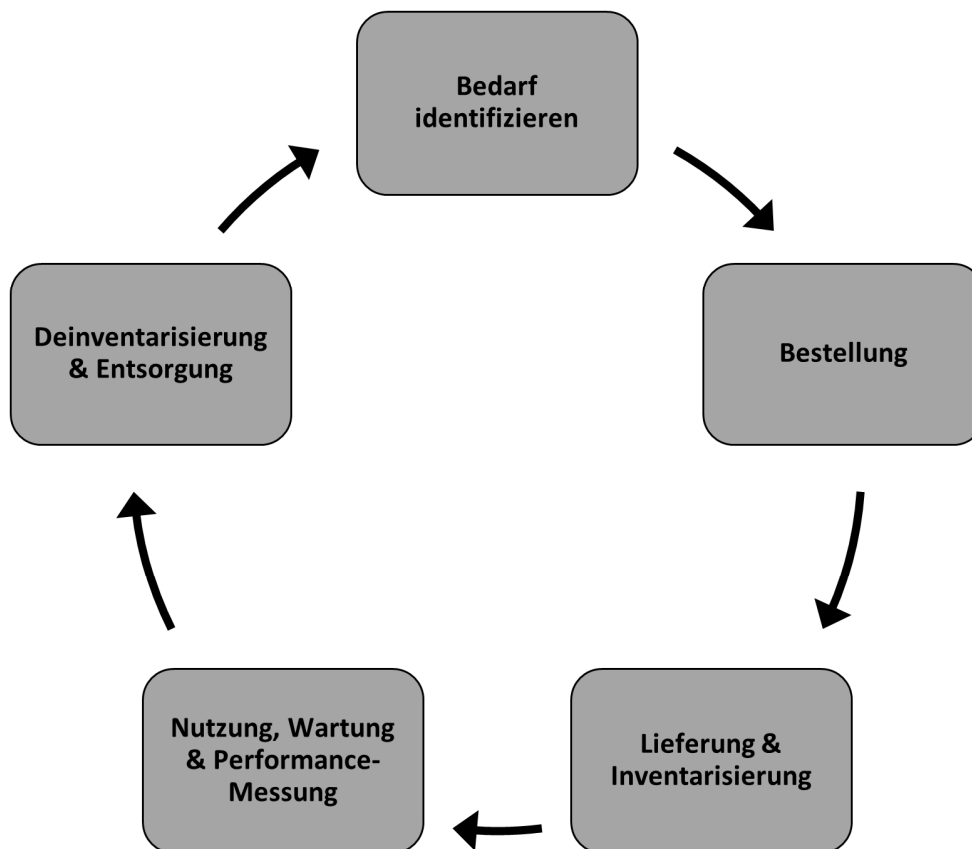


Abb. 1: Aufgaben des innerbetrieblichen Asset Managements

Dabei können sich intransparente und manuell ablaufende Prozesse im innerbetrieblichen Asset Management auf unterschiedliche Art und Weise folgenswer im Unternehmen bemerkbar machen. Zum Beispiel kann ein zwingend benötigtes Asset, welches aufgrund von mangelnder Transparenz aufwändig auf einem großen Betriebsgelände gesucht werden muss, die Ausführung eines anderen Geschäftsprozesses verzögern und damit erhebliche Kosten auslösen. Mangelnde Transparenz kann aber auch bei Assets, die eine gemeinsam genutzte Ressource in einem Ressourcenpool darstellen zu einem Problem werden, wenn nicht überprüft werden kann, ob Kapital durch

¹ Eigene Darstellung in Anlehnung an die Definition des Asset Management Life Cycles in Publicly Available Specification PAS 55-1:2008, S. 3 und Publicly Available Specification PAS 55-2:2008, S. 11 und S. 14

Überbestände von nicht mehr benötigten Assets unnötig gebunden wird, oder ob Unterbestände bei bestimmten Assets immer wieder zu Wartezeiten auf das nächste freie Asset und damit zu Verzögerungen in abhängigen Geschäftsprozessen führen.

1.2 Supply Chain Event Management führt zu Prozesstransparenz und hilft negative Auswirkungen auf nachfolgende Wertschöpfungsaktivitäten frühzeitig zu erkennen

Supply Chain Management (SCM) wird oft als unternehmensübergreifendes Konzept zur Koordination und Optimierung der Material-, Informations- und Geldflüsse innerhalb der Versorgungskette verstanden.² Gleichzeitig können diese Ziele auch auf den unternehmensinternen Teil der Versorgungskette beschränkt werden, d.h. SCM kann auch als unternehmensinternes Konzept verstanden werden.³ Unabhängig davon lassen sich auf Basis von zeitlichen und inhaltlichen Gesichtspunkten mit Supply Chain Design, Supply Chain Planning und Supply Chain Execution drei Planungsebenen des SCM unterscheiden.⁴ Diesen Planungsebenen lassen sich diverse Aufgaben zuordnen, wobei das Supply Chain Event Management zwischen den Ebenen Supply Chain Planning und Supply Chain Execution angesiedelt wird (vgl. Abb. 2).⁵

Dabei kann das Supply Chain Event Management (SCEM) als ein proaktives, kurzfristiges Planungs- und Steuerungskonzept bezeichnet werden, welches Geschäftsprozesse in Echtzeit überwacht, um frühzeitig diejenigen Abweichungen zwischen dem geplanten Soll-Zustand und dem tatsächlichen Ist-Zustand zu erkennen, welche spürbare negative oder positive Folgen für die Planung und Ausführung nachfolgender Wertschöpfungsaktivitäten haben können.⁶ Die frühzeitige Erkennung derartiger Ereignisse zielt zum einen auf den Gewinn von Reaktionszeit und damit auf eine Reduktion möglicher Folgekosten ab. Zum anderen zielt das SCEM darauf ab, die Eintrittswahrscheinlichkeit kritischer Ereignisse zu minimieren und negative Auswirkungen durch vorgedachte Reaktionsmuster zu begrenzen.⁷ Weiterhin kann SCEM analog zum SCM gleichermaßen als unternehmensübergreifendes, als auch als unternehmensinternes Konzept verstanden werden.⁸

1.3 Optimierung des innerbetrieblichen Asset Managements am Fraunhofer IIS durch Einsatz eines sensornetzbasierten Supply Chain Event Managements

Am Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS kommen hochpreisige Mess- und Prüfgeräte mit einem Wert zwischen 1.000€ und 100.000€ zum Einsatz, die von unterschiedlichen Organisationseinheiten im Rahmen von Forschungs- und Industrieprojekten verwendet werden.

² Vgl. Scholz-Reiter/Jakobza (1999), S. 8; Klaus (2002), S. 22; Okhrin (2008)

³ Vgl. Stevens (1989), S. 7; Richert (2006), S. 21; Arnold et al. (2008), S. 21

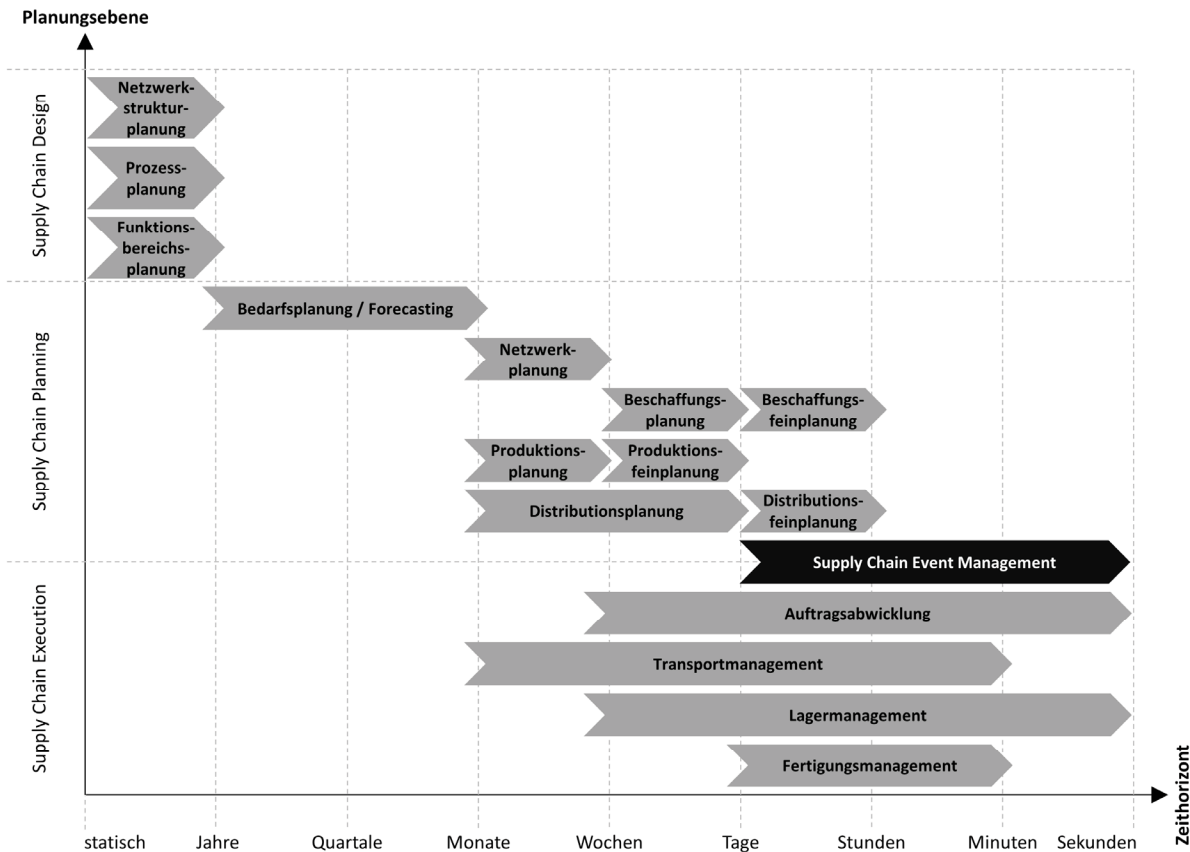
⁴ Vgl. Sucky (2004), S. 25–31; Arnold et al. (2008), S. 462–463

⁵ Vgl. Wieser/Lauterbach (2001); Bretzke et al. (2002), S. 29; Arnold et al. (2008), S. 484

⁶ Vgl. Steven/Krüger (2004), S. 181

⁷ Vgl. Bretzke et al. (2002), S. 37

⁸ Vgl. Nissen (2002), S. 477

Abb. 2: Einordnung des SCEM in die drei Planungsebenen des SCM⁹

Ein einzelner Messgeräteaufbau, welcher aus einer Vielzahl von Messgeräten bestehen kann, kann dabei bis zu 1.000.000€ Wert sein.

Da die eingangs erwähnten Probleme in dem zugehörigen innerbetrieblichen Asset Management Prozess des Fraunhofer IIS anzutreffen sind und das Konzept des Supply Chain Event Managements operativ zur Optimierung des Asset Managements genutzt werden kann, untersucht der vorliegende Beitrag die folgenden Fragen:¹⁰

- Wie kann ein SCEM-System technisch umgesetzt werden?
- Wie sieht ein Vorgehensmodell aus, welches die strukturierte und zielgerichtete Entwicklung und Einführung eines derartigen SCEM-Systems ermöglicht?

Der weitere Aufbau dieses Beitrags gestaltet sich wie folgt: zunächst widmet sich Abschnitt 2 dem fachlichen Umfeld. Dabei werden die Konzepte und Ergebnisse von bereits existierenden Arbeiten, die mit dieser Arbeit verwandt sind, vorgestellt.

Danach werden in Abschnitt 3 Empfehlungen für die informationstechnische Umsetzung eines SCEM-Systems erarbeitet. Dabei werden zunächst Smart Object Technologien, welche in Echtzeit Statusinformationen über logistische Objekte liefern, als Grundvoraussetzung für das SCEM vorgestellt. Darauf aufbauend wird erläutert, wie

⁹ Erweiterung der Darstellung von Bittner (2000), S. 5 um das Supply Chain Design auf Basis des Aufgabenmodells von Hompel/Hellingrath (2007), S. 285–304

¹⁰ Vgl. Nissen (2002), S. 479–480

die Umwandlung von Statusinformationen in Ereignisse des SCEM auf Basis von Geschäftsregeln und Kennzahlen unter Verwendung von Rule Engines erfolgen kann.

In Abschnitt 4 wird ein strukturiertes Vorgehensmodell für die Entwicklung und Einführung eines SCEM-Systems vorgestellt, welches sich insbesondere auf die Auswahl der am besten geeigneten Smart Object Technologie, auf die Ermittlung besonders aussagekräftiger Kennzahlen sowie auf die Ableitung zugehöriger Geschäftsregeln konzentriert.

Darauf aufbauend widmet sich Abschnitt 5 dem sensornetzbasierten SCEM-System zur Optimierung des Asset Managements für hochpreisige Mess- und Prüfgeräte am Fraunhofer IIS.

Abschnitt schließt 6 diesen Beitrag ab, indem zuerst eine rückblickende Zusammenfassung und darauf aufbauend ein Ausblick auf zukünftige Entwicklungen und den Fortgang dieser Arbeit gegeben wird.

2 Stand der Wissenschaft und verwandte Arbeiten

2.1 Grundsätzliche Funktionen eines SCEM-Systems

Der Begriff Supply Chain Event Management (SCEM) wurde entscheidend in dem Forschungsbericht von BITTNER (2000) durch die Definition der folgenden fünf SCEM-Grundfunktionen geprägt, welche in der Literatur weitestgehend anerkannt sind:¹¹

- *Überwachen (Monitor)*: Durch Technologieeinsatz werden Statusinformationen über die zu überwachenden Objekte innerhalb relevanter Prozesse der Supply Chain erfasst.
- *Melden (Notify)*: Statusmeldungen aus den Prozessen werden auf Basis von Soll-Ist-Vergleichen eines Regelwerkes in Ereignisse übersetzt, welche in Echtzeit an den Prozessverantwortlichen gemeldet werden.
- *Simulieren (Simulate)*: Bei dem Eintreten eines Ereignisses werden mögliche Auswirkungen auf Folgeprozesse mit dem Ziel simuliert, Handlungsoptionen und -empfehlungen zu berechnen (Entscheidungsunterstützung).
- *Steuern (Control)*: Die Prozesssteuerung wird bei der Auswahl der am besten geeigneten Handlungsempfehlung unterstützt, um einer erkannten Soll-Ist-Abweichung entgegenzuwirken.
- *Messen (Measure)*: Die Prozesskontrolle wird durch die Berechnung von betriebswirtschaftlichen Kennzahlen bzw. von Key Performance Indicators (KPIs) unterstützt, welche den früheren oder gegenwärtigen Erfüllungsgrad von zugehörigen Prozesszielen widerspiegeln und den zu überwachenden Prozess messbar machen.

¹¹ Vgl. Bittner (2000), S. 7

WIESER/LAUTERBACH (2001) setzen auf der o.g. SCEM-Definition auf und beschreiben, wie bestehende SCM-Lösungen zu einer SCEM-Lösung erweitert werden können.¹²

Eine andere Sichtweise auf den Begriff SCEM wird in OTTO (2003) vorgestellt, wobei SCEM als Management-Konzept, als Software-Lösung und als Software-Komponente angesehen werden kann und diese drei Perspektiven aufgrund diverser Abhängigkeiten untereinander nicht losgelöst voneinander betrachtet werden können. Des Weiteren gehen auf OTTO (2003) die vier grundlegenden Reaktionsmöglichkeiten zur Ereignisbehandlung zurück, welche sich aufgrund ihres Grads der Einflussnahme auf den zugehörigen Prozess unterscheiden:¹³

- *Repair*: Der durch das Ereignis betroffene Prozess kann noch unmittelbar beeinflusst werden.
- *Re-Schedule*: Zeitliche Anpassung bei der Planung der Folgeprozesse
- *Re-Plan*: Grundlegende Neuplanung des Prozesses
- *Learn*: Lernen für die Zukunft

Zuletzt zeichnet sich die Arbeit von BENSEL ET AL. (2008) dadurch aus, dass die fünf SCEM-Grundfunktionen von BITTNER (2000) und die vier grundlegenden Reaktionsmöglichkeiten zur Ereignisbehandlung von OTTO (2003) miteinander in Beziehung gesetzt und zusammengeführt werden.

2.2 Ereignisse als zentraler Bestandteil eines SCEM-Systems

Ein zentraler Bestandteil des SCEM sind Ereignisse, welche als diejenigen Abweichungen zwischen dem geplanten Soll-Zustand und dem tatsächlichen Ist-Zustand definiert werden können, welche spürbare negative oder positive Folgen für die Planung und Ausführung nachfolgender Wertschöpfungsaktivitäten haben können.¹⁴ Daher ist es wichtig, abhängig von den Reaktionsmöglichkeiten unterschiedliche Ereigniskategorien unterscheiden zu können. BENSEL ET AL. (2008) untersuchen vor diesem Hintergrund den Begriff des Ereignisses im Detail und leiten sinnvolle allgemeine Ereigniskategorien ab, welche die Einführung eines SCEM-Systems erleichtern:¹⁵

- *Alarmierende Ereignisse mit Handlungszwang*: Eine Soll-Ist-Abweichung wird als kritisch eingestuft
- *Alarmierende Ereignisse mit Handlungsoption*: Eine Soll-Ist-Abweichung wird als unkritisch eingestuft
- *Konfirmatorische Ereignisse*: Der Soll-Zustand entspricht dem Ist-Zustand

¹² Vgl. Wieser/Lauterbach (2001)

¹³ Vgl. Otto (2003), S. 1 und S. 3

¹⁴ Vgl. Steven/Krüger (2004), S. 181

¹⁵ Vgl. Bensen et al. (2008), S. 8–12

2.3 Existierende Vorgehensmodelle für die Einführung eines SCEM-Systems

In der umfangreichen Studie von BRETZKE ET AL. (2002) wird eine Vorgehensweise für die Einführung eines innerbetrieblichen SCEM-Systems beschrieben, welche aus den folgenden vier Schritten besteht:¹⁶

- *Ist-Prozess-Analyse*: Prozessbeschreibung auf unterschiedlichen Prozessebenen unter Verwendung des SCOR-Modells und des ARIS Toolsets.¹⁷ Aktivitäten stellen die höchste Detaillierungsstufe dar und werden als Entstehungsort von Ereignissen verstanden.
- *Soll-Prozess-Definition*: Soll-Größen festlegen und Ereignisse ableiten, welche durch das SCEM theoretisch erkannt und gemeldet werden könnten. Zu diesem Zweck werden Messpunkte (welche Informationen, werden wann, wo und wie oft gemessen und übermittelt?) definiert und zugehörige Kennzahlen unter Verwendung des SCOR-Modells abgeleitet.
- *Gap-Analyse*: Auflistung von möglichen Fehlerquellen im Prozess und Bewertung der Fehlerquellen in Abhängigkeit der Fehlerwahrscheinlichkeit und der Folgekosten.
- *Festlegung der SCEM-Ereignisse*: Geschäftsregeln definieren und Maßnahmen für den Eintritt definierter Ereignisse festlegen. Ziel ist die Reduzierung von Folgekosten durch die frühzeitige Erkennung von Ereignissen und die Begrenzung negativer Auswirkungen durch vorgedachte Reaktionsmuster. Zu diesem Zweck werden Geschäftsregeln definiert, welche Ereignisse erkennen und diesen bei Eintritt entsprechende Maßnahmen zuordnen. Dabei gilt es nur diejenigen Ereignisse im SCEM umzusetzen, deren Kostenvorteile im Verhältnis zum Modellierungsaufwand überwiegen.

Eine ähnliche Vorgehensweise für die Einführung eines unternehmensübergreifenden SCEM-Systems, welche aus den folgenden fünf Schritten besteht, wird in der Arbeit von STEVEN/KRÜGER (2004) beschrieben:¹⁸

- *Ist-Prozess-Analyse*: Prozessbeschreibung auf unterschiedlichen Prozessebenen mit dem Ziel der Identifikation der kritischen und zu überwachenden Aktivitäten. Ein weiteres Ziel ist die Identifikation möglicher Statusabweichungen und Folgen sowie die Beschreibung zugehöriger Fehlerszenarien.
- *Auswahl der zu überwachenden logistischen Objekte*: Identifikation von realen und abstrakten logistischen Objekten, die durch das SCEM überwacht werden sollen.
- *Festlegung von Statusmeldungen*: Definition von aussagekräftigen Statusmeldungen, die den räumlichen, zeitlichen und sachlichen Zustand eines logistischen Objektes beschreiben. Festlegung, welche Informationen, wann, wo und wie oft gemessen und übermittelt werden vor dem Hintergrund, dass mobile Datenübertragungen ein wichtiger Kostenfaktor sein können.

¹⁶ Vgl. Bretzke et al. (2002), S. 34–38

¹⁷ Vgl. Mayer et al. (2010); Seidlmeier (2010), S. 31

¹⁸ Vgl. Steven/Krüger (2004), S. 186–188

- *Festlegung der SCEM-Ereignisse*: Ziel ist es, Statusmeldungen in Ereignisse überführen zu können. Zu diesem Zweck wird der Soll-Prozess definiert, in welchem Soll-Größen und Toleranzbereiche, aus denen hervorgeht, ab wann eine Soll-Ist-Abweichung kritisch ist, festgelegt werden.
- *Festlegung von Geschäftsregeln*: Geschäftsregeln definieren und Maßnahmen für den Eintritt definierter Ereignisse festlegen. Zu diesem Zweck werden Fehlerszenarien hinsichtlich ihrer Folgen bewertet und zugehörige Ereignisse entsprechend priorisiert. Zudem wird abhängig von den Ereignisprioritäten festgelegt, welche Stakeholder informiert werden sollen, wenn ein entsprechendes Ereignis erkannt wurde.

3 Empfehlungen für die informationstechnische Umsetzung eines Supply Chain Event Management Systems

3.1 Smart Object Technologien liefern Statusinformationen über logistische Objekte in Echtzeit und sind eine Grundvoraussetzung für das SCEM

Die Einführung eines Supply Chain Event Managements setzt die Definition von Soll-Werten und zugehörigen Toleranzbereichen voraus, die den Ist-Werten gegenübergestellt werden.¹⁹ Um im Rahmen des SCEM einen Abgleich zwischen dem geplanten Soll-Zustand und dem tatsächlichen Ist-Zustand eines logistischen Objektes durchführen zu können, ist es zunächst notwendig, den Ist-Zustand des logistischen Objektes informationstechnisch erfassen zu können.²⁰ Zu diesem Zweck können so genannte Smart Object Technologien (SOT) wie Radio Frequency Identification (RFID), Real-Time Locating Systems (RTLS) und Wireless Sensor Networks (WSN) an die logistischen Objekte angebracht werden, welche die benötigten Informationen zeitnah liefern.²¹

Ein mit einer SOT ausgerüstetes Objekt wird daher auch als intelligentes Objekt (Smart Object) bezeichnet, da diesem durch den Technologieeinsatz eine gewisse Intelligenz zugesprochen werden kann: im Idealfall kann ein intelligentes Objekt eindeutig identifiziert werden, Informationen speichern und verarbeiten, seine Umgebung durch Sensoren überwachen und über Aktoren mit dieser interagieren, mit seiner Umgebung drahtlos kommunizieren sowie alleine oder mit Hilfe zusätzlicher Infrastruktur seine Position im zwei- oder dreidimensionalen Raum ermitteln.²²

3.2 Umwandlung von Statusinformationen in Ereignisse auf Basis von Geschäftsregeln und Kennzahlen unter Verwendung von Rule Engines

Aus betriebswirtschaftlicher Sicht können Geschäftsregeln als „Formulierungen von Vereinbarungen und Restriktionen, die im Rahmen der Bearbeitung einer betrieblichen

¹⁹ Vgl. Bretzke et al. (2002), S. 2; Steven/Krüger (2004), S. 193–194; Bensel et al. (2008), S. 5–6

²⁰ Vgl. Bretzke et al. (2002), S. 25

²¹ Vgl. Finkenzeller (2008) für RFID, Malik (2009) für RTLS und Karl/Willig (2007) für WSN

²² Vgl. Sánchez López et al. (2009), S. 5; Vasseur/Dunkels (2010), S. 3

Aufgabe erfüllt sein müssen“ bezeichnet werden.²³ Dagegen können Geschäftsregeln aus Sicht der Informatik allgemein als Wissen verstanden werden, welches sich durch formale Wenn-Dann-Konstrukte mit mehreren Prämissen (Wenn) und definierten Reaktionen (Dann) ausdrücken lässt.²⁴

Zur effizienten Auswertung derartiger formaler Geschäftsregeln, welche auch als Produktionsregeln (Production Rules) oder als Schlussregeln (Inference Rules) bezeichnet werden, haben sich in der Informatik insbesondere Business Rule Engines (BRE) und Complex Event Processing (CEP) Rule Engines herausgebildet.²⁵ Da im Wenn-Teil einer solchen Regel beliebige Soll-Ist-Vergleiche durchgeführt werden können, liegt es nahe, dass ein SCEM-System auf Basis einer Rule Engine effizient umgesetzt werden kann, indem Statusmeldungen aus Prozessen auf Basis hinterlegter Geschäftsregeln in Echtzeit in Ereignisse umgewandelt und damit vorgedachte Reaktionsmuster angestoßen werden.²⁶ Zudem erlaubt der Einsatz einer Rule Engine bei Verwendung eines mit allen Stakeholdern abgestimmten Glossars in Verbindung mit einer Domain Specific Language (DSL) die natürlichsprachliche Definition von Geschäftsregeln, welche auch Nicht-IT-Fachleute verstehen und nachvollziehen können.²⁷ In diesem Zusammenhang stellen die technischen Berichte von HOLLOWAY (2009) und GUALTIERI ET AL. (2009) sehr gute Marktübersichten über kommerzielle und frei verfügbare BRE- und CEP-Lösungen dar.²⁸

SCHEER/WERTH (2005) weisen darauf hin, dass Geschäftsregeln mit Kennzahlen bzw. mit Kennzahlensystemen gekoppelt werden können und dass auf dieser Basis „eine Soll-Ist-Analyse aller erfolgskritischen Kennzahlen selbst bei dynamisch eintretenden Veränderungen in Echtzeit möglich“ ist.²⁹ Nach FRANCESCHINI ET AL. (2007), ARNOLD ET AL. (2008) und HOMPEL/HEIDENBLUT (2008) lassen sich Kennzahlen, Schlüsselkennzahlen und Kennzahlensysteme wie folgt beschreiben: Kennzahlen sind im „Controlling von Logistiksystemen [...] verwendete Zahlen, die einen signifikanten Sachverhalt repräsentieren“, in komprimierter Form über Prozesse informieren und deren Kontrolle und Steuerung dienen.³⁰ Dabei unterstützen Kennzahlen die Kontrolle durch die Beurteilung der Leistung eines Prozesses, die Steuerung durch die Identifikation von Abweichungen und Problemen innerhalb eines Prozesses sowie die vereinfachte Kommunikation der Leistungsergebnisse an interne und externe Stakeholder durch die zweckmäßige Verdichtung von Informationen für einen schnellen Überblick.³¹ Dabei werden besonders stark aggregierte Kennzahlen mit hoher Aussagekraft

²³ Vgl. Endl (2004), S. 17

²⁴ Vgl. Wunderlich (2006), S. 45; Browne (2009), S. 13

²⁵ Vgl. Holloway (2009), S. 5–6

²⁶ Vgl. Stork (2002), S. 57

²⁷ Vgl. Lempert et al. (2010), S. 238

²⁸ Vgl. Holloway (2009); Gualtieri et al. (2009)

²⁹ Vgl. Scheer/Werth (2005), S. 10–11

³⁰ Vgl. Hompel/Heidenblut (2008), S. 138

³¹ Vgl. Franceschini et al. (2007), S. 10–11; Arnold et al. (2008), S. 397

als Schlüsselkennzahlen (Key Performance Indicators, KPIs) bezeichnet. Für die Ableitung von KPIs werden zumeist anwendungsspezifische Kennzahlensysteme verwendet, welche über mehrere Hierarchieebenen hinweg jeweils eine Reihe zusammengehöriger Einzelkennzahlen derselben Hierarchieebene zu einer aussagekräftigeren Kennzahl auf einer höheren Hierarchieebene zusammenfassen.³² Vor diesem Hintergrund wird klar, dass Kennzahlen zur Ableitung von Soll-Werten für Geschäftsregeln herangezogen werden können.

Abb. 3 fasst die in diesem Abschnitt diskutierten Konzepte zusammen und stellt anschaulich dar, wie Statusinformationen auf Basis von Geschäftsregeln und Kennzahlen unter Verwendung von Rule Engines in Ereignisse umgewandelt werden können.

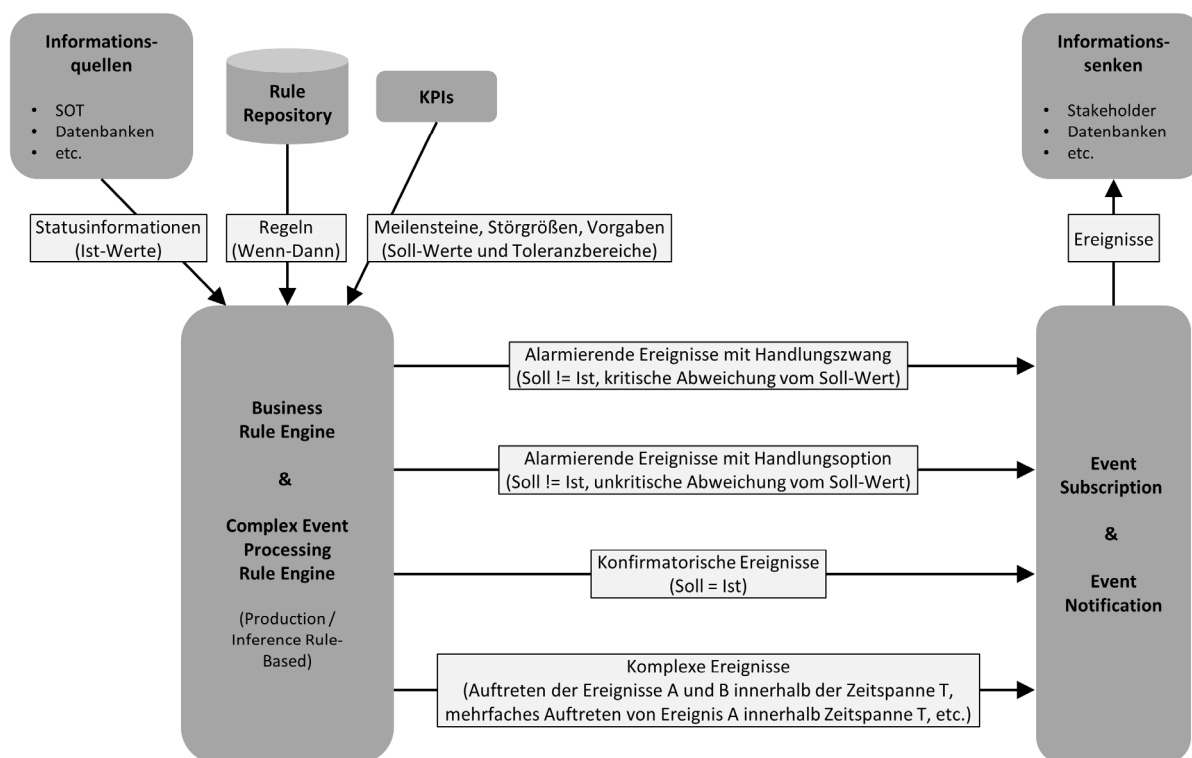


Abb. 3: Umwandlung von Statusinformationen in Ereignisse auf Basis von Geschäftsregeln und Kennzahlen unter Verwendung von Rule Engines³³

4 Darstellung eines strukturierten Vorgehensmodells für die Entwicklung und Einführung eines SCEM-Systems

4.1 Übersicht

Die Einführung eines SCEM-Systems sollte sich an einer strukturierten Vorgehensweise orientieren, um am Ende zu dem gewünschten Ergebnis zu führen. Da sich ein Smart Object-basiertes SCEM-System zielführend und effizient auf der Basis sinnvoller Kennzahlen und Geschäftsregeln umsetzen lässt (vgl. Kapitel 2), ist die hier vorge-

³² Vgl. Arnold et al. (2008), S. 399; Hompel/Heidenblut (2008), S. 139

³³ Eigene Darstellung unter Verwendung der Ereigniskategorien von Bensel et al. (2008), S. 12

stellte Vorgehensweise insbesondere auf die Auswahl der am besten geeigneten Smart Object Technologie, auf die Ermittlung besonders aussagekräftiger Kennzahlen sowie auf die Ableitung zugehöriger Geschäftsregeln ausgelegt. Insgesamt gliedert sich das hier vorgestellte Vorgehensmodell in die in Abb. 4 dargestellten fünf Schritte, welche nachfolgend näher erläutert werden.

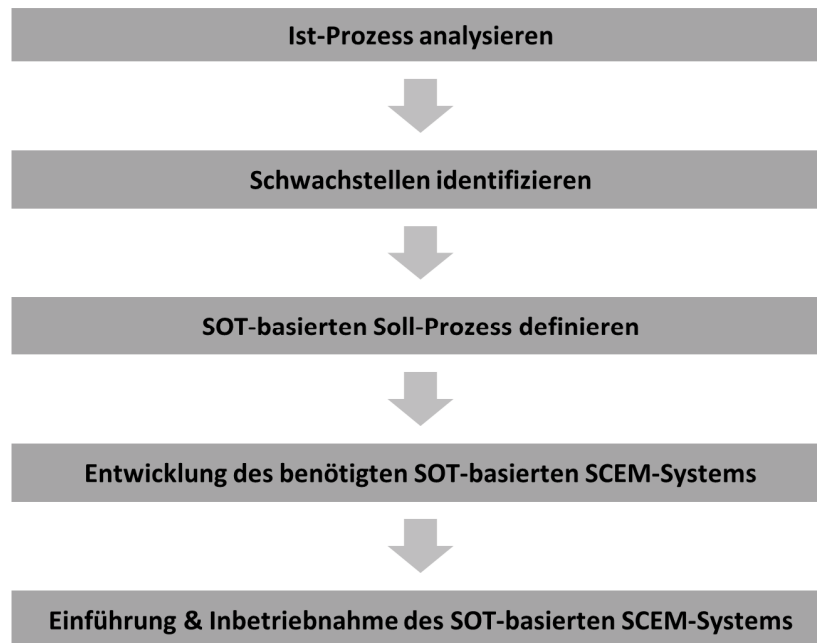


Abb. 4: Strukturiertes Vorgehensmodell zur Entwicklung und Einführung eines SCEM-Systems auf Basis von Smart Object Technologien (SOT), Kennzahlen und Geschäftsregeln

4.2 Ist-Prozess analysieren

Um herauszufinden, wo Optimierungspunkte bestehen, muss zunächst eine detaillierte Ist-Prozess-Analyse durchgeführt werden. Zu diesem Zweck muss der fragliche Prozess zunächst modelliert werden. Dabei empfiehlt es sich, die Modellierung auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen unter Einsatz geeigneter Modellierungstechniken wie Wertschöpfungsdiagrammen und ereignisgesteuerten Prozessketten durchzuführen.³⁴ ausgehend vom Gesamtprozess sollten zugehörige Teilprozesse und schließlich Aktivitäten modelliert werden, bis ein geeigneter Detaillierungsgrad erreicht ist. Danach gilt es die maßgeblichen Größen zu ermitteln, welche auf einen Teilprozess und dessen Aktivitäten einwirken und somit die Prozessqualität bestimmen. Zu diesem Zweck empfiehlt sich die Durchführung eines so genannten Process-Mappings wie es bspw. in ALDINGER (2007) beschrieben wird: hierbei gilt es gewünschte Prozessziele zu ermitteln, die tatsächlichen Prozesseingänge (Inputs) und Prozessergebnisse (Outputs) zu dokumentieren und herauszufinden, welche Einflussfaktoren (Meilensteine, Störgrößen, Vorgaben) auf den Prozess in welchem Maße einwirken.³⁵

³⁴ Vgl. Seidlmeier (2010), S. 21–24

³⁵ Vgl. Aldinger (2007)

4.3 *Schwachstellen identifizieren*

Die Identifikation existierender Schwachstellen sollte, wie bspw. in BAKER (2002) und PARMENTER (2010) beschrieben, mit der Ableitung der kritischen Erfolgsfaktoren (KEF) aus den in der Ist-Prozess-Analyse identifizierten Einflussfaktoren beginnen, da diese erste Anhaltspunkte für mögliche Schwachstellen und zu optimierende Teilprozesse liefern. Danach gilt es, Kennzahlen zur Messung der KEF abzuleiten, Soll-Werte und Toleranzbereiche für die Kennzahlen zu definieren und diese Kennzahlen zu wenigen relevanten Key Performance Indicators (KPIs) zu verdichten.³⁶

4.4 *SOT-basierten Soll-Prozess definieren*

Um einen auf einer Smart Object Technologie (SOT) basierenden Soll-Prozess definieren zu können, gilt es zunächst, die durch die SOT zu überwachenden logistischen Bezugsobjekte (bspw. Assets) auszuwählen. Sind diese bekannt, dann wird vor dem Hintergrund der technischen Machbarkeit die Liste aller verfügbaren SOT auf eine Auswahl geeigneter SOT eingeschränkt. Im Anschluss wird der erzielbare Zusatznutzen der einsetzbaren SOT mit dem Ziel bestimmt, die SOT mit dem größtem Zusatznutzen auszuwählen. Weiterhin gilt es zu dokumentieren, welche weiteren Informationsquellen neben der gewählten SOT für das SCEM herangezogen werden können (bspw. existierende Datenbanken und Anwendungen in einem Unternehmen).

Mit dem Wissen über die verfügbaren Informationsquellen und den in der Ist-Analyse ermittelten Einflussfaktoren (Meilensteine, Störgrößen, Vorgaben) können dann die Ereignisse abgeleitet werden, welche durch das SCEM theoretisch erkannt und gemeldet werden könnten. Analog zu der Verdichtung von einer Vielzahl von Kennzahlen zu wenigen Aussagekräftigen KPIs sollten jedoch im Anschluss die gefundenen Ereignisse hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf Folgeprozesse bewertet und priorisiert werden. An dieser Stelle können dann Regeln zur Umwandlung von Statusinformationen in Ereignisse abgeleitet sowie Reaktionen und Maßnahmen zur Ereignisbehandlung festgelegt werden.

Steht die Menge an Ereignissen, die durch das SCEM erkannt werden sollen, fest, so gilt es festzulegen, an welchen Punkten im Prozess die SOT wann und wie oft Messungen durchführen und Statusinformationen übermitteln soll. Auf dieser Basis lässt sich dann der Soll-Prozess analog zu dem Ist-Prozess auf unterschiedlichen Detaillierungsebenen modellieren.

Auf Grundlage des Soll-Prozesses können dann die Anforderungen an das benötigte IT-System ermittelt werden. Darauf aufbauend können dann die Systemarchitektur des benötigten IT-Systems sowie ein Konzept für die Integration in die bestehende IT-Landschaft entworfen werden.

Zuletzt sollte eine Kosten-Nutzen-Analyse durchgeführt werden, um zu entscheiden, ob sich die Einführung eines SOT-basierten SCEM lohnt.

³⁶ Vgl. Baker (2002); Parmenter (2010)

4.5 Entwicklung des benötigten SOT-basierten SCEM-Systems

Die tatsächliche Systementwicklung beginnt mit der Implementierung der Systemarchitektur des benötigten IT-Systems. Ziel ist es, die gewählte SOT an die bestehende IT-Landschaft anzubinden, die zu erkennenden Ereignisse und Geschäftsregeln informationstechnisch abzubilden und ggf. weitere notwendige Software zu entwickeln. An dieser Stelle sollte eine Integrationsplattform für unterschiedliche SOT zum Einsatz kommen, wie sie von LEMPERT/PFLAUM (2011) beschrieben wird.³⁷ Während der Entwicklung sollten Prototypen und Pilotsysteme erstellt und vorgeführt werden, um am Ende das gewünschte Resultat vorlegen zu können. Nach erfolgreichem Systemtest, der Übergabe des Systems und einem erfolgreichen Abnahmetest ist die Entwicklungsphase beendet.

4.6 Einführung und Inbetriebnahme des SOT-basierten SCEM-Systems

Abschließend gilt es das SOT-basierte SCEM-System in der geplanten Zielumgebung zu installieren und in Betrieb zu nehmen. Spätestens zu diesem Zeitpunkt sollten alle beteiligten Stakeholder im Umgang mit dem System geschult werden.

5 Bisher erreichte Ergebnisse bei der Entwicklung und Einführung eines sensornetzbasierten SCEM-Systems zur Optimierung des innerbetrieblichen Asset Management Prozesses für Mess- und Prüfgeräte am Fraunhofer IIS

5.1 Einleitung

Die Entwicklung und Einführung des sensornetzbasierten SCEM-Systems zur Optimierung des innerbetrieblichen Asset Management Prozesses für Mess- und Prüfgeräte am Fraunhofer IIS orientiert sich an den Empfehlungen zur technischen Umsetzung aus Abschnitt 3 und an der Vorgehensweise zur Einführung und Entwicklung eines derartigen Systems aus Abschnitt 4. Jedoch werden an dieser Stelle aus Platzgründen lediglich die wichtigsten bisher erreichten Ergebnisse verkürzt wiedergegeben.

5.2 Schwachstellen im Ist-Prozess und zugehörige Kennzahlen

Im Zuge der Identifikation von Schwachstellen im Ist-Prozess wurden kritischer Erfolgsfaktoren (KEF) des innerbetrieblichen Asset Management Prozesses identifiziert, zugehörige Kennzahlen zur Messung der KEF abgeleitet und zu wenigen aussagekräftigen Key Performance Indicators (KPIs) verdichtet. Eine Auswahl der gefundenen KEF und der zugehörigen KPIs ist in Tab. 1 aufgeführt.

³⁷ Vgl. Lempert/Pflaum (2011)

Kritischer Erfolgsfaktor	Key Performance Indicator
Schnelle Benutzbarkeit von Messgeräten	Mittlere Zeit bis zur Gerätenutzung
Reduktion überflüssiger Lagerbestände	Mittlere Zeit zwischen zwei Nutzungen (Time Between Use)
Verwaltungsaufwand für Messgeräte	Durchschnittliche Inventurzeit eines Messgerätes pro Messauftrag

Tab. 1: Auswahl kritischer Erfolgsfaktoren des innerbetrieblichen Asset Management Prozesses für Mess- und Prüfgeräte und zugehörige Key Performance Indicators³⁸

5.3 Erfassung von Mess- und Prüfgeräten durch Sensorknoten



Abb. 5: Messgerät, welches im Rahmen des Supply Chain Event Managements für das innerbetriebliche Asset Management durch einen s-net Sensorknoten des Fraunhofer IIS überwacht wird

Im Rahmen der Definition des SOT-basierten Soll-Prozesses wurden unterschiedliche Smart Object Technologien wie RFID, RTLS und WSN hinsichtlich ihrer technischen Eignung und des erzielbaren Zusatznutzens bewertet. Dabei wurden Sensorknoten, welche über eine Ortungsfunktion verfügen, vor dem Hintergrund folgender erzielbarer Nutzenpotenziale am höchsten bewertet:

- Einsparungen durch die Vermeidung von Suchprozessen
- Erkennen von Beschädigungen
- Reduzierung von Out-of-Stock-Situationen
- Reduzierung des Anlagenbestandes
- Höhere Effizienz bei Inventurprozessen
- Reduktion von Verlusten durch Verstapelung und Diebstahl

Da Sensorknoten batteriebetrieben sind, würde ein häufiger Batteriewechsel bei einer Vielzahl von Geräten schnell die Wirtschaftlichkeit einer sensornetzbasierter Lösung in Frage stellen. In der Folge wurden die vom Fraunhofer IIS entwickelten besonders

³⁸ Details, weitere KEF, zugehörige Kennzahlen und KPIs können in Förder (2010), S. 56–74 nachgelesen werden

energieeffizienten s-net Sensorknoten für die Erfassung der Ist-Zustände ausgewählt (vgl. Abb. 5).³⁹

5.4 Implementierung des SCEM-Systems auf Basis der Integrations- und Anwendungsplattform für unterschiedliche Smart Object Technologien

Die Umsetzung des SCEM-Systems erfolgt auf Basis einer am Fraunhofer IIS entwickelten Integrations- und Anwendungsplattform für unterschiedliche Smart Object Technologien, deren abstrakte Systemarchitektur in LEMPERT/PFLAUM (2011) nachgelesen werden kann.⁴⁰ Das SCEM wird dabei auf Basis der Event Management Services der Plattform realisiert, wobei in der konkreten Implementierung JBoss Drools Expert als Business Rule Engine und JBoss Drools Fusion als Complex Event Processing Rule Engine zum Einsatz kommen.⁴¹ Weiterhin stellt die Plattform grundlegende Asset Management Services zur Verfügung auf dessen Basis eine umfangreichere Asset Management Anwendung entwickelt wurde (vgl. Abb. 6 bis Abb. 8).⁴²



Abb. 6: Übersicht über die unterschiedlichen Funktionen des entwickelten Asset Management Systems

³⁹ Vgl. Fraunhofer IIS (2010)

⁴⁰ Vgl. Lempert/Pflaum (2011)

⁴¹ Vgl. Lempert/Pflaum (2011), S. 5–6; Bali (2009), S. 14

⁴² Vgl. Lempert/Pflaum (2011), S. 6

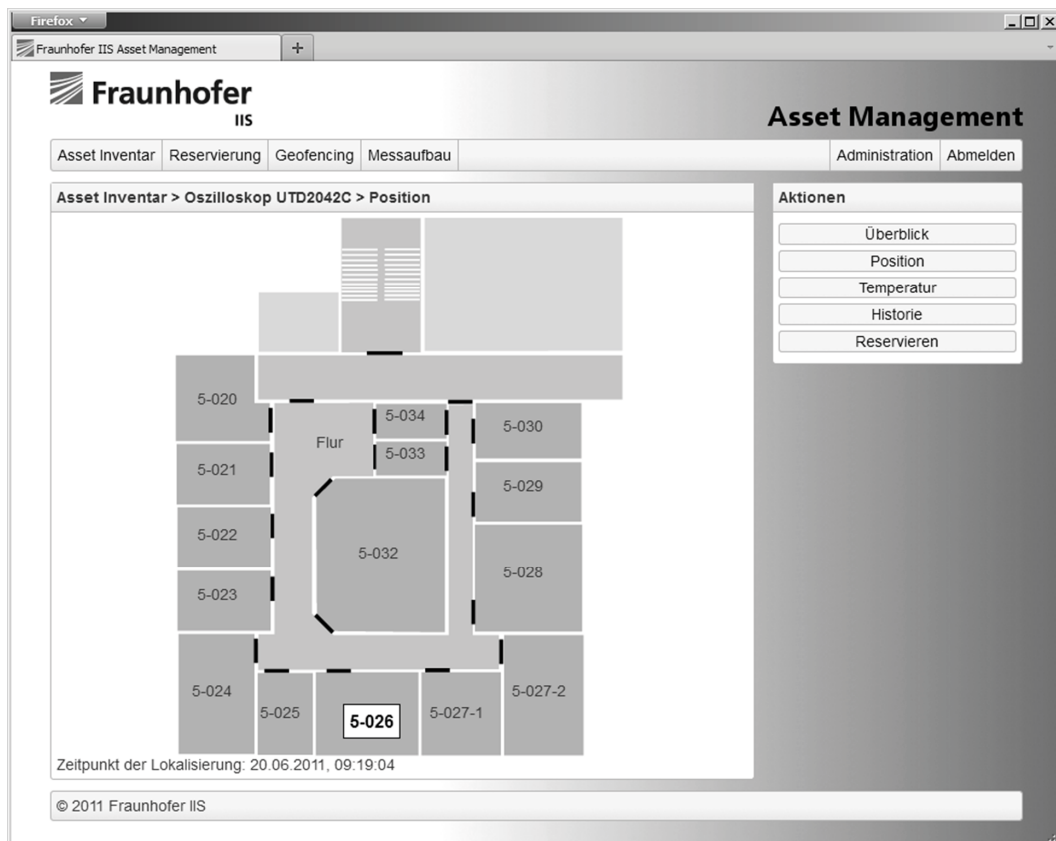


Abb. 7: Darstellung der letzten bekannten Position eines Assets

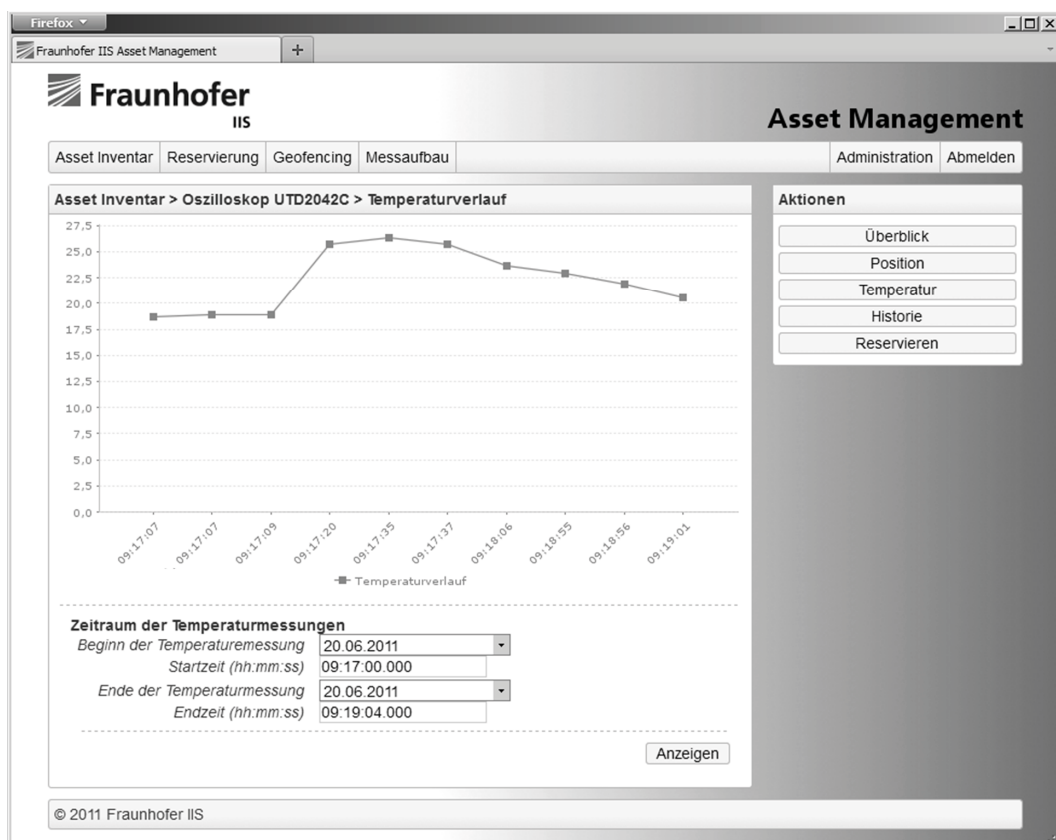


Abb. 8: Darstellung des Temperaturverlaufs eines Assets

6 Zusammenfassung und Ausblick

6.1 Zusammenfassung des Beitrags und der Ergebnisse

In dem vorliegenden Beitrag wurde zunächst motiviert, dass sich intransparente und manuell ablaufende Asset Management Prozesse negativ auf nachfolgende Wertschöpfungsaktivitäten auswirken können. Weiterhin wurde aufgezeigt, dass sich das Supply Chain Event Management diesem Problem annimmt, indem es zu Prozesstransparenz führt und hilft, negative Auswirkungen auf nachfolgende Wertschöpfungsaktivitäten frühzeitig zu erkennen. Vor diesem Hintergrund wurde untersucht, wie sich das innerbetriebliche Asset Management am Fraunhofer IIS durch den Einsatz eines sensornetzbasierten Supply Chain Event Managements optimieren lässt. Zu diesem Zweck wurden Empfehlungen für die informationstechnische Umsetzung eines SCEM-Systems erarbeitet. Weiterhin wurde ein strukturiertes Vorgehensmodell für die Entwicklung und Einführung eines SCEM-Systems vorgestellt. Zudem wurden die bisher erreichten Ergebnisse bei der Entwicklung und Einführung eines sensornetzbasierten SCEM-Systems zur Optimierung des innerbetrieblichen Asset Management Prozesses für Mess- und Prüfgeräte am Fraunhofer IIS aufgezeigt.

6.2 Ausblick auf zukünftige Entwicklungen

Bisher werden noch nicht alle identifizierten KPIs, Ereignisse und Geschäftsregeln über das realisierte SCEM-System abgebildet. So gibt es am Fraunhofer IIS zusätzliche Datenbanken und Informationssysteme, welche neben den bereits angebundenen Sensorknoten als zusätzliche Informationsquellen für das SCEM dienen könnten. Zukünftige Ausbaustufen des SCEM-Systems werden entsprechend erweitert. Des Weiteren wird die darauf aufbauende Asset Management Anwendung gleichermaßen erweitert. So wird sich in einer zukünftigen Ausbaustufe der Asset Management Anwendung beispielsweise ein Dashboard zur Visualisierung der KPIs finden.

6.3 Forschungshintergrund und Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde am Zentrum für Intelligente Objekte ZIO erstellt und durch das Bayrische Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie gefördert.

Für die Förderung der Forschungsaktivitäten am ZIO sei an dieser Stelle herzlich gedankt. Unser Dank gilt außerdem den im ZIO engagierten Firmen für die Unterstützung der Arbeiten.

Zuletzt sei Herrn Sebastian Förder für die Anfertigung seiner hervorragenden Diplomarbeit gedankt, in welcher viele Grundlagen für den vorliegenden Beitrag erarbeitet wurden.⁴³

⁴³ Vgl. Förder (2010)

7 Literaturverzeichnis

- Aldinger, L. (2007): Six Sigma in der Logistik. In: Gienke, H; Kämpf, R. (Hg.): Handbuch Produktion. Innovatives Produktionsmanagement: Organisation, Konzepte, Controlling. München: Hanser, S. 1193–1218.
- Arnold, D.; Isermann, H.; Kuhn, A.; Tempelmeier, H.; Furmans, K. (Hg.) (2008): Handbuch Logistik. 3., neu bearb. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag (VDI-Buch).
- Baker, T. (2002): Key Performance Indicators Manual. A Practical Guide for the Best Practice Development, Implementation and Use of KPIs. Crows Nest, N.S.W, Australien: Allen & Unwin.
- Bali, M. (2009): Drools JBoss Rules 5.0 Developer's Guide. Develop rules-based business logic using the Drools platform. Birmingham, UK: Packt Publ.
- Bensel, P.; Fürstenberg, F.; Vogeler, S. (2008): Supply Chain Event Management. Entwicklung eines SCEM-Frameworks. Berlin, Germany: Universitätsverlag der Technischen Universität Berlin (Digitale Schriftenreihe Logistik der Technischen Universität Berlin).
- Bittner, M. (2000): E-Business Requires Supply Chain Event Management. The AMR Research Report on Supply Chain Management for November 2000. Research Report. AMR Research. Boston, MA, USA.
- Bretzke, W.; Stölzle, W.; Karrer, M.; Ploenes, P. (2002): Vom Tracking & Tracing zum Supply Chain Event Management. aktueller Stand und Trends. Studie. KPMG Consulting AG. Berlin, Germany.
- Browne, P. (2009): JBoss Drools Business Rules. Capture, automate, and reuse your business processes in a clear English language that your computer can understand. Birmingham, UK: Packt Publ.
- Endl, R. (2004): Regelbasierte Entwicklung betrieblicher Informationssysteme. Gestaltung flexibler Informationssysteme durch explizite Modellierung der Geschäftslogik. Dissertation. Lohmar-Köln: Josef Eul Verlag 2004 (Wirtschaftsinformatik, 45).
- Finkenzeller, K. (2008): RFID-Handbuch. Grundlagen und praktische Anwendungen induktiver Funkanlagen, Transponder und kontaktloser Chipkarten. 5., aktualisierte und erw. Aufl. Munich, Germany: Hanser.
- Förder, S. (2010): Einführung eines Supply Chain Event Managements für das Asset Management des Fraunhofer IIS auf Basis von Sensornetzen. Diplomarbeit. Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Nürnberg. Rechts- und Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insb. Logistik.
- Franceschini, F.; Galetto, M.; Maisano, D. (2007): Management by Measurement. Designing Key Indicators and Performance Measurement Systems. 1. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Fraunhofer IIS (Hg.) (2010): Wireless Sensor Networks. Firmenschrift. Fraunhofer IIS. Online verfügbar unter http://www.iis.fraunhofer.de/en/Images/Wireless_Sensor_Networks_tcm183-84849.pdf, zuletzt geprüft am 20.06.2011.
- Gualtieri, M.; Rymer, J. R.; Heffner, R.; Yu, W. (2009): The Forrester Wave: Complex Event Processing (CEP) Platforms, Q3 2009. Technical Report. Forrester Research Inc. Cambridge, MA, USA.
- Holloway, S. (2009): Business Rules Management. Managing business rules of an organisation. Technical Report. Bloor Research. London, UK.
- Hompel, M.; Heidenblut, V. (2008): Taschenlexikon Logistik. Abkürzungen, Definitionen und Erläuterungen der wichtigsten Begriffe aus Materialfluss und Logistik. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Hompel, M.; Hellingrath, B. (2007): IT & Forecasting in Industrie und Handel. In: Wimmer, T; Bobel, T. (Hg.): 24. Deutscher Logistik-Kongress. Effizienz, Verantwortung, Erfolg. Kongressband, Berlin, 17.-19.10.2007. Hamburg: Deutscher Verkehrs-Verlag, S. 282–310.
- Karl, H.; Willig, A. (2007): Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks. 2007 John Wiley & Sons Ltd. pbk. ed. Chichester, West Sussex, UK: John Wiley & Sons.
- Klaus, P. (2002): Logistik - Flow Management. Brevier und Glossar. Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Nürnberg (Nürnberger Logistik-Arbeitspapier, 8).

- Lempert, S.; Harrer, M.; Krupp, M.; Pflaum, A. (2010): Transparente und effiziente Prozesse im Erdbau durch ereignisgesteuertes Stoffstrommanagement auf Basis von Smart Objects und Business Rule Management. In: Fähnrich, K., Franczyk, B. (Hg.): INFORMATIK 2010. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V. (GI) (LNI - Proceedings, P-175), S. 233–244.
- Lempert, S.; Pflaum, A. (2011): Towards a Reference Architecture for an Integration Platform for Diverse Smart Object Technologies. In: Höpfner, H.; Specht, G.; Ritz, T.; Bunse, C. (Hg.): MMS 2011. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V. (GI) (LNI - Proceedings, P-185), S. 53–66.
- Malik, A. (2009): RTLS for Dummies. 1st ed. Indianapolis, IN, USA: Wiley Pub. Inc.
- Mayer, P.; Reiner, A.; Wittkowsky, D.; Kästle, G. (2010): Mit ARIS Express zum SCOR-Referenzmodell. How To Use The Approach - Consultant Paper. Studiengang Wirtschaftsinformatik, DHBW Ravensburg. Ravensburg (Arbeitsberichte zur Wirtschaftsinformatik, 01/2010).
- Nissen, V. (2002): Supply Chain Event Management. In: WI 44 (5), S. 477–480.
- Okhrin, I. (2008): Supply Chain Management. In: Kurbel, K.; Becker, J.; Gronau, N.; Sinz, E.; Suhl, L. (Hg.): Enzyklopädie der Wirtschaftsinformatik – Online-Lexikon. Vierte Auflage. München : Oldenbourg, 24.9.2008. Online verfügbar unter <http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de>, zuletzt aktualisiert am 17.09.2008, zuletzt geprüft am 11.02.2011.
- Otto, A. (2003): Supply Chain Event Management. Three Perspectives. In: IJLM 14 (2), S. 1–13. Online verfügbar unter doi:10.1108/09574090310806567, zuletzt geprüft am 10.02.2011.
- Parmenter, D. (2010): Key Performance Indicators. Developing, Implementing, and Using Winning KPIs. 2. Aufl. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons.
- Publicly Available Specification PAS 55-1:2008 (2008): Asset Management. Part 1: Specification for the optimized management of physical assets.
- Publicly Available Specification PAS 55-2:2008 (2008): Asset Management. Part 2: Guidelines for the application of PAS 55-1.
- Richert, J. (2006): Performance Measurement in Supply Chains. Balanced Scorecard in Wertschöpfungsnetzwerken. Wiesbaden: Gabler.
- Sánchez López, T.; Ranasinghe, D. C.; Patkai, B.; McFarlane, D. (2009): Taxonomy, technology and applications of smart objects. In: ISF (Online First). Online verfügbar unter doi:10.1007/s10796-009-9218-4, zuletzt geprüft am 15.10.2010.
- Scheer, A.; Werth, D. (2005): Geschäftsprozessmanagement und Geschäftsregeln. Institut für Wirtschaftsinformatik (IWi) im Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI). Saarbrücken (IWi-Heft, 183).
- Scholz-Reiter, B.; Jakobza, J. (1999): Supply Chain Management. Überblick und Konzeption. In: HMD 36 (3), S. 7–15.
- Seidlmeier, H. (2010): Prozessmodellierung mit ARIS. Eine beispielorientierte Einführung für Studium und Praxis. 3., aktualisierte Auflage. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.
- Steven, M.; Krüger, R. (2004): Supply Chain Event Management für globale Logistikprozesse. Charakteristika, konzeptionelle Bestandteile und deren Umsetzung in Informationssysteme. In: Spengler, T.; Voss, S.; Kopfer, H. (Hg.): LM 2003. Heidelberg: Physica-Verlag Berlin Heidelberg, S. 179–196.
- Stevens, G. C. (1989): Integrating the Supply Chain. In: IJPD & LM 19 (8), S. 3–8. Online verfügbar unter doi:10.1108/EUM00000000000329, zuletzt geprüft am 10.03.2011.
- Stork, F. (2002): Supply Chain Event Management. Dynamisches Prozessmanagement in Echtzeit mit Geschäftsregeln. In: Industrie Management 18 (6), S. 57–60.
- Sucky, E. (2004): Koordination in Supply Chains. Spieltheoretische Ansätze zur Ermittlung integrierter Bestell- und Produktionspolitiken. Dissertation. 1. Aufl. Wiesbaden, Frankfurt am Main: Dt. Univ.-Verl.
- Vasseur, J.; Dunkels, A. (2010): Interconnecting smart objects with IP. The next Internet. Burlington, MA, USA: Morgan Kaufmann/Elsevier.

Wieser, O.; Lauterbach, B. (2001): Supply Chain Event Management mit mySAP SCM (Supply Chain Management). In: HMD 38 (3), S. 65–71.

Wunderlich, L. (2006): Java Rules Engines. Entwicklung von regelbasierten Systemen. 1. Aufl. s.l: entwickler.press.

Erfolgsfaktoren von Logistikdienstleistungsinnovationen

Bastian Hornbostel

Lehrstuhl für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre und Logistik,
Philipps-Universität Marburg, Am Plan 2, 35037 Marburg,
bastian.hornbostel@wiwi.uni-marburg.de

Abstract/Zusammenfassung

Zur Auftragsakquise und Wettbewerbsdifferenzierung werden Innovationen für Logistikdienstleister immer wichtiger. Nicht nur die Logistikunternehmen, auch die Logistikforschung hat diese Entwicklung versäumt. Hohe Flopraten sowie knappe Ressourcen stellen Logistikdienstleister vor die Frage, welche Innovationsprojekte verfolgt, wie Innovationsprozesse und -merkmale ausgestaltet und welche Ressourcen zur Verfügung gestellt werden sollten. Das Ziel des vorliegenden Beitrags besteht vor diesem Hintergrund in der Entwicklung eines ganzheitlichen Erfolgsfaktorenmodells für Logistikdienstleistungsinnovationen. Theoriegeleitet werden anhand des resource-based views und dynamic capabilities views unternehmensinterne Erfolgsfaktoren identifiziert, die den erfolgreichen Projektabschluss erklären. Basierend auf der Adoptions- und Diffusionstheorie erfolgt im Anschluss die Herleitung von Innovationsmerkmalen, die sich positiv auf den Innovationserfolg am Markt auswirken. Aus der Vereinigung der internen und externen Perspektive entsteht ein ganzheitliches Erfolgsfaktorenmodell für Innovationen. Dieses wird unter Berücksichtigung der besonderen Eigenschaften von Dienst- im Vergleich zu Sachleistungen spezifiziert und für Logistikdienstleistungen operationalisiert. Der Beitrag schließt mit einer kritischen Würdigung sowie der Darstellung des weiteren Forschungsbedarfs.

1 Zur Relevanz eines Managements von Logistikdienstleistungsinnovationen

Im Zuge steigender Wettbewerbsintensität und zunehmender Globalisierung konzentrieren sich viele Hersteller- und Handelsunternehmen verstärkt auf ihre Kernkompetenzen.¹ Während sich Logistikoutsourcing früher auf TUL-Leistungen beschränkte, kann inzwischen ein signifikanter Anstieg der Fremdvergabe komplexer und kundenindividueller logistischer Systemdienstleistungen konstatiert werden.² Hiermit einher geht eine zunehmende Abhängigkeit der Unternehmen von ihren Logistikdienstleistern,³ was auch die kontinuierliche Weiterentwicklung und Verbesserung ihrer Logistiksysteme betrifft.⁴ In der Konsequenz ist das Verbesserungsstreben der Logistikdienstleister zum dritt wichtigsten Auswahlkriterium für die Wiederbeauftragung und sogar zum wichtigsten Kriterium für die Beauftragung mit zusätzlichen Logistikdienstleistungen avanciert.⁵

Den Erwartungen nach kontinuierlichen Innovationen werden viele Logistikdienstleister jedoch nicht gerecht, was sich in einer zunehmenden Unzufriedenheit der Verlager manifestiert.⁶ Ursachen für die unzureichende Innovationsleistung sind geringe Innovationsaufwendungen, ein unsystematisches Innovationsmanagement, mangelnde Kompetenzen, Erfahrungen und Anreize sowie ein fehlendes Innovationsbewusstsein.⁷ Die Logistikdienstleister selbst sehen in mangelnden zeitlichen und finanziellen Ressourcen die größten Innovationsbarrieren.⁸ Teilweise ist ihnen die unzureichende Innovationsleistung gar nicht bewusst, sodass es zu großen Diskrepanzen in der Selbst- und Fremdwahrnehmung der Innovationsleistung kommt.⁹ Angesichts der Bedeutung von Innovationen für die Differenzierung im Wettbewerb stellt die effektive und effiziente Realisierung von Logistikdienstleistungsinnovationen eine absolute Notwendigkeit dar.¹⁰ Da die wissenschaftliche Literatur zum Innovationsmanagement in der Logistik bislang spärlich ist, fehlt es an praktischen Anleitungen zum erfolgreichen Management von Logistikdienstleistungsinnovationen.¹¹

Ziel des vorliegenden Beitrags ist, ein ganzheitliches Erfolgsfaktorenmodell für Logistikdienstleistungsinnovationen herzuleiten. Ausgehend von der Kritik an der Erfolgsfaktorenforschung (Kap. 2) erfolgt zunächst eine Operationalisierung des Innova-

¹ Vgl. Busse et al. (2007), S. 27; Klement (2007), S. 212.

² Vgl. Klement (2007), S. 212.

³ Vgl. Bretzke (2004), S. 12.

⁴ Vgl. Wallenburg (2009), S. 77-78.

⁵ Vgl. Weber/Wallenburg (2004), S. 41-42.

⁶ Vgl. hierzu die Studien von Langley/Capgemini (2008), S. 12; Straube et al. (2005), S. 84-85.

⁷ Vgl. Göpfert/Hornbostel (2009), S. 174-175, 182-184, 187-189; Wagner (2008), S. 224; Busse et al. (2007), S. 34; Göpfert/Hillbrand (2005), S. 48-49; Weber/Wallenburg (2004), S. 43-44.

⁸ Vgl. Göpfert/Hornbostel (2009), S. 187-189.

⁹ Vgl. Pfohl et al. (2007), S. 121.

¹⁰ Vgl. Franklin (2007), S. 20; Flint et al. (2005), S. 113.

¹¹ Vgl. Wagner (2008), S. 215; Darkow et al. (2007), S. 115-116; Flint et al. (2005), S. 113.

tionserfolgskonstruktes (Kap. 3). Anschließend werden die Determinanten des technischen Erfolgs anhand des *resource-based* bzw. *dynamic capabilities views* (Kap. 4) sowie des marktlichen Erfolgs auf Basis der Adoptions- und Diffusionstheorie (Kap. 5) identifiziert. Unter Berücksichtigung der Charakteristika von Logistikdienstleistungen wird die Verknüpfung der Teilmodelle zu einem ganzheitlichen Erfolgsfaktorenmodell für Logistikdienstleistungsinnovationen vorgenommen (Kap. 6). Der Beitrag schließt mit einer kritischen Würdigung sowie einem Ausblick auf den weiteren Forschungsbedarf.

2 Defizite der Erfolgsfaktorenforschung im Innovationsmanagement

„Hinter dem Begriff ‚Erfolgsfaktor‘ steht die Idee, daß es einige – wenige – globale, für jedes Unternehmen, bzw. jedes Geschäftsfeld gültige Einflußgrößen gibt, die den Erfolg oder Mißerfolg entscheidend mitbestimmen.“¹² Als Aufgabe der Wissenschaft ist die Identifikation von Erfolgsfaktoren von Innovationen für die Unternehmenspraxis von größter Bedeutung, da sie Manager in der Entscheidung über Projektfortsetzung oder -abbruch, Innovationsprozesssteuerung, Gestaltung der Innovationsmerkmale, Ressourcenzuweisungen und Vermarktung der Innovation unterstützt.¹³ Die Erfolgsfaktorenforschung im Innovationsmanagement ist jedoch mannigfaltiger Kritik ausgesetzt, von der nachfolgend nur ein Bruchteil diskutiert werden kann.¹⁴

Einen fundamentalen Kritikpunkt bildet die fehlende theoretische Fundierung der empirisch untersuchten Erfolgsfaktorenmodelle.¹⁵ Ohne theoretische Herleitung ist die Validität von Kausalbeziehungen zwischen Erfolgsfaktoren und Innovationserfolg jedoch fragwürdig.¹⁶ Gleichzeitig beschränken sich empirische Arbeiten zumeist auf die Untersuchung direkter Erfolgswirkungen, wenngleich komplexe, mehrstufige Kausalketten die Realität präziser abzubilden vermögen.¹⁷ Kritikwürdig ist auch die dominante Marketingorientierung, da hierdurch andere potenzielle Erfolgsfaktoren wie Mitarbeiterfähigkeiten, Innovationsgrad und die Ausgestaltung der frühen Innovationsprozessphasen vernachlässigt werden.¹⁸ Letztlich führt die uneinheitliche und intranspa-

¹² Trommsdorff (1990), S. 2.

¹³ Vgl. Gerpott (2005), S. 110.

¹⁴ Vgl. für einen Überblick Hauschildt/Salomo (2011), S. 33-34; Trommsdorff/Steinhoff (2007), S. 58-66; Gerpott (2005), S. 119-126.

¹⁵ Vgl. Trommsdorff/Steinhoff (2007), S. 61; Ernst (2002), S. 33; Jensen/Harmsen (2001), S. 39; Rüdiger (1997), S. 3; Montoya-Weiss/Calatone (1994), S. 398. Die unsystematische Auswahl potenzieller Erfolgsfaktoren bezeichnen Brown/Eisenhardt (1995), S. 353 als „*fishing expedition*“.

¹⁶ Vgl. Montoya-Weiss/Calatone (1994), S. 398.

¹⁷ Vgl. Henard/Szymanski (2001), S. 374.

¹⁸ Vgl. Hauschildt/Salomo (2011), S. 33; Trommsdorff/Steinhoff (2007), S. 59, 66; Ernst (2002), S. 3, 8-9; Jensen/Harmsen (2001), S. 38, 40, 46; Balachandra/Friar (1997), S. 281-283; Rüdiger (1997), S. 1; Montoya-Weiss/Calatone (1994), S. 398; Weiss/Neyer (1990), S. 69-72, 88.

rente Operationalisierung des Innovationserfolgs zu einer eingeschränkten Vergleichbarkeit empirischer Studien.¹⁹

3 Der Innovationserfolg als Zielgröße der Erfolgsfaktorenforschung

Die Hervorbringung von Innovationen dient keinem Selbstzweck, sondern ist stets mit den Zielen eines Unternehmens verbunden.²⁰ Der Innovationserfolg bemisst sich folglich daran, inwieweit die gesetzten Innovationsziele erreicht wurden.²¹ Wünschenswert wäre ein objektiver Maßstab zur Beurteilung des Erfolgs. Durch die notwendige Festlegung von Zielen, Zielgewichten und Messzeitpunkten ist eine absolute Objektivität nicht erreichbar.²² Im Gegensatz zu objektiven (z. B. Umsatz in €) sind subjektive Indikatoren (z. B. Umsatzzielerreichung) in der Lage, die individuelle Komplexität und das divergierende Marktpotenzial unterschiedlicher Innovationen zu berücksichtigen.²³ In der empirischen Forschung stellt die leichtere Verfügbarkeit von subjektiven Indikatoren einen weiteren Vorteil dar.²⁴ Allerdings entziehen sich subjektive Indikatoren einer intersubjektiven Nachprüfbarkeit.²⁵ In empirischen Studien wurden jedoch starke Korrelationen zwischen objektiven und subjektiven Indikatoren festgestellt, sowie eine hohe Validität und Reliabilität für die Erfolgsmessung mittels subjektiver Indikatoren nachgewiesen.²⁶

Der Innovationserfolg kann auf der Gesamtunternehmensebene, der Ebene des Innovationsprogramms, des Produktes und des Projektes gemessen werden.²⁷ Im vorliegenden Beitrag steht die einzelne Innovation und damit die Projekt- und Produktebene im Fokus. Der technische Projekterfolg bemisst sich an der Projekteffektivität, d.h. der technischen Produktqualität in Bezug auf Leistungsfähigkeit, Funktionalität, Zuverlässigkeit, Robustheit, und der Projekteffizienz, d.h. dem rationalen Einsatz der benötigten finanziellen, zeitlichen, personalen Ressourcen.²⁸ Entgegen der intuitiven Annahme, dass ein Ressourcen schonendes Innovationsprojekt eine niedrigere technische Qualität nach sich zieht, sind Projekteffektivität und -effizienz stark korreliert und nicht als separate Konstrukte aufzufassen.²⁹

¹⁹ Vgl. Hauschildt/Salomo (2011), S. 34; Trommsdorff/Steinhoff (2007), S. 62-66; Montoya-Weiss / Calatone (1994), S. 403.

²⁰ Vgl. Billing (2003), S. 11.

²¹ Vgl. Trommsdorff/Steinhoff (2007), S. 65.

²² Vgl. Billing (2003), S. 78; Brinkmann (1997), S. 36.

²³ Vgl. Kotzbauer (1992), S. 50, 102.

²⁴ Vgl. Howell/Shea (2001), S. 21.

²⁵ Vgl. Köhler (1991), S. 155.

²⁶ Vgl. Gatignon et al. (2002), S. 1117; Tatikonda/Montoya-Weiss (2001), S. 160; Dess/Robinson (1984), insb. S. 269-270.

²⁷ Vgl. Billing (2003), S. 154-155; Marsh/Stock (2003), S. 141.

²⁸ Vgl. Vahs/Burmester (2005), S. 70-71; Marsh/Stock (2003), S. 142; Högl/Gemünden (2001), S. 438; Tatikonda/Montoya-Weiss (2001), S. 152; Brown/Eisenhardt (1995), S. 346, 366.

²⁹ Vgl. Olsen et al. (2001), S. 264; Hauptman/Hirji (1996), S. 156.

Der technische Erfolg stellt eine notwendige, aber noch nicht hinreichende Bedingung für den wirtschaftlichen Innovationserfolg dar.³⁰ Beim wirtschaftlichen Erfolg wird teilweise eine Differenzierung zwischen dem Markterfolg und dem finanziellen Erfolg vorgenommen.³¹ Ersterer bemisst sich an Größen wie Umsatz, Absatz und Kundenzufriedenheit, letzterer am Gewinn bzw. der Rentabilität.³² Der Innovationserfolg als hypothetisches Konstrukt ist aufgrund der Subjektivität von Zielen nicht direkt messbar, sodass seine Operationalisierung, d.h. die Auswahl geeigneter Indikatoren, empirisch vorzunehmen ist.³³ Große Beachtung hat in diesem Zusammenhang eine Studie von GRIFFIN/PAGE gefunden.³⁴ Die Autoren werteten wissenschaftliche Publikationen hinsichtlich der verwendeten Erfolgsindikatoren aus und befragten Manager nach den in ihrem Unternehmen verwendeten sowie gewünschten Indikatoren. Nur sechzehn der 75 verschiedenen Indikatoren sind in allen drei Gruppen vertreten. Diese sechzehn Indikatoren stellen die Hauptindikatoren des Innovationserfolgs dar. Vernachlässigt man die eine Kennzahl auf Unternehmensebene, lassen sich die zuvor identifizierten Dimensionen Projekterfolg (*product-level measures*), Markterfolg (*customer acceptance measures*) und finanzieller Erfolg (*financial performance*) wiederfinden.

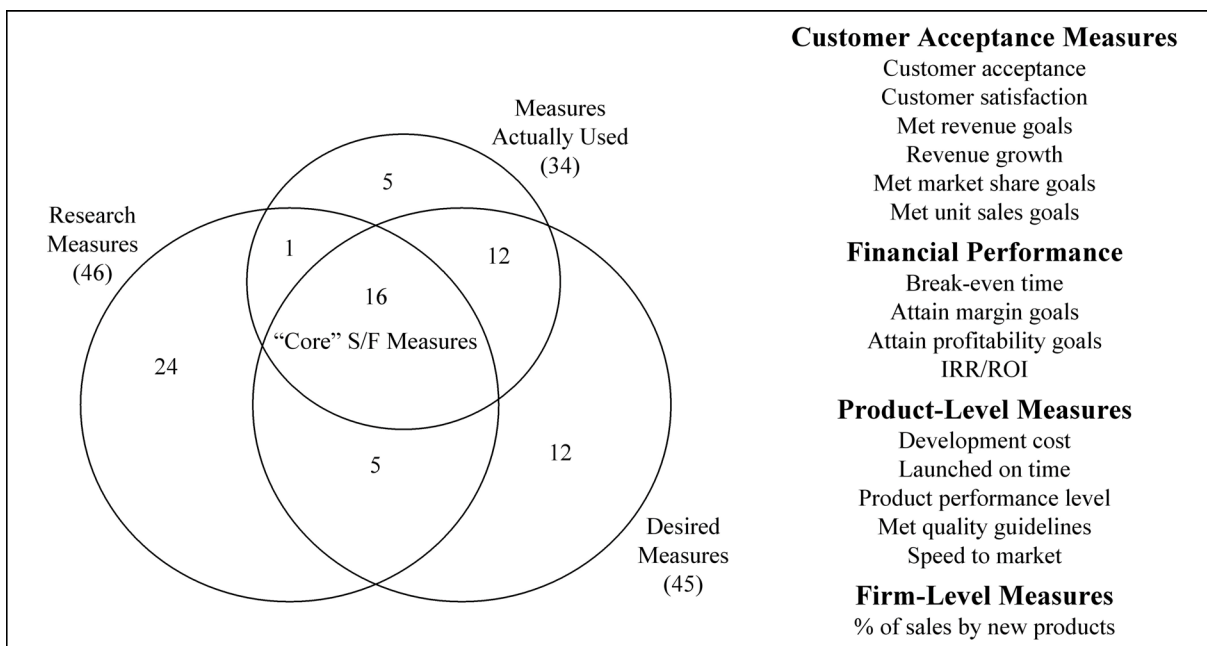


Abb. 1: Hauptindikatoren des Innovationserfolgs (Quelle: Griffin/Page (1993), S. 294)

Fehlende Explikationen schränken die Verwendbarkeit der aufgeführten Indikatoren jedoch ein. Unklar bleibt, wie sich Kundenzufriedenheit und -akzeptanz von einander

³⁰ Vgl. Brinkmann (1997), S. 34; Hauschildt (1993), S. 300; Böcker et al. (1989), S. 52.

³¹ Vgl. Montoya-Weiss/Calatone (1994), S. 400.

³² Vgl. Vahs/Burmester (2005), S. 374; Billing (2003), S. 157; Marsh/Stock (2003), S. 142; Tatikonda/Montoya-Weiss (2001), S. 152; Brown/Eisenhardt (1995), S. 346, 366.

³³ Vgl. Trommsdorff/Steinhoff (2007), S. 63.

³⁴ Vgl. im Folgenden Griffin/Page (1993). COOPER ET AL. bezeichnen diese Studie als „*excellent review of measuring new product development success and failure*“, Cooper et al. (1994), S. 286.

abgrenzen, was mit *quality guidelines* gemeint ist und warum die Projektdauer mit zwei (*launched on time, speed to market*), die -kosten aber mit einem Indikator (*development cost*) operationalisiert werden. Auch irritiert das Nebeneinander subjektiver und objektiver Indikatoren. Eine direkte Übernahme in Studien ist daher nicht sinnvoll.

Weiterhin stehen die drei Erfolgsdimensionen nicht isoliert nebeneinander, sondern sind kausal miteinander verbunden. Dass der technische Erfolg Vorläufer des wirtschaftlichen Erfolgs ist, gilt sowohl für den marktlichen als auch den finanziellen Erfolg. Eine höhere technische Qualität steigert die Kundenzufriedenheit, geringere Entwicklungskosten erlauben niedrigere Preise und damit einen höheren Ab- und Umsatz. Gleichzeitig führt eine frühzeitigere Markteinführung zu früheren Zahlungsrückflüssen und reduziert damit die Amortisationsdauer, geringere Entwicklungskosten erhöhen die Gewinnspanne und den absoluten Gewinn. Der Markterfolg hat zudem einen positiven Einfluss auf den Finanzerfolg, da z.B. ein höherer Absatz zu einem größeren Gewinn führt, zufriedener Kunden eine höhere Preisbereitschaft aufweisen und damit größere Gewinnspannen und Gewinne möglich machen.

4 Theoretische Herleitung der Determinanten des technischen Erfolgs von Innovationen

Die Erkenntnis, dass sich die Erfolgsfaktoren von Sach- und Dienstleistungsinnovationen nicht fundamental von einander unterscheiden, trifft insbesondere auf die Determinanten des technischen Erfolgs zu.³⁵ Verbreitete theoretische Ansätze zur Erklärung des technischen Erfolgs stellen der *resource-based view* und *dynamic capabilities view* dar.³⁶ Die nachfolgend anhand dieser Ansätze identifizierten Determinanten des technischen Erfolgs weisen teilweise auch einen Einfluss auf den Markterfolg auf.

4.1 Die Innovationsfähigkeit als dynamic capability im resource-based view

Der *resource-based view* (RBV) ist aus der Kritik am *market-based view* (MBV) hervorgegangen.³⁷ Die Kritik bezog sich vor allem darauf, dass der MBV von einer vollständigen Ressourcenmobilität ausgeht, die heterogene Ressourcenausstattungen von Unternehmen umgehend nivelliert.³⁸ Beim MBV sind Bestimmungsgrößen des Unternehmenserfolgs zum einen die Auswahl attraktiver Branchen und zum anderen die wettbewerbsstrategische Ausrichtung in den bearbeiteten Branchen.³⁹ Von den in Unternehmen ablaufenden Prozessen wird indes abstrahiert.⁴⁰ Im Gegensatz dazu interpretiert der RBV Unternehmen als Bündel von Ressourcen, wobei sich die Ressour-

³⁵ Vgl. Schaller et al. (2004), S. 55.

³⁶ Vgl. Hauschildt/Salomo (2011), S. 38-40.

³⁷ Vgl. Wolf (2011), S. 567-569; Thiele (1997), S. 35.

³⁸ Vgl. Burmann (2002), S. 142; Müser (1999), S. 17; Barney (1991), S. 100.

³⁹ Vgl. Wolf (2011), S. 568; Müser (1999), S. 17; Grant (1991), S. 117.

⁴⁰ Vgl. Wolf (2011), S. 569.

cenausstattung zwischen den Unternehmen unterscheidet.⁴¹ Voraussetzung für den Bestand dieser Heterogenitäten über längere Zeit ist eine eingeschränkte Ressourcenmobilität.⁴² Das Ziel von Unternehmen besteht in dem Aufbau nachhaltiger Wettbewerbsvorteile zur Erzielung überdurchschnittlicher Gewinne.⁴³ Für die Beurteilung, ob Ressourcen zur Erlangung eines dauerhaften Wettbewerbsvorteils beitragen können, wurden eine Reihe von Kriterien entwickelt.

Zunächst können nur wertvolle Ressourcen, die zu einer Effektivitäts- bzw. Effizienzsteigerung des Unternehmens und einem Kosten- und/oder Nutzenvorteil für Kunden beitragen, Wettbewerbsvorteile begründen.⁴⁴ Zudem müssen Ressourcen selten sein, da anderenfalls eine erfolgreiche Differenzierung im Wettbewerb nicht von Dauer sein wird.⁴⁵ Voraussetzung für die Nachhaltigkeit eines Wettbewerbsvorteils ist auch eine geringe Abnutzbarkeit der eingesetzten Ressourcen.⁴⁶ Darüber hinaus verlangt die Nachhaltigkeit eine eingeschränkte Transferier-, Imitier- und Substituierbarkeit.⁴⁷

Die Transferierbarkeit von Ressourcen kann durch Verfügungsrechte vollständig beschränkt sein.⁴⁸ Eine eingeschränkte Transferierbarkeit ergibt sich bei spezifischen Ressourcen, die außerhalb des besitzenden Unternehmens an Wert verlieren, sowie bei Unsicherheit über den Wert einer Ressource. Sind Konkurrenten nicht in der Lage relevante Ressourcen zu akquirieren, werden sie bestrebt sein, diese zu imitieren.⁴⁹ Limitiert wird die Imitierbarkeit durch sogenannte Isolationsmechanismen.⁵⁰ Ursachen eingeschränkter Imitierbarkeit können Schutzrechte, komplexe Ressourcenverknüpfungen, Unklarheiten über die Erfolgswirkungen von Ressourcen, asymmetrische Informationen, Zeit- und Größenvorteile beim Ressourcenaufbau und -besitz sowie einmalige historische Ereignisse sein.⁵¹ Ist die Imitation wertvoller, seltener, kaum abnutzbarer und eingeschränkt transferierbarer Ressourcen nicht möglich, verbleibt die Substitution als letzte Option der Konkurrenz zur Erosion von Wettbewerbsvorteilen.

⁴¹ Vgl. Peteraf (1993), S. 180; Barney (1991), S. 101; Rumelt (1984), S. 557-558.

⁴² Vgl. Peteraf (1993), S. 183-185; Grant (1991), S. 126; Barney (1991), S. 101, 103-105.

⁴³ Vgl. Burr et al. (2005), S. 17, 28-30.

⁴⁴ Vgl. Wolf (2011), S. 573; Peteraf (1993), S. 180; Barney (1991), S. 106.

⁴⁵ Vgl. Peteraf (1993), S. 180; Barney (1991), S. 106-107; Dierickx/Cool (1989), S. 1504.

⁴⁶ Vgl. Bamberger/Wrona (1996), S. 387; Grant (1991), S. 124-125; Dierickx/Cool (1989), S. 1508.

⁴⁷ Vgl. Bamberger/Wrona (1996), S. 387-388; Peteraf (1993), S. 181-182; Barney (1991), S. 103-112; Dierickx/Cool (1989), S. 1507.

⁴⁸ Vgl. im Folgenden ausführlicher Bamberger/Wrona (1996), S. 387; Peteraf (1993), S. 183-184; Grant (1991), S. 126-127; Dierickx/Cool (1989), S. 1505, 1507 sowie Sammerl (2006), S. 143.

⁴⁹ Vgl. Dierickx/Cool (1989), S. 1507.

⁵⁰ Der Begriff Isolationsmechanismus („*isolating mechanism*“) geht zurück auf Rumelt (1984), S. 567.

⁵¹ Vgl. im Folgenden ausführlicher Sammerl (2006), S. 143; Bamberger/Wrona (1996), S. 388; Teece/Pisano (1994), S. 551; Peteraf (1993), S. 182-183; Barney (1991), S. 107-112; Grant (1991), S. 125; Dierickx/Cool (1989), S. 1507-1509; Rumelt (1987), S. 145-146; Rumelt (1984), S. 561-562, 567.

Nachhaltige Wettbewerbsvorteile werden i. d. R. nicht durch isolierte, sondern interagierende Ressourcen begründet.⁵² Für diese verknüpften Ressourcen existiert eine Vielzahl von Bezeichnungen, die uneinheitliche Verwendung finden.⁵³ Nachfolgend beschränken sich die Ausführungen auf die *dynamic capabilities*. Diese stellen die Fähigkeit von Unternehmen zur Integration, Entwicklung und Rekonfiguration ihrer Ressourcen und Kompetenzen als Antwort auf sich schnell wandelnde Rahmenbedingungen dar.⁵⁴ Der Aufbau und Erhalt dauerhafter Wettbewerbsvorteile basiert auf den strategischen Prozessen des Ressourcenmanagements, der gegenwärtigen Ressourcenposition sowie den zukünftigen Handlungsoptionen.⁵⁵

Die strategischen Managementprozesse umfassen Koordinations-, Lern- und Rekonfigurationsprozesse.⁵⁶ Im Rahmen von Koordinationsprozessen übernimmt das Management die Abstimmung und Integration interner und externer Ressourcen und Aktivitäten. Starke Unternehmenskulturen sowie motivierende Anreizsysteme erleichtern die Koordination von Mitarbeitern und reduzieren damit den Koordinationsaufwand. Lernprozesse basieren auf einem *trial-and-error*-Vorgehen, bei dem Gruppen von Individuen durch Wiederholung und Veränderung von Aufgaben und Abläufen diese optimieren und neues Wissen sowie neue Problemlösungen generieren. Neben internen Lernprozessen besitzt das Lernen von externen Wissensquellen große Bedeutung. In Rekonfigurationsprozessen vollziehen Unternehmen die zeitnahe Anpassung an veränderte Umweltbedingungen. Voraussetzung der Rekonfigurationsfähigkeit ist die kontinuierliche Beobachtung von Markt- und Technologieentwicklungen.

Trotz ihrer unternehmensspezifischen Ausgestaltung lassen sich für *dynamic capabilities* unternehmensübergreifende Erfolgsfaktoren identifizieren, sodass hierauf beruhende Wettbewerbsvorteile in ihrer Nachhaltigkeit eingeschränkt sind.⁵⁷ Besäßen *dynamic capabilities* keine Gemeinsamkeiten, gäbe es keine allgemein gültigen Erfolgsfaktoren – die Bildung eines Erfolgsfaktorenmodells für Logistikdienstleistungsinnovationen wäre mithin zum Scheitern verurteilt.⁵⁸ Die Innovationsfähigkeit von Unternehmen stellt eine der zentralen *dynamic capabilities* dar.⁵⁹ Von der Gesamtunterneh-

⁵² Vgl. Burr et al. (2005), S. 20.

⁵³ Vgl. Sammerl (2006), S. 161; Müser (1999), S. 55-56; Thiele (1997), S. 67-71.

⁵⁴ „We define *dynamic capabilities* as the firm's ability to integrate, build, and reconfigure internal and external competences to address rapidly changing environments.“, Teece et al. (1997), S. 516.

⁵⁵ „[T]he competitive advantage of firms lies with its managerial and organizational processes, shaped by its (specific) asset position, and the paths available to it.“, Teece et al. (1997), S. 518.

⁵⁶ Vgl. im Folgenden Teece et al. (1997), S. 518-521; Teece/Pisano (1994), S. 541-545.

⁵⁷ Vgl. Eisenhardt/Martin (2000), S. 1108.

⁵⁸ Mit der Identifikation und Diffusion von Erfolgsfaktoren ist ihre zeitliche Instabilität verbunden, da mit steigender Anzahl von Unternehmen, die diese Faktoren berücksichtigen, ihre Erfolgswirkung verloren geht. Diese Erkenntnis deckt sich mit der Forderung von Längsschnittstudien zu Erfolgsfaktoren von Innovationen, vgl. Trommsdorff/Steinhoff (2007), S. 66; Montoya-Weiss/Calatone (1994), S. 414-415; Weiss/Neyer (1990), S. 105.

⁵⁹ Vgl. z.B. die Publikationen von Sammerl (2006); Marsh/Stock (2003); Verona/Ravasi (2003); Danneels (2002); Lawson/Samson (2001); Iansiti/Clark (1994).

mensebene ausgehend durchdringt sie das ganze Unternehmen bis zur Projektebene.⁶⁰ Der Identifikation von Erfolgsfaktoren auf dieser Ebene wird nunmehr nachgegangen.

4.2 Ressourcen und dynamic capabilities in Innovationsprozessen

Der Innovationsprozess ist ein typisches Beispiel für einen Koordinationsprozess, in dem Manager „combine their varied skills and functional backgrounds to create revenue-producing products and services“.⁶¹ Die Koordinationsverantwortung innerhalb dieses Prozesses obliegt dem Projektleiter. Kompetente Projektleiter zeichnen sich durch die Gewinnung qualifizierter Mitarbeiter für ihre Projekte aus.⁶² Eine ihrer zentralen Aufgaben besteht in der kontinuierlichen Ausrichtung der Mitarbeiter auf die Erfüllung der Projektziele, d.h. der Erhöhung der Effektivität und Effizienz der Innovationstätigkeiten.⁶³ Darüber hinaus sollte er in der Lage sein, das spezifische *know-how* funktionsübergreifender Innovationsteams zu integrieren.⁶⁴ Ein guter Projektleiter ist zudem in der Lage, durch die Gewinnung der Unterstützung des Top-Managements die notwendigen Ressourcen für das Projekt zu beschaffen.⁶⁵

Die Effektivität und Effizienz von Innovationsprozessen, und damit ihr Beitrag zum Projekterfolg, wird maßgeblich durch ihre organisatorische Ausgestaltung bestimmt. Positiv beeinflusst werden diese durch eine zunehmende Formalisierung des Innovationsprozesses, da diese die Allokation von Ressourcen auf relevante Aktivitäten unterstützt und durch die regelmäßige Überprüfung der Erreichung von Meilensteinen zur frühzeitigen Problemerkennung beiträgt und die Verschwendung von Ressourcen begrenzt.⁶⁶ Nachteilig wirkt sich hingegen die damit verbundene geringere Flexibilität aus.⁶⁷ Anzustreben ist auch die Elimination irrelevanter Prozessschritte.⁶⁸ Die verbleibenden Prozessphasen sollten hingegen vollständig durchgeführt werden.⁶⁹ Um dennoch zu einem schnellen und erfolgreichen Projektabschluss zu kommen, sollten die Prozessphasen nicht sequenziell, sondern parallel durchgeführt werden.⁷⁰ Die Parallelisierung fördert zugleich die funktionsübergreifende Zusammenarbeit.⁷¹

⁶⁰ Vgl. zu den Ausstrahlungseffekten von *dynamic capabilities* Burmann (2002), S. 170.

⁶¹ Eisenhardt/Martin (2000), S. 1107.

⁶² Vgl. Brown/Eisenhardt (1995), S. 370. Mit Projektleiter sind stets beide Geschlechter gemeint.

⁶³ Vgl. Keller (2004), S. 249; Mandakovic/Gorricho (1991), S. 232.

⁶⁴ Vgl. Keller (2004), S. 248; Mandakovic/Gorricho (1991), S. 232.

⁶⁵ Vgl. Verona/Ravasi (2003), S. 592; Brown/Eisenhardt (1995), S. 369-370. KELLER bezeichnet den Projektleiter daher als „resource gatherer“, Keller (2004), S. 256.

⁶⁶ Vgl. Sammerl (2006), S. 206; Tatikonda/Montoya-Weiss (2001), S. 156; Brown/Eisenhardt (1995), S. 369; Millson et al. (1992), S. 59-60.

⁶⁷ Vgl. Tatikonda/Montoya-Weiss (2001), S. 156.

⁶⁸ Vgl. Millson et al. (1992), S. 60-61.

⁶⁹ Vgl. Cooper (2010), S. 113; Göpfert/Hillbrand (2005), S. 53; van der Panne et al. (2003), S. 316.

⁷⁰ Vgl. Brown/Eisenhardt (1995), S. 369; Millson et al. (1992), S. 56, 63; Balachandra (1991), S. 226; Imai et al. (1985), S. 349-350.

⁷¹ Vgl. Tatikonda/Montoya-Weiss (2001), S.155 ; Hauptman/Hirji (1996), S. 154; Millson et al. (1992), S. 64; Imai et al. (1985), S. 350.

Die Unterstützung von Innovationsprojekten durch das Top-Management ist Ausdruck einer innovationsfreundlichen Unternehmenskultur.⁷² Durch die Ausstattung von Projekten mit personalen und finanziellen Ressourcen trägt es direkt zum Erfolg von Innovationsprojekten bei.⁷³ Ebenso ist die Durchsetzung von Projekten gegen unternehmensinterne Widerstände Ausdruck der Top-Management-Unterstützung.⁷⁴ Derart protegierte Projekte weisen vergleichsweise kürzere Entwicklungszeiten auf.⁷⁵

Innovationsprozesse stellen naturgemäß Lernprozesse dar. Im Rahmen interner Lernprozesse gilt vor allem die Zusammenführung von im Unternehmen verstreutem Wissen durch die Einrichtung funktions- und hierarchieübergreifender Projektteams als erfolgversprechend.⁷⁶ Die Ursache für die größere Effektivität und Effizienz funktionsübergreifender Teams ist in der größeren Diversität und gegenseitigen Befruchtung des eingebrachten Wissens zu sehen.⁷⁷ Voraussetzung für die Ausbeutung dieses Wissens ist jedoch eine regelmäßige und qualitativ hochwertige Kommunikation.⁷⁸ In der Konsequenz trägt eine stärkere funktionsübergreifende Kooperation zu einem besseren Verständnis der spezifischen Aufgaben und Probleme der einzelnen Fachabteilungen bei und verbessert damit den Problemlösungsprozess.⁷⁹ Die Bedeutung der individuellen Fähigkeiten und Erfahrungen der Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen für das Gelingen von Innovationsvorhaben ist im Gegensatz zur kooperativen Wissenserschließung bisher nur unzureichend untersucht worden.⁸⁰ Dieser Befund ist mehr als verwunderlich, berücksichtigt man, dass *„employee knowledge and skills are decisive in ensuring the distinguishing character of the company's product development competence.“*⁸¹

Externe Lernprozesse können durch die Einbindung unternehmensexterner Bezugsgruppen wie Kunden, Lieferanten, Wettbewerber, Forschungseinrichtungen, Beratungsunternehmen etc. vollzogen werden.⁸² Viele Untersuchungen beschränken sich auf die Integration von Kunden, da dieser die größte Bedeutung beigemessen wird.⁸³

⁷² Vgl. Gupta/Wilemon (1990), S. 35-36.

⁷³ Vgl. Cooper (2010), S. 106; Göpfert/Hillbrand (2005), S. 52; Brown/Eisenhardt (1995), S. 371; Gupta/Wilemon (1990), S. 34-36.

⁷⁴ Vgl. Göpfert/Hillbrand (2005), S. 52; Millson et al. (1992), S. 60. BROWN/EISENHARDT sprechen daher von *„political resources“*, Brown/Eisenhardt (1995), S. 371.

⁷⁵ Vgl. Vahs/Burmester (2005), S. 382; Balachandra (1991), S. 226.

⁷⁶ Vgl. Verona/Ravasi (2003), S. 591-593; Lawson/Samson (2001), S. 393, 395; Eisenhardt/Martin (2000), S. 1107-1108; Eisenhardt/Brown (1995), S. 348, 362, 367; Iansiti/Clark (1994), S. 569.

⁷⁷ Vgl. Keller (2004), S. 246; Henard/Szymanski (2001), S. 372; Eisenhardt/Martin (2000), S. 1108-1109; Brown/Eisenhardt (1995), S. 367-368; Millson et al. (1992), S. 58; Imai et al. (1985), S. 347.

⁷⁸ Vgl. Lawson/Samson (2001), S. 395; Högl/Gemünden (2001), S. 437.

⁷⁹ Vgl. Tatikonda/Montoya-Weiss (2001), S. 155.

⁸⁰ Vgl. Jensen/Harmsen (2001), S. 40.

⁸¹ Jensen/Harmsen (2001), S. 46.

⁸² Vgl. Sammerl (2006), S. 201; Lawson/Samson (2001), S. 383-384, 391; Brown/Eisenhardt (1995), S. 354, 371-372.

⁸³ Vgl. Baker/Sinkula (1999), S. 296-297; Han et al. (1998), S. 38-40 sowie empirisch für Dienstleistungsinnovationen Martin/Horne (1995), S. 44-46.

Unter Kundenintegration versteht man die aktive Beteiligung ausgewählter (potenzieller) Kunden am Innovationsprozess.⁸⁴ Die Kundenintegration dient der Gewinnung von Informationen zu Kundenbedürfnissen und trägt damit zur Entwicklung kunden-gerechterer Leistungen bei.⁸⁵ Darüber hinaus steigert die Kundeneinbindung die Effektivität und Effizienz des Innovationsprozesses.⁸⁶ Kunden tendieren jedoch dazu neue Problemlösungen stärker an bekannten Leistungen auszurichten, sodass nur Innovationen mit niedrigem Innovationsgrad realisiert werden.⁸⁷ Zudem neigen Kunden zu Innovationen, die ihren spezifischen Anforderungen, aber nicht unbedingt den allgemeinen Marktanforderungen gerecht werden und gefährden dadurch den Innovationserfolg.⁸⁸

Ein Erfolgsfaktor im Kontext von Rekonfigurationsprozessen ist die Marktorientierung (*market orientation*).⁸⁹ Sie stellt „*the degree to which firms acquire, distribute, use and ultimately depend on customer, competitor and supplier market information as inputs into the innovation process*“ dar.⁹⁰ Der Unterschied zwischen Marktorientierung und Kundenintegration besteht darin, dass erstere zum einen nicht nur Kunden berücksichtigt und zum anderen die unternehmensaktive Informationsgewinnung über potenzielle Kunden im Allgemeinen meint, wohingegen sich die Kundenintegration auf die konkrete Beteiligung ausgewählter Kunden im Innovationsprozess bezieht.⁹¹

Die gegenwärtige Ressourcenausstattung (*positions*) bildet den Ausgangspunkt für die Erzielung von Wettbewerbsvorteilen.⁹² Synergien zwischen den für eine Innovation notwendigen und im Unternehmen vorhandenen Ressourcen und Fähigkeiten stellen einen weithin anerkannten Erfolgsfaktor dar.⁹³ Je vertrauter ein Unternehmen mit den notwendigen Ressourcen ist, d.h. je größer die Synergien, desto geringer ist die Bedeutung einer funktionsübergreifenden Zusammenarbeit.⁹⁴

⁸⁴ Vgl. Martin/Horne (1995), S. 44-45.

⁸⁵ Vgl. Brown/Eisenhardt (1995), S. 371-372.

⁸⁶ Vgl. Skiba/Herstatt (2008), S. 3.

⁸⁷ Vgl. Baker/Sinkula (1999), S. 297.

⁸⁸ Vgl. Ernst (2002), S. 8.

⁸⁹ Vgl. Han et al. (1998), S. 33-35.

⁹⁰ Vgl. Baker/Sinkula (1999), S. 296. Vgl. auch Ernst (2002), S. 3, 8.

⁹¹ Vgl. exemplarisch zur Weite des Begriffs *market orientation* Han et al. (1998), S. 31-32.

⁹² Vgl. Teece et al. (1997), S. 518, 521-522; Teece/Pisano (1994), S. 541, 545-546.

⁹³ Vgl. Cooper (2010), S. 106-108; van der Panne et al. (2003), S. 315-316 sowie die Meta-Analysen von Henard/Szymanski (2001), S. 365; Montoya-Weiss/Calatone (1994), S. 406.

⁹⁴ Vgl. Olsen et al. (2001), S. 263.

5 Theoretische Herleitung der Determinanten des marktlichen Erfolgs von Innovationen anhand der Adoptions- und Diffusionstheorie

Die Adoptions- und Diffusionstheorie hat zur Erklärung des Innovationserfolgs weite Verbreitung erfahren.⁹⁵ Maßgeblich geprägt wurde sie von ROGERS. Unter Adoption versteht dieser die Entscheidung eines Kunden eine Innovation zu übernehmen, d.h. eine innovative Leistung in Anspruch zu nehmen.⁹⁶ Diffusion wiederum „*is the process in which an innovation is communicated through certain channels over time among the members of a social system.*“⁹⁷ Für den Markterfolg einer Innovation ist die Diffusion unter möglichst zahlreichen potenziellen Kunden maßgeblich. Da die Diffusion nichts anderes als die kumulierten Adoptionsentscheidungen darstellt, sind die individuellen Entscheidungskriterien von zentralem Interesse. Eine Einflussgruppe der Adoptionsrate sind die Merkmale von Innovationen.⁹⁸ Von ROGERS werden der relative Vorteil, die Kompatibilität, Komplexität, Erprobbarkeit sowie Beobachtbarkeit einer Innovation als relevante Innovationsmerkmale genannt. In einer Meta-Analyse von fünfundsiebzig empirischen Studien identifizierten TORNATZKY/KLEIN die Kompatibilität, den relativen Vorteil, die Komplexität, Anschaffungskosten, Kommunizierbarkeit, Teilbarkeit, Rentabilität, Prestigeträchtigkeit, Erprobbarkeit und Teilbarkeit als Merkmale mit dem größten Verbreitungsgrad.⁹⁹

Der relative Vorteil gilt als die zentrale Determinante der Adoptionsentscheidung.¹⁰⁰ Dabei versteht man unter einem relativen Vorteil die Überlegenheit einer Leistung gegenüber konkurrierenden Leistungen.¹⁰¹ Die Superiorität kann sich sowohl auf die Leistungsfähigkeit als auch die Preisgünstigkeit beziehen.¹⁰² Gerade die Vielzahl von Konnotationen, mit denen der relative Vorteil behaftet ist, stellt einen fundamentalen Kritikpunkt dieses Konstruktes dar.¹⁰³ Daher wird im Folgenden der Unterscheidung von BÖCKER ET AL. in einen Produkt- und einen Kostenvorteil gefolgt.¹⁰⁴ Als positiver Einflussfaktor auf den relativen Produktvorteil gilt der Innovationsgrad.¹⁰⁵

⁹⁵ Vgl. Hauschildt/Salomo (2011), S. 40-41.

⁹⁶ Vgl. Rogers (2003), S. 21.

⁹⁷ Rogers (2003), S. 5.

⁹⁸ Vgl. Rogers (2003), S. 221-223.

⁹⁹ Vgl. Tornatzky/Klein (1982), S. 33. Das Merkmal Prestigeträchtigkeit wird nicht berücksichtigt.

¹⁰⁰ Vgl. Rogers (2003), S. 232-234; Schmalen/Pechtl (1996), S. 819; Perillieux (1987), S. 79; Tornatzky/Klein (1982), S. 35; Baumberger/Gmür/Käser (1973), S. 200.

¹⁰¹ Vgl. Rogers (2003), S. 15, 229.

¹⁰² Vgl. Rogers (2003), S. 233; Schmalen/Pechtl (1996), S. 819.

¹⁰³ „Typically, it is the garbage pail characteristic in innovation characteristic studies into which any number of innovation characteristics is dumped“, Tornatzky/Klein (1982), S. 34. Vgl. auch Schmalen/Pechtl (1996), S. 819.

¹⁰⁴ Vgl. Böcker et al. (1989), S. 7-10.

¹⁰⁵ Vgl. Schmalen/Pechtl (1996), S. 822.

Unter Kompatibilität versteht man die Vereinbarkeit einer Innovation mit den Werten und Normen der potenziellen Adoptoren.¹⁰⁶ Im Kontext industrieller Kunden ist hiermit die Integrierbarkeit einer Innovation in die Prozesse und Strukturen des adoptierenden Unternehmens gemeint.¹⁰⁷ Folglich wird mit zunehmender Kompatibilität von einer höheren Adoptionswahrscheinlichkeit ausgegangen.¹⁰⁸ Gleichzeitig sinken für den Adopter die mit der Innovation verbundenen Anpassungskosten.¹⁰⁹ Durch die Integration potenzieller Adoptoren in den Innovationsprozess kann die Kompatibilität einer Innovation positiv beeinflusst werden.¹¹⁰ Ein negativer Einflussfaktor auf die Kompatibilität stellt hingegen der Innovationsgrad aus Kundensicht dar.¹¹¹

Die Komplexität stellt ein Maß für die Einfachheit, mit der der Inhalt, die Funktionsweise und der Nutzen einer Innovation beurteilt werden können, dar und ist abhängig von der Anzahl und Heterogenität der Leistungskomponenten sowie deren Verknüpfungen.¹¹² Bei steigender Komplexität sinkt folglich die Adoptionswahrscheinlichkeit.¹¹³ In einer Studie kommt DAVIS allerdings zu dem Schluss, dass der negative Effekt der Komplexität indirekt aus einer inversen Beziehung zum relativen Vorteil resultiert, d.h. mit steigender Komplexität sinkt der relative Vorteil und damit die Adoptionswahrscheinlichkeit.¹¹⁴ Je komplexer eine Innovation, desto schwieriger ist auch ihre Integrierbarkeit bzw. Kompatibilität.¹¹⁵ Mit steigender Komplexität reduziert sich zudem die Kommunizierbarkeit der Innovation.¹¹⁶ Die Komplexität selbst nimmt mit zunehmendem Innovationsgrad zu.¹¹⁷

Für die Anschaffungs- bzw. Implementierungskosten wird ein negativer Zusammenhang zur Adoptionsentscheidung unterstellt, der sich empirisch jedoch nicht bestätigt.¹¹⁸ Die Rentabilität als ebenfalls monetäre Größe bezieht sich auf den durch die Innovationsadoption realisierbaren Gewinn und stellt einen vermeintlich positiven Einflussfaktor dar, ein stichhaltiger empirischer Beleg findet sich hierfür allerdings nicht. Monetäre Effekte werden in diesem Beitrag unter dem bereits angesprochenen relativen Kostenvorteil subsumiert, dem ein positiver Einfluss unterstellt wird.

¹⁰⁶ Vgl. Rogers (2003), S. 15, 240-246.

¹⁰⁷ Vgl. Schmalen/Pechtl (1996), S. 820; Perillieux (1987), S. 79-80.

¹⁰⁸ Vgl. Rogers (2003), S. 249; Tornatzky/Klein (1982), S. 34.

¹⁰⁹ Vgl. Schmalen/Pechtl (1996), S. 820.

¹¹⁰ Vgl. Perillieux (1987), S. 80.

¹¹¹ Vgl. Schmalen/Pechtl (1996), S. 822; Perillieux (1987), S. 80.

¹¹² Vgl. Rogers (2003), S. 16, 257-258; Baumberger/Gmür/Käser (1973), S. 190.

¹¹³ Vgl. Rogers (2003), S. 257-258; Tornatzky/Klein (1982), S. 35-36; Bischof (1976), S. 85.

¹¹⁴ Vgl. Davis (1989), S. 329-334.

¹¹⁵ Vgl. zum Zusammenhang zwischen Kompatibilität und Komplexität auch Bischof (1976), S. 85.

¹¹⁶ Vgl. Baumberger/Gmür/Käser (1973), S. 190.

¹¹⁷ Vgl. Perillieux (1987), S. 81.

¹¹⁸ Vgl. im Folgenden Tornatzky/Klein (1982), S. 36.

Unter Kommunizierbarkeit versteht man den Aufwand, der mit der Vermittlung von Inhalt, Anwendung und Nutzen einer Innovation verbunden ist.¹¹⁹ Je besser eine Innovation kommuniziert werden kann, desto eher wird sie adoptiert.¹²⁰ Positiver Einflussfaktor der Kommunizierbarkeit ist die Beobachtbarkeit.¹²¹ Diese ist ein Maß für die Nachvollziehbarkeit des Zustandekommens des Leistungsergebnisses und wirkt sich positiv auf die Adoptionsentscheidung aus.¹²² Mit Teilbarkeit bezeichnet man die Möglichkeit einer partiellen Innovationsadoption.¹²³ Auch hier gilt: Je höher die Teilbarkeit, desto wahrscheinlicher die Adoption.¹²⁴ Letztlich bezeichnet die Erprobbarkeit den Grad der realitätsnahen Ausprobierbarkeit einer Innovation vor der Adoptionsentscheidung – mit wiederum positivem Adoptionseinfluss.¹²⁵

6 Explikation des ganzheitlichen Erfolgsfaktorenmodells für Logistikdienstleistungsinnovationen und Darstellung von Handlungsempfehlungen

Aus der Zusammenführung der in den Kapiteln 4 und 5 identifizierten Erfolgsfaktoren ergibt sich ein zunächst unspezifisches Erfolgsfaktorenmodell für Innovationen (vgl. Abb. 2). Im Laufe dieses Kapitels erfolgt die Spezifikation dieses Modells für Logistikdienstleistungsinnovationen. Während auf der internen Ressourcenebene aufgrund der unternehmensspezifischen Ausgestaltung von Innovationsprozessen Konkretisierungen kaum möglich sind, erfolgt durch die Gegenüberstellung der Charakteristika von Logistik Einzel- und Systemdienstleistungen die Veranschaulichung und Operationalisierung des Modells für Logistikdienstleistungsinnovationen.

Auf der internen Ressourcenebene wird die zentrale Bedeutung des Projektleiters gut sichtbar, der den technischen Innovationserfolg nicht nur direkt, sondern auch indirekt stark beeinflusst. Daher sollte der Projektleiter neben ausgeprägter Projekterfahrung und hohem Ausbildungs- und Wissensniveau auch Führungskompetenzen, Kommunikationsfähigkeit und eine ausreichende hierarchische Verankerung mitbringen.¹²⁶ Zudem sollten Projekten genügend qualifizierte Mitarbeiter aus verschiedenen Unternehmensbereichen mit dem notwendigen Zeitbudget zur Verfügung gestellt werden. Gerade der zeitliche Aufwand von Innovationsprojekten sowie die ungenügende Mitarbeiterqualifikation stellen neben fehlenden Finanzressourcen die von Logistikdienstleistern als am gravierendsten eingeschätzten Innovationsbarrieren dar.¹²⁷

¹¹⁹ Vgl. Perillieux (1987), S. 82-83.

¹²⁰ Vgl. Perillieux (1987), S. 82-83.

¹²¹ Vgl. Rogers (2003), S. 16; Perillieux (1987), S. 82.

¹²² Vgl. Rogers (2003), S. 16, 258-259.

¹²³ Vgl. Perillieux (1987), S. 81; Baumberger/Gmür/Käser (1973), S. 193. Die Teilbarkeit muss sich nicht auf den Leistungsumfang beziehen, sondern kann auch zeitlicher bzw. finanzieller Art sein.

¹²⁴ Vgl. Schmalen/Pechtl (1996), S. 821; Perillieux (1987), S. 81-82.

¹²⁵ Vgl. Rogers (2003), S. 16, 258.

¹²⁶ Vgl. Jensen/Harmsen (2001), S. 43, 46.

¹²⁷ Vgl. Göpfert/Hornbostel (2009), S. 187-189.

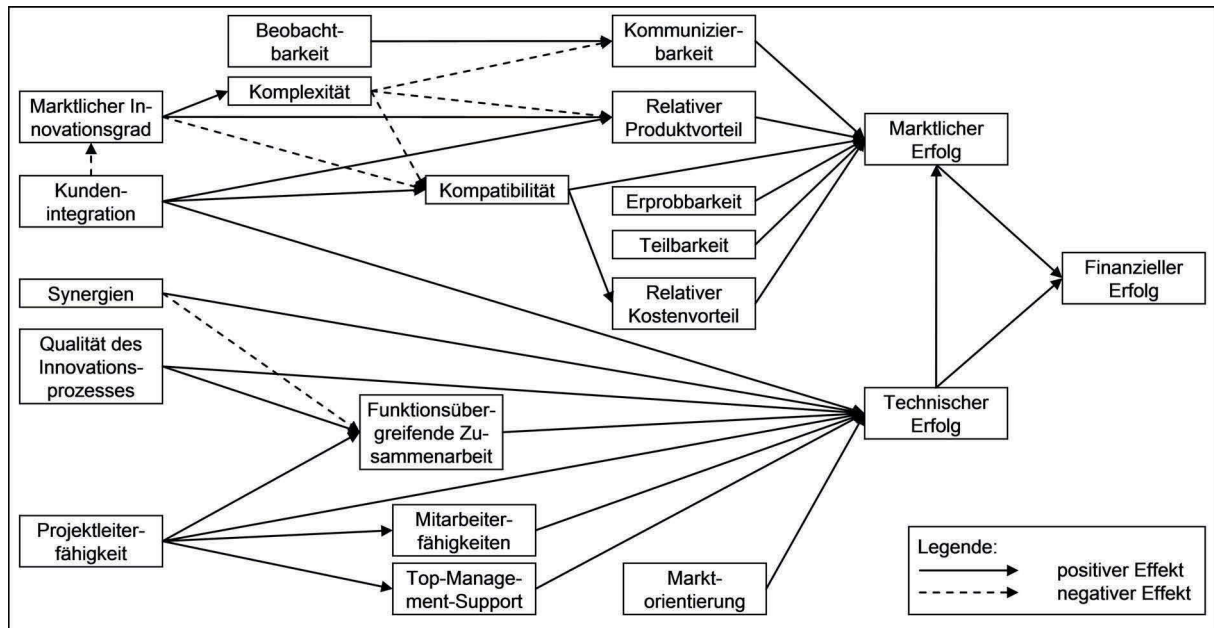


Abb. 2: Unspezifisches Erfolgsfaktorenmodell für Innovationen

Zur konkreten Ausgestaltung des Innovationsprozesses für die Hervorbringung von Logistikdienstleistungsinnovationen wurde von BUSSE ET AL. auf Basis der Aktionsforschung ein vierphasiges Prozessmodell mit zwölf verschiedenen Aktivitäten entwickelt.¹²⁸ Die in der ersten Phase der Ideengenerierung und -auswahl angesiedelte Ideenfindung vollzieht sich bei Logistikdienstleistern häufig dezentral als Reaktion auf Kundenwünsche. Aufgrund der Dezentralität der Ideenentstehung stellt die Ideenkommunikation eine wichtige Aufgabe dar, welche von der internen und externen Anforderungsanalyse gefolgt wird. Den Abschluss der ersten Phase bildet die Analyse und Vorauswahl der entwickelten Ideen. Die zweite Phase gliedert sich in die Konzeptentwicklung, Wirtschaftlichkeitsprüfung und den Akzeptanztest. Dienstleister haben hierbei Potenzial-, Prozess-, Ergebnis- und Marktdimension zu berücksichtigen.¹²⁹ Phase drei, die Innovationsrealisierung, umfasst die Implementierungsvorbereitung, Implementierung, Erfolgskontrolle und Überführung ins Tagesgeschäft. Den Prozessabschluss bildet die Weiterentwicklung des Innovationsprozesses in Phase vier.

Die Unterstützung von Innovationsaktivitäten durch das Top-Management ist bei Logistikdienstleistern bisher nicht ausgeprägt. Indikatoren dafür sind neben den angesprochenen fehlenden Ressourcen eine mit 1,66 Prozent nahezu marginale Innovationsintensität und ein mit 45 Prozent unterdurchschnittlicher Institutionalierungsgrad systematischer Innovationsaktivitäten.¹³⁰ Ob Synergien zwischen vorhandenen Ressourcen und Fähigkeiten für die Innovation und das Innovationsprojekt genutzt werden, lässt sich nicht pauschal beantworten. Die Bedeutung von Synergien ist vermutlich gering, da sie neben einem direkten positiven auch einen indirekten negativen Einfluss auf den Innovationserfolg ausüben.

¹²⁸ Vgl. im Folgenden Busse et al. (2007), S. 29-39.

¹²⁹ Vgl. auch Bullinger/Schreiner (2006), S. 57-63.

¹³⁰ Vgl. Göpfert/Hornbostel (2009), S. 174-176.

Kunden stellen für Logistikdienstleister nach dem Management und den eigenen Mitarbeitern die wichtigste Informationsquelle während des Innovationsprozesses dar und werden vor allem in den frühen und späten Innovationsphasen berücksichtigt.¹³¹ In den dazwischen liegenden Phasen besteht jedoch noch zusätzliches Integrationspotenzial. Bei Dienstleistungen ist die Integration von Kunden von besonderer Bedeutung, da diese aufgrund der Interaktion im Leistungserstellungsprozess neben Dienstleistungsergebnis- auch Potenzial- oder Prozessinnovationen anstoßen können.¹³² Ist die Kunden-Dienstleister-Schnittstelle selbst Innovationsobjekt, kann durch die Kundenpartizipation ihre Kompatibilität verbessert werden.¹³³ Andere Kooperationspartner, Forschungsinstitute, Wettbewerber, Berater und Subdienstleister sind hingegen von unterdurchschnittlicher Bedeutung. Eine Verbesserung dieser Marktorientierung stellt eine Option zur Steigerung des Innovationserfolgs dar.

Für die Gegenüberstellung von Einzel- und Systemdienstleistungen ist zunächst nach deren Eigenschaften zu fragen. Systemdienstleistungen, auch als Kontraktlogistik bezeichnet, stellen Leistungen dar, *„bei denen mehrere logistische Funktionen zu einem Leistungspaket erhöhter Komplexität integriert sind (...), die Geschäftsbeziehung längerfristig vertraglich abgesichert ist (...), und zwar in einer individuell den Bedürfnissen des Verladers angepassten und ausgestalteten Weise, bei einem Geschäftsvolumen, das ein erhebliches Mindestjahresgeschäftsvolumen überschreitet“*.¹³⁴ Systemdienstleistungen sind komplex, weil sie viele und heterogene Teilleistungen kombinieren. Die negativen Auswirkungen der Komplexität auf Kompatibilität und den relativen Produktvorteil – wie im Modell dargestellt – sind hier nicht einsichtig. Im Gegenteil, viele unterschiedliche Teilleistungen ermöglichen die Gesamtleistung besser auf den Kunden zuzuschneiden (Kompatibilität) und besitzen ein größeres Verbesserungspotenzial (relativer Produktvorteil). Die Wirkung der Kausalbeziehungen wird für das logistikdienstleistungsspezifische Erfolgsfaktorenmodell entsprechend revidiert.

Die Vertragsdauer ist Repräsentant der zeitlichen Teilbarkeit einer Leistungsanspruchnahme, sodass für System- im Vergleich zu Einzelleistungen eine geringere Teilbarkeit konstatiert werden kann. Derart operationalisiert dreht sich das Vorzeichen des Zusammenhangs. Um bei Systemdienstleistungen eine höhere Teilbarkeit zu erreichen, kann eine sukzessive Projektumsetzung beim Pilotkunden vorgenommen werden.¹³⁵ Da Dienstleistungen vom Dienstleister nicht autonom produziert, sondern direkt am Kunden bzw. Kundenobjekt erbracht werden, ist eine Erprobung von Dienstleistungen nicht möglich – der Faktor wird folglich aus dem Modell gestrichen.¹³⁶ Systemdienstleistungen sind kundenindividuell. Diese Individualität ist jedoch nicht de-

¹³¹ Vgl. im Folgenden Göpfert/Hornbostel (2009), S. 176-177.

¹³² Vgl. Busse (2005), S. 60.

¹³³ Vgl. Busse (2005), S. 60.

¹³⁴ Klaus (2007), S. 94.

¹³⁵ Vgl. hierzu die erfolgreiche Umsetzung des Konzeptes *„Supply the Sky“* von KÜHNE+NAGEL bei Reich (2009), S. 267-287.

¹³⁶ Vgl. z.B. Maleri/Frietzsche (2008), S. 63.

ckungsgleich mit einer hohen Kompatibilität. Um die Innovation am Markt an möglichst zahlreiche Kunden absetzen zu können, sollte das Ziel von Logistikdienstleistern in der Realisierung einer hohen Anpassbarkeit, z. B. durch Modularisierung, bestehen.¹³⁷

In Abhängigkeit von den Eigenschaften einer Leistung divergiert deren Beobachtbarkeit. Nach DARBY/KARNI besitzen Leistungen unterschiedliche Anteile von Such-, Erfahrungs- und Vertrauenseigenschaften.¹³⁸ Bei Sucheigenschaften handelt es sich um Leistungscharakteristika, die vor dem Kauf identifiziert werden können (z. B. Preis, Farbe). Erfahrungseigenschaften können nur durch die Leistungsinanspruchnahme aufgedeckt werden (z. B. Geschmack). Im Gegensatz dazu zeichnen sich Vertrauenseigenschaften durch (prohibitiv) hohe Beurteilungskosten selbst nach der Inanspruchnahme aus (z. B. Diagnose bei Arzt). Mit zunehmendem Anteil von Erfahrungs- sowie vor allem Vertrauenseigenschaften sinkt die Beobachtbarkeit. Da Dienstleistungen aufgrund der notwendigen Integration des Kunden bzw. Kundenobjektes vor der Leistungserstellung noch nicht vorliegen, existieren kaum Sucheigenschaften.¹³⁹ Erfahrungen sind zur Leistungsbeurteilung nur dann verlässlich, wenn von einer hohen Reproduzierbarkeit der Leistung ausgegangen werden kann. Folglich weisen System- im Vergleich zu Einzeldienstleistungen eine geringere Beobachtbarkeit auf.

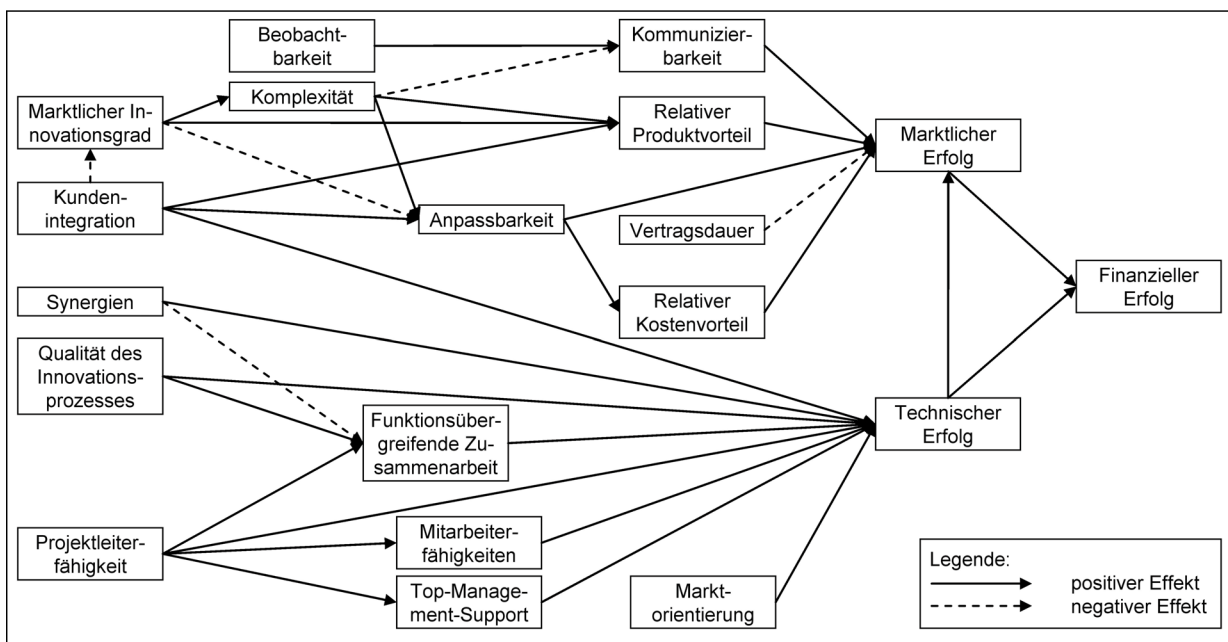


Abb. 3: Logistikdienstleistungsspezifisches Innovationserfolgsfaktorenmodell

Die Vermarktungsmöglichkeiten (Kommunikation) beschränken sich bei Vertrauenseigenschaften auf die Bereitstellung leistungsübergreifender Informationssurrogate (z. B. Referenzen). Bei Erfahrungseigenschaften können zusätzlich leistungsbezogene Informationssurrogate (z. B. Garantien) eingesetzt werden. Damit bestätigt sich der

¹³⁷ Vgl. Busse et al. (2007), S. 34.

¹³⁸ Vgl. im Folgenden Darby/Karni (1973), S. 68-75.

¹³⁹ Vgl. im Folgenden Mengen (1993), S. 131-135.

positive Zusammenhang zwischen Beobachtbarkeit und Kommunizierbarkeit. Da sich für die weiteren Innovationsmerkmale keine weiteren Besonderheiten ergeben, stellt die vorstehende Abbildung das logistikdienstleistungsspezifische Innovationserfolgsfaktorenmodell dar.

7 Kritische Würdigung und Forschungsbedarf

Der vorliegende Beitrag hat auf theoretischer Basis Determinanten zur Erklärung des technischen und marktlichen Innovationserfolgs identifiziert und für Logistikdienstleistungsinnovationen spezifiziert. Während die Adoptions- und Diffusionstheorie eindeutige Merkmale vorgibt, weisen der *resource-based* und *dynamic capabilities view* einen vergleichsweise großen Interpretationsspielraum auf. Folglich ist wesentlich schwieriger zu beurteilen, ob sämtliche relevanten Erfolgsfaktoren berücksichtigt wurden. Dennoch ist es insgesamt gelungen, die großen Schwächen der Innovationserfolgsfaktorenforschung zu überwinden – die fehlende theoretische Fundierung sowie die Vernachlässigung indirekter Erfolgswirkungen. Der weitere Forschungsbedarf besteht zum einen in der Sicherstellung der Inklusion aller relevanten Einflussfaktoren. Vor allem die Spezifikation für Logistikdienstleistungen ist weiter zu elaborieren. Letztlich ist die empirische Validierung des Modells zur Beurteilung seiner Güte und der Elimination irrelevanter Faktoren von fundamentaler Bedeutung.

8 References/Literaturverzeichnis

- Baker, W.E./Sinkula, J.M. (1999): Learning Orientation, Market Orientation, and Innovation: Integrating and Extending Models of Organizational Performance, in: Journal of Market Focused Management, 4. Jg., Nr. 4, S. 295-308.
- Balachandra, R. (1991): Some Strategic Aspects of Faster New Product Introduction, in: Kocaoglu, D.F./Niwa, K. (Hrsg.): Technology-Management. The New International Language, PICMET '91 – Portland International Conference on Management of Engineering and Technology, New York, S. 226-229.
- Balachandra, R./Friar, J.H. (1997): Factors for Success in R&D Projects and New Product Innovation: A Contextual Framework, in: IEEE Transactions on Engineering Management, 44. Jg., Nr. 3, S. 276-287.
- Bamberger, I./Wrona, T. (1996): Der Ressourcenansatz im Rahmen des Strategischen Managements, in: Wirtschaftswissenschaftliches Studium, 25. Jg., Nr. 8, S. 386-391.
- Barney, J.B. (1991): Firm Resources and Sustained Competitive Advantage, in: Journal of Management, 17. Jg., Nr. 1, S. 99-120.
- Baumberger, J./Gmür, U./Käser, H. (1973): Ausbreitung und Übernahme von Neuerungen. Ein Beitrag zur Diffusionsforschung, Band 1, Bern, Stuttgart.
- Billing, F. (2003): Koordination in radikalen Innovationsvorhaben, Wiesbaden, zugl. Berlin, Univ., Diss., 2002.
- Bischof, P. (1976): Produktlebenszyklen im Investitionsgüterbereich. Produktplanung unter Berücksichtigung von Widerständen bei der Markteinführung, Göttingen.
- Böcker, F./Kotzbauer, N./Ott, D. (1989): Einflußgrößen des Erfolgs von Markteinführungen industrieller Produkte, Regensburg.
- Bretzke, W.-R. (2004): Logistik-Outsourcing: Ein anhaltender Trend und seine Grenzen, in: Logistik Management, 6. Jg., Nr. 3, S. 10-18.

- Brinkmann, J.H. (1997): Betrieblicher Innovationsprozeß und Innovationserfolg am Beispiel medizinisch-technischer Hilfsmittel, Berlin, zugl. Kiel, Univ., Diss., 1995.
- Brown, S.L./Eisenhardt, K.M. (1995): Product Development: Past Research, Present Findings, and Future Directions, in: *Academy of Management Review*, 20. Jg., Nr. 2, S. 343-378.
- Bullinger, H.-J./Schreiner, P. (2006): Service Engineering: Ein Rahmenkonzept für die systematische Entwicklung von Dienstleistungen, in: Bullinger, H.-J./Scheer, A.-W. (Hrsg.): *Service Engineering. Entwicklung und Gestaltung innovativer Dienstleistungen*, 2., vollständig überarbeitete Aufl., Berlin et al., S. 53-84.
- Burmann, C. (2002): Strategische Flexibilität und Strategiewechsel als Determinanten des Unternehmenswertes, Wiesbaden, zugl. Münster, Univ., Habil., 2001.
- Burr, W./Musil, A./Stephan, M./Werkmeister, C. (2005): Unternehmensführung. Strategien der Gestaltung und des Wachstums von Unternehmen, München.
- Busse, C./Eitelwein, O./Wallenburg, C.M. (2007): Prozessmodell der Innovationsentwicklung bei Logistikdienstleistern, in: *Logistik Management*, 9. Jg., Nr. 3/4, S. 23-41.
- Busse, D. (2005): Innovationsmanagement industrieller Dienstleistungen. Theoretische Grundlagen und praktische Gestaltungsmöglichkeiten, Wiesbaden, zugl. Bochum, Univ., Diss., 2005.
- Cooper, R.G. (2010): Top oder Flop in der Produktentwicklung. Erfolgsstrategien: Von der Idee zum Launch, 2. Aufl., Weinheim.
- Cooper, R.G./Easingwood, C.J./Edgett, S./Kleinschmidt, E.J./Storey, C. (1994): What Distinguishes the Top Performing New Products in Financial Services, in: *Journal of Product Innovation Management*, 11. Jg., Nr. 4, S. 281-299.
- Danneels, E. (2002): The Dynamics of Product Innovation and Firm Competences, in: *Strategic Management Journal*, 23. Jg., Nr. 12, S. 1095-1121.
- Darby, M.R./Karni, E. (1973): Free Competition and the Optimal Amount of Fraud, in: *Journal of Law and Economics*, 16. Jg., Nr. 1, S. 67-88.
- Darkow, I.-L./Jahns, C./da Mota Pedrosa, A. (2007): Entwicklungen neuer Dienstleistungen, in: Wolf-Kluthausen, H. (Hrsg.): *Jahrbuch Logistik 2007*, Korschenbroich, S. 115-118.
- Davis, F.D. (1989): Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology, in: *MIS Quarterly*, 13. Jg., Nr. 3, S. 319-340.
- Dess, G.G./Robinson, R.B. Jr. (1984): Measuring Organizational Performance in the Absence of Objective Measures: The Case of the Privately-held Firm and Conglomerate Business Unit, in: *Strategic Management Journal*, 5. Jg., Nr. 3, S. 265-273.
- Dierickx, I./Cool, K. (1989): Asset Stock Accumulation and Sustainability of Competitive Advantage, in: *Management Science*, 35. Jg., Nr. 12, S. 1504-1511.
- Eisenhardt, K.M./Martin, J.A. (2000): Dynamic Capabilities: What are they?, in: *Strategic Management Journal*, 21. Jg., Nr. 10/11, S. 1105-1121.
- Ernst, H. (2002): Success Factors of New Product Development: A Review of the Empirical Literature, in: *International Journal of Management Reviews*, 4. Jg., Nr. 1, S. 1-40.
- Flint, D.J./Larsson, E./Gammelgaard, B./Mentzer, J.T. (2005): Logistics Innovation. A Customer Value-Oriented Social Process, in: *Journal of Business Logistics*, 26. Jg., Nr. 1, S. 113-147.
- Franklin, J.R. (2007): Controlling the Messy World of Logistics Service Innovation, in: *Zeitschrift für Controlling & Management*, Sonderheft Nr. 3, S. 19-25.
- Gatignon, H./Tushman, M.L./Smith, W./Anderson, P. (2002): A Structural Approach to Assessing Innovation: Construct Development of Innovation Locus, Type, and Characteristics, in: *Management Science*, 48. Jg., Nr. 9, S. 1103-1122.
- Gerpott, T.J. (2005): Erfolgsfaktoren von industriellen Neuprodukt-Entwicklungsprojekten – Eine Bestandsaufnahme der empirischen Forschung, in: Amelingmeyer, J./Harland, P.E. (Hrsg.): *Technologiemanagement & Marketing. Herausforderungen eines integrierten Innovationsmanagements*, Wiesbaden, S. 109-130.

- Göpfert, I./Hillbrand, T. (2005): Innovationsmanagement für Logistikunternehmen, in: Wolf-Kluthausen, H. (Hrsg.): Jahrbuch der Logistik 2005, Korschbroich, S. 48-53.
- Göpfert, I./Hornbostel, B. (2009a): Innovationsmanagement bei Logistikdienstleistern. Theoretische Implikationen und praktische Erkenntnisse, in: Göpfert, I. (Hrsg.): Logistik der Zukunft – Logistics for the Future, 5., aktualisierte und überarbeitete Aufl., Wiesbaden, S. 167-194.
- Grant, R.M. (1991): The Resource-Based Theory of Competitive Advantage: Implications for Strategy Formulation, in: California Management Review, 33. Jg., Nr. 3, S. 114-135.
- Griffin, A./Page, A.L. (1993): An Interim Report on Measuring Product Development Success and Failure, in: Journal of Product Innovation Management, 10. Jg., Nr. 4, S. 291-308.
- Gruner, K.E./Homburg, C. (2000): Does Customer Interaction Enhance New Product Success?, in: Journal of Business Research, 28. Jg., Bd. 49, Nr. 1, S. 1-14.
- Gupta, A.K./Wilemon, D.L. (1990): Accelerating the Development of Technology-Based New Products, in: California Management Review, 32. Jg., Nr. 2, S. 24-44.
- Han, J.K./Kim, N./Srivastava, R.K. (1998): Market Orientation and Organizational Performance: Is Innovation a Missing Link?, in: Journal of Marketing, 62. Jg., Nr. 4, S. 30-45.
- Hauptman, O./Hirji, K.K. (1996): The Influence of Process Concurrency on Project Outcomes in Product Development: An Empirical Study of Cross-Functional Teams, in: IEEE Transactions on Engineering Management, 43. Jg., Nr. 2, S. 153-164.
- Hauschildt, J. (1993): Innovationsmanagement – Determinanten des Innovationserfolges, in: Hauschildt, J./Grün, O. (Hrsg.): Ergebnisse empirischer betriebswirtschaftlicher Forschung. Zu einer Realtheorie der Unternehmung, Stuttgart, S. 295-326.
- Hauschildt, J./Salomo, S. (2011): Innovationsmanagement, 5., überarbeitete, ergänzte und aktualisierte Aufl., München.
- Henard, D.H./Szymanski, D.M. (2001): Why Some New Products are More Successful than Others, in: Journal of Marketing Research, 38. Jg., Nr. 3, S. 362-375.
- Högl, M./Gemünden, H.G. (2001): Teamwork Quality and the Success of Innovative Projects: A Theoretical Concept and Empirical Evidence, in: Organization Science, 12. Jg., Nr. 4, S. 435-449.
- Howell, J.M./Shea, C.M. (2001): Individual Differences, Environmental Scanning, Innovation Framing, and Champion Behavior: Key Predictors of Project Performance, in: Journal of Product Innovation Management, 18. Jg., Nr. 1, 2001, S. 15-27.
- Iansiti, M./Clark, K.B. (1994): Integration and Dynamic Capability: Evidence from Product Development in Automobiles and Mainframe Computers, in: Industrial and Corporate Change, 3. Jg., Nr. 3, S. 557-605.
- Imai, K.-I./Nonaka, I./Takeuchi, H. (1985): Managing the New Product Development Process: How Japanese Companies Learn and Unlearn, in: Clark, K.B./Hayes, R.H./Lorenz, C. (Hrsg.): The Uneasy Alliance. Managing the Productivity-Technology Dilemma, Boston, S. 337-375.
- Jensen, B./Harmsen, H. (2001): Implementation of Success Factors in New Product Development – The Missing Links?, in: European Journal of Innovation Management, 4. Jg., Nr. 1, S. 37-52.
- Keller, R.T. (2004): A Resource-based Study of New Product Development: Predicting Five-year Later Commercial Success and Speed to Market, in: International Journal of Innovation Management, 8. Jg., Nr. 3, S. 243-260.
- Klaus, P. (2007): Markt für Kontraktlogistik – Volumen und Entwicklungen in Europa, in: Stölzle, W./Weber, J./Hofmann, E./Wallenburg, C.M. (Hrsg.): Handbuch Kontraktlogistik. Management komplexer Logistikdienstleistungen, Weinheim, S. 89-112.
- Klement, K. (2007): Entstehung von Innovationsideen im eigenen Unternehmen aus der Perspektive eines Logistikdienstleisters, in: Pfohl, H.-C. (Hrsg.): Innovationsmanagement in der Logistik. Gestaltungsansätze und praktische Umsetzung, Hamburg, S. 210-226.
- Köhler, R. (1991): Produkt-Innovationsmanagement als Erfolgsfaktor, in: Müller-Böling, D./Seibt, D./Winand, U. (Hrsg.): Innovations- und Technologiemanagement, Stuttgart, S. 153-175.

- Kotzbauer, N. (1992): Erfolgsfaktoren neuer Produkte. Der Einfluß der Innovationshöhe auf den Erfolg technischer Produkte, Frankfurt am Main et al., 1992, zugl. Regensburg, Univ., Diss., 1992.
- Langley, J./Capgemini (2008): The State of Logistics Outsourcing. 2008 Third-Party Logistics, Results and Findings of the 13th Annual Study, o.O.
- Lawson, B./Samson, D. (2001): Developing Innovation Capability in Organisations: A Dynamic Capabilities Approach, in: *International Journal of Innovation Management*, 5. Jg., Nr. 3, S. 377-400.
- Maleri, R./Fritzsch, U. (2008): Grundlagen der Dienstleistungsproduktion, 5., vollständig überarbeitete Aufl., Berlin, Heidelberg.
- Mandakovic, T./Gorricho, E.L. (1991): Leadership in Product Development Phase, in: Kocaoglu, D.F./Niwa, K. (Hrsg.): *Technology Management. The New International Language*, PICMET '91 – Portland International Conference on Management of Engineering and Technology, New York, S. 230-234.
- Marsh, S.J./Stock, G.N. (2003): Building Dynamic Capabilities in New Product Development through Intertemporal Integration, in: *Journal of Product Innovation Management*, 20. Jg., Nr. 2, S. 136-148.
- Martin, C.R. Jr./Horne, D.A. (1995): Level of Success Inputs for Service Innovations in the same Firm, in: *International Journal of Service Industry Management*, 6. Jg., Nr. 4, S. 40-56.
- Mengen, A. (1993): Konzeptgestaltung von Dienstleistungsprodukten. Eine Conjoint-Analyse im Luftfrachtmarkt unter Berücksichtigung der Qualitätsunsicherheit beim Dienstleistungskauf, Stuttgart, zugl. Koblenz, Univ., Diss., 1992.
- Millson, M.R./Raj, S.P./Wilemon, D.L. (1992): A Survey of Major Approaches for Accelerating New Product Development, in: *Journal of Product Innovation Management*, 9. Jg., Nr. 1, S. 53-69.
- Montoya-Weiss, M.M./Calatone, R. (1994): Determinants of New Product Performance: A Review and Meta-Analysis, in: *Journal of Product Innovation Management*, 11. Jg., Nr. 5, S. 397-417.
- Müser, M. (1999): Ressourcenorientierte Unternehmensführung. Zentrale Bestandteile und ihre Gestaltung, Lohmar, Köln, zugl. Siegen, Univ., Diss., 1999.
- Olsen, E.M./Walker, O.C. Jr./Ruekert, R.W./Bonner, J.M. (2001): Patterns of Cooperation during New Product Development among Marketing, Operations and R&D: Implications for Project Performance, in: *Journal of Product Innovation Management*, 18. Jg., Nr. 4, S. 258-271.
- Perillieux, R. (1987): Der Zeitfaktor im strategischen Technologiemanagement. Früher oder später Einstieg bei technischen Produktinnovationen?, Berlin.
- Peteraf, M.A. (1993): The Cornerstones of Competitive Advantage: A Resource-Based View, in: *Strategic Management Journal*, 14. Jg., Nr. 3, S. 179-191.
- Pfohl, H.-C./Frunzke, H./Köhler, H. (2007): Innovationsgenerierung in kontraktlogistischen Beziehungen aus Dienstleister- und Kundensicht. Konzeption und empirische Ergebnisse, in: Pfohl, H.-C. (Hrsg.): *Innovationsmanagement in der Logistik. Gestaltungsansätze und praktische Umsetzung*, Hamburg, S. 106-164.
- Reich, D. (2009): Supply the Sky – Visionäre Logistiklösung erfolgreich realisiert, in: Göpfert, I. (Hrsg.): *Logistik der Zukunft – Logistics for the Future*, 5., aktualisierte und überarbeitete Aufl., Wiesbaden, S. 265-290.
- Rogers, E.M. (2003): *Diffusion of Innovations*, 5. Aufl., New York.
- Rüdiger, M. (1997): Marketing-Erfolgsfaktoren bei Innovationen – Eine kritische Analyse der Studien von Cooper und Kleinschmidt, Kiel.
- Rumelt, R.P. (1987): Theory, Strategy, and Entrepreneurship, in: Teece, D.J. (Hrsg.): *The Competitive Challenge. Strategies for Industrial Innovation and Renewal*, Cambridge, S. 137-158.
- Rumelt, R.P. (1984): Towards a Strategic Theory of the Firm, in: Lamb, R.B. (Hrsg.): *Competitive Strategic Management*, Englewood Cliffs, S. 556-570.
- Sammerl, N. (2006): Innovationsfähigkeit und nachhaltiger Wettbewerbsvorteil. Messung, Determinanten, Wirkungen, Wiesbaden, zugl. Witten/Herdecke, Univ., Diss., 2006.

- Schaller, C./Rackensperger, D./Reichwald, R. (2004): Innovationsmanagement von Dienstleistungen – Ein ganzheitlicher Ansatz und seine Umsetzung in die Praxis, in: Bruhn, M./Stauss, B. (Hrsg.): Dienstleistungsinnovationen. Forum Dienstleistungsmanagement, Wiesbaden, S. 47-71.
- Schmalen, H./Pechtl, H. (1996): Die Rolle der Innovationseigenschaften als Determinanten im Adoptionsverhalten, in: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 48. Jg., Nr. 9, S. 816-836.
- Skiba, F./Herstatt, C. (2008): Integration of Innovative Users as Source of Service Innovations, Arbeitspapier Nr. 54, Hamburg.
- Straube, F./Pfohl, H.-C./Günthner, W.A./Dangelmaier, W. (2005): Trends und Strategien in der Logistik. Ein Blick auf die Agenda des Logistik-Managements 2010, Bremen.
- Tatikonda, M.V./Montoya-Weiss, M.M. (2001): Integrating Operations and Marketing Perspectives of Product Innovation: The Influence of Organizational Process Factors and Capabilities on Development Performance, in: Management Science, 47. Jg., Nr. 1, S. 151-172.
- Teece, D.J./Pisano, G. (1994): The Dynamic Capabilities of Firms: an Introduction, in: Industrial and Corporate Change, 3. Jg., Nr. 3, S. 537-556.
- Teece, D.J./Pisano, G./Shuen, A. (1997): Dynamic Capabilities and Strategic Management, in: Strategic Management Journal, 18. Jg., Nr. 7, S. 509-533.
- Thiele, M. (1997): Kernkompetenzorientierte Unternehmensstrukturen. Ansätze zur Neugestaltung von Geschäftsbereichsorganisationen, Wiesbaden, zugl. Leipzig, Univ., Diss., 1996.
- Tornatzky, L.G./Klein, K.J. (1982): Innovation Characteristics and Innovation Adoption-Implementation: A Meta-Analysis of Findings, in: IEEE Transactions on Engineering Management, 29. Jg., Nr. 1, S. 28-45.
- Trommsdorff, V. (1990): Erfolgsfaktorenforschung, Produktinnovation und Schnittstelle Marketing – F&E, Diskussionspapier 143, Berlin.
- Trommsdorff, V./Steinhoff, F. (2007): Innovationsmarketing, München.
- Vahs, D./Burmester, R. (2005): Innovationsmanagement. Von der Produktidee zur erfolgreichen Vermarktung, 3., überarbeitete Aufl., Stuttgart.
- van der Panne, G./van Beers, C./Kleinknecht, A. (2003): Success and Failure of Innovation: A Literature Review, in: International Journal of Innovation Management, 7. Jg., Nr. 3, S. 309-338.
- Verona, G./Ravasi, D. (2003): Unbundling Dynamic Capabilities: an Exploratory Study of Continuous Product Innovation, in: Industrial and Corporate Change, 12. Jg., Nr. 3, S. 577-606.
- Wagner, S.M. (2008): Innovation Management in the German Transportation Industry, in: Journal of Business Logistics, 29. Jg., Nr. 2, S. 215-231.
- Wallenburg, C.M. (2009): Innovation in Logistics Outsourcing Relationships: Proactive Improvement by Logistics Service Providers as a Driver of Customer Loyalty, in: Journal of Supply Chain Management, 45. Jg., Nr. 2, S. 75-93.
- Weber, J./Wallenburg, C.M. (2004): Zusatzbeauftragung von Logistikdienstleistern. Empirische Ergebnisse und konzeptionelle Überlegungen zu entsprechenden Defiziten, in: Logistik Management, 6. Jg., Nr. 3, S. 34-46.
- Weiss, E./Neyer, B. (1990): Determinanten erfolgreicher technologischer Innovationen. Eine methodenkritische Analyse ausgewählter empirischer Studien, in: Pfeiffer, W./Weiss, E. (Hrsg.): Technologie-Management. Philosophie, Methodik, Erfahrungen, Göttingen, S. 41-125.
- Wolf, J. (2011): Organisation, Management, Unternehmensführung. Theorien, Praxisbeispiele und Kritik, 4., vollständig überarbeitete und erweiterte Aufl., Wiesbaden.

Realization of the “Internet of Things” - Towards an Engineering Model for technology-based Supply Chain Information Services

Helena Preiß

Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS und Zentrum für Intelligente Objekte ZIO, Dr.-Mack-Strasse 81, 90762 Fürth,
helena.preiss@iis.fraunhofer.de

Alexander Pflaum

Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS und Zentrum für Intelligente Objekte ZIO, Dr.-Mack-Strasse 81, 90762 Fürth,
alexander.pflaum@iis.fraunhofer.de

Abstract

The contribution discusses the slow adoption of supply chain information services which are based on Internet of Things-technologies. It answers the question whether there are service engineering models available which can be used to design new services in a way that the results fulfill user requirements and ensure a fast adoption process. A matching between technology-induced requirements and the characteristics of existing models is conducted to identify their main deficits. This paper recommends to disassemble existing models into process steps and design questions, to add additional steps and questions from the technological point of view and to reassign them in a way that all requirements are fulfilled. It emphasizes that the resulting design platform would be of high value for practitioners as well as for the scientific community.

1 Slow Adoption of Supply Chain Information Services based on Internet of Things Technologies - an Introduction

During the last ten years Internet of Things (IoT)-technologies like Radio Frequency Identification (RFID), Wireless Sensor Networks (WSN) and Real Time Locating Systems (RTLS) gained a lot of attention in logistics and supply chain management.¹

These technologies promise cost reduction through process optimization as well as additional turnover based on new value added information services for the customer.² While process optimization issues have been taken into account in the past,³ the potential increase of a company's turnover has been neglected both by the industry and the scientific community. Today only a few information services based on IoT-technologies are offered⁴ and up to now they have not been able to establish themselves within the market. A good example is EPCglobal's "Look-up Service".

The reasons for the slow adoption are not well understood yet. There are no empirical studies on that issue, but some reasonable guesses can be made. The companies are not able to convince the customer of the benefits of the offered service. And without perceiving an advantage a customer is not willing to pay money for an additional service. This is a question of marketing and cannot be solved in this context. A second reason is that the logistics industry is mainly customer driven.⁵ Without the external pressure of customer requests logistic service firms are not willing to introduce innovations and develop new offerings. Thirdly, it is assumed that logistic service providers are not familiar with the chances and risks of IoT-technologies. So they either fear negative outcomes by introducing these technologies in their company or they develop services which are not accepted by the customers as they don't fulfill their requirements. For the last point, this paper wants to develop a direction for further research. What is well understood is the fact that service engineering models help to create services which meet customer requirements.⁶ They have the ability to speed up adoption. There are several service engineering models published in literature but the question is if they are applicable for the development of services which are based on IoT-technologies? To answer this question the concept of service engineering is introduced in the next chapter. Afterwards the in-principal innovative character of IoT-technologies is proven.⁷ In chapter four we deducted requirements which a service engineering model has to fulfill and we match these requirements with already existing models. Finally, we suggest a direction for further research in chapter five.

¹ An overview is shown in Ferrer/Dew/Apte (2010), p. 417

² Vgl. Pflaum (2007), p. 301

³ Vgl. for example Informationsforum RFID e. V. (n.d.), p. 6; METRO Group (n.d.), p. 7ff; Darkow/Decker (2006), p. 48ff

⁴ Vgl. for example Original1 (2011); DHL Solutions & Innovations (2011), p. 1f

⁵ Vgl. Hillbrand/März (2009), p. 18

⁶ Vgl. Bullinger/Scheer (2006), p. 4f

⁷ Vgl. Weiss (2004), p. 320ff; Pflaum (2001), p. 59ff

2 Service Engineering as the basic Design Instrument

Service engineering is a young discipline and can be defined as the systematic development and design of services with the help of suitable models, methods, and tools.⁸ The broadness of the literature on service engineering and service development suggests that the right processes and methods are available. During the last thirty years roundabout twenty different process models have been developed and published in the scientific community. Additionally, the number of methods and tools supporting the particular steps of the sometimes sequential and sometimes iterative models is almost countless. So why not stop the discussion here and put existing theory to work? The answer is that one has to challenge the suggestion so hastily mentioned above. A look into the literature shows that fundamental contributions that build up a link between “revolutionary” or “in-principle” technological innovations like RFID – the in-principle character of the IoT-technologies will be discussed later on in the text – and service design are missing. Therefore the question is whether existing design procedures and methodology can really be used to develop IoT-based services in an effective and efficient manner or not. In case that the answer is “no” the question turns in how a procedure serving the requirements should look like. The following pages will give a comprehensive answer.

3 Remarks concerning the in-principle innovative character of IoT-technologies

To work out the special engineering requirements for information services based on IoT-technologies one has to understand their in-principle innovative character. The literature on technology and information management provides different definitions for “innovation”⁹ and the term is difficult to handle from a scientific point of view. One dimension of innovation discussed in literature is its degree. Here “in-principle” and “gradual” innovations are distinguished from each other. In-principle innovations in the field of information and communication technologies feature four different main attributes.¹⁰

They

- a) rest upon totally new technologies,
- b) destroy existing know-how and require new competences,
- c) change structures by complementary or even system innovations, and
- d) deliver formerly unknown performance levels and cut costs significantly.

From the logistics and the supply chain management’s point of view IoT-technologies hold all these attributes. Despite the implementation activities of companies like Wal

⁸ Vgl. DIN e. V. (1998), p. 11ff

⁹ Vgl. for example Barnett (1953), p. 7; Roberts (1987), p. 3; Schmookler (1966), p. 2; Vedin (1976), p. 22

¹⁰ Vgl. Weiss (2004), p. 320ff

Mart, Gilette, Metro, Deutsche Post, and other pioneers the larger part of potential users is not familiar with the benefits and challenges of the technology.

a) Totally new basic technology:

Today most logistics companies use barcodes to identify their products, cases, or pallets. In the aviation industry companies like Lufthansa Technik attach ruggedized barcode labels to spare parts to optimize logistics and asset management processes. Within the outlets of retail companies like Metro there is no single product which is not equipped with a small barcode label and most of the checkout systems would have problems without the printed machine readable identifier. Deutsche Post World Net would also be lost without barcode labels controlling the material flow running through depots and hubs. From the technological point of view optical systems are used today to transfer information between the barcode identifier and the reading device. But a line of sight is necessary and the degree of automation is limited when barcode is used. IoT-technologies do not use light but electromagnetic waves for communication between a microelectronic label and a base station. From the user's point of view the use of radio frequency technology has been unknown to the industry and is therefore an in-principle innovation. With the new technology the line of sight precondition loses its importance and a full automation of identification processes is possible.

b) Destruction of existing knowledge:

During the last 30 years companies developed and cultivated comprehensive know how concerning the adoption and implementation of barcode technology. Today nobody finds trouble in choosing the right barcode standard or to integrate a barcode-based solution into existing processes and information systems. The situation changes dramatically with IoT-technologies. The attachment of microelectronic labels to moving objects like containers, pallets, or products is nothing else but the first step towards a fundamental change of the IT-architecture which is in use today. Decentralization and mobility are the key words. Providing much larger storage capabilities than the classical barcode combined with data processing functions IoT-technologies allow decentralization of data bases and application software as well. Together with the different objects named above data and application software modules start to move through global supply chains. A lot of questions that have never been relevant in the barcode case have to be answered now. The easiest of them concerns the design of a reader gate which guarantees a robust and highly reliable automatic identification of items running through a gate in a logistics depot or hub. More complex is a second question, how to integrate worldwide distributed readers into an existing and supply chain spanning information system? Nearly insolvable seems the third problem of a sustainable design of the future's IT-architecture within a company. While standard competences in system integration and implementation are sufficient for the adoption of barcode, IoT-technologies require highly developed competences in systems and software engineering. Barcode knowledge does not help here. This is why companies like Lufthansa Technik, DHL, or the Metro Group cooperate intensively with scientific organizations.

For the moment this is the easiest way to access the competences which are necessary for adoption.

c) Changing existing structures:

Already a skin-deep look at existing implementations shows that there are a lot of complementary innovations coming together with the microelectronic label. New types of readers, middleware for their integration into existing information systems, new application software supporting modified or new business processes are needed to create benefit for the company. Hence, the IT structure changes significantly and the more the technology penetrates the company's business processes the more likely are changes of the organizational structures as well. For example, Lufthansa Technik created a new unit besides the existing IT department which is exclusively responsible for RFID projects within the whole organization. The implementation of the new technology in the Fast Moving Consumer Goods Segment of the retail market was one of the main reasons for DHL to set up the Innovation Center in Troisdorf which operates a large demonstration and test center with more than two thousand square meters. More than seventy employees are working for the Innovation Center today. The Metro Group on the contrary invested a lot of money into the Future Store Initiative. A countryside retail outlet was equipped with RFID technology and complementary innovations like in-house localization systems, fully automated checkouts, and mobile handhelds for the customer. Beyond that Metro Group and DHL Innovation Center launched the European EPC Competence Center, a test and demonstration lab which pushes especially EPC global conform RFID technologies and services. EPCglobal is the best proof of the in-principle character of the RFID technology. The company was launched by MIT's Auto-ID-Lab some years ago and it developed into a global organization which is one of the most important drivers of the technology. It runs its own IT infrastructure and offers first information services to customers from various industrial branches.

d) Higher performance levels and lower costs:

IoT-technologies deliver a higher performance compared to the barcode. A barcode is written once and can be read indefinitely often. The information coded into the bars and gaps is customarily limited to an identification number. On the contrary the microelectronic tag has the ability to store a larger amount of data which can be changed or extended as often as it is needed within a given process. But this is just one minor issue. More important is the fact that readers for IoT-technologies have the ability to identify some hundred objects at the same time automatically even if the tags are hidden in the packaging (bulk reading) while barcode scanners are limited to read only one barcode at the same time. In the barcode case a “line of sight” between the label and the scanner is needed and both have to be aligned with each other manually or by means of material flow systems. IoT-technologies on the other hand allow full automation of the identification process. The cost discussion is more complex compared to performance issues. On the one hand it is true that the cheapest microelectronic tag costs at least four times as much as a printed barcode label. On the other hand one

must not forget that there are other types of costs which have to be taken into account. IoT-technologies can be used to reduce process and asset costs. For example, Lufthansa Technik was able to speed up in-house logistics processes by 70 percent and to reduce the number of spare parts. The resulting business case allows the application of ruggedized and relatively expensive microelectronic tags directly on the spare parts. DHL and Metro Group invested a lot of money into rolling-out the RFID technology in Metro's French cash and carry markets on the pallet level. Both companies report that cost reduction on the process-side allows an easy argumentation of the implementation costs.

4 Deficits of existing Service Engineering Models - Results of a Matching Process between technology-induced Requirements and Characteristics of existing Models

4.1 Deduction of Requirements for Service Engineering Models

Since we have shown that IoT-technologies are one of these in-principle innovations the question comes up how companies like Lufthansa Technik, DHL, and Metro can develop IoT-based information services which are able to meet the customer desires. The first thing needed is a procedure model which fulfills certain requirements. On the following pages we deduct these requirements directly from the in-principle character of the IoT-technologies.

Requirement 1: The starting point of the service design should be a well defined key problem of the customer.

The adoption of an in-principle innovation is connected with high investments which have to be justified by accordingly high benefits.¹¹ Addressing a minor problem within a company by means of high technology does not make sense. The real benefits hide behind real problems. Therefore, the first step of service creation should be the identification of a company's main problems and the second should be the discussion whether IoT-technologies deliver a significant amount of solution potential or not. In case that this discussion ends with a clear "yes", the starting point for a service design project is well defined. So, researchers and industrial companies should drive IoT implementation against the background of key problems the industry is struggling with. For example, MIT's Auto-ID activities have been motivated with core problems like shrinkage, out-of-stock, counterfeiting, recalls, recycling, unsaleables, and data accuracy.¹² Lufthansa Technik started its RFID activities to increase availability of existing spare parts, to minimize asset costs by reducing their number, and to boost the value of the company itself. Metro was initially motivated by increasing turnover via higher on-shelf-availability of high value products like razor blades for their customers. DHL

¹¹ Vgl. Decker et al. (2008), p. 157

¹² Vgl. Condea/Thiesse/Fleisch (2009), p. 955f; Staake (2005), p. 1607ff; Tellkamp et al. (2004), p. 19; Thiesse/Dierkes/Fleisch (2006), p. 48

again cooperated with Metro Group to gain a competitive advantage compared to other logistics service providers by means of a high-end tracking and tracing service.

Requirement 2: The service engineering procedure has to include the analysis of the already existing problem solution.

There is no problem which is not at least partially solved by an existing solution. For example, Lufthansa Technik uses a paper based information system to keep track of expensive spare parts. Installation and removal of every part of an aircraft are documented on a sheet of paper which also controls the logistics processes to and from the corresponding repair shop. Therefore, the transparency of the material flow is limited and the availability of spare parts from an IT’s point of view could be enhanced by using microelectronic labels. DHL uses a barcode based solution for tracking and tracing which is working quite well on a national level. Problems arise in the international business. Here the company has to cooperate with partner firms which support their own information systems and tracking and tracing tools. The main challenge is the seamless integration of the different IT landscapes. Without fully integrated systems it is impossible to deliver full status information along the international transport chain. The implementation of RFID technology on a global scale and the construction of a global tracking and tracing service open for all business partners could be a better solution for their transparency problem.¹³ Checkouts with integrated barcode scanners generate the information which is necessary for the implementation of continuous replenishment solutions in Metro’s retail outlets. Unfortunately, there is no information how much of the remaining stock is located in the storage room or on the shelf in the sales room. RFID enabled shelves could solve this problem better. The precondition would be that microelectronic tags are attached to the products. But in all three cases a RFID-based system has to compete with the existing solution.

Requirement 3: Discussion of the added value which could be realized by implementing IoT-technologies together with a lead user.

The RFID hype which started in the late 90ies seems to be history. Discussions with technology providers like Siemens or Texas Instruments and technology users like Lufthansa Technik, DHL, and Metro make clear that investments into a development or implementation project have at any rate to be supported by a strong business case. Otherwise the risk of losing a lot of money with the implementation of the in-principle innovation would be too high. The design of an IoT-based information service for a customer or a market segment does only make sense if significant and quantifiable financial benefits can be pinpointed. The technology can be used to speed up or to shorten order-to-payment processes, to support controlling and financial activities, to enhance the data accuracy of a company’s information system, and to safeguard the

¹³ Vgl. Chikova/Simon/Loos (2008), p. 178ff

competitive position of a company.¹⁴ The list of benefits provided by the literature is long. Therefore, the challenge is not to name the relevant benefits in a certain case but to find the lead user who is willing to quantify these together with the provider of the future service. On the one hand the examples used before show that this is not an impossible task. Lufthansa Technik Logistik works together with its parent enterprise Lufthansa Technik, DHL found a very enthusiastic cooperation partner in its customer Metro, and Metro itself uses the original customers of its future store as “lead users”. On the other hand companies like EPCglobal struggle with the establishment of new information services. The reason might be that lead users with precise ideas concerning the service and the benefits are missing here. But this is a complex question which should be handled in another scientific paper. In any case, the added value of a future IoT-based information service has to be quantified during the design phase to deliver the necessary business case.

Requirement 4: Good understanding of the technological state of the art as well as of the more important technological developments.

In contrast to gradual technical innovations the time period between practical tests of first prototypes and the broad industry-spanning implementation of mature products is much longer in case of in-principle innovations. For example, low-cost microelectronic tags for the identification of parcels in postal value chains are available since the late 90ies. Even though the price of a tag has been reduced from 50 to 12 Eurocents over the years through continuous development and optimization of the production processes the broad rollout never took place. The reason is that the tag-price is still not acceptable for postal companies and one has to make the assumption that it won't be until RFID tags made out of polymer materials are available. This example shows that working business cases are connected with performance characteristics which are achieved during the technology life cycle. Therefore, an understanding of the technological state of the art is a precondition for a successful service design. In case of the postal services and the parcel application the business case does not depend on the technological performance but on the price of the product itself. In the case of the RFID implementation activities at Lufthansa Technik Logistik the project team learned that the strength of the business case increases with the decrease of the volume of the microelectronic tag which is attached to a spare part. The smaller the tag the larger is the scope of spare parts which can be identified using RFID. Before starting the development of their own tag, the company carried out a comprehensive state of the art study on metal mount tags to make sure that existing products really didn't meet the previously defined requirements. DHL prepared a similar study on sensor enabled RFID tags years ago. Since there was no tag which met the market requirements the company started to develop its own technological solution. Meanwhile, the sensor tag is available. The company's Innovation Center is currently setting up a temperature

¹⁴ Vgl. for example Jedermann/Lang (2008), p. 120; Kleist et al. (2004), p. 4ff; Winkler/Kaluza/Blasl (2008), p. 347; Wolfram/Gampl/Gabriel (2008), p. 31ff

monitoring service for their customers which is based on this tag. Metro is one step behind the other two companies as far as item tagging is concerned. The basic technology which is needed to produce low-cost tags for fast moving consumer goods does still not exist. Experts assume that polymer tags meeting the requirements will be available in five to ten years from now.¹⁵ Therefore, Metro confines itself to monitor the major technology developments and trends. These examples show that companies have two different alternatives. On the one hand they can wait until new products deliver the needed performance level or on the other hand they can try to develop their own solution together with a technology partner. In the Metro case there is nothing left but to monitor because of the polymer technologies position within its life cycle.

Requirement 5: The design procedure has to support the decision between existing functional equivalent technologies.

From the innovation management’s point of view an IoT-technology must not be considered isolated. A closer look at the various IoT-technology shows that there are functional equivalent technologies which might be used for the same purpose. Tab. 1 summarizes these technologies and their functional profiles.

Nr.	Technology	Functions						
		Identification	Bulk Reading	Data Storage	Sensors	Localization	Networking	Data Processing
1	Radio Frequency Identification	X	X	X		X		
2	Sensor Tags	X		X	X			
3	Telematics Modules	X		X	X	X		X
4	Real Time Location Systems	X	X			X		
5	Wireless Sensor Networks	X	X	X	X	X	X	X

Tab. 1: RFID and other functional equivalent technologies

We already discussed the main functions of barcode, radio frequency identification, and sensor tag technologies. In connection with RFID we have to add that it is possible to localize long-range tags in-house with a special technical infrastructure today. Especially RFID technology competes with telematics modules when larger items like pallets or containers have to be tracked on a global level. Here integrated GSM and GPS

¹⁵ Vgl. Wolfram/Gampl/Gabriel (2008), p. 132

modules deliver additional functions and add more value to the information service. Another technological alternative that has to be taken into account are real time locating systems or RTLS. The accordant tags are quite small and allow localization processes with a special resolution up to a few centimeters. Finally, there is the emerging technology of sensor networks or WSN. Microelectronic tags start to talk to each other, to carry out business logic, and to solve complex problems cooperatively. The question which arises here is which technology is the right one for a given problem or application scenario. Fig. 1 helps to explain the importance of this issue.

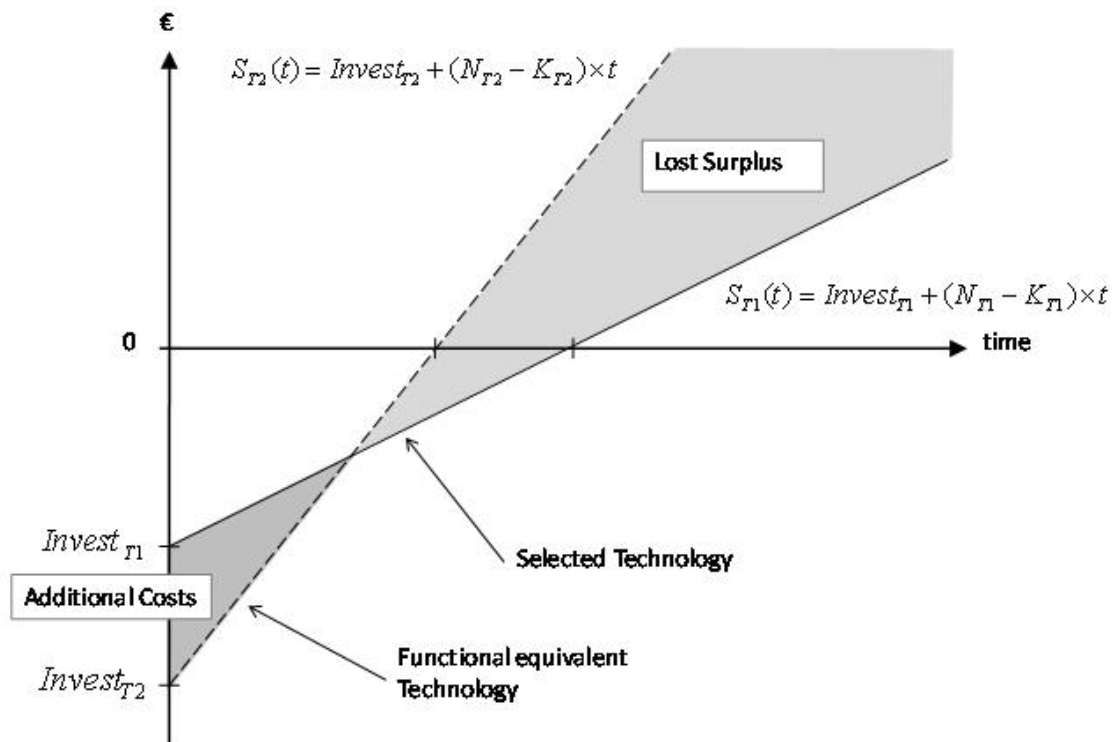


Fig. 1: The problem of technology selection

It shows the development of the surplus over time for two functional equivalent technologies on an abstract level. Technology one is connected with less investment costs than technology two. Vice versa the relation between current benefits and running costs for technology two is much higher than in case of technology one. If a person bases his or her decision on this data, he or she would choose technology two. However, the necessary liquid funds have to be available. In case that a user selects technology one he loses a lot of money which is represented by the grey area within the figure. The amount of lost money differs from case to case but it might be significant. The example shows that the service engineering procedure we are looking for must include a technology selection step. Ideally, all possible functional equivalent technologies have to be analyzed with regard to economic consequences. The decision between different technological alternatives is sometimes easy. Lufthansa Technik Logistik uses RFID tags because all other functional equivalent technologies need batteries on the microelectronic tag and therefore are not allowed by the International Air Transport Association. DHL's temperature monitoring system could also be supported

with wireless sensor networks but a standard, which is the precondition for technology implementation in global logistics processes, does not exist yet. In Metro’s item tagging case none of the functional equivalent technologies delivers a reasonable business case.

Requirement 6: The service engineering procedure has to emphasize the development of the IT-system and to support this step with adequate methods and tools.

The implementation of RFID technology changes a company’s IT architecture significantly.¹⁶ The same is true for other functional equivalent technologies like wireless sensor networks and real time locating systems. Therefore, it is necessary to attach sufficient importance to the design of the information system within the service engineering procedure. Otherwise one might have to pay a lot of money for mistakes which are easily committed during early design steps like identification and definition of the necessary software use cases or deduction of detailed technical requirements. For example, one challenge is to create application software which helps to realize all the benefits that have been identified before. The idea to adapt standard software like SAP or another enterprise resource planning system could be a solution here. But the problem is that these costly adaptations could destroy the business case behind the service easily and it might be a better idea to support the service processes with innovative software concepts based on a service-oriented architecture (SOA). Against this background it seems interesting that the service company Deutsche Post World Net is one of the major drivers of SOA. We assume that Lufthansa Technik and Metro Group will also have to deal with this concept if they are really willing to set up high quality services for their customers based on their RFID infrastructure.

Requirement 7: Due to highly complex and often in-transparent cost structures the service engineering procedure has to emphasize economic feasibility studies and to support this step with adequate methods and tools.

We already stated that the implementation of in-principle innovations like RFID is always connected with complementary if not system innovations. In connection with economic feasibility studies this means that independent of the costs for the microelectronic label and the reader infrastructure there are additional efforts for integration platforms, software modules, integration activities, system adaptation, process redesign, service engineering, project management, and risk management.¹⁷ Due to the complexity of the innovation problem there are difficulties to calculate some of these efforts properly and efficiently. But a well-developed business case with quantified benefits and costs is the precondition for a development or implementation project. An engineering procedure for IoT-based customer services has to address the economic feasibility intensively. However, the most important challenge here is not the devel-

¹⁶ Vgl. Angeles (2005), p. 60ff

¹⁷ Vgl. Smart/Bunduchi (2007), p. 3ff

opment of new calculation methods. Already existing concepts like the payback period rule, profitability rate, and internal rate of return can be used to generate valuable results. The more critical issue is to identify and estimate the different cost elements. The engineering procedure has to provide models which make sure that the cost considerations are comprehensive and that all important elements are taken into account. It also has to provide mechanisms which help to determine the size of the financial efforts behind the single cost elements.

4.2 *Existing Service Engineering Models and their Ability for the Design of IoT-based Supply Chain Information Services*

The literature on service engineering and development describes a lot of procedure models which could be used to design new customer services. These models promise a holistic approach to the service design process and foster the maintenance of a high quality standard. They aim on a structured development comparable to the design processes in the engineering disciplines¹⁸ and two main forms of service engineering models can be distinguished. First, there are the linear models. They consist of a sequence of single steps where one step follows the previous one and they are characterized by high transparency and easy understanding. These benefits come for the price of an inadequate flexibility and the lack of a possible parallelization of the single steps. Necessary returns to a previous stage are not considered either. This special problem is solved by the iterative models. These models make such returns in the design process possible, deliver quick results on an abstract level, and high learning rates can be achieved. Nevertheless, iterative models also have disadvantages. The complexity grows and the management of the service engineering process becomes more difficult.¹⁹

Many models in both areas were developed and published. The question is whether these models meet the requirements that have been deducted in the last chapter or not. Tab. 2 shows the list of identified service engineering models in the first column, the first row repeats the requirements in a slightly abbreviated version. The matrix indicates which model fulfills which requirements. A look at the table reveals that none of the models is in the position to fulfill all the necessary requirements of a service development process for IoT-based services. A discussion on the requirements and the analyzed service engineering processes will help to understand the missing dimensions of the current procedures.

None of the analyzed models includes an explicit look on the customer's key problems with one exception [Edvardsson/Olsson (1996)]. Instead, many authors suggest a focus on the market situation. They assume that by knowing the market it is easier to appraise the wishes of the customers and to identify lacks of the existing offering. In the case of the IoT this approach won't be successful. Since the larger part of the potential market does not understand the new technology there is no awareness concerning the

¹⁸ Vgl. Bullinger/Scheer (2006), p. 4

¹⁹ Vgl. Schneider et al. (2005), p. 117f

benefits to be expected and there are no perceived lacks. The different business cases addressed in this contribution show that RFID pioneers always started from a problem’s point of view. For Metro it was the not existing pedigree of a single product, DHL tried to cope with the shrinkage problem, and Lufthansa struggled with the missing transparency of global material flows. Following that line of thinking it is understandable that only four of the contributions mentioned below [Edvardsson/Olsson (1996); Krallmann/Hoffrichter (1998); Ramaswamy (1996); Tax/Stuart (1997)] put attention to a detailed analysis of the current situation. From our point of view this is a critical issue. If the current solution with its problems is not understood well enough the service engineers will not be able to realize the potential benefits coming with the implementation of IoT-technologies.

At first sight it seems strange that none of the models mentioned in the table meets the requirement concerning the discussion about the added value but there is a simple explanation. It is true that the literature on service engineering states clearly that the precondition for a successful service implementation is the added value perceived by the customer [for example Meyer/Blümelhuber (1998); Scheuing/Johnson (1989)]. But it is also true that the contributions refer to the service itself and not to the technology the service is built upon. From the technology and innovation management’s point of view this doesn’t go far enough. To justify investments into new technologies it has to be worked out which benefits or which added value can be attributed to the technological innovation itself and which can be ascribed to the design of the service process. A decision for or against the implementation of the new technology will be difficult to make without such a discussion. Furthermore, it is self-evident that the prerequisite for a comprehensive discussion on the origin of the added value is a good understanding of the innovative technology itself. Existing procedure models disregard this issue. Only four authors [Cooper/Edgett (1999); Edvardsson/Olsson (1996); Meiren (2001); Schneider/Scheer (2004)] mention the evaluation of the state of the art of the technology when it comes to the design of new services. The fact that technology selection doesn’t play a major role in existing procedure models can be regarded as another fact proof that technologies as an enabler for new services haven’t gained attention in service research yet. Only [Cooper/Edgett (1999)] discuss the problem of choosing the right technology but even here there is no hint concerning the handling of in-principle innovations like RFID.

Nr.	Model	Type		Requirements						
		Phase model	Iterative model	Focus on key problem	Analysis of existing solution	Discussion of value added	State of the art analysis	Technology selection	Design of IT system	Profitability analysis
1	Cowell (1988)	X			x					
2	Scheuing/Johnson (1989)	X								X
3	Kingman-Brundage/Shostack (1991)		X							
4	Edgett (1996)	X								X
5	Edvardsson/Olsson (1996)	X		X	X		X		X	X
6	Ramaswamy (1996)	X			X					X
7	Tax/Stuart (1997)		X		X					
8	DIN e.V. (1998)	X							X	
9	Meyer /Blümelhuber (1998)	X								
10	Jaschinski (1998)		X							X
11	Krallmann/Hoffrichter (1998)		X		X					
12	Cooper/Edgett (1999)		X				X	X	X	X
13	Johnson/Menor/Roth/Chase (2000)	X								
14	Meiren (2001)		X				X		X	X
15	Schreiner/Nägele (2002)	X			x				x	
16	Meiren/Barth (2002)	X								X
17	Bullinger/Schreiner (2003)		X							
18	Schneider/Scheer (2004)		X				X			X
19	Luczak et al. (2006)	X	X						X	

Tab. 2: Matching between requirements and existing procedure models

Even if technology itself has been of limited concern to the scientific community in the past, information systems which might be built upon different basic technologies are considered as one of the more important resources for high quality customer services for a long time. IT issues have been addressed by many authors and are included in several procedure models [for example DIN e. V. (1998); Luczak et al. (2006)]. The same is evident as far as profitability analysis is concerned. Services in a business environment can only be successful if the monetary outcome will be higher than the necessary investment. To prove this positive ratio a continuous economic monitoring is essential. This factum plays an important role within almost all introduced service engineering models [for example Meiren/Barth (2002); Schneider/Scheer (2004)]. This implies that the introduction of a new service can only be justified when both the customer and the company gain benefits.

5 Recommendations concerning the future Handling of Service Engineering Issues within the IoT Context

Existing service engineering models should not be applied to design processes without significant enhancements. From our point of view a new process model has to be developed. An applicable method would be to disassemble existing models, to identify main process steps and design questions, to create a new process chain, to assign the identified design questions to the process steps, and to add supporting methods and tools which help to answer the questions. The resulting “design platform” would be of high value for practitioners and scientists.

6 Literaturverzeichnis

- Angeles, R. (2005): RFID Technologies: Supply-Chain Applications and Implementation Issues, in: *Information Systems Management* (Winter), S. 51-65.
- Barnett, H.G. (1953): *Innovation: The Basis of Cultural Change*, New York.
- Bullinger, H.-J.; Scheer, A.-W. (2006): Service Engineering - Entwicklung und Gestaltung innovativer Dienstleistungen, in: Bullinger, H.-J.; Scheer, A.-W. (Hrsg.): *Service Engineering. Entwicklung und Gestaltung innovativer Dienstleistungen*, 2. Auflage, Berlin, S. 3-18.
- Bullinger, H.-J.; Schreiner, P. (2003): Service Engineering: Ein Rahmenkonzept für die systematische Entwicklung von Dienstleistungen, in: Bullinger, H.-J.; Scheer A.-W. (Hrsg.): *Service Engineering. Entwicklung und Gestaltung innovativer Dienstleistungen*, 1. Auflage, Berlin, S. 53-84.
- Chikova, P.; Simon, B.; Loos, P. (2008): Potential Process Improvements in Supply Chain Management through RFID, in: Blecker, T.; Huang, G. Q. (Hrsg.): *RFID in Operations and Supply Chain Management*, 1. Auflage, Berlin, S. 175-194.
- Condea, C.; Thiesse, F.; Fleisch, E. (2009): Assessing the Impact of RFID and Sensor Technologies on the Returns Management of Time-Sensitive Products, in: *Business Process Management Journal* 99, S. 954-971.
- Cooper, R. G.; Edgett, S. J. (1999): *Product development for the service sector*, Cambridge.
- Cowell, D. W. (1988): New Service Development, in: *Journal of Marketing Management* 3, S. 296-312.
- Darkow, I.-L.; Decker, J. (2006): Technologien und Anwendungsfelder von RFID, in: Engelhardt-Nowitzki, C.; Lackner, E. (Hrsg.): *Chargenverfolgung. Möglichkeiten, Grenzen und Anwendungsgebiete*, 1. Auflage, Wiesbaden, S. 39-58.
- Decker, C.; Bechthold, M.; Weiss, L.; Chaves, F.; Beigl, M.; Roehr, D.; Riedel, T.; Beuster, M.; Herzog, T.; Herzig, D. (2008): Cost-Benefit Model for Smart Items in the Supply Chain, in: Floerke-meier, C.; Langheinrich, M.; Fleisch, E.; Mattern, F.; Sarma, S. E. (Hrsg.): *The Internet of Things*, 1. Auflage, Berlin, S. 155-172.
- DHL Solutions & Innovations (2011): *Simplicity in Temperature Monitoring*, Troisdorf.
- DIN e.V. (1998): *Service Engineering - Entwicklungsbegleitende Normung (EBN) für Dienstleistungen*. DIN-Fachbericht Nr. 75, Berlin.
- Edgett, S. J. (1996): The New Product Development Process for Commercial Financial Services, in: *Industrial Marketing Management* 25, S. 507-515.
- Edvardsson, B.; Olsson, J. (1996): Key Concepts for New Service Development, in: *The Service Industries Journal* 16 (2), S. 140-164.
- Ferrer, G.; Dew, N.; Apte, U. (2010): When is RFID right for your service?, in: *International Journal of Production Economics* 124, S. 414-425.

- Hillbrand, C.; März, L. (2009): Modellierung von Produktplattformen für Logistikdienstleistungen, in: Thomas, O.; Nüttgens, M. (Hrsg.): Dienstleistungsmodellierung - Methoden, Werkzeuge und Branchenlösungen, 1. Auflage, Berlin, S. 17-34.
- Informationsforum RFID e. V. (oJ) (Hrsg.): RFID Leitfaden für den Mittelstand, Berlin.
- Jaschinski, C. (1998): Qualitätsorientiertes Redesign von Dienstleistungen, Aachen.
- Jedermann, R.; Lang, W. (2008): The Benefits of Embedded Intelligence - Tasks and Applications for Ubiquitous Computing in Logistics, in: Floerkemeier, C.; Langheinrich, M.; Fleisch, E.; Mattern, F.; Sarma, S. E. (Hrsg.): The Internet of Things, 1. Auflage, Berlin, S. 105-122.
- Johnson, S.; Menor, L.; Roth, A.; Chase, R. (2000): A Critical Evaluation of the New Service Development Process. Integrating Service Innovation and Service Design, in: Fitzsimmons, J.; Fitzsimmons, M. (Hrsg.): New Service Development. Creating Memorable Experiences, London, S. 1-32.
- Kingman-Brundage, J.; Shostack, L. G. (1991): How to design a service, in: Congram, C. A.; Friedman, M. L. (Hrsg.): The AMA Handbook of Marketing for the Service Industries, New York, S. 243-261.
- Kleist, R. A.; Chapman, T. A.; Sakai, D. A.; Jarvis, B. S. (2004): RFID Labeling. Smart Labeling Concepts & Applications for the Consumer Packaged Goods Supply Chain, 1. Auflage, Irvine.
- Krallmann, H.; Hoffrichter, M. (1998): Service Engineering: Wie entsteht eine neue Dienstleistung?, in: Bullinger, H.-J.; Zahn, E. (Hrsg.): Dienstleistungs offensive: Wachstumschancen intelligent nutzen, Stuttgart, S. 231-261.
- Luczak, H.; Liestmann, V.; Winkelmann, K. (2006): Service Engineering industrieller Dienstleistungen, in: Bullinger, H.-J.; Scheer, A.-W. (Hrsg.): Service Engineering - Entwicklung und Gestaltung innovativer Dienstleistungen, 2. Auflage, Berlin, S. 443-462.
- Meiren, T.; Barth, T. (2002): Service Engineering in Unternehmen umsetzen, 1. Auflage, Stuttgart.
- Meiren, T. (2001): Entwicklung von Dienstleistungen unter besonderer Berücksichtigung von Human Resources, in: Bullinger, H.-J. (Hrsg.): Entwicklung und Gestaltung innovativer Dienstleistungen, Tagungsband zur Service Engineering 2001, Stuttgart.
- METRO Group (oJ) (Hrsg.): Spektrum RFID, Düsseldorf.
- Meyer, A.; Blümelhuber C. (1998): Dienstleistungs - Innovation, in: Meyer, A. (Hrsg.): Handbuch Dienstleistungs-Marketing, Band I, Stuttgart, S. 807-826.
- Original1 (2011): Successfully combat product piracy. <http://www.original1.com/>; zuletzt aufgerufen am 29.04.2011.
- Pflaum, A. (2007): Radio Frequency Identification als strategisches Instrument für Dienstleistungsunternehmen der Kontraktlogistik, in: Bohlmann, B.; Krupp, T. (Hrsg.): Strategisches Management für Logistikdienstleister, 1. Auflage, Hamburg, S. 290-306.
- Pflaum, A.; Klaus, P. (2001): Transpondertechnologie und Supply Chain Management: Elektronische Etiketten - Bessere Identifikationstechnologie in logistischen Systemen?, Hamburg.
- Ramaswamy, R. (1996): Design and management of service processes, Boston.
- Roberts, E. B. (1987): Introduction: Managing Technological Innovation - A Search for Generalizations, in: Roberts E. B. (Hrsg.): Generating Technological Innovation, New York, S. 3-21.
- Scheuing, E. E.; Johnson E. M. (1989): A proposed model for new service development, in: The Journal of services marketing 3 (2), S. 25-34.
- Schmookler, J. (1966): Innovation and Economic Growth, Cambridge.
- Schneider, K.; Daun, C.; Behrens, H.; Wagner, D. (2005): Vorgehensmodelle und Standards zur systematischen Entwicklung von Dienstleistungen, 2. Auflage, Berlin.
- Schneider, K. (2004): Der Customer related Service Life Cycle, in: Zahn, E.; Spath, D.; Scheer, A.-W. (Hrsg.): Vom Kunden zur Dienstleistung. Methoden, Instrumente und Strategien zum Customer related Service Engineering, Stuttgart, S. 157-194.
- Schreiner, P.; Nägele, R. (2002): Methodische Gestaltung kundenorientierter Dienstleistungsprozesse, in: Information Management & Consulting 17 (3), S. 72-76.

- Smart, A.; Bunduchi, R. (2007): Identifying the Costs of RFID Implementation in Supply Chains, Executive Briefing 2007-11.
- Staaake, T.; Thiesse, F.; Fleisch, E. (2005): Extending the EPC Network - The Potential of RFID in Anti-Counterfeiting, in: Proceedings of the 2005 ACM symposium on Applied computing, New York, S. 1607- 1612.
- Tax, S. S.; Stuart, I. (1997): Designing and Implementing New Services: The Challenges of Integrating Service Systems, in: Journal of Retailing 73 (1), S. 105-134.
- Tellkamp, C.; Angerer, A.; Fleisch, E.; Corsten, D. (2004): From Pallet to Shelf: Improving Data Quality in Retail Supply Chains using RFID, in: Cutter IT Journal 17, S. 19-24.
- Thiesse, F.; Dierkes, M.; Fleisch, E. (2006): LotTrack: RFID-based process control in the semiconductor industry, in: IEEE Pervasive Computing 5, S. 47-53.
- Vedin, B.-A. (1980): Large Company Organization and Radical Product Innovation, Lund.
- Weiss, E. (2004): Functional Market Concept for Planning technological Innovations, in: International Journal of Technology Management 27 (2-3), S. 320-330.
- Winkler, H.; Kaluza, B.; Blasl, M. (2008): Use of RFID-Technology for the Improvement of Unloading Processes in a Waste Management Enterprise, in: Blecker, T.; Huang, G. Q. (Hrsg.): RFID in Operations and Supply Chain Management, 1. Auflage, Berlin, S. 337-353.
- Wolfram, G.; Gampl, B.; Gabriel, P. (Hrsg.) (2008): The RFID Roadmap: The Next Step for Europe, 1. Auflage, Berlin.



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: 978-3-86309-021-0

ISSN: 2191-2424

Preis: 29,00 Euro