



Uwe Clausen
Christiane Geiger *Hrsg.*

Verkehrs- und Transportlogistik

2. Auflage



VDI



Springer Vieweg

Verkehrs- und Transportlogistik

Uwe Clausen • Christiane Geiger
(Hrsg.)

Verkehrs- und Transportlogistik

2. Auflage



Springer Vieweg

Herausgeber

Uwe Clausen
Institut für Transportlogistik
Technische Universität Dortmund
Dortmund
Deutschland

Christiane Geiger
Institut für Transportlogistik
Technische Universität Dortmund
Dortmund
Deutschland

Ursprünglich erschienen unter: Buchholz, J.; Clausen, U.; Vastag, A. (Hrsg.): Handbuch der Verkehrslogistik

ISBN 978-3-540-34298-4
DOI 10.1007/978-3-540-34299-1

ISBN 978-3-540-34299-1 (eBook)

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorkfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist eine Marke von Springer DE. Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media.
www.springer-vieweg.de

Vorwort

Unser heutiger Wohlstand gründet auf einer arbeitsteiligen Wirtschaft, in der sich Unternehmen auf ihre Kernkompetenzen konzentrieren und darüber hinausgehende Dienstleistungen und Produkte in Deutschland, aber auch zunehmend europaweit und international einkaufen. Die Planung und Optimierung, Ausführung, Überwachung und Steuerung der damit verbundenen Güter- und Personenströme ist Aufgabe der Verkehrs- und Transportlogistik.

Vorliegendes Buch setzt den Schwerpunkt bei der außerbetrieblichen Gütertransportlogistik. Damit werden vor allem die Material- und verbundenen Informationsflüsse zur Belieferung von Industrie- und Handelsunternehmen sowie zur Distribution der erzeugten Waren betrachtet. Gütertransfer erfolgt zugunsten ökonomischer Rationalität, dabei erlangen auch ökologische Nachhaltigkeit und soziale Akzeptanz zunehmendes Gewicht.

Nach Angaben des statistischen Bundesamtes ist die innerdeutsche Güterverkehrsleistung, welche das Produkt aus der Menge an transportierten Gütern und zurückgelegter Entfernung darstellt, in den letzten 20 Jahren (1991–2011) um etwa 66% auf knapp 640 Milliarden Tonnenkilometer gestiegen (ohne Rohrleitungen). Weiteres Wachstum der Güterverkehrsleistung, wenn auch prozentual geringer, ist in den kommenden Jahren zu erwarten.

Der mit Abstand am meisten genutzte Verkehrsträger zur Güterbeförderung ist dabei die Straße. Zu den entscheidenden Gründen zählt die Netzbildungsfähigkeit des Lkw, der jede Quelle und Senke flexibel erreichen kann. Die Stärke von Schiene und Binnenwasserstraße liegen in dem effizienten Transport von Massengütern über längere Strecken. Für die besonders langen Distanzen im internationalen Gütertransport werden das Seeschiff für große Volumina und das Flugzeug für besonders eilige oder wertvolle Fracht genutzt.

Neben der reinen Beförderung als offensichtlichste transportlogistische Funktion erfordern die Ver- und Entsorgung von Industrie- und Handelsunternehmen weitere Leistungen, wie die Lagerhaltung für die zeitliche Überbrückung zwischen Fertigung und Absatz, den Umschlag im Rahmen des Verkehrsmittelwechsels und die Kommissionierung zur Vereinzelung nachgefragter Mengen. Hinzu kommen verstärkt auch Tätigkeiten, die einen zusätzlichen Mehrwert am Gut schaffen, wie die Montage von Teilen zu Modulen, die Aufarbeitung von Produkten, ihre Etikettierung oder Sequenzierung.

Die vorhergehenden Ausführungen zeigen, dass die Gütertransportlogistik steigenden Anforderungen unterliegt, durch einen stetigen Anstieg gekennzeichnet ist, aber auch eine Fülle von Gestaltungsoptionen bietet. Dies belegt die Bedeutung der Verkehrs- und Transportlogistik mit der Folge, dass sich Gesellschaft, Wirtschaft und Wissenschaft intensiv mit Fragestellungen auf diesem Gebiet auseinander setzen müssen. Das vorliegende Buch soll dabei Hilfestellung leisten. Zu diesem Zweck verfügt es einerseits über eine sowohl fachliche als auch methodische Ausrichtung. Andererseits deckt es dazu einen breiten Adressatenkreis ab, welcher von Logistikinteressierten, über Studierende und Auszubildende bis zu wissenschaftlich und praktisch tätigen Akademikern reicht. Beides wird über seine nachstehend aufgeführte Gliederung erreicht:

Nach einleitenden Begriffserläuterungen wird im ersten Hauptteil eine Einordnung der Verkehrs- und Transportlogistik in den wirtschaftlichen, räumlichen, sozialen, ökologischen und politischen Kontext vorgenommen. Der zweite Hauptteil gibt eine ausführliche Übersicht zu den Logistikleistungen am Markt und ihre jeweiligen Anbieter. Die unterschiedlichen Verkehrsträger werden hinsichtlich ihrer Verkehrswege und -mittel, Akteure, Transportketten und Knoten im dritten Hauptteil beleuchtet. Der vierte Hauptteil widmet sich den in der Verkehrs- und Transportlogistik angewandten Methoden, indem Ansätze zur Datenanalyse, Planung und Optimierung erklärt sowie die wesentlichen Anwendungsfelder behandelt werden.

Für die wertvollen Beiträge, die dieses Buch versammelt und die gemeinsam ein umfassendes Bild zur Verkehrs- und Transportlogistik liefern, möchten wir uns bei allen Autoren herzlich bedanken. Ebenso gilt unser Dank sämtlichen Mitwirkenden, insbesondere den beteiligten studentischen Hilfskräften und Mitarbeitern des Springer-Verlags.

Dortmund, März 2013

Prof. Dr.-Ing. Uwe Clausen
Dipl.-Logist. Christiane Geiger

Inhaltsverzeichnis

Teil I Grundlagen der Verkehrs- und Transportlogistik

1 Einführung und Begriffe	3
Uwe Clausen	
2 Verkehr und Logistik als Wirtschaftsfaktor	7
Zoran Miodrag	
3 Verkehr – Auswirkungen auf Raum und Mensch	15
Gerald Ebel	
4 Logistik und Umwelt	21
Christiane Geiger und Daniel Diekmann	
5 Verkehrspolitik	33
Carina Thaller	

Teil II Logistische Dienstleistungen und Leistungsanbieter

6 Logistikdienstleistung	55
Katharina Winter	
7 Logistikdienstleister	61
Christiane Geiger	
8 Logistikoutsourcing	71
Katharina Winter	
9 Kontraktlogistik	95
Christiane Geiger und Marco Eikelau	

Teil III Verkehrsträger und Transportprodukte

10 Begriffe und Systematik	123
Markus Muschkiet und Gerald Ebel	
11 Straßengüterverkehr	137
Peiman Dabidian und Sven Langkau	
12 Schienengüterverkehr	161
Fabian Meier, Julia Sender und Robert Voll	
13 Binnenschiffsgüterverkehr	179
Markus Muschkiet	
14 Seeschiffsgüterverkehr	203
Carlos Jahn	
15 Luftfrachtverkehr	217
Heinrich Frye	
16 Kombinierter Verkehr	253
Jan Kaffka	

Teil IV Methoden–Analyse, Planung und Optimierung

17 Anwendungsbereiche der Transportplanung	277
Ute Metzler	
18 Basisdaten der Logistikplanung	291
Bernhard van Bonn	
19 Datenanalyse	299
Bernhard van Bonn	
20 Analytische Planungsansätze	305
Christiane Geiger, Bernhard van Bonn und Zoran Miodrag	
21 Modellentwicklung	327
Jens Baudach, Robert Voll, Lars Eufinger, Fabian Meier, Julia Sender, Ina Goedicke und Carina Thaller	
22 Anwendungsfelder für Optimierungsmodelle	405
Christian Tesch, Julia Sender, Fabian Meier, Lars Eufinger, Robert Voll, Jan Kaffka, Daniel Diekmann und Ina Goedicke	
Sachverzeichnis	447

Autorenverzeichnis



Dipl.-Wirt.-Math. Jens Baudach schloss sein Studium der Wirtschaftsmathematik an der TU Dortmund im Jahr 2006 erfolgreich ab. Seit April 2006 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter und Doktorand am Institut für Transportlogistik der TU Dortmund. Dort leitet Herr Baudach seit März 2012 die Gruppe „Mathematische Optimierung“, die sich in Forschungs- und Industrieprojekten mit der mathematischen Optimierung von Problemstellungen in logistischen Systemen befasst (u. a. Netzplanung, Touren- und Routenplanung, Ressourcenplanung und -steuerung in logistischen Anlagen). Die Arbeits- und Forschungsschwerpunkte von Herrn Baudach liegen dabei insbesondere auf den Gebieten der Dienst- und Personaleinsatzplanung sowie der Standort- und Netzplanung.



Dr.-Ing. Bernhard van Bonn ist stellvertretender Leiter der Abteilung Verkehrslogistik am Dortmunder Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik (IML). Er studierte Informatik an der Universität Dortmund und promovierte dort im Fachbereich Maschinenbau 2001 zum Dr.-Ing. mit dem Schwerpunktthema Distributionsplanung. Um dieses Thema ranken auch die zahlreichen Projekte mit Partnern aus der Industrie, Handel und Dienstleistung, die er am IML durchführt. Ergänzt wird dieser Themenbereich durch Aktivitäten rund um Informationssysteme der Logistik und die Auswahlbegleitung von TMS Lösungen für verschiedenste Unternehmen.



Dipl.-Inf. Peiman Dabidian schloss sein Informatikstudium im Jahr 2010 erfolgreich an der TU Dortmund ab. Anschließend arbeitete er für zwei Jahren an der Universität Duisburg-Essen, wo er sich mit Fragestellungen im Bereich Softwareengineering beschäftigte. Seit April 2012 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Transportlogistik der TU Dortmund und promoviert dort im Bereich der Optimierung von Simulationssoftware für den Einsatz in Logistikanlagen. Sein Arbeitsschwerpunkt am Institut für Transportlogistik ist die Entwicklung und Bearbeitung von Forschungsprojekten im Bereich Simulationssoftware in logistischen Systemen und die Untersuchung und Optimierung der Schnittstellen zwischen Logistik (u. a. im Straßengüterverkehr) und Informatik.



Dipl.-Logist. Daniel Diekmann studierte an der TU Dortmund und Linköping University (Schweden) und schloss sein Logistikstudium im Jahr 2010 erfolgreich ab. Seit Januar 2011 arbeitet er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Transportlogistik der TU Dortmund. Seine Arbeits- und Forschungspunkte liegen dort im Bereich der Materialflusssimulation von logistischen Anlagen und der Berechnung von Emissionen in der Transportlogistik. Insbesondere beschäftigt sich Herr Diekmann mit dem Design und der Auswahl geeigneter Betriebsstrategien von Stückgut- und Paketsortieranlagen.



Dr.-Ing. Gerald Ebel ist Geschäftsführer der REICHEL Ingenieurgesellschaft für Projektmanagement. Zuvor war er Oberingenieur und Mitglied des Vorstands am Institut für Transportlogistik der TU Dortmund. Er war in dieser Position für die administrative Führung des Instituts verantwortlich und koordiniert Forschung und Lehre. Davor arbeitete er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik in Dortmund mit dem Schwerpunkt der Logistikberatung. Dr.-Ing. Ebel studierte Bauingenieurwesen mit der Vertiefungsrichtung Bauproduktion und Bauwirtschaft an der TU Dortmund und schloss 2011 seine Promotion im Themenfeld der Baustatistik in der Fakultät Maschinenbau der TU Dortmund ab.



Dr. Marco Eikelau ist gelernter Speditions-Kaufmann und studierte allgemeine Betriebswirtschaftslehre mit dem Schwerpunkt Logistik an der TU Dortmund. Parallel zum Studium arbeitete Dr. Eikelau drei Jahre am Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik in Dortmund im Bereich Verkehrslogistik. Nach dem Studium war er zunächst mehrere Jahre bei der Deutsche Post AG im internationalen Umfeld tätig und wechselte dann in den Bereich Kontraktlogistik wo er sowohl Geschäftsführungsfunktionen als auch Bereichsleitungen auf Konzernebene bekleidete. Dr. Eikelau promovierte im Fachgebiet Kontraktlogistik und ist heute in der produzierenden Industrie bei der DAW Deutsche Amphibolin-Werke von Robert Murjahn Stiftung & Co KG in Ober-Ramstadt Leiter der Distributionslogistik.



Dipl.-Math. Lars Eufinger hat an der TU Kaiserslautern Mathematik mit dem Schwerpunkt mathematische studiert. Nach Abschluss seines Studiums begann er im Jahr 2012 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Transportlogistik der TU Dortmund. Seine Arbeits- und Forschungsschwerpunkte liegen dort im Bereich der mathematischen Optimierung von logistischen Systemen. Insbesondere beschäftigt er sich mit der stochastischen Touren- und Routenplanung, sowie der operativen Personaleinsatzplanung.



Dr.-Ing. Heinrich Frye ist Leiter des Projektzentrum Luftverkehrslogistik am Flughafen Frankfurt/Main als Abteilungsleiter am Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML). Er ist verantwortlich für die Abwicklung industrieller Projekte mit Flughäfen, Luftverkehrsgesellschaften und anderen Branchenpartnern sowie für die Forschung zum Themengebiet „Logistik im Luftverkehr“. Er ist als Dozent tätig an der TU Darmstadt, TU Dortmund, Universität Kassel und ISM Frankfurt/Main. Seit 2004 ist er Mitglied des Vorstands des Air Cargo Club Deutschland. Am Fraunhofer IML ist er seit 1986, zunächst als Projektkoordinator für ein großes interdisziplinäres Forschungsprojekt in der Luftfracht bei der Deutschen Lufthansa AG in Frankfurt. 1990 initiierte er die Gründung der Fraunhofer IML Außenstelle am Flughafen Frankfurt/Main, die seit 1997 als Fraunhofer Projektzentrum geführt wird.



Dipl.-Logist. Ina Goedcke schloss ihr Studium der Logistik an der TU Dortmund im Jahr 2009 erfolgreich ab. Seit Oktober 2009 ist sie Doktorandin und wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Transportlogistik der TU Dortmund. Dort arbeitet Frau Goedcke in der Gruppe „Simulation und Logistics Engineering“, deren Leitung ihr im April 2011 übertragen wurde. Methodischer Schwerpunkt der Gruppe ist die Materialflussplanung und -simulation in logistischen Knoten (u. a. Stückgutanlagen, Paketsortieranlagen, Lager und Containerterminals). Frau Goedcke beschäftigt sich dabei insbesondere mit der Layout-, Prozess- und Betriebsstrategieplanung in Umschlaganlagen des Straßengüterverkehrs.



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jahn, geb. 1966, ist Experte für Maritime Logistik. Er begann seine berufliche Laufbahn in der Bundesmarine. Nach Stationen bis zum Offizier, Studium des Maschinenbaus und der Wirtschaftswissenschaften erfolgte 1998 die Promotion zum Dr.-Ing. Prof. Jahn war in unterschiedlichen Führungs- und Stabsfunktionen in Wissenschaft und Wirtschaft tätig, bevor er 2009 den Ruf an die Technische Universität Hamburg-Harburg annahm. Seit dem ist Prof. Jahn Leiter des Instituts für Maritime Logistik der Technischen Universität Hamburg-Harburg. In Personalunion leitet er seit 2010 auch das Fraunhofer-Center für Maritime Logistik und Dienstleistungen in Hamburg.



Dipl.-Logist. Jan Kaffka wurde in Münster geboren und absolvierte an der TU Dortmund ein Studium der Logistik, welches er im Jahr 2008 erfolgreich abschloss. Seit Februar 2008 arbeitet er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Transportlogistik der TU Dortmund. Seine Arbeitsschwerpunkte am Institut für Transportlogistik ist die Bearbeitung von Forschungs- und Industrieprojekten im Bereich der Materialflusssimulation in logistischen Knoten, der Layout- und Prozessplanung von Speditionsanlagen und der Optimierung und Steuerung von multimodalen Umschlagsanlagen.



Dipl.-Logist. Sven Langkau absolvierte im Jahr 2007 erfolgreich sein Studium der Logistik an der TU Dortmund. Anschließend war er als Projektingenieur bei einer Tochter der Ferrostaal Automotive GmbH tätig. Für den industriellen Dienstleister setzte er verschiedene Planungs- und Optimierungsprojekte im Bereich der Montage und Teileversorgung am Werksstandort eines deutschen Automobilherstellers um und war zuletzt für die Koordination der Modelljahreswechsel verantwortlich. Seit November 2012 arbeitet er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Transportlogistik. Sein Arbeitsschwerpunkt ist die Standort- und Layoutplanung, sowie die Prozessanalyse und -optimierung in der Transportlogistik für die Automobil- und Chemieindustrie.



Dr. J. Fabian Meier promovierte 2010 in Mathematik und ist seit Anfang 2012 am Institut für Transportlogistik tätig. Dort beschäftigt er sich in der Arbeitsgruppe „Mathematische Optimierung“ vor allem mit der Planung von Hubstandorten im Teilladungs- und Stückgutverkehr. Im Vordergrund stehen dabei eine praxisnahe Modellbildung sowie das Finden von guten Lösungen mit exakten und heuristischen Optimierungsverfahren.



Dr.-Ing. Ute Metzler war nach ihrem Studium zur Diplom-Logistikerin zunächst als Doktorandin und später Leiterin der Forschungsgruppe Strategien, Konzepte und Studien am Institut für Transportlogistik der TU Dortmund tätig. Neben der Bearbeitung verschiedenster transportlogistischer Projekte promovierte sie dort zum Thema „Erklärungsmodell zur Ableitung des Wirtschaftsverkehrs in Produktionsnetzwerken“ und baute insbesondere die Wirtschaftsverkehrsorschung am Institut aus. Seit 2011 verantwortet sie bei der 4flow management GmbH, einem 4PL-Dienstleister, ein Team zur Transportplanung und -optimierung des Ersatzteilnetzwerks eines Automobilherstellers.



Dipl.-Kfm. Zoran Miodrag wurde in Datteln geboren und absolvierte an der TU Dortmund ein Studium der Wirtschaftswissenschaften, welches er im Jahr 2005 erfolgreich abschloss. Er arbeitete als Projektleiter am FTK e.V., bevor er 2009 zur TU Dortmund als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Transportlogistik wechselte. Er promoviert dort im Bereich der Steuerung und Optimierung großer logistischer Knoten. Sein Arbeitsschwerpunkt am Institut für Transportlogistik ist die Leitung und Koordination des Verbundprojekts Effizienz in logistischen Anlagen. Des Weiteren koordiniert Herr Miodrag hauptverantwortlich die Lehre am Institut für Transportlogistik und ist Mitglied im Prüfungsausschuss der Fakultät Maschinenbau der TU Dortmund.



Dipl.-Logist. Markus Muschkiet, absolvierte erfolgreich das Logistikstudium der TU Dortmund. Seit 2010 ist er als Doktorand am Institut für Transportlogistik der TU Dortmund mit einem Promotionsstipendium der NRW Forschungsschule für Energieeffiziente Produktion und Logistik tätig. Zudem ist er Lehrbeauftragter im Studiengang Logistikmanagement der Europäischen Fernhochschule Hamburg. Schwerpunkte seiner Arbeit sind die Planung und Entwicklung von Verkehrssystemen der See- und Binnenschifffahrt und des Kombinierten Verkehrs, sowie die grüne Logistik. Herr Muschkiet promoviert über die Verknüpfung von speditionellen Dienstleistungen im Straßengüterverkehr mit dem Kurzstrecken Seeverkehr.



Dipl.-Wirt.-Math. Julia Sender hat an der TU Dortmund Wirtschaftsmathematik mit den Schwerpunkten mathematische Optimierung und Operations Research studiert. Nach Abschluss ihres Studiums begann sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Transportlogistik der TU Dortmund. Ihre Arbeits- und Forschungsschwerpunkte liegen dort im Bereich der mathematischen Optimierung von logistischen Systemen. Insbesondere beschäftigt sie sich mit der strategischen Netzwerkplanung und -optimierung im Schienengüterverkehr.



Dipl.-Inform. Christian Tesch wurde in Bochum geboren und absolvierte das Studium der Kerninformatik an der TU Dortmund. Seit 2008 ist er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Transport Logistik der TU Dortmund tätig. Seine Arbeits- und Forschungsschwerpunkte liegen dort im Entwurf und in der Implementierung von Optimierungsalgorithmen für operative und strategische Planungsaufgaben, hauptsächlich im Stückgut- und KEP-Bereich. Insbesondere beschäftigt sich Herr Tesch mit der Steuerung von Verkehren auf großen Werksgeländen.



Dipl.-Geogr. Carina Thaller schloss ihr Diplom-Geographie Studium 2011 an der Ludwig-Maximilians-Universität München erfolgreich im Bereich Sozialgeographie ab. Schwerpunkte ihres Studiums waren u. a. Verkehrsplanung und Verkehrstechnik, Städteplanung sowie Landentwicklung und Bodenordnung. Seit 2011 ist sie nun wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Transportlogistik und beschäftigt sich mit der Datenerfassung und verkehrsträgerübergreifenden Modellierung des Güterverkehrs als Entscheidungsgrundlage für die Verkehrspolitik.



Dipl.-Math. Robert Voll hat in Dortmund Mathematik und Informatik studiert. Sein Studienschwerpunkt war dabei die mathematische Optimierung. Nach seinem Diplom wechselte er zum heutigen Institut für Transportlogistik. Dort ist er verantwortlich für ein Forschungsprojekt zur Optimierung von Wagenflüssen im Schienengüterverkehr, das in Kooperation mit der Deutschen Bahn stattfindet. Darüber hinaus ist er an weiteren Forschungsprojekten zur Anwendung mathematischer Methoden in der Transportlogistik beteiligt.



Dipl.-Logist. Katharina Winter absolvierte das Logistikstudium an der TU Dortmund, welches sie 2010 erfolgreich abschloss. Anschließend begann sie ihre Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin am heutigen Institut für Transportlogistik, wo sie u. a. mit der Projektleitung betraut ist. Der Fokus ihrer Forschungsarbeit liegt in der Kontraktlogistik. Dabei befasst sie sich insbesondere mit der Optimierung in der Ausschreibungs- und Angebotsphase. Seit Februar 2013 leitet Frau Winter die Gruppe „Prozessmanagement“, deren Arbeitsschwerpunkt die Analyse und Optimierung von Geschäftsprozessen in logistischen Anlagen ist.

Über die Herausgeber



Prof. Dr.-Ing. Uwe Clausen, geb. 1964 Uwe Clausen absolvierte 1989 erfolgreich sein Diplom-Informatik-Studium an der Universität Karlsruhe. 1995 schloss er seine Promotion zum Dr.-Ing. an der Universität Dortmund ab. Im Zeitraum von 1989–1995 war er als wissenschaftlicher Mitarbeiter für das Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik in Dortmund tätig. Hier übernahm er von 1992 die Aufgabe des Abteilungsleiters Verkehrslogistik, bevor er 1995 als Projektleiter Logistik zur Deutschen Post AG wechselte. Diese bestellte ihn 1997 zum

Geschäftsführer der Tochterfirma IPP Paketförderung GmbH in Österreich. Von 1999 bis 2001 verantwortete er als Operations Director von Amazon.de den Aufbau des ersten Distributionszentrums in Bad Hersfeld und wurde 2000 European Operations Director bei Amazon.com. Seit Februar 2001 ist er in Personalunion Institutsleiter am Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik in Dortmund und des Instituts für Transportlogistik in der Fakultät Maschinenbau der Technischen Universität Dortmund. Von 2002 bis 2005 war er Dekan der Fakultät Maschinenbau der TU Dortmund. Prof. Clausen ist u. a. Mitglied des Vorstandes der European Conference of Transport Research Institutes (ECTRI), des wissenschaftlichen Beirates der Bundesvereinigung Logistik (BVL) und des Beirates des Verbandes Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV).



Dipl.-Logist. Christiane Geiger, geb. 1983 Christiane Geiger erwarb im Mai 2008 den Abschluss ihres Logistikstudiums an der TU Dortmund. Ab Juni 2008 war sie zunächst als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Transportlogistik in der Fakultät Maschinenbau der Technischen Universität Dortmund tätig. Dabei verantwortete sie die Leitung und Bearbeitung von Forschungsvorhaben auf nationaler und europäischer Ebene sowie von Projekten mit Industrie- und Dienstleistungsunternehmen. Ihr inhaltlicher Schwerpunkt liegt seitdem auf der Kontraktlogistik und der ökologisch nachhaltigen Güterlogistik. Im Oktober 2011 übernahm sie die Leitung der Gruppe „Prozessmanagement“, die sich methodisch mit der Analyse und Optimierung von Geschäftsprozessen in logistischen Anlagen und der darauf basierenden Ressourcendimensionierung befasst. Seit Februar 2013 ist Frau Geiger Oberingenieurin des Instituts. Neben der Durchführung des Lehrbetriebs obliegt ihr in dieser Position die Koordination und administrative Abwicklung der Projektarbeit.

Teil I

Grundlagen der Verkehrs- und Transportlogistik

Einführung und Begriffe

1

Uwe Clausen

Mit der menschlichen Zivilisation entstand vor Jahrtausenden der Wunsch nach Fortbewegung und Transport. So ist Verkehr die Raumüberwindung von Personen oder Gütern, Nachrichten oder Energie. Mit einem frühen Verständnis dieses deutschen Begriffes ist verbunden, dass „etwas verkehrt ist“ und daher zu verbringen ist bzw. sich jemand an einen anderen Ort bewegt. Im Englischen wird Verkehr meist mit dem Begriff „traffic“ übersetzt, der jedoch etwas enger gefasst wird. Entweder bezieht er sich auf die Bewegung von Fahrzeugen oder wird in Verbindung mit einem Bezugswort (road traffic, air traffic, data traffic o.ä.) spezifiziert.

Transport setzt sich aus den begrifflichen Wurzeln „trans“ (lat. „hinüber“) und „portare“ (lat. „tragen“) zusammen und wird definiert – als Teilsystem des Verkehrs – als Ortsveränderung von Gütern mittels Transportmitteln. Es wird zwischen innerbetrieblichem und außerbetrieblichem Transport unterschieden. Letzterer findet außerhalb von Gebäuden unter Nutzung von (i. d. R. öffentlicher) Verkehrsinfrastruktur statt und wird auch mit dem Begriff Güterverkehr abgegrenzt. Transportmittel sind Geräte zum Transport von Gütern. Diese reichen von Tragmitteln oder Behältern bis hin zu Fahrzeugen.

Im Englischen ist der Begriff „transport“ breiter als im deutschen gefasst und schließt neben dem Transport auch den Verkehr ein.

Der *Verkehr* wurde im 19. Jahrhundert vor allem als „Waren- und Geldverkehr“, also in Bezug auf den Handel, verwendet. Diese Definition war unabhängig davon, ob dabei geringe oder weite Distanzen zwischen naheliegenden Städten oder entfernten Ländern überwunden wurden.

Erst im 20. Jahrhundert haben sich die intensivere Nutzung der Verkehrsmittel sowie die damit verbundene Differenzierung zwischen Straßen-, Schienen-, Luft- und Seeverkehr

U. Clausen (✉)

Institut für Transportlogistik, TU Dortmund, Leonhard-Euler-Straße 2,

44227 Dortmund, Deutschland

E-Mail: clausen@itl.tu-dortmund.de

herausgebildet. In diesem Zuge wurde auch die Unterscheidung zwischen „Personenverkehr“ und „Güterverkehr“ in den allgemeinen Sprachgebrauch übernommen.

Logistik als Begriff hat sich erst später – in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts – zunächst im Militär, dann in Wirtschaft und Wissenschaft etabliert. In der „Dortmunder Schule“ ist die Logistik als die „wissenschaftliche Lehre von der Planung, Steuerung und Überwachung der Material-, Personen-, Energie- und Informationsflüsse in Systemen“ (Jünemann & Schmidt 2000, S. 2) definiert.

Delfmann et al. (2011) versteht unter Logistik die ganzheitliche Koordination und Durchführung aller Informations- und Güterflüsse – von der Quelle bis zur Senke – und stellt somit den Begriff in einen räumlichen Kontext. Zudem hat Delfmann (2008) die Logistik als „Fließsystem“ charakterisiert und damit die spezifische Sichtweise, „die wirtschaftlichen Phänomene und Zusammenhänge als Flüsse von Objekten durch Ketten und Netze von Aktivitäten und Prozessen“ in den Mittelpunkt gestellt.

Im vorliegenden Buch beziehen wir uns auf beide Definitionen, die sich gut ergänzen und das Wesen der Logistik – die räumlichen und zeitlichen Transformationsprozesse in ihren Wechselwirkungen von der Planung bis zur Durchführung – erfassen und handhabbar machen.

Die *Verkehrslogistik* ist demzufolge die „wissenschaftliche Lehre von der Planung, Steuerung und Überwachung der Material-, Personen-, Energie- und Informationsflüsse in (außerbetrieblichen) Verkehrssystemen.“ (Jünemann & Schmidt 2000) In diesem Buch sowie in der praxisorientierten und wissenschaftlichen Verwendung des Begriffes Verkehrslogistik liegt der Schwerpunkt auf dem Materialfluss bzw. dem Güterverkehr. In einem engeren Begriffsverständnis wird Verkehrslogistik gelegentlich auch als die von den Unternehmen der Verkehrswirtschaft realisierten Logistikprozesse beschrieben. Die hier verwendete Definition geht geringfügig darüber hinaus, indem etwa Aufgaben der Distribution von Waren, die durch Fahrzeuge im Werksverkehr erfüllt werden, als auch Planungs- und Durchführungsaufgaben der Verkehrslogistik bezeichnet werden.

Der Natur der Sache nach fallen damit sowohl Aufgaben in der Beschaffung wie in der Distribution, sofern sie außerbetrieblichen Charakter haben (d. h. den Bereich der Fabrik, des Werksgeländes oder des Lagers überschreiten), in den Bereich der Verkehrs- und Transportlogistik.

Transport und Verkehr sind branchenübergreifend Grundvoraussetzung für Handel und Industrie in arbeitsteiligen Volkswirtschaften und gewährleisten damit unseren Wohlstand. Zu den übergeordneten Zielen einer modernen Transportlogistik gehören:

1. Effektivität – die Aufgaben werden erfüllt.
2. Effizienz – die Aufgaben werden mit einem günstigen Aufwand-Nutzen-Verhältnis erfüllt.
3. Sicherheit – Gegen technische Störungen, Unfälle, Kriminalität, u. a. Bedrohungen des Transportes wird vorgebeugt.
4. Robustheit – Transportketten und -systeme arbeiten auch im Fall von Störungen und Auftragsschwankungen zuverlässig.
5. Nachhaltigkeit – Neben ökonomischen Belangen sind ökologische und soziale Interessen zu berücksichtigen.

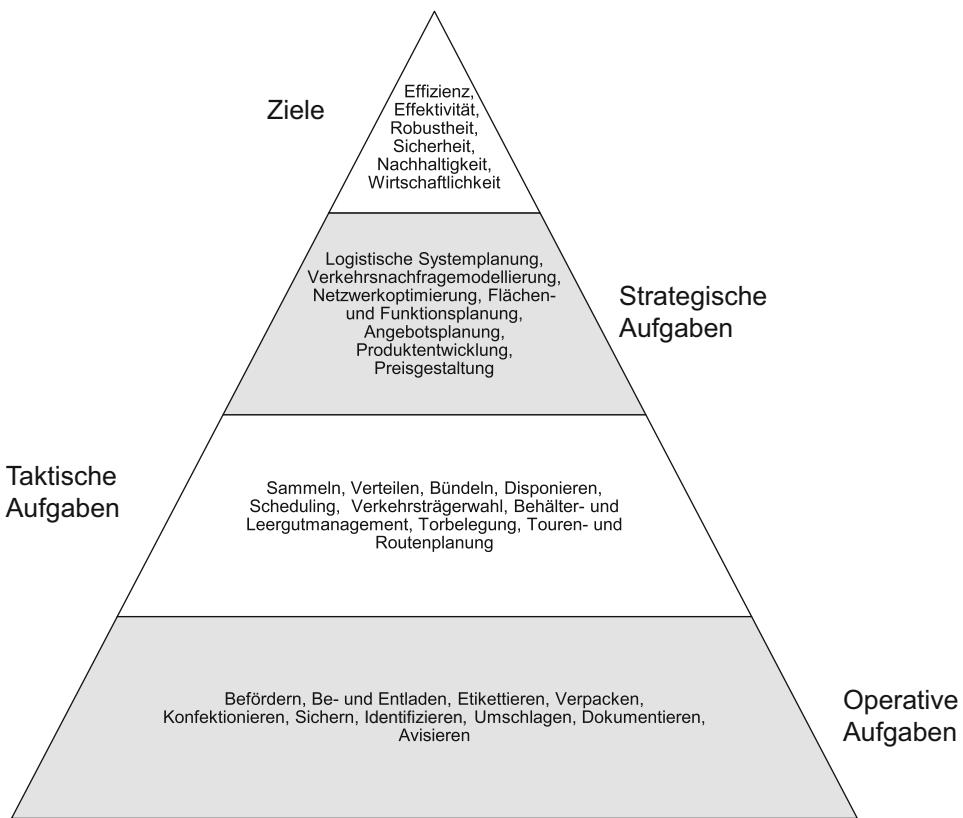


Abb. 1.1 Ziele und Aufgaben der Transportlogistik

6. Wirtschaftlichkeit – Die Kosten sind angemessen und die erzielbaren Erträge decken für alle Beteiligten die Aufwände.

Die Aufgaben lassen sich der operativen, taktischen und strategischen Ebene zuordnen, wie sie das Aufgabenmodell der Transportlogistik vorsieht (vgl. Abb. 1.1).

Literatur

- Delfmann W (2008) Kernelemente der Logistikkonzeption. In: Klaus P, Krieger W (eds) Gabler Lexikon Logistik, 4th edn. Gabler, GVV Fachverlage, Wiesbaden, pp 263–267
- Delfmann W et al (2011) Positionspapier zum Grundverständnis der Logistik als wissenschaftliche Disziplin. In: Wimmer T, Grosche T (eds) Flexibel – sicher – nachhaltig, DVV Media Group GmbH, Hamburg, pp 262–274
- Jünemann R, Schmidt T (2000) Materialflußsysteme. Systemtechnische Grundlagen. 2nd edn, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York

Verkehr und Logistik als Wirtschaftsfaktor

2

Zoran Miodrag

2.1 Wirtschaftliche Aspekte

Der Verkehr ist für sämtliche Industriebranchen ein maßgeblicher Faktor. Insbesondere sind die Chemiebranche, die Stahlbranche, die Automobilbranche und das verarbeitende Gewerbe auf einen reibungslosen Verkehrsablauf angewiesen, um ihre Wertschöpfungskette aufrecht zu erhalten. Die zur Leistungserstellung erforderlichen Transporte erstrecken sich über die ganze Welt. Sie finden zwischen verschiedenen Partnern der Wertschöpfungskette, von der Rohstoffgewinnung, über die Verarbeitung und den Handel bis hin zum Endkunden statt. Die Partner innerhalb der Wertschöpfungskette können verschiedenen Branchen angehören. Beispielsweise ist die Stahlbranche ein wesentlicher Zulieferer der Automobilbranche.

Die Logistik nimmt im Branchenvergleich sowie international eine Schlüsselposition ein. Mit einem weltweiten Marktvolumen von 4.200 Mrd. € ist die Logistik nach der Automobilindustrie und dem Maschinenbau die drittgrößte Branche. Europaweit erzielte die Logistik 2009 ein Marktvolumen von 880 Mrd. € (2007: 900 Mrd. €), davon wurde circa 23 % in Deutschland erwirtschaftet. Zudem weist der Logistik-Indikator der Bundesvereinigung für Logistik (BVL) und des Instituts für Weltwirtschaft (IfW) seit 2009 eine positive Entwicklung oberhalb des Normalniveaus auf. Sachkapazitäten werden weiterhin aufgebaut und der Personaleinsatz wird weltweit verstärkt.

Von den erbrachten Logistikleistungen entfallen – gemessen in Wertschöpfung – mehr als ein Drittel auf das Transportgeschäft. Damit ist die Transportlogistik eine wichtige Branche mit bedeutender Zukunftsaussicht, wobei durch die Volatilität und Wettbewerbs-

Z. Miodrag (✉)

Institut für Transportlogistik, TU Dortmund, Leonhard-Euler-Straße 2,

44227 Dortmund, Deutschland

E-Mail: miodrag@itl.tu-dortmund.de

intensität nicht immer auskömmliche Renditen erzielt werden. Aktuell sind viele Schiffsfinanzierungen gefährdet und auch im Bereich der Verkehrsunternehmen sind immer wieder Insolvenzen zu beklagen.

In Deutschland werden innerhalb eines Jahres pro Bundesbürger knapp 50 Tonnen Güter über die Verkehrsträger Straße, Schiene und Wasser transportiert. Der Großteil entfällt dabei auf die Baubranche und die produzierende Industrie. (Statista [2012](#))

Daten des Statistischen Bundesamtes verzeichnen 2011 eine Güterverkehrsleistung in Deutschland von rund 630 Mrd. Tonnen-Kilometern. Dabei nimmt der Straßengüterverkehr den größten Anteil mit über 73 % ein. Der Eisenbahnverkehr mit 18 % und die Binnenschifffahrt mit 9 % haben einen deutlich geringeren Anteil. Bei einer Beförderungsmenge von 4,3 Mrd. Tonnen 2011 beförderte der Straßengüterverkehr davon 79 % der Güter, 8 % der Eisenbahnverkehr, 7 % der Seeverkehr und 5 % die Binnenschifffahrt (Destatis [2012](#)). Hieraus wird ersichtlich, dass der Wirtschaftsverkehr eine relevante Größe für ökonomische und politische Entscheidungen ist.

2.2 Gesellschaftliche Funktionen

Die Logistik wurde lange Zeit auf reine Transport-, Lager- und Umschlagtätigkeiten reduziert. In der jüngsten Vergangenheit hat sich die Logistik als Disziplin von einer ausführenden Funktion zu einem entscheidenden Wettbewerbsfaktor in der Gestaltung und Steuerung nationaler und internationaler Wertschöpfungsketten entwickelt. Unter den hochrangige Führungspersönlichkeiten deutscher und internationaler Unternehmen finden sich zunehmend Logistiker. Auch hat Logistik zunehmend eine hohe Relevanz in Politik und Gesellschaft.

Grundlegend für eine funktionierende Logistik und den gesellschaftlichen Wohlstand ist eine gut ausgebauten und leistungsfähige Verkehrsinfrastruktur. In diesem Zusammenhang verfügt Deutschland über eine der modernsten Verkehrsinfrastrukturen weltweit – über dichte und leistungsfähige Straßen-, Schienen- und Wasserstraßennetze sowie Häfen und Flughäfen – und damit über exzellente Voraussetzungen. Um diese Strukturen auch zukünftig zu erhalten, investierte der Bund 2010 in Deutschland rund 5,8 Mrd. Euro allein in den Erhalt und Ausbau des Straßenverkehrs. Ein Großteil dieser Mittel kam vor allem dem 231.000 Kilometer langem Straßennetz des überörtlichen Verkehrs zugute. Für die Instandhaltung und den Ausbau des deutschen Schienennetzes wendete die Bundesregierung knapp über fünf Milliarden Euro auf. Damit bezahlte jeder Deutsche 2010 im Schnitt 53 € in den Erhalt der Schienennetze. In der Schweiz waren es in derselben Zeit 308 € pro Kopf. (Statista [2012](#))

Diese Strukturen unterliegen dem Einfluss gesellschaftlicher Strömungen und Prioritäten. Damit die Spitzenposition Deutschlands im Güterverkehr und in der Logistik



Abb. 2.1 Güterverkehr und Logistik im Mittelpunkt gesellschaftlicher Einflüsse (Nach Baumgarthen 2008)

dauerhaft gesichert wird, hat die Bundesregierung bereits im Jahr 2008 im *Masterplan Güterverkehr und Logistik* relevante Handlungsfelder thematisiert (Bundesregierung 2008). Diese sind zentrale Punkte zur Sicherung der persönlichen Mobilität und Versorgung sowie zum Erhalt des Wohlstands und zukünftiger Arbeitsplätze. Darüber hinaus fokussiert der Masterplan die Vermeidung zusätzlicher Umweltbelastungen. Der Güterverkehr trägt zu mehr Lebensqualität bei, darf aber im Umkehrschluss nicht die Ursache für eine steigende Belastung von Mensch und Umwelt sein. Güterverkehr und Logistik nehmen daher eine Schlüsselposition in der Gestaltung unseres Verkehrssystems insgesamt ein.

In der Abb. 2.1 werden die gesellschaftlichen Einflussfaktoren des Güterverkehrs und der Logistik dem Urzeigersinn nach beschrieben.

Verkehrswachstum infolge zunehmender Globalisierung und steigender Arbeitsteilung Der Bedarf an Logistik- und Transportdienstleistungen ist in der Vergangenheit stark angestiegen. Immer mehr Waren werden in immer kleineren Losgrößen über immer größere Entfernungen transportiert. Über alle Verkehrsträger hinweg prognostizierte das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung eine Zunahme der Güterverkehrsleistung. Aufgrund der endlichen Kapazitäten und Ausbaumöglichkeiten von Straßen, erscheint es umso wichtiger, Verkehr zu vermeiden oder intelligent zu verlagern.

Klima- und Umweltschutz Die prognostizierte Verkehrszunahme bedingt zudem, wenn sie nicht effizienter organisiert wird, eine Steigerung von klimaschädlichen Emissionen wie den CO₂-Ausstoß oder eine steigende Lärmbelastung und einen zunehmenden Flächenverbrauch. Eine besondere Herausforderung stellt der Energieverbrauch des Verkehrs dar. 71 % des Gesamtverkehrs in der EU sind derzeit vom Mineralöl abhängig. Im Straßenverkehr sind es bis zu 97 %. Der Verkehr verantwortet überdies rund 20 % der Gesamt-CO₂-Emissionen, wobei davon rund ein Drittel auf den Straßengüterverkehr zurückzuführen ist.

Aus diesen Rahmenbedingungen ergibt sich eine der zentralen Herausforderungen. Der Verkehr muss umwelt- und klimaverträglicher und so ausgestaltet werden, dass die Lebensqualität möglichst wenig beeinträchtigt wird. Dies bedeutet konkret, dass Verkehr energiesparend, effizienter, sauberer und nicht zuletzt auch leiser werden muss. Bemühungen der Bundesregierung sind diesbezüglich mit dem nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität bereits getroffen worden. Ehrgeiziges Ziel der Bundesregierung ist es, bis 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf Deutschlands Straßen zu etablieren. Insbesondere für den Bereich des Güterverkehrs gibt es in diesem Bereich noch Handlungsbedarf, nicht nur in der Entwicklung von kapazitiv leistungsfähiger Akkutechnologie, sondern auch in der Gestaltung effizienter Logistikprozesse und in der Vermeidung von Transporten.

Demografischer Wandel Im Jahr 2060 werden nach den Vorausberechnungen des Statistischen Bundesamtes rund 17 Mio. Menschen weniger als heute in Deutschland leben. Davon wird jeder Dritte älter als 65 Jahre sein und 10 Mio. Menschen älter als 80 Jahre. Diese Entwicklung wird sich in den kommenden Jahrzehnten in nahezu allen Lebensbereichen auf die soziale und wirtschaftliche Entwicklung auswirken. Die Querschnittsfunktion der Logistik kann dazu beitragen, dass die Anforderungen, resultierend aus der neuen Altersstruktur, erfüllt werden. Hierzu zählen z. B. neue Formen von altersgerechten Versorgungskonzepten.

Dies führt zu einer zunehmenden Spezialisierung und Arbeitsteilung, jedoch nicht zu einer Abnahme des Güterverkehrs. Weiterhin wird die Bevölkerungsentwicklung in den einzelnen Regionen wahrscheinlich höchst unterschiedlich verlaufen. Zusätzlich wird sich das Wachstum der Güterverkehrsströme regional verschieben, was erhebliche Anpassungen in der Transportwirtschaft zur Folge haben wird.

Veränderte Arbeitsbedingungen und Qualifizierungsmaßnahmen Auf die Logistikbranche entfallen 2,7 Mio. Arbeitsplätze (Kille & Schwemmer 2012, S. 440). Die Unternehmen im Bereich Güterverkehr und Logistik werden mit einem wachsenden Bedarf an Arbeitskräften bei gleichzeitig schrumpfendem Arbeitskräfteangebot konfrontiert. Dieser wird den bereits heute vorherrschenden Fachkräftemangel in den kommenden Jahrzehnten noch zusätzlich erhöhen. Die Herausforderung besteht darin, Wachstumseinbußen infolge des demografisch bedingten geringen Arbeitskräftepotentials zu

vermeiden. Zudem verändern die fortschreitende Spezialisierung, technische Innovation und zunehmender internationaler Wettbewerb die Arbeitsbedingungen wie auch Qualifikationsanforderungen der Beschäftigten im Güterverkehr und der Logistik.

Logistik findet weltweit rund um die Uhr statt; die Unternehmen und deren Beschäftigte werden einem immer größer werdenden Liefer- und Zeitdruck ausgesetzt. Neben der Mitarbeiterqualifizierung ist daher die Schaffung guter Arbeitsbedingungen eine zentrale Aufgabe, der sich die Unternehmen zu stellen haben. Hier sind wirksame Sozialvorschriften sowie die effektive Überwachung ihrer Einhaltung gefordert.

Steigende Sicherheitsanforderungen Zunehmender Güterverkehr, die steigende Belastung der im Transportgewerbe Beschäftigten, aber auch das höhere Durchschnittsalter der Verkehrsteilnehmer sowie die Bedrohung durch Naturkatastrophen rücken Fragen der Verkehrssicherheit verstärkt in den gesellschaftlichen und politischen Fokus. So sind europäische Kraftfahrzeughersteller gesetzlich an den Einbau von Sicherheitssystemen gebunden, um so die Anzahl der Unfälle wesentlich zu reduzieren (Reichel 2012). Darüber hinaus bedeutet Verkehrssicherheit nicht zuletzt auch den Schutz und die Absicherung gegenüber terroristischen Angriffen, welche die Lieferketten bedrohen. Beispielsweise kann durch eine Kooperation mit dem Militär der Piraterie und terroristischen Aktionen entgegengewirkt werden (Klumpp 2012). Dadurch ist die individuelle Versorgung jedes einzelnen direkt betroffen.

Diesbezüglich sieht es die Bundesregierung als eine zentrale Gemeinschaftsaufgabe an, die Sicherheit der Lieferketten und der Beschäftigten zu erhöhen. Neben der Sicherstellung einer zuverlässigen Lieferkette gehören auch die angeschlossene Sicherheit des Datentransfers sowie die Personensicherheit zu den relevanten Themenfeldern. Die simultane Ausführung dieser Disziplinen ist beispielweise für Rückrufaktionen in der Lebensmittelindustrie grundlegend. Somit besteht die Herausforderung im Wesentlichen darin, alle notwendigen Maßnahmen zur Gefahrenabwehr und zur Erhöhung der Sicherheit so zu gestalten, dass die Versorgung der Bevölkerung bestmöglich sichergestellt wird. Dies muss unter den Voraussetzungen geschafft werden, dass die Schnelligkeit der Verkehrs- und Transportsysteme möglichst wenig beeinträchtigt werden und der finanzielle und bürokratische Aufwand für alle Beteiligten Akteure gering gehalten wird.

Nachhaltigkeit Verkehrspolitik muss so gestaltet werden, dass auch in Zukunft Mobilität als Grundlage individueller Entfaltung und gesellschaftlichen Austauschs möglich bleibt (Clausen et al. 2011). Die heutige Mobilität und Gestaltung des Verkehrssystems darf nicht auf den Kosten zukünftiger Generationen aufgebaut werden.

In diesem Zusammenhang sind für die Gestaltung des Individual- und Güterverkehrs drei Maßstäbe des nachhaltigen Handelns festgelegt worden.

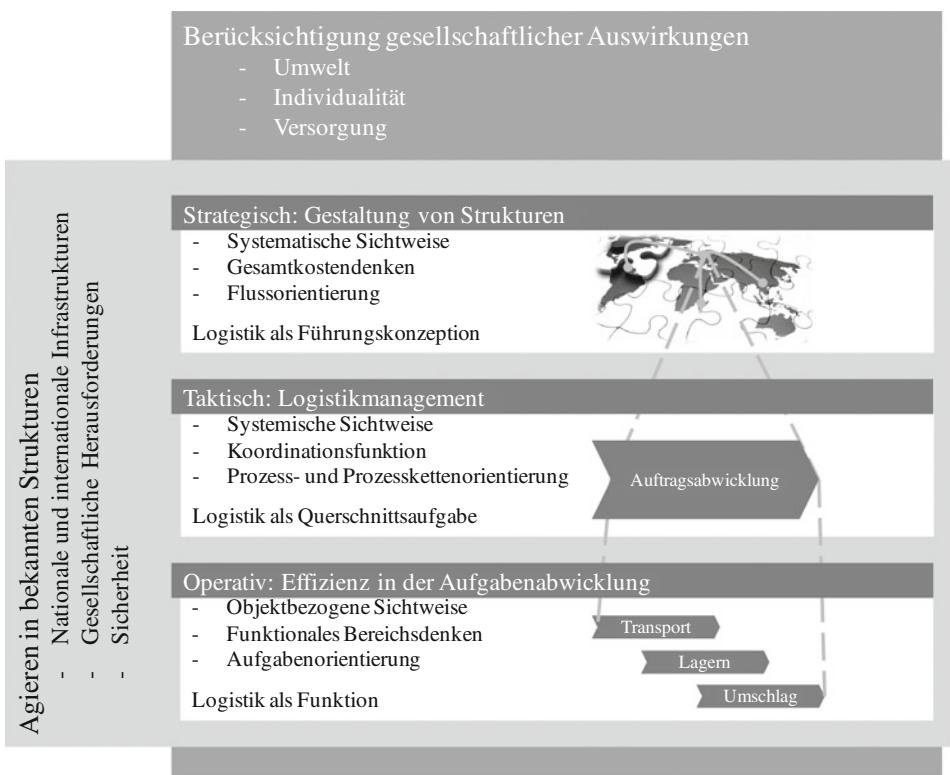


Abb. 2.2 Verantwortungsbereiche der Logistik im wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Kontext
(Nach Baumgarten 2008)

- Als erstes wird der ökonomische Maßstab genannt. Dieser besagt, dass der Verkehr dauerhaft zu Wohlstand, Beschäftigung und Wettbewerbsfähigkeit der Volkswirtschaft beitragen soll. Dieses Ziel soll erreicht werden, ohne Flächen, die nicht für den Verkehrsfluss bestimmt sind, übermäßig zu beeinträchtigen. Dem Wettbewerb, einem Qualitäts- und Effizienztreiber, wird eine hohe Bedeutung zugemessen.
- Der zweite Maßstab ist der ökologische Maßstab. Ökologisch nachhaltig bedeutet in diesem Fall, dass die Verkehrssysteme so zu gestalten sind, dass die natürlichen Lebensgrundlagen und die Lebensqualität dieser und kommender Generationen bewahrt werden.
- Dritter und letzter Maßstab ist der soziale Maßstab. Der Verkehr hat eine soziale Verantwortung und soll die Teilhabe aller am öffentlichen Leben ermöglichen. Dies bedeutet, dass der Verkehr so zu gestalten ist, dass er die Mobilität, Sicherheit und Fairness, ebenso wie gute Arbeitsbedingungen der Beschäftigten im Transportgewerbe, gewährleistet.

Logistik und Gesellschaft Logistik der Zukunft erfordert ein Umdenken, um gesellschaftliche und technische Herausforderungen zu meistern. Sie wird eine wesentliche Rolle einnehmen und bedingt ein noch stärkeres ganzheitliches Denken und Lösungen, die über die reine Planung des Transportes oder punktuelle Optimierungen hinausgehen (Abb. 2.2).

Literatur

- Bundesregierung (2008). Vertreten durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. *Masterplan. Güterverkehr und Logistik*. Berlin
- Baumgarten H (2008). Das Beste in der Logistik – Auf dem Weg zu logistischer Exzellenz; in: Baumgarten H. (Hrsg.): Das Beste der Logistik; Springer, Berlin et al. 2008, S. 13–19
- Clausen U (2012). Verkehr verlagern und optimieren durch intelligente Logistik und technologische Innovationen. Berlin, 24.09.2012
- Clausen U, Schneider M, Dobers K (2011). Klimaschutz liefern. Logistikprozesse klimafreundlich gestalten. 2 Grad – Deutsche Unternehmer für Klimaschutz. Kurzstudie 05.2011
- Destatis (2012): Verkehrsleistung der Güterbeförderung. <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/TransportVerkehr/Gueterverkehr/Tabellen/Gueterbefoerderung.html>, aufgerufen am 19.12.12
- Kille C, Schwemmer M (2012). Die Top 100 der Logistik. Marktgrößen, Marktsegmente und Marktführer in der Logistikdienstleistungswirtschaft. DVV Media Group, Nürnberg
- Klumpp M, Clausen U, ten Hompel M (2012). Logistics Research and the Logistics World of 2050
- Reichel J (2012) Viele Unfälle vermeidbar. In: Verkehrs rundschau Heft 47/2012, S. 34–35
- Statista (2012). Verkehrsinfrastruktur – Statista-Dossier 2012. Statista-Dossier zur Verkehrsinfrastruktur. Institut der Deutschen Wirtschaft Köln

Verkehr – Auswirkungen auf Raum und Mensch

3

Gerald Ebel

Verkehr ist in der öffentlichen Debatte häufig ein Reiz- und Schlüsselwort. Einerseits möchten nur Wenige auf die Errungenschaften des Individual- oder Güterverkehrs verzichten, andererseits stellen die tägliche Abwicklung der Verkehrsleistung und Baustellen für Verkehrsprojekte die Menschen immer wieder vor die Frage: Wie viel Verkehr braucht die Gesellschaft, wie viel Verkehr verträgt sie? Aktuelle Beispiele für eine breite Diskussion zu Verkehrsinfrastrukturprojekten finden sich z. B. in der Bundeshauptstadt zum Flughafen Berlin Brandenburg, in Stuttgart zum Hauptbahnhof und in Hamburg zum dortigen Hafen. Aber auch weniger Aufsehen erregende Maßnahmen, z. B. im Bereich des Straßenbaus von Ortsumgehungen, können zu einer kontroversen, langanhaltenden Debatte führen. Hier sei beispielhaft die Nordumfahrung in Bad Oeynhausen genannt. Diese Maßnahme wurde über 38 Jahre geplant und wird nach zahlreichen Rechtstreitigkeiten über die Streckenführung nun endlich fertiggestellt.

Es geht neben der bereits angesprochenen Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft durch die Logistik und den Kosten für die Gesellschaft daher auch um eine nachhaltige Gestaltung der Lebensräume und Arbeitsumstände. Im Zentrum dieser gesellschaftlichen Perspektive des Verkehrs seien im Weiteren drei Begriffe betrachtet, die diesem Aspekt des Verkehrs einen Rahmen geben: Raum, Mensch und Umwelt.

G. Ebel (✉)

REICHEL Ingenieurgesellschaft für Projektmanagement mbH, Horstkottenknapp 15,

58313 Herdecke, Dortmund, Deutschland

E-Mail: gerald.ebel@reichel-pm.de

3.1 Verkehrsinfrastruktur – Wechselwirkung mit Raumstruktur und Siedlungsentwicklung

Als *Verkehrsinfrastruktur* bezeichnet man Umschlagzentren und die sie verbindenden gebauten oder natürlichen Verkehrswege. Sie werden gemeinsam mit den Verkehrsmitteln benötigt, um Personen- und Güterverkehre abzuwickeln. Im weiteren Sinn zählen auch öffentliche Institutionen und Gesetze zur Verkehrsinfrastruktur, da sie strukturgebend für die Entstehung und Abwicklung des Verkehrs sind. Verkehr setzt sich somit aus den technischen Komponenten der Infrastruktur und einem Angebot zusammen, um auf diese Weise die Funktionsfähigkeit von Wirtschaft und Gesellschaft sicherzustellen und bedient im weiteren Sinne das Bedürfnis nach Mobilität. Denn nicht alle Aktivitäten einer Gesellschaft lassen sich sinnvoll an einem Ort durchführen, weshalb die Verknüpfung der verschiedenen Räume eine Grundaufgabe des Verkehrs ist.

Die deutsche Verkehrsinfrastruktur weist im europäischen Vergleich eine gute Qualität auf, ohne jedoch einen Spaltenplatz einzunehmen. Insbesondere bei der Entwicklung der Investitionen liegt Deutschland seit den 80er Jahren deutlich hinter dem Wachstum der Verkehrsleistung zurück (IFMO 2007).

Die Verkehrsinfrastruktur ist ein Bestandteil der *Raumstruktur*. Zur Raumstruktur gehören alle strukturgebenden Einflussfaktoren, die auf einen betrachteten Raum wirken. Es wird dazu zwischen künstlichen und natürlichen Gegebenheiten unterschieden. Einen Schwerpunkt legt die Analyse der Raumstruktur auf die Verteilung der Zentren bzw. der Bevölkerung. Diese Betrachtungsweise geht auf das Zentrale-Orte-Konzept zurück, das der deutsche Geograph Christaller in den Jahren um 1930 entwickelt hat. Zentrale Orte sind Städte mit einer hohen Konzentration an Funktionen, weshalb sie einen Bedeutungsüberschuss gegenüber dem Umland aufweisen. Dieses Konzept ist Basis der Raumordnung in Deutschland, die eine planmäßige Gestaltung der Lebensräume für eine optimale Nutzung der natürlichen Umgebung als Ziel hat.

Aus der historischen Betrachtung der Raumstruktur lassen sich Entwicklungstendenzen und Regelmäßigkeiten ableiten, die Prognosen für die weitere Zukunft erlauben. Ziel der Analyse der Raumstruktur aus Sicht der Verkehrslogistik ist, die nachhaltige Entwicklung des Raums durch wirtschaftliche, ökologische und sozialverträgliche Logistikleistungen zu unterstützen.

Die Verkehrsinfrastruktur ist ein wichtiger Bestandteil der Raumstruktur, da sie durch ihre Funktion die einzelnen Bereiche verbindet. Alle Elemente der Raumstruktur sind eng miteinander verwoben, so dass Veränderungen eines Bestandteils immer eine Veränderung des Gesamtsystems nach sich ziehen. Deshalb müssen Verkehrs- und Infrastrukturplanungen im Zusammenhang mit der Wirtschafts-, Raumordnungs-, Energie-, Stadt-, Sozial- und Umweltpolitik betrachtet werden.

Die *Siedlungsstruktur* ist neben der Verkehrsinfrastruktur der zweite vom Menschen geschaffene Faktor in der Raumstruktur und umfasst die Art, räumliche Verteilung und Dimension der Wohnungen, Arbeitsstätten und sonstiger Infrastruktur. Die Siedlungs- und Verkehrsflächen machen in Deutschland zusammen 13,4 % der Flächennutzung aus.

Abb. 3.1 Flächennutzung in der Bundesrepublik Deutschland (Destatis 2011)



Die Landwirtschaftsfläche ist mit 52,3 % die am häufigsten vertretene Nutzbarmachung der Oberfläche in Deutschland, weitere 30,2 % entfallen auf Waldflächen wie Abb. 3.1 darstellt (Destatis 2011).

Die *Siedlungsstrukturplanung* gliedert sich in Deutschland in vier Ebenen auf, die dem föderalen Prinzip der Bundesrepublik entsprechen: Raumordnung, Landesplanung, Regionalplanung, Flächennutzungspläne.

Das *Raumordnungsgesetz* definiert die Aufgabe und Leitvorstellung der Raumordnung als die Zusammenarbeit und Abstimmung raumbedeutsamer Planungen mit dem Ziel, den Gesamttraum der Bundesrepublik Deutschland zu entwickeln, zu ordnen und zu sichern. Die unterschiedlichen Anforderungen der Regionen sind entsprechend auszugleichen und eine Vorsorge für die Nutzungen und Funktionen des Raums ist zu treffen. Hierbei sind die Ansprüche aus sozialen, wirtschaftlichen und ökologischen Gesichtspunkten in eine ausgewogene Ordnung zu bringen. Dazu wird das Gegenstromprinzip postuliert, dass ein Einfügen der Teilräume in den Gesamttraum vorsieht und umgekehrt eine Berücksichtigung der Erfordernisse der Teilräume im Gesamttraum fordert. Das Gesetz schreibt daher eine flächendeckende Grundversorgung der Bevölkerung mit technischen Infrastrukturleistungen vor, die für den Verkehr vor allem in Form von Bundesverkehrswegen umgesetzt werden (Raumordnungsgesetz – ROG).

Als *Bundesverkehrswege* wird diejenige Verkehrsinfrastruktur bezeichnet, die für eine überörtliche Verbindung der Zentralen Orte sorgt und die Anbindung an die Nachbarländer gewährleistet. Die Schaffung dieser Wege beruht auf dem Leitgedanken des Raumordnungsgesetzes, dass eine flächendeckende Versorgung der Teilräume vorzusehen ist. Derzeit garantiert die Verkehrsinfrastruktur für über 90 % der Bevölkerung eine Reisezeit von 60 min im PKW bis zum nächsten Oberzentrum (BBSR 2013). Der Bund bedient sich der Bundesverkehrswegeplanung, um diese hohe Erreichbarkeit und Raumwirksamkeit

zu verwirklichen und dauerhaft sicherzustellen. Im Bundesverkehrswegeplan (BVWP) werden die Bedarfe für Bundesfernstraßen, Bundesschienenwege und Bundeswasserstraßen ermittelt. Anhand dieser Planung, die alle 10 bis 15 Jahre vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) aufgestellt wird, werden die Investitionen des Bundes in die Verkehrswege ausgerichtet, ohne dass der BVWP selber eine rechtlich bindende Wirkung hat.

Entsprechend sind die Landes- und Regionalplanungen für die jeweiligen Bundesländer bzw. Regionen darauf abgestimmt, die Raumordnungsplanung zu unterstützen und mitzugestalten. Städte- und Gemeinderäte wiederum beschließen auf kommunaler Ebene Flächennutzungspläne, um den geforderten Ausgleich der Interessen sicherzustellen. Auf diesen Ebenen sind Analysen der räumlichen Verflechtungen, z. B. Pendlerbeziehungen und Binnenwanderungen, maßgeblich. Ein wichtiges Phänomen sind Stadt-Umland-Wanderungen der Beschäftigten. Durch die räumliche Trennung des Arbeitsplatzes in der Stadt und des Wohnsitzes im kostengünstigen Umland erfolgt eine deutliche Zunahme der Verkehre in diesem Bereich.

Damit bewirkt das Wachstum der nachgefragten Verkehrsleistung und die damit einhergehende Entwicklung der Verkehrsinfrastruktur eine fortschreitende Veränderung der Raum- und Siedlungsstruktur. Die Auswirkungen sind nicht nur auf Deutschland oder Europa beschränkt, sondern können in allen Teilen der Welt mit unterschiedlichen Strukturen beobachtet werden. Letztlich ist diese Veränderung eine Notwendigkeit des globalen, wirtschaftlichen Handelns. Damit nicht rein wirtschaftliche Aspekte bei der Strukturerwicklung eine Rolle spielen, ist die Kenntnis und Berücksichtigung der Anforderungen der Menschen und der Umweltbedingungen im entsprechenden Raum entscheidend.

3.2 Anforderungen des Menschen

Durch unser tägliches Konsumverhalten beeinflussen wir maßgeblich die Anforderung an die Verkehrslogistik. Einerseits ist die immer höhere Mobilität der Menschen ein Grund für das stetige Wachstum der Entfernung, die zur Arbeit, in der Freizeit oder zum Urlaubsort zurücklegt werden. Andererseits sind die global verteilten, auf Arbeitsteilung ausgelegten Produktionssysteme ein Treiber des Güterverkehrswachstums. Als Kunde und damit Konsument der Verkehrslogistik verlangen wir vom Hersteller und Lieferanten immer schnellere Zustellungen und setzen damit zumeist unbewusst den Maßstab für die Verkehrsinfrastruktur und -dichte. Gleichzeitig erlebt die Gesellschaft die Kehrseite der Entwicklung, u. a. durch regelmäßige Staus im Berufsverkehr, die Zunahme von Fluglärm sowie den Flächenverbrauch für Straßen und Schienen. Aber auch die teilweise sehr intensiven Arbeitsbedingungen in der Logistikbranche sind in diesem Zusammenhang zu nennen. Die negativen Folgen des Verkehrs werden selten mit den eigenen Anforderungen und Wünschen in Einklang gebracht. Exemplarisch seien zwei der Themen aufgezeigt, die in diesem Zusammenhang diskutiert werden können.

Zum einen sei der Mensch als produzierendes Element der Verkehrslogistik betrachtet. Hierzu zählen z. B. die LKW-Fahrer, die für den Transport der Waren auf der Straße zuständig sind. Die europäische Gesetzgebung hat über die Verordnung (EG) 561/2006 zu Lenk- und Ruhezeiten in den bis dahin teilweise unverantwortlichen Einsatz der Fahrer eingegriffen. Ein Ziel war es, die Verkehrsteilnehmer vor übermüdeten Kraftfahrern zu schützen. Aber auch die Verbesserung der Arbeitsbedingungen der Fahrer geht damit einher, die auch über das Arbeitszeitgesetz in Deutschland geregelt ist. Dennoch sind die Fahrer häufig lange unterwegs, erhalten wenig Bewegung, haben Stress am Arbeitsplatz und ernähren sich ungesund. Zusätzlich zu der schlechten Bezahlung hat dies dazu geführt, dass deutsche Logistikunternehmen immer mehr Probleme haben, qualifiziertes Personal für das Führerhaus zu finden (BGL 2011). Aber auch die Mitarbeiter in Umschlagzentren haben erschwerte Arbeitsbedingungen. In den allermeisten Fällen sind die Hauptarbeitszeiten am Abend oder in den frühen Morgenstunden, um den Nachtsprung zu realisieren. Die Arbeit ist häufig anstrengend und nicht selten monoton, so dass sich neben Stress durch Zeitdruck auf Dauer auch körperliche Beschwerden einstellen können. Der demographische Wandel wird die Situation auf Dauer verschärfen. Günter Wallraff, berühmt für seine Undercover-Reportagen, hat 2012 mit einem Bericht über seine Tätigkeit bei einem Paketdienstfahrer auf schlechte Arbeitsbedingungen in dieser Branche hingewiesen (Süddeutsche Zeitung 2012). Das mediale Interesse an dieser Reportage war groß und entsprechend medienwirksam reagierten verschiedene Paketzusteller.

Zum anderen gestaltet der Mensch durch sein Konsumverhalten die Verkehrslogistik. Er beeinflusst direkt und indirekt die Ausgestaltung von Logistikketten bei Personen- und Güterverkehren. So sind im Bereich der Mobilität seine Entscheidung für den öffentlichen Personenverkehr oder das eigene Fahrzeug maßgeblich für die Verkehrsbelastung auf den Straßen verantwortlich. Auch die bereits angesprochene räumliche Trennung des Wohnorts von der Arbeitsstätte spielt hier eine Rolle. So nahm in den Jahren von 1993 bis 2008 der Anteil der Beschäftigten, die täglich pendeln, von 48 % auf 58 % aller Beschäftigten zu (Kropp 2011). Aber auch der Güterverkehrsfluss wird durch die Nachfrage nach immer kleinteiligeren Lieferungen (begünstigt durch den Onlinehandel) und immer schnelleren Produktlebenszyklen verstärkt. Dies wird insbesondere auf *der letzten Meile* deutlich, die häufig im innerstädtischen Bereich zu immer kürzeren Belieferungszyklen von Privathaushalten und Läden führt.

Die Beschäftigungszahlen der Logistik entwickeln sich seit Mitte 2010 wieder positiv. Seit 2009 waren krisenbedingt rückläufige Werte zu beobachten. Insofern hat es die Branche geschafft, den Negativtrend zu durchbrechen und ca. 1.43 Mio. Menschen in Deutschland im Bereich Verkehr und Lagerei dauerhaft zu beschäftigen (Destatis 2011, S. 161). Durch diesen Trend und die oben genannten Gründe wird es der Branche in Zukunft schwerer fallen, alle Stellen mit geeigneten Bewerbern zu besetzen. Letztlich muss daher der Logistiker ebenso wie der Konsument bei der Ausgestaltung der Transportlogistik berücksichtigt werden. Gemäß dem Ausspruch: „*Die Logistik ist für den Menschen da, nicht der Mensch für die Logistik.*“ (Gudehus 2012, S. 1115).

Literatur

- BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2013) Bundesverkehrswege http://www.bbsr.bund.de/nn_21986/BBSR/DE/Raumentwicklung/Verkehrspolitik/Bundesverkehrswege/bundesverkehrswege_node.html?__nnn=true. Accessed 2 Mar 2013
- BGL – Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung e. V. (2011) Pressemeldung 7.10.2011. Fahrermangel: BGL bekräftigt nachhaltige Bedeutung von Aus- und Weiterbildung, http://www.bgl-ev.de/web/presse/index_detail.htm&news=2011DA07102011145115.NEW. Accessed 2 Mar 2013
- Destatis – Statistisches Bundesamt (2011) Flächennutzung. <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/Umwelt/UmweltoekonomischeGesamtrechnungen/Flaechennutzung/Tabellen/Bodenflaeche.html>. Accessed 2 Mar 2013
- Destatis – Statistisches Bundesamt (2012) Verkehr. Verkehr im Überblick. vol 8. Wiesbaden.
- Gudehus T (2012) Logistik 2 – Netzwerke, Systeme und Lieferketten. Springer Vieweg, Berlin/Heidelberg/New York
- IFMO – Institut für Mobilitätsforschung (2007) Verkehrsinfrastruktur-Benchmarking Europa – Verkehrsinfrastrukturausstattung und verkehrspolitische Rahmenbedingungen in ausgewählten europäischen Staaten. http://www.ifmo.de/basif/pdf/publikationen/2007/Verkehrsinfrastruktur_Benchmarking_Europa.pdf. Accessed 2 Mar 2013
- Kropp P (2009) Veränderungen der Pendlerverflechtungen in Deutschland zwischen 1993 und 2008. http://www.goldkronacher-gespraech.de/downloads/2009/09_Kropp_2009.pdf. Accessed 2 Mar 2013
- Raumordnungsgesetz (ROG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 22.12.2008
- Süddeutsche Zeitung (2012) Wallraff trägt der anderen Last. <http://www.sueddeutsche.de/medien/undercover-bei-rtl-wallraff-traegt-der-anderen-last-1.1370558>. Accessed 2 Mar 2013
- Verordnung (EG) 516/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates in der Fassung der Bekanntmachung vom 15.03.2006: Verordnung zur Harmonisierung bestimmter Sozialvorschriften im Straßenverkehr und zur Änderung der Verordnungen (EWG) Nr. 3821/85 und (EG) Nr. 2135/98 des Rates sowie zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 3820/85 des Rates

Christiane Geiger und Daniel Diekmann

4.1 Ökologisch nachhaltige Transportlogistik

Gemäß der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung ist unter dem Begriff „Nachhaltigkeit“ ein Handeln in der Weise zu verstehen, welches die Bedürfnisse der gegenwärtigen Generation befriedigt, ohne die Möglichkeiten zukünftiger Generationen auf eigene Bedürfniserfüllung zu gefährden (Hauff 1987, S. 46). Im Aktionsprogramm Agenda 21, einem Leitpapier zur nachhaltigen Entwicklung, welches 1992 auf der UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro verabschiedet wurde, erfuhr der Begriff erstmals eine umfassendere Betrachtung. Demnach schließt Nachhaltigkeit eine ökologische, ökonomische und soziale Dimension ein, die auf den langfristigen Erhalt des jeweils zugrundeliegenden Gegenstands ausgerichtet ist. So zielt ökologische Nachhaltigkeit auf die Sicherung eines tragfähigen ökologischen Systems, die ökonomische Nachhaltigkeit auf die Wahrung des ökonomischen Kapitalstocks und die soziale Nachhaltigkeit auf die Erhaltung funktionierender sozialer Netzwerke (Blank 2001, S. 375–376).

Entsprechend dieser Definitionen kann ökologische Nachhaltigkeit nur durch ein solches Handeln verwirklicht werden, bei dem sich ein Ökosystem während seiner Nutzung stets natürlich regenerieren kann und damit in seinen wesentlichen Eigenschaften erhalten bleibt. Dazu sollten die natürlichen Rohstoffe des Systems Erde nur in dem Maße in Anspruch genommen werden, wie sie sich natürlich reproduzieren oder Substitute entwickelt werden können. Ebenso sollten Emissionen lediglich in der Höhe verursacht werden, die der Aufnahme- und Abbaufähigkeit der Natur entspricht (Straube et al. 2009, S. 208).

C. Geiger (✉) · D. Diekmann (✉)
Institut für Transportlogistik, TU Dortmund,
Leonhard-Euler-Straße 2, 44227 Dortmund, Deutschland
E-Mail: geiger@itl.tu-dortmund.de

D. Diekmann
E-Mail: diekmann@itl.tu-dortmund.de

Auch die Logistik kann durch die Befolgung dieser Handlungsmaxime einen Beitrag zum Erhalt resilenter Ökosysteme leisten. Eine ökologisch nachhaltige bzw. „grüne“ Logistik zeichnet sich demgemäß durch eine Schonung der Ressourcen und ein Bewusstsein für die entstehenden Emissionen aus (Wittenbrink 2010, S. 16). Bei den Ressourcen, welche zur Erbringung der mobilen Prozesse, d. h. den Transporten, und der stationären Logistikaktivitäten in Anspruch genommen werden, handelt es sich beispielsweise um Dieseltreibstoff, elektrische Energie und Heizöl. Die wichtigsten, dabei verursachten Emissionen sind Feinstaub und Treibhausgase.

Als Feinstaub werden Luftpartikel bezeichnet, deren Durchmesser kleiner als $10 \mu\text{m}$ ist (PM10) und die somit inhalierbar sind. Dabei wird unterschieden in lungengängigen Feinstaub (kleiner als $2,5 \mu\text{m}$, PM2,5) und ultrafeine Partikel (kleiner als $0,1 \mu\text{m}$, UP). Diese gelten für den Menschen als gefährlichsten Luftpartikel, da sie aufgrund ihrer Größe tief in die Lunge, bei ultrafeinen Partikeln sogar in die Blutbahn und somit in den gesamten Körper gelangen, wo sie nicht wieder ausgeschieden werden können. Der dauerhafte Verbleib im menschlichen Körper kann entzündliche Veränderungen im Atemtrakt hervorrufen sowie das Herz-Kreislaufsystem beeinträchtigen. Darüber hinaus besteht die Oberfläche von Feinstaub aus Schwermetallen und Krebs erzeugenden polzyklisch aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) (vgl. UBA 2012). Laut einer Studie der Weltgesundheitsorganisation existiert keine Konzentration von Feinstaub, die keine schädigende Wirkung verursacht (WHO 2006). Als natürliche Quellen von Feinstaub gelten Emissionen von Vulkanen und Meeren, Bodenerosion, Wald- und Buschfeuer sowie bestimmte biogene Aerosole, die „aus medizinischer Sicht in der Regel kein erkennbares Risiko“ darstellen (Koller 2005, S. 2). Anthropogene Feinstaubquellen sind vor allem der Straßenverkehr, dessen Emissionen es über eine nachhaltige Transportlogistik zu reduzieren gilt.

Treibhausgase sind gasförmige Stoffe in der Atmosphäre; zu ihnen zählen beispielweise Wasserdampf, Ozon, Kohlenstoffdioxid und Methan. Treibhausgase besitzen die Eigenschaft, strahlungsbeeinflussend zu sein. Einerseits lassen sie die Sonnenstrahlung zur Erde passieren. Andererseits absorbieren sie die von der Erdoberfläche abgestrahlte Wärme und emittieren diese wiederum in sämtliche Richtungen. Ein Teil der Wärmestrahlung wird somit auf die Erde reflektiert und erwärmt gemeinsam mit dem Sonnenlicht die Erdoberfläche. Dieser sogenannte Treibhauseffekt hebt die mittlere Temperatur der Erdoberfläche von -18°C auf $+15^\circ\text{C}$ an und schafft ein lebensfreundliches Klima (Rahmstorf und Schellnhuber 2012, S. 30–33).

Innerhalb des letzten Jahrhunderts hat sich der geschilderte Treibhauseffekt nachweislich verstärkt. Für die Zeitspanne von 1880 bis 1985 konnte ein Anstieg der globalen Temperatur um $0.5^\circ\text{C} – 0.7^\circ\text{C}$ verzeichnet werden (Hansen und Lebedeff 1987, S. 13345). Die Ursache für diese Erwärmung ist jedoch umstritten. Während die Mehrheit der Klimaforscher die These vertritt, dass eine stärkere Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre durch anthropogenen Einfluss herbeigeführt wurde, sprechen Skeptiker von üblichen Schwankungen des natürlichen Treibhauseffektes (vgl. Weißer 2012). Da eine Vielzahl von Studien (vgl. u. a. Kaufmann und Stern 1997) unabhängig voneinan-

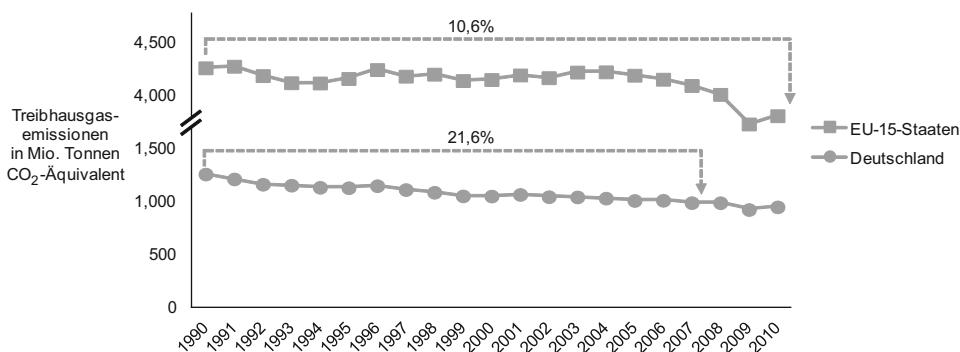


Abb. 4.1 Entwicklung der Treibhausgasemissionen. (European Environment Agency 2012)

der zu dem Ergebnis kommt, dass der erfolgte Temperaturanstieg nicht nur natürlichen Ursprungs sein kann, ist der Beitrag des Menschen zumindest sehr wahrscheinlich.

Vor diesem Hintergrund wurde auf dem Weltklimagipfel in Japan im Jahr 1997 das Kyoto-Protokoll beschlossen, ein Klimaschutzabkommen zur Abschwächung der globalen Klimaerwärmung durch Reduktion der Treibhausgasemissionen. In dem Protokoll vereinbarten die Industriestaaten, ihren Ausstoß an Treibhausgasen von 2008 bis 2012 um mindestens 5 % gegenüber dem Stand von 1990 zu verringern. Die 15 Staaten, die zum Zeitpunkt des Beschlusses Mitglieder der EU waren, verpflichteten sich in diesem Zuge, ihre kollektiven Emissionen um 8 % zu senken (UNFCCC 2008, S. 13).

Die Umsetzung dieses Klimaschutzzieles wird in Europa über eine interne Lastenverteilung realisiert. Dazu beschloss die EU für ihre Mitgliedsstaaten spezifische Reduktionsverpflichtungen bzw. Emissionsobergrenzen. Für Deutschland lag das Minderungsziel bei 21 % (Council of the European Union 2002, S. 19).

Mit Blick auf die bisherige europäische Treibhausgasentwicklung (Abb. 4.1) ist davon auszugehen, dass die EU-15-Staaten das vereinbarte Reduktionsziel erreicht, wenn nicht sogar übertroffen haben¹. In Deutschland gelang die Umsetzung bereits bis in das Jahr 2007.

Bewerkstelligt wurde die erfolgreiche Senkung der Treibhausgasemissionen in den vergangenen Jahren jedoch nicht von allen Sektoren gleichermaßen. Während die EU-15-Staaten im Zeitraum 1990-2010 beispielsweise die Emissionen ihrer Energieindustrie um 8,4 % und ihrer verarbeitenden Industrie um 23,4 % mindern konnten, stiegen die Emissionen im Transport in selbigem Zeitraum um 15,6 % an. Bei Hinzunahme der seither beigetretenen Staaten (Abb. 4.2) beläuft sich die Emissionsminderung der Energieindustrie sogar auf 14,6 % bzw. der verarbeitenden Industrie auf 32 %. Der transportbedingte Ausstoß stieg in den EU-27-Staaten um 20 % (European Environment Agency 2012).

¹ Die Zahlen, welche die europäischen Treibhausgasemissionen für die Jahre 2011 und 2012 beziffern, sind zum Verfassungszeitpunkt des vorliegenden Beitrags noch nicht verfügbar.

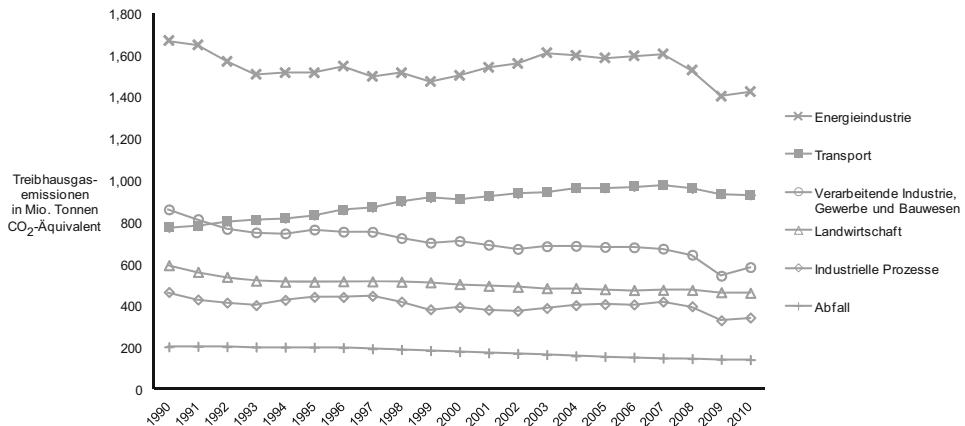


Abb. 4.2 Entwicklung der Treibhausgasemissionen der EU-27-Staaten nach Sektoren. (European Environment Agency 2012)

Kurz vor seinem Ablauf konnte das Kyoto-Protokoll Ende 2012 verlängert werden. Auf dem Weltklimagipfel in Katar verpflichteten sich 37 Staaten, ihre Treibhausgase bis 2020 weiter zu reduzieren. Zur Höhe der Minderung wurde allerdings keine Vereinbarung getroffen. Diesbezüglich wurde lediglich eine Prüfung der vorliegenden Zusagen im Jahr 2014 beschlossen, um in diesem Zuge konkrete Ziele festzulegen. Zudem soll bis 2015 ein neues Klimaabkommen ausgehandelt werden, welches ab 2020 in Kraft treten und nicht nur für Industrie- sondern auch Entwicklungsländer gelten soll (Rönsberg 2012).

Zwar konnte auf dem Klimagipfel ein Fortsetzen der globalen Bemühungen zur Bekämpfung der Erderwärmung festgelegt werden; von einem international verbindlichen und quantifizierten Klimaschutzregelwerk kann jedoch aufgrund des ausstehenden Nachfolgeabkommens (noch) nicht gesprochen werden. Da die EU im Klimaschutz allerdings auf Kontinuität setzt, hatten ihre 27 Mitgliedstaaten unabhängig von der internationalen Bewegung ein eigenes Klima- und Energiepaket geschnürt, welches bereits im Dezember 2008 vom europäischen Parlament beschlossen und im Juni 2009 in Kraft getreten ist. Eines der darin formulierten Klima- und Energieziele fordert, dass die Treibhausgasemissionen bis 2020 um 20 % unterhalb des Niveaus von 1990 zu reduzieren sind. Deutschland soll mit einer Senkung der Treibhausgase um 14 % bezogen auf die Emissionen im Jahr 2005 zu diesem Ziel beisteuern (European Parliament and Council of the European Union 2009).

Um auch diese zukünftigen Klimaziele verlässlich zu erreichen, muss der Transportsektor aus seiner Zurückhaltung heraustreten und einen deutlichen Beitrag zur Senkung seiner Treibhausgasemissionen leisten. Logistikunternehmen müssen Verantwortung übernehmen. Sie sind gefordert, ökologische Nachhaltigkeit in ihre Transportaktivitäten, aber auch in ihre weiteren Logistikprozesse zu integrieren und langfristig zu verstetigen.

4.2 Grundlagen der Treibhausgasbilanzierung

Voraussetzung für eine Senkung der Treibhausgasemissionen ist die systematische Messung aller klimarelevanten Emissionen. Zu den sechs Treibhausgasen, die im Kyoto-Protokoll aufgeführt sind und deren Ausstoß zu begrenzen oder zu reduzieren ist, zählen

- Kohlendioxid (CO_2),
- Methan (CH_4),
- Distickstoffoxid (N_2O),
- Teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW/HFC),
- Perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW/PFC) und
- Schwefelhexafluorid (SF_6).

Kohlendioxid (CO_2) gilt als das wichtigste und auch bekannteste der aufgeführten Treibhausgase, da sein Anteil am natürlichen Treibhauseffekt bereits 20 % beträgt. Es dient als Referenzwert für die übrigen Treibhausgase, die als ein Vielfaches der Wirkung von CO_2 angegeben werden, indem ihr Global Warming Potential (GWP)² im Verhältnis zu CO_2 herangezogen wird. So ist das GWP einer bestimmten Menge von Methan gemäß den Ergebnissen des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 25-mal höher zu bewerten als die gleiche Menge an Kohlendioxid (Forster et al. 2007, S. 212). Durch die Umrechnung aller Treibhausgase in Kohlendioxid ergibt sich die Messeinheit CO_{2}e (Kohlendioxidgequivalent), die nach Artikel 3 des Kyotoprotokolls als Standardeinheit festgelegt ist (UNFCCC 2008, S. 3).

Die Bilanzierung und Zusammenfassung von Treibhausgasemissionen kann bedingt durch verschiedene Zielsetzung auf unterschiedlichen Ebenen geschehen. Erfolgt die Be trachtung der verursachten Emissionen entlang des Lebenszyklus eines Produkts, wird dies als Product Carbon Footprint bezeichnet (DIN ISO 14067 2012). Für die Berechnung können zwei grundsätzliche Ansätze gewählt werden. Beim Cradle-To-Gate Ansatz werden alle Emissionen von der Herstellung des Produktes bis zur Anlieferung am Werkstor berücksichtigt, beim Cardle-To-Grave Ansatz werden die Emissionen des gesamten Lebenszyklus bilanziert (Curran 2006).

Eine weitere Möglichkeit der Zusammenfassung von Treibhausgasen besteht aus unternehmerischer Sicht. Der Corporate Carbon Footprint bezeichnet die Zusammenfassung von Treibhausgasemissionen gemäß den Systemgrenzen eines Unternehmens. Das international anerkannte Greenhouse Gas Protocol (GHG) unterscheidet dabei zwischen direkten und indirekten Emissionen aus der eigenen Unternehmensaktivität (Scope 1 und 2) und indirekten Emissionen, die mit der Unternehmensaktivität zwar verbunden jedoch

² Das relative Treibhauspotential beschreibt die Klimawirksamkeit für ein bestimmtes Treibhausgas unter Berücksichtigung von Verweildauern in der Atmosphäre (in der Regel 100 Jahre). Der GWP für CO_2 beträgt 1.

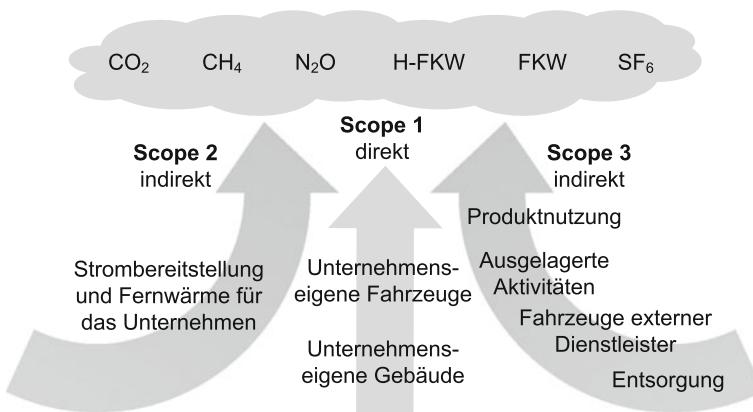


Abb. 4.3 Systemgrenzen bei der Treibhausgaserfassung. (in Anlehnung an GHG 2011)

nicht durch das Unternehmen selbst verursacht werden (Scope 3) (GHG 2011). Die drei Bereiche, die sogenannten Scopes, sind wie folgt aufgeteilt (Abb. 4.3):

- Scope 1: Alle direkten Emissionen des Unternehmens, beispielsweise Emissionen, die durch eigene Transport-, Umschlag- oder Lagerprozesse entstehen.
- Scope 2: Alle indirekten Emissionen, die durch Prozesse zur Strombereitstellung und -verteilung im Unternehmen verursacht werden, wie z. B. der Bezug von elektrischer Energie oder die Nutzung von Fernwärmе.
- Scope 3: Emissionen, die nicht unter der Kontrolle des Unternehmens stehen, wie z. B. Emissionen, die durch den Transport von Subdienstleistern verursacht werden.

Neben der Bilanzierung von Produkt- oder Unternehmensklimabilanzen können auch Emissionen von Transportdienstleistungen zum sogenannten Transport Carbon Footprint zusammengefasst werden. Hierbei wird differenziert, ob nur die Emissionen berechnet werden, die durch das Verbrennen der fossilen Brennstoffe beim Transport freigesetzt werden oder ob die Emissionen der vorgelagerten Prozesse berücksichtigt werden sollen. Im ersten Fall werden nur die beim tatsächlichen Transport entstehenden Emissionen einbezogen. Diese Festlegung der Systemgrenzen wird daher auch als Tank-To-Wheel (TTW) bezeichnet und beschreibt den Energieverbrauch und Emissionsausstoß „vom Kraftstofftank zum Lenkrad“. Im zweiten Fall werden vorgelagerte Prozesse betrachtet, die indirekte Emissionen der Rohstoffgewinnung sowie der Produktion von Energie und ihrer Verteilung beinhalten. Dazu zählt auch die Gewinnung und Verteilung von Kraftstoffen. Diese Grenzen werden als Well-To-Tank (WTT) beschrieben und verdeutlichen den Energieverbrauch und Emissionsausstoß „von der Quelle zum Kraftstofftank“. Die Vereinigung beider Betrachtungsgrenzen wird als Well-To-Wheel (WTW) bezeichnet und schließt sowohl TTW- als auch WTT-Emissionen in einer ganzheitlicheren Betrachtungsweise ein.

Norm für die Berechnung des Transport Carbon Footprints ist die DIN EN 16258, welche Energie- und Emissionsfaktoren für verschiedene Brennstoffe, differenziert nach den Betrachtungsgrenzen TTW und WTW, beinhaltet (DIN EN 16258 2013). Mithilfe der Emissionsfaktoren lassen sich gemessene Verbrauchswerte, z. B. der Dieselkraftstoffverbrauch für eine Transportdienstleistung, in die Standardmesseinheit für Treibhausgase (CO_2e) umrechnen. Da im praktischen Anwendungsfall Daten auf unterschiedlichen Ebenen für Verbrauchswerte vorliegen können, beinhaltet die Norm die folgenden Fälle, deren Genauigkeit mit einer höheren Aggregation der Daten abnimmt (vgl. DSLV 2011):

- Es liegen konkrete Verbrauchsdaten für einen bestimmten Transport vor.
- Es liegen linien- oder routenspezifische Verbrauchsdaten vor, die z. B. über ein Jahr gemittelt sein können.
- Für bestimmte Fahrzeugtypen oder -größen liegen flottenspezifische Durchschnittswerte vor.

Bei der Erfassung der Verbrauchswerte ist darauf zu achten, dass sämtliche Emissionen, die sich aus den Transportdienstleistungen ergeben, berücksichtigt werden. Verbräuche aus Leerfahrten müssen daher hinzugerechnet und ausgewiesen werden.

Liegen bei der Bilanzierung von Emissionen keine Informationen zu den Verbräuchen vor, greift keiner der obigen drei Fälle. Dies trifft beispielsweise auf Transportdienstleistungen zu, die mit Fahrzeugen von beauftragten Subunternehmen durchgeführt werden. Eine Bilanzierung ohne Verbrauchsinformationen ist aufgrund der vielen zu schätzenden Faktoren, die die Treibhausgasemissionen von Transportprozessen beeinflussen, allerdings sehr komplex. So hängen die im Straßengüterverkehr verursachten Emissionen erheblich von der eingesetzten Technik ab. Einerseits wirken sich Luft- und Rollwiderstände auf den Verbrauch aus, die stark von der Fahrgeschwindigkeit aber auch dem generellen Fahrverhalten abhängig sind. Andererseits beeinflusst auch die eingesetzte Abgastechnik und die Zusammensetzung des Kraftstoffs den Ausstoß der Emissionen. Darüber hinaus hat die Straßentopographie einen entscheidenden Einfluss auf den Verbrauch, da größere zu überwindende Steigungen sich negativ auf den Verbrauch auswirken. Beim Bahnverkehr hat die eingesetzte Traktionsart Diesel oder Elektro einen wichtigen Einfluss auf die Emissionen. Hierbei ist hinsichtlich der Emissionsberechnung zu beachten, dass bei elektrisch angetriebenen Zügen keine Emissionen für die Betrachtungsgrenze Tank-To-Wheel (TTW) anfallen, da im Betrieb keine Schadstoffe emittiert werden. Wesentlich für die Emissionen ist zudem das Gesamtgewicht, welches durch den Transport von Massengütern zwar absolut steigt, jedoch anteilig je transportierter Tonne zu geringeren Emissionen führt. Gleichermaßen trifft dies auch für den Seetransport zu, da durch die Beförderung auf größeren Containerschiffen der Anteil an Emissionen je Container sinkt. Ferner hat die Fahrgeschwindigkeit erheblichen Einfluss auf den Energieverbrauch. Für den energieintensiven Transport per Luftfracht spielt der eingesetzte Flugzeugtyp sowie die Triebwerkstechnik und die Auslastung eine übergeordnete Rolle. Zudem ist der Energieverbrauch beim Start im Vergleich zum Reiseflug relativ hoch, was dazu führt, dass Kurzstreckenflüge hinsichtlich der Emissionen je Flugkilometer schlechter abschneiden als Langstreckenflüge (vgl. Kranke et al. 2011).

Um auch ohne Verbrauchswerte eine Emissionsberechnung vorzunehmen, kann die Bilanzierung unter Rückgriff auf Vorgabewerte aus Datenbanken und verschiedene Kalkulatoren erfolgen. Das Handbook of Emission Factors for Road Transport stellt eine sehr ausführliche, allerdings kostenpflichtige Datenbank, für Emissionsfaktoren im Straßen-güterverkehr dar (HBEFA 2010). Emissionsfaktoren auch für weitere Verkehrsträger sind in den Datenbanken von LIPASTO oder DEFRA zu finden (Lipasto 2009; DEFRA 2009). Frei verfügbare Kalkulationstools für die Berechnung von Emissionen entlang weltweiter Transportketten bieten beispielsweise der Methodenbaukasten des Instituts für Transport-logistik oder das Tool EcoTransIT an (ITL 2012; ECOTRANSIT 2011). Darüber hinaus bietet die Homepage des europäischen Forschungsprojekts COFRET einen Überblick über europaweit eingesetzte Berechnungstools und Datenbanken sowie aktuelle Entwicklungen zur Emissionsberechnung (COFRET 2013). Weiterführende Informationen zur prakti-schen Berechnung der Transport Carbon Footprints geben der Leitfaden des Deutschen Speditions- und Logistikverband (DSLV 2011) oder das Handbuch CO₂-Berechnung in der Logistik (Kranke et al. 2011).

4.3 Maßnahmen zur Minderung von Treibhausgasemissionen

Als Bilanz über die Transportkette weist der Transport Carbon Footprint für einen be-stimmten Zeitraum die durch die Beförderung verursachten Treibhausgasemissionen aus. Bei mehrgliedrigen Transportketten wird dabei der Beitrag der einzelnen Verkehrsmittel zum Gesamtausstoß deutlich. Zudem beziehen Logistikunternehmen zunehmend auch die Emissionen stationärer Logistikprozesse ergänzend ein.

Anhand des Transport Carbon Footprints können infolge die stärksten Emissionstreiber identifiziert werden. Daraus lässt sich schlussfolgern, in welchem Prozess künftig primär Treibhausgasemissionen reduziert werden müssen. Dies ermöglicht, gezielte Maßnahmen zur Ausstoßsenkung auszuwählen und einzuleiten. Ferner schafft der Transport Carbon Footprint die Basis, um solide und quantifizierbare Senkungsziele zu formulieren. Bei regelmäßiger Bilanzierung können die Fortschritte der ergriffenen Maßnahmen abgeleitet und somit ihre Effektivität beurteilt werden.

Eine Senkung von Treibhausgasemissionen kann in Logistikunternehmen auf zahlrei-chen Wegen erfolgen. Anhand ausgewählter Maßnahmen soll nachfolgend eine kurze Übersicht gegeben werden. Ihre Gliederung orientiert sich dabei an der Prozessart, da diese über die Anwendbarkeit der Maßnahmen entscheidet.

In Bezug auf mobile Logistikprozesse, die den Gütertransport abbilden, können durch die Verkehrsverlagerung auf emissionsärmere Verkehrsträger erhebliche Emis-sionseinsparungen erzielt werden. Wie Abb. 4.4 veranschaulicht, emittieren die vier Verkehrsmittel Flugzeug, Lkw, Binnenschiff und Eisenbahn in unterschiedlich starkem Maße Treibhausgase. Zurückzuführen ist dies beispielsweise auf den Einsatz unterschied-

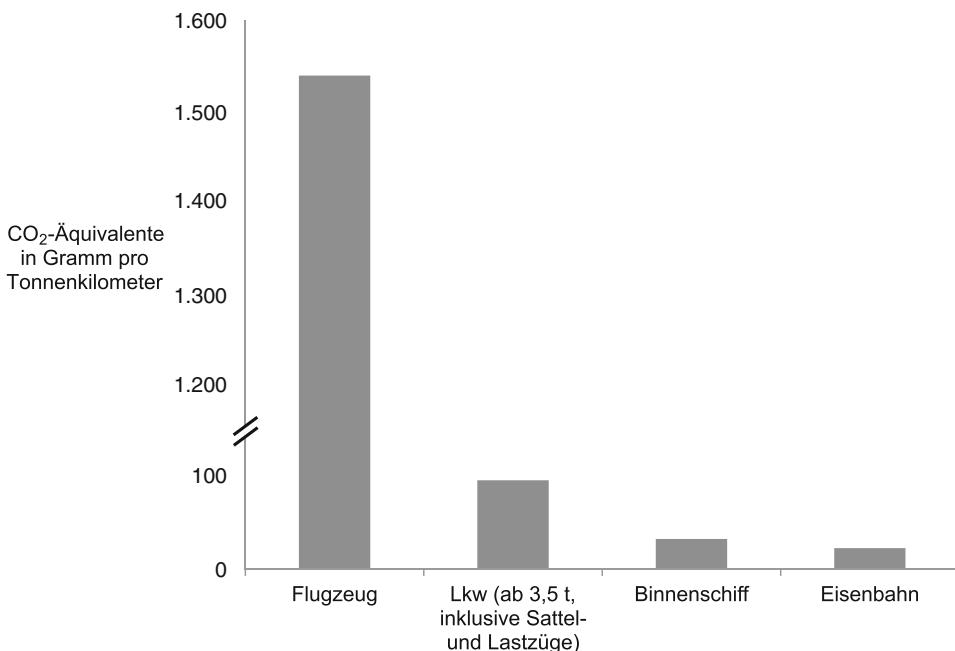


Abb. 4.4 Emissionen der Verkehrsmittel. (TREMOD 2011)

licher Antriebsarten (Elektrotraktion, Dieselantrieb) und Kraftstoffe (konventioneller Diesel, Biodiesel, Diesel mit unterschiedlichem Beimischungsgrad von Biodiesel).

Auch bei der Organisation und Abwicklung der Transporte, die sich der Verkehrsträgerwahl anschließen, sind Potenziale zur Emissionssenkung zu erschließen. Zu diesem Zweck sollte die Disposition stets eine Bündelung von Verkehren anstreben, Leerfahrten möglichst vermeiden und auf unausgelastete Expressfahrten gänzlich verzichten. Zudem sollten die einzusetzenden Fahrzeuge mit energieeffizienter Fahrzeugtechnik ausgestattet werden. Ausrüstungsbeispiele sind Leichtlaufreifen, welche den Rollwiderstand reduzieren, oder Verkleidungen zur Erhöhung der Aerodynamik (Bode et al. 2011, S. 25–26).

Im stationären Bereich, welcher die innerbetrieblichen Logistikprozesse umfasst, ist zunächst die Wahl des Anlagenstandorts entscheidend. Die geographische Lage einer Anlage, die beispielsweise der Bündelung und Dekonsolidierung von Güterströmen innerhalb eines Netzwerks dient, ist maßgeblich für die zu überwindende Transportdistanz und damit für die Emissionsentstehung. Dies ist vor allem bei der makroskopischen Suche auf Bundes- oder Landesebene, aber auch im Rahmen der mikroskopischen Feinplanung zu beachten, indem Kriterien wie die Anbindung an Autobahn- und Gleisnetz oder die Stauquote der Stadt und betrachteten Strecke Beachtung finden.

Bereits mit dem Entwurf einer Logistikanlage wird die Grundlage für ihren späteren emissionsarmen Betrieb geschaffen. Zu den ökologischen Maßnahmen, die in dieser frühen Bauphase berücksichtigt werden sollten, zählen beispielweise die Installation von Solar-

anlagen, welche Sonnenenergie in elektrischen Strom oder Warmwasser umwandeln, die Nutzung ökologisch sinnvoller Heiztechnik, wie Erdwärmepumpen, oder die Dämmung des Gebäudes (BME 2011, S. 41).

Analog ist im Rahmen der Gebäudeeinrichtung und den damit verbundenen Beschaffungsprozessen Wert auf die ökologische Nachhaltigkeit zu legen. Dazu sollte neben Preis, Leistung und Qualität auch die Energieeffizienz der benötigten Betriebsmittel als Kaufkriterium einbezogen werden.

Sowohl bei den mobilen als auch stationären Prozessen sollten sich die Prozessausführenden der hohen Belastung des Ökosystems Erde bewusst sein und dementsprechend schonend mit den Ressourcen umgehen. Um ein umweltfreundliches Handeln der Mitarbeiter zu fördern und zu verstetigen, sollte ihr Bewusstsein hierüber regelmäßig geschärft und ihr Verhalten geschult werden. Beispielsweise können Lkw-Fahrer anhand von gezielten Fahrertrainings eine vorausschauende Fahrweise erlernen, mit der sich Kraftstoffe einsparen und Treibhausgasemissionen reduzieren lassen.

Literatur

- BME (2011) BME Green Toolbox. Werkzeuge für nachhaltige Logistik. Ergebnisse des Arbeitskreises „Green Logistics“ der Sektion Logistik im BME e. V., Frankfurt am Main
- Bode W, Ziegler A, Hermsmeier J, Hocke-Anbeh, A (2011) Praxisleitfaden „Grüne Logistik“. http://www.ris-logis.net/Gruene_Logistik/pdf/Praxisleitfaden.pdf. Accessed: 27. Feb 2013
- Blank E (2001) Sustainable Development. In: Schulz W F, Burschel C, Weigert M, Liedke C, Bohnet-Joschko S, Kreeb M, Losen D, Geßner C, Differnand V & Maniura A (eds) Lexikon Nachhaltiges Wirtschaften, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München, pp 374–385
- COFRET (2013) Carbon Footprint of Freight Transport <http://www.cofret-project.eu/> Accessed 21 Feb 2013
- Council of the European Union (2002) Decision No 2002/358/CE concerning the approval, on behalf of the European Community, of the Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change and the joint fulfilment of commitments thereunder. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2002:130:0001:0001:EN:PDF>. Accessed 27 Feb 2013
- Curran M A (2006) Life Cycle Assessment: Principles and Practice. U.S. Environmental Protection Agency (EPA) <http://www.epa.gov/nrmrl/std/lca/lca.html>. Accessed 27 Feb 2013
- DEFRA (2009) Guidance on measuring and reporting Greenhouse Gas (GHG) emissions from freight transport operations. Department for Environment, Food & Rural Affairs. <http://www.defra.gov.uk/publications/files/pb13309-ghg-guidance-0909011.pdf>. Accessed 27 Feb 2013
- DIN EN 16258 (2013) Methode zur Berechnung und Deklaration des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen bei Transportdienstleistungen (Güter- und Personenverkehr). Beuth Verlag, Berlin
- DIN ISO 14067 (2012) Treibhausgase – Carbon Footprint von Produkten – Anforderungen an und Leitlinien für quantitative Bestimmung und Kommunikation. Beuth Verlag, Berlin
- DSLV (2011) Leitfaden Berechnung von THG-Emissionen in Spedition und Logistik. <http://www.spediteure.de/de/site/1575/n64/page/n64/index.xml> Accessed: 27 Feb 2013.

- ECOTRANSIT (2011) Ecological Transport Information Tool for Worldwide Transports. IFEU Heidelberg. http://www.ecotransit.org/download/ecotransit_background_report.pdf. Accessed 27 Feb 2013
- European Environment Agency (2012) Treibhausgasemissionen nach Sektor. <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=de&pcode=tsdcc210>. Accessed 30 Okt 2012
- European Parliament and Council of the European Union (2009) Decision No 406/2009/EC on the effort of Member States to reduce their greenhouse gas emissions to meet the Community's greenhouse gas emission reduction commitments up to 2020. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0136:0148:EN:PDF>. Accessed 30 Okt 2012
- Forster P, Ramaswamy V, Artaxo P, Berntsen T, Betts R, Fahey D W, Haywood J, Lean J, Lowe D C, Myhre G, Nganga J, Prinn R, Raga G, Schulz M and van Dorland R (2007) Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf>. Accessed 27 Feb 2013
- GHG (2011) Greenhouse Gas Protocol: Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting. <http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/tools/GHG%20Protocol%20Guidance%20for%20Calculating20Scope%203%20Emissions%20-%20DRAFT%20August%202011.pdf>. Accessed 26 Feb 2013
- Hansen J, Lebedeff S (1987) Global Trends of Measured Surface Air Temperature. *Journal of Geophysical Research* 92: 13345–13372
- Hauff V (1987) Unsere gemeinsame Zukunft. Eggenkamp Verlag, Greven
- HBEFA (2010) Handbook of Emission Factors for Road Transport. INFRAS AG. Version 3.1. <http://www.hbefa.net/e/index.html>. Accessed 27 Feb 2013
- ITL (2012) Institut für Transportlogistik CO₂-Methodenbaukasten. <http://www.itl.tu-dortmund.de/cms/de/home/CO2-Methodenbaukasten/index.html>. Accessed 28 Februar 2013
- Kaufmann R K, Stern D I (1997) Evidence for human influence on climate from hemispheric temperature relations. *Nature* 388: 39–44
- Koller U (2005) Feinstaub – Kleine Partikel mit großer Wirkung. GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit. http://www.helmholtz-muenchen.de/fileadmin/FLUGS/PDF/Themen/Luft/Feinstaeube_2005_Flugs.pdf. Accessed 26 Feb 2013
- Kranke A, Schmied M, Schön D (2011) CO₂-Berechnung in der Logistik. Verlag Heinrich Vogel, München
- Lipasto (2009) LIPASTO traffic emissions. VTT Technical Research Center of Finland. <http://lipasto.vtt.fi/indexe.htm>. Accessed 27 Feb 2013
- Rahmstorf S, Schellnhuber H-J (2012) Der Klimawandel. Verlag C.H. Beck, München
- Rönsberg A (2012) Mageres Ergebnis beim UN-Klimagipfel. <http://www.tagesschau.de/ausland/klimagipfel202.html>. Accessed 27 Feb 2013
- Straube F, Borkowski S, Nagel A (2009) Ökologisch nachhaltige Logistik – Ansätze zur Konzeption und Bewertung. In Reimer M, Fiege S (eds) Perspektiven des Strategischen Controllings, GWV Dachverlage, Wiesbaden, pp 205–225
- TREMOD (2011) In UBA (ed) Daten zum Verkehr. Ausgabe 2012. <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/4364.pdf>. Accessed 27 Feb 2013
- UBA (2012) Luft und Luftreinhaltung – Feinstaub. <http://www.umweltbundesamt.de/luft/schadstoffe/feinstaub.htm>. Accessed 26 Feb 2013
- UNFCCC (2008) Kyoto Protocol Reference Manual. <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>. Accessed 30 Okt 2012

- Weïer U (2012) Die Klimakatastrophe –ein Fehlalarm? Die kritischen Stimmen mehren sich. Diplomica Verlag, Hamburg
- Wittenbrink P (2010) Green Logistics f̄hrt zu Kosten- und Wettbewerbsvorteilen. Internationales Verkehrswesen 62(5):16–20
- WHO (2006) Particulate matter. In: Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf. Accessed 26 Feb 2013

Verkehrspolitik

5

Carina Thaller

Dieser Beitrag befasst sich zum einen mit dem strukturellen Aufbau und der übergeordneten Zielsetzung des europäischen und nationalen verkehrspolitischen Systems. In diesem Rahmen wird auf die Aufgabenbereiche, Handlungsfelder und Planungsinstrumente der unterschiedlichen Planungsebenen eingegangen. Zudem werden die Herausforderungen für die Zukunft aufgezeigt. Ferner wird eine Übersicht über verfügbare Daten zum Wirtschaftsverkehr in Deutschland gegeben.

Verkehrspolitik setzt Rahmenbedingungen für den Transport von Personen, Gütern und Nachrichten und den daraus resultierenden logistischen Dienstleistungen. Sie befasst sich mit materialwirtschaftlich-technischen, juristischen und ökonomischen Fragestellungen (von Stackelberg und Malina 2012).

Ein wesentliches Prinzip der Verkehrspolitik ist unter anderem die *Daseinsvorsorge*. Dieses Prinzip kann als die auf die Schaffung von Infrastrukturen gerichtete Tätigkeit der öffentlichen Hand zur Verbesserung der gesellschaftlichen Situation oder als Teil der staatlichen Wohlfahrtspflege angesehen werden. Im Kern geht es um eine flächendeckende Versorgung mit Basisgütern und -dienstleistungen zu sozialverträglichen Preisen (Franz 2005, S. 12 f.). Daseinsvorsorge soll also die Grundbedürfnisse aller Verkehrsteilnehmer sichern und diese nachhaltig für die nächsten Generationen gewährleisten. Diese Aufgabe muss von den zuständigen Gebietskörperschaften übernommen werden. Für weitere Informationen bietet Gegner (2007) einen umfassenden Überblick zum Bereich Verkehr und Daseinsvorsorge.

Ein weiteres Ziel ist, die Gewährleistung und Sicherung gleicher Lebensbedingungen für alle Bürger. Dabei wird die Nachfrage oder Planung mit Hilfe von staatlichen Mitteln gebündelt und vorweggenommen. In diesem Kontext hat der Staat die Pflicht, Leistun-

C. Thaller (✉)

Institut für Transportlogistik, TU Dortmund, Leonhard-Euler-Straße 2, 44227

Dortmund, Deutschland

E-Mail: thaller@itl.tu-dortmund.de

gen zu erbringen, auch wenn der Markt nicht genügend Anreize schafft (z. B. Straßen im ländlichen Raum). Im Verkehrsmarkt regelt der Preis das Zusammenspiel von Angebot und Nachfrage nicht optimal, beispielsweise bezogen auf *externe Kosten*. Diese Kosten werden von jedem verursacht, der am Verkehr direkt teilnimmt. Jedoch werden diese Kosten von den Verkehrsteilnehmern nicht selber getragen. Der Begriff wird auch verwendet, wenn sich der Zustand bzw. die Situation des betroffenen Individuums verschlechtert (Brenck et al. 2007, S. 426). Diese Folgekosten können durch Unfälle, Staus und Lärm, Luftverschmutzung und Klimawandel sowie Eingriffe in Natur und Landschaft entstehen. Die Kosten werden indirekt durch den Steuerzahler getragen. In Deutschland betragen die gesamten externen Kosten 80,4 Mrd. € im Jahr 2005 (VDB 2012, S. 19). Weitere Hinweise zu den externen Kosten bietet das Umweltbundesamt (2007).

Verkehrspolitik ist die Grundvoraussetzung für eine Realisierung des europäischen Binnenmarktes. Zielsetzung ist dabei, Mobilität und effizienten Gütertransport im nachhaltigen Kontext zu gewährleisten. *Nachhaltigkeit* kann in diesem Rahmen erreicht werden, wenn ökonomische, soziale und ökologische Bedingungen gleichermaßen berücksichtigt und in Einklang gebracht werden (Klaus und Krieger 2008, S. 606; Held 2007; Becker 2011). Das Verkehrsgeschehen im öffentlichen und Individualverkehr sowie im Güterverkehr wird hauptsächlich durch volkswirtschaftliche und verkehrspolitische Rahmensetzungen beeinflusst. Die Nachfrageseite im Personen- und Güterverkehr wird im Allgemeinen durch Wachstums- und Struktureffekte in der Volkswirtschaft abgeleitet und ist dadurch bedingt. Die Entwicklung und Struktur der Verkehrsnachfrage ist dabei abhängig von Veränderungen der gesamtkökonomischen Produktions- und Güterstruktur, der demographischen Entwicklung sowie konjunkturellen und saisonalen Schwankungen der Produktion und Technologie. Gerade die Entwicklung des Güterverkehrs wird durch die Globalisierung und Integration von Wirtschaftsräumen, der EU-Osterweiterung sowie der zunehmenden Öffnung der Märkte beeinflusst. Die Verkehrspolitik schafft dabei Anreize für die Realisierung zeitgemäßer Güterverkehrskonzepte (Eisenkopf 2008, S. 607 ff.).

Die durchgesetzten Gesetzesvorlagen und Rahmenbedingungen auf unterschiedlichen verkehrspolitischen Ebenen (EU, Bund, Länder, Region, Kommune) stellen die Grundlage für die konkrete Verkehrsplanung dar. Aufgabe der Verkehrsplanung ist also, Informationen zur Bedarfs-, Verkehrswege- und integrierten Verkehrsentwicklungsplanung bereitzustellen. Sie entwickelt mögliche zukünftige Verkehrsentwicklungen (Varianten, Szenarien) mittels speziell angepasster Verfahren, Methoden und Modelle. Anhand dieser Prognosen der Verkehrsnachfrage ist es möglich, auf infrastruktureller Ebene Engpässe zu erkennen und konkrete Planungsvorstellungen für das zukünftige Angebot zu definieren. In diesem Zusammenhang werden die Möglichkeiten und Grenzen aus gesellschaftlicher und ökologischer Sicht durch ein Bewertungsverfahren der Planungsmaßnahmen beurteilt und als Beitrag zur politischen und öffentlichen Entscheidungsfindung aufbereitet. Die erforderliche Qualität und die Dringlichkeit der Gesamt- und Einzelmaßnahmen werden im Rahmen der Ausbauplanung ermittelt, die danach in die Umsetzungs- bzw. Realisierungsphase mündet. Um zu erfahren, ob die realisierten Maßnahmen die übergeordneten Zielsetzungen erfüllen können, werden durch ein Monitoring (z. B. Verkehrserhebungen) die Ergebnisse überprüft. Verkehrsplanung muss als Notwendigkeit angesehen werden,

da sich gesellschaftliche, regionale und globale Rahmenbedingungen und der damit verbundene Verkehrszuwachs und die Verkehrsverlagerung im ständigen Wandel befinden (Schnabel und Lohse 2011, S. 1 ff.).

5.1 Verkehrspolitik der Europäischen Union

5.1.1 Aufbau des verkehrspolitischen Systems der EU

Im Europäischen Parlament übernimmt der Ausschuss für Verkehr und Fremdenverkehr die Zuständigkeit für den Bereich Verkehrspolitik. Dieser hat den Rat Verkehr, Telekommunikation und Energie und eine spezielle Kommission für Verkehr sowie eine Generaldirektion Energie und Verkehr für die Belange in diesem Themenfeld eingesetzt (siehe Abb. 5.1).

Nach der Rechtsgrundlage (Art. 90 bis 100 AEUV) werden die Kompetenzen für den Bereich Verkehr auf die Union und die Mitgliedsstaaten aufgeteilt. Dabei konzentriert sich die Union auf den grenzüberschreitenden Verkehr bezogen auf alle Verkehrsträger (Straße, Schiene, Wasserstraße, Luft). Hier existiert eine enge Verknüpfung zwischen der Verkehrspolitik, der EU-Binnenmarktpolitik und der Energie- und Umweltpolitik (Fichert und Grandjot 2007, S. 145; aktion europa 2012).

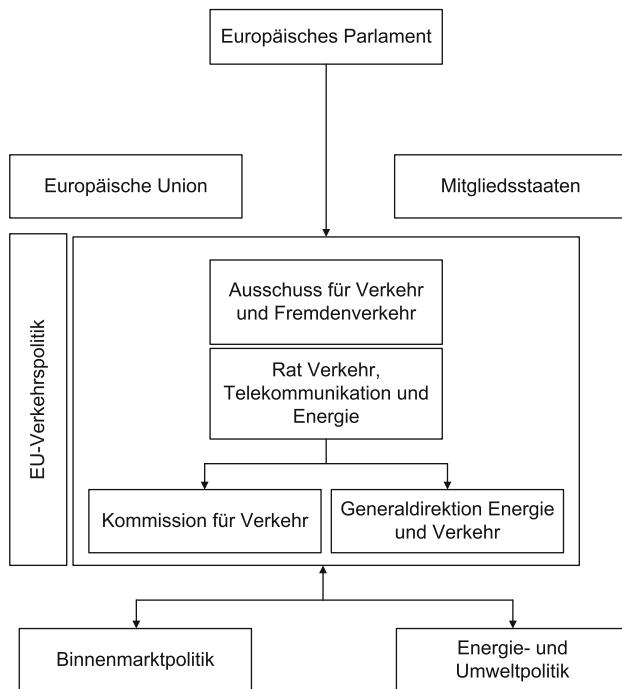
5.1.2 Gemeinsame Aufgabenbereiche zur Zielerreichung

Das übergeordnete Ziel der EU ist es, effizienten, integrierten und nachhaltigen Verkehr für alle Verkehrsträger durch sinnvolle Maßnahmen zu erreichen. Wie dieses Ziel nun umgesetzt wird, wird im Folgenden erläutert.

Zunächst wird angestrebt, die Effizienz der europäischen Verkehrssysteme zu steigern und den Wettbewerb zu fördern. Dies geschieht durch die Liberalisierung (vollständige Öffnung) der nationalen Verkehrsmärkte für alle Verkehrsträger (Straße, Schiene, Wasser, Luft). Die Realisierung des europäischen Verkehrsinnenmarktes wurde nahezu umgesetzt. Seit Anfang der 1990er Jahre wurde der grenzüberschreitende Personen- und Güterverkehr für den Straßen-, Schienen-, See- und Luftverkehr innerhalb der EU freigegeben (aktion europa 2012).

In diesem Zusammenhang wurden die nationalen Rahmenbedingungen für die Wettbewerbsförderung in den Bereichen Technik, Steuerrecht, Ökologie und Soziales harmonisiert, d.h. einander angeglichen. Eine Vereinheitlichung wurde beispielsweise bei den Kfz-Steuern und den Straßenbenutzungsgebühren für Lkw ab 12 Tonnen Nutzlast erreicht. Gerade beim Verkehrsträger Schiene ist eine Zusammenarbeit der europäischen Bahnen notwendig, um eine technische Harmonisierung (Vereinheitlichung der Spurbreiten, Stromnetze) zu erzielen. Außerdem soll die Binnenschifffahrt durch die Markttöffnung, Freigabe der Kabotage und Abwracksysteme zur Strukturbereinigung liberalisiert werden (Klaus und Krieger 2008, S. 606).

Abb. 5.1 Aufbau der europäischen Verkehrspolitik.
 (Quelle: Eigene Darstellung nach Fichert und Grandjot 2007; action Europa 2012)



Weiterführend will die EU durch gezielte Maßnahmen eine umweltverträgliche Verkehrsentwicklung fördern. Das Programm Marco Polo II soll u. a. zur Erhöhung der Umweltverträglichkeit des Güterverkehrs beitragen. Durch neue Rechtsnormen soll eine Senkung der CO₂-Emissionsgrenzwerte, eine höhere Kraftstoffeffizienz und die Förderung von alternativen Energien erreicht werden. Die EU hat bereits einen strategischen Verkehrstechnologieplan (STTP) aufgestellt, der die Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen zusammenfasst. Dieser Plan zielt darauf ab, die Interoperabilität der Lade- bzw. Betankungsinfrastruktur aufzubauen und die Intermodalität zu verbessern. Interoperabilität heißt in diesem Kontext, dass die Verkehrsträger technisch verbundfähig sind. Intermodalität ist die verkehrsübergreifende Planung und die Förderung des kombinierten Verkehrs (aktion europa 2012).

Ferner will die EU die Verkehrssicherheit vordringlich behandeln und in Kooperation mit regionalen und nationalen Behörden fördern. Als gesamteuropäisches Ziel soll dabei die Anzahl an Verkehrstoten und -unfällen auf der Straße in den nächsten zehn Jahren halbiert werden. Im Jahr 2010 gab es EU-weit 30.700 Verkehrstote bei Straßenverkehrsunfällen (DeStatis 2011). Außerdem hat die EU ein Verkehrsverbot für unsichere Luftfahrtunternehmen ausgesprochen. Im Seeverkehr führen Sicherheitsregeln zu strengerer Inspektionen von Schiffen und Sanktionen für grob fahrlässig verursachte Umweltschäden.

Eine grundlegende Problematik liegt in der unzureichenden Anbindung von regionalen und nationalen Verkehrsnetzen. Die EU verfolgt deshalb die Schaffung eines multimodalen

„Kernnetzes“ als weiteres Ziel, um die größten Städte sowie den Osten mit dem Westen der EU besser zu verbinden. Weiteres Ziel der Infrastrukturpolitik ist es, den sozialen Zusammenhalt und die Wettbewerbsfähigkeit der EU zu fördern und dem Klimawandel entgegenzuwirken.

Nun wird auf die Transeuropäischen Netze (TEN) näher eingegangen. Im Speziellen liegt in diesem Beitrag der Fokus auf der Verkehrsinfrastruktur. Der Begriff transeuropäisches Verkehrsnetz beinhaltet die Infrastruktur (Straßen, Eisenbahnstrecken, Binnenwasserstraßen, Häfen, Flughäfen, Navigationseinrichtungen, Umschlaganlagen, Rohrleitungen) sowie die für den Betrieb der Infrastruktur notwendigen Dienstleistungen. Der Ausbau dieser Netze soll die transeuropäische Infrastruktur verbessern und Waren- und Kommunikationsströme optimieren. Leitlinien der Kommission und des Rates legen gemeinsame Interessen und Netzpläne fest. Sie sollen zur Harmonisierung (Vereinheitlichung) technischer Normen führen und zur Sicherung der Funktionsfähigkeit der Netze beitragen. Diese Leitlinien sind als Orientierungsrahmen für den Auf- und Ausbau der Verkehrsinfrastruktur innerhalb des europäischen Binnenmarktes anzusehen. Die Vorfahrt (insgesamt über 30 Teilprojekte) müssen die Mitgliedsstaaten finanzieren ([aktion europa 2012](#)).

Die EU will durch den Aufbau des globalen Navigationssystems GALILEO mit 32 Satelliten zur *Optimierung des Verkehrsnetzes* beitragen. Dieses System ermöglicht, global und zu jeder Zeit eine Positions- und Zeitbestimmung im dreidimensionalen Raum vorzunehmen. Mittels dieses Instruments können u. a. Verkehrsstände über Verkehrsichte erfasst, Verkehrsinformationen generiert sowie Echtzeitrouten navigiert werden. Für die Logistik stellt das Tool ein Verkehrsträger übergreifendes, integratives Flotten- und Frachtmangement, eine intermodale Frachtverfolgung sowie eine Gefahrgutüberwachung zur Verfügung. Damit können auch Straßennutzungsgebühren automatisch erhoben werden. Für den Personenverkehr können Fahrgastinformationen des öffentlichen Personenverkehrs zur Verfügung gestellt werden. Zusätzlich können mit diesem System Umweltdaten erfasst werden ([Zukunft et al. 2005](#)).

Ein Luftverkehrsabkommen mit den USA („Open Skies“) soll jeder Luftlinie der EU erlauben, von jedem Flughafen innerhalb des Binnenmarktes in die USA zu fliegen. Diese Maßnahme trägt zur Förderung eines effizienten Luftverkehrsmanagements bei ([aktion europa 2012; Europäische Union 2012](#)).

Einen vertieften Einblick zur Verkehrspolitik der EU und dem Mehrebenenprinzip liefert Sack ([2007](#)).

5.2 Verkehrspolitik auf nationaler Ebene

5.2.1 Aufbau der Verkehrspolitik des Bundes

Das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung ist zuständig für die bundesweite Verkehrspolitik. In der Abb. 5.2 wird der Aufbau des Ministeriums in neun Abteilungen dargestellt.

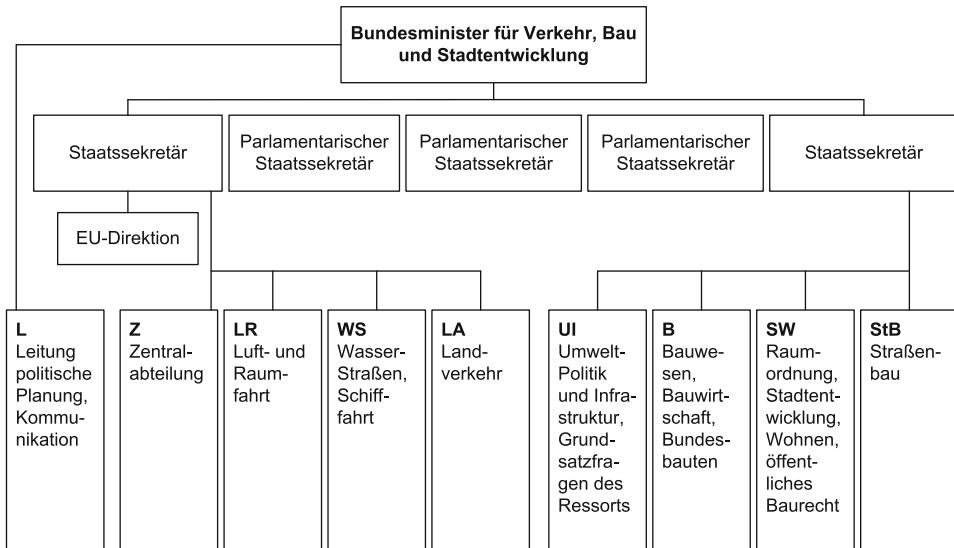


Abb. 5.2 Aufbau des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. (Quelle: Eigene Darstellung nach BMVBS 2012a)

Die *Leitungsabteilung* untersteht direkt dem Minister und soll ihn bei seinen politischen Aufgaben unterstützen. Die Abteilung ist für die Bereiche Presse, Öffentlichkeitsarbeit und Neue Medien sowie der Kooperation mit anderen Ministerien, dem Deutschen Bundestag, dem Bundesrat und anderen Institutionen zuständig. Die *Zentralabteilung* übernimmt die administrativen Steuerungsaufgaben im Ministerium und in seinem Geschäftsbereich (u. a. Haushalt, Personal, Organisation, Verwaltungsmodernisierung, technische Infrastruktur, Betreuung der Liegenschaften). Die Entwicklung und Umsetzung strategischer Politikkonzepte wird von der *Abteilung Umweltpolitik, Infrastruktur und Grundsatzfragen* ausgeführt. Der Fokus liegt dabei in der umwelt- und klimafreundlichen Gestaltung der Verkehrs- und Baupolitik. Sie übernimmt die Schaffung von angepassten Rahmenbedingungen für ein effizientes Verkehrssystem (z. B. bedarfsgerechte Verkehrsinfrastruktur, Finanzierung). Die *Abteilung Landverkehr* kümmert sich um die Belange des Schienen- und Straßenverkehrs. Außerdem vertritt sie die Interessen des Bundes als Eigentümer der Deutschen Bahn AG. Die *Abteilung Straßenverkehr* konzentriert sich auf die Erhaltung, Aus- und Neubau von Bundesfernstraßen. Die *Abteilung Wasserstraßen und Schifffahrt* übernimmt die Verantwortung für die See- und Binnenwasserstraßen im Bundesgebiet und nimmt innerhalb des internationalen Austausches an Diskussionen teil, die Entscheidungen zum See- und Schifffahrtsrecht beeinflussen. Die *Abteilung Luft- und Raumfahrt* sorgt für die Gestaltung eines effizienten und sicheren global wachsenden Luftverkehrs durch die Formulierung von fairen internationalen Wettbewerbsregeln. Die Themengebiete Stadtentwicklung und Raumordnung, Bau- und Wohnungsrecht sowie Mietrecht werden von der *Abteilung Raumordnung, Stadtentwicklung und Wohnen* bearbeitet. Die Aufgaben sind hier u. a. die gemeinwohlorientierte Sicherung des Wohnens und die Entwicklung der ländli-

chen Infrastruktur. Die Programme der Städtebauförderung (Stadtumbau, „Soziale Stadt“) unterstehen dieser Abteilung. Grundsatzfragen des Bauwesens, energetische Modernisierung, das öffentliche Auftragswesen, Baukultur, Bautechnik und Bauwirtschaft werden in der *Abteilung Bauwesen, Bauwirtschaft und Bundesbauten* geklärt (BMVBS 2012b).

5.2.2 Föderales System auf nationaler Ebene

Bedingt durch das *föderale System der Bundesrepublik Deutschland* übernimmt eine Vielzahl an *Entscheidungsträgern* die verkehrspolitischen Aufgaben. Dem Bund obliegt die Gesetzgebungskompetenz für zentrale Belange der Verkehrspolitik. Je nach Bereich wirken jedoch auch die Länder über den Bundesrat an der Gesetzgebung mit. Das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) erarbeitet die Konzepte für verkehrspolitische Entscheidungen. Der Bundesverkehrsminister hält die Kompetenz inne, Rechtsverordnungen und Verwaltungsvorschriften zu erlassen. Zunächst sind weitere relevante Behörden zu erwähnen, die in den Geschäftsbereich des BMVBS fallen. Hier handelt es sich u. a. um:

- die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt),
- das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR),
- die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW),
- die Bundesanstalt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH),
- die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)
- sowie den Deutschen Wetterdienst (DWD).

Neben dem BMVBS sind weitere selbstständige Bundesbehörden tätig, die das Themenfeld Verkehr tangiert betrachten und mit dem BMVBS an Gesamtkonzepten zusammenarbeiten. Dabei sind u. a. zu nennen:

- das Kraftfahrzeugbundesamt,
- das Luftfahrtbundesamt,
- das Bundesamt für Güterverkehr
- sowie das Eisenbahnbundesamt.

Weitere Bundesministerien beteiligen sich an verkehrspolitisch relevanten Entscheidungen. In diesem Prozess werden die verschiedenen spezifischen Zielvorhaben der unterschiedlichen Ressorts aufeinander abgestimmt. In diesem Kontext sind hier die folgenden Ministerien zu erwähnen, die ihre Interessen innerhalb des Entscheidungsprozesses vertreten:

- Finanzministerium: Verwalten der Investitionsmittel und vorgeben der steuerlichen Regelungen
- Wirtschaftsministerium im Rahmen der Ordnungspolitik

- Umweltbundesamt
- Verbraucherschutzministerium
- Verteidigungsministerium

Zusätzlich sind noch nachgeordnete Behörden mit Sektor übergreifenden Aufgabenbereichen zu nennen, die auch in verkehrspolitisch relevanten Politikfeldern tätig sind:

- Bundeskartellamt
- Bundesnetzagentur

Die Einflussnahme dieser weiteren Ministerien und Behörden variiert in hohem Maße und ist abhängig von den Machtverteilungen innerhalb der Regierung.

Auch die Differenzierung zwischen den Entscheidungsträgern der Verkehrspolitik und den ausführenden Organen ist nicht genau definiert. Die Institution als Träger muss prinzipiell eigene Entscheidungskompetenzen innehaben. Die vorher bereits erwähnten nachgeordneten Behörden können nur innerhalb bestimmter Grenzen, die das zuständige Ministerium durch Gesetze und Rahmenbedingungen bestimmt, als Entscheidungsträger eingesetzt werden. Gerichte gelten unter anderem als Entscheidungsträger, da sie zwar keine eigenen Ziele definieren, jedoch die Beachtung und Einhaltung von Rechtsvorschriften überwachen.

Durch das föderale Politiksystem sind die Bundesländer nicht nur über den Bundesrat berechtigt, verkehrspolitische Entscheidungen zu fällen. Sie übernehmen zudem die Verwaltung der Bundesautobahnen und -straßen, in der Luftfahrt sowie bei den Flughäfen für den Bund. Sie agieren eigenverantwortlich hinsichtlich der Planung, dem Bau und der Unterhaltung des Landesstraßennetzes sowie des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) (Fichert und Grandjot 2007, S. 139). Ein wichtiges Instrument für die Länder ist die Verkehrsministerkonferenz (VMK), die als Forum zur Abstimmung ihrer verkehrspolitischen Ziele und Zusammenarbeit genutzt wird. Ziele und Aufgaben dieses Forums sind u. a., Informationen und Erfahrungen auszutauschen, die Länderpolitik zu koordinieren und gemeinsame Standpunkte gegenüber dem Bund zu bestimmen. Die kommunalen Gebietskörperschaften als niedrigste Ebene innerhalb des verkehrspolitischen Systems gelten auch als Entscheidungsträger. Sie können zum Teil eigenverantwortlich handeln, aber auch im Auftrag der Länder tätig werden. Die Landkreise und kreisfreien Städte als untere Landesplanungsbehörden unterstehen demnach den Ministerien bzw. Regierungspräsidien als oberste Landesplanungsbehörden der Länder. Landkreise, Städte und Kommunen sind hauptsächlich für ihre kommunalen Straßen und den ÖPNV zuständig. In einzelnen Bundesländern gibt es auf kommunaler Ebene direkt-demokratische Elemente. Im Rahmen dieser sogenannten Bürgerbegehren bzw. Bürgerentscheide können die Bürger direkt Einfluss auf verkehrspolitische Entscheidungen nehmen. Zusätzlich wirken Träger öffentlicher Belange (Verbände, Interessensvertretungen) und weitere Fachplanungen (u. a. Raum-, Stadt- und Siedlungsstrukturplanung) auf den verkehrspolitischen Planungsprozess ein.

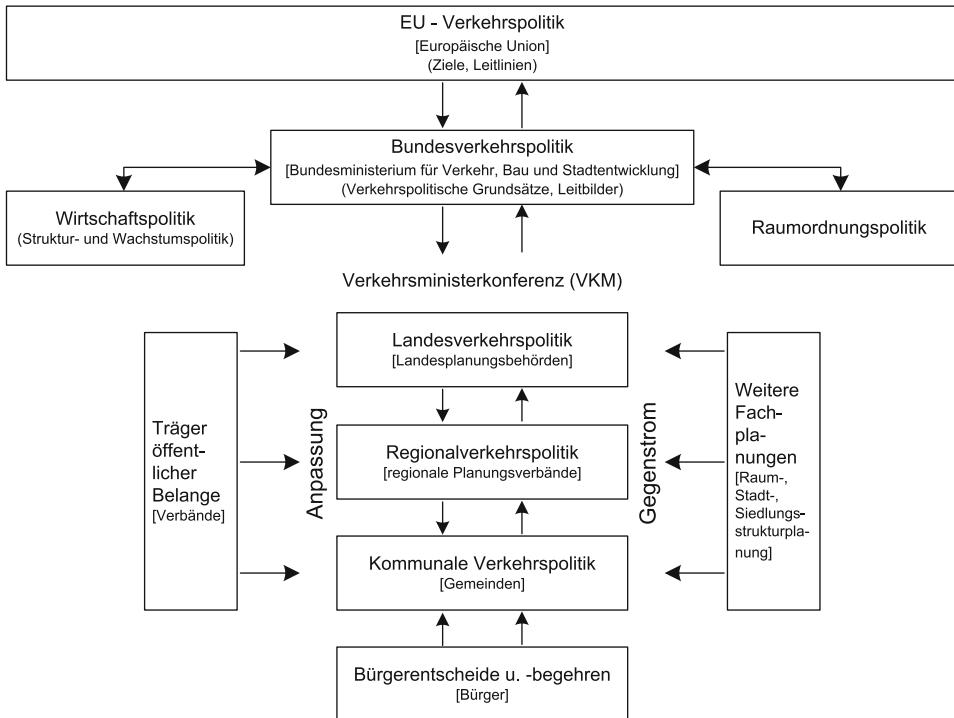


Abb. 5.3 Föderales verkehrspolitisches System in Deutschland unter Einfluss der EU. (Quelle: Eigene Darstellung nach Fichert und Grandjot 2007)

Die politischen Prozesse zwischen den verschiedenen politischen Ebenen funktionieren über das Anpassungs- und Gegenstrom-Prinzip. Nach diesem Prinzip kommen nicht nur Top-Down-Ansätze zur Anwendung bzw. werden nicht nur Richtlinien von höheren Instanzen an die unteren Planungsbehörden gerichtet. Demnach erfolgen zudem Bottum-Up-Ansätze, d. h. Planungsrichtlinien von den unteren Planungsbehörden müssen auch von den höheren Planungsinstanzen Berücksichtigung finden (siehe Abb. 5.3).

Auf Bundes- und Landesebene gibt es derzeit keine eigenständigen Verkehrsministerien. Hingegen ist die Verkehrspolitik beispielsweise mit der Wirtschafts- oder der Raumordnungspolitik eng verknüpft. Dies resultiert daraus, dass die Themenfelder Wirtschaft, Verkehr und Siedlungsstruktur sich in hohem Maße gegenseitig beeinflussen. Die Bedeutung der Verkehrspolitik für die ökonomische Entwicklung (z. B. in Struktur- und Wachstumspolitik) kommt jedoch ohne ein eigenständiges Ressort nicht zur Geltung (Fichert und Grandjot 2007, S. 140 f.).

5.2.3 Zielsetzungen

Die Ziele der verkehrspolitischen Entscheidungsträger lassen sich grundsätzlich in zwei Gruppen unterteilen: ordnungs- und strukturpolitische Ziele.

Erstere versuchen die Prozesse auf den Verkehrsmärkten zu optimieren, letztere setzen den Verkehr als Instrument gesamtwirtschaftlicher (global wachstumsorientierte Verkehrspolitik) oder anderer sektoraler Ziele (regional wachstums-, stabilisierungs-, distributions- und umweltschutzorientierte Verkehrspolitik) ein. Zwischen ordnungs- und strukturpolitischen Zielen der Verkehrspolitik besteht grundsätzlich insofern ein Zielkonflikt, als die Verfolgung der strukturpolitischen Ziele mithilfe des Verkehrs im Verkehrssektor selbst in der Regel zu suboptimalen Ergebnissen führt.

Das ordnungspolitische Grundziel der deutschen Verkehrspolitik für den Güterverkehr entstammt der Kleinen Verkehrsreform aus dem Jahre 1961, gilt aber im Wesentlichen auch heute noch. § 1 II Allgemeines Eisenbahngesetz (AEG) formulierte es folgendermaßen: „Mit dem Ziel bester Verkehrsbedienung haben Bundesregierung und Landesregierungen darauf hinzuwirken, dass die Wettbewerbsbedingungen der Verkehrsträger angeglichen werden, und dass durch einen lauteren Wettbewerb der Verkehrsträger eine volkswirtschaftlich sinnvolle Arbeitsteilung ermöglicht wird.“ (juris GmbH 2012) Daneben soll der Verkehr Wirtschaftswachstum, Mobilität und die Integration Europas ermöglichen und fördern, ohne den Menschen oder die Umwelt übermäßig zu belasten. Die augenblickliche Wirtschaftskrise lässt zudem Investitionen in die Infrastruktur als geeignetes Instrument zur Belebung der gesamtwirtschaftlichen Nachfrage erscheinen (von Stackelberg und Malina 2012).

5.2.4 Verkehrspolitische Handlungsfelder

Ordnungs-, Struktur- und Prozesspolitik stellen die Handlungsfelder in der Verkehrspolitik dar und sind nicht überschneidungsfrei zu betrachten.

Zur *Verkehrsordnungspolitik* zählen alle Maßnahmen, die Rahmenbedingungen oder Spielregeln definieren, innerhalb derer Anbieter und Nachfrager auf den Märkten agieren. Hierzu gehören z. B. Marktzugangsregelungen, Maßnahmen zur Koordinierung bzw. Steuerung der Preisbildung auf den Märkten und sonstige direkte oder indirekte Eingriffe mit Relevanz für den Wettbewerb.

Die *Strukturpolitik im Verkehrsbereich* umfasst dagegen alle staatlichen Aktivitäten, die als direkt investive oder investitionsfördernde Maßnahmen den Ausbau und die Veränderungen der Infrastruktur betreffen. Planung, Finanzierung und Ausbau der Infrastruktur wurden in der Vergangenheit traditionell vom Staat übernommen. Hier hat in der Zwischenzeit jedoch – nicht nur wegen erheblicher Finanzmittelknappheit – ein Umdenkprozess eingesetzt, der stärkeres privatwirtschaftliches Engagement bei der Infrastrukturbereitstellung und Infrastrukturbewirtschaftung verfolgt – ohne allerdings die

generelle Planungshoheit des Staates bei großräumig bedeutsamer Verkehrsinfrastruktur in Frage zu stellen.

Die Verkehrsinfrastruktur als wesentliches Element der materiellen Infrastruktur einer Volkswirtschaft wurde in Deutschland traditionell vom Staat – durch die *Verkehrsinfrastrukturpolitik* – geplant, erstellt und betrieben. Dabei wurde angenommen, dass es sich bei der Verkehrsinfrastruktur um ein öffentliches Gut handle, dessen Bewirtschaftung in den Aufgabenbereich des Staates falle. Trotz mittlerweile stärker etablierter Ansätze einer Privatisierung der Infrastruktur bzw. von Lösungen im Rahmen von Public-Private-Partnerships (PPP) nimmt die staatliche Verkehrsinfrastrukturpolitik für die Verkehrswege des Straßen-, Eisenbahn- und Binnenschiffsverkehr eine dominierende Rolle ein. Seit geraumer Zeit gilt für die Investitionen des Bundes in Verkehrswege die übergeordnete politische Vorgabe einer gleichmäßigen Mittelaufteilung auf die Bereiche Schiene und Straße, die sich auch in der Investitionsstruktur des Bundesverkehrswegeplans niederschlägt.

Prozesspolitik übernimmt die planmäßige operative Steuerung und laufende Einflussnahme auf die logistischen Aktivitäten der Wirtschaftssubjekte. Sie besitzt in marktwirtschaftlichen Systemen eine vergleichsweise geringe Bedeutung. Lediglich in der Eisenbahnpolitik, die ohnehin durch eine Verquickung von ordnungs- und strukturpolitischen Zielen und Maßnahmen gekennzeichnet ist, spielen auch tagesaktuelle, stärker prozesspolitische Überlegungen eine Rolle.

Die europäische und nationale *Eisenbahnpolitik* ist gekennzeichnet durch den Versuch, durch verschiedene ordnungs-, investitions- und prozesspolitische Maßnahmen die Stellung der Bahn im Wettbewerb der Verkehrsträger zu stabilisieren und ihre Marktbedeutung zu erhalten. Mit der Bahnstrukturreform von 1994 wurde versucht, die Eisenbahnpolitik in Deutschland auf eine neue Grundlage zu stellen. Ziel war eine marktfähige Ausrichtung der Deutschen Bahn AG, die durch eine Totalentschuldung, die Eröffnung eines diskriminierungsfreien Netzzugangs für Dritte, die Regionalisierung des ÖPNV und die Schaffung einer tragfähigen Finanzierungsbasis für Netzinvestitionen erreicht werden sollte. (juris GmbH 2012) Die Umsetzung der Vorschläge der „Regierungskommission Bundesbahn“ wurde auch durch die mittlerweile erfolgten nachhaltigen Veränderungen in der EU-Eisenbahnpolitik erleichtert. Dies erklärt sich zum einen aus den vielfältigen Interessenskonflikten, welche die Bahn als Wirtschaftsfaktor, Arbeitgeber sowie Gegenstand politischer Interessen und öffentlicher Finanzzuwendungen auslöst. Zum anderen spielt die Bahn eine wichtige Rolle bei der Bewältigung der Verkehrsprobleme der Zukunft. Überlastete Straßenverkehrskapazitäten und umweltpolitische Vorteile des Schienenverkehrs lassen es unverzichtbar erscheinen, die Position der Bahn im Verkehrsträgerwettbewerb zu stärken. Über die Wege dorthin – z. B. über die Bedeutung einer Trennung von Netz und Transport im Rahmen einer Teilprivatisierung der Deutschen Bahn – wird allerdings in Deutschland nach wie vor kontrovers diskutiert (Eisenkopf 2008, S. 609 ff.).

5.2.5 Planungsinstrumente

Das System der Regulierung im Verkehrssektor umfasst direkte und indirekte Maßnahmen, die auf die Gestaltung der Verkehrsinfrastruktur, die Struktur der Verkehrsunternehmen und den Koordinationsprozess auf den Verkehrsmärkten Einfluss nehmen. Direkt greift die staatliche Verkehrsinfrastrukturpolitik ein. Indirekte Maßnahmen umfassen die Regulierung des Markteintritts und des Marktaustritts sowie die Preisregulierung. Für die Verkehrsinfrastruktur sind – entsprechend dem föderalistischen Staatsaufbau der Bundesrepublik Deutschland – die Gebietskörperschaften in unterschiedlichem Maße verantwortlich (Verkehrsinfrastrukturpolitik). Zwar bedarf eine Person, die gewerblichen Verkehr durchzuführen beabsichtigt, in der Regel einer Erlaubnis. Die staatliche Regulierung des Marktzugangs beschränkt sich im Wesentlichen aber auf die Prüfung der subjektiven Zulassungsvoraussetzungen (persönliche Zuverlässigkeit, finanzielle Leistungsfähigkeit und fachliche Eignung). Lediglich im öffentlichen Personenverkehr gelten noch objektive Zulassungsvoraussetzungen, indem ein öffentliches Verkehrsinteresse geprüft und die Zahl der Genehmigungen beschränkt wird (Kontingentierung). Die Verkehrsunternehmen können mit den Verladern individuelle Beförderungspreise und Beförderungskonditionen aushandeln. Das gilt aber nicht für den öffentlichen Personenverkehr: Hier besteht nach wie vor eine Tarifpflicht mit teilweiser Genehmigung durch die zuständigen Behörden. So ist z. B. der Bund für die Fernverkehrstarife der Deutschen Bahn AG zuständig und die Länder für die Nahverkehrstarife (von Stackelberg und Malina 2012).

Der *Masterplan Güterverkehr und Logistik* stellt ein strategisches Konzept dar und zeigt konkrete Maßnahmen für die künftige Ausrichtung des Güterverkehrs in Deutschland auf. Der Plan wurde 2008 verabschiedet. Zielsetzung des Instruments ist, die Sicherung der leistungsfähigen Infrastruktur und gleichzeitig die energiesparende, effiziente, saubere und leise Gestaltung des Verkehrsgeschehens. In diesem Kontext wurden 35 Maßnahmen in sechs Zielbereichen formuliert:

- Verkehrswege optimal nutzen – Verkehr effizient gestalten
- Verkehr vermeiden – Mobilität sichern
- Mehr Verkehr auf Schiene und Binnenwasserstraße
- Verstärkter Ausbau von Verkehrsachsen und Knoten
- Umwelt- und klimafreundlicher, leiser und sicherer Verkehr
- Gute Arbeit und gute Ausbildung im Transportgewerbe

Nach dem Koalitionsvertrag von 2009 sollen ausgewählte Maßnahmen aus dem Masterplan umgesetzt werden, um die Verkehrsinfrastruktur zu erhalten und auszubauen. Für diesen Anlass werden hohe Investitionen für Straße, Schiene und Wasserstraße getätigt. Hochfrequentierte Autobahnabschnitte sollen mit Verkehrssteuerungs- und Verkehrsmanagementsystemen ausgerüstet werden, um eine bessere Auslastung zu gewährleisten. Eine Erhöhung der Lkw-Maut innerhalb dieser Legislaturperiode wird dabei ausgeschlossen

und die Einführung von 60-Tonner-Lkw definitiv abgelehnt. Die Wettbewerbsverzerrungen auf europäischer Ebene sollen abgebaut werden. Nur unter wettbewerbsneutraler Voraussetzungen wird eine Anlastung externer Kosten erfolgen. Zusätzlich soll der Kombinierte Verkehr gefördert werden. Schwerpunkt liegt hierbei auf der Verbesserung der Schnittstellenproblematik (BMVBS 2008).

Der *Aktionsplan Güterverkehr und Logistik* wurde 2010 verabschiedet und stellt eine Weiterentwicklung des Masterplans mit neuen verkehrspolitischen Prioritäten dar. Innerhalb des Plans werden die Auswirkungen der Wirtschaftskrise berücksichtigt. Außerdem wird der Plan an die Haushaltsslage und die Schuldenbremse des Bundes angepasst. Dabei umfasst der Plan 30 konkrete Maßnahmen in fünf Zielbereichen (BMVBS 2010):

- Logistikstandort Deutschland stärken
- Effizienzsteigerung aller Verkehrsträger erreichen
- Stärken aller Verkehrsträger durch optimal vernetzte Verkehrswege nutzen
- Vereinbarkeit von Verkehrswachstum mit Umwelt- und Klimaschutz fördern
- Gute Arbeitsbedingungen und Ausbildung im Transportgewerbe unterstützen

5.2.6 Ausblick

Die Verkehrspolitik steht vor einer interdisziplinären Herausforderung, um einen zukunftsfähigen und nachhaltigen Verkehr zu gewährleisten. Dabei muss der Güterverkehr als Faktor für Wohlstand und Wachstum erkannt werden. Die Politik muss dafür sinnvolle Rahmenbedingungen schaffen, um den Auf- und Ausbau von leistungsfähigen und effizienten Logistiksystemen zu ermöglichen und zu fördern. Voraussetzung zur Realisierung dieser Ziele sind u. a., die notwendigen Finanzierungsmittel zur Erhaltung und Ausbau der Verkehrsinfrastruktur, insbesondere des Straßennetzes, bereitzustellen. In diesen Finanzierungsmechanismus sollen nun vermehrt private Akteure miteinbezogen werden, um Finanzierungsmittel zu erschließen und Effizienzgewinne zu erwarten. Weiterführend soll die Bahn im Systemwettbewerb durch die Trennung von Netz- und Transportbetrieb gestärkt werden. Diese eisenbahnpolitische Strategie belebt den intramodalen Wettbewerb. Zusätzlich ist die Wiedereinführung reglementierender ordnungspolitischer Maßnahmen zu vermeiden. Die Voraussetzung für eine effiziente Abwicklung logistischer Dienstleistungen in einem modernen Güterverkehrssystem ist eine sachorientierte Verkehrspolitik (Eisenkopf 2008, S. 612).

Die eigenverantwortliche Planungshoheit auf nationaler Ebene wird zunehmend durch die supranationalen Regelungen und Leitlinien der EU eingeschränkt und bestimmt. Relevante Aufgaben werden jedoch weiterhin in ihrem Aufgabenbereich angesiedelt bleiben. Durch die Liberalisierung der Verkehrsmärkte kann sich die nationale Verkehrspolitik zunehmend der Privatisierung dieses Sektors widmen. Diese Strategie soll für die Deutsche Bahn AG sowie für die Infrastrukturen der einzelnen Verkehrsträger verfolgt werden. Die finanziellen Engpässe der öffentlichen Haushalte und die steigenden Anforderungen

an die Verkehrsinfrastruktur durch die anwachsende Nachfrage sind ausschlaggebend, private Investitionsmittel im Infrastrukturbereich fokussiert einzusetzen. Die negativen externen Effekte des Verkehrs werden weiterhin zunehmen. Ziel hier sollte es sein, die Schadstoffemissionen in diesem Sektor zu reduzieren. Die Verkehrsentwicklung kann durch die Verkehrspolitik durch präventive Instrumente (z. B. Ökosteuer, Road Pricing, Zertifikate) gelenkt werden. Damit wird diesem negativen Trend entgegengewirkt und eine verträgliche und nachhaltige Verkehrsentwicklung verfolgt (von Stackelberg und Malina 2012).

Weitere Hinweise und vertiefte Einblicke zum Thema Verkehrspolitik liefern Schwedes (2011) und Schöller et al. (2007).

5.3 Stand der statistischen Verkehrsdaten in Deutschland als Basis für Verkehrsprognosen

Im folgenden Kapitel wird ein Überblick über verfügbare Daten zum Verkehrssektor, insbesondere zum Wirtschaftsverkehr, in Deutschland gegeben. Relevante Charakteristika des Wirtschaftsverkehrs sollen aus den zugänglichen Daten der amtlichen und nicht-amtlichen Statistiken identifiziert werden. In Deutschland sind eine Vielzahl an Datenbanken verfügbar (z. B. KiD, MiD, KBA). Ziel dabei ist es, die Güter- und Transportflüsse zu optimieren. Mit den Daten werden der Individualverkehr, der öffentliche Verkehr sowie der Wirtschaftsverkehr analysiert und zukünftiges Verkehrsaufkommen prognostiziert, um effiziente Konzepte zur nachhaltigen Gestaltung der Infrastruktur und des Verkehrssektors abzuleiten.

Insbesondere die nun aufgezählten Kennwerte sind zur Analyse des Wirtschaftsverkehrs von Bedeutung:

- Anzahl und Typ von Transportfahrzeugen
- Verkehrsaufkommen
- Fahrtenaufkommen
- Transportdistanzen
- Routen
- Modal Split

In Deutschland existiert eine umfangreiche Datenkollektion für den Wirtschaftsverkehr als Teil der amtlichen und nicht-amtlichen Statistiken als auch aus verschiedenen wissenschaftlichen Perspektiven. Eine fundierte Datengrundlage für eine bedarfsorientierte Verkehrsinfrastrukturplanung auf allen Planungsebenen ist dabei essentiell. Es ist trotzdem schwierig, eine konsistente Karte der Transportnetzwerkstrukturen aus diesen Daten zu generieren.

Eckdaten aus den amtlichen Verkehrsstatistiken geben Aussagen zur Verkehrs nachfrage des Wirtschaftsverkehrs, allerdings vorwiegend nur zum binnenn ländischen Wirtschaftsverkehr. Hierbei werden alle Verkehre dokumentiert, die auf den Verkehrs wegen im Bundesgebiet stattfinden – ausgeschlossen sind dabei der Dienstgutverkehr der Eisenbahnen, der grenzüberschreitende Straßengüterverkehr und der Seeverkehr. Obwohl die Relevanz des Wirtschaftsverkehrs in vielen Bereichen unbestritten ist, sind die zurzeit verfügbaren Daten unzureichend. Der Hauptgrund dafür ist, dass die offiziellen Statistiken nur spezielle Untersegmente des Wirtschaftsverkehrs aufgreifen (Wermuth et al. 2010).

Die amtlichen Statistiken zum Wirtschaftsverkehr enthalten vielfältige Datenbestände, die nach Statistikfeldern gegliedert werden können, wobei sich ein Statistikfeld aus der Kombination der Verkehrsträger (Straßengüterverkehr, Eisenbahnverkehr, Binnenschifffahrt, Seeverkehr, Luftverkehr, Rohöl-Rohrleitungen) mit den Datenbereichen Infrastruktur, Fahrzeuge und Transportmittelbestände, Unternehmensangaben, Verkehrsangebote/Fahrleistungen, Verkehrs nachfrage/Verkehrsaufkommen und Verkehrsleistung, Energieverbrauch, Verkehrssicherheit und Preise/Nutzungsentgelte definiert. Die Vielfalt der Statistikfelder wird auch in den entsprechend gegliederten Statistiken der Verkehrsträger deutlich (DeStatist 2012; Wermuth und Wirth 2005).

Innerhalb der statistischen Daten wird der Schwerverkehr, u. a. Lastkraftwagen und Sattelschlepper mit einem maximal erlaubten Bruttoladegewicht von mehr als 6 Tonnen oder mehr als 3,5 Tonnen Ladegewicht berücksichtigt. Seit 1994 wird das Verkehrs- und Fahrtenaufkommen von deutschen Lastkraftwagen kontinuierlich erhoben. Die Umfrage für den gewerblichen Verkehr wird vom Bundesamt für Güterverkehr (BAG), für den Werkverkehr dagegen vom Kraftfahrbundesamt (KBA) durchgeführt.

Generell werden die Fahrzeuge mit ausländischem Kennzeichen nicht erfasst. Dabei handelt es sich um das „Inländer-Prinzip“. Die Richtlinien zur Straßenstatistik des Kraftfahrbundesamtes (KBA) beinhalten keine Details bezüglich des ökonomischen Sektors, z. B. wo die Fahrt beginnt (Quelle) bzw. wo sie endet (Ziel). Innerhalb der verfügbaren Daten und mit der zurzeit durchgeführten Aggregation ist die Integration der Transportketten auch schwierig. Allerdings sind beide Informationen für die Verkehrsverteilung bei der Modellierung notwendig.

Dabei sind sowohl die Durchgangsverkehre (Transitverkehre) und die Transporte, die nur ihre Quelle bzw. ihr Ziel innerhalb Deutschlands haben, vom Umfang der Umfrage ausgeschlossen (Statistisches Bundesamt 2008, S. 423). Diese Lücke wird teilweise durch die jährliche Verkehrsstatistik „Verkehr in Zahlen“ geschlossen, die durch das Ministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung initiiert und durch das Institut für Wirtschaftsforschung durchgeführt wird. Die Studie präsentiert Daten bezüglich Verkehrs- und Fahrtenaufkommen ausländischer Lastkraftwagen. Allerdings werden leichte Lkws bis einschließlich 3,5 Tonnen Nutzlast und Pkws für gewerbliche Zwecke, die einen großen Anteil am Wirtschaftsverkehr ausmachen, von sämtlichen amtlichen Statistiken ausgeschlossen. 2010 wurden insgesamt 15 Mrd. Fahrten im Wirtschaftsverkehr durchgeführt, ein Anteil von 36 % am gesamten Kfz-Aufkommen. Dabei beträgt der Anteil gewerblich genutzter Pkw und leichter Lkws mehr als 16 %, gemessen an der Fahrzeugfahrleistung im

Jahr 2010 (Hautzinger 2012). Für diese Kategorien von motorisierten Fahrzeugen existiert lediglich offizielles Datenmaterial des Kraftfahrtbundesamtes (KBA) mit Bezug auf Statistiken über den Bestand von Transportfahrzeugen auf Basis der registrierten Fahrzeuge in Deutschland.

Zusätzlich stellen unregelmäßig durchgeführte Verkehrserhebungen weitere Informationen zur Verfügung (z. B. Fahrleistungserhebung der Bundesanstalt für Straßenwesen oder die Studien „Mobilität in Deutschland“ sowie „Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland“ initiiert durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)). Die zuletzt erwähnten Umfragen bieten einen enormen Kenntnisgewinn hinsichtlich des Personenwirtschaftsverkehrs und des Wirtschaftsverkehrs.

Die Erhebungen „Mobilität in Deutschland 2002, 2008“ (MiD) und „Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2002, 2010“ (KiD) stellen jeweils Daten zum Personenverkehr (einschließlich Personenwirtschaftsverkehr) und Wirtschaftsverkehr zur Verfügung. Bezuglich der Informationsinhalte der schwerpunktmaßig unterschiedlich ausgerichteten Erhebungen entstehen Überschneidungen, die zur gegenseitigen Überprüfung der Datenplausibilität verwendet werden können (Wermuth und Wirth 2005, S. 303). Dabei wird hauptsächlich der städtische und regionale Straßengüterverkehr erhoben; weitere Verkehrsträger spielen gemessen an der Verkehrsleistung eine untergeordnete Rolle. Die 2002 und 2008 durchgeführte bundesweite Haushaltsbefragung „Mobilität in Deutschland“ (MiD) stellt Daten zum alltäglichen Personenverkehr mit allen Verkehrsmitteln bereit und integriert definitionsgemäß auch den Wirtschaftsverkehr. Der Wirtschaftsverkehr (Gewerbe- und Dienstleistungsverkehr) mit gewerblich genutzten Kraftfahrzeugen wird in der Stichprobe jedoch unzureichend berücksichtigt. Daher wurde 2002 erstmals die bundesweite repräsentative Verkehrsstudie „Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland“ (KiD) eingeführt, die Daten zu diesem Verkehrssegment mit höherer Aussagekraft bereitstellt. Die Studie zielt darauf ab, eine ausführliche und fundamentale Datengrundlage mit Bezug auf die Strukturen und die Entwicklung des Straßengüterverkehrs bereitzustellen. Diese Daten werden der Verkehrspolitik und der momentane Infrastrukturplanung zur Verfügung gestellt. Die noch bis vor kurzem bestehenden Datendefizite im Bereich des Wirtschaftsverkehrs mit kleinen Kraftfahrzeugen bis 3,5 Tonnen Nutzlast (Kräder, Pkw, Lkw) konnten mit dieser Erhebung annähernd aufgehoben werden (Neef 2011).

Innerhalb der Studie wurden wichtige Informationen identifiziert, die es ermöglichen, zukünftig einen auf den Straßenwirtschaftsverkehr abgestimmten Planungsprozess für Bund, Länder und Kommunen durchzuführen. Hierbei wurde eine Stichprobenbefragung von Kraftfahrzeughaltern zum Einsatz und zur Nutzung ihrer Fahrzeuge an einem Stichtag durchgeführt. Die Informationen wurden mit Hilfe des Prinzips eines Fahrten-tagebuchs erhoben. Die gewerblichen und privaten Halter von im Untersuchungsgebiet zugelassenen Kraftfahrzeugen wurden in einer statistisch abgesicherten Stichprobe aus dem beim Kraftfahrt-Bundesamt geführten Zentralen Fahrzeugregister zu Fahrzeugeinsatz und -nutzung schriftlich postalisch befragt.

Aufgrund der sich verändernden Transportbedingung (z. B. wirtschaftliche Strukturveränderungen, Treibstoffpreisentwicklung und EU-Osterweiterung) ist besonders eine Aktualisierung der Datenbasis essentiell. Deswegen hat das BMVBS nochmals die

bundesweite Umfrage „KiD“ von November 2009 bis Oktober 2012 über den motorisierten Wirtschaftsverkehr in Auftrag gegeben. Nachdem die Fragebögen im Oktober 2010 vervollständigt wurden, wurden die Daten ausführlichen Plausibilitätsüberprüfungen mit Bezug auf die Nutzung von motorisierten Fahrzeugen unterzogen. (Wermuth et al. 2012a; Neef 2011, S. 17)

Wesentliche Bestandteile der Basisauswertung werden die Basistabellen sein, in denen elementare verkehrliche Kenngrößen, wie beispielsweise

- der Anteil am Tag mobiler Kraftfahrzeuge,
- das Fahrtenaufkommen,
- die Fahrzeugfahrtleistung,
- die Personenbeförderungsleistung,
- die Gütertransportleistung und
- die Verkehrsbe teiligungsdauer u. a.

nach Fahrzeuggruppen, Gebietstypen, Wirtschaftszweigen und Wochentagen ausgewiesen werden. In der neuen Auflage wurde das Erhebungsinstrument um technisch-ökologische Fahrzeugmerkmale und zusätzliche Strukturdaten des Raumes ergänzt. Damit können Auswertungen zu aktuellen Fragestellungen im Bereich Elektromobilität und verkehrs-ökologische Auswirkungen in Bezug auf den Wirtschaftsverkehr vorgenommen werden (Neef 2011, S. 22; Wermuth et al. 2012b).

Die fehlende Kontinuität, in der die Umfrage durchgeführt wird, ist ein ernstes Problem. Auch die neuerdings angebotenen Strukturdaten und die räumliche Verteilung der Routen mussten aus datenschutzrechtlichen Gründen abgeändert werden, sodass die Sendungsrouten keine Rückschlüsse auf spezielle Unternehmensstrategien ermöglichen. Ferner können die Ergebnisse aus den Erhebungen 2002 und 2010 nicht verglichen werden, da sich an der Stichprobe und am Erhebungsdesign relevante Details signifikant verändert haben.

Ein elementares Problem ist, dass das existierende Fachwissen über logistische Prozesse und Strukturen innerhalb des Netzwerkes bisher unzureichend ist und daher nicht in Modellen dargestellt werden kann. Es gibt jedoch bereits Ansätze, die Beziehungen zwischen logistischen Prozessen und dem Verkehrsaufkommen berücksichtigen. Sie beschäftigen sich dabei mit logistischen Konzepten und Aspekten und gehen detailliert auf die Auswirkungen für das Verkehrsaufkommen ein (Clausen und Iddink 2011; Clausen et al. 2008). In den Statistiken sind aufgrund des Datenschutzes hauptsächlich nur aggregierte Daten verfügbar, um den Wirtschaftsverkehr abzubilden und zu modellieren (de Jong 2004; National Institute for Transport and Logistics 2005). Die KiD konnte auch bereits bestehende Datenlücken auf Bundesebene (Personenwirtschaftsverkehr, Verkehr mit Lkw unter 3,5 t Nutzlast oder zum Einsatz privater Fahrzeuge zu wirtschaftlichen Zwecken) beheben (Neef 2011, S. 13 ff.).

Es wird klar, dass der Wirtschaftsverkehr in Deutschland ein Thema mit höchster Relevanz darstellt. Dabei ist dessen Existenz nicht auf einen bestimmten Bereich beschränkt,

sondern weist ein hohes Transportvolumen auf nationaler, regionaler und lokaler Ebene auf. Außerdem kann festgehalten werden, dass der aktuelle Stand der Daten unvollständig ist. Daher können aktuelle Beschreibungen und Evaluierungen des Wirtschaftsverkehrs auf Basis der existierenden Datenbestände bisher keine befriedigenden Ergebnisse liefern.

Daten sind eine grundlegende Basis und Bedingung für die Entwicklung und Anwendung von transport- und güterbezogenen Modellen, um die Entwicklungen im Verkehrssektor darzustellen.

Literatur

- Becker U (2011) Verkehr und Umwelt – Zu den übergeordneten Zielen von Verkehrspolitik und der Rolle von Umweltaspekten. In: Schwedes O (ed) Verkehrspolitik – Eine interdisziplinäre Einführung. Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, pp 77–90
- Brenck A, Mitusch K, Winter M (2007) Die externen Kosten des Verkehrs. In: Schöller O, Canzler W, Knie A (eds) Handbuch Verkehrspolitik. Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, pp 425–452
- Bundesministerium für Justiz, juris GmbH (2012) Allgemeines Eisenbahngesetz (AEG). Berlin
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (2012a): Organigramm. http://www.bmvbs.de/DE/DasMinisterium/OrganigrammUndAktenplan/organigramm-und-aktenplan_node.html. Accessed 20 Nov 2012
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (2012b) Zuständigkeiten. http://www.bmvbs.de/DE/DasMinisterium/das-ministerium_node.html. Accessed 17 Sept 2012
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (2010) Aktionsplan Güterverkehr und Logistik – Logistikinitiative für Deutschland. <http://www.bmvbs.de/cae/servlet/contentblob/59840/publicationFile/30850/aktionsplan-22-11-2010.pdf>. Accessed 3 Dec 2012
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (2008) Masterplan. Güterverkehr und Logistik. Berlin
- Bundesregierung, Europäische Kommission, Europäisches Parlament (aktion europa) (2012) Aufgabenbereich Gemeinsame Verkehrspolitik. http://www.europarl.europa.eu/brussels/website/content/modul_08/einzel_06.html. Accessed 18 Sept 2012
- Clausen U, Iddink U (2011) Ableitung von Eingangsparametern für Wirtschaftsverkehrsmodelle anhand empirischer beschaffungslogistischer Daten. In: Clausen U (ed) Wirtschaftsverkehr 2011. Modelle – Strategien – Nachhaltigkeit. Verlag Praxiswissen, Dortmund, pp 41–54
- Clausen U et al (2008) Approaches for modelling commercial freight traffic regarding logistics aspects. Conference Proceedings ‘Third International Symposium on Transport Simulation’, Surfers Paradise
- De Jong G et al (2004) National and International Freight Transport Models. An Overview and Ideas for Future Development. *Transport Reviews* 24:103–124
- Eisenkopf A (2008) Verkehrspolitische und volkswirtschaftliche Rahmenbedingungen. In: Klaus P, Krieger W (eds) Gabler Lexikon Logistik. Management logistischer Netzwerke und Flüsse. 4th edn. Gabler-Verlag, Wiesbaden, pp 607–613
- Europäische Union (2012) Verkehr. Mehr Wettbewerb und Ressourceneffizienz im Verkehr. http://europa.eu/pol/trans/index_de.htm. Accessed 1 Oct 2012
- Fichert F, Grandjot H-H (2007) Akteure, Ziele und Instrumente. In: Schöller O, Canzler W, Knie A (eds) Handbuch Verkehrspolitik. Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, pp 138–160

- Franz T (2005) Gewinnerzielung durch kommunale Daseinsvorsorge. Mor Siebeck, Tübingen
- Gegner M (2007) Verkehr und Daseinsvorsorge. In: Schöller O, Canzler W, Knie A (eds) Handbuch Verkehrspolitik. Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, pp 455–470
- Hautzinger H (2012) Keine Wirtschaft ohne Verkehr! Empirischer Einblick in die häufig unterschätzten Dimensionen des Wirtschaftsverkehrs. Abschlussveranstaltung am 24. April 2012 beim BMVBS in Bonn. http://www.kid2010.de/files/82_KiD2010-Abschlussveranstaltung-Vortrag03_gezkb.pdf. Accessed 29 Nov 2012
- Held M (2007) Nachhaltige Mobilität. In: Schöller O, Canzler W, Knie A (eds) Handbuch Verkehrspolitik. Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, pp 851–876
- Klaus P, Krieger W (2008) Gabler Lexikon Logistik. Management logistischer Netzwerke und Flüsse. 4th edn. Wiesbaden
- National Institute for Transport & Logistics (2005) Freight Strategy for Scotland. Towards a methodology. Final Report. Dublin
- Neef C (2011) Die bundesweite Verkehrserhebung KiD 2010 – Aktuelle Datenbasis über den Straßenwirtschaftsverkehr. In: Clausen U (ed) Wirtschaftsverkehr 2011, Modelle – Strategien – Nachhaltigkeit. Verlag Praxiswissen, Dortmund
- Sack D (2007) Mehrebenenregieren in der europäischen Verkehrspolitik. In: Schöller O, Canzler W, Knie A (eds) Handbuch Verkehrspolitik. Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, pp 177–199
- Schnabel W, Lohse D (2011) Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung, vol 2, 3rd edn. Beuth Verlag GmbH, Berlin, Wien, Zürich
- Schöller O, Canzler W, Knie A (eds) (2007) Handbuch Verkehrspolitik. Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden
- Schwedes O (ed) (2011) Verkehrspolitik – Eine interdisziplinäre Einführung. Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden
- Statistisches Bundesamt (DeStatis) (2011) Unfallentwicklung auf Deutschen Strassen 2010. Begleitmaterial zur Pressekonferenz am 6. Juli 2011 in Berlin. Wiesbaden
- Statistisches Bundesamt (DeStatis) (2012) Güterverkehr – Güterbeförderung. <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/TransportVerkehr/Gueterverkehr/Tabellen/Gueterbefoerderung.html>. Accessed 10 Oct 2012
- Statistisches Bundesamt (ed) (2008) Statistisches Jahrbuch 2008. Wiesbaden
- Umweltbundesamt (2007) Ökonomische Bewertung von Umweltschäden. <http://www.umwelt-daten.de/publikationen/fpdf-l/3193.pdf>. Accessed 18 Sept 2012
- Verband der Bahnindustrie in Deutschland (VDB) e. V. (2012) Die Bahnindustrie in Deutschland. Zahlen und Fakten zum Bahnmarkt und -verkehr. Ausgabe 2012. Berlin
- Von Stackelberg F, Malina R (2012) Verkehrspolitik. In: Gabler Verlag (eds) Gabler Wirtschaftslexikon. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/54307/verkehrspolitik-v6.html>. Accessed 11 Oct 2012
- Wermuth M, Wirth R (2005) Modelle und Strategien des Güterverkehrs. In: Steierwald G et al (eds) Stadtverkehrsplanung. Grundlagen, Methoden, Ziele. Springer Verlag, Berlin Heidelberg
- Wermuth M et al (2010) Erhebung zum motorisierten Wirtschaftsverkehr in Deutschland 2009 („Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2010 (KiD 2010)“). 2. Zwischenbericht zum Forschungsprojekt 70.0829/2008 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Braunschweig
- Wermuth M et al (2012a) Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2010 (KiD 2010) – Kurzbericht. Braunschweig
- Wermuth M et al (2012b) Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2010. Verkehrsbefragung der Kfz-Halter im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. <http://www.kid2010.de/de/page&id=4&navid=304>. Accessed 29 Nov 2012
- Zukunft D et al (2005) Exposé Galileo im Verkehr. Anwendungspotenzial und DLR-Expertisen. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Köln

Teil II

Logistische Dienstleistungen und Leistungsanbieter

Logistikdienstleistung

6

Katharina Winter

Der Begriff der Logistikdienstleistung wird kontrovers diskutiert. Eine Definition, die auch der Praxis gerecht wird, ist die, dass eine Logistikdienstleistung die Erbringung einer originär logistischen Funktion oder eines originär logistischen Funktionsbündels an einem Produkt des Auftraggebers darstellt und zudem auch solche Dienstleistungen als Logistikdienstleistung gelten, die zusätzlich zu bzw. in Verbindung mit diesen Funktionen für den Auftraggeber erbracht werden.

Dieses Unterkapitel liefert zunächst wissenschaftliche Definitionen der Begriffe Dienstleistung und Logistikdienstleistung. Darauf aufbauend werden Logistikdienstleistungen beschrieben, wobei zwischen Basis- und Mehrwertleistungen unterschieden wird. Es wird deutlich, dass die einzelnen beschriebenen Leistungen nicht abgegrenzt voneinander zu betrachten sind. Vielmehr setzt sich eine Logistikdienstleistung immer häufiger aus verschiedenen Basis- und/oder Mehrwertleistungen zusammen.

6.1 Wissenschaftliche Definition des Begriffs Dienstleistung

Der Begriff „Dienstleistung“ wird in der Fachliteratur vielfältig untersucht und definiert. Durchgesetzt hat sich dabei die Definition auf Grundlage dreier konstitutiver Merkmale: Potenzialorientierung, Prozessorientierung und Ergebnisorientierung. (vgl. Bruhn und Meffert 2012, S. 25; Corsten und Gössinger 2007, S. 21)

K. Winter (✉)
Institut für Transportlogistik, TU Dortmund,
Leonhard-Euler-Str. 2, 44227 Dortmund, Deutschland
E-Mail: winter@itl.tu-dortmund.de

Die *Potenzialorientierung* beschreibt die Fähigkeit und die Bereitschaft eine Dienstleistung zu erbringen. Hierbei spielt der Anbieter die wichtigste Rolle. Als Faktoren kann dieser u. a. Mitarbeiter, materielle Güter, Nominalgüter und Informationen einbringen. Da diese vom Anbieter selbst gestellt werden, werden sie als interne Faktoren bezeichnet. Gegenstand der Potenzialorientierung ist ein immaterielles Leistungsangebot. (Knoblich und Oppermann 1996, S. 15)

Bei der *Prozessorientierung* werden interne und externe Faktoren innerhalb des Erstellungsprozesses kombiniert. Hierbei findet eine Tätigkeit statt. Neben dem Anbieter ist auch der Nachfrager beteiligt, der mindestens einen externen Faktor einbringen muss. (Knoblich und Oppermann 1996, S. 16) Der Dienstleistungsprozess ist durch die Synchronität von Erbringung und Inanspruchnahme einer Leistung gekennzeichnet, was auch als uno-actu-Prinzip bekannt ist. (Corsten und Gössinger 2007, S. 22)

Im Vordergrund der *Ergebnisorientierung* steht das Ergebnis der Tätigkeit, die im Rahmen der Dienstleistung erbracht wird. Von der Dienstleistung bzw. dem Ergebnis der Dienstleistung wird als immaterielles Gut gesprochen. (Corsten und Gössinger 2007, S. 22)

Eine bündige Definition, welche die oben erläuterten Merkmale berücksichtigt, liefert Bretzke (2008, S. 369–370): „Dienstleistungen können definiert werden als die Übernahme nutzenstiftender Aktivitäten im Auftrage eines Kunden, die auf die Zustandstransformation an bestimmten Objekten dieses Kunden oder (wie etwa im Tourismus) an dem Kunden selbst gerichtet sind.“

6.2 Wissenschaftliche Definition des Begriffs Logistikdienstleistung

Bezüglich des Begriffs „Logistikdienstleistung“ besteht kein einheitlicher Sprachgebrauch. Eine Herleitung kann anhand der Kombination der beiden erläuterten Begriffe „Logistik“ (s. Unterkap.1) und „Dienstleistung“ (s. Abschn. 6.1) erfolgen. Zu den logistischen Dienstleistungen gehören jedoch nicht ausschließlich Tätigkeiten mit originär logistischer Funktion. Vielmehr gelten all jene Dienstleistungen als logistische Dienstleistungen, die von entsprechend bezeichneten Unternehmen, den Logistikdienstleistern (s. Unterkap. 7), erbracht werden. Dies impliziert somit auch Leistungen, die aus dem logistischen Kerngeschäft heraus entstanden sind, aber gegebenenfalls keine logistischen Bestandteile enthalten. (Bretzke 2008, S. 370) Beispiele hierfür sind der Betrieb eines Callcenters oder die Fakturierung durch einen Logistikdienstleister.

Eine stets gültige Besonderheit von Logistikdienstleistungen ist die, dass der Bedarf in Abhängigkeit von anderen Gütern bzw. vom Absatz anderer Güter entsteht. Somit handelt es sich nicht um primäre, sondern um derivative Nachfrageobjekte. (Wallenburg 2004, S. 49–50)

Im Rahmen dieses Buches gilt folgende Definition: Unter einer Logistikdienstleistung wird die Erbringung einer originär logistischen Funktion oder eines originär logistischen

Funktionsbündels an einem Produkt des Auftraggebers verstanden. Des Weiteren fallen auch Dienstleistungen darunter, die in Verbindung mit logistischen Funktionen für den Auftraggeber erbracht werden.

6.3 Logistikdienstleistungen in der Praxis

Logistikdienstleistungen können nach Andersson und Norrman (2002, S. 4) in die zwei Kategorien Basisleistungen und erweiterte Leistungen (hier im Folgenden als Mehrwertleistungen bezeichnet) unterteilt werden. Basisleistungen entsprechen dabei den reinen Transport-, Umschlag- und Lager-Funktionen; abgekürzt auch TUL-Funktionen genannt. Somit handelt es sich um logistische Einzelleistungen, die unabhängig voneinander erbracht werden. Im Mittelpunkt steht dabei die operative Ausführung der Funktionen. Es besteht außerdem eine feste Definition der Leistungen, die nur selten Veränderungen unterliegt.

Mehrwertleistungen können hingegen zum einen Einzelleistungen sein, die nicht den TUL-Funktionen entsprechen, oder durch die Verknüpfung von Einzelleistungen erst erforderlich werden. Beispiele für Mehrwert-Einzelleistungen sind die Konfektionierung, die Displayherstellung oder Montagearbeiten (Gudehus 2012, S. 1040), welche im Folgenden beschrieben werden.

Konfektionierung Die Konfektionierung beschreibt die letzte Stufe in einem Produktionsprozess, bevor die Ware an den Kunden versandt wird. Hierbei werden die in Serie hergestellten Waren den kunden- und auftragsbezogenen Anforderungen entsprechend fertiggestellt, aufbereitet und/oder zusammengestellt. Häufig wird beispielsweise Meterware wie Stoffe, Arbeitsplatten oder Kabel nach Kundenwunsch zugeschnitten. Auch das Anbringen von länderspezifischen Steckern an Elektrogeräte oder das Beilegen länderspezifischer Bedienungsanleitungen sind mögliche Aufgaben der Konfektionierung. Der Vorteil der Konfektionierung liegt insbesondere darin, dass spezifische Kundenanforderungen erst sehr spät in der Lieferkette durchgeführt werden können. Die Anzahl der zu produzierenden Varianten sowie Lagerbestände können somit gering gehalten werden. Die Übertragung der Konfektionierungsaufgabe an einen Dienstleister ist sinnvoll, wenn es sich dabei nicht um eine Kernkompetenz des verladenden Unternehmens handelt. Sie bietet sich insbesondere dann an, wenn der Dienstleister ebenfalls die Lagerhaltung für den Verlader durchführt. Der Dienstleister hat dann direkten Zugriff auf die benötigten Waren, wodurch kurzfristig auf Kundenaufträge reagiert werden kann.

Displayherstellung Ein Display beschreibt eine verkaufsfördernde Verpackung, die im Einzelhandel zum Einsatz kommt (häufig in Form von Pappaufstellern). Displays werden insbesondere zum Angebot von Saisonartikeln und Kleinartikeln im Rahmen von Verkaufsaktionen (Sonderangebote) genutzt. Logistikdienstleister bieten häufig die Zusammenstellung, den Aufbau und den Versand der Displays als Mehrwertleistung an. Wie auch bei der Konfektionierung ist dies von besonderem Vorteil, wenn der Dienst-

leister auch die Lagerhaltung für den Verlader übernimmt bzw. übernommen hat. Die Displayherstellung kann sehr spät in der Lieferkette erfolgen und durch die kurzfristige Warenverfügbarkeit beim Dienstleister kann sehr flexibel auf Kundenaufträge reagiert werden. Zudem kann der Versand der Displays mit dem Standardversand gebündelt werden, wodurch keine – oder aufgrund des gegebenenfalls höheren Volumens nur wenige – zusätzliche Transporte erzeugt werden.

Montagearbeiten Auch Montagearbeiten, die durch Logistikdienstleister erbracht werden, sind logistische Mehrwertleistungen. Denkbar sind hierbei beispielsweise innerhalb einer logistischen Anlage die Vormontage von Abstandssensoren an Stoßfänger in der Automobilindustrie oder aber auch die Vormontage von beispielsweise Möbeln, Spiel- und Gartengeräten. Durch die Verlagerung auf den Logistikdienstleister ist es dem Verlader somit wiederum möglich, sich auf seine Kernleistungen zu konzentrieren und den Zeitpunkt der Montage möglichst weit ans Ende der Lieferkette zu verlagern. Dadurch können sowohl die Bestände gering gehalten, als auch Lademeter beim Transport von der Produktion zum Lager sowie Lagerraum eingespart werden. Das Einsparpotenzial ist dabei abhängig vom Volumen der Zwischen- und Endprodukte. Mehrwertleistungen können neben der Erbringung beim Dienstleister und somit vor der Auslieferung zum Endkunden auch erst beim Endkunden, im Rahmen der Auslieferung erbracht werden. Dieser Fall tritt in der Regel jedoch nur dann ein, wenn die Mehrwertleistung an den räumlichen Faktor gebunden ist. Ein Beispiel hierfür ist ein Möbelspediteur, welcher zusätzlich zum Transport einer Küche auch den Aufbau und die Inbetriebnahme derselben vornimmt.

Wie bereits zu Beginn dieses Abschnitts erwähnt, können Mehrwertleistungen alternativ zu den hier beschriebenen Einzelleistungen, auch durch die Verknüpfung verschiedener logistischer Einzelleistungen erst erforderlich werden. Das ist dann der Fall, wenn nicht mehr nur die operative Ausführung der Basisleistungen im Vordergrund steht. Mehrwertleistungen stellen dann die administrative Organisation und das Management der Tätigkeiten bzw. des Bündels von Tätigkeiten dar. Zudem ist im Bereich der Mehrwertleistungen häufig gefragt, dass die Art der Ausführung weiterentwickelt, verändert und optimiert wird. (Andersson und Norrman 2002, S. 4)

Ein weiteres Unterscheidungskriterium zwischen Basis- und Mehrwertleistungen besteht in den übergeordneten Zielen, die mit der Erbringung der unterschiedlichen Leistungen verfolgt werden. Bei den Basisleistungen liegt der Fokus auf dem Handling des betrachteten Objektes, um dessen grundsätzliche Verfügbarkeit sicherzustellen. Durch die Erbringung von Mehrwertleistungen soll darüber hinaus ein zusätzlicher Wert für den Verlader entstehen. (Andersson und Norrman 2002, S. 4)

Der Mehrwert von Montagearbeiten, die vor der Produktauslieferung durch einen Logistikdienstleister vollzogen werden, besteht beispielsweise darin, dass ein vormontiertes Modul für die Endmontage aufgrund verkürzter Einbauzeiten einen höheren Nutzen darstellt, als ein in Einzelteile zerlegtes Modul. Des Weiteren ist der Nutzen einer zeit- und mengenmäßig abgestimmten Warenanlieferung am Verbauort einer sequentiellen Produktion höher, als die einmalige Lageranlieferung für eine große Zeitperiode, da durch

die Sequenzierung auf eine Kommissionierung und Sortierung vor Ort verzichtet werden kann.

Die einzelnen logistischen Dienstleistungen sind in der Praxis häufig nicht abgegrenzt voneinander zu betrachten. Vielmehr setzen sie sich aus verschiedenen Basis- und Mehrwertleistungen zusammen. Eine typische logistische Dienstleistung besteht beispielsweise in der Organisation und der Durchführung eines zollgrenzüberschreitenden Straßentransports. Hierbei zählen nicht nur die Basisleistungen Umschlag auf das bzw. von dem Verkehrsmittel sowie Transport zum üblichen Aufgabenspektrum, sondern beispielsweise auch die Mehrwertleistungen Zollvorbereitung und -abwicklung sowie Sendungsverfolgung. Auch die Just in Sequence-Logistik (JIS-Logistik) ist ein Beispiel für eine typische logistische Dienstleistung, die sich aus verschiedenen Basis- und Mehrwertleistungen zusammensetzt. Neben der Lagerung bzw. Vorhaltung, dem Umschlag und dem Transport der Waren sind hierbei u. a. die Prozesse zeitlich auf die Produktionsprozesse des Empfängers abzustimmen, die Waren sind zu kommissionieren und in Produktionsreihenfolge zu sortieren. Dadurch kann die Ware entsprechend der benötigten Reihenfolge am Verbrauchsort angeliefert und bereitgestellt werden, ohne weitere Puffer- oder Lagerflächen zu belegen.

Literatur

- Andersson D, Norrman A (2002) Procurement of logistics services – a minute work or a multi-year project? European Journal of Purchasing & Supply Management 8:3–14
- Bretzke W-R (2008) Logistikdienstleistungen. In: Klaus P, Krieger W (eds) Gabler Lexikon Logistik – Management logistischer Netzwerke und Flüsse, 4th edn. Gabler, Wiesbaden, pp 368–374
- Bruhn M, Meffert H (2012) Handbuch Dienstleistungsmarketing. Gabler, Wiesbaden
- Corsten H, Gössinger R (2007) Dienstleistungsmanagement, 5th edn. Oldenbourg, München
- Gudehus T (2012) Logistik 2: Netzwerke, Systeme und Lieferketten, 4th edn. Springer, Berlin
- Knoblich H, Oppermann R (1996) Dienstleistung – ein Produkttyp: Eine Erfassung und Abgrenzung des Dienstleistungsbegriffs auf produkttypologischer Basis. der markt 35(136):13–22
- Wallenburg CM (2004) Kundenbindung in der Logistik. Eine empirische Untersuchung zu ihren Einflussfaktoren. Haupt, Bern

Christiane Geiger

7.1 Wissenschaftliche Definition des Begriffs Dienstleister

Unter dem Begriff „Dienstleister“ ist eine Organisation oder Person zu verstehen, welche als Kerngeschäft Dienstleistungen für andere Wirtschaftseinheiten erbringt (Preissner und Kritzler-Picht 2011, S. 26).

Entsprechend der konstitutiven Merkmale einer Dienstleistung (vgl. Abschn. 6.1) verfügen Dienstleister über einen Produktionsprozess, in dem eine direkte Interaktion mit dem Kunden besteht und der einem hohen Grad an Variabilität unterliegt. Zudem handelt es sich bei den Dienstleistungen um Produkte, welche sich durch Immateriellität und mangelnde Lagerfähigkeit auszeichnen. (Wilderom 1991, S. 6)

Vielfach richtet sich die Bezeichnung eines Dienstleisters nach dem zentralen Gegenstand der seinerseits erbrachten Dienstleistung. Beispielsweise umfasst der Dienstleistungskern eines IT-Dienstleisters die Bereitstellung und Betreuung von informationstechnologischen Ressourcen. Die Beratung in rechtlichen Fragen wird durch einen Rechtsberater angeboten.

7.2 Wissenschaftliche Definition des Begriffs Logistikdienstleister

Dem Begriffsverständnis des Dienstleisters folgend handelt es sich bei einem Logistikdienstleister um ein Unternehmen, dessen Tätigkeitsschwerpunkt in der Erbringung von logistischen Dienstleistungen für andere Unternehmen liegt (vgl. Wallenburg 2004, S. 49).

C. Geiger (✉)

Institut für Transportlogistik, TU Dortmund,
Leonhard-Euler-Straße 2, 44227 Dortmund, Deutschland
E-Mail: geiger@itl.tu-dortmund.de

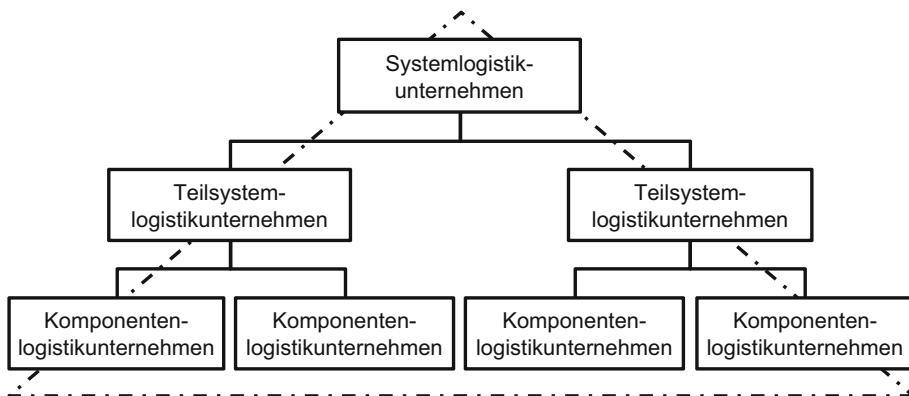


Abb. 7.1 Beziehungsstruktur von Logistikunternehmen. (In Anlehnung an Haubold und Stahl 1994, S. 322)

Diese leistungsbeziehenden Unternehmen treten als Auftraggeber des Logistikdienstleisters auf und werden unter dem Begriff „Verlader“ subsumiert. Zu ihnen zählen Industrie-, Handels- und Dienstleistungsunternehmen, welche als Lieferant oder Konsument von Gütern Logistikleistungen nachfragen (Pfohl 2010, S. 264–265).

Die verladenden Dienstleistungsunternehmen inkludieren dabei auch Logistikdienstleister, die wiederum Kunden anderer Logistikunternehmen sind. Beim Einkauf von Logistikleistungen hat sich, analog zu Industrie und Handel, auch in Logistikunternehmen die Anforderung durchgesetzt, wenige Bezugsquellen in Anspruch zu nehmen. So konzentrieren sich Logistikunternehmen verstärkt auf eine geringe Anzahl an Subunternehmen, um auf diesem Wege die zu überbrückenden Schnittstellen und somit die Komplexität und Unsicherheit, die mit jeder weiteren Geschäftsbeziehung steigt, zu reduzieren. Infolgedessen bildet sich bei Anordnung sämtlicher Logistikdienstleister nach ihrer Auftragnehmer/Auftraggeber-Position eine Beziehungsstruktur in Form einer Pyramide (Abb. 7.1) heraus,

- deren Fuß sich aus mehreren, einfach austauschbaren Logistikdienstleistern zusammensetzt, die über eine standardisierte Massenproduktion verfügen und somit isolierte Leistungskomponenten beisteuern,
- überdacht von Logistikunternehmen, welche logistische Teilsysteme übernehmen und
- an deren Spitze ein Logistikdienstleister mit langfristiger vertraglicher Bindung steht, dem die Steuerung, Koordination und Kontrolle des gesamten Logistiksystems obliegt (Haubold und Stahl 1994, S. 322–324).

7.3 Übersicht über Logistikdienstleister

Die pyramidenförmige Beziehungsstruktur (Abb. 7.1) verdeutlicht, dass es verschiedene Formen von Logistikdienstleistern gibt, die sich über den Gegenstand ihres Geschäfts und über die damit im Zusammenhang stehenden vertraglichen Beziehungen, Pflichten und die bei der Pflichtausübung genutzten Ressourcen voneinander abgrenzen. Vor diesem Hintergrund sollen im nachfolgenden Abschnitt ausgewählte Logistikdienstleister von den unterschiedlichen Stufen der Beziehungspyramide vorgestellt werden.

Transportunternehmen Die auch als Carrier bezeichneten Transportunternehmen sind auf die reine Beförderung von Gütern spezialisiert. Dabei greifen sie üblicherweise auf betriebseigene Transportmittel zurück (Gudehus 2012, S. 1043). Transportunternehmen leisten somit einen räumlichen Ausgleich als isoliertes Element einer Lieferkette. Sie sind daher auf der unteren Stufe der Beziehungspyramide angesiedelt.

Im gewerblichen Güterverkehr treten Transportunternehmen in der Regel als Frachtführer auf (Schulte 2009, S. 186). Die rechtliche Geschäftsgrundlage bildet dann der Frachtvertrag, welcher in § 407 des Handelsgesetzbuchs (HGB 1897) geregelt ist. Demnach wird der Frachtführer durch den Frachtvertrag verpflichtet, die Güter zu einem Bestimmungsort zu befördern und dort an den Empfänger abzuliefern.

Die Güter müssen im übernommenen Zustand und innerhalb einer festgelegten Lieferfrist zugestellt werden. Bei Hindernissen bezüglich einer vertragsgemäßen Beförderung oder Ablieferung der Güter hat der Frachtführer die Weisungen des Versenders einzuholen (§ 419 HGB). Für Schäden, die durch Verlust oder Beschädigung der Güter innerhalb der Zeitspanne zwischen Übernahme durch den Frachtführer und Auslieferung beim Empfänger entstehen oder die aus der Überschreitung der Beförderungsfrist resultieren, haftet der Frachtführer. Der Ersatz hängt davon ab, inwieweit ein Fehlverhalten des Versenders oder des Empfängers oder ein besonderer Mangel der Güter mitgewirkt haben (§ 425 HGB).

In Abhängigkeit vom eingesetzten Verkehrsträger kann es sich bei Frachtführern um Unternehmen des Güterkraftverkehrs, Eisenbahngesellschaften, Binnenschifffahrtsreedereien und Fluggesellschaften handeln. Bei Gütertransporten über See spricht das HGB hingegen von Verfrachtern. Ein Verfrachter ist entweder bei Nutzung seines eigenen Schiffs mit dem Reeder identisch oder kann als Charterer ein fremdes Schiff verwenden (Abraham 1969, S. 114).

Verlader und somit Vertragspartner des Frachtführers ist der Versender, der seine Güter grundsätzlich nicht eigenständig befördert oder den Transport bestimmter Sendungen nicht übernimmt. Mit dem Schließen des Frachtvertrags erhält nach § 407 HGB der Empfänger das Recht auf Auslieferung; der Versender wird zur Zahlung der vereinbarten Fracht verpflichtet.

In Vorbereitung auf den Transport hat der Versender zudem für eine Verpackung zu sorgen, durch die Verlust und Ländierung der Güter sowie Schädigung des Frachtführers vermieden wird, und die Verpackung nötigenfalls zu kennzeichnen (§ 411 HGB). Darüber hinaus obliegt dem Versender die beförderungssichere Ladung und Entladung der Güter (§ 412 HGB). Ferner fällt ihm eine Urkundenerteilungs- und Informationspflicht zu.

Demnach hat der Versender dem Frachtführer sämtliche Urkunden und Auskünfte zur Verfügung zu stellen, die für eine amtliche Behandlung der Güter, im Speziellen für eine Zollabfertigung, nötig sind (§ 413 HGB). Wenn gefährliche Güter befördert werden sollen, ist der Frachtführer auch über die Gefahrenart und über gegebenenfalls zu ergreifende Vorsichtsmaßnahmen zu informieren (§ 410 HGB).

Lagerunternehmen Gewerbliche Unternehmen, welche schwerpunktmäßig das Lagergeschäft betreiben, werden als Lagerhalter bezeichnet. Gegenstand des Lagergeschäfts ist, einen zeitlichen Ausgleich zu schaffen, beispielsweise zwischen Produktions- und Absatzdatum. Mit der Zeitüberbrückung steuern Lagerunternehmen eine ausgewählte Funktion zum Betrieb einer gesamten Lieferkette bei. Sie sind daher analog zu den Transportunternehmen auf der unteren Stufe der Beziehungspyramide einzuordnen.

Zustande kommt das Lagergeschäft durch einen Lagervertrag zwischen Lagerhalter und Einlagerer. Der Lagervertrag verpflichtet den Lagerhalter zur Lagerung und Aufbewahrung von Gütern (§ 467 HGB). Darüber hinaus ist der Lagerhalter angewiesen, die Güter bei Empfang auf Vollständigkeit und Schadenfreiheit zu prüfen. Ist äußerlich erkennbar, dass sich die Güter in einem beschädigten oder mangelhaften Zustand befinden, hat der Lagerhalter den Einlagerer unverzüglich zu informieren und etwaige Schadenersatzansprüche zu sichern (§ 470 HGB).

Während der Lagerung sind dem Einlagerer die Besichtigung der Güter, die Entnahme von Proben und das Ergreifen sämtlicher Maßnahmen, die den Erhalt der Güter sichern, zu gestatten. Bei bereits eingetretenen oder drohenden Veränderungen der Güter hat der Lagerhalter den Einlagerer augenblicklich in Kenntnis zu setzen und seine Weisungen einzuholen (§ 471 HGB).

Im Gegenzug zu den Pflichten des Lagerhalters muss der Einlagerer die vereinbarte Vergütung zahlen (§ 467 HGB). Zudem hat er die einzulagernden Güter erforderlichenfalls zu verpacken und zu kennzeichnen. Ferner unterliegt er einer Urkundenerteilungs- und Informationspflicht. Diese verlangt die Bereitstellung aller Urkunden und die Mitteilung sämtlicher Informationen, die seitens des Lagerhalters zur Erfüllung seiner Pflichten erforderlich sind. Insbesondere ist der Lagerhalter bei Einlagerung gefährlicher Güter über die Gefahrenart und die zu ergreifenden Vorsichtsmaßnahmen zu unterrichten (§ 468 HGB).

Speditionen Unternehmen, welche nach Abschluss eines Speditionsvertrags die Versendung von Gütern für Dritte besorgen, heißen Speditionen (§ 453 HGB). Die zentrale Aufgabe eines Spediteurs besteht dabei in der Organisation der Beförderung. Diese umfasst nach § 454 HGB

- die Bestimmung des Beförderungsmittels und des Beförderungsweges,
- die Auswahl ausführender Unternehmer, den Abschluss der für die Versendung erforderlichen Fracht-, Lager- und Speditionsverträge sowie die Erteilung von Informationen und Weisungen an die ausführenden Unternehmer und
- die Sicherung von Schadenersatzansprüchen des Versenders.

Über die Organisation der Beförderung hinaus kann der Versender den Spediteur mit weiteren, damit verbundenen Leistungen betrauen, wie z. B. die Versicherung und Verpackung der Güter, ihre Kennzeichnung und die Zollbehandlung. Sofern vereinbart ist der Spediteur dabei lediglich zum Abschluss der Verträge verpflichtet, die zur Erbringung dieser Leistungen erforderlich sind (§ 454 HGB).

Mit diesen Aufgaben bekleidet der Spediteur in erster Linie eine planende und steuernde Position für ein logistisches Teilsystem. Durch die Annahme des verladerseitig erteilten Speditionsauftrags und die Auswahl, Beauftragung und Kontrolle der abwickelnden Unternehmen nimmt der Spediteur die Rolle des Vermittlers zwischen Nachfrager und Anbieter von logistischen Dienstleistungen ein (Wallenburg 2004, S. 50). Der Spediteur ist somit auf der mittleren Stufe der Beziehungspyramide einzuordnen.

Alternativ zur Beauftragung eines Transportunternehmens ist dem Spediteur allerdings auch gestattet, die Beförderungsleistung unter Rückgriff auf eigene Fahrzeuge zu erbringen. Im Falle dieses sogenannten Selbsteintritts obliegen dem Spediteur die Rechte und Pflichten eines Frachtführers oder Verfrachters. So kann der Spediteur neben der Vergütung seiner Tätigkeiten im Rahmen des Speditionsgeschäfts auch die gewöhnlichen Frachtkosten verlangen (§ 458 HGB).

Kontraktlogistikdienstleister Entscheidet sich ein Industrie- oder Handelsunternehmen zur Auslagerung mehrerer, bislang intern erbrachter Logistikfunktionen, so beauftragt es einen Systemdienstleister. Dieser wird als Kontraktlogistikdienstleister oder mit dem englischsprachigen Begriff Third-Party-Logistics-Provider – abgekürzt 3PL – bezeichnet (Schulte 2009, S. 196).

Die fremdvergebenen Funktionen können die gesamte Logistikkette oder daraus ausgewählte Abschnitte, z. B. die Beschaffungs- oder Distributionslogistik, umspannen. Der Kontraktlogistikdienstleister übernimmt somit von seinem Verlader ein komplettes, unternehmensindividuelles Logistiksystem (Hofmann und Nothardt 2009, S. 219–220). Sofern eine übergeordnete Managementfunktion ausgeschlossen ist, steht der Kontraktlogistikdienstleister mit diesen Funktionen an der Spitze der Beziehungspyramide von Logistikdienstleistern.

Dementsprechend handelt es sich bei den zur Funktionserfüllung notwendigen Leistungen um integrierte Dienstleistungsbündel. Diese beinhalten zum einen das Management und die Ausführungen der Basisleistungen Transport, Umschlag und/oder Lagerhaltung. Zum anderen sind damit verbundene Zusatzleistungen wie Verpackung, Montagetätigkeiten und Installationsarbeiten, Bestandsmanagement sowie Tracking und Tracing inbegriffen (Weber et al. 2007, S. 37–38).

Bedingt durch diese funktionale Breite besitzen die Leistungen des Kontraktlogistikdienstleisters im Vergleich zu den klassischen Einzelleistungen der Transport- und Lagerunternehmen einen weit komplexeren Charakter (van Laarhoven et al. 2000, S. 426).

Für die Produktion der Leistungen verfügen Kontraktlogistikdienstleister über eigene Ressourcen. Sie zählen daher zu den sogenannten asset-based Dienstleistern (Klaus und Kille 2008a, S. 281–282).

Aufgrund des Zuschnitts der Leistungen auf die Bedürfnisse des verladenden Unternehmens sind seitens des Kontraktlogistikdienstleisters vielfach idiosynkratische Investitionen in die Ressourcen zu tätigen. Zu unterscheiden sind dabei Investitionen in (Williamson 2002, S. 176)

- materielle Ressourcen (z. B. Lagersysteme oder Maschinen),
- menschliche Ressourcen (z. B. Mitarbeiterqualifikationen),
- standortbezogene Eigenschaften (z. B. örtliche Nähe zum Kunden) und
- zweckgebundene Ressourcen (sogenannte dedicated assets), die unter der Annahme des Fortbestands des Kontraktlogistikgeschäfts vorgenommen wurden und bei Wegfall nicht unmittelbar anderweitig genutzt werden können.

Die Anlage seines Kapitals in die nötigen Ressourcen versetzt den Kontraktlogistikdienstleister zwar einerseits in die Lage, die mandantenspezifischen Dienstleistungen zu erbringen und hierüber Erträge zu erwirtschaften. Anderseits droht bei unterbleibender Nutzung aber auch die Gefahr einer Entwertung seiner Investitionen. Der Kontraktlogistikdienstleister ist infolgedessen auf eine Beauftragung angewiesen und bis zur Amortisation der getätigten Investitionen von seinem Auftraggeber abhängig (Bretzke 2010, S. 307–308).

Auch vonseiten des verladenden Unternehmens ist eine erfolgreiche Kooperation mit dem Kontraktlogistikdienstleister von Bedeutung. Mit der Übernahme der Verantwortung über die Logistikfunktionen wird der Kontraktlogistikdienstleister tief in die Prozesse seines Kunden integriert (Giesa und Kopfer 2000, S. 45). Seine Leistungen haben infolge einen maßgeblichen Einfluss auf das Geschäft des Verladers (van Laarhoven et al. 2000, S. 426). Während die Anbieter von kommodisierten Logistikleistungen einer einfachen Austauschbarkeit unterliegen, ist der Dienstleistungsaustausch in der Kontraktlogistik mit hohen Wechselkosten verbunden. Mit dem Begriff Wechselkosten werden sämtliche einmalig anfallenden Kosten zusammengefasst, die der Auftraggeber mit dem Tausch des Dienstleisters verbindet (Burnham et al. 2003, S. 110). Da diese Kosten nicht nur monetäre Aufwände sondern auch sonstige Hindernisse und Risiken umfassen, wird in der Literatur auch der Begriff Wechselbarrieren genannt (Stahl 2009, S. 96). Beispiele für Wechselbarrieren sind der Wegfall des Wissens, welches sich der Altanbieter während der Leistungserbringung angeeignet hat (Hofmann 2007, S. 220), Kosten für die Durchführung einer neuen Ausschreibung (u. a. Anbietersuche, Unterlagenerstellung, Angebotsbewertung), Vertragsverhandlung und -abschluss sowie die Einrichtung von Schnittstellen. Je stärker der Auftraggeber diese Nachteile empfindet, desto höher sind die Wechselbarrieren (Corsten und Gössinger 2007, S. 387). Bei sehr hohen Wechselbarrieren sind Verlader infolgedessen gewillt, sogar bei Unzufriedenheit weiterhin Kunde des Kontraktenehmers zu bleiben (vgl. Ranaweera und Prabhu 2003, S. 375).

Vor diesem Hintergrund stellt sich sowohl bei dem Kontraktlogistikdienstleister als auch dem Verlader ein Zustand der Abhängigkeit von dem jeweils anderen ein, deren Begrenzung im Interesse beider Parteien liegt. Ein Werkzeug hierzu stellt der Kontrakt zwi-

schen den Partnern dar, dessen Bedeutung für kontraktlogistische Geschäftsbeziehungen bereits durch seinen Namensbestandteil deutlich wird.

Der Kontraktlogistikdienstleister strebt zur Absicherung seiner Beauftragung und der damit ermöglichten Amortisation seiner idiosynkratischen Investitionen einen längerfristigen Vertrag an (Hofmann und Nothardt 2009, S. 225). Nach Klaus et al. (2011, S. 85) beträgt die Laufzeit der Kontrakte mindestens ein, oft jedoch auch mehrere Jahre. Waibel et al. (2007, S. 7) beziffern die mittlere Laufzeit mit drei bis fünf Jahren. Zudem sollte das durchzusetzende Geschäftsvolumen über einen angemessenen Umfang verfügen. Klaus und Kille (2008a, S. 281) bewerten den Umsatz eines Kontraktlogistikgeschäfts daher als konstituierendes Merkmal. Ihnen zufolge ist innerhalb eines Kontraktlogistikgeschäfts ein derart hohes Volumen durchzusetzen, dass sich der jährliche Kontraktumsatz auf mindestens 0,5–1 Mio. € beläuft. Bedingt dadurch, dass der Umsatz zeitgleich aber auch von dem auftraggeber- und auftragnehmerseitig durchsetzbaren Geschäftsvolumen abhängt, würden klein- und mittelständische verladende und Logistikunternehmen mit niedrigrem Geschäftsvolumen von der Kontraktlogistik ausgeschlossen. Da in der Praxis jedoch zahlreiche Geschäftsbeziehung unter Beteiligung von Klein- und Mittelständlern bestehen, ist das Merkmal umstritten (Zimmermann 2004, S. 26, 186).

Der Verlader minimiert mit dem Kontrakt das Risiko einer Nicht- oder Schlechtleistung des Logistikdienstleisters. Dazu kann er in dem Kontrakt sogenannte Service Level Agreements (SLAs) fixieren (Müller-Dauppert und Jung 2008, S. 186). Bei SLAs handelt es sich um Kennzahlen zur Definition, Messung und Bewertung der Servicequalität, welche seitens des Logistikdienstleisters zu gewährleisten ist (Minner 2007, S. 13). Nach Schietinger (2007, S. 31–32) können die Kennzahlen in fünf Kategorien eingeteilt werden. Zu unterscheiden sind dabei Kennzahlen zur Beschreibung von

- Aktivitätsprofil und Geschäftsstruktur, z. B. Anzahl der abzuwickelnden Aufträge pro Zeiteinheit,
- Qualität der Leistungserbringung, z. B. Reklamationsquote,
- Zeit-Performance, z. B. Durchlaufzeit,
- Produktivität, z. B. Anzahl der abgewickelten Auftragspositionen pro Mitarbeiter und Zeiteinheit, und
- Kosten, z. B. Kosten pro Wareneingangsposition.

Obwohl ein Vertrag zwischen Kontraktlogistikdienstleister und Verlader das Abhängigkeitsproblem entschärft, kann sein Abschluss auch neue Risiken schaffen. Da nicht alle Unwägbarkeiten bereits im Vorfeld der Leistungserbringung antizipiert werden können, um bei der Vertragsgestaltung Berücksichtigung zu finden, bleiben zum einen zwangsläufig Regelungslücken bestehen. Zum anderen kann die zwischen den Vertragsparteien vorliegende asymmetrische Informationsverteilung heranwachsen, sofern bilateral keine Mechanismen zum Abbau betätigt werden. Während der Verlader über eine umfassendere Branchenkenntnis verfügt, hat der Kontraktlogistikdienstleister seine eigene Leistungser-

bringung besser im Blick. Beides gibt unvermeidlich Raum für opportunistisches Verhalten (Bretzke 2010, S. 361–362).

Um dennoch eine langfristig erfolgreiche Geschäftsbeziehung aufzubauen und zu erhalten, müssen sich beide Kontrakteparteien zu der Partnerschaft bekennen und sich gegenseitig Vertrauen entgegenbringen. Vertrauen ist die Erwartungshaltung einer Partei, in einer durch Unsicherheit charakterisierten Wechselbeziehung von einer zuverlässigen Handlung der anderen Partei ausgehen und daher positive Ergebnisse erzielen zu können. Der Aufbau und die Manifestierung von Vertrauen können beispielsweise über das Teilen von Zielen und Werten, durch gemeinsame Planung und Entscheidungsfindung und durch proaktiven Informationsaustausch gelingen (Sahay 2003, S. 553–558).

4PL Ein Logistikunternehmen, welches die vollständige Lieferkette eines Industrie- oder Handelsunternehmens neu entwirft oder optimiert, aufbaut und ohne eigene Ressourcen betreibt, versteht sich als Fourth-Party-Logistics-Provider. Analog zum 3PL wird er mit dem Akronym 4PL bezeichnet (Bade und Mueller 1999, S. 78–79).

Um derart ganzheitliche Lösungen zu erstellen, umfasst das Kerngeschäft des 4PLs vor allem die Koordination sämtlicher Logistikdienstleister, welche an der Lieferkette des Kunden beteiligt sind (Chopra und Meindl 2007, S. 427). Darüber hinaus bindet er auch die Produktions- und Handelspartner sowie deren Zulieferer ein, indem über Informations- und Kommunikationssysteme (IuK) Verbindungen geschaffen und die Warenflüsse abgestimmt werden (Vahrenkamp 2007, S. 50).

Entsprechend dieses Kerngeschäfts bekleidet der 4PL im operativen Betrieb der Lieferkette eine reine Führungsposition und bildet damit als Alternative zum oder als Auftraggeber des 3PL den oberen Abschluss der Beziehungspyramide. Für die Ausführung der Leistungen beauftragt er andere Logistikdienstleister, wie Transport- und Lagerunternehmen sowie 3PLs (Wallenburg 2004, S. 51).

In der Regel besitzt der 4PL daher keine eigenen Assets. Lediglich mag er, sofern er aus einem Kontraktlogistikunternehmen entstanden ist, über wenige, aus vormaligen Geschäften verbliebene Anlagen verfügen (Klaus und Kille 2008b, S. 184).

Über den Einkauf bei Dritten kann der 4PL seinem Kunden sämtliche logistische Leistungen, welche die Lieferkette zusammensetzen, aus einer Hand anbieten. Dies versetzt ihn in die Lage, den Wunsch der Verladerschaft nach One-Stop-Shopping zu erfüllen. Der wesentliche Auslöser für die Neigung des Verladers, die erforderlichen Leistungen im Verbund zu kaufen, besteht in der dadurch erreichten Reduktion seiner Schnittstellen zum Logistikmarkt. So stellt der 4PL für den Verlader einen zentralen Ansprechpartner und Verantwortlichen für die Logistik seines Unternehmens dar (Bretzke 2010, S. 356; von Lackum 2010, S. 110).

4PL entwickeln sich vielfach aus ehemaligen 3PLs mit dem Ziel, den Nutzen aller in einer Lieferkette involvierten Unternehmen zu maximieren und sich auf diesem Wege von der Konkurrenz abzuheben. Dazu muss der Logistikanbieter einen Perspektivenwechsel von einer konzentrierten Betrachtung seiner eigenen Assets hin zu einer holistischen Sichtweise über die gesamte Lieferkette vollziehen (van Hoek und Chong 2001, S. 464).

Seine Bestrebungen richten sich somit nicht länger auf die Auslastungsmaximierung der eigenen Assets, um auf diesem Weg eine hohe Rendite zu erwirtschaften. Stattdessen zielt er auf eine Leistungssteigerung der gesamten Lieferkette unter Rückgriff auf die am Markt angebotenen Kapazitäten. Mit dem Abbau von eigenen Anlagen löst sich der 4PL dementsprechend von den damit verbundenen Interessen, wodurch ihm eine stärkere Souveränität verliehen wird. Diese ermöglicht ihm, im Vergleich zum 3PL unabhängige Entscheidungen bei der Ressourcen- und Dienstleisterwahl zu treffen und dadurch den Mehrwert für seine Kunden zu steigern (Win 2008, S. 676–677).

Wegen der vorrangigen Managementfunktion kommen neben den einstigen 3PL auch Beratungsunternehmen als Anbieter der Fourth-Party-Logistik in Betracht. Auch können IT-Dienstleister die Rolle des 4PLs einnehmen. Ihre Eignung resultiert aus der hohen Bedeutung von IuK-Systemen als Integrationsinstrument, deren Implementierung und Betrieb umfangreiches IT-Wissen und tiefe Kompetenzen zur Eingliederung der Partner in das Netzwerk erfordern (Zadek 2004, S. 49). Ferner ist als 4PL ein Zusammenschluss von Logistik-, Consulting- und Softwareunternehmen vorstellbar, welche ihre spezifischen Kompetenzen bündeln (Neher 2001, S. 52).

Literatur

- Abraham HJ (1969) Das Seerecht. Walter de Gruyter & Co., Berlin
- Bade DJ, Mueller JK (1999) New for the Millennium: 4PL. *Transportation & Distribution* 40(2):78–80
- Bretzke W-R (2010) Logistische Netzwerke. Springer, Berlin
- Burnham TA, Frels JK, Mahajan V (2003) Consumer Switching Costs: A Typology, Antecedents, and Consequences. *Journal of the Academy of Marketing Science* 31(2):109–126
- Chopra S, Meindl P (2007). Pearson Education, Inc., New Jersey
- Corsten H, Gössinger R (2007) Dienstleistungsmanagement, 5th edn. Oldenbourg, München
- Giesa F, Kopfer H (2000) Management logistischer Dienstleistungen der Kontraktlogistik. *Logistik Management* 2(1):43–53
- Gudehus T (2012) Logistik 2: Netzwerke, Systeme und Lieferketten, 4th edn. Springer, Berlin
- Handelsgesetzbuch (HGB) in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. Mai 1897
- Haubold V, Stahl D (1994) Implikationen für die Speditionsbranche: Lean Produktion in der Industrie. *Internationales Verkehrswesen* 46(6):317–325
- Hofmann E (2007) Auflösung von Geschäftsbeziehungen in der Kontraktlogistik. In: Stölzle W, Weber J, Hofmann E, Wallenburg C M (eds) *Handbuch Kontraktlogistik*. Wiley-VCH, Weinheim, pp 219–241
- Hofmann E, Nothardt F (2009) Logistics Due Diligence. Springer, Berlin
- Klaus P, Kille C (2008a) Kontraktlogistik. In: Klaus P, Krieger W (eds) *Gabler Lexikon Logistik*. Gabler, Wiesbaden, pp 281–285
- Klaus P, Kille C (2008b) Fourth Party Logistics (4PL). In: Klaus P, Krieger W (eds) *Gabler Lexikon Logistik*. Gabler, Wiesbaden, pp 184–185
- Klaus P, Kille C, Schwemmer M (2011) TOP 100 in European Transport and Logistics Services. DVV Media Group, Hamburg
- Minner S (2007) Grundlagen und Instrumente des Service Level Managements. In: Pulverich M, Schietinger J (eds) *Service Levels in der Logistik*. Heinrich Vogel, München

- Müller-Dauppert B, Jung K-P (2008) Risikomanagement beim Outsourcing aus Sicht des Kunden. In: Pfohl H-C (ed) Sicherheit und Risikomanagement in der Supply Chain. DVV Media Group, Hamburg
- Neher A (2001) Vision oder Mythos? Logistik Heute 23(9):52–53
- Preissner A, Kritzler-Picht M (2011) Lexikon Dienstleistungen. Beuth, Berlin
- Pfohl H-C (2010) Logistiksysteme. Betriebswirtschaftliche Grundlagen. Springer, Berlin
- Ranaweera C, Prabhu J (2003) The influence of satisfaction, trust and switching barriers on customer retention in a continuous purchasing setting. International Journal of Service Industry Management 14(4):374–395
- Sahay BS (2003) Understanding trust in supply chain relationships. Industrial Management & Data Systems 103(8):553–563
- Schietinger J (2007) KPIs als Basis des Service Level Reportings. In Pulverich M, Schietinger J (eds) Service Levels in der Logistik. Heinrich Vogel, München
- Schulte C (2009) Logistik. Wege zur Optimierung der Supply Chain. Franz Vahlen, München
- Stahl HK (2009) Kundenloyalität kritisch betrachtet. In: Hinterhuber H H, Matzler K (eds) Kundenorientierte Unternehmensführung. Gabler, Wiesbaden, pp 86–106
- Vahrenkamp R (2007) Logistik – Management und Strategien, 6th edn. Oldenbourg, München
- van Hoek R I, Chong I (2001) UPS Logistics – practical approaches to the e-supply chain. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management 31(6):463–468
- van Laarhoven P, Berglund M, Peters M (2000) Third-party logistics in Europe – five years later. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management 30(5):425–442
- von Lackum K-H (2010) Do you speak Marketing? Books on Demand, Norderstedt
- Waibel F, Herr S, Schmidt N (2007) »Ramp up« in der Kontraktlogistik. Eine Untersuchung zu den Fallstricken und »Best Practices« des Anlaufmanagements von komplexen Kontraktlogistik-Projekten. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart
- Wallenburg CM (2004) Kundenbindung in der Logistik. Eine empirische Untersuchung zu ihren Einflussfaktoren. Haupt, Bern
- Weber J, Stölzle W, Wallenburg CM, Hofmann E (2007) Einführung in das Management der Kontraktlogistik. In: Stölzle W, Weber J, Hofmann E, Wallenburg CM (eds) Handbuch Kontraktlogistik. Wiley-VCH, Weinheim, pp 35–54
- Wilderom CPM (1991) Service Management/Leadership: Different from Management/Leadership in Industrial Organisations? International Journal of Service Industry Management 2(1):6–14
- Williamson OE (2002) The Theory of the Firm as Governance Structure: From Choice to Contract. Journal of Economic Perspectives 16(3):171–195
- Win A (2008) The value a 4PL provider can contribute to an organisation. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management 38(9):674–684
- Zadek H (2004) Logistikdienstleister auf der Suche nach Wertschöpfung. Industrie Management 20(5):47–50
- Zimmermann B (2004) Kontraktlogistik als Zukunftsmarkt der Logistikdienstleistungswirtschaft? http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?idn=97280949x&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=97280949x.pdf. Accessed 2 Nov 2012

Katharina Winter

In diesem Unterkapitel wird das Themengebiet des Logistikoutsourcings, also der langfristigen Vergabe logistischer Funktionen an Dritte, beschrieben. Dieses stellt die Grundvoraussetzung für die Tätigkeit von Logistikdienstleistern jeglicher Form dar und ermöglicht erst die Existenz von Dienstleistungsangeboten, wie sie heute bestehen.

Neben einer wissenschaftlichen Definition der Begriffe Outsourcing und Logistikoutsourcing werden die Ziele und die Motivation sowie Geschäftsmodelle des Outsourcings erläutert. Nach einem Überblick über den Markt, folgt eine Darstellung der Vorgehensweise bei der Fremdvergabe. Diese beschränkt sich auf die Fremdvergabe von einfachen und Einzel-Leistungen, da die Fremdvergabe komplexer Leistungsbündel in Abschnitt 9.5 behandelt wird. Das Unterkapitel schließt mit einer Betrachtung der Chancen und Risiken der Fremdvergabe sowohl aus der Perspektive der Verlader als auch der Dienstleister.

8.1 Wissenschaftliche Definition des Begriffs Outsourcing

Der Begriff „Outsourcing“, welcher Ende der 1980er Jahre in der amerikanischen Wirtschaft geprägt wurde, hat seinen Ursprung in den drei englischen Wörtern „outside“, „resource“ und „using“ (Hermes und Schwarz 2005, S. 15). Demnach bedeutet „Outsourcing“ kurz zusammengefasst so viel wie „die Aus- und Verlagerung von bislang unternehmensintern erbrachten Leistungen und deren dauerhafte Übertragung auf Dritte.“ (Foschiani und Hertweck 1998, S. 43)

Der Begriff Outsourcing wird in der Literatur häufig in einem Kontext mit dem Begriff Make-or-Buy-Entscheidung genannt. Letzteres beschreibt die Entscheidung darüber,

K. Winter (✉)

Institut für Transportlogistik, TU Dortmund,
Leonhard-Euler-Str. 2, 44227 Dortmund, Deutschland
E-Mail: winter@itl.tu-dortmund.de

ob ein Produkt durch das eigene Unternehmen erstellt oder von einem anderen Unternehmen fremdbezogen werden soll. In der Regel wird das Outsourcing als Variante der Make-or-Buy-Entscheidung beschrieben. (Maltz und Ellram 1997, S. 45; Vahrenkamp 2007, S. 383)

Eine Unterscheidung der beiden Begriffe ist aufgrund der im Folgenden beschriebenen verschiedenartig ausgeprägten Kriterien sinnvoll: Zum einen handelt es sich beim im Rahmen der Make-or-Buy-Entscheidung betrachteten Produkt um ein materielles Gut, während beim Outsourcing ausschließlich die Erbringung von Dienstleistungen diskutiert wird. (Vahrenkamp 2007, S. 383) Zum anderen können nur Leistungen outsourced werden, die zuvor vom eigenen Unternehmen in Eigenleistung erbracht wurden. Eine klassische Make-or-Buy-Entscheidung ist hingegen unabhängig davon, ob das Produkt in eigener Produktion hergestellt oder bereits fremdbezogen wurde. (Koppelman 1996, S. 2)

Eine weitere charakteristische Eigenschaft von Outsourcing ist der betrachtete Zeithorizont. Bei der Vergabe von Leistungen im Rahmen eines Outsourcingprojekts wird gezielt eine dauerhafte Fremdvergabe angestrebt, was die strategische Bedeutung verdeutlicht. (Bliesener 1994, S. 289; Dittrich und Braun 2004, S. 2; Hodel et al. 2004, S. 3; Raubenheimer 2010, S. 7) Durch diese Langfristigkeit entsteht zwischen den beteiligten Unternehmen häufig entgegen dem klassischen Käufer-Verkäufer-Verhältnis eine eher partnerschaftliche Verbindung, in welcher nach Möglichkeit gemeinsam Lösungswege entwickelt und Optimierungspotenziale erarbeitet werden (Bliesener 1994, S. 289; Bruch 1998, S. 14–17).

Outsourcing ist klar abzugrenzen vom sogenannten Outtasking, bei dem lediglich Einzelleistungen oder einzelne Funktionen in die Hände eines Dienstleisters gegeben werden. Hierbei ist der Dienstleister ausschließlich für die Erfüllung dieser abgegrenzten Aufgaben zuständig und hat auch keinen Einblick in weitere Zusammenhänge und weiterführende Prozesse im fremdvergebenden Unternehmen. Dadurch ist ein Dienstleister, der im Bereich des Outtaskings tätig ist, in der Regel nicht oder nur sehr begrenzt in der Lage einen Beitrag zur Optimierung von Unternehmensaufgaben oder -bereichen zu leisten. (Dittrich und Braun 2004, S. 7)

8.2 Wissenschaftliche Definition des Begriffs Logistikoutsourcing

Der Begriff Logistikoutsourcing beschreibt das Outsourcing, also die langfristige und dauerhafte Fremdvergabe (s. Abschn. 8.1) einer logistischen Gesamtleistung an einen Dienstleister. Entsprechend der Einteilung der Logistikdienstleister in Abschn. 7.2 kann definiert werden, dass Komponentenlogistikunternehmen ausschließlich Aufgaben im Bereich des Logistikouttaskings übernehmen, während Teilsystemlogistikunternehmen sowohl Leistungen im Bereich des Logistikouttaskings als auch des -outsourcings anbieten können. Die Systemlogistikunternehmen sind hingegen ausschließlich im Bereich des Logistikoutsourcings tätig.

Nach Städtler-Schumann und Britsch (1999, S. 42) sind für die Abgrenzung zwischen Logistikoutsourcing und -tasking der Umfang und die Dauer des Leistungsbezugs, die Anzahl der beteiligten Dienstleister sowie die Art der vertraglichen Beziehung ausschlag-

gebend. Demnach handelt es sich beim Logistikoutsourcing um die Vergabe umfassender Leistungsbündel; je nach Outsourcingform auch inklusive logistischer Ressourcen und Personal (s. Abschn. 8.4). Entsprechend der Definition von Outsourcing ist die Fremdvergabe an den Dienstleister auf einen mittel- bis langfristigen Zeitraum ausgelegt, was eine mehrjährige Vertragslaufzeit impliziert. Da der Logistikdienstleister durch die Leistungsübernahme tiefe Einblicke in das Unternehmen, die betriebsinternen Abläufe und Prozesse bekommt, wird die Anzahl der beteiligten Dienstleister gering gehalten. Des Weiteren sind die Verträge zwischen dem fremdvergebenden Unternehmen und dem Dienstleister beim Logistikoutsourcing sehr viel komplexer und weitreichender als einfache Speditions- oder Transportaufträge, die für die Erbringung von logistischen Einzelleistungen im Bereich des Logistikouttaskings üblich sind.

8.3 Ziele und Motivation der Fremdvergabe logistischer Leistungen

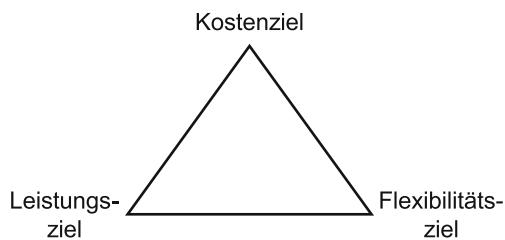
Die Motivation, die hinter der Fremdvergabe logistischer Leistungen steht, sowie die Ziele, die damit verfolgt werden, können je nach Art, Umfang und Dauer der Leistungen verschieden sein. Eine einmalige Vergabe von Einzelleistungen, wie zum Beispiel ein einzelner Transportauftrag, ist häufig mit dem Ziel verbunden, eine vorhandene Ressourcenknappheit durch die Beauftragung eines Dienstleisters auszugleichen und die Kapazitäten somit zeitweise zu erhöhen. Ein weiteres Ziel kann außerdem der Zugang zu spezifischem Know-how sein.

Die Entscheidung zur langfristigen Fremdvergabe logistischer Leistungen und zum Logistikoutsourcing ist von strategischer Bedeutung für das Unternehmen und somit ist auch die Motivation strategisch geprägt. Die Ziele stehen nachhaltig in Verbindung mit dem Unternehmenserfolg. In der Literatur ist dazu häufig eine Unterteilung in drei wesentliche Treiber zu finden. Nach Koppelman (1996, S. 3–5) sind diese das Kosten-, das Flexibilitäts- und das Leistungsziel. Ein fremdvergebendes Unternehmen kann dabei nicht nur eines dieser Ziele verfolgen. Stattdessen sind alle drei Ziele zu verfolgen, wobei eine Priorisierung erfolgen kann bzw. muss. Deshalb erscheint die Darstellung in einem Kräftedreieck geeignet (s. Abb. 8.1). Eines der Ziele ist stets als übergeordnet auszumachen, während die anderen daneben bestehen oder durch das übergeordnete Ziel bedingt sein können.

Hodel et al. (2004, S. 16) ordnet diejenigen Unternehmen, deren Motivation im Kostenziel besteht, in die Gruppe der Kostenreduzierer ein. Bei diesen steht die Reduktion der Betriebskosten und des gebundenen Kapitals im Vordergrund der Fremdvergabe. Grund hierfür kann beispielsweise eine aktuelle Krisensituation sein, in der sich das Unternehmen befindet oder ein Preiskampf unter Wettbewerbern, in dem es am Markt zu bestehen gilt.

Das Leistungsziel wird in der Regel von Unternehmen verfolgt, die von einem gefestigten Standpunkt aus handeln und sich eine gute und sichere Position gegenüber den Wettbewerbern am Markt verschaffen bzw. sichern wollen. Hauptsächlich geht es dabei um die Konzentration auf Kernkompetenzen und auf die kritischen Wertschöpfungsbe-

Abb. 8.1 Kräftedreieck der Ziele bei Fremdvergabe logistischer Leistungen



reiche im Unternehmen. So kann externes Know-how genutzt und das Leistungsspektrum des Unternehmens verbessert und/oder erweitert werden. (Hodel et al. 2004, S. 17; Koppelman 1996, S. 4)

Der dritte wesentliche Treiber bei der Fremdvergabe von logistischen Leistungen ist die Flexibilität. Nach Koppelman (1996, S. 5) hat der vielfach bestehende, wettbewerbsbedingte Preisdruck dazu geführt, dass Gewinne nur bei einer sehr hohen Auslastung der Unternehmenskapazitäten zu erzielen sind. Ressourcen müssen demnach so ausgelegt werden, dass über einen möglichst großen Zeitraum einer Planungsperiode die Auslastung möglichst hoch ist. Nachfrageschwankungen führen dadurch umso schneller zu finanziellen Verlusten (bei niedrigerer Nachfrage als erwartet) oder kapazitativen Engpässen und Opportunitätskosten (bei höherer Nachfrage als erwartet). Durch den Einsatz eines Dienstleisters können die eigenen Ressourcen erweitert werden. Durch die Vereinbarung variabler Preisbestandteile ist außerdem auch eine kurzfristigere und kostengünstigere Reduktion der Kapazitäten möglich als bei den eigenen Ressourcen.

8.4 Geschäftsmodelle des Outsourcings

Im Rahmen des Outsourcings sind verschiedene Geschäftsmodelle anzutreffen, die zunächst auf der Unterteilung in internes und externes Outsourcing basieren. Beim externen Outsourcing werden die vertraglich vereinbarten Leistungen durch ein externes Unternehmen erbracht. Nach Bruch (1998, S. 56) und Hodel et al. (2004, S. 21) ist für diese Form charakteristisch, dass der Auftraggeber diejenige Abteilung seines Unternehmens, die bisher für die entsprechende Leistungserfüllung zuständig war, ganz oder zumindest teilweise auflöst. Die Steuerung der Leistungen durch das fremdvergebende Unternehmen erfolgt in diesem Fall ausschließlich noch über Verträge. Die Möglichkeit direkt Einfluss auf die ausführenden Stellen zu nehmen besteht nicht mehr. Es wird dabei von einer Auslagerung gesprochen (auch „Outsourcing im engeren Sinne“ oder „klassisches Outsourcing“).

Das interne Outsourcing stellt eine Alternative zum externen Outsourcing dar und wird auch als Ausgliederung oder Outsourcing im weiteren Sinne bezeichnet. Dabei werden die Aufgaben und Funktionen entweder an eine andere Unternehmenseinheit oder an ein Unternehmen, welches kapitalmäßig mit dem eigenen Unternehmen verbunden ist, vergeben. (Bruch 1998, S. 57; Hodel et al. 2004, S. 18, 21) Eine derartige zentrale

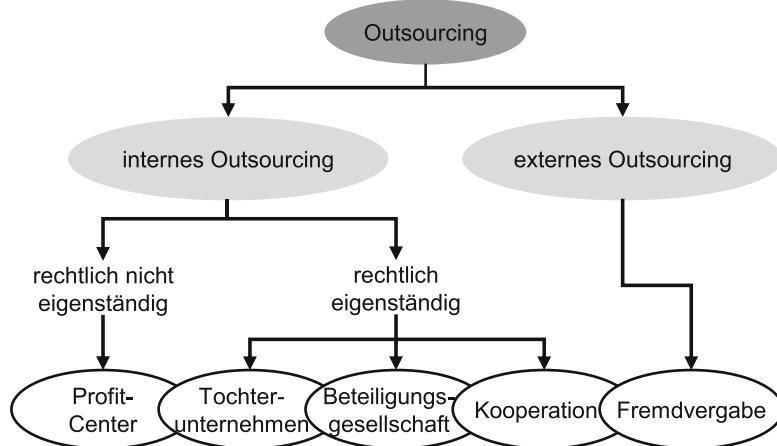


Abb. 8.2 Formen des Outsourcings. (in Anlehnung an: Bruch 1998, S. 55)

Leistungserbringung ermöglicht erhöhte Transparenz im Unternehmen in Bezug auf die Leistungserstellung sowie die Kostengenerierung. Ein besonderer Vorteil der Ausgliederung gegenüber der Auslagerung besteht zudem darin, dass trotz der Vergabe weiterhin die Möglichkeit der direkten Einflussnahme besteht. (Bruch 1998, S. 56)

Organisatorisch bestehen wiederum verschiedene Wege für die Durchführung der Ausgliederung. Die verschiedenen Formen des Outsourcings sind in Abb. 8.2 strukturiert dargestellt und werden im Folgenden näher beschrieben.

Die Bildung eines *Profit-Centers* wird von Hodel et al. als „schwächste Form der Ausgliederung“ (2004, S. 19) bezeichnet. Da die Leistungserstellung im eigenen Unternehmen verbleibt und lediglich die interne Organisation verändert wird, handelt es sich eher um eine sinnvolle Vorstufe des Outsourcings. Das Ziel besteht darin, unternehmerisches Denken innerhalb des Funktionsbereichs sowie eigenständiges Handeln zu stärken. (Bruch 1998, S. 59–60) Ein Profit-Center stellt einen Unternehmensbereich dar, der Eigenverantwortung für die ausgeführten Aufgaben und Funktionen sowie deren Ergebnis trägt und für den individuell der Periodenerfolg ausgewiesen werden kann. (Stelling 2005, S. 256) Häufig werden Leistungen in einem Profit-Center gebündelt, die für mehrere Unternehmenseinheiten in gleicher oder ähnlicher Form anfallen. Somit können über verschiedene Einheiten hinweg Spezialisierungen und Optimierungen generiert sowie individuell angeeignetes Know-how genutzt werden. (Hodel et al. 2004, S. 19)

Eine „echte“ Möglichkeit für internes Outsourcing stellt die Vergabe an eine *Tochtergesellschaft* dar, die gegründet, erworben oder durch Unternehmensteile gebildet werden kann. Sie kann rechtlich selbstständig agieren, ist wirtschaftlich jedoch mit dem Mutterunternehmen verbunden. Das Mutterunternehmen hält über 50 und bis zu 100 % der Geschäftsanteile, wodurch es deutlichen Einfluss auf das Tochterunternehmen ausüben kann. Strategische Entscheidungen sowie große Investitionen werden somit beispielsweise nicht ohne die Einbindung des Mutterunternehmens getroffen bzw. getätigt. (Bruch 1998, S. 57)

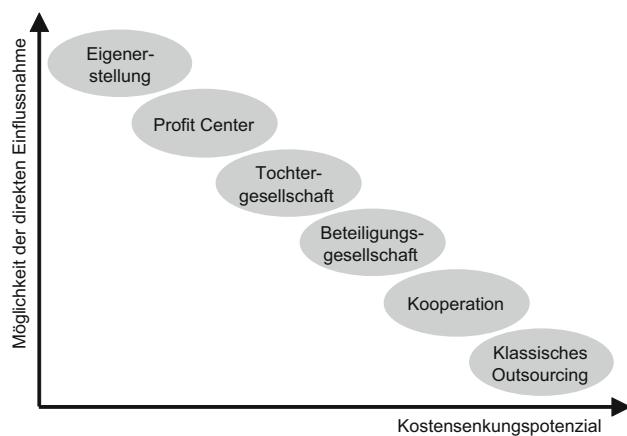
Die Motivation hinter der Gründung einer Tochtergesellschaft besteht in der Regel darin, dass die Monopolstellung, die der bisher ausführende Bereich im Unternehmen innehatte, aufgelöst wird. So kann eine Kosten- und Leistungserstellung erreicht werden, die den Wettbewerbsbedingungen des Marktes folgt. Das bedeutet, dass das Mutterunternehmen nicht mehr an den internen Unternehmensbereich gebunden ist. Stattdessen ist die Einholung von Angeboten bei Wettbewerbern möglich und auch durchaus erwünscht. Der ausgegliederte Unternehmensbereich ist dadurch gefordert, mindestens die am Markt vertretenen Qualitäts- und Leistungsstandards sowie Preise anzubieten. Gleichzeitig ist das Tochterunternehmen in der Lage, seine Leistungen auch an Externe zu verkaufen (Bruch 1998, S. 57). Dies ermöglicht die Eröffnung eines neuen Geschäftsfeldes. Die Wahrscheinlichkeit, dass durch die Ausgründung neue Ideen und Optimierungsansätze hervorgebracht werden, ist jedoch gering, da keine Einflüsse von außen einwirken. Zum Outsourcing ist diese Form demnach nur geeignet, wenn der Grad der logistischen Leistungsfähigkeit und des logistischen Wissens ausreichend hoch sind. (Hartel 2006, S. 87)

Die *Beteiligungsgesellschaft* stellt eine Alternative zum Tochterunternehmen dar. Hieran sind zusätzlich zur ausgliedernden Gesellschaft noch weitere „Kapitalgeber in nennenswertem Umfang“ (Heinzl 1991, S. 65) an der Ausgründung beteiligt. Die Bildung kann analog zur Bildung einer Tochtergesellschaft erfolgen. Der Unterschied besteht jedoch darin, dass die Teilnahme an einer Beteiligungsgesellschaft häufig in erster Linie der Kapitalanlage dient. Dadurch erhöht sich die Gefahr von Interessenskonflikten zwischen ausgliederten Unternehmen und Kapitalanlegern. Zudem rückt die Vermarktung im Bereich der Drittgeschäfte stärker in den Mittelpunkt, um die Gewinne zu erhöhen. (Heinzl 1991, S. 65–67)

Die Gründung einer *Kooperation* von mehreren Unternehmen im Rahmen einer „gemeinschaftlich gegründete[n] rechtlich selbständige[n] Gesellschaft“ (Bruch 1998, S. 58) ist eine weitere Alternative des internen Outsourcings. Diese Variante der Ausgliederung ist insbesondere dann sinnvoll, wenn die einzelnen Unternehmen alleine nicht die erforderlichen Kapazitäten und/oder das erforderliche Know-how aufweisen, um die Funktionen in der gewünschten Form in Eigenleistung zu erbringen und sich die jeweilig defizitären Ressourcen unternehmensübergreifend komplementär ergänzen. Um die gewünschten Vorteile durch Ausgliederung realisieren zu können, ist deshalb vorab die Zusammensetzung der Kooperation genau zu prüfen. Neben den fachlichen Aspekten ist dabei zu bedenken, dass der Grad der möglichen Einflussnahme geringer wird und gegensätzliche Ziele umso wahrscheinlicher werden, je mehr Unternehmen an der Kooperation beteiligt sind. (Bruch 1998, S. 58; Yan und Luo 2001, S. 9)

Eine häufig anzutreffende Form der Unternehmenskooperation ist das Joint-Venture, welches von meist zwei oder aber auch mehr wirtschaftlich unabhängigen Unternehmen gebildet wird. Die Basis der Joint-Venture-Gesellschaft bilden vertragliche Vereinbarungen, die zum Teil nur auf eine befristete Laufzeit ausgelegt sind. Das ist in erster Linie dann sinnvoll, wenn absehbar ist, dass die treibenden Motive der beteiligten Unternehmen (die zum Beispiel aus bestimmten Projekten resultieren) nach einer bestimmten Zeit

Abb. 8.3 Einordnung der Geschäftsmodelle nach Einflussnahme und Kostensenkungspotenzial



nicht mehr relevant sind oder zunächst getestet werden soll, wie gut die Zusammenarbeit funktioniert. (Kutschker und Schmid 2011, S. 888–890; Schulte et al. 2009, S. 1–6) In der Logistik werden zur Leistungserfüllung die von den Joint-Venture-Partnern eingebrachten, bereits vorhandenen oder durch die neu gegründete Gesellschaft angeschaffte Ressourcen (Gebäude, Infrastruktur etc.) genutzt. (Müller-Dauppert 2009, S. 103)

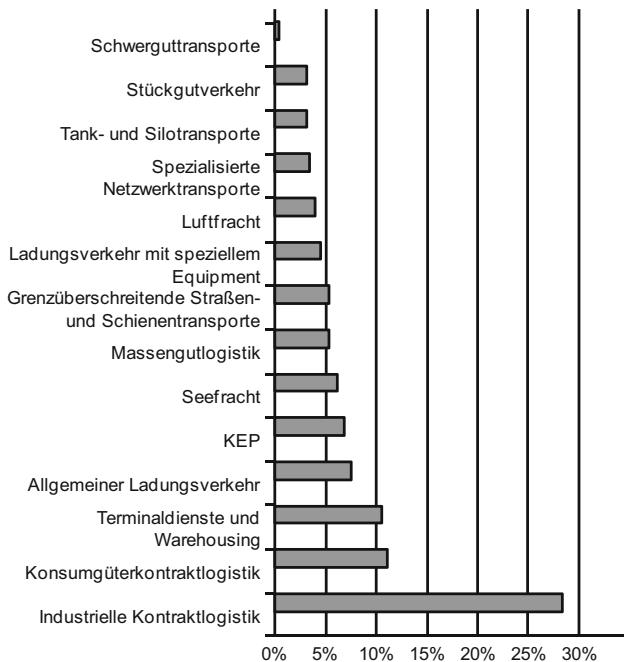
Welches der vorgestellten Geschäftsmodelle für ein Unternehmen das sinnvollste darstellt, ist fallspezifisch zu prüfen, da die Chancen und Risiken (siehe dazu Abschn. 8.7 und 9.6) je nach Modell unterschiedlich ausgeprägt sind. Bei der Entscheidung spielen insbesondere strategische Faktoren eine Rolle, welche die langfristige Motivation und Vision des Unternehmens widerspiegeln. In Abb. 8.3 ist die Einordnung der vorgestellten Geschäftsmodelle beispielhaft in Bezug auf die zwei Faktoren „Möglichkeit der direkten Einflussnahme“ und „Kostensenkungspotenzial“ dargestellt.

8.5 Markt und Marktentwicklung

Erst in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurde der Logistik im Rahmen der betrieblichen Entwicklung vermehrt Beachtung geschenkt (Arndt 2008, S. 28). Seitdem wird zunehmend das Potenzial in der Logistik gesehen, zum Unternehmenserfolg beizutragen. Um einerseits die Leistung zu verbessern und andererseits Einsparungen zu realisieren, wird das Logistikoutsourcing mehr und mehr genutzt. Während zunächst nur logistische Einzelleistungen fremdvergeben wurden, werden heute häufig immer komplexere Dienstleistungsbündel aus Basis- und Mehrwertleistungen (s. Abschn. 6.3) erbracht. Aus dieser Entwicklung hat sich ein Markt für Logistikdienstleistungen entwickelt, welcher sowohl in Vielfalt als auch in Größe wächst.

Der deutsche Logistikmarkt wird seit einigen Jahren regelmäßig untersucht und quantifiziert. Dabei hat sich eine Aufteilung in derzeit 14 Teilmärkte etabliert. Entsprechend

Abb. 8.4 Aufteilung des Logistikmarkts nach Umsatzvolumen 2011. (in Anlehnung an: Kille und Schwemmer 2012, S. 16)



der Studie *Challenges 2012* von Kille und Schwemmer ergab sich die Verteilung dieser Teilmärkte nach Umsatzvolumen im Jahr 2011 nach einer Hochrechnung¹ wie in Abb. 8.4 dargestellt.

Das Gesamtvolumen des Logistikmarkts von 223 Mrd. € umfasst dabei sowohl die logistischen Leistungen, die von Unternehmen eigenständig erbracht werden, als auch diejenigen logistischen Leistungen, die an externe Unternehmen fremdvergeben wurden. Dabei sind deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Teilmärkten festzustellen. So werden insbesondere solche Leistungen häufig fremdvergeben, bei denen es sich für einen Verlader selbst bei regelmäßiger Nutzung nicht oder kaum lohnen würde, ein eigenes Logistiksystem aufzubauen. Dies erklärt beispielsweise die höchste Outsourcingrate von jeweils 95 % in der Luftfracht und im KEP-Bereich. Somit werden hier gerade einmal 5 % der Logistikleistungen durch die Unternehmen in Eigenleistung erbracht. Besonders in Logistikbereichen, in denen komplexe Aufgaben zu erbringen sind, die mit einer langfristigen Bindung an den Dienstleister einhergehen und somit diverse Risiken bergen, ist der Anteil der fremdvergebenen Leistungen hingegen wesentlich geringer als der Anteil der Eigenerbringung. Terminaldienste und Warehousing sowie die industrielle Kontraktlogistik sind die Teilmärkte mit der niedrigsten Outsourcing-Rate von jeweils 25 %. (Kille und Schwemmer 2012, S. 21–22)

¹ Die Angabe der Logistikmarktzahlen eines vergangenen Jahres mit akzeptabler Robustheit ist laut Kille und Schwemmer (2012, S. 17) erst im dritten Quartal des jeweiligen Folgejahres möglich.

Im Folgenden werden die Teilmärkte im Einzelnen beschrieben. Die Erläuterungen basieren auf den Arbeiten von Klaus et al. (2010, S. 93–154) sowie Kille und Schwemmer (2012, S. 31–75). Da die Kontraktlogistik ausführlich in Unterkap. 9 behandelt wird, werden die Teilmärkte Konsumgüterkontraktlogistik und industrielle Kontraktlogistik an dieser Stelle von der spezifischen Betrachtung ausgeschlossen.

Massengutlogistik Der Teilmarkt der Massengutlogistik beinhaltet den Transport, den Umschlag und die Lagerung von Massengütern wie beispielsweise Kohle, Steine, Holz, Erdöl oder Getreide sowie notwendiger logistischer Zusatzleistungen. Aufgrund der großen Mengen, die in diesem Teilmarkt transportiert werden, werden im Fernverkehr häufig Binnenschiffe, Züge sowie Pipelines als Transportmittel genutzt. Zur regionalen Verteilung der Waren kommen hingegen LKW mit Spezialaufbauten (zum Beispiel Kipper- oder Silofahrzeuge) zum Einsatz.

Viele Massengüter fallen sehr saisonal an (z. B. Getreide) oder werden sehr saisonal verbraucht (z. B. Heizöl). Deshalb ist es in der Massengutlogistik von Bedeutung, große Lagerflächen vorzuhalten. Die Güter werden je nach Anforderungen auf Halden in Hallen, in Freilagern oder in Silos und Bunkern gelagert. Sie besitzen in der Regel eine geringe Wertdichte (Preis pro Tonne). Dadurch sind sie weniger zeikritisch als Güter in anderen Teilmärkten, wodurch die Transportdauer von geringerer Bedeutung ist als bei zeikritischen Gütern. Zudem ist die Minimierung von Lagerbeständen zur Reduzierung der Bestandskosten in der Massengutlogistik von geringerer Bedeutung als bei Gütern mit höherer Wertdichte.

Allgemeiner Ladungsverkehr Dieser Begriff umfasst diejenigen Transportleistungen, die in Form von Direktverkehren abgewickelt werden, wobei Transporte mit Spezialaufbauten ausgeschlossen sind. Meist kommen im Rahmen der Durchführung LKW oder Waggons des Einzelwagenverkehrs mit gängigen Planen- oder Kastenaufbau, Containern oder Wechselbrücken zum Einsatz. Die transportierten Güter sind meist abgepackt, zu einem großen Teil außerdem auch palettisiert und stapelbar und unterliegen des Weiteren keinen besonderen Schutz- und Handlinganforderungen. Das Sendungsgewicht liegt in der Regel zwischen 3 und 25 t.

Da keine Netzwerke zur Durchführung dieser Transporte erforderlich sind, sind die Markteintrittsbarrieren sehr gering. Dies begünstigt wiederum eine sehr zersplitterte Marktstruktur mit zahlreichen kleinen Unternehmen.

Schwerguttransporte Dienstleister im Teilmarkt „Schwerguttransporte“ bieten Transporte mit speziellen Fahrzeugen (z. B. Tieflade-, Kranfahrzeuge) sowie deren Planung und Organisation an. Häufig sind die Aufträge in Form von Projekten durchzuführen, da eine detaillierte Vorplanung sowie die Einbindung und Abstimmung mit verschiedenen Akteuren erforderlich ist. Es handelt sich hierbei um den umsatzmäßig kleinsten der vierzehn Teilmärkte. (Kille und Schwemmer 2012, S. 16)

Aufgrund des erforderlichen speziellen Equipments und des spezifischen Know-hows sind die Markteintrittsbarrieren in diesem Teilmarkt sehr hoch. Dadurch lässt sich auch der große Marktanteil der zehn größten Unternehmen dieses Teilmärkte erklären, welcher über 50 % liegt. Leistungen in diesem Bereich werden aufgrund der vielen Besonderheiten außerdem fast ausschließlich fremdvergeben und nicht vom eigenen Unternehmen erbracht.

Tank- und Silotransporte Dieser Teilmarkt umfasst den Transport von Flüssigkeiten, Gasen oder rieselfähigen Gütern, die in der Regel mit Hilfe von speziellen Tank- oder Silofahrzeugen auf der Straße oder der Schiene befördert werden. Des Weiteren werden häufig Zusatzleistungen angeboten, die beispielsweise die Reinigung der Aufbauten oder das Bereitstellen von Pump- und Messeinrichtungen umfassen. Dem Reinigen von Tanks und Silos kommt in diesem Teilmarkt eine besondere Bedeutung zu, da viele der transportierten Güter (Mineralöl-, Chemieprodukte, Lebensmittel) speziellen Hygieneanforderungen unterliegen.

Die Transporte finden zu einem großen Teil in Ganzladungen statt. Das Aufnehmen einer Rückladung ist in diesem Teilmarkt im Gegensatz zu Transporten im Teilmarkt des allgemeinen Ladungsverkehrs seltener möglich, da die zahlreichen unterschiedlichen Anforderungen an die Fahrzeugtechnik und Stoffunverträglichkeiten den Rücktransport eines anderen Gutes oft nicht erlauben.

Ladungsverkehr mit speziellem Equipment Alle Dienstleister, die keinem anderen Teilmarkt der Ladungsverkehre zugeordnet werden können, sind hier zusammengefasst. Dadurch ergibt sich ein sehr heterogener Teilmarkt. Exemplarische Dienstleistungen sind: Ganzfahrzeugtransporte, Sperrgut- und Kühltransportlogistik sowie Vieh- und Flachglastransporte. Dieser Heterogenität ist es auch geschuldet, dass es keine typischen Güter in diesem Teilmarkt gibt und die verladenden Unternehmen aus den verschiedensten Branchen kommen.

Stückgutverkehr Der Teilmarkt „Stückgutverkehr“ beinhaltet den Transport von „individuell etikettierten Trocken- und Stapelgütern im Sendungs-Gewichtsbereich von ca. 30 kg bis ca. 2.500 kg.“ (Kille und Schwemmer 2012, S. 47) Größere Sendungen werden in der Regel über den Teilmarkt des allgemeinen Ladungsverkehrs abgewickelt, während kleinere Sendungen dem KEP-Markt zuzuordnen sind. Des Weiteren sind diesem Teilmarkt hauptsächlich Güter zuzurechnen, die abgepackt sowie stapelbar sind und die keine speziellen Anforderungen an den Transport oder den Umschlag stellen.

Die Prozesse dieses Teilmarkts sind stark standardisiert und es werden ausschließlich Standard-Fahrzeuge genutzt. Sendungen werden in der Regel regional an so genannten Umschlagpunkten oder Hubs gesammelt, für den Fernverkehr gebündelt und ein- oder zweistufig zum Ziel-Hub befördert. Dort findet neben einem weiteren Umschlag eine Tourenzuordnung statt. Auf der entsprechenden Tour werden die Waren abschließend regional mit Verteilfahrzeugen an die Empfänger ausgeliefert.

Um ein konkurrenzfähiges Angebot hinsichtlich Kosten und Laufzeit abgeben zu können ist ein großes Netzwerk erforderlich. Auf dem Stückgutmarkt sind deshalb große Konzerne und Kooperationen zu finden, die eine entsprechende Flächendeckung und ein entsprechendes Mengenaufkommen gewährleisten können.

Spezialisierte Netzwerktransporte Dienstleister im Bereich der spezialisierten Netzwerktransporte bieten „projektorientierte Transport- und Logistikgeschäfte für besonders empfindliche und handlungsbedürftige Güter.“ (Kille und Schwemmer 2012, S. 59) Beispiele hierfür sind Möbel und Sportgeräte, Messe-Stände und Event-Requisiten sowie Medizingeräte. Neben dem Transport werden häufig beispielsweise der Aufbau und die Montage der Güter angeboten. Wie auch im Teilmarkt „Schwerguttransporte“ werden die hier angebotenen Dienstleistungen in Form von projektartigen Geschäften abgewickelt, welche „eine besondere Planung [erfordern] und hohe Anforderungen an Mehrwertleistungen [stellen].“ (Kille und Schwemmer 2012, S. 59)

Terminaldienste und Warehousing Dienstleistungen dieses Teilmärkts beinhalten das Angebot von Infrastruktur-Funktionen und logistischen Leistungen durch unabhängige Terminal- und Lagerhausbetreiber, die nicht durch andere eng integrierte Dienstleistungspakete abgedeckt werden. Somit sind beispielsweise „Tankfarmen der Mineralölwirtschaft, Siloanlagen für landwirtschaftliche Produkte, Läger der Energie- und Grundstoffwirtschaft, verselbständigte Läger für Fertig-Automobile, [...] Güterverkehrszentren und Cargo-Flughafeneinrichtungen“ (Klaus et al. 2010, S. 138) Bestandteil dieses Segments. Logistikdienstleister aus anderen Teilmärkten greifen insbesondere auf die Terminaldienste an See-, Binnen- und Flughäfen zurück um ihre verkehrsträgerübergreifenden Transportketten realisieren zu können.

KEP Dieser Teilmarkt umfasst Kurier-, Express- und Paketdienste, worin in der Regel Transporte von kleinstückigen Gütern enthalten sind, die ein Gewicht von 31,5 kg nicht überschreiten. Güter, die außerhalb eines typischen Volumen- oder Gewichtsbereichs liegen, werden für gewöhnlich über den oben beschriebenen Stückgutverkehr abgewickelt. Zusammen mit dem Teilmarkt „Luftfracht“ verfügt der KEP-Markt über den größten Outsourcing-Anteil: 85 % der Leistungen (gemessen am Umsatz) werden an Dritte fremdvergeben.

Kurierdienste umfassen meist kleinere Sendungen. Die Waren werden in der Regel nicht gebündelt sondern auf direkten und begleiteten Fahrten vom Versender zum Empfänger befördert. Dadurch sind keine großen Netzwerke für den Markteintritt erforderlich und auch Kleinstunternehmen können diesen Service anbieten. Im Gegensatz dazu ist der Bereich der Paketdienste durch hoch standardisierte und flächendeckende Netzwerke gekennzeichnet. In sogenannten Depots werden Sendungen vor bzw. nach dem Hauptlauf ge- bzw. entbündelt. Aufgrund des hohen Automatisierungsgrads und den daraus entstehenden Anforderungen an standardisierte Güter, sind die Volumen- und Gewichtsbeschränkungen hier besonders zu beachten. Auch im Bereich „Express“ werden

spezielle Netzwerke genutzt, die eine schnelle, termingenaue Beförderung der Sendung gewährleisten können. Dadurch ist auch zu erklären, dass es sich beim KEP-Markt um den am wenigstens differenzierten Logistik-Teilmarkt handelt. Die zehn anteilsstärksten Unternehmen erwirtschaften 86 % des Umsatzes.

Eine weitere Besonderheit des KEP-Markts ist, dass sich die Verladerseite sehr diversifiziert darstellt. Neben der großen Gruppe des Versandhandels, die Waren vom Unternehmen zum Privatkunden verschicken („business-to-consumer“) wird ein großer Teil der Aufträge auch von Unternehmen im Bereich „business-to-business“ vergeben. Dabei sind neben kleinen bzw. geringzahligen Materialien häufig Ersatzteile und Dokumente zu befördern. Des Weiteren werden Pakete auch im Privatbereich („consumer-to-consumer“) verschickt. Der Anteil dieser am Gesamtvolumen des Teilmarkts ist jedoch gering.

Grenzüberschreitende Straßen - und Schienentransporte In diesem Teilmarkt sind alle grenzüberschreitenden „outbound“-Transporte² sowie damit verbundene Logistikleistungen enthalten, die über Land, also über die Straße oder die Schiene, erfolgen. Eine Trennung analog zum innerdeutschen Verkehr erfolgt in diesem Segment nicht. Demnach sind hierin sowohl grenzüberschreitende Massengutverkehre, als auch grenzüberschreitende Ladungs- und Stückgutverkehre enthalten.

Seefracht Unter Seefracht werden alle weltweiten so genannten „outbound“-Transporte verstanden, die auf dem Seeweg durchgeführt werden. Mit eingeschlossen in diesen Teilmarkt sind Speditions-, Seehafenspeditions- und Reedereileistungen, deren Schwerpunkt diese Transporte betreffen. Aufgrund der charakteristischen Eigenschaften dieses Verkehrsträgers werden vielfach Massengüter, wie Kohle und Raffinerieprodukte, transportiert. Auch Stückgutverkehre werden noch durchgeführt, während etwa die Hälfte der Gesamttonnage in diesem Teilmarkt mittlerweile auf in Containern verstauter Güter entfällt. Die Verlader sind zu einem großen Teil exportierende Unternehmen aus dem Automobil- oder Maschinenbau und aus der Chemieindustrie. Dieser Teilmarkt verfügte im Jahr 2011 laut Hochrechnung mit 9 % über das größte prozentuale Wachstum in der Logistik.

Luftfracht Der Teilmarkt „Luftfracht“ umfasst analog zum Teilmarkt „Seefracht“ neben den weltweiten „outbound“-Transporten auch alle Speditionsleistungen im Bereich Luftverkehr. Somit gehören zu den Dienstleistern am Markt sowohl Frachtführer (Aircargo-Carrier), als auch Luftfrachtagenten und Luftfrachtspeditionen. Während Luftfrachtagenten die Akquisition von Luftfrachtsendungen und den Abschluss von Beförderungsverträgen im Namen von Luftfrachtgesellschaften und für deren Rechnung mit

² Unter einem „outbound“-Transport wird ein grenzüberschreitender Transport verstanden, dessen Quelle sich im In- und dessen Senke sich im Ausland befindet. Die Umsätze, die im Inland fakturiert und umsatzsteuerlich erfasst wurden, werden vollständig diesem Land zugerechnet (Klaus et al. 2010, S. 37–38).

den Verladern übernehmen, übernehmen Luftfrachtspediteure die Organisation von Luftfrachtverkehren im eigenen Namen für die Rechnung des Versenders oder des Empfängers (Schieck 2008, S. 244).

Aufgrund des Zeitvorteils des Verkehrsträgers sind zeitkritische Sendungen, beispielsweise aus der Produktions- und Ersatzteilversorgung, typisch für diesen Teilmarkt. Doch auch andere zeitkritische Güter, wie Lebensmittel oder Blumen, werden aufgrund ihrer begrenzten Haltbarkeit per Luftfracht versendet.

8.6 Vorgehensweise bei der Fremdvergabe

Bei der Fremdvergabe logistischer Leistungen ist zwischen den drei folgenden Möglichkeiten zu unterscheiden:

- Kurzfristige und/oder einmalige Vergabe logistischer Einzelleistungen
- Langfristige Vergabe einfacher logistischer Leistungen in Form von Rahmenverträgen oder längerfristigen Vereinbarungen
- Vergabe komplexer logistischer Leistungen in Form von langfristigen (Rahmen-)Verträgen

Bei der zuerst genannten Variante wird auch vom sogenannten Spotmarkt gesprochen. Auf diesem werden Gütermengen gehandelt, die kurzfristig abzuwickeln sind und freie Kapazitäten angeboten, die ebenfalls kurzfristig zur Verfügung stehen. Meist handelt es sich dabei um Transportaufträge. Die zweite Variante (langfristige Vergabe einfacher logistischer Leistungen) beinhaltet in der Regel einfache Transport- und Lageraufgaben, die regelmäßig und mindestens grob planbar sind. Die Vorgehensweise bei der Fremdvergabe in Bezug auf diese beiden Varianten wird im Folgenden beschrieben. Die dritte Variante (Vergabe komplexer logistischer Leistungen) ist im Rahmen der Kontraktlogistik anzutreffen. Aufgrund der dabei anzutreffenden zahlreichen Besonderheiten wird das entsprechende Vorgehen ausführlich in Abschn. 9.5 behandelt.

8.6.1 Fremdvergabe von Einzelleistungen auf dem Spotmarkt

Wie vorangehend bereits beschrieben, dient der Spotmarkt in der Regel der kurzfristigen und einmaligen Vergabe logistischer Einzelleistungen. Verlader greifen insbesondere für Transporte darauf zurück, die nicht planbar sind oder wenn eine kurzfristige Mengensteigerung bewältigt werden muss. Häufig wird dann telefonisch, per E-Mail oder per Fax auf bekannte und regelmäßig beauftragte Frachtführer zurückgegriffen.

Die so genannten Frachtenbörsen sind schon seit längerem ein weiteres, beliebtes Instrument, welches insbesondere von Frachtführern und Spediteuren zum Angebot und zur Vergabe kurzfristiger Aufträge genutzt wird. Es handelt sich dabei um virtuelle Marktplätze im Internet. Bei der Auftragsvergabe über eine Frachtenbörse im Spotmarkt bestehen zwischen den Beteiligten in der Regel keinerlei Partnerschaftsvereinbarungen. Gehandelt werden lediglich einmalige (vorwiegend Transport-) Aufträge, die über eine Internetplattform dem Nutzerkreis gegenüber zugänglich gemacht werden. (Jurczyk et al. 2006, S. 279; ten Hompel und Heidenblut 2011, S. 105) Die Preise werden dann häufig telefonisch auf Basis tagesaktueller Sätze vereinbart. (Meier 2008, S. 137) Auch eine Preisverhandlung über die Seiten des Internetportals ist denkbar. Je nach Anbieter besteht beispielsweise die Möglichkeit der Durchführung einer reversen Auktion bei der von einem Startpreis ausgehend abwärts geboten werden kann. Um der zeitkritischen Beschränkung auf dem Spotmarkt gerecht zu werden, können bestimmte Qualitäts- und Preiskriterien angegeben werden und der erste Bieter, der diese Kriterien erfüllt, bekommt den Zuschlag. (Wannenwetsch 2004, S. 182–183) Die Zielgruppe dieser einfachen Frachtenbörsen sind Spediteure und Frachtführer, während Verlader häufig keinen Zugang haben. Für Verlader eignen sich hingegen elektronische Marktplätze für Transport- und Logistikleistungen. Diese ermöglichen häufig auch die Auftragsvergabe auf dem Spotmarkt, sind aber in erster Linie für komplexere Geschäfte gedacht. (Meier 2008, S. 137–138)

8.6.2 Fremdvergabe einfacher Leistungen in Form von langfristigen Verträgen

Verträge über die Abwicklung einfacher logistischer Aufgaben mit einer Laufzeit von mindestens einem Jahr werden in der Regel anhand von Ausschreibungen vergeben. In einer solchen Ausschreibung sind verschiedene Angaben über die erwartete Dienstleistung zu machen, welche dem Dienstleister eine möglichst genaue Kalkulation der zu erwartenden Kosten und Preise ermöglicht. Im Bereich von Transportausschreibungen gehören dazu beispielsweise Sendungsdaten aus einer repräsentativen Periode oder erwartete Mengen und Sendungsprofile, Anforderungen an das Dienstleistungsunternehmen (z. B. Lieferzeiten, -fristen, Fahrerqualifikation, Fahrzeugbeschaffenheit) sowie die Art der Auftragsübermittlung. (Bergauer und Stiasni 2008, S. 69–70; Schemel 2008, S. 100)

Die Verteilung der Ausschreibungsunterlagen an entsprechende Dienstleister kann ebenfalls auf unterschiedlichem Wege erfolgen: Während bei kleinen und übersichtlichen Ausschreibungen mit wenigen teilnehmenden Dienstleistern der Versand in Papierform oder als E-Mail gut möglich ist, sollten Ausschreibungen mit einem größeren Datenvolumen beispielsweise auf einem Datenträger gespeichert und verschickt werden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die erforderlichen Informationen und Daten auf einem elektronischen Marktplatz bereitzustellen und den gewünschten Dienstleistern den Zugang durch Zusendung eines Nutzerkennworts zu ermöglichen. Spezialisierte E-Marktplätze bieten

zum Teil technische Unterstützung bei der Erstellung von u. a. Transportausschreibungen an. (Bergauer und Stiasni 2008, S. 71; Schemel 1999, S. 95)

Wurde ein Vertrag geschlossen, erfolgt beispielsweise im Falle von Transportdienstleistungen die Beauftragung einer Abholung von Waren telefonisch, per Fax oder elektronisch „auf Zuruf“. Alternativ werden feste, regelmäßige Termine und/oder Zeiten vereinbart, zu denen Abholungen und Transporte erfolgen. Die genauen Sendungsdaten (z. B. Anzahl Packstücke, Empfänger) werden dann im Falle der elektronischen Beauftragung und Datenübermittlung in der Regel vor der Abholung übermittelt. Erfolgt die Transportanmeldung nicht auf elektronischem Wege, so werden diese Informationen während der Abholung mit der Übergabe der Lieferscheine an den Fahrer weitergegeben.

Ein langfristiger Vertrag mit einem Verlader gibt einem Dienstleister Planungssicherheit, so dass dieser im Gegenzug gegebenenfalls dazu bereit ist, günstigere Preise anzubieten. Besonders hoch ist die Sicherheit für den Dienstleister dann, wenn die Preise in einem bestimmten Rahmen mengenvariabel festgelegt sind. So finden sich im Transportbereich Vertragsmodelle, nach denen die Preise für das transportierte Gut davon abhängig sind, wie viel Frachtraum tatsächlich in Anspruch genommen wurde. Zur Preiskalkulation werden dabei bestimmte zu erwartende Mengen zu Grunde gelegt. Im Anschluss an eine bestimmte Zeitperiode erfolgt dann die Überprüfung des in dieser Periode tatsächlich in Anspruch genommenen Frachtraums. Weicht dieser Wert von der erwarteten Menge außerhalb eines bestimmten Bereichs nach oben oder unten ab, so werden die Preise nachträglich entsprechend der Festlegung im Vertrag korrigiert und die Abrechnung wird erstellt. Vorteilhaft für den Dienstleister ist dabei besonders, dass die Stückpreise bei niedrigeren Mengen steigen. Der Vorteil der mengenvariablen Preisgestaltung für den Verlader besteht hingegen darin, dass die Stückpreise bei steigenden Mengen sinken.

8.7 Chancen und Risiken der Fremdvergabe

Aus der Fremdvergabe logistischer Leistungen ergeben sich für die beteiligten Unternehmen verschiedene Vorteile und Risiken, die im Weiteren in die vier Gruppen strategische, leistungsbezogene, kostenbezogene sowie personalbezogene Faktoren eingeteilt werden. Strategische Faktoren beschreiben dabei solche, die sich langfristig auf das Unternehmen auswirken. Leistungsbezogene Faktoren haben hingegen in qualitativer und quantitativer Weise Einfluss auf den Output des Unternehmens. Die wirtschaftlichen Auswirkungen der Fremdvergabe lassen sich durch die kostenbezogenen Faktoren beschreiben. Personalbezogene Faktoren befassen sich schließlich mit den Folgen in Bezug auf die Mitarbeiter und das Personalwesen.

Während in der bestehenden Literatur die Chancen und Risiken, die für Verlader entstehen, vielfach und ausgiebig diskutiert werden, werden die Chancen und Risiken, welche sich für die Dienstleister ergeben, nur selten betrachtet. Um jedoch beiden In-

teressengruppen gerecht zu werden, werden mögliche Auswirkungen für beide Seiten erläutert.

Grundsätzlich ist die Ausprägung der Chancen und Risiken sowohl für Verlader als auch für Dienstleister abhängig von der Leistungstiefe, der Spezifität und der Komplexität der fremdvergebenen Leistungen. Da die Themenbereiche Logistikoutsourcing und Kontraktlogistik eng miteinander verbunden sind, werden diejenigen Chancen und Risiken, die insbesondere für den Bereich der Kontraktlogistik gelten hier nur angeschnitten und in Abschn. 9.6 vertieft.

8.7.1 Chancen und Risiken für Verlader

Dieser Unterabschnitt widmet sich zunächst den Chancen und Risiken, die sich für den Verlader – also für das auftraggebende Unternehmen – im Falle einer Fremdvergabe logistischer Leistungen an einen Dienstleister ergeben. Aus Gründen der Lesbarkeit und der sich vielfach repetierenden Nennung derselben Chancen und Risiken in den unterschiedlichen Quellen, wird im Folgenden auf detaillierte Quellenverweise verzichtet. Soweit nicht anders im Text angegeben, basieren die Inhalte auf den folgenden Quellen: Bruch 1998, S. 31–35; Lang 2009, S. 177–182; Raubenheimer 2010, S. 16–21; Selviaridis et al. 2008, S. 385; Vahrenkamp 2007, S. 387–389.

Strategisch Die direkten strategischen Chancen für das fremdvergebende Unternehmen ergeben sich zum größten Teil daraus, dass es sich auf seine Kernkompetenzen konzentrieren kann und einen Aufgabenbereich, welcher nicht zur Kernkompetenz des Unternehmens gehört und in welchem es nicht (jedenfalls nicht selbstständig) in der Lage ist, Wertschöpfung zu generieren, an einen Dienstleister vergibt. Dadurch können bisher im Aufgabenbereich gebundene, finanzielle Mittel für strategisch bedeutendere Funktionen genutzt werden.

Mit Hilfe der Expertenbeauftragung erfolgt in der Regel auch eine Optimierung der vergebenen Prozesse. Die Optimierung kann dabei auf die bessere Ausstattung mit technischen Ressourcen oder auf die höhere Kompetenz des Dienstleisters zurückgeführt werden. Während die Optimierung der Prozesse durch den Dienstleister zunächst als Vorteil zu sehen ist, wächst jedoch gleichzeitig das Risiko der Abhängigkeit vom Logistikdienstleister, je spezifischer und komplexer die fremdvergebenen Leistungen sind, da die Reintegration in das eigene Unternehmen oder die Übernahme durch einen anderen Dienstleister immer schwieriger zu realisieren ist. Dieses Phänomen wird als Irreversibilität bezeichnet. In engem Zusammenhang dazu steht auch die Gefahr des Know-how-Verlusts innerhalb des eigenen Unternehmens.

Ein weiteres einhergehendes Risiko kann die Einschränkung der unternehmerischen Gestaltungsfreiheit zusammen mit der Reduzierung der Entscheidungsfreiheit darstellen, welche durch die Übertragung der Aufgaben- und Funktionserfüllung an den

Logistikdienstleister erfolgt. Die Möglichkeit der Einflussnahme in Bezug auf die Leistungserstellung nimmt deutlich ab. Das fremdvergebende Unternehmen begibt sich damit in die Abhängigkeit des Logistikdienstleisters.

Eine weitere Chance stellt hingegen die Verbesserung der Kundenzufriedenheit dar. Diese ergibt sich aus der Annahme, dass der Dienstleister als Experte die Aufgaben in einer höheren Qualität erbringen kann. Daraus resultiert eine höhere Zufriedenheit der Endkunden. Da eine hohe Logistikqualität entscheidend für die Kundenerhaltung und auch für die Erweiterung des Kundenkreises durch Mundpropaganda ist, handelt es sich um einen strategischen Faktor.

Positiv zeichnet sich ab, dass fremdvergebende Unternehmen von einer vereinfachten Organisationsstruktur profitieren können. Wo zuvor häufig historisch gewachsene, komplexe Strukturen bestanden, entsteht aus Sicht des Unternehmens für die Gesamtheit der vergebenen logistischen Leistungen eine einzelne Organisationseinheit.

Zudem besteht die Chance der Flexibilitätserhöhung für das fremdvergebende Unternehmen. Diese kann dadurch entstehen, dass der Logistikdienstleister die Kapazitäten für den einzelnen Kunden entsprechend den aktuellen Marktbedingungen kurzfristig erhöhen oder senken kann. Dazu ist er insbesondere durch die Übernahme ähnlicher Aufgaben für verschiedene Unternehmen fähig, wodurch er für verschiedene Kunden auf dieselben Ressourcen zurückgreifen kann. Bei Mengenschwankungen können die Ressourcen dann entsprechend ihrer Nachfrage unterschiedlich verteilt und optimal genutzt werden.

Von strategischem Vorteil für den Verlader ist auch die teilweise Verlagerung des unternehmerischen Risikos vom eigenen Unternehmen auf den Dienstleister. Der Vorteil ergibt sich daraus, dass Ressourcen, die für die Erfüllung der Leistungen erforderlich sind, im Verantwortungsbereich des Dienstleisters liegen und auch von diesem zu beschaffen sind. Die Gefahr, dass sich die Investitionen aufgrund unvorhergesehener Veränderungen am Markt nicht rentieren, lastet somit (je nach Vertragsvereinbarung mindestens zu einem Teil) auf dem Dienstleister.

Die Fremdvergabe an ein externes Unternehmen kann des Weiteren die Möglichkeit bieten, in neue Märkte einzutreten. Insbesondere Dienstleister mit einem weitflächigen, internationalen Netzwerk können neue Perspektiven in Bezug auf die globale Vermarktung bieten. Dem steht jedoch gegenüber, dass sich der Verlust des direkten Kundenkontaktes negativ auswirken kann. Dies resultiert daraus, dass die Logistik häufig einen persönlichen Berührungspunkt zwischen Kunde und Unternehmen darstellt, an welchem möglichst Wert darauf gelegt werden sollte, ein positives Bild vom Unternehmen zu hinterlassen.

Ein weiteres strategisches Risiko stellt die so genannte Substituierbarkeit der Leistungen und somit der Verlust eines Differenzierungskriteriums dar. Substituierbarkeit tritt ein, wenn ein Logistikdienstleister die gleichen Leistungen für zwei oder mehr Unternehmen gleichermaßen durchführt und somit für den Endkunden in Bezug auf die logistische Leistung kein Differenzierungsmerkmal zwischen den Unternehmen zu erkennen ist. Der Endkunde kann das Produkt bei sonstiger Gleichheit demnach ohne Einschränkung ersetzen. Die Bedeutung dieses Risikos steigt, je komplexer die logisti-

sche Leistung und je gewichtiger die Differenzierung in Bezug auf die logistische Leistung von Konkurrenzunternehmen (Xia et al. 2007, S. 82).

Die Sorge um den Verlust von Betriebsgeheimnissen stellt einen zusätzlichen Punkt dar, welcher gegen die Fremdvergabe logistischer Leistungen spricht. Auch hier ist die Gefahr umso größer, je komplexer die vom Dienstleister übernommenen Funktionen und je größer der damit gewonnene Einblick in das Unternehmen und in die Unternehmensabläufe. Als Extremfall schildern Gilley und Rasheed (2000, S. 767) diesbezüglich, dass asiatische Firmen in den U.S.-Markt eingetreten sind, indem sie im Auftrag amerikanischer Firmen arbeiteten und anschließend im selben Markt wie ihr vorheriger Kunde tätig geworden sind.

Neben den Faktoren, die sich direkt durch die Fremdvergabe logistischer Leistungen ergeben, ist schließlich auch ein indirekter Faktor von Bedeutung. Im Rahmen der Entscheidung für oder gegen die Fremdvergabe und vor allem bei der Ausschreibung/Angebotseinhaltung muss sich das Unternehmen möglichst intensiv mit den eigenen Stärken und Schwächen auseinanderzusetzen. Dies schafft Klarheit in Bezug auf die langfristigen Unternehmenspläne und -ziele. Bei der Vergabe ist jedoch sicherzustellen, dass es nicht zu Fehleinschätzungen kommt. Werden Leistungen fremdvergeben, die zu den Stärken des Unternehmens zählen und als Wettbewerbsvorteil gegenüber anderen Unternehmen genutzt werden können, so kann dies zum Verlust des Wettbewerbsvorteils und damit zur Verschlechterung der Marktstellung führen.

Leistungsbezogen Von der Fremdvergabe, insbesondere komplexer logistischer Leistungen, versprechen sich die Auftraggeber in der Regel eine Leistungs- bzw. Qualitätssteigerung, welche auf der Spezialisierung und dem damit einhergehenden spezifischen Know-how des Logistikdienstleisters beruht. Weiterhin kann der Einsatz aktueller Technik durch den Dienstleister zur Leistungssteigerung beitragen. Eine Verbesserung kann je nach ausgegliederter Funktion zum Beispiel eine höhere Lieferzuverlässigkeit oder eine Verringerung des Bestands darstellen.

Diese Chance kann jedoch auch ein Risiko darstellen, wenn die Qualifikation des Dienstleisters falsch eingeschätzt wurde oder sie innerhalb der Vertragslaufzeit nachlässt. Dadurch kann es zu einer qualitativ unzureichenden Leistungserbringung kommen, welche das fremdvergebende Unternehmen nicht direkt beeinflussen kann. Die entsprechend beim Endkunden auftretenden Mängel erhöhen das Risiko eines Imageverlustes zu Lasten des Auftraggebers.

Neben der eher qualitativen Auswirkung durch den Dienstleistereinsatz besteht auch eine quantitative leistungsbezogene Chance. Sie ergibt sich aus der Möglichkeit Leistungsspitzen, welche sich aus Nachfrageschwankungen am Markt ergeben, einfach und kostengünstig abzudecken und wurde aufgrund der vielseitigen Effekte bereits im Rahmen der strategischen Faktoren vorgestellt.

Insbesondere bei der Fremdvergabe ganzer Funktionsbereiche kann außerdem eine räumliche Distanz zwischen dem Dienstleister und dem Auftraggeber ein Risiko in Bezug auf die Leistungserstellung darstellen, wenn dadurch zusammenhängende Prozesse

gestört werden. Kurzfristige Termine und Abstimmungen vor Ort sind dann oft nicht möglich. Dadurch, aber auch aufgrund der generellen Schnittstellenproblematik, können dann Kommunikations- und Koordinationsprobleme entstehen, die eine optimale Leistungserbringung erschweren.

Kostenbezogen Die kostenbezogenen Chancen eines Fremdvergabe-Projekts nehmen häufig eine sehr bedeutende, teilweise auch die bedeutendste Stellung im Rahmen der Entscheidung über Eigen- oder Fremderstellung ein. Es wird erwartet, dass die Kosten, die durch den Einsatz eines Dienstleisters entstehen, niedriger sind als die Kosten bei Eigenerstellung. Dies resultiert aus der Annahme, dass die im Folgenden beschriebenen Kostenvorteile vom Logistikdienstleister zu einem Teil an das fremdvergebende Unternehmen weitergegeben werden.

Zum einen spielen bei dieser Annahme die Skaleneffekte eine Rolle, die durch die Bündelung mehrerer Kundenaufträge entstehen können. Am einfachsten ist die Bündelung bei dem Angebot einfacher Einzelleistungen, die keiner spezifischen Kundenausrichtung bedürfen. Zum anderen ist ausschlaggebend, dass es sich bei den logistischen Dienstleistungen um die Kernkompetenz des Dienstleisters handelt und er durch ein monetär und/oder qualitativ gutes Angebot am Markt bestehen muss. Dadurch wird erwartet, dass ein Dienstleister die Aufgaben wirtschaftlicher erfüllt als das fremdvergebende Unternehmen, welches die Aufgaben nicht als seine Kernkompetenz sieht. Die Bündelung von Kundenaufträgen ermöglicht dem Dienstleister außerdem die Nutzung besserer Einkaufskonditionen, die wiederum auf einer Mengendegression basieren.

Ein weiterer Grund für die erwartete günstigere Leistungserstellung besteht in den niedrigeren Personalkosten die dem Dienstleister entgegen dem eigenen Unternehmen entstehen. Dies steht vor allem in Zusammenhang mit der sogenannten Branchenarbitrage. Darunter werden Vorteile verstanden, die aufgrund der unterschiedlichen Branchenzugehörigkeit der beteiligten Unternehmen entstehen, wie eben die Personalkosten betreffenden verschiedenen Lohnkostenniveaus.

Wie bereits unter den strategischen und den leistungsbezogenen Chancen behandelt, ist auch hier die flexible Reaktionsfähigkeit zu nennen, im Rahmen derer der Logistikdienstleister über die Möglichkeit verfügt, vorhandene Ressourcen intern entsprechend der Nachfrage zu verteilen und so Schwankungen auszugleichen. Um eine durchgängig gleichbleibende Leistungsfähigkeit zu gewährleisten, müsste der Auftraggeber hingegen seine Ressourcen im Falle der Eigenerstellung am Nachfragemaximum ausrichten.

Voraussetzung zur Realisierung der Kostenersparnis ist die richtige Einschätzung der Kosten bei Eigenerstellung, der Kosten für Transaktions- und Umstellungskosten sowie der fortlaufenden Kosten für zusätzlichen Kommunikationsaufwand. Hierin besteht eine häufig unterschätzte Gefahr. So kann eine mangelnde Kostentransparenz im eigenen Unternehmen zu einer Fehleinschätzung führen. Im Bereich der Umstellungskosten kann außerdem die fehlende Berücksichtigung von beispielsweise Kosten für den Personalabbau zu einer fehlerhaften Kostenkalkulation führen. Der Kommunikationsaufwand nimmt unweigerlich aufgrund der Schaffung neuer Schnittstellen zu. Im Umkehrschluss

kann in diesen Fällen das erhoffte Kostensenkungspotenzial durch die Fremdvergabe nicht realisiert werden. Des Weiteren ist abzuschätzen, wie groß das Risiko einer späteren Preis-erhöhung durch den Dienstleister ist, welche sich negativ auf die erwartete Kostenersparnis auswirken würde.

Neben der direkten Einsparung von Kosten, ist die Umwandlung fixer Kosten in variable Kosten als kostenbezogene Chance bei der Fremdvergabe zu sehen. Fixe Kosten in Form von Kapitalinvestitionen können reduziert werden, da das fremdvergebende Unternehmen sowohl die organisatorische als auch die finanzielle Verantwortung für Investitionen in logistische Ressourcen auf den Dienstleister verlagert und diesen dann – bei vollständig oder teilweise mengenabhängigen Preiskonditionen – entsprechend des Grads der Inanspruchnahme bezahlt. Diese Variabilisierung hat zudem einen positiven Effekt in Bezug auf die Kostentransparenz im Bereich Logistik, was sich wiederum auf das Kostenbewusstsein innerhalb des Unternehmens auswirkt. Bei einem Outsourcingprojekt muss jedoch bedacht werden, dass der erwartete Kostenvorteil nicht kurzfristig eintritt, sondern eher mittel- bis langfristig realisiert werden kann, da viele Fixkosten nicht mit einem Mal abgebaut werden können.

Des Weiteren können durch die Fremdvergabe Opportunitätskosten vermieden werden, da zum einen finanzielle Mittel anstatt für logistische Ressourcen für rentablere Investitionen innerhalb der Kernkompetenzen des Unternehmens verwendet werden können. Zum anderen können Opportunitätskosten durch den Einsatz eines ausreichend ausgestatteten Dienstleisters vermieden werden, wenn ein Teil des Marktes zuvor aufgrund zu geringer Kapazitäten nicht voll ausgeschöpft werden konnte. Entsprechend können Kunden gewonnen werden, die zuvor auf die Produkte des Unternehmens aufgrund mangelnder Logistikqualität (beispielsweise zu lange Lieferzeiten) verzichtet haben.

Ein zusätzliches kostenbezogenes Risiko stellt die finanzielle Lage des beauftragten Logistikdienstleisters dar. Je irreversibler die fremdvergebenen logistischen Leistungen, umso abhängiger ist das Unternehmen vom Dienstleister und umso gravierender die Auswirkungen auf das Unternehmen bei finanziellen Schwierigkeiten des Dienstleisters. Die Abhängigkeitsbeziehung kann dazu führen, dass das fremdvergebende Unternehmen den Dienstleister finanziell unterstützt um eine gleichbleibende Logistikqualität zu erreichen. Ein Dienstleisterwechsel, beispielsweise aufgrund einer Insolvenz, oder die Reintegration der logistischen Leistungen in das eigene Unternehmen bedeutet einen immensen zeitlichen und finanziellen Aufwand.

Personalbezogen Einen personalbezogenen Vorteil sehen fremdvergebende Unternehmen im flexiblen Zugriff auf Humanressourcen. Insbesondere bei der Nutzung desselben Personals für mehrere Kundenaufträge kann der Logistikdienstleister diese Ressource nach Bedarf einsetzen. Die Verantwortung für die Bestimmung der Höhe des Personalbedarfs und die Beschaffung desselben liegt beim Dienstleister. Das Personalmanagement des Auftraggebers wird somit entlastet.

Ein personalbezogenes Risiko betrifft die Mitarbeitermotivation, welche insbesondere dann sinken kann, wenn ein Unternehmensbereich inklusive der Mitarbeiter ausgegli-

dert wird. Ein Motivationsverlust tritt häufig ein, wenn im Rahmen der Ausgliederung, mit Übernahme der Mitarbeiter durch den Logistikdienstleister, auf lange Sicht hin eine Schlechterstellung oder sogar der Verlust des Arbeitsplatzes absehbar ist. Dadurch kann gegebenenfalls intern auch Widerstand gegen das Outsourcing-Vorhaben entstehen. Auswirkungen auf die quantitative und qualitative Leistung sind oft die Folge.

8.7.2 Chancen und Risiken für Dienstleister

Nachdem im vorangehenden Unterabschnitt die Chancen und Risiken des Logistik-outsourcing für Verlader erläutert wurden, soll nun die Dienstleisterseite betrachtet werden.

Strategisch Die Übernahme logistischer Aufgaben für einen Verlader birgt für den Logistikdienstleister in erster Linie die Chance, die Gewinnrendite und den Umsatz seines Unternehmens zu steigern (Berglund et al. 1999, S. 65). In Abhängigkeit von der jeweiligen Vertragslaufzeit, können außerdem Investitionen besser geplant werden (Zimmermann 2004, S. 18). Je länger die Vertragslaufzeit, umso sicherer und langfristiger können Investitionen geplant und getätigt werden. Die Art der Investitionen kann wiederum die strategische Ausrichtung des Unternehmens beeinflussen.

Bei der Übernahme logistischer Funktionen im Rahmen von Outsourcing bestehen jedoch auch strategische Risiken, die der Logistikdienstleister bei der Auftragsannahme berücksichtigen muss. Ein Vorteil der Fremdvergabe für den Verlader stellt die Verlagerung des unternehmerischen Risikos auf den Logistikdienstleister dar. Inwieweit das Risiko vom Dienstleister getragen werden muss, ist stark von den Vertragsvereinbarungen und der Preisgestaltung (variable und fixe Preisbestandteile) abhängig. Unvorhersehbare Änderungen, beispielsweise innerhalb einer Branche oder einer Unternehmung, und starke Mengenschwankungen können entsprechend zu Verlusten führen. (La Londe und Cooper 1989, S. 137–138; Zimmermann 2004, S. 18)

Eine besondere strategische Chance für den Dienstleister stellt die Erlangung von spezifischem Know-how dar, welches durch die Übernahme von Funktionen und den Einblick in die Prozesse des Verladers erlangt wird. Handelt es sich um kundenspezifisches Know-how, ist dies ein Alleinstellungsmerkmal gegenüber der Konkurrenz. Ist das Know-how beispielsweise branchenspezifisch, sind Konkurrenten benachteiligt, die bisher keine Geschäfte in dieser Branche durchführen. Durch die Erlangung dieses Know-hows kann der Logistikdienstleister eine starke Wettbewerbsposition im Hinblick auf eventuelle Neuaußschreibungen des Kunden oder von Kunden aus der gleichen Branche einnehmen und die Eintrittsbarrieren für andere Wettbewerber somit erhöhen. (Zimmermann 2004, S. 18)

Die Übernahme verschiedener Outsourcing-Geschäfte trägt außerdem dazu bei, dass das Risiko (insbesondere das Investitionsrisiko), welches durch den Dienstleister zu tragen

ist, auf mehrere Kunden verteilt werden kann (Berglund et al. 1999, S. 65). Diese Chance kann vor allem dann genutzt werden, wenn Ressourcen parallel für unterschiedliche Verlader genutzt werden können. Sollte ein Kunde beispielsweise aufgrund von Insolvenz ungeplant ausscheiden, so sind die Ressourcen dennoch nicht obsolet, sondern können weiterhin (wenigstens zu einem Teil) für die verbleibenden Geschäfte genutzt werden.

Leistungsbezogen Als leistungsbezogene Chance kann der Aufbau bzw. die Erweiterung des Erfahrungsschatzes durch die Leistungserbringung beschrieben werden. Know-how kann aufgebaut und Referenzen können gesammelt werden. Dies ist insbesondere für die Gewinnung neuer Kunden von großer Bedeutung. (Zimmermann 2004, S. 18)

Des Weiteren besteht bei einer entsprechenden Berücksichtigung von branchenspezifischen saisonalen Schwankungen die Chance, durch die Hinzunahme weiterer Verlader in den Kundenstamm, Kapazitätsschwankungen auszugleichen und somit vorhandene Ressourcen möglichst optimal nutzen zu können. Leistungsspitzen können somit flexibel ausgeglichen werden, so dass die Unter- und Überkapazitäten insgesamt möglichst gering gehalten werden können. (Berglund et al. 1999, S. 65)

Kostenbezogen Die Aufnahme von Logistikfunktionen, die vollständig oder zum Teil mit bereits bestehenden Ressourcen ausgeführt werden können, eröffnet die Möglichkeit der Realisierung von Skaleneffekten (Berglund et al. 1999, S. 65–66; Zimmermann 2004, S. 18). Andererseits besteht bei kundenspezifischen Investitionen das Risiko, dass die Kosten noch nicht abgeschrieben sind und die Amortisationszeit der Anschaffungsgegenstände noch nicht erreicht ist, wenn der Vertrag ausläuft. Dieses Risiko ist von besonderer Bedeutung, wenn die Anschaffungen nicht für andere Kunden genutzt und auch nicht oder nur schwer an Dritte verkauft werden können. (La Londe und Cooper 1989, S. 137–138)

Personalbezogen Analog zur Nutzung materieller Ressourcen können auch die personellen Ressourcen flexibel genutzt und somit dem Mengenaufkommen entsprechend eingesetzt werden. Auch hier sind somit Synergieeffekte realisierbar, wenn Aufträge von verschiedenen Verladern angenommen werden. Ein Problem für den Dienstleister ergibt sich jedoch häufig bei der erstmaligen Fremdvergabe von logistischen Aufgaben, wenn Personal des Verladers übernommen werden soll bzw. muss. Da eine Übernahme des Personals zum Teil mit schlechteren Vertragsbedingungen einhergeht, kommt es zur Demotivation des Personals, was sich wiederum auf die Leistungserbringung negativ auswirkt.

Literatur

- Arndt H (2008) Supply Chain Management – Optimierung logistischer Prozesse, 4th edn. Gabler, Wiesbaden
- Bergauer M, Stiasni C (2008) Ziele, Planung und Durchführung von Ausschreibungen. In: Possek M (ed) Ausschreibungen in der Logistik: Planung, Praxis, Potentiale. Heinrich Vogel, München, pp 65–76

- Berglund M, van Laarhoven P, Sharman G, Wandel S (1999) Third-Party Logistics – Is There a Future? *The International Journal of Logistics Management* 10(1):59–70
- Bliesener MM (1994) Outsourcing als mögliche Strategie zur Kostensenkung. *Betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis* 46(4):277–290
- Bruch H (1998) Outsourcing – Konzepte und Strategien, Chancen und Risiken. Gabler, Wiesbaden
- Dittrich J, Braun M (2004) Business Process Outsourcing – Entscheidungsleitfaden für das Out- und Insourcing von Geschäftsprozessen. Schäffer-Poeschel, Stuttgart
- Foschiani S, Hertweck A (1998) Strategische Option statt kurzfristiger Sparmaßnahmen. *Handelsblatt* 201:43
- Gilley KM, Rasheed A (2000) Making More by Doing Less – An Analysis of Outsourcing and its Effects on Firm Performance. *Journal of Management* 26(4):763–790
- Hartel DH (2006) Alternativen zum klassischen Outsourcing in der Logistik. *Logistik für Unternehmen* 10:86–87
- Heinzl A (1991) Die Ausgliederung der betrieblichen Datenverarbeitung. In: Schriftenreihe der Wissenschaftlichen Hochschule für Unternehmensführung Koblenz, vol 7. Poeschel, Stuttgart
- Hermes HJ, Schwarz G (eds) (2005) Outsourcing – Chancen und Risiken, Erfolgsfaktoren, rechtssichere Umsetzung. Haufe, München
- Hodel M, Berger A, Risi P (2004) Outsourcing realisieren, 2nd edn. Vieweg, Wiesbaden
- Jurczyk A J, Kopfer H, Krajewska MA (2006) Speditionelle Auftragsdisposition eines mittelständischen Transportunternehmens. *Internationales Verkehrswesen* 6:275–279
- Kille C, Schwemmer M (2012) Challenges 2012 – Prognosen, Hochrechnungen und Finanzkennzahlen zum Logistikmarkt. DVV Media Group, Hamburg
- Klaus P, Hartmann E, Kille C (2010) Die Top 100 der Logistik. Ausgabe 2010/2011. DVV Media Group, Hamburg
- Koppelman U (1996) Grundsätzliche Überlegungen zum Outsourcing. In: Koppelman U (ed) *Outsourcing*. Schäffer-Poeschel, Stuttgart, pp 1–9
- Kutschker M, Schmid S (2011) Internationales Management, 7th edn. Oldenbourg, München
- La Londe B J, Cooper M C (1989) Partnerships in Providing Customer Service – A Third Party Perspective. Council of Logistics Management. Oak Brook, IL
- Lang H (2009) Neue Theorie des Management. Bewähren sich die Managementtheorien in der Finanzkrise, 2nd edn. Europäischer Hochschulverlag, Bremen
- Maltz AB, Ellram LM (1997) Total cost of relationship: an analytical framework for the logistics outsourcing decision. *Journal of Business Logistics* 18(1):45–66
- Meier V (2008) Elektronische Ausschreibungen im Bereich Transport und Logistik. In: Possek M (ed) *Ausschreibungen in der Logistik: Planung, Praxis, Potentiale*. Heinrich Vogel, München, pp 137–148
- Müller-Dauppert B (2009) Aufbau eines Joint Ventures. In: Müller-Dauppert B (ed) *Logistik-Outsourcing: Ausschreibung, Vergabe, Controlling*. Heinrich Vogel, München, pp 103–108
- Raubenheimer H (2010) Kostenmanagement im Outsourcing von Logistikleistungen. Gabler, Wiesbaden
- Schemel C (2008) Transportausschreibungen in der Praxis. In: Possek M (ed) *Ausschreibungen in der Logistik: Planung, Praxis, Potentiale*. Heinrich Vogel, München, pp 89–110
- Schieck A (2008) Internationale Logistik – Objekte, Prozesse und Infrastrukturen grenzüberschreitender Güterströme. Oldenbourg, München
- Schulte K, Schwindt K H, Kuhn C (2009) Joint Ventures – Nationale und internationale Gemeinschaftsunternehmen. C.H.Beck, München
- Selviaridis K, Spring M, Profillidis V, Botzoris G (2008) Benefits, Risks, Selection Criteria and Success Factors for Third-Party Logistics Services. *Maritime Economics & Logistics* 10(4):380–392

- Städtler-Schumann M, Britsch FJ (1999) Outsourcing – eine Logistik-Strategie für das eigene Unternehmen. In: Wißkirchen F (ed) Outsourcing-Projekte erfolgreich realisieren. Schäffer-Poeschel, Stuttgart, pp 39–64
- Stelling JN (2005) Kostenmanagement und Controlling, 2nd edn. Oldenbourg, München
- ten Hompel M, Heidenblut V (2011) Taschenlexikon Logistik: Abkürzungen, Definitionen und Erläuterungen der wichtigsten Begriffe aus Materialfluss und Logistik, 3rd edn. Springer, Berlin
- Vahrenkamp R (2007) Logistik – Management und Strategien, 6th edn. Oldenbourg, München
- Wannenwetsch H (2004) Integrierte Materialwirtschaft und Logistik: Beschaffung, Logistik, Materialwirtschaft und Produktion, 2nd edn. Springer, Berlin
- Xia T, Xia Y, Zhang G P (2007) Strategic Outsourcing Decisions for Manufacturers that produce partially substitutable products in a quantity-setting duopoly situation. *Decisions Sciences* 38(1):81–106
- Yan A, Luo Y (2001) International Joint Ventures: Theory and Practice. M. E. Sharpe, New York
- Zimmermann B (2004) Kontraktlogistik als Zukunftsmarkt der Logistikdienstleistungswirtschaft?
http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?idn=97280949x&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=97280949x.pdf. Accessed 2 Nov 2012

Christiane Geiger und Marco Eikelau

9.1 Wissenschaftliche Definition des Begriffs Kontraktlogistik

Christiane Geiger

Die Kontraktlogistik bezeichnet Geschäfte, die zwischen einem verladenden Unternehmen und einem Kontraktlogistikdienstleister geschlossen werden. Die Merkmale und Zusammenhänge, welche diese Geschäfte kennzeichnen, wurden bereits in der Beschreibung des Kontraktlogistikdienstleisters (vgl. Abschn. 7.3) erläutert und sollen daher an dieser Stelle lediglich kurz resümiert werden.

Im Rahmen eines Kontraktlogistikgeschäfts übernimmt ein Kontraktlogistikdienstleister Funktionen, welche den Betrieb eines gesamten Logistiksystems realisieren. Sie umfassen das Management und die Ausführung der Kernleistungen Transport, Umschlag und Lagerhaltung, wobei Letztere nicht zwingend in der Lieferkette enthalten ist, sowie logistische und logistiknahe Zusatzleistungen. Da das Logistiksystem meist einem bestimmten Verlader zugehörig ist, sind die einzelnen Funktionen zu einem auftraggeber spezifischen Leistungspaket geschnürt und in ihrer Ausführung stark individuell gestaltet. Aufgrund dessen bedingt ihre Erbringung vielfach enorme Investitionen in materielle, menschliche, standortbezogene und zweckgebundene Ressourcen. Zum Schutz vor deren frühzeitigen Entwertung fordern Logistikdienstleister Vertragslaufzeiten und Volumendurchsätze, welche den getätigten Investitionen gebühren.

C. Geiger (✉)

Institut für Transportlogistik, TU Dortmund, Leonhard-Euler-Straße 2, 44227 Dortmund,
Deutschland

E-Mail: geiger@itl.tu-dortmund.de

M. Eikelau

DAW Deutsche Amphibolin-Werke von Robert Murjahn Stiftung & Co KG,
Roßdörfer Straße 50, 64372 Ober-Ramstadt, Deutschland

E-Mail: m.eikelau@gmx.de

9.2 Übersicht über Kontraktlogistikgeschäfte

Christiane Geiger

Der Markt, auf welchem kontraktlogistische Geschäfte ausgehandelt und stipuliert werden, kann in zwei Segmente gegliedert werden: Konsumgüter- und industrieller Kontraktlogistikmarkt (Kille und Schwemmer 2012b, S. 83–90):

Gegenstand der Transaktionen, die auf dem Konsumgüter-Kontraktlogistikmarkt zustande kommen, sind das Supply Chain Management und die Distribution von Verbrauchsgütern. Unter Verbrauchsgütern werden dabei Ge- und Verbrauchsgüter des täglichen Bedarfs verstanden, wie

- Nahrungsmittel (Lebensmittel, Getränke),
- Nicht-Nahrungsmittel (z. B. Reinigungsmittel, pharmazeutische Produkte),
- unverderbliche Haushaltsgüter (z. B. Bücher, CDs),
- weiße Ware (z. B. Wasch- und Spülmaschinen) und
- braune Ware (Unterhaltungselektronik, wie Fernseher, Stereo- oder Hi-Fi-Anlagen).

Das Logistiksystem, das seitens des Kontraktlogistikdienstleisters übernommen und betrieben wird, dient der Versorgung des Einzelhandels, von Gastronomiebetrieben und privaten Haushalten. Um dabei eine hohe Flächendeckung sicherzustellen, ist das Logistiksystem mehrstufig aufgebaut. So erfolgt die Distribution ausgehend von Produktionsstätten über Zentrallager sowie nachfolgende regionale und lokale Lagerstandorte der Zwischenhändler. Im Mittelpunkt der Konsumgüter-Kontraktlogistik stehen somit Tätigkeiten, welche die Austauschbeziehungen zwischen Herstellerunternehmen, Handel und Privatpersonen unterstützen.

Durchflossen wird dieses Logistiksystem von großen Mengen an standardisierten Kartonagen und Paletten. Die darin enthaltenen Waren unterliegen großteils Vorschriften gesetzlicher und kundenspezifischer Art zur Hygiene sowie zur Zusammenladung und -lagerung. Viele verderbliche Güter stellen zudem erhöhte Anforderungen an ihre Durchlaufzeit, beanspruchen eine regelmäßige Kontrolle ihrer Haltbarkeit, erfordern eine Berücksichtigung ihrer Charge und bedürfen gemäß der EU-Basis-Verordnung 178/2002 einer lückenlosen Rückverfolgbarkeit.

Die Geschäfte, welche auf dem industriellen Kontraktlogistikmarkt geschlossen werden, beziehen sich auf die Beschaffung und Distribution von produzierenden Unternehmen. In diesem Marktsegment werden somit Leistungspakete entlang industrieller Lieferketten gehandelt. Die industrielle Kontraktlogistik unterstützt somit vor allem Handelsbeziehungen zwischen Produktionsunternehmen. Zudem zählt die innerbetriebliche Logistik der Produktionsunternehmen hinzu.

Die Güter, mit deren Fluss sich die industrielle Kontraktlogistik befasst, sind Teile und Komponenten, die in die Produktion eingehen werden oder industriell gefertigt worden sind. Beispiele sind

- Rohstoffe (wie Aluminiumcoils),
- Hilfsstoffe (z. B. Schrauben),
- Betriebsstoffe (z. B. Schmiermittel),
- Fertigprodukte (wie Pkws, Maschinen, Anlagen) und
- Ersatzteile (z. B. Zahnräder).

Aufgrund dieses breiten Spektrums weisen die Güter eine hohe Varianz in ihrer Form und Beschaffenheit auf. Diese Heterogenität führt dazu, dass die Güter für ihr operatives Handling stark unterschiedliche logistische Anforderungen, beispielsweise an ihre Verpackung, Sicherung und Kennzeichnung stellen. Branchenübergreifende Standardisierungen in den Logistikprozessen sind daher kaum möglich. In Konsequenz sind die seitens des Logistikdienstleisters genutzten Standorte und eingesetzten Ressourcen vielfach auf eine Gütergruppe oder einen Kunden abgestimmt.

Ogleich an vielen Stellen und Abschnitten der industriellen Lieferkette Funktionsbündel an einen Kontraktlogistikdienstleister übertragbar sind, bietet die Beschaffung aufgrund ihrer Bedeutung und Komplexität dafür besonderes Potenzial. So steht die Beschaffung am Anfang des Wertschöpfungsprozesses eines Produktionsunternehmens und ist damit grundlegend für alle weiteren Transformationsaktivitäten und die betrieblichen Ziele. Ihre Aufgabe besteht darin, für die Produktion vielfach Tausende von Teilen und deren Varianten von weltweit gestreuten Lieferanten verfügbar zu machen. Zur Umgehung von Lagerhaltung wird dabei verstärkt eine zeitpunktgenaue Bereitstellung der Beschaffungsgüter, entsprechend des Just-in-Time-Logistikkonzepts, angestrebt. Auch wird zunehmend eine Integration industrieller Zusatzausleistungen wie Montage-, Kontroll- oder Verpackungstätigkeiten in die logistische Prozesskette gefordert.

9.3 Ausprägungsformen von Kontraktlogistikgeschäften¹

Dr. Marco Eikelau

Kontraktlogistikgeschäfte werden in allen Bereichen der Logistik angeboten. Die Bandbreite geht von der Abwicklung eines singulären Kontraktlogistikgeschäftes für einen Kunden bis zur Kombination einer oder mehrerer Basisdienstleistungen in Verbindung mit Kontraktlogistikgeschäften. Kontraktlogistik wird auch unabhängig von den eingesetzten Verkehrsträgern angeboten. So findet man Kontraktlogistikgeschäfte im Rahmen von Landverkehren, der Luft- und Seeverkehre und der Express-, Kurier und Paketdienste.

In der Kontraktlogistik lassen sich mehrere Ausprägungsformen unterscheiden. Beispielsweise differenzieren sich Kontraktlogistikgeschäfte nach der Form und der Art und

¹ Der vorliegende Beitrag enthält Auszüge aus der Dissertation Eikelau 2010

Weise ihrer Abwicklung. Nach folgenden Kriterien kann unterschieden werden (vgl. Stein 1998, S. 233):

- Funktionsumfang (Kombination TUL und Zusatzdienstleistungen)
- Anzahl involvierter Verlader und Spezifika der verladenen Objekte
- Flächigkeit der genutzten Ressourcen (regional, national, international; Logistiknetzwerke)
- Flussrichtung (Inbound-/Outbound-Geschäfte)
- Managementautonomie des Logistikdienstleisters in der Prozesskette

Die Geschäftsbeziehung zwischen Kontraktlogistiker und Auftraggeber wird zudem wesentlich von der Form der Zusammenarbeit beeinflusst. Der höchste Bindungsgrad findet sich in den Single-User-Kontraktlogistikgeschäften. In den Multi-User-Kontraktlogistikgeschäften ist der Bindungsgrad entsprechend geringer ausgeprägt. Die unterschiedlichen Besonderheiten in den Bereichen

- Dienstleistungsumfang,
- Gesellschaftsform,
- Schnittstellen und
- Immobilien

von Single- und Multi-User-Kontraktlogistikgeschäften werden im Folgenden kurz beschrieben.

Single-User-Kontraktlogistikgeschäfte sind kundenspezifische Kontraktlogistiklösungen, die möglichst alle speziellen Anforderungen eines Auftraggebers abdecken. Diese Leistungen werden auch als „dedicated services“ bezeichnet. Die Zusatzdienstleistungen, die neben den Standardleistungen erbracht werden, sind oftmals so speziell, dass diese für weitere Auftraggeber nicht einsetzbar sind (vgl. IBM Business Consulting Services 2003). Für sehr dedizierte Kontraktlogistikgeschäfte können separate Betreibergesellschaften gegründet werden, die als eigenständige Legaleinheiten geführt werden. Diese Betreibergesellschaften können komplett im Besitz eines Kontraktlogistikkers sein oder auch in Form eines Joint-Ventures mit dem jeweiligen Auftraggeber betrieben werden (Co-Sourcing). In der Regel hält der Kontraktlogistiker Unternehmensanteile größer oder gleich 50 % der Gesellschaft. Durch diese Form behält der Auftraggeber ein gewisses Mitsprache- und Entscheidungsrecht. Zudem partizipiert er am Geschäftserfolg des Unternehmens. Weiterhin besteht die Möglichkeit, durch die Abwicklung von Drittgeschäften in der gemeinsamen Gesellschaft, eine zusätzliche Verteilung der Fixkosten auf erbrachte Leistungseinheiten zu erreichen um so zu einer Kostenreduktion zu kommen bzw. zusätzliche Profite zu generieren.

Die Leistungen im Rahmen von Single-User-Kontraktlogistikgeschäften werden häufig auf den Werksgeländen von Auftraggebern und in deren Immobilien erbracht. In

diesem Zusammenhang ist der Begriff „In-House-Logistik“ gebräuchlich. In-House-Kontraktlogistikgeschäfte kommen oftmals im Bereich der produzierenden Industrien vor, in denen die unmittelbare Nähe des Logistikbereichs zur Produktion Voraussetzung für die optimale Prozessgestaltung ist. Ein weiterer Aspekt ist der Umfang der zu erbringenden Dienstleistungen und die Integration des Kontraktlogistikers in die Prozesskette des Auftraggebers. Beispielsweise werden werksinterne Transporte und Verkehre sowie die Produktionsversorgung, die Produktionsentsorgung und der damit verbundene Betrieb von Lagereinrichtungen von Kontraktlogistikern übernommen. Auch nicht typische Dienstleistungen, wie Pförtnerdienste und Postverteilung, werden teilweise angeboten. Diese Ausprägungsform ist sehr stark auf den Auftraggeber zugeschnitten.

Zusätzlich zur Übernahme oder Nutzung der Immobilie des Auftraggebers können Kontraktlogistiker Anlagegüter wie Gabelstapler, Gabelhubwagen, Regalanlagen und Abfallpressen von den Auftraggebern übernehmen. In diesen Fällen kann es sich um eine unentgeltliche Nutzungsüberlassung oder um eine Vermietung handeln. In der Praxis gibt es sehr unterschiedliche Verfahrensweisen. Auch der Kauf von Anlagegütern oder der Eintritt in bestehende Leasingverträge durch den Kontraktlogistiker ist denkbar.

Im Rahmen der Kontrakte sind in den genannten Fällen spezielle Vereinbarungen zu treffen. Gerade der Bereich der Wartung, Instandhaltung, Reparatur und die Ersatzbeschaffungen sind zu regeln um potenzielle Streitpunkte von vornherein zu eliminieren.

Bei einer solch starken Verzahnung von Auftraggeber und Kontraktlogistiker wird oftmals die komplette Logistik-Abteilung eines Unternehmens an den Kontraktlogistiker übertragen. Vor dem Outsourcing wurde der Logistikbereich durch den Auftraggeber mit eigenem Personal betrieben. Ein großer Anteil der In-House-Logistikgeschäfte geht mit der Übernahme von Personal des Auftraggebers durch den Kontraktlogistiker einher. Der Personalübergang bzw. der Übergang von Personal bestimmter Betriebsteile ist im § 613a BGB geregelt (BGB Bürgerliches Gesetzbuch 2011, S. 156–157).

Durch die starke Vernetzung und enge Bindung zwischen Kontraktlogistiker und Auftraggeber können Kontraktlogistikgeschäfte i. d. R als geschlossene Systeme bezeichnet werden. Größen- und Verbundeffekte sind bei In-House-Kontraktlogistikgeschäften nahezu ausgeschlossen und können lediglich im Transportbereich realisiert werden. Die Möglichkeit der Abwicklung von Drittgeschäften und somit die Schaffung weiterer Synergien hat der Kontraktlogistiker auf dem Werksgelände der Auftraggeber eher selten.

Immobilien, die bei der Leistungserbringung im Rahmen von Single-User-Kontraktlogistikgeschäften betrieben werden, sind i. d. R speziell auf die kundenspezifischen Prozess- und Warenanforderungen zugeschnitten (Dedicated Warehouses oder Single-User-Warehouses). Immobilien werden durch Kontraktlogistiker selbst, durch Investoren oder durch die Auftraggeber zur Verfügung gestellt. Die kundenspezifischen Erfordernisse werden dann entsprechend berücksichtigt.

Durch die fehlende Vernetzung vieler einzelner Geschäfte sind Skaleneffekte in Single-User-Kontraktlogistiklösungen eher die Ausnahme (vgl. Bretzke 2007, S. 1). Im Bereich des Vertriebs, der Projektentwicklung und Implementierung gibt es allerdings den Vorteil,

dass aufgrund bereits realisierter Projekte die Lernkurve deutlich steiler wird und somit der Implementierungsprozess von Projekten, auch ggf. durch die Übernahme von erfahrenen Mitarbeitern, kürzer und weniger fehleranfällig wird.

Multi-User-Kontraktlogistikgeschäfte sind im Gegensatz zu den Single-User- und In-House-Kontraktlogistikgeschäften weniger speziell bezogen auf Art und Umfang der Leistungserbringung. Gleiche oder ähnlich geartete Leistungen werden für unterschiedliche Auftraggeber abgewickelt. Typische Leistungen in Multi-User-Kontraktlogistikgeschäften sind die Lagerhaltung, die Versandabwicklung und damit verbundenen Tätigkeiten wie Bestandsführung, Kommissionierung, Verpackung und der Versand von Waren. Hierbei ist es unerheblich, ob es sich um identische oder vergleichbare Warengruppen oder Branchen handelt, solange diese im Rahmen der vorhandenen Prozessabläufe abgebildet und abgewickelt werden können. Der Vorteil für die Auftraggeber besteht darin, dass sie überschaubare Dienstleistungspakete kostengünstig vergeben können. Die Kostenvorteile für die Auftraggeber entstehen durch Fixkostendegressionen innerhalb der logistischen Abwicklung bei den Kontraktlogistikern. Ein Teil der Fixkosten verteilt sich dann entsprechend auf die jeweiligen unterschiedlichen Auftraggeber. Je nach Auftraggeberbranche können auch geringere Löhne und Gehälter im Bereich der Kontraktlogistiker ein ausschlaggebender Faktor für die Vergabe von definierten Logistikleistungen sein. Der Vorteil für die Kontraktlogistiker liegt in der Risikostreuung des Geschäftes auf mehrere Auftraggeber. Die Beendigung einer Kundenbeziehung ist weit weniger kritisch als im Bereich der Single-User-Kontraktlogistikgeschäfte. Durch die genannten Effekte im Bereich der Fixkosten lassen sich auch entsprechend wettbewerbsfähige Preise anbieten, die wiederum die Möglichkeit des Ausbaus der Kundenbasis bieten.

Das in Multi-User-Geschäften eingesetzte Personal wird i. d. R komplett vom Kontraktlogistiker gestellt. Die Mitarbeiter sind flexibel einsetzbar und können Leistungen für unterschiedliche Kunden erbringen. Betriebs- oder Teilbetriebsübergänge sind eher Ausnahmen. Das Besetzen von Schlüsselfunktionen ist aber auch durch Mitarbeiter des Auftraggebers möglich. Als Beispiel kann die Qualitätskontrolle genannt werden, bei der spezifische Waren-, Stoff- oder technische Kenntnisse erforderlich ein können.

Die geringere Verflechtung der Geschäftspartner spiegelt sich auch bei formalen Kriterien wieder. Die Dienstleistungserbringung geschieht i. d. R auf Basis eines Dienstleistungs- und/oder Werkvertrages, ohne dass es eine gesellschaftsrechtliche Verknüpfung der Vertragsparteien gibt.

Zur Ausschöpfung von Synergien müssen die verwendeten IT-Schnittstellen multiman-dantenfähig sein, so dass ein reibungsloser und effizienter Datenaustausch gewährleistet werden kann. Interne Systemschnittstellen sollen von unterschiedlichen Kundenanforderungen möglichst unberührt bleiben. Die Schnittstellenanpassung bezieht sich optimalerweise auf die direkten und indirekten Schnittstellen zwischen Auftraggeber und Kontraktlogistiker.

Zur Abwicklung von Multi-User-Kontraktlogistikgeschäften werden flexibel verwendbare Immobilien genutzt, sog. Multi-User- oder Multi-Mandanten-Lager, die je nach

Volumen- oder Prozessanforderungen umgestaltet werden können. Oftmals sind dies Kombinationen aus Blocklagerflächen, Palettenregalen, Fachbodenregalen und Umschlagflächen. Multi-Mandanten-Lager befinden sich i. d. R nicht, wie die Single-User-Lösungen, in unmittelbarer Nähe der jeweiligen Auftraggeber. Vielmehr handelt es sich bei den Immobilienstandorten um gewachsene Standorte der Kontraktlogistiker oder um eigens für diesen Zweck erbaute oder angemietete Immobilien in verkehrsgünstigen Lagen.

Single- und Multi-User-Geschäfte sind auch in Kombination anzutreffen. Ausgehend von Single-User-Kontraktlogistikgeschäften werden diese dann implementiert, wenn die infrastrukturellen Voraussetzungen für Multi-User-Abwicklungen gegeben sind und sich dadurch Kostenvorteile für die Parteien generieren lassen. Solche Kombinationen können auch Teil eines gemeinsamen Geschäftsmodells von Kontraktlogistiker und Auftraggeber sein.

9.4 Markt und Marktentwicklung²

Dr. Marco Eikelau

Aufgrund der Globalisierung der Märkte und des dadurch wachsenden Wettbewerbsdrucks in der Logistik-Branche, sind die einzelnen Unternehmen dazu gezwungen, unabhängig von ihrer derzeitigen Einordnung in die logistischen Ausprägungsformen, sich in ihrem Wettbewerbsumfeld zu positionieren und sich zukunftsorientiert und strategisch auszurichten.

Die Zuordnung der Dienstleister zu den Ausprägungsformen erfolgt über das vermarktete Unternehmensprofil und das darin enthaltene Leistungsspektrum (vgl. Abschn. 8.5) sowie der vorhandenen Umsatzstruktur. Die Umsatzstruktur der im Wandel befindlichen Logistikdienstleister entspricht oftmals nicht der am Markt kommunizierten strategischen Ausrichtung vieler Unternehmen. Bei agierenden Unternehmen, die sich strategisch ausrichten, ist feststellbar, dass sich der Entwicklungspfad einer Ausprägungsform i. d. R zur nächst höheren Stufe orientiert. Das heißt, vom Frachtführer und Spediteur hin zum 3PL und vom 3PL zum 4PL (vgl. Abschn. 7.3). Bei reagierenden Unternehmen, speziell im Bereich der Transporteure und Spediteure ist festzustellen, dass die Zuordnung nach Profil und Umsatz weitgehend übereinstimmt. Eine Analyse der Marktanteile in der Kontraktlogistik bestätigt, dass der Markt stark fragmentiert ist und der reine Kontraktlogistikumsatz der größten Kontraktlogistiker in diesem Marktsegment bei unter zwei Prozent der Anteile am Weltmarkt liegt. Durch die anhaltende Tendenz zum Outsourcing ergibt sich für die Marktteilnehmer ein zusätzliches Marktvolumen, welches auch durch die Ausweitung des Produktpportfolios und einer verbesserten Dienstleistung genutzt werden kann. Weiterhin ist ein Konzentrationsprozess in der Kontraktlogistik-Branche zu erkennen.

² Der vorliegende Beitrag enthält Auszüge aus der Dissertation Eikelau 2010.

Durch gezielte Zukäufe, die Konzentration auf Branchen und Nischen sowie dem damit verbundenen Ausbau des angebotenen Produktportfolios können etablierte Kontraktlogistiker ihre Marktposition stärken (Baumgarten et al. 2004, S. 58–59). Solche Nischen sind bspw. Dienstleistungsangebote in den Bereichen der Beförderung von Chemikalien und Lebensmitteln in Verbindung mit weiteren Dienstleistungen, wie der Lagerhaltung mit den dazugehörigen Prozessen (vgl. Stölzle 2005). Somit gewinnt die Kontraktlogistik auch zukünftig an Bedeutung.

Die Größe des Logistik-Marktes in Deutschland wurde in 2011 mit 223 Mrd. € beziffert, der Anteil im Bereich Kontraktlogistik mit 88,2 Mrd. €, welcher sich in die Bereiche Industrielle Kontraktlogistik, Produktions- und Ersatzteilversorgungslogistik mit 63,4 Mrd. € und Konsumgüterdistribution- und Kontraktlogistik mit 24,8 Mrd. € unterteilt (vgl. Kille und Schwemmer 2012b, S. 83, 87). Die Outsourcingrate am gesamten Logistikmarkt in Deutschland, das heißt also der Anteil an logistischen Leistungen, der fremdvergeben wurde, wurde im genannten Zeitraum mit 49 % angegeben, wobei der höchste Outsourcinganteil auf den Bereich Transport entfällt (vgl. Kille und Schwemmer 2012b, S. 40).

Betrachtet man den Transportbereich separat, so kann der hier vorhandene hohe Outsourcinganteil von 90 % dadurch begründet werden, dass gerade bei Luftfrachten, Seefrachten, KEP-Diensten und Stückgutverkehren komplexe Systeme mit hohem Investitionsgrad benötigt werden. Am Markt gibt es zahlreiche Spezialisten in diesem Bereich, so dass ein Outsourcing für Verlader sinnvoll ist. Der Outsourcinganteil von 35 % im Rahmen der Konsumgüterkontraktlogistik und von 25 % bei der Industriellen Kontraktlogistik ist hingegen vergleichsweise niedrig. (Kille und Schwemmer 2012a, S. 21; Kille und Schwemmer 2012b, S. 54) Dies liegt bei den beiden letztgenannten Bereichen daran, dass die Leistungsvergabe aufgrund der engen Verzahnung zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer sowie der Relevanz der Prozesse und Funktionen für den Auftraggeber oftmals aus Risikoaspekten nicht erfolgt.

Betrachtet man die Entwicklung von Kontraktlogistikgeschäften im Allgemeinen und hier speziell die Vertragslaufzeiten und Komplexitäten der vergebenen Geschäfte, so stellt man fest, dass sich die Vertragslaufzeiten in den letzten Jahren verkürzt haben und der Umfang und die Komplexität der einzelnen Geschäfte geringer geworden ist. Dies sind die Folgen der wirtschaftlichen Krisensituationen der letzten Jahre und der andauernden Volatilität der Märkte sowie dem daraus resultierenden Bedürfnis an möglichst hoher Flexibilität aus Sicht des Auftraggebers bei der Auftragsvergabe.

Je niedriger der Outsourcinggrad, desto höher ist selbstverständlich das theoretische Outsourcingpotenzial. Ob es jedoch zu einem vermehrten Outsourcing kommt ist von unterschiedlichen Faktoren abhängig. Wesentlicher Faktor ist und bleibt aber die konjunkturelle Entwicklung im In- und Ausland. Als Unterstützungsfunktion des Handels und der Industrien steht die Logistik in einem starken Abhängigkeitsverhältnis zu den einzelnen Teilbereichen der Wirtschaft. Aus den konjunkturellen Entwicklungen ergeben sich sowohl Chancen als auch Risiken für Logistikgeschäfte in den unterschiedlichen Branchen.

Grundsätzlich ist die Konsumgüterkontraktlogistik krisenresistenter als die Industrielle Kontraktlogistik. Der Konsum von bspw. Lebensmitteln, Getränken als auch von Gebrauchsgütern der privaten Haushalte, geht auch in Krisenzeiten nicht signifikant zurück.

Hingegen kann es im industriellen Umfeld eher zu negativen Auswirkungen kommen. Speziell der Automobil- und Nutzfahrzeugmarkt ist in Krisenzeiten anfällig. Fahrzeuge werden in Krisenzeiten länger gefahren und somit später ausgetauscht. Dies führt zu sinkenden Produktionszahlen und somit auch zu einem entsprechend geringeren Bedarf an Logistikleistungen. Eine wichtige Rolle spielt hierbei jedoch auch die wirtschaftliche Entwicklung in den Schwellenländern, da in Deutschland produzierte Fahrzeuge und Technik im Ausland immer noch ein hohes Ansehen genießen. Die Marktentwicklungen sind jedoch nur schwer vorherzusagen.

Wirtschaftlich negativ verlaufende Entwicklungen können aber auch dazu führen, dass Unternehmen sich zunehmend auf ihre Kernkompetenzen konzentrieren und Logistikleistungen auslagern. Bei Handelsunternehmen sind die Outsourcingerwartungen bspw. aber eher gering, da ein Großteil dieser Unternehmen gerade Logistik als Kernkompetenz definiert und lediglich Transportleistungen an fremde Dritte vergeben. Wie bereits erwähnt ist der Outsourcinganteil im Transportbereich aber bereits mit 90 % sehr hoch.

Aufgrund des bislang eher geringen Outsourcinggrades in der Konsumgüterkontraktlogistik und der industriellen Kontraktlogistik bestehen aber weiterhin Wachstumschancen für Kontraktlogistiker in diesen Bereichen. Die Höhe der Wachstumsraten und der zu erwartenden Renditen wird aber auch zukünftig durch das konjunkturelle Umfeld stark beeinflusst.

9.5 Vorgehensweise und Prozessschritte bei Kontraktlogistikgeschäften³

Dr. Marco Eikelau

Eine Kundenbeziehung zwischen einem potenziellen Auftraggeber und einem Auftragnehmer in Kontraktlogistikgeschäften kann in sechs Phasen unterteilt werden (Abb. 9.1). Die Geschäftsanbahnung beginnt i. d. R mit vertrieblichen Aktivitäten. Daran angeschlossen folgen Ausschreibungen, die vom Kontraktlogistiker zu bearbeiten sind. Hervorzuheben sind in diesem Zusammenhang die vertragsrechtlichen Aspekte der Kundenbeziehung, da diese signifikante Auswirkungen in der Geschäftsbeziehung haben können. Nach Vertragsschluss erfolgt die Implementierung des jeweiligen Geschäftes, welche dann in den Regelbetrieb übergeht. Während des Regelbetriebs bietet sich für den Kontraktlogistiker oftmals die Chance, das Geschäft mit weiteren Leistungen auszubauen. Da die Märkte und Branchen immer Bewegungen unterworfen sind, kann es auch wieder zur Beendigung und Rückabwicklung von Kontraktlogistikgeschäften kommen.

³ Der vorliegende Beitrag enthält Auszüge und Abbildungen aus der Dissertation Eikelau 2010.

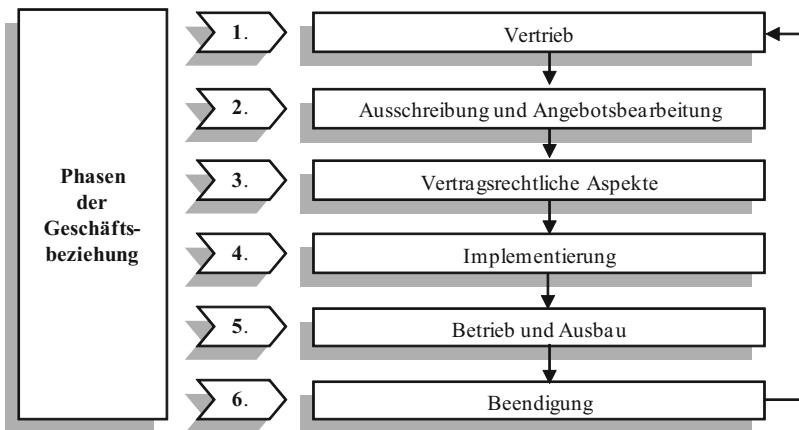


Abb. 9.1 Die sechs Phasen der Geschäftsbeziehung in Kontraktlogistikgeschäften

Diese sechs Phasen der Geschäftsbeziehung in Kontraktlogistikgeschäften sollen in der Folge mit ihren wesentlichen Aspekten beschrieben werden.

9.5.1 Vertrieb in Kontraktlogistikgeschäften

Grundsätzlich sind die Basisprozesse in der Logistik, speziell im Bereich kontraktlogistischer Lageraktivitäten, branchenübergreifend größtenteils identisch. Jedoch gibt es gerade bei der fokussierten Betrachtung von Abläufen bei unterschiedlichen Auftraggebern signifikante Unterschiede. Daher handelt es sich bei Kontraktlogistikgeschäften zum größten Teil um sehr individuelle Lösungen für einen spezifischen Auftraggeber, bei der die Leistungen Alleinstellungsmerkmale aufweisen können.

Aus diesem Grunde sind auch die vertrieblichen Aktivitäten auf diese Besonderheiten auszurichten. Da Kontraktlogistik kein Produkt im engeren Sinne ist, sondern ein spezieller erkläруngsbedürftiger Leistungsmix, bedarf es bei den Vertriebsaktivitäten einer bestimmten Vorgehensweise und einer prozessorientierten Ausbildung der Vertriebsmitarbeiter.

Kontraktlogistikgeschäfte werden nicht über Produktmerkmale sondern über innovative Konzepte und Ideen in Bezug auf die Geschäftsabwicklung verkauft. Hierzu ist es eine zwingende Voraussetzung, dass sich die Vertriebsmitarbeiter auf Augenhöhe mit den Logistikeitern und Geschäftsführern bzw. Vorständen der ausschreibenden Unternehmen austauschen können. Neben einer vertrieblichen Affinität ist das Fachwissen ein wesentlicher Erfolgsfaktor zum Akquirieren von Kontraktlogistikgeschäften.

In der Kontraktlogistik ist es auch üblich, dass Bereichsleiter, Geschäftsführer und auch Vorstände vertrieblich aktiv sind. Erstes Ziel der vertrieblichen Aktivitäten ist zunächst die Vermittlung der Kompetenz des eigenen Unternehmens gegenüber dem potenziellen Auftraggeber um an Ausschreibungsverfahren beteiligt zu werden.

Der komplette Vertriebsprozess bis hin zum Abschluss eines Kontraktlogistikgeschäfts kann nicht von Vertriebsmitarbeitern allein geleistet werden, sondern ist eine Gemeinschaftsarbeit von verschiedenen Fachabteilungen bzw. Fachbereichen eines Kontraktlogistiklers. Hierzu zählen speziell die Bereiche, die sich mit der Kalkulation und Konzeptionierung von Kontraktlogistikgeschäften beschäftigen sowie die juristische Unterstützung, die auch extern eingekauft werden kann, sowie die Unterstützung der Führungs- bzw. Leitungsebene. Letztgenannte sind in der Regel schon aufgrund der Höhe der monetären Geschäftsumfänge involviert.

9.5.2 Ausschreibungen und Angebotsbearbeitung

Aufgrund der meist hohen Komplexität von Kontraktlogistikgeschäften erfolgt deren Vergabe i. d. R im Rahmen von Ausschreibungsverfahren. Die Ausschreibungen können für die Leistungsbereiche Lager/Zusatzleistungen und Transport in einem Paket oder auch separat erfolgen.

Ob separate Leistungen oder gekoppelte Auftragspakete ausgeschrieben und vergeben werden, kann von der Komplexität der zu vergebenden Leistungen, der Marktsituation oder auch von Risikoaspekten im Hinblick auf Risikostreuung abhängig sein. Unterschiedliche Auftraggeber können hier durchaus unterschiedliche Philosophien vertreten.

Nachfolgend werden die mit Ausschreibungen in Zusammenhang stehenden Prozesse und Themenkreise erläutert. Hierbei werden sowohl die relevanten Aspekte der Auftraggeber- als auch der Auftragnehmerseite berücksichtigt.

Ausschreibungen aus Sicht des Auftraggebers Aus der Sicht des Auftraggebers gibt es unterschiedliche Gründe für das Lancieren von Ausschreibungen. Im Wesentlichen gibt es drei Ausschreibungsgründe:

- Ausschreibungen als Entscheidungsgrundlage für Make-or-Buy Entscheidungen
- Ausschreibungen als Konzeptwettbewerb (Prozesse, Service Level, Qualität)
- Ausschreibungen zur Überprüfung von Kostenstrukturen und/oder zur Erlangung von Benchmarks

Auch kommen Ausschreibungen aus Kombinationen der genannten Gründe vor.

Ausschreibungen dienen oftmals als Entscheidungsgrundlage für Make-or-Buy Entscheidungen. In der Regel werden nur Tätigkeiten ausgelagert bzw. an einen Logistikdienstleister fremdvergeben, die nicht zu den Kernkompetenzen des ausschreibenden Unternehmens gehören. Dies gilt speziell für Produktions- und Handelsunternehmen. Logistikeistungen werden dann von den entsprechenden Spezialisten abgewickelt.

Im Rahmen der Ausschreibungen werden Prozesse, Kostenstrukturen, Service Level und Qualitäten abgefragt und mit den eigenen Rahmenbedingungen und Parametern

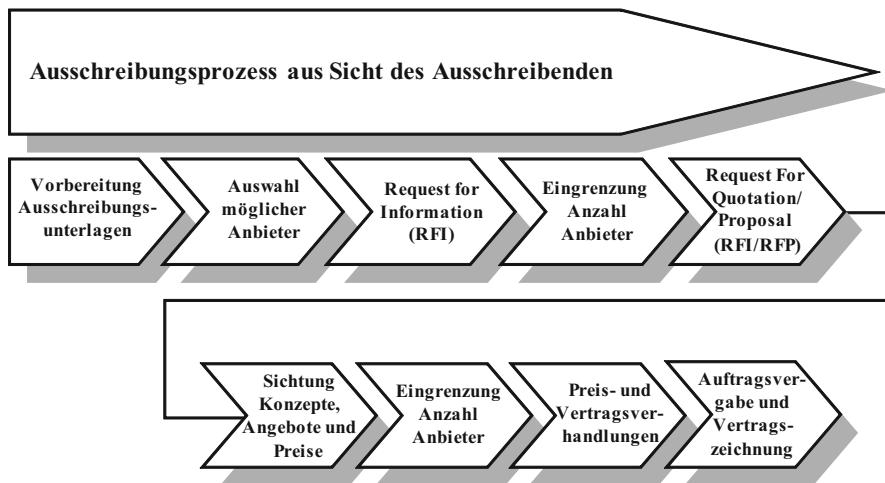


Abb. 9.2 Ausschreibungsprozess aus Sicht des Ausschreibenden

verglichen. Gleiches gilt auch für ausgeschriebene Logistikleistungen, die bereits an Kontraktlogistiker vergeben sind und ggf. wieder im Eigenbetrieb durchgeführt werden sollen.

Gerade bei Ausschreibungen von komplexen Leistungen ist zwingend darauf zu achten, dass die Rückläufe und Ergebnisse vergleichbar sind. Grundlage hierfür ist eine klar strukturierte Ausschreibungsunterlage mit einer validen Datengrundlage sowie einer vorgegebenen Ergebnis- und Preisstruktur.

Aufgrund der bereits erwähnten Komplexität von Kontraktlogistikgeschäften werden Ausschreibungen grundsätzlich in traditioneller schriftlicher Form an Kontraktlogistiker gegeben, vermehrt aber auch in elektronischer Form erstellt. Im Rahmen der elektronischen Vergabeverfahren spielen im Transportbereich Frachtbörsen eine wesentliche Rolle. Im Bereich von Lager- und Zusatzleistungen werden oftmals auch elektronische Plattformen für die Informationsbereitstellung und Angebotsabgabe zur Verfügung gestellt. Kontraktlogistiker können sich mittels bereitgestellter Einwahldaten Zugriff auf die Plattformen verschaffen (siehe Abschn. 8.6).

Die Abb. (9.2) stellt den Ausschreibungsprozess aus Sicht des ausschreibenden Unternehmens dar.

Die Dauer des gesamten Ausschreibungsprozesses ist von unterschiedlichen Faktoren abhängig. Steht ein ausschreibendes Unternehmen aufgrund einer Dienstleistungskündigung unter Druck, so kann ein Ausschreibungsprozess relativ kurz sein. Geht es um Grundsatzentscheidungen wie bspw. Make-or-Buy, so kann sich ein Ausschreibungsprozess in Einzelfällen auch bis zu einem Jahr hinziehen. Ob dann tatsächlich eine Auftragsvergabe erfolgt, ist bis zum Abschluss des Verfahrens meist offen.

Weiterhin beeinflusst auch die inhaltliche Qualität der Ausschreibung die Dauer des Ausschreibungsprozesses. Ausdrücklich zu erwähnen sind an dieser Stelle die notwendige

konkrete Aufgabenbeschreibung und die Vollständigkeit und Plausibilität der bereitgestellten Daten. Der Ausschreibungsprozess kann durch unklare Formulierungen oder fehlerhafte Datenbereitstellung deutlich verlängert werden.

In der Regel erfolgt bereits vor der Versendung von Ausschreibungen eine Vorauswahl im Hinblick auf geeignete Anbieter. In diesem Zusammenhang spielen Branchenerfahrungen des Kontraktlogistikers, Referenzen und die Bonität sowie die Unternehmensgröße eine wichtige Rolle.

Geht es um die Bewertung der Ausschreibungsergebnisse, haben ausschreibende Unternehmen, in Abhängigkeit des ausgeschriebenen Leistungsumfangs, unterschiedliche Auswahlkriterien. Nicht alle Leistungen werden über den Preis vergeben, wobei dieser im Entscheidungsprozess immer eine wesentliche Rolle spielt.

Je komplexer die vergebenen Leistungen sind und je tiefer ein Kontraktlogistiker in der Prozesskette eines Auftraggebers tätig ist, desto mehr Wert wird auch auf Prozess-Know-how, Konzepte und Zuverlässigkeit gelegt. Logistiker, die bspw. standardisierte Transportleistungen anbieten, sind schnell und relativ risikoarm austauschbar. Im Vergleich dazu sind Kontraktlogistiker, die im Rahmen von In-House-Logistikgeschäften tätig sind, erheblich schwerer zu ersetzen.

Daher werden unterschiedliche Entscheidungskriterien bei der Vergabe von Kontraktlogistikgeschäften, in Abhängigkeit der jeweiligen Komplexität, auch unterschiedlich gewichtet.

Ausschreibungsbearbeitung bei Kontraktlogistikern Ob ausgeschriebene Leistungen oder Geschäfte am Ende tatsächlich vergeben werden ist für einen Kontraktlogistiker oftmals nicht sicher. Daher müssen Kontraktlogistiker abwägen, ob sie sich an vorliegenden Ausschreibungen tatsächlich beteiligen wollen.

Der erste Schritt der Ausschreibungsbearbeitung auf Seiten des Kontraktlogistikers ist i. d. R die Evaluierung bzw. die detaillierte Prüfung der Ausschreibung (Abb. 9.3). Im Rahmen der Evaluierung wird zunächst ein Grobkonzept erstellt. Darin werden die für den Kontraktlogistiker wesentlichen Entscheidungskriterien untersucht und bewertet.

Wesentliche Prüfkriterien bzw. Fragestellungen sind in diesem Zusammenhang zu untersuchen:

- Ist die Verfügbarkeit personeller Ressourcen mit entsprechendem fach-/branchenspezifischen Know-how gewährleistet?
- Passt das angebotene Kontraktlogistikgeschäft in die strategische Ausrichtung des eigenen Unternehmens?
- Fallen Investitionen an und sind diese im Falle eines Vertragsschlusses auch realisierbar?
- Gibt es Anzeichen, dass es sich bei der Ausschreibung um einen Benchmark handelt oder ist eine hohe Wahrscheinlichkeit zu vermuten, dass das Geschäft nicht vergeben wird?

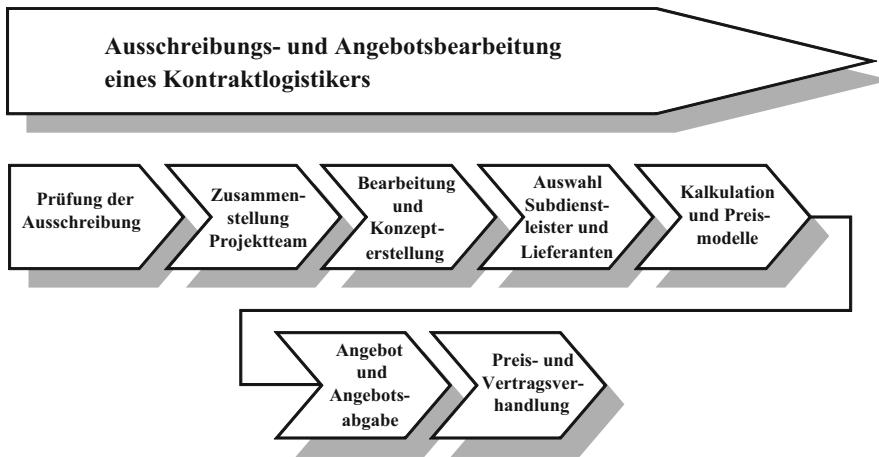


Abb. 9.3 Ausschreibungs- und Angebotsbearbeitung eines Kontraktlogistikers

Eine Evaluierung ist schon im Hinblick auf den effizienten Ressourceneinsatz unabdingbar. Grundsätzlich versuchen Kontraktlogistiker nur Ausschreibungen zu bearbeiten, die auch entsprechende Erfolgssichten bieten.

Werden Ausschreibungen positiv evaluiert und bearbeitet, erfolgt zunächst die Zusammenstellung des i. d. R interdisziplinären Projektteams, welches das Konzept erstellt. Zur Konzepterstellung gehört auch die Auswahl von Subdienstleistern für Leistungen, die nicht selbst erbracht werden sollen und die Auswahl von Lieferanten für bspw. Flurförderzeuge, IT-Hard- und Software, Regalsysteme oder Spediteure. Die operativen Einheiten, die für eine spätere Abwicklung des zu kalkulierenden Geschäfts vorgesehen sind, sind in dieser Phase zwingend in die Projektbearbeitung einzubeziehen.

Auf Basis des Konzeptes erfolgen dann die Kalkulation und die Erstellung des Preismodells sowie der Angebotsunterlage. Wie bereits zuvor erwähnt, werden die Rahmenbedingungen und Strukturen oftmals detailliert vom ausschreibenden Unternehmen vorgegeben. Bei der Abgabe ist zu beachten, dass alle relevanten und grundlegenden Rahmenbedingungen explizit beschrieben bzw. formuliert werden.

Nach der Angebotsabgabe erfolgen oftmals Rückfragen des ausschreibenden Unternehmens zum Konzept und den damit verbundenen Prozessen sowie zur Kalkulation. Dass es mehrere Angebotsrunden und Angebotsnachbesserungen gibt, ist durchaus üblich und gehört oftmals auch zur Verhandlungstaktik.

9.5.3 Vertragsrechtliche Aspekte bei Kontraktlogistikgeschäften

Verträge regeln die individuellen Rechte und Pflichten der zeichnenden Vertragspartner innerhalb der Geschäftsbeziehung. Gibt es zu bestimmten Themenkreisen keine ausdrück-

lich vereinbarten Regelungen, kommen die allgemeinen gesetzlichen Bestimmungen zur Anwendung.

Kontraktlogistikverträge sind i. d. R. typengemischte Verträge (Wieske 2003, S. 3; vgl. Giermann 2007, S. 18; vgl. Gran 2004, S. 2; vgl. Preu 2003, S. 36), welche aus einer Mischung der folgenden Vertragsarten zusammengesetzt sein können (vgl. Sigg 2006, S. 73; vgl. Otte 2004, S. 75):

- Speditionsvertrag (§ 453 ff HGB)
- Frachtvertrag (§ 407 ff HGB)
- Lagervertrag (§ 467 ff HGB)
- Werkvertrag (§ 631 ff BGB)
- Dienstvertrag (§ 611 ff BGB)
- Andere Vertragsarten

Die vertragsrechtlichen Aspekte und die Vertragsgestaltung sind ein wesentlicher Faktor für den Geschäftserfolg. Gerade beim Abschluss komplexer Kontraktlogistikverträge empfiehlt sich das Hinzuziehen eines versierten Fachanwaltes um Fallen und Fehler zu vermeiden und um möglichst sicherzustellen, dass auch die aktuelle Rechtsprechung zu den Vertragsinhalten entsprechend Würdigung findet.

Es ist gängige Praxis, dass Rahmenverträge mit den allgemeinen Regelungen, wie bspw. Haftungs- und Versicherungsfragen, und Anhänge mit detaillierten Angaben verfasst werden. Zu den Anhängen gehören u. a. Prozesshandbücher, Auflistung der Annahmen und Preisblätter. Anhänge werden gewählt um die Verträge übersichtlicher zu gestalten und im Falle von Änderungen und Anpassungen während der Vertragslaufzeit nur die relevanten Dokumente austauschen zu müssen.

Wie auch in anderen Branchen versuchen Auftraggeber ihre Marktposition zu ihrem Vorteil zu nutzen. In der Kontraktlogistik kommt es häufig vor, dass Auftraggeber den potenziellen Auftragnehmern bereits fertig formulierte Verträge bei Beginn der Ausschreibung übermitteln. Teilweise sollen die allgemeinen Vertragsformulierungen, speziell im Hinblick auf Haftungsklauseln, schon vor Erhalt der Ausschreibungsunterlagen akzeptiert werden, ohne dass zum genannten Zeitpunkt ein Vertrag gezeichnet wird. Die Kontraktlogistiker müssen dann bereits zu einem frühen Zeitpunkt im Ausschreibungsverfahren eine Risikoabwägung durchführen und entscheiden, ob sie an der Ausschreibung teilnehmen oder nicht.

Kontraktlogistikverträge sind auch deshalb mit großer Sorgfalt zu behandeln, da mit dem Vertragsabschluss wesentlich Grundsteine sowohl für die Zeit der Geschäftsbeziehung als auch im Hinblick auf eine mögliche Rückabwicklung gelegt werden. Werden hier Fehler gemacht, können diese signifikante Auswirkungen auf den Geschäftserfolg des Kontraktlogistikkers haben und sogar so weit gehen, dass Kontraktlogistikgeschäfte über die Gesamtaufzeit defizitär werden.

In diesem Zusammenhang sind selbstverständlich auch die zwischen Kontraktlogistiker und Subdienstleistern, Lieferanten und Immobilienvermieter geschlossenen Verträge zu betrachten.

9.5.4 Implementierung von Kontraktlogistikgeschäften

Implementierungen von neuen Kontraktlogistikgeschäften können unterschiedliche Komplexitätsgrade aufweisen. Am komplexesten sind Implementierungen in neu errichteten Lagerimmobilien, gefolgt von Bestandsimmobilien ohne laufende Geschäfte. Einfacher gestalten sich Implementierungen in Bestandsimmobilien mit bereits laufenden Geschäften, da in diesen Fällen auf eine funktionierende Infrastruktur zurückgegriffen werden kann. Die Übernahme von In-House-Logistikgeschäften ist vergleichsweise einfach, da es sich bereits um funktionierende Systeme handelt, die anschließend im Echtbetrieb optimiert werden können.

Unabhängig davon, ob es sich um die Übernahme eines Geschäfts in ein Multi-User- oder Single-User-Warehouse handelt (siehe Abschn. 9.3), ist der physische Transfer der Waren zu planen und zu realisieren. Die Waren können an einem oder mehreren Standorten übernommen werden (z. B. bei der Zusammenlegung mehrerer dezentraler Lager).

Bei der Auflösung von existierenden Lagerstandorten ist jedoch zu prüfen, ob eine Umlagerung von Waren sinnvoll ist oder ob für einen definierten Zeitraum eine Auftragsabwicklung an zwei oder mehr Standorten parallel durchgeführt werden soll. Im letztgenannten Fall werden Warenanlieferungen bereits zum neuen Standort geleitet, ausgehende Aufträge jedoch noch an den anderen existierenden Standorten abgewickelt. In diesem Szenario besteht allerdings auch eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass Aufträge geteilt und an unterschiedlichen Standorten bearbeitet werden müssen, da an keinem der Standorte das vollständige Artikelspektrum in der Umstellungsphase verfügbar ist.

Umzüge und Verlagerungen von Waren können aufgrund der zu bewegenden Mengen oftmals nicht an einem Wochenende erfolgen sondern müssen sukzessiv durchgeführt werden. Beide Methoden haben sowohl Vor- als auch Nachteile (vgl. Rädle 2005, S. 94). Welche Strategie durchgeführt wird, wird in hohem Maße von der Bestands- und Artikelmenge und den Auftragsstrukturen beeinflusst.

Im Rahmen der Implementierung von Kontraktlogistikgeschäften werden die bislang theoretischen Parameter und Konzepte der Kalkulation sowie die vertraglichen Rahmenbedingungen in die operative Umsetzung überführt. In dieser Phase erfolgt die Weichenstellung für den späteren operativen Betrieb.

Die Phase der Implementierung ist im Wesentlichen durch das Zeit-, Ressourcen-, Kosten-, Qualitäts- und Risikomanagement geprägt (vgl. Müller und Ermel 2007, S. 306). Ein stringentes Projektmanagement und eine enge Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber sowie allen beteiligten Subdienstleistern und Lieferanten sind eine wesentliche Voraussetzung für die erfolgreiche Implementierung von Kontraktlogistikgeschäften.

Zu unterscheiden sind die planerischen bzw. kaufmännischen und die gewerblichen Tätigkeiten im Rahmen der Implementierung. Zu den kaufmännischen Tätigkeiten zählen:

- Projektmanagement und Projektbegleitung (Geschäftsführer, Key Account Manager, Kontraktlogistiker, Berater, Rechtsanwälte)
- Rekrutierung/Personalauswahl (kaufmännisch und gewerblich)
- Aufbau der notwendigen kaufmännischen Infrastruktur und Systeme

Die Implementierung der gewerblichen Tätigkeiten bezieht sich im Wesentlichen auf den Aufbau der notwendigen gewerblichen Infrastruktur und der Systeme im Hinblick auf das Equipment und auf die technische Ausstattung.

Zur Implementierung von Kontraktlogistikgeschäften sind interdisziplinäre Teams mit operativen Erfahrungen und der entsprechenden Methodenkompetenz erforderlich.

Im Rahmen des Implementierungsprozesses sind auch die notwendigen Organisationshandbücher und Schulungskonzepte zu erstellen. In Abhängigkeit der Größe eines zu implementierenden Kontraktlogistikgeschäfts kommen in diesem Zusammenhang teilweise große Herausforderungen auf den Personalbereich eines Kontraktlogistikers zu. Speziell die Rekrutierung des geeigneten Personals und die Schulung auf die Prozesse und Systeme sind wichtige Faktoren, damit ein Geschäft möglichst schnell in den Regelbetrieb überführt werden kann und Anlaufschwierigkeiten minimiert werden können.

Weiterhin müssen die relevanten operativen und administrativen Schnittstellen aller Prozessbeteiligten als auch die speziellen IT-Schnittstellen betrachtet werden. Werden Schnittstellen nicht berücksichtigt, kann dies signifikant negative Auswirkungen auf den Projekterfolg und somit auch auf das Geschäftsergebnis haben. Alle Schnittstellen sind im Hinblick auf die Waren-, Dokumenten- und Informationsflüsse hin zu überprüfen. Die Funktionalität der IT-Systeme ist eine weitere wesentliche Voraussetzung für den Projekterfolg.

Zur Implementierungsphase zählen auch die Immobilienbeschaffung und die Beschaffung des notwendigen Equipments. Zum notwendigen Equipment zählen in vielen Kontraktlogistikgeschäften Regalanlagen, Fachbodenregale, Flurförderzeuge, Behälter und Packplätze sowie alles weitere Equipment, welches zur Leistungserbringung notwendig ist. Lieferzeiten des Equipments und die Immobilienverfügbarkeit müssen bereits im Rahmen der Planungsphase und vor Angebotsabgabe berücksichtigt werden.

Vor dem eigentlichen operativen Echtstart eines neuen Kontraktlogistikgeschäfts, gerade bei der Verwendung von neuen IT-Systemen und einem elektronischen Datenaustausch zwischen den Partnern, ist eine Testphase ratsam. Die Abwicklung kann sowohl mit exemplarischen Daten im Echtesystem als auch in einem Testsystem überprüft werden.

Finden entsprechende Tests nicht statt, kann dies fehlerträchtige Auswirkungen auf den operativen Betrieb haben. Fehler würden dann erst im Echtbetrieb auffallen, was negative Auswirkungen auf die Qualität, Kosten und Kundenzufriedenheit haben kann. Getestet werden sollten die Prozesse, Schnittstellen, IT-Systeme und der Austausch von Daten zwischen den beteiligten Partnern. Fehler und Fehlermöglichkeiten, die rechtzeitig erkannt

werden, können dann noch zeitgerecht behoben werden. In diesem Zusammenhang ist die Erstellung von Notfallplänen und Notfallkonzepten sinnvoll.

9.5.5 Betrieb und Ausbau

Der Betrieb und Ausbau eines Kontraktlogistikgeschäfts ist im Wesentlichen eine Managementaufgabe. Das integrierte, unternehmensübergreifende Logistikmanagement ist durch die Strategie der Wertorientierung, Kundenorientierung, Mitarbeiterorientierung und Prozessorientierung geprägt (Gerberich 2003, S. 355). Alle genannten Themenkreise sind für die Phase des operativen Betriebs eines Kontraktlogistikgeschäfts relevant. Die Bereiche sind umso wichtiger, als dass Unternehmen und Organisationen durch intensiven Wettbewerb dazu gezwungen werden, das Niveau und die Qualität des Services, den sie ihren Kunden bieten, stetig zu erhöhen (Binner 2003, S. 289).

Beim Betrieb handelt es sich um die längste Phase der Geschäftsbeziehung. Der Kontraktlogistiker lernt in dieser Phase die Organisation des Auftraggebers intensiv kennen. Hieraus können sich Chancen für die Festigung und den Ausbau der Geschäftsbeziehung ergeben. Es besteht die Möglichkeit auch die vor- und nachgelagerten Prozesse kennenzulernen und ggf. Angebote für weitere definierte Leistungspakete abzugeben. Im Falle des Erfolges kann daraus eine noch stärkere Integration des Kontraktlogistikers in die Organisation des Auftraggebers erfolgen was zu einer engeren Verflechtung führt. Durch diese Vorgehensweise wird der Wechsel bzw. Austausch eines Kontraktlogistikers aus Sicht des Auftraggebers erschwert.

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass sich Kontraktlogistiker während des Betriebes nicht auf den einmal implementierten Prozessen ausruhen können. Die Geschäfte unterliegen einem stetigen Wandel, der auch durch die Marktgegebenheiten auf der Auftraggeberseite beeinflusst wird. Für die Absicherung der Geschäfte ist es essentiell, dass Prozesse stetig optimiert und die Kostenstrukturen im Auge behalten und angepasst werden.

Das Installieren eines Logistik-Controllings ist in dieser Phase entsprechend relevant. Nur wenn die Kontraktlogistiker Entwicklungen frühzeitig erkennen, können auch notwendige Maßnahmen eingeleitet werden. Das Definieren und Anwenden von KPI (Key Performance Indicator/Leistungskennzahlen/SLAs) ist hier ein probates Mittel (vgl. Abschn. 7.3). Kennzahlen sollten sowohl im Bereich der Leistungs-, Kosten- und Qualitätsmessung genutzt werden um Kontraktlogistikgeschäfte transparent darstellen zu können.

Erarbeiten Kontraktlogistiker weitere Einsparungspotenziale und Prozessoptimierungen während der Vertragslaufzeit, so verbessern sie bei der Vergabe von neuen Aufträgen oder bei der Verlängerung von bestehenden Verträgen ihre Chancen auf einen Abschluss bzw. auf eine Verlängerung.

Auftraggeber fordern oftmals schon im Rahmen der Auftragsvergabe und der schriftlichen Verträge kontinuierliche Verbesserungen und Optimierungen ein, an denen sie im Verlaufe der Geschäftsbeziehung auch monetär partizipieren wollen. Kontraktlogistiker

sind aufgrund dieser Konstellation somit teilweise schon gezwungen, von Beginn an das vergebene Geschäft über die gesamte Vertragslaufzeit zu optimieren.

9.5.6 Beendigung und Rückabwicklung der Geschäftsbeziehung

Kontraktlogistische Geschäftsbeziehungen sind, wie auch andere Geschäftsbeziehung im Wirtschaftsleben, endlich. Gründe hierfür gibt es verschiedene.

Märkte und Geschäftsbeziehungen sind einem stetigen Wandel unterworfen. Dies kann dazu führen, dass Geschäftspartner zu einem bestimmten Zeitpunkt nicht mehr zusammen passen. Geänderte Unternehmensstrategien, geänderte Qualitätsziele, die durch einen Dienstleister nicht mehr erbracht werden können und sich verändernde Kostenstrukturen auf beiden Seiten können ein Grund für die Beendigung der Geschäftsbeziehung sein. Gründe können aber auch die Unzufriedenheit des Auftraggebers mit der erbrachten Dienstleistung oder dem Management des Kontraktlogistikers sein.

Kontraktlogistikgeschäfte enden oftmals aufgrund von Managementwechseln auf Seiten der Auftraggeber, da in solchen Zusammenhängen vielfach bestehende Dienstleister und Lieferanten überprüft bzw. Neuaußschreibungen durchgeführt werden.

Man kann fünf Sphären von Auflösungsgründen unterscheiden (Hofmann 2007, S. 224 ff):

- Interaktionsbedingte Auflösungsgründe
- Nachfrageinduzierte Auflösungsgründe
- Anbieterbezogene Auflösungsgründe
- Netzwerkinduzierte Auflösungsgründe
- Umfeldinduzierte Auflösungsgründe

Die Vertragsbeziehung kann regulär auslaufen, fristlos oder fristgerecht gekündigt oder vorzeitig in gegenseitigem Einvernehmen aufgelöst werden. Die Beendigung kann in allen Fällen mehr oder weniger harmonisch verlaufen und von beiden Seiten ausgehen. Ein vertragswidriger vorzeitiger Abbruch der Geschäftsbeziehung ist zwar ein seltenes aber denkbare Szenario.

Im Rahmen der Beendigung von Geschäftsbeziehungen wirken sich regelmäßig Fehler aus, die bereits in früheren Phasen begangen worden sind. Dieses sind bspw. fehlende Rückabwicklungsvereinbarungen für übernommenes Personal, zu lange Mietverträge bei Immobilien oder Flurförderzeugen oder fehlende Übergabeprotokolle von Immobilien.

Grundsätzlich geht es bei der Beendigung bzw. Rückabwicklung von Kontraktlogistikgeschäften um die korrekte, d. h. frist- und formgerechte Abarbeitung von einzuleitenden Maßnahmen. Hierzu gehört die Kündigung der Mitarbeiter, so diese nicht an anderen Standorten des Kontraktlogistikers eingesetzt oder vom nachfolgenden Dienstleister bzw. Auftraggeber übernommen werden, die Kündigung von Immobilien und damit im Zusam-

menhang stehenden Verträgen sowie die Kündigung von Verträgen im Zusammenhang mit Equipment und Flurförderzeugen.

Unabhängig vom Beendigungsgrund sollte versucht werden, die Zusammenarbeit möglichst einvernehmlich und korrekt zu Ende zu führen, da es denkbar ist, dass zukunftsbezogen neue Ansätze für eine Zusammenarbeit entstehen können.

Die Wahrscheinlichkeit von erhöhten Abwicklungskosten steigt, wenn beide Partner nicht zusammenarbeiten oder ggf. noch einen Rechtsstreit führen. Dies kann auch zu Imageschäden führen.

Sollte ein Geschäft nicht komplett eingestellt werden, so werden nach dem Ende der Geschäftsbeziehung die logistischen Aktivitäten eines Auftraggebers von einem anderen Kontraktlogistiker oder Logistikdienstleister weitergeführt oder aber vom Auftraggeber wieder selbst übernommen. Die Übergabe der Aktivitäten ist oftmals vom Kontraktlogistiker durchzuführen, da sie in die Vertragslaufzeit fällt.

Bei der Übergabe ist darauf zu achten, dass eine Inventur durchgeführt und Differenzen vor Ablauf der Geschäftsbeziehung geklärt werden. Weiterhin sollte versucht werden, alle offenen Punkte, die es zwischen dem Kontraktlogistiker und dem Auftraggeber gibt, unter Wahrung der jeweiligen Interessenslage, bis zum Ende der Vertragsbeziehung abzuarbeiten. Hierbei geht es primär um die Abrechnung von erbrachten Leistungen des Kontraktlogistikers und damit in Verbindung stehenden Einwänden des Auftraggebers. Aus Sicherheitsgründen, ob berechtigt oder unberechtigt, halten Auftraggeber oftmals Zahlungen – auch bei bereits vorhandener Fälligkeit – bis nach Beendigung der Geschäftsbeziehung zurück.

Abschließend sei erwähnt, dass die Phase der Rückabwicklung mit der gleichen Sorgfalt durchgeführt werden muss, wie die vorgelagerten Phasen der kontraktlogistischen Geschäftsbeziehung.

9.6 Chancen und Risiken der Kontraktlogistik

Christiane Geiger

Im Rahmen der Kontraktlogistik betreibt ein Logistikdienstleister im Auftrag eines Kunden dessen vollständige Lieferkette oder einen relevanten Abschnitt. Zu diesem Zweck überträgt der Verlader die Planung und Ausführung von Basis- und Mehrwertleistungen an seinen Auftragnehmer. Bei einem kontraktlogistischen Geschäft handelt es sich somit um eine Fremdvergabe von logistischen Dienstleistungen, für die grundsätzlich die in Abschn. 8.7 geschilderten Vor- und Nachteile gelten. Aufgrund der hohen Komplexität integrierter Dienstleistungsbündel, die in der Kontraktlogistik langfristig vergeben werden, sind bestimmte Argumente gegenüber dem allgemeinen Logistikoutsourcing stärker oder schwächer ausgeprägt. Jene Vor- und Nachteile, welche gemäß einer empirischen Untersuchung aus dem Jahr 2005 (Kersten und Koch 2007, S. 125–130) die größten Un-

terschiede aufweisen, sollen im Folgenden erläutert werden. Mit der Differenzierung von strategischen, leistungs-, kosten- und personalbezogenen Faktoren folgt der Beitrag dabei obiger Struktur, fasst jedoch die Perspektiven von Verlader und Logistikdienstleister zusammen.

Strategisch Da in kontraktlogistischen Geschäften nicht nur Einzelleistungen sondern ganze Logistiksysteme ausgelagert werden, ist der Logistikdienstleister in der Lage, die Prozesse durchgehend zu optimieren. Bei der klassischen Fremdvergabe von Basisleistungen wird eine ganzheitliche Betrachtung und Neugestaltung der Abläufe durch die Vielzahl der Schnittstellen eingeschränkt. Diese sind an vielen Stellen der Prozesskette zur Übergabe von Materialien und Informationen erforderlich. Wirkt ein Logistikdienstleister beispielsweise als reiner Transportunternehmer, welcher im Rahmen der Beschaffungslogistik eines verladenden Unternehmens ausschließlich vereinzelte Beförderungsleistungen erbringt, so erstreckt sich sein Gestaltungsrahmen lediglich auf den Transportprozess zwischen Übernahme und Zustellung der Güter. Tritt ein Logistikdienstleister hingegen als Kontraktlogistikdienstleister auf, welchem die gesamte Beschaffungslogistik eines Verladers obliegt, so umfasst sein Tätigkeitspektrum neben weiteren operativen Prozessen, z. B. der Lagerhaltung, auch planende Funktionen, wie der Bestandssteuerung. Damit verfügt er über einen weitaus größeren Handlungsspielraum für Prozessoptimierungen. Die Bereinigung ganzer Prozessketten um Schwachstellen ermöglicht dem Logistikdienstleister erhebliche Effizienzsteigerungen, die sein Leistungsniveau anheben bzw. seine Kosten senken. Im Falle der anteiligen Weitergabe dieser erwirkten Vorteile profitiert auch der Verlader.

Für die Übernahme eines ganzen Logistiksystems bedarf der Logistikdienstleister einer umfangreichen Datenbasis, welche zu einem Großteil auch interne Daten des verladenden Unternehmens umfasst. Damit geht der Informationsaustausch in der Kontraktlogistik weit über die Übermittlung reiner Auftragsdaten bei Vergabe einer einfachen Basisleistung hinaus.

Beispielsweise erhält ein Transportunternehmer zur Abwicklung eines Stückguttransports Angaben zum Versender, Empfänger sowie die Kollianzahl. Ein Kontraktlogistikdienstleister, welchem die Beschaffungslogistik eines Verladers zufällt, ist zugunsten einer optimalen Bestandssteuerung der Eingangsmaterialien hingegen auf diskrete Prognosen der Produktionszahlen angewiesen; für eine serviceorientierte Distributionslogistik sind vertrauliche Vereinbarungen zur Dienstgüte erforderlich, welche zwischen Verlader und Kunden geschlossen wurden.

Zwar wird dem Logistikdienstleister mit dem Zugriff auf die sensiblen Daten ein effizienterer Betrieb des komplexen Logistiksystems ermöglicht, jedoch sind auch die mit der Preisgabe verbundenen Risiken größer. So kann es im ungünstigsten Fall zu einem gezielten Missbrauch der offengelegten Informationen kommen, beispielsweise in Form einer Weitergabe an Wettbewerber. Auch ist eine seitens des Logistikdienstleisters unbeabsichtigte Datendiffusion denkbar, ausgelöst durch Datenklau bei Verwendung eines unsicheren Netzwerks. Ungeachtet der Ursache können Wettbewerbsnachteile und ernste

Schädigung des Auftraggebers die Folge sein. Die Abgabe einer Vertraulichkeitserklärung kann diese Gefahren zwar mindern, eine gänzliche Unterbindung kann jedoch nur durch Sorgsamkeit und Integrität des Logistikdienstleisters gewährleistet werden.

Ein weiteres Risiko, welches mit dem Logistikoutsourcing grundsätzlich verbunden ist (vgl. Abschn. 8.7), in der Kontraktlogistik allerdings einen noch höheren Stellenwert einnimmt, besteht in dem Verlust des direkten Kundenkontakts. Der Kontakt mit dem Käufer ist ein zentraler Erfolgsfaktor für dessen Zufriedenheit, welche letztendlich über die Kundenbindung und damit den Fortbestand und Ausbau eines Unternehmens entscheidet. Aufgrund dessen wird er als wichtiges Wettbewerbsinstrument angesehen. Mit steigender Auslagerung von Leistungen, die eine Nahtstelle zum Kunden aufweisen, bauen Produktions- oder Handelsunternehmen die Verbindung zu ihren Kunden jedoch zunehmend ab. Beauftragt beispielsweise ein verladendes Produktions- oder Handelsunternehmen einen Transportanbieter mit der Auslieferung einer Sendung, begegnen sich Dienstleister und Kunde bei der Zustellung. Über einen schadenfreien Transport hinaus ist in diesem Rahmen ein freundliches Auftreten gegenüber dem Empfänger gefragt. Ein Kontraktlogistikdienstleister, welcher die gesamte Distributionslogistik eines verladenden Unternehmens betreibt, verantwortet den Lieferservicegrad hingegen in Gänze. Neben der Beschaffenheit der Sendung bei Eintreffen am Kundenstandort bestimmt er Zustelltermin und Termintreue, Lieferbereitschaft und -flexibilität. Zudem kann es weitere Berührungspunkte mit dem Käufer geben, wie die Auftragsannahme, Fakturierung und etwaige Serviceleistungen vor Ort.

Da der Kontraktlogistikanbieter somit die Schnittstelle zum Käufer bildet, wird die Güte seiner Dienste unmittelbar durch die Kundschaft wahrgenommen. Für den wirtschaftlichen Erfolg des verladenden Produktions- oder Handelsunternehmens ist es vor diesem Hintergrund wesentlich, dass der Kontraktlogistikdienstleister seine Aufgaben von Beginn an beherrscht.

Zudem ist der Auftraggeber darauf angewiesen, dass der Logistikdienstleister das Kaufverhalten der Kundschaft kontinuierlich beobachtet. In vielen Branchen unterliegt das Handeln der Kunden in Bezug auf Kauf und Konsum einem stetigen Wandel. Um die wechselnden Bedürfnisse permanent befriedigen zu können, ist eine regelmäßige Analyse der Kundenwünsche erforderlich. Wird die eigene Verbindung zum Kunden durch die Fremdvergabe von Schnittstellenleistungen geschmälert oder gänzlich abgebrochen, liegen dem Produktions- oder Handelsunternehmen nur wenige Daten und Informationen vor, die auf die künftige Entwicklung des Kaufverhaltens schließen lassen. Dementsprechend wichtig ist es, dass seitens des Logistikdienstleisters Indikatoren gesammelt und weitergegeben werden.

Ferner ist im Zusammenhang mit strategischen Chancen und Risiken der Kontraktlogistik die bilaterale Abhängigkeit der Partner zu nennen. Da dieser Punkt bereits ausführlich in Abschn. 7.3 erläutert wurde, soll er an dieser Stelle lediglich kurz resümiert werden.

In der Kontraktlogistik ist der Verlader darauf angewiesen, dass der Logistikdienstleister das vereinbarte Leistungsbündel während der vereinbarten Laufzeit vertragskonform ausübt und damit den Betrieb des übertragenen Logistiksystems gewährleistet. Aufgrund der

hohen Prozessintegration des Logistikdienstleisters liegen beim Verlader enorme Wechselbarrieren vor, die ihn auch bei Schlechtleistung in einem Austausch des Dienstleisters hemmen. Der Logistikdienstleister hingegen ist aufgrund der Systemindividualität zur Anschaffung spezifischer Ressourcen gezwungen. Die dazu erforderlichen Investitionen sind vielfach eine Voraussetzung für seine Befähigung, die mandantenspezifischen Leistungen erbringen zu können. Um deren Amortisation sicherzustellen ist der Logistikdienstleister davon abhängig, dass ihm von Seiten des Verladers ein angemessener Durchsatz und Vertragszeitraum gewährt wird.

Leistungsbezogen Wie in Abschn. 8.7 beschrieben, verbinden die Auftraggeber mit der Auslagerung logistischer Dienste eine Anhebung von Leistungs- und Qualitätsgrad. Gegenüber der Vergabe kommodisierter Logistikleistungen ist in der Kontraktlogistik dabei die Verbesserung der Termintreue besonders ausgeprägt.

Erklären lässt sich dieser positive Effekt einerseits durch die Expertise des Kontraktlogistikdienstleisters, dessen Kernkompetenzen die Planung und Abwicklung der Beschaffungs- und Distributionssysteme umfassen. Andererseits nimmt die Pünktlichkeit der Sendungszustellung bei der Kundschaft einen hohen Stellenwert ein. So stimmt der Endkunde die Verwendung der Sendungsgüter auf den avisierten Liefertermin ab. Eine kurze Lieferzeit und andere Servicefaktoren sind zwar wünschenswert, jedoch kann eine Untererfüllung der Kundenerwartungen bezüglich dieser Kriterien eingeplant und dadurch kompensiert werden. Die Lieferzuverlässigkeit hingegen ist aufgrund der Abhängigkeit sämtlicher Folgeprozesse maßgeblich.

Im Vergleich zur Fremdvergabe von Basisleistungen werden Leistungs- und Qualitätsniveau in der Kontraktlogistik hingegen stärker durch Schnittstellenprobleme beeinträchtigt. Wie unter den strategischen Chancen und Risiken bereits erläutert wurde, erfolgt an den Schnittstellen der Austausch von Materialien und Informationen. Dabei kann es zu Komplikationen mit großer Tragweite kommen. Im Materialfluss treten beispielsweise bei Übergabe falscher oder beschädigter Güter Verzögerungen oder Unterbrechungen bei der Versorgung des Empfängers auf. Da die Materialbewegungen durch den Informationsfluss gesteuert werden, verursacht die Übermittlung unkorrekter Daten ausständige oder fehlgeleitete Sendungen. Noch tragischer sind die Konsequenzen, wenn der EDI-basierte Datenaustausch zwischen den Partnern aufgrund inkompatibler IT-Infrastrukturen gar nicht erst möglich ist. Beispielsweise können dann weder standardisierte Abrufe genutzt noch Statusdaten wie Lagerbestand oder Ort und Zustand einer Sendung elektronisch transferiert werden. Der verbale oder papierbasierte Datenaustausch als manuelle Alternative ist jedoch fehleranfälliger. Vor dem Hintergrund des hohen Volumendurchsatzes in der Kontraktlogistik ist zudem fraglich, ob der dadurch generierte Aufwand für beide Parteien überhaupt zu stemmen ist.

Kostenbezogen Je komplexer das ausgelagerte Logistiksystem ist, desto höher belaufen sich die Koordinationskosten. Koordinationskosten beziffern den Aufwand, der zur Abstimmung zwischen Verlader und Logistikdienstleister erforderlich ist (vgl. Koch 2012, S. 23).

Während dieser bei der Vergabe einfacher Basisleistungen mit klarer Auftragsdefinition überschaubar ist, verlangt die Kontraktlogistik mehr Kommunikation. Vorrangig kommen im Anlauf eines neuen Logistiksystems viele Fragen auf, da weder die Strukturen gefestigt noch die Abläufe eingespielt sind. Auch während des Regelbetriebs kann insbesondere die Überwachung und Steuerung der Leistung für beide Parteien mit intensiven Diskussionen und Absprachen verbunden sein. Beispielsweise sind Abweichungen der tatsächlichen Kennzahlenwerte von den vertraglich fixierten SLAs (vgl. Abschn. 7.3) hinsichtlich ihrer Ursache zu klären und Gegenmaßnahmen zu vereinbaren.

Der finanzielle Vorteil, der sich im Besonderen bei der Umschichtung komplexer Funktionen zum Logistikdienstleister ergibt, ist eine erhöhte Kostentransparenz. Geschaffen wird diese durch die Anwendung durchsichtiger und fairer Vergütungsmodelle. Diese beinhalten in der Regel eine klare Ausweisung des – falls vereinbart – fixen Preises, während die variablen Bestandteile über die Angabe der sie bestimmenden Indikatoren nachvollziehbar geregelt sind. In der Kontraktlogistik haben sich vor allem Modelle wie das Transaktionsorientierte Preisschema, Cost Plus Incentive Fee und Bonus-Malus-Regelungen etabliert (vgl. Frohn 2006, S. 116–121).

Personalbezogen Im Vergleich zur Vergabe vereinzelter Aufträge an Subunternehmen führt die Ausgliederung eines ganzen Logistiksystems zu einem erheblich größeren Personalüberhang im verladenden Unternehmen. Sieht der Kontraktlogistikdienstleister keine Übernahme vor, kann dieser zwar durch den Einsatz der Mitarbeiter in anderen Funktionen kompensiert oder zumindest reduziert werden. Vielfach muss sich das verladende Unternehmen jedoch von einem Teil seiner Belegschaft trennen.

Literatur

- Baumgarten H, Zadek H, Kieffer D (2004) Im Spiegelbild des Marktes – Studie zur Marktpositionierung von Logistikdienstleistern. *Logistik Heute* 5:58–59
- BGB Bürgerliches Gesetzbuch (2011), 68 edn. Deutscher Taschenbuchverlag, München 2011
- Binner, HF (2003) Strategisches Logistikmanagement als Management unternehmensübergreifender Wertschöpfungsketten begreifen. In: Päbst LM, Wipki B (eds) Marketing in der Logistik. Deutscher Verkehrs-Verlag GmbH, Hamburg
- Bretzke, W-R (2007) im Artikel „Überleben mit Rendite“ von Kümmelen R, in: Deutsche Verkehrszeitung vom 06.03.2007, Sonderbeilage Logistik, Deutscher Verkehrs-Verlag GmbH, Hamburg
- Eikelau M (2010) Auswirkungen von Fehlern und Fehlerfolgekosten auf die Gewinnmarge von Kontraktlogistikgeschäften. Verlag Praxiswissen, Dortmund
- Frohn J (2006) Mehrwertleistungen in der Kontraktlogistik. Shaker Verlag, Aachen
- Gerberich CW (2003) Modernes Logistikmanagement mit der Balanced Scorecard. In: Päbst LM, Wipki B (eds) Marketing in der Logistik. Deutscher Verkehrs-Verlag GmbH, Hamburg
- Giermann HA (2007) Kompaktsseminar: Logistik-Recht, Seminarunterlagen BME Akademie GmbH, 06.-07.11.2007, Nürnberg
- Gran A (2004) Vertragsgestaltung im Logistikbereich. In: Herber R (ed) Transportrecht, Heft 1/2004, Soz. Ahlers & Vogel, Hamburg

- Hofmann E (2007) Auflösung von Geschäftsbeziehungen in der Kontraktlogistik. In: Stölzle W, Weber J, Hofmann E, Wallenburg C M (eds) Handbuch Kontraktlogistik. Wiley-VCH, Weinheim, pp 219–241
- IBM Business Consulting Services (2003) Verändertes Rollenverständnis von Logistikdienstleistern innerhalb von Outsourcing-Prozessen. http://www.dvz.de/download/dateien/031103dvz_outsourcing.doc. Accessed 21 May 2005
- Kersten W, Koch J (2007) Motive für das Outsourcing komplexer Logistikdienstleistungen. Stölzle W, Weber J, Hofmann E, Wallenburg C M (eds) Handbuch Kontraktlogistik. Wiley-VCH, Weinheim, pp 115–132
- Kille C, Schwemmer M (2012a) Challenges 2012 - Prognosen, Hochrechnungen und Finanzkennzahlen zum Logistikmarkt. DVV Media Group, Hamburg
- Kille C, Schwemmer M (2012b) Die Top 100 der Logistik. Ausgabe 2012/2013, DVV Media Group, Hamburg
- Koch S (2012) Logistik. Springer, Berlin
- Müller J, Ermel R (2007) Tendermanagement für die Kontraktlogistik. Stölzle W, Weber J, Hofmann E, Wallenburg C M (eds) Handbuch Kontraktlogistik. Wiley-VCH, Weinheim, pp 293–308
- Otte K (2004) So schaffen Sie klare Verhältnisse. Logistik Inside, 11/2004, Heinrich Vogel, München
- Preu M (2003) Logistikdienstleister sind keine Dienstleister. Logistik Inside, 06/2003, Heinrich Vogel, München
- Rädle V (2005) Anlaufmanagement. In: Müller-Dauppert B (ed) Logistik-Outsourcing: Ausschreibung, Vergabe, Controlling. Heinrich Vogel, München, pp 83–102
- Sigg T (2006) Versicherungslösungen in der Logistik. In: Hector B (ed) Riskmanagement in der Logistik. Deutscher Verkehrs-Verlag, München, pp 71–80
- Stein A (1998) In: Klaus P, Krieger W (eds) Gabler Lexikon Logistik. Gabler, Wiesbaden
- Stölzle W (2005): Interview im Artikel „Es gibt noch lukrative Nischen“, in: Handelsblatt vom 25.05.2005, Verlagsgruppe Handelsblatt GmbH, Düsseldorf
- Wieske T (2003) Praktische Probleme bei Logistikverträgen. http://www.tis-gdv.de/tis/tagungen/workshop/2003/wieske_logistik.pdf. Accessed 27 Nov 2007

Teil III

Verkehrsträger und Transportprodukte

Markus Muschkiet und Gerald Ebel

10.1 Infrastruktur

Markus Muschkiet

Verkehrsnetze und Logistikzentren bilden die Basis der Verkehrsinfrastruktur. Ergänzt werden sie durch staatliche Institutionen und eine Rechtsordnung mit dem Ziel der rationalen Abwicklung von Güterströmen und Verkehrsflüssen. Sie ermöglichen gemeinsam die optimale Entwicklung von Wirtschaft und Gesellschaft (Bichler et al. 2011, S. 4 f.) Somit stellen das Verkehrsnetz und logistische Knoten (Logistikzentren), die im Fokus dieses Buches stehen, lediglich einen Ausschnitt der Gesamtinfrastruktur dar, auf denen der physische Warentransport und Umschlag durchgeführt werden. Der physische Transport, der im Rahmen der Arbeitsteilung und der allgemeinen Wertschöpfung stattfindet, führt zu Wohlstandsgewinnen. Investitionen in die Verkehrsinfrastruktur haben daher positive Auswirkungen auf das Wirtschaftswachstum einer Volkswirtschaft. Darüber hinaus werden Vermögenswerte und Arbeitsplätze geschaffen sowie der Handel gefördert. Nicht zuletzt ermöglicht die Infrastruktur und Investitionen in diese die geografische Zugänglichkeit und die Mobilität von Menschen. (Europäische Kommission 2011, S. 4)

M. Muschkiet (✉)

Institut für Transportlogistik, TU Dortmund, Leonhard-Euler-Straße 2,
44227 Dortmund, Deutschland,
E-Mail: muschkiet@itl.tu-dortmund.de

G. Ebel

REICHEL Ingenieurgesellschaft für Projektmanagement mbH,
Horstkottenknapp 15, 58313 Herdecke, Dortmund, Deutschland
E-Mail: gerald.ebel@reichel-pm.de

Im Jahr 2011 wurden 4,39 Mrd. t Güter über das deutsche Verkehrsnetz transportiert. Die dabei erbrachte Verkehrsleistung lag bei 654 Mio. tkm (Destatis 2012b, S. 7) Das Verkehrsnetz der einzelnen Verkehrsträger gliederte sich 2011 in über 680.000 km Straßen, welche sich in 230.800 km überörtliches und ca. 450.000 km kommunales Straßennetz unterteilen, sowie in 37.700 km Schienennetz (2010) und 7.700 km Bundeswasserstraßen. (Destatis 2012a, S. 593) (DStGB 2012) Details zu den einzelnen Verkehrsnetzen werden in den Unterkapiteln der jeweiligen Verkehrsträger (Unterkap. 10–16) erläutert. Die Verantwortung für Planung, Bau und Erhalt der Bundesverkehrswege und die dazugehörigen Investitionen trägt laut Grundgesetz die Bundesregierung. Das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) erstellt hierzu den Bundesverkehrswegeplan (BVWP). Dieser muss vom Bundeskabinett beschlossen werden. Der BVWP stellt ein Planungsinstrument dar, welches keinen Gesetzescharakter hat und entsprechend auch kein Finanzierungsprogramm ist. Bei den im BVWP vorgesehenen Aus- und Neubauprojekten muss nachgewiesen werden, dass es sich um gesamtwirtschaftlich sinnvolle und notwendige Projekte handelt. Grundlage für diese Entscheidungen sind die jeweils aktuellen Verkehrsprognosen. Ein BVWP wird i. d. R. für 10–15 Jahre erstellt und verliert mit der Erscheinung eines neuen BVWP seine Gültigkeit. (BMVBS 2012a)

Den Bundesverkehrs wegen sind die regionalen und lokalen Verkehrsnetze untergeordnet. Diese stellen, wie oben bereits aufgeführt, insbesondere im Bereich der Straßeninfrastruktur mit ca. 2/3 aller deutschen Straßen, die Mehrheit. Zusätzlich werden der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) und dessen Infrastruktur sowie andere lokale Infrastruktur wie beispielsweise Radwege und die Infrastruktur für den ruhenden Verkehr auf kommunaler bzw. Landesebene organisiert. Der jeweilige Bedarf auf Länderebene fließt in den BVWP mit ein. (DStGB 2012)

Der BVWP zusammen mit den zuvor beschriebenen Eingaben der Bundesländer ergänzt aus deutscher Sicht wiederum das (Verkehrs-) Weißbuch der EU. Nach einem vergleichbaren Prinzip, wie die Bundesländer Infrastrukturmaßnahmen in den BVWP einbringen, geschieht dies auf europäischer Ebene seitens der nationalen Verkehrsminister in das Weißbuch. Das Zurzeit der Drucklegung dieses Buches aktuelle Weißbuch mit dem Untertitel „*Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum – Hin zu einem wettbewerbsorientierten und ressourcenschonenden Verkehrssystem*“ wurde am 28.03.2011 in seiner endgültigen Fassung veröffentlicht. Darin werden unter anderem Ziele für die Infrastruktur festgelegt, die bis 2050 erreicht werden sollen. (Europäische Kommission 2011) Davor galt seit September 2001 das Weißbuch mit dem Untertitel „*Die Europäische Verkehrspolitik bis 2010: Weichenstellungen für die Zukunft*“ (Europäische Kommission 2001). Daran zeigt sich, dass der Grundgedanke der BVWP auf europäischer Ebene durch die Weißbücher, die ebenfalls ca. alle 10 Jahre neu erscheinen, überführt wird.

Ein zentraler Punkt im Rahmen der Infrastruktur und des einheitlichen europäischen Verkehrsraums sind die Transeuropäischen Netze (TEN). Diese wurden 1996 beschlossen und gehen über die Verkehrsinfrastruktur hinaus. Sie beinhalten neben der Verkehrsinfrastruktur (TEN-V) auch die Energie- (TEN-Energie) und Telekommunikationsinfrastruktur (eTEN). (BMVBS 2012b)

10.2 Verkehrsmittel im Güterverkehr

Markus Muschkiet

Verkehrsmittel sind „*Fortbewegungsmittel zur Beförderung von Personen bzw. Gütern innerhalb der Verkehrsträger. Verkehrsmittel sind dabei beispielsweise der Lkw im Straßenverkehr, die Bahn im Schienenverkehr, das Binnenschiff in der Binnenschifffahrt oder das Flugzeug im Luftverkehr.*“ (Bichler et al. 2011, S. 192). Aufgrund des Schwerpunktes dieses Buches auf den Güterverkehr werden Verkehrsmittel des Personenverkehrs nicht weiter betrachtet. Darüber hinaus werden die einzelnen Verkehrsmittel ausführlich in den Kapiteln der jeweiligen Verkehrsträger (s. Unterkap. 10–16) erläutert.

Die einzelnen Verkehrsmittel weisen verschiedenste Vor- und Nachteile auf. Aufgrund des zuvor beschriebenen größten Infrastrukturnetzes erreicht der Lkw eine Flächenabdeckung, die von keinem anderen Verkehrsmittel erreicht wird. Zudem ist der Lkw das flexibelste Verkehrsmittel, für dessen Führung die kürzeste Ausbildung zu absolvieren ist. Daher eignet sich der Lkw insbesondere für kurze Strecken, eilbedürftige Güter und für Flächenverkehre. Ein Nachteil des Lkw liegt in der zum Vergleich zur Eisenbahn und dem Binnenschiff relativ geringen Gütermenge, die mit einer Fahrt transportiert werden kann. Somit schneidet der LKW in der Umweltbilanz entsprechend schlechter ab. Ein Vergleich der drei Verkehrsmittel in Bezug auf den Energieverbrauch in Liter Diesel pro 100 tkm ergibt, dass der Lkw 4,1 l, die Eisenbahn 1,7 l und das Binnenschiff 1,3 l Diesel verbrauchen. (WSV 2009). Die besseren Verbrauchswerte der Eisenbahn und des Binnenschiffes sind unter anderem auf erheblich geringere Reisegeschwindigkeiten im Vergleich zum Lkw zurückzuführen. Hierdurch eignen sie sich i. d. R. wiederum nicht für eilbedürftige Güter. Zudem sind sie durch die kleineren Netze nicht für den Flächenverkehr geeignet. Die spezifischen Vorteile der Verkehrsmittel Eisenbahn und Binnenschiff liegen unter anderem in der Affinität zu Massengütern. Die jeweiligen Vorteile der Verkehrsmittel sollen im Kombinierten Verkehr (KV) (vgl. Unterkap. 16) vereint werden ohne dabei die spezifischen Nachteile der Verkehrsmittel in Kauf nehmen zu müssen. (Pfohl 2010, S. 160) Sowohl für den KV, als auch für unimodale Verkehre ist vor dem Hintergrund der Vor- und Nachteile der Verkehrsmittel die Auswahl des Verkehrsmittels entscheidend.

Die Verkehrsmittelwahl im Güterverkehr ist abhängig von verschiedenen Einflussgrößen. Die jeweiligen Vor- und Nachteile der Verkehrsmittel drücken sich auch im Transportpreis aus. Der Transportpreis ist jedoch nicht das alleinige Entscheidungsmerkmal für die Verkehrsmittelwahl. Die Ladungsmenge sowie die Ladungsgröße, die räumliche Lage (Quelle-Ziel-Relation) und die Transportqualität tragen zur Verkehrsmittelwahl bei. Die Transportqualität kann beispielsweise an Verkehrsstörungen des Transportes gemessen werden. Auch in diesem Bereich unterscheiden sich die Verkehrsmittel, was wiederum Auswirkungen auf die Verkehrsmittelwahl hat. Der Lkw wird beispielsweise durch Staus beeinflusst, die Eisenbahn durch festgelegte Fahrzeiten auf den Trassen und das Binnenschiff durch Niedrigwasser oder Eis. Das beste Verkehrsmittel gibt es demnach nicht. Die Auswahl des richtigen Verkehrsmittels ist von einer Vielzahl von Einflussfaktoren bestimmt. (Bühler 2006, S. 58 ff.)

10.3 Akteure

Gerald Ebel

Grundsätzlich können bei den Akteuren der Verkehrslogistik drei Gruppen unterschieden werden. Es sind dies Versender bzw. Verlader, Transportdienstleister und Empfänger.

Auf der Seite der Versender, der Quelle der Transportlogistik, finden sich die Produzenten von Waren. Sie setzen für ihre Distribution entweder Fahrzeuge aus dem eigenen Fuhrpark (Werkverkehr) ein oder bedienen sich der Transportdienstleiter für die Durchführung des Transports. Sie werden auch als Verlader bezeichnet, da ihnen die Aufgabe der Verladung der Ware vor Transportantritt zukommt. Der Versender macht logistische Vorgaben zur Abwicklung wie das Anforderungs- oder Kostenziel. Seine Unternehmensstruktur, Betriebsgröße und Branchenzugehörigkeit definiert zudem die Absatzmärkte und Kundenstruktur. Die Waren, die er vertreiben möchte, wirken sich auf die Servicequalität, Zeitfenster und Frequenzen aus, um die Nachfrage zu bedienen (Bühler 2006, S. 38).

Die Transportdienstleister ihrerseits lassen sich in Spediteure, Frachtführer, Verkehrsgegesellschaften, Paketdienstleister, Luftfrachtunternehmen, Reedereien, Bahnen und die Post unterteilen. Das Handelsgesetzbuch (HGB) legt im § 453 HGB fest, dass ein Spediteur mit dem Abschluss des Speditionsvertrags die Verpflichtung eingeht, die Versendung des Gutes zu besorgen (§ 453 HGB). Er tritt daher im klassischen Verständnis als Makler zwischen dem Versender und Frachtführern auf und ist zunächst in der Wahl der Verkehrsmittel ungebunden. Das HGB hat durch die ADSp (Allgemeine Deutsche Spediteurbedingungen) eine Konkretisierung erfahren, die eine deutlichere Abgrenzung der Spediteursleistung als Dienstleistung zur Werksleistung des Frachtführers vornimmt.

Die Aufgabe des Spediteurs zur Erfüllung seiner Dienstleistung ist die Gestaltung der Logistikkette und gliedert sich in die Bestandteile Planung, Optimierung, Durchführung und Steuerung. Im Mittelpunkt seiner Tätigkeit ist die Netzwerkbildung entscheidend für die Qualität seiner Arbeit, die sich im Kern aus der Verkehrsmittelwahl, Routenoptimierung, Umschlag und Lagerung zusammensetzt.

Der Frachtführer ist ebenfalls im Handelsgesetzbuch benannt. Hier regelt § 407 HGB, dass der Frachtvertrag den Frachtführer verpflichtet, ein Gut vom einem Ausgangspunkt zu seinem Bestimmungsort zu transportieren und an einen Empfänger zu übergeben (§ 407 HGB). Damit ist der Werkserfolg eindeutig definiert. Eine besondere Form im deutschen Speditionswesen ist die Abwicklung des Transports durch einen Spediteur im Selbsteintritt. Dazu legt § 458 HGB fest, dass Spediteure die Rechte und Pflichten eines Frachtführers übernehmen können und entsprechend neben der Vergütung der Leistung als Spediteur auch die Fracht erhalten (§ 458 HGB).

Während Frachtführer und Spediteure mit Selbsteintritt in der Regel durch ihre Spezialisierung auf bestimmte Verkehrsträger festgelegt sind, stehen dem Spediteur bei der Planung die Nutzung aller Verkehrsmodi zur Verfügung. Er kann auch entscheiden, dass die Versendung des Gutes intermodal, d. h. mit verschiedenen Verkehrsträgern erfolgen soll. Grundsätzlich wird zwischen den Luft-, Schienen-, Wasser- und Straßenverkehren unterschieden.

Auch ist der Spediteur nicht auf ein bestimmtes Transportgut festgelegt. Demgegenüber ist bei Paketdienstleistern, Luftfrachtunternehmen, Reedereien, Bahnen und der Post Verkehrsmittel oder Ladegut implizit gegeben. Sie haben durch ihre Portfolioauswahl einen eindeutigen Schwerpunkt für die Art der Leistungserbringung ihrer Transportleistung.

Der Empfänger von Ware, die Senke des Transports, kann z. B. ein weiteres Produktionsunternehmen, ein Handelsunternehmen oder der Endverbraucher sein. Maßgebliche Eigenschaften der transportspezifischen Empfängerstruktur sind die Anzahl der Empfangsstellen sowie deren Lage. Wird der Vorgang der Transportabwicklung durch den Empfänger mitgesteuert, zählt diese Aufgabe aus seiner Perspektive zur Beschaffungslogistik. Die stattfindenden Prozesse lassen sich nach administrativen und operativen Tätigkeiten unterscheiden. Administrativ erfolgen die Disposition, der Abruf und ggf. auch die Erteilung von Speditionsaufträgen bei Beschaffungen ab Werk mit der dazugehörigen Kontrolle der Liefertermine und -qualitäten. Auf operativer Seite ist das Entgegennehmen und Vereinnahmen der Ware zu nennen sowie das Management von geleerten Ladungsträgern (Gudehus 2012, Seite 939).

Weitere Akteure, die indirekt mit der Transportdurchführung in einem Zusammenhang stehen, sind Fahrzeughersteller, IT-Dienstleister, Baufirmen, legislative, exekutive und judikative Staatsorgane sowie Presse und Öffentlichkeit. Die Zulieferer der Transportdienstleister versorgen durch ihre Leistungen die Transportunternehmen mit modernen Fahrzeugen, leistungsfähiger Soft- und Hardwarelösungen sowie den entsprechenden Gebäuden und der Wegeinfrastruktur als Voraussetzung für eine effiziente Abwicklung der Transporte. Die staatlichen Gewalten wirken durch Gesetzgebung und Investitionsentscheidungen auf die Entwicklung der Transportleistung ein und stellen durch die ausführenden und rechtsprechenden Organe sicher, dass die Gesetze und Verordnungen eingehalten werden. Die Presse und Öffentlichkeit nimmt eine aufklärende und richtungsweisende Funktion ein, durch die aktuelle und zukünftige Trends der Transportlogistik beeinflusst werden. Als Beispiel sei hierzu die Einführung der Elektromobilität genannt.

10.4 Ladeeinheiten im Güterverkehr

Markus Muschkiet

Die DIN 30781 legt fest, dass die einfachste Ladeeinheit das Packstück ist. „*Das ist eine transportfähige Verpackung, die irgendein Gut zusammenhält*“ (DIN 30781 Teil 1, S. 5). Grundsätzlich wird unter einer Ladeeinheit die Bündelung von Packstücken mittels Ladehilfsmitteln zu standardisierten Transport- und Lagereinheiten verstanden. „*Im logistischen Sinn ist jedes Stückgut mit einem genügend großen Gewicht, Volumen und Abmessungen dann eine Einheit, wenn es sich mit mechanischen oder automatischen Transport- oder Lagermitteln bewegen, handhaben, lagern oder kommissionieren lässt.*“ (Martin 2011, S. 75) Aus der Bündelung von Packstücken zu Einheiten erfolgt eine Er-

höhung der Umschlagleistung aufgrund besserer Handhabung sowie schnellerer Umlade- und Umschlagvorgänge. Durch den Einsatz von Sicherungs- und Ladehilfsmitteln werden die Packstücke zudem vor Umwelteinflüssen und Diebstahl geschützt. Weiterhin sollen „*Ladeeinheiten eine Entlastung von körperlicher Arbeit sicherstellen sowie zu einer besseren Auslastung von Lager- und Transportkapazitäten beitragen*“ (Bichler et al. 2011, S. 103). Durch die Bündelung ergeben sich auch Nachteile, wie Kosten für Ladehilfsmittel, Sicherungsmittel und deren Verwaltung und Lagerung. Des Weiteren ergeben sich Kosten für Verpackungsmaschinen und Transportmittel. (Bichler et al. 2011, S. 103) Die Vorteile, die sich bei der Zusammenstellung von Ladeeinheiten einstellen, überwiegen i. d. R. die Nachteile. Insgesamt ist eine Ladeeinheit ein Baustein der Ladungsbildung, dessen Systematik in der Abb. 10.1 dargestellt wird. Für weitere Eigenschaften von Ladeeinheiten sei beispielsweise auf Martin (2011); Bichler et al. (2011) und Anrnold et al. (2011) verwiesen.

Da Ladeeinheiten häufig nach dem betreffenden Ladungsträger benannt werden, wird an dieser Stelle zusätzlich eine Erläuterung von Ladungsträgern gegeben (DIN 30781 Teil 1, S. 2).

Einer der am häufigsten verwendeten Ladungsträger ist die Palette. Diese ist nach (E DIN EN ISO 445:2012-07) eine „*steife horizontale Plattform mit minimaler Höhe, die mit Gabelstaplern und/oder Gabelhubwagen sowie anderem geeigneten Gerät gehandhabt werden kann und als Grundlage für das Zusammenfassen, Laden, Lagern, Handhaben, Stapeln, Transportieren oder Ausstellen von Gütern und Ladungen dient*“. Von besonderer Bedeutung für den Verkehr in Europa sind die Europäische Pool-Palette (Euro-Palette) mit den Maßen 1200 × 800 mm und die UK-Palette mit den Maßen 1200 × 1000 mm. Letztere wird auch als Industriepalette bezeichnet. Nach der European Pallet Association e. V. (EPAL) gibt es jedoch vier Europaletten mit den Bezeichnungen „Palette EUR 6“ für die Halbpalette, „Palette EUR“ für die Euro-Palette, sowie die Paletten „Palette EUR 2“ und „Palette EUR 3“. Die beiden Letzteren sind verschiedene Ausführungen der Industriepalette. Bei der Halbpalette („Palette EUR 6“) handelt es sich um eine Palette mit den Maßen 800 × 600 mm. Alle vier Europaletten haben gemein, dass sie unter Einhaltung der Tauschkriterien jederzeit innerhalb des Palettenpools getauscht werden können. Beim Palettentausch werden i. d. R. die Klauseln des „Bonner Palettentausch“ oder des „Kölner Palettentausch“ angewandt. Ein Merkblatt mit Erläuterungen zu diesen Klauseln wurde gemeinsam von den Spitzenverbänden der verladenden Wirtschaft, der Spedition und des Güterkraftverkehrs herausgegeben, auf welches an dieser Stelle verwiesen wird. Diesem Tauschsystem stehen die Einwegpaletten gegenüber, die sich i. d. R. an den Maßen der zuvor beschriebenen Europaletten orientieren. Darüber hinaus existiert eine Vielzahl an Sonderformen von Paletten für Spezialanwendungen, auf die nicht weiter eingegangen wird. (Arnold 2008, S.174) (EPAL) (E DIN EN ISO 445:2012-07) (Bundesverband der Deutschen Industrie et al. 2004) (Abb. 10.2, 10.3)

Ein ebenfalls weitverbreiteter Ladungsträger im Güterverkehr ist die sogenannte Gitterbox. Bei dieser handelt es sich im Sinne der Norm um eine spezielle Ausführung der

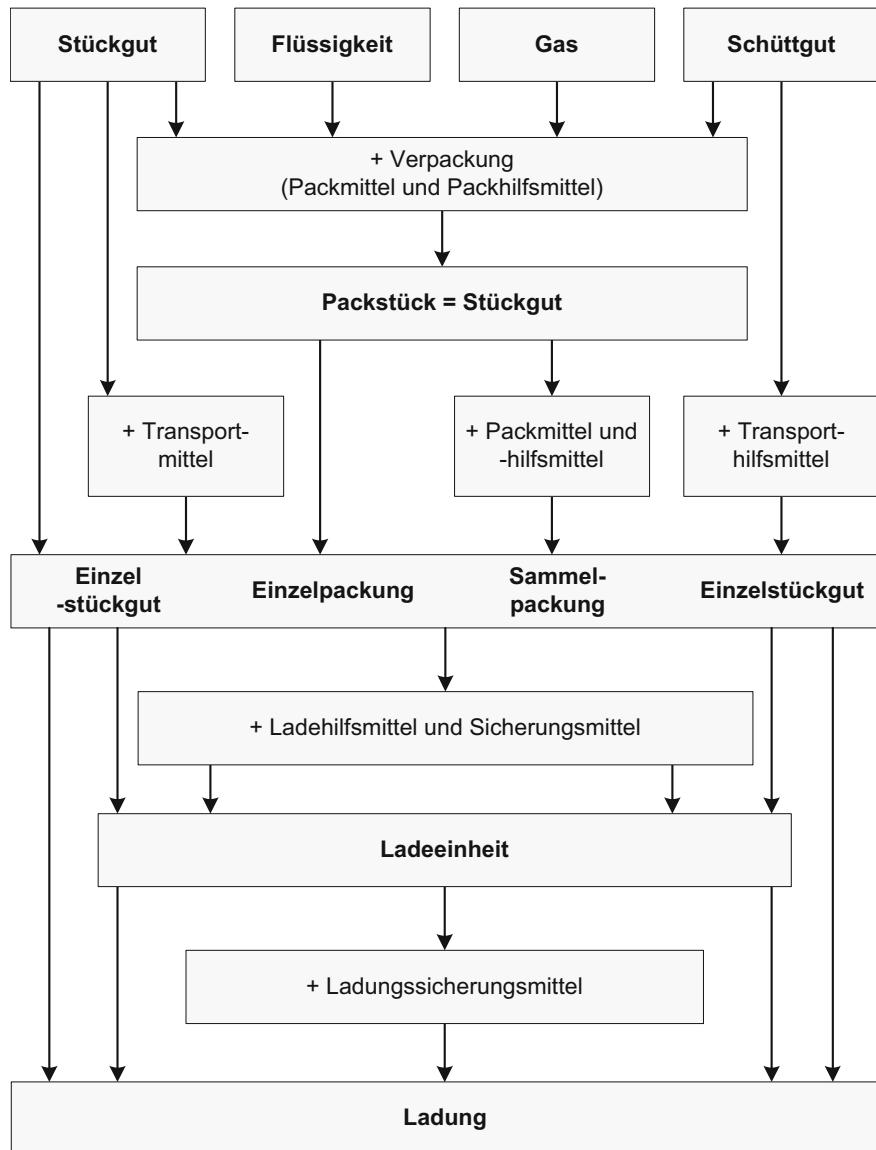


Abb. 10.1 Systematik der Ladungsbildung nach Martin (2011, S. 76)

Boxpalette, die exakte Bezeichnung lautet daher Gitterboxpalette. Jedoch hat sich die Bezeichnung Gitterbox durchgesetzt. Demnach ist eine Gitterbox „eine Palette mit vergitterten Seiten aus Draht, Stäben oder Stangen, von denen eine oder mehrere mit einer beweglichen oder abnehmbaren Entnahmeeöffnung für den Zugang ausgestattet sind“ (E DIN EN ISO 445:2012-07, S. 23).

Abb. 10.2 Euro-Palette
1200 × 800 mm (EPAL)



Abb. 10.3 Gitterbox mit
1200 × 800 mm Grundfläche
(EPAL)



Durch die Verwendung von Palettenaufbauten, wie einem Aufsetzrahmen, ist es zudem möglich eine Palette zu einer Boxpalette zu erweitern. Aufsetzrahmen können steif, zusammenlegbar oder vollständig faltbar sein, letztere sind daher flexibel einsetzbar sowie platzsparender lager- und transportierbar. Jedoch weisen mit Aufsetzrahmen versehene Paletten eine geringere Stabilität auf als reine Boxpaletten und Gitterboxen. (EPAL) (E DIN EN ISO 445:2012-07)

Weitere Ladungsträger wie Container oder Wechselbrücken, die im Kombinierten Verkehr Verwendung finden, werden im Unterkap. 16 beschrieben.

10.5 Verkehrsformen und Netzstrukturen im Güterverkehr

Gerald Ebel

In diesem Abschnitt werden Verkehrsformen und Netzstrukturen vorgestellt, die in verschiedenen Ausprägungen bei allen Verkehrsträgern vorkommen können. Insbesondere

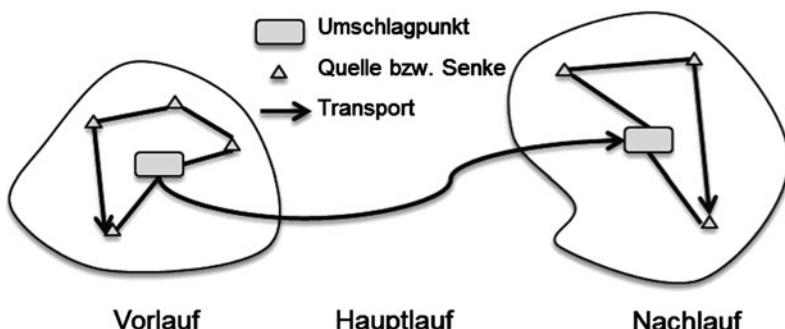


Abb. 10.4 Systematik Vor-, Haupt- und Nachlauf (in Anlehnung an Arnold et al. 2008, S. 783)

werden die Begriffe Vor-, Haupt- und Nachlauf, Nah- und Fernverkehr, Werkverkehr, Stückgut und Ladungsverehr sowie die Grundformen zum Aufbau von Verkehrsnetzen fortgestellt.

10.5.1 Vorlauf, Hauptlauf, Nachlauf

Findet ein Transport nicht auf dem direkten Weg statt (Direktverkehr oder Direktlauf), werden in der Transportlogistik Vorlauf/Zulauf, Hauptlauf und Nachlauf/Auslauf unterschieden (vgl. Abb. 10.4), um eine effiziente Abwicklung zu ermöglichen.

Ziel der Aufteilung ist es, auf dem Hauptlauf eine Komplettladung zu erhalten, die die vorhandenen Kapazitäten des gewählten Verkehrsträgers ausschöpft oder durch einen Umschlag Verkehre zu vermeiden (siehe Hub-and-Spoke-Netze). Im Vorlauf erfolgt die Andienung der Waren an einen Umschlagpunkt. Je nach Größe bzw. Ladehilfsmittel kann es sich um Sammeltouren (bei Stückgütern) oder auch um eine Direktfahrt handeln (z. B. Transport eines Seecontainers per LKW zum Hafen). Im Umschlagpunkt oder Depot erfolgt eine Konsolidierung der Waren für den Hauptlauf. Der Hauptlauf verbindet verschiedene Umschlagpunkte miteinander und findet meist über regelmäßige Verbindungen statt. Die Waren überbrücken dabei den Großteil der Wegstrecke zwischen Sender und Empfänger. Die kann in der Seeschifffahrt die Verbindung von China nach Europa sein oder im Paketdienst die Fahrt von München nach Hamburg. Im anschließenden Nachlauf werden die Waren in die Fläche in der Nähe des Umschlagpunktes verteilt. Auch hier ist es von der Art der Ware abhängig, in welcher Form der Nachlauf organisiert wird. Der Unterschied zwischen Vorlauf und Zulauf bzw. Nachlauf und Auslauf liegt im Einsatz von standardisierten Ladeeinheiten im Zu- bzw. Auslauf (Arnold et al. 2008, S. 783).

In einer weiteren Auffächerung kann zwischen Umschlagpunkten, Sammelumschlagpunkten und Verteilumschlagpunkten unterschieden werden (vgl. Abb. 10.5), um die Standardfrachtketten des Güterverkehrs abzubilden. Die hierbei zusätzlich eingefügten Umschlagpunkte gestatten die Ausgestaltung von Hub-and-Spoke-Netzen.

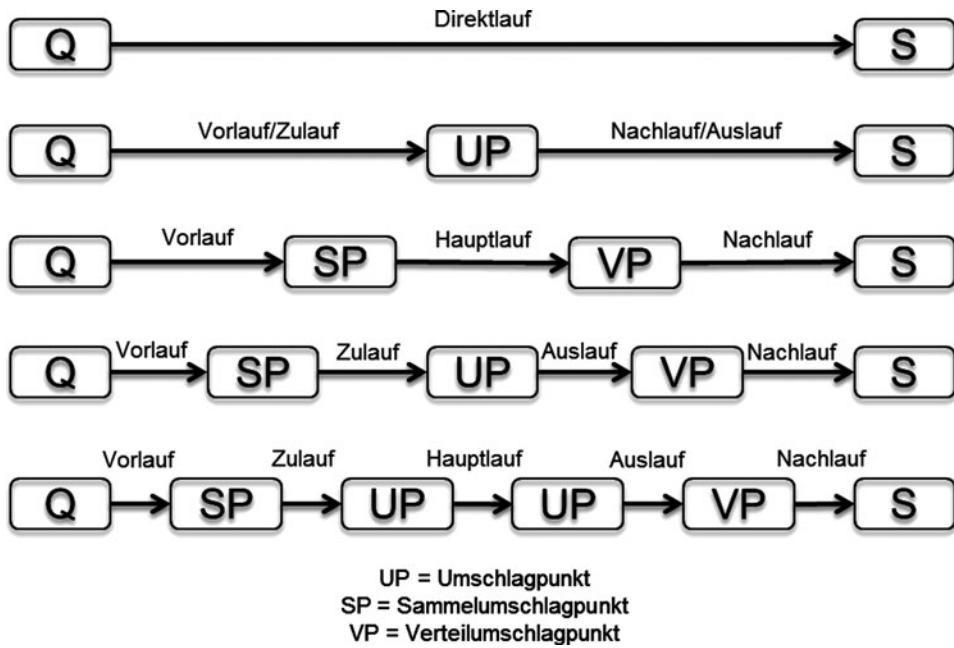


Abb. 10.5 Standardfrachtketten (in Anlehnung an Gudehus 2012, S. 991)

10.5.2 Hub-and-Spoke-Netz

Bei Hub-and-Spoke-Netzen handelt es sich um eine Netzstruktur, die angelehnt an die englische Bedeutung der Begriffe Hub = Nabe und Spoke = Speiche ein Netz ähnlich einem Rad aufbaut. Im Hub werden die Waren entladen, umgeschlagen und auf Touren zu den Empfängerdepots verschickt. Bei einem einfachen Hub-and-Spoke Netz sind alle Depots mit einem Hub verbunden. Es gibt zusätzlich die Ausprägung, dass mehrere Hubs in diesem Multi-Hub-Netz miteinander verbunden sind und die Verkehre dadurch weiter gebündelt werden.

10.5.3 Nah- und Fernverkehr

Die Unterscheidung zwischen den Kategorien Nah- und Fernverkehr hängt mit der Entfernung zusammen, die für einen Transport zurückgelegt wird. Die Grenze wurde durch das Statistische Bundesamt bis 1998 bei 75 km ausgewiesen (Bühler 2006, S. 7). Mit der Einführung des Güterkraftverkehrsgesetzes ist die Angabe jedoch nicht mehr ausgewiesen. Eine andere Einteilung wählt das Bundesamt für Güterverkehr. Die Grenze für den Nahverkehr ist hier mit 50 km angegeben, von 51 bis 150 km handelt es sich um Regionalverkehr und ein Fernverkehr liegt ab 151 km vor (BAG 2002, S. 7 ff.).

Beide Einteilungen legen jedoch nah, dass der flächendeckende Güternahverkehr im überwiegenden Fall durch den LKW abgewickelt wird. Die Grenzdistanz für den Nahverkehr kommt insbesondere bei der Abwicklung der Vor- und Nachläufe der Transportlogistik zum tragen (Arnold et al. 2008, S. 409). Für den Hauptlauf, üblicherweise als Komplettladung abgewickelt, können andere Verkehrsträger genutzt werden. Der Anteil des Nahverkehrs am Güterverkehrsaufkommen 2006 beläuft sich gemäß Einteilung der BAG auf 76 %, entsprechend sind 24 % dem Fernverkehr zuzuschreiben (Arnold et al. 2008, S. 730).

10.5.4 Werkverkehr

Werkverkehr wird im Güterkraftverkehrsgesetz (GüKG) geregelt und bezeichnet Transporte über 3,5 Tonnen zulässiges Gesamtgewicht für eigene Zwecke eines Unternehmens. Damit ein Verkehr als Werkverkehr anerkannt wird, müssen bestimmte Voraussetzungen erfüllt werden.

- Die beförderten Waren müssen im Besitz des Unternehmens sein bzw. von ihm gekauft, oder verkauft, vermietet oder gemietet, hergestellt, erzeugt, gewonnen bearbeitet oder instand gesetzt werden (§ 1 Abs. 2 Nr. 1 GüKG).
- Ferner muss die Beförderung zum Ziel haben, dass die Waren angeleifert oder versendet, oder innerhalb bzw. (zum Eigengebrauch) außerhalb des Standorts dem Unternehmenszweck dienen (§ 1 Abs. 2 Nr. 2 GüKG).
- Weiterhin ist Fahrpersonal aus dem eigenen Unternehmen oder aus einem anderen Unternehmen zur Verfügung gestellt einzusetzen (§ 1 Abs. 2 Nr. 3 GüKG).
- Schließlich darf die Beförderung nur eine Hilfstätigkeit des Unternehmens sein, wie es beispielsweise bei produzierenden Unternehmen der Fall ist (§ 1 Abs. 2 Nr. 4 GüKG).

Drei Gründe können für die Einrichtung eines Werkverkehrs ausgemacht werden, finanzielle Aspekte, Image und Flexibilität sowie schlichte Notwendigkeit aufgrund eines fehlenden Angebots (Bühler 2006, S. 39 f.).

Wenn die Verkehre über kurze Distanzen mit einer konstant hohen Auslastung auftreten, kann die hohe Auslastung der Fahrzeuge und des Personals eine wirtschaftliche Entscheidung sein. Dies ist aber nur in bestimmten Fällen gegeben, da das Lohnniveau in Unternehmen mit Werkverkehr in der Regel höher ist als im gewerblichen Güterverkehr (Arnold et al. 2008, S. 730). Lastspitzen können über gewerbliche Güterverkehrsunternehmen abgedeckt werden.

Häufig ist der Vorteil der hohen Flexibilität bei der Bedienung von Kundenwünschen einhergehend mit der Möglichkeit gut geschultes und motiviertes Personal zum Kunden zu schicken, die Ursache für die Vorhaltung eines Werkverkehrs. Die bessere Steuerbarkeit von Qualität und Service während der Transportdienstleistung heben den Nachteil der ggf. höheren Kosten auf. Diese Fahrer können beim Kunden Zusatzleistungen erbringen, die

eine Marktdifferenzierung zu den Wettbewerbern erlaubt. Dabei kann es sich um einfache logistische Tätigkeiten handeln, aber auch administrative und beratende Tätigkeiten sind denkbar (BAG 1999).

Produziert das Unternehmen Waren, die nicht zu den klassischen Marktsegmenten des gewerblichen Güterverkehrs gehören, kann die Bindung eines Transportunternehmens ggf. an den spezifischen Anforderungen scheitern. In der Folge ist das Unternehmen gezwungen, Spezialfahrzeuge und entsprechend ausgebildete Fahrer einzusetzen.

Der Einsatz von Werkverkehren hat seinen Schwerpunkt im Nah- und Regionalverkehr von Handel, dem verarbeitenden Gewerbe und der Baustoffindustrie (BAG 99). Aufgrund dessen werden die meisten Werkverkehre mit dem LKW abgewickelt. Sie sind rechtlich betrachtet lediglich meldepflichtig, wodurch sich eine Erleichterung gegenüber den genehmigungspflichtigen und mit Auflagen versehenen gewerblichen Güterverkehren ergibt (Pfohl 2010, S. 153).

10.5.5 Stückgut und Ladungsverkehr

Die Unterscheidung zwischen Stückgut und Ladungsgut bezieht sich auf die Auslastung des Transportmittels. Ist das Fahrzeug mit einer Ladung ausgelastet und kann daher keine weitere Ware aufgenommen werden, spricht man von Ladungsverkehr. Die maßgebliche Abwicklungsform des Ladungsverkehrs ist der Direktverkehr, d. h. wenn möglich wird auf einen Umschlag der Ladung verzichtet. Eine Ausnahme stellt der kombinierte Verkehr dar, der durch seine verfahrensspezifischen Vorteile dem Direktverkehr in bestimmten Faktoren überlegen ist.

Entsprechend kann ein Fahrzeug meist mehrere Stückgüter aufnehmen bzw. ausliefern. Deshalb ist die Organisation der Stückgutverkehre in der Regel eine Tour mit mehreren Versendern und Empfängern. Stückgutverkehre finden meist mehrstufig statt, so dass die Gliederung der Transportkette in Vor-, Haupt- und Nachlauf erfolgt (vgl. Abb. 10.5). Ob im Hauptlauf Direktverkehre oder ein Umschlag stattfindet, ist durch die Ausgestaltung des Netzes und die Transportmenge auf der entsprechenden Route festgelegt (Arnold et al. 2008, S. 731).

10.6 Rechtliche Rahmenbedingungen

Gerald Ebel

Alle logistischen Leistungen, und damit auch die transportlogistischen, unterliegen bei ihrer Durchführung rechtlichen Rahmenbedingungen. Der gesetzliche Rahmen in Deutschland wird von den gesetzgebenden Organen entwickelt (maßgeblich durch den Bundesrat und die EU Ratsversammlung für die Europäische Union) und von der Exekutive und Judikative entsprechend umgesetzt (vgl. Akteure). Weltweite Warenströme

machen zudem nicht nur die Kenntnis der lokalen Rechtslage erforderlich, sondern bedingen eine Auseinandersetzung mit den rechtlichen Rahmenbedingungen in allen von der Logistikkette betroffenen Ländern. Rechtsquellen sind die Verfassung, Staatsverträge, Gesetze und Verordnungen sowie das Richterrecht. Zudem werden Normen und Richtlinien von z. B. DIN VDI, ISO und die Allgemeinen Deutschen Speditionsbedingungen sowie der Stand der Wissenschaft und Technik für die Rechtsprechung herangezogen.

Der gesetzliche Rahmen der Transportlogistik wird in Deutschland maßgeblich durch die Verkehrsgesetze, die Umweltgesetze, das Steuer- und Strafrecht festgelegt. Diese Gesetze beziehen sich meist nicht direkt auf die Logistik, schränken deren Ausgestaltung aber ein. Sie dienen jedoch der Gesellschaft durch die Schaffung der Rahmenbedingungen für eine effiziente Wirtschaft, sie gestatten die Handlungs- und Bewegungsfreiheit der Menschen, sichern Gesundheit und schützen die Gesellschaft und öffentliche Ordnung.

Ferner sind die Akteure der Transportlogistik privatrechtlich insbesondere durch das Bürgerliche Gesetzbuch und das Handelsgesetzbuch betroffen. Der private Logistikvertrag zwischen den Teilnehmern einer Logistikkette dient der Erfüllung einer Logistikeistung zu definierten Qualitäten, Kosten und Preisen (Gudehus 2012, Seite 1094).

Von herausragender Bedeutung für die Transportlogistik sind das Verkehrsrecht und das Transportrecht. Unter dem Verkehrsrecht werden die Straßenverkehrsgesetze, die Eisenbahnverkehrsordnung, die Schifffahrtsordnung, das Luftverkehrsgesetz und die internationalen Verkehrsabkommen zusammengefasst. Im Transportrecht ist das Frachtrecht, das Speditions- und das Lagerrecht sowie das Recht der Beförderungsorganisation zu nennen. Das Handelsgesetzbuch ist eine wichtige Quelle zu den Regelungen des Transportrechts (Gudehus 2012, Seite 1096).

Trotz der Bemühung zum mindest in Europa eine Vereinheitlichung der Regelungen herzuführen, ist schon beim Verkehrs- und Transportrecht offensichtlich, dass für die einzelnen Verkehrsträger noch viele unterschiedliche Regelungen vorliegen. Dies hat negative Auswirkungen auf grenzüberschreitende Verkehre, wie sie in der Transportlogistik eher die Regel als die Ausnahme sind.

Literatur

- Arnold D et al. (2008) Handbuch Logistik. 3., neu bearbeitete Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
- Bichler K et al. (2011) Gabler Kompaktlexikon Logistik. 2., überarbeitete Auflage, Gabler Verlag, Springer Fachmedien, Wiesbaden
- Böhler G (2006) Die Verkehrsmittelwahl im Güterverkehr – Eine Analyse ordnungs- und preispolitischer Maßnahmen. Physica-Verlag, Heidelberg
- Bundesamt für Güterverkehr BAG (1999) Marktbeobachtung Güterverkehr: Sonderbericht: Die Auswirkungen der weiteren Liberalisierung des europäischen Verkehrsmarktes im Jahr 1998 auf die Unternehmen des gewerblichen Güterkraftverkehrs

- Bundesamt für Güterverkehr BAG (2002). Marktbeobachtung Güterverkehr – Bericht Herbst 2002. Köln
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (2012a) Bundesverkehrswegeplan. <http://www.bmvbs.de/SharedDocs/DE/Artikel/UI/bundesverkehrswegeplan.html>, zuletzt besucht 05.02.2013
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (2012b) Transeuropäische Netze (TEN). http://www.bmvbs.de/DE/VerkehrUndMobilitaet/Verkehrspolitik/EuropaeischeVerkehrspolitik/TranseuropaeischeNetzeTEN/transeuropaeische-netze_node.html, zuletzt besucht 05.02.2013
- Bundesverband der Deutschen Industrie et al. (2004) Merkblatt zum „Bonner und Kölner Palettentausch“. Auf: Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL), Abrufbar unter <http://www.bgl-ev.de/images/downloads/service/palettentausch.pdf>, zuletzt besucht 26.02.2013
- Destatis – Statistisches Bundesamt (2012a) Statistisches Jahrbuch 2012– Deutschland und Internationales. Wiesbaden
- Destatis – Statistisches Bundesamt (2012b) Fachserie 8, Reihe 1.2, Verkehr, Verkehr im Überblick 2011. Wiesbaden
- Deutscher Städte- und Gemeindebund (DStGB) (2012) Schwerpunkte – Verkehrspolitik. <http://www.dstgb.de/dstgb/Schwerpunkte/Verkehrspolitik/>, zuletzt besucht 26.02.2013
- European Pallet Association e. V. (EPAL). <http://www.epal-pallets.org/de/produkte/paletten.php>, zuletzt besucht 15.02.2013
- Europäische Kommission (2001) Weißbuch – Die Europäische Verkehrspolitik bis 2010: Weichenstellungen für die Zukunft. KOM (2001) 370, Brüssel
- Europäische Kommission (2011): Weißbuch – Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum – Hin zu einem wettbewerbsorientierten und ressourcenschonenden Verkehrssystem. KOM (2011) 144, Brüssel
- Gudehus, T (2012) Logistik 2– Netzwerke, Systeme und Lieferketten. Verlag Springer Vieweg. Berlin/Heidelberg/New York
- Güterkraftverkehrsgesetz (GÜKG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 22.06.1998
- Handelsgesetzbuch (HGB) in der Fassung der Bekanntmachung vom 20.12.2012
- Norm DIN 30781 Teil 1 Mai 89. Transportkette, Grundbegriffe
- Norm DIN 30781 Teil 1 Beiblatt 1 Mai 89. Transportkette, Grundbegriffe, Erläuterungen
- Norm E DIN EN ISO 445 Jul. 12. Paletten für die Handhabung von Gütern – Begriffe (ISO/FDIS 445:2012); Deutsche Fassung FPrEN ISO 445:2012, Entwurf
- Martin H (2011) Transport- und Lagerlogistik, Planung, Struktur, Steuerung und Kosten von Systemen der Intralogistik, 8., überarbeitete und erweiterte Auflage, Vieweg + Teubner, Springer Fachmedien, Wiesbaden
- Möglich, A (2002) Transport- und Logistikrecht. 1. Auflage Verlag Vahlen. Wiesbaden
- Pfohl, H.-C (2010) Logistiksysteme – Betriebswirtschaftliche Grundlagen. 8. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
- Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) (2009) Binnenschiff und Umwelt. http://www.wsv.de/Schifffahrt/Binnenschiff_und_Umwelt/index.html zuletzt besucht 25.02.2013

Peiman Dabidian und Sven Langkau

Der Begriff des Straßengüterverkehrs umfasst sämtliche Transporte von Gütern, die mit Kraftfahrzeugen auf dem Verkehrsträger Straße erfolgen. Der Straßengüterverkehr ist gekennzeichnet durch eine flächendeckende Infrastruktur, kurze Transportzeiten und einer zumeist direkten Verbindung zwischen Quelle (Versender) und Senke (Empfänger). Die Verkehrsleistung des Straßengüterverkehrs hat in den Jahren 2003 bis 2008 ein kontinuierliches Wachstum erfahren. Infolge des Wirtschafts- und Außenhandelswachstums bis 2008 hat sich die Verkehrsleistung der drei Landverkehrsträger Straße, Schiene und Binnenschifffahrt in Deutschland um 88 Mrd. tkm auf 481 Mrd. tkm erhöht (+23 %). Im selben Zeitraum stieg die Beförderungsleistung des Straßengüterverkehrs von 256 Mrd. tkm auf 301 Mrd. tkm und damit um 18 % (BAG 2003, S. 3, BAG 2008, S. 5). Als Folge der weltweiten Wirtschafts- und Finanzkrise sank allerdings die Gesamtleistung des Güterverkehrs in Deutschland bis zum Jahr 2011 wieder auf 462 Mrd. tkm und damit um vier Prozent. Parallel dazu reduzierte sich die Transportleistung des Straßengüterverkehrs um drei Prozent und hat damit seinen Anteil an der Gesamtverkehrsleistung mit 64 % nahezu beibehalten (BAG 2011, S. 6). Diese Zahlen verdeutlichen die direkte Abhängigkeit zwischen der konjunkturellen Lage und der Transportleistung des Straßengüterverkehrs. Im Vergleich zum Jahr 2011 ist die Transportleistung der drei Landverkehrsträger in Deutschland um weitere 2,9 Prozent gesunken. Im selben Zeitraum nahm die Transportleistung deutscher Lkw (im Straßengüterverkehr) um 4,6 Prozent ab. Die unterschiedlichen Entwicklungen der Verkehrsträgern, im Jahr 2012, haben zu geringen Veränderungen des

S. Langkau (✉) · P. Dabidian
Institut für Transportlogistik, TU Dortmund,
Leonhard-Euler-Straße 2, 44227 Dortmund, Deutschland
E-Mail: langkau@itl.tu-dortmund.de

P. Dabidian
E-Mail: dabidian@itl.tu-dortmund.de

Modal Split geführt (BAG 2013, S. 12). Diese Zahlen unterstreichen die Bedeutung des Verkehrsträger Straße für den nationalen Güterverkehr (Kummer 2006, S. 67, Cardeneo 2008a, S. 727).

11.1 Verkehrswege (Straße)

Peiman Dabidian

Nach dem 20. Jahrhundert wurde durch die Entwicklung von Landinfrastrukturen und die technologische Entwicklung der Verkehrsmittel (z. B. Eisenbahn) eine Verschiebung der Bedeutung von wassergebundenen Verkehren hin zu landgebundenen Verkehren ausgelöst. Dabei ist die Abwicklung des Straßengüterverkehrs nur auf der Grundlage eines modernen Straßennetzes mit geeigneten Fahrzeugen möglich (Kummer 2006, S. 67; Cardeneo 2008a, S. 727). Die Straßen und dazugehörigen Anlagen, Gebäuden und Betriebsstätten zählen zur Verkehrsinfrastruktur des Straßengüterverkehrs. Um Verkehrswege zu schaffen werden daher Investitionen für bauliche Maßnahmen und Sicherheitseinrichtungen erforderlich. Darüber hinaus müssen die Verkehrswege repariert und instand gehalten werden. Zusätzlich fallen im Betrieb der Verkehrswege laufende Kosten an, welche durch die Bundesrepublik überwiegend von Bund, Ländern und Kommunen getragen werden (Kummer 2006, S. 147; Cardeneo 2008a, S. 727). Im Straßenverkehrsnetz wird zwischen Verkehrskanten und Knoten unterschieden. Verkehrsknoten sind die Orte, von denen Verkehrsflüsse ausgehen bzw. zu denen Verkehre fließen. Die Verkehrswege sind die Kanten in einem Verkehrsnetz.

Das für den Straßengüterverkehr maßgebliche, überörtliche Straßennetz hat in allen industrialisierten Ländern zwei Funktionen. Das Straßennetz ermöglicht zum einen die Fernverkehre und zum anderen die Erschließung neuer Flächen. Außerdem lässt sich je nach Güte der Verkehrseinrichtung in die Kategorien primäres Straßennetz (Bundesfernstraßen), sekundäres Straßennetz (Bundes- und Landesstraßen) und tertiäres Straßennetz (Kreis- und Gemeindestraßen) untergliedern. Insgesamt verfügte Deutschland im Jahr 2010 über ein Straßennetz für den überörtlichen Verkehr mit einer Gesamtlänge von über 230.782 km (BMVBS 2012c, S. 165). Das primäre Straßennetz umfasst dabei alle überregionalen kreuzungsfreien Straßen mit mehreren Fahrstreifen pro Richtung. Dieses ist für höhere Geschwindigkeiten ausgelegt und wird im internationalen und überregionalen Verkehr genutzt. Bundesfernstraßen hatten im Jahr 2011 einen Anteil von 52.529 km (ca. 22,8% der Gesamtlänge). 12.819 km davon waren Bundesautobahnen, von denen über 3000 km sechs oder mehr Fahrstreifen besitzen (BMVBS 2012c, S. 165). Das Bundesautobahnnetz ist das Kernstück des Bundesfernstraßennetzes in Deutschland. Deutschland verfügt über eines der dichtesten Autobahnnetze in Europa und über das einzige, in dem es kein generelles Tempolimit gibt. Die Bundesautobahnen haben einen Längenanteil von ca.

5,6 % am gesamten überörtlichen Straßennetz (BMVBS 2012c). Das sekundäre Straßennetz enthält alle anderen Straßen mit überregionaler Bedeutung (Bundesstraßen). Diese ermöglichen zumeist einen Anschluss von ländlichen Regionen an das primäre Straßennetz. Die Bundesstraßen in BRD haben eine Gesamtlänge von rund 39.710 km (BMVBS 2012c) und stellen die Verbindung zum primären Netz sicher. Das tertiäre Straßennetz mit einer Gesamtlänge von 178.253 km (ca. 77,2 % an der Gesamtnetzlänge) dient dem Lokalverkehr. Es hat den größten Anteil am deutschen Streckennetz und dient der Flächenerschließung (BAG 2013; Kummer 2006, S. 147).

Eine flächendeckende Infrastruktur des Verkehrsträgers Straße kann mehrere Vorteile aufwiesen. Dazu gehören kurze Transportzeiten und eine direkte Anbindung von Quellen und Senken im Güterfluss. Ein weiterer Vorteil im Straßengüterverkehr ist, dass bei der Verpackung und dem Umschlag der zu transportierenden Güter ein geringerer Aufwand im Vergleich mit anderen Verkehrsträgern benötigt wird. Der Straßengüterverkehr weist jedoch auch gewisse Nachteile auf. Sowohl die beschränkte Massengutleistung als auch die ökologische Belastungen durch Schadstoff- und Lärmemissionen sowie der Flächenverbrauch sind die wesentlichen Nachteile des Straßengüterverkehrs. Aufgrund der hohen Verkehrsstärke in einigen Bereichen in Deutschland (hauptsächlich in den primären Straßennetzen) kommt es zu einer Überlastung der Infrastruktur. Dies kann ebenso wie Infrastrukturengpässe, die durch Baustellen, Tunnel oder Kurven entstehen, zu Unfällen und Staus auf diesen Streckenabschnitten führen. Ein überlastetes Verkehrsnetz führt somit zu Wartezeiten, sodass die Transportdauern und durch sinkende Zuverlässigkeit auch die Produktionskosten steigen. Weiterhin wird der Transport durch Sonn- und Feiertagsfahrverbote eingeschränkt. Die Gesamtlänge aller Staus auf deutschen Straßen betrug im Jahr 2011 (nach einer Zählung des Automobilclubs ADAC) rund 450.000 km. Im Vergleich zum Vorjahr war dies eine Zunahme von etwa 12 %. Die Folgen sind ein erhöhter Kraftstoffverbrauch sowie ein erhöhter CO₂-Ausstoß (ADAC 2012a).

Die Verkehrspolitik gehört zu einem der ersten gemeinsamen Politikbereichen der europäischen Staaten. Der Ausbau und die Integration der europäischen Verkehrsnetze ist ein zentrales Ziel der europäischen Verkehrspolitik. Jedoch sind in vielerlei Hinsichten Unterschiede im europäischen Verkehrsnetz erkennbar. Teilweise erfolgt die Finanzierung der Straßeninfrastruktur ausschließlich durch die öffentlichen Hand. Dieses Konzept wurde auch in Deutschland bis in das Jahr 2005 angewendet. Die meisten europäischen Länder finanzieren jedoch vor allem ihre Fernstraßen durch deren Nutzer. EU Richtlinie 2006/38/EG des europäischen Parlamentes sieht ein gerechtes System für die Erhebung von Straßennutzungsgebühren vor. Dabei soll das Verursacherprinzip angewandt werden, d.h. durch differenzierte Gebühren, die sich z.B. an Umwelteigenschaften, Fahrzeiten oder Fahrzeugklassen orientieren. Auf diese Weise soll das Straßennetz optimal genutzt und eine Doppelbesteuerung vermieden werden (Iddink und Wohlgemuth 2008). Zum Einsatz kommen dabei unterschiedliche Mautmodelle, welche zur Erhebung eines Entgelts für die Nutzung von Straßen dienen. Die Bezugsgrundlage für die Ermittlung der Mauthöhe ist dabei entweder ein bestimmter Zeitraum (zeitabhängige Maut) oder die gefahrenen Kilometer (fahrleistungsabhängige Maut) (Kummer 2006, S. 211). Insgesamt lässt sich innerhalb Europa zwischen Ländern, die seit mehreren Jahrzehnten traditionell

Mautsysteme betreiben und Ländern, die räumlich oder auf bestimmte Fahrzeugklassen limitiert Straßenbenutzungsgebühren erheben, unterscheiden. Das älteste Mautsystem besitzt Italien, wo fast 90 % des Autobahnnetzes mautpflichtig sind. Dort wird die Gebühr für die entsprechend zurückgelegten Strecken und für die Benutzung der Tunnel erhoben. Auf diesen Strecken wird grundsätzlich für fast alle Kfz eine Maut erhoben. Ähnlich wie in Italien werden auch in Frankreich und Spanien Mautgebühren erhoben. In Norwegen sind 42 Strecken oder Gebiete mit zahlreichen Brücken und Tunnel mautpflichtig. Im Vergleich mit anderen europäischen Mautmodellen, weisen norwegische Mautprojekte besondere Charaktere auf: sie sind zeitlich beschränkt und refinanzieren die Baumaßnahmen. Außerdem gibt es dort in vielen Städten eine sogenannte City-Maut (Iddink und Wolgemuth 2008). In Deutschland sind ab 2005 Lkw ab 12t im Autobahnnetz mautpflichtig. Somit sind die Mautgebühren in Deutschland im Gegensatz zu anderen europäischen Beispielen bisher ausschließlich für Lkw zu entrichten. Die Höhe der Maut in Deutschland richtet sich nach der Schadstoffklasse, der Achsenanzahl der Lkw sowie der Länge der mautpflichtigen Strecke auf der Autobahn. Das Bundesfernstraßenmautgesetz (BFStrMG), das am 19. Juli 2011 in Kraft getreten ist und das Autobahnmautgesetz (ABMG) ablöst, sieht darüber hinaus auch eine Mautpflicht auf Bundesstraßen oder Abschnitten von Bundesstraßen vor, die bestimmte Kriterien, wie z. B. die Baulast in der Trägerschaft des Bundes, zwei oder mehr Fahrstreifen je Fahrtrichtung oder die unmittelbare Anbindung an eine Bundesautobahn erfüllen.

Im Straßengüterverkehr ist eine Vielzahl rechtlicher Rahmenbedingungen zu berücksichtigen. Die Vorschriften, die sich auf die Rechte und Pflichten der Teilnehmer am Straßenverkehr und die Zulassungsvoraussetzungen für die Teilnahme am Straßenverkehr mit Fahrzeugen beziehen, werden zusammenfassend als Straßenverkehrsrecht bezeichnet. Darunter zählt das *Straßenverkehrsgesetz (StVG)* zu den wichtigsten Rechtgrundlagen. Das StVG umfasst die grundlegenden Gesetzgebungen zum Straßenverkehr in Deutschland und beinhaltet die Verkehrsvorschriften zur Zulassung von Kraftfahrzeugen und Anhängern, sowie die Regeln für sämtliche Teilnehmer am Straßenverkehr. Darüber hinaus stellt das StVG die Haftpflicht bei einem Verkehrsunfall, definiert die Straf- und Bußgeldvorschriften, sowie andere Regelungen bezüglich des Straßenverkehrs. Des Weiteren sind die *Straßenverkehrs-Ordnung (StVO)*, die *Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO)* sowie die *Fahrerlaubnisverordnung (FeV)* und die *Fahrzeugzulassungsverordnung* wichtige Bestandteile des *Straßenverkehrsrechts (FZV)* (Gabler 2012, BMJ 2013). Öffentlich-Rechtlichen Rahmenbedingungen des Straßengüterverkehrs kann man in: Güternahverkehr und Güterfernverkehr klassifizieren. Eine strenge Regulierung des gewerblichen Güterverkehrs wurde erstmals 1931 in Kraft gesetzt. Heute ist der Begriff Nahgebiet noch an der Struktur von Siedlung und Wirtschaft orientiert und stammt aus dem alten Definition von „*Nahverkehr*“ (bis 150 km): Der Begriff „*Fernverkehr*“ (ab 150 km) findet auch in diesem Zusammenhang seiner Bedeutung (Deymann 2011, S. 8). Somit liegt einen Güternahverkehr vor, wenn ein Gut innerhalb der Nahverkehrszone transportiert wird und die Be- oder Entladestelle innerhalb dieser Zone liegt (Holderied 2005, S. 107). Alle anderen Beförderungen die nicht innerhalb des Nahverkehrs liegen,

werden als Güterfernverkehr eingestuft. Als Kabotage im Güterverkehr wird jede von einem nicht ansässigen Unternehmen durchgeföhrter Warentransport (Be- und Entladen) zwischen zwei Orten des jeweiligen Staatsgebiets verstanden (Ministrere de l'Énergie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer 2010, S. 2). Innerhalb der EU gibt es seit dem 1. Januar 2012 kein generelles Kabotageverbot mehr. Für den gewerblichen Straßengüterverkehr existiert noch eine Reihe von spezifischen Gesetzesregelungen. Ein Beispiel ist das „Übereinkommen über den Beförderungsvertrag im internationalen Straßengüterverkehr – CMR“ für Gefahrguttransporte (Holderied 2005, S. 107).

11.2 Verkehrsmittel in Güterverkehr

Peiman Dabidian

Alle Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen mit dem Hauptzweck des Straßengütertransports gehören zu den Verkehrsmitteln auf der Straße. Die gesetzlichen Rahmenbedingungen und einsatzspezifische Anforderungen sind wesentlich für deren Klassifizierung. So sind Größe, Gewicht, Geschwindigkeit und Konstruktionsform des Fahrzeuges, sowie dessen Form und Stärke des Antriebs, Fahrzeugkomfort und Fahrzeugflexibilität als charakteristische Merkmale zu benennen. Kummer betrachtet die Größe und das Gewicht des Fahrzeugs für alle Verkehrsträger. Es ist stets mit einer immer größer werdende Anzahl an Plätzen (Größe) für Güter sowie den steigende Nutzlast (Gewicht) der Fahrzeuge zu rechnen (Kummer 2006, S. 163 ff, Appel et al. 2010, S. 21).

Es gibt verschiedene Arten der Transportmittel im Straßengüterverkehr. Diese können alternativ als Solofahrzeug oder in einer Fahrzeugkombination betrieben werden. Ein wesentliches Strukturierungsmerkmal für Solofahrzeuge ist die Gewichtsklasse: 2,8t, 3,5t, 7,5t, 12t und 18t (für 2-achsige), 26t (für 3-achsige) und 32t (für 4-achsige) Fahrzeuge. Die zulässigen Fahrzeugkombinationen werden von der StVZO definiert. Maßgeblich sind dabei die Anzahl der Achsen und das dadurch begrenzte Gesamtgewicht (§ 34 StVZO) 28t, 36 (38)t und 40 (44¹)t. Laut StVZO (§ 42 Abs. 3) darf die höchstzulässige Länge bei Kraftfahrzeugen und Anhängern einschließlich mitgeführter austauschbarer Ladungsträger und aller im Betrieb mitgeführter Ausrüstungsteile die Längenbegrenzung von 18,75 m nicht überschreiten.

Meist werden Gruppen von Fahrzeugen bestimmter Gewichtsklassen oder für einen gemeinsamen Verwendungszweck als Baureihe mit Abstufungen von Gesamtgewichten, Radständen und Antriebsleistungen entwickelt und am Markt angeboten (Appel et al. 2010, S. 21). Die Fahrzeuge erhalten zur Typisierung ein einheitliches Erscheinungsbild und einen eigenständigen Namen (z. B. IVECO (Daily, Eurocargo, Stralis), MAN (TGL, TGM, TGS, TGX)) (Appel et al. 2010, S. 21)). Die Lastkraftwagenfahrgestelle werden in Serie produziert, die Anforderungen an Aufbauten sind jedoch sehr vielfältig und individuell.

¹ In zu- oder abführenden Transporten des Kombinierten Verkehrs und für EuroCombi erlaubt.

Im folgenden Abschnitt werden die wichtigsten Aufbauarten kurz beschrieben (Südmersen et al. 2003, S. 84, Appel et al. 2010, S. 126).

- Die sogenannten **Plattformaufbauten** bieten eine ebene oder in der Höhe abgestufte Ladefläche ohne Bordwände und dienen dem Transport von großen Stückgütern (überschwer² oder überlang) sowie Maschinen und Fahrzeugen.
- Im Gegensatz zu Plattformaufbauten verfügen die sogenannten **Pritschenaufbauten** über eine allseitige Begrenzung der Ladefläche durch Bordwände, Rungen und eine mit dem Bodenrahmen fest verspannte Plane³.
- Für „Trockenfracht“ bieten die **Kofferaufbauten** gegenüber Pritschenaufbauten mit Plane einen wesentlich weitergehenden Schutz der Ladung. Außerdem ist eine Befestigung der Güter an den Seitenwänden möglich (vorteilhaft z. B. beim Möbeltransport). Bei Verwendung wärmedämmender Sandwichplatten als Isolierkoffer oder bei zusätzlichem Anbau von Kühlgregatten lassen diese sich auch als Kühlkoffer für leicht verderbliche Ware ausführen.
- Die sogenannten **Kastenaufbauten** werden häufig im Bereich der Kurier-, Express- und Paketdienstleister (KEP) angewendet. Das Hauptmerkmal dieser Aufbauten ist, dass der Fahrer im Gegensatz zu den Kofferaufbauten, durch eine Öffnung von der Fahrkabine in den Aufbau, gehen kann ohne aussteigen zu müssen.
- In der Baustatistik sowie der Landwirtschaft werden **Kippaufbauten** eingesetzt, welche durch Neigung Schüttgüter mit Hilfe der Schwerkraft abladen oder Behälter zur Entleerung kippen und absetzen können. Der Antrieb der Kippeinrichtungen funktioniert ausschließlich durch hydraulische Arbeitszylinder.
- **Tank- und Siloaufbauten** sind Behälter in zylindrischer Form oder Kofferbauweise, welche zum Transport von Gasen und Flüssigkeiten (z. B. Lebensmittel, Benzin, Öl, Chemikalien) oder rieselfähigen Schüttgütern dienen. Diese Behälter können, je nach Erfordernis, ein- oder mehrkammerig aufgebaut werden.
- **Getränkeaufbauten** transportieren auf Europaletten⁴, Bierpaletten oder Wasserpaletten palettierte Getränkekästen. Sie haben den Vorteil, dass sie für eine Staplerbeladung von der Seite beladen werden und dadurch möglichst geringe Rüstzeiten zum Be- und Entladen entstehen.

Eine wichtige Rolle spielen außerdem Fahrzeuge, die für **Wechselaufbauten** genutzt werden. Sie bestehen aus einem Zugfahrzeug mit entsprechenden Aufnahmeverrichtung (Trägerfahrzeug), auf dessen Rahmen ein entsprechendes Tragegestell für **Sattelaufzieher**, **Container** oder **Wechselbehälter** gesetzt wird (Südmersen et al. 2003, S. 84 ff.).

² Überschwer bedeutet, dass die regulären Achslasten der Achsen des Fahrzeugs überschritten werden.

³ Um Ladungen vor Regen oder Schnee zu schützen, wird die Aufbauart *Plane und Spriegel* verwendet.

⁴ Genormt durch EN 13698-1 mit den Maßen 1200 × 800 × 144 mm (Länge × Breite × Höhe) sowie einem Eigengewicht von 20–24 kg.

- **Sattelauflieger** sind spezielle Anhänger, welche keine Vorderachse besitzen. Sie liegen mit ihrem Vorderteil und einem Teil ihres Gewichtes auf den Achsen einer Sattelzugmaschine und werden über eine sog. Sattelplatte verbunden. Der Königszapfen stellt dabei die bewegliche Verbindung zwischen Zugfahrzeug und Sattelauflieger sicher.
- **Container** sind in der ISO 668 genormte, dauerhafte Transportgefäße im Güterverkehr. Sie sind sicher zu verschließen und zwischen Transportmitteln verschiedener Verkehrsträger als Ladeeinheit umzuschlagen (Gabler 2012). Sie können einfach be- und entladen werden und haben unterschiedliche Typen je nach Verwendungszweck. Die Container werden über spezielle Verriegelungen (sog. Twistlock) mit dem Fahrgestell fest verbunden.
- **Wechselbehälter** (auch Wechselbrücke oder Wechselkoffer) sind ebenfalls austauschbare Ladungsträger, die sich von Trägerfahrzeug trennen lassen und als ganze Einheit von einem Trägerfahrzeug abgestellt oder aufgenommen werden können. Sie sind mit vier klappbaren Stützbeinen ausgestattet. Die Wechselbehälter wurden durch DIN EN 284 genormt und sind in diversen Abmessungen im Einsatz.

Die höchstzulässige Höhe bei Kraftfahrzeugen und Anhängern einschließlich mitgeführter austauschbarer Ladungsträger eines Fahrzeugs nach StVZO (§ 42 Abs. 3) ist 4,00 m. Die typische Höhe des Laderraums ist daher 2,50 m. Für besonders voluminöse Güter werden auch sog. **Volumenaufbauten** angeboten, die eine Laderraumhöhe von bis zu 3 m bieten. Diese benötigen für den Transport jedoch spezielle Fahrgestelle bzw. Zugfahrzeuge, die besonders niedrig ausgelegt sind.

11.3 Akteure

Peiman Dabidian

Der Straßengüterverkehr steht, wie der Güterverkehr allgemein, im Spannungsfeld von Märkten, Unternehmen und Politik (Stölzle und Faganini 2010, S. 4). Die Akteure sind daher politische Organe und Aufsichtsbehörden, die für Bau, Finanzierung sowie Erhaltung der Straßeninfrastruktur verantwortlich sind und ihrerseits die Märkte regulieren. Auf dem Markt agieren einerseits die Frachtführer und Spediteure, die transportlogistische Dienstleistungen in Zusammenhang mit dem Verkehrsträger Straße anbieten. Nachgefragt werden diese Dienstleistungen von Verladern aus Industrie und Handel sowie privaten Endkunden. Die Akteure des Marktes organisieren sich darüber hinaus in Interessenverbänden, welche die Interessen aller oder bestimmter Markt- oder Verkehrsteilnehmer vertreten und staatliches Handeln beeinflussen wollen. Vor allem aufgrund der Themen Umweltschutz und Nachhaltigkeit im Bereich des Straßengüterverkehrs steht auch eine Auseinandersetzung mit Ansprüchen der Gesellschaft vermehrt im Fokus, wie z. B. CO₂-Reduktion, sowie die Bewältigung des steigenden Straßenverkehrsaufkommens und dessen Anteil am Modal Split. In Folge werden die wichtigsten Akteure kurz vorgestellt.

Die öffentliche Hand nimmt bei der Bereitstellung der Verkehrsinfrastruktur eine besondere Rolle ein. Entsprechend der Bedeutung der Projekte erfolgt die Infrastrukturbereitstellung gemäß dem Subsidiaritätsprinzip auf unterschiedlichen Hierarchieebenen (EU, Bund, Länder und Gemeinden) (Kummer 2006, S. 187 f). Auf Bundesebene trägt das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) die Verantwortung für das nationale Straßennetz. Aufgabe des BMVBS im Bereich der Straßeninfrastrukturpolitik ist der Erhalt, Aus- und Neubau von Bundesfernstraßen. Neben der Infrastrukturpolitik befasst sich das Ministerium mit Umwelt- und Grundsatzfragen, um die Rahmenbedingungen für ein leistungsfähiges Verkehrssystem zu schaffen, zu erhalten und dieses möglichst umwelt- und klimafreundlich zu gestalten (BMVBS 2012b). Für die Erhaltung, den Bau und Betrieb des untergeordneten Straßennetzes (sekundäres und tertiäres) ist die jeweilige Gebietskörperschaft zuständig. Hier erfolgt im Gegensatz zum primären Straßennetz fast keine direkte Finanzierung durch den Nutzer (Kummer 2006, S. 192). Die Kosten für den Straßengüterverkehr der öffentlichen Hand werden größtenteils durch Steuern abgedeckt. Zu den verkehrsspezifischen Steuern zählen insbesondere die Kraftfahrzeugsteuer, sowie die Mineralölsteuer. Die Kraftfahrzeugsteuer ist eine fahrleistungsunabhängige Steuer, wohingegen die Mineralölsteuer eine fahrleistungs- und verbrauchsabhängige Steuer ist. Bei der Finanzierung grenzüberschreitender Verkehrswege nimmt die EU eine immer stärkere Rolle ein. Sie übernimmt hier Teile der Planungs- sowie Baukosten (Kummer 2006, S. 192). Auf europäischer Ebene setzt sich die sog. Conference of European Directors of Roads (CEDR) für die stärkere Kooperation der einzelnen Staaten im Straßenverkehr ein.

Als selbstständige Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des BMVBS nimmt das Bundesamt für Güterverkehr (BAG) eine Vielzahl von Aufgaben rund um den Güterverkehr wahr. Insbesondere obliegt ihr die Aufgabe der Durchführung von Straßenkontrollen nach dem Güterverkehrsgesetz, sowie die nach Einführung der Lkw-Maut erforderlich gewordenen Mautkontrollen, um die Verkehrssicherheit im deutschen Straßenwegenetz zu gewährleisten. Auf kommunaler Ebene sind die Straßenverkehrsbehörden zuständig für Anordnungen von Verkehrsbeschränkungen wie Sperren und Umleitungen, sowie das Erteilen von Sondernutzungserlaubnissen. Dort befinden sich zudem die Kraftfahrzeugzulassungsstellen, welche die Fahrerlaubnis für Kraftwagenfahrer erteilen und für die An-, Ab- und Ummeldung von Kraftfahrzeugen zuständig ist.

Eine der größten Interessenvertretung zum Straßenverkehr in Deutschland ist der „Allgemeine Deutsche Automobil-Club e. V. (ADAC)“. Dieser hat sich die Aufgaben der Förderung und der Interessenvertretung des Kraftfahrwesens, des Motorsports und des Tourismus als Ziele gesetzt. Der ADAC bezieht daher öffentlich Stellung zu Gesetzesentwürfen, entwickelt Vorschläge und diskutiert mit Vertretern der Politik und Verbänden (Satzung Allgemeiner ADAC 2012b). Ein wichtiger Verband für den Straßengüterverkehr ist z. B. der Deutsche Speditions- und Logistikverband e. V. (DSLV), welcher ein Zusammenschluss aus der wichtigen Interessenvertretung der Logistikbranche, dem Bundesverband Spedition und Logistik (BSL), sowie der Vereinigung Deutscher Kraftwagenspediteure (VKS) ist. Des Weiteren sind der Bundesverband Güterkraftverkehr

Logistik und Entsorgung e. V. (BGL) oder der Bundesverband Wirtschaft, Verkehr und Logistik e. V. (BWVL) als beispielhaft wichtige Interessenverbände zu nennen.

Der Markt im Straßengüterverkehr wird durch unterschiedliche Akteure bestimmt und geprägt. Nach HGB § 407 Abs. 1 gilt als *Frachtführer*, wer durch den Frachtvertrag dazu verpflichtet ist, die entsprechende Sendung zum Bestimmungsort zu befördern, und dafür mit dem Frachtlohn vergütet wird. Der Frachtführer ist dazu verpflichtet ein Fahrzeug für den Transport einzusetzen, welches der Straßenverkehrsordnung entsprechend verkehrs-sicher und für den Transport geeignet ist. Das Gut muss dabei im beförderungsfähigen Zustand transportiert werden. Genauso ist er zur Einhaltung der gesetzlichen Lenk- und Ruhezeiten verpflichtet. Maßnahmen zur Ladungssicherung und Beförderungssicherheit müssen genauso gewährleistet werden wie eine transportsichere Verpackung der Ware. Zwischen Übernahme und Ablieferung befindet sich das Transportgut im Verantwor-tungsbereich des Frachtführers. Dieser haftet für Beschädigung oder Verlust des Gutes. Der Haftungszeitraum (Gefahrenübergang) des Frachtführers erlischt mit der Ablieferung des Gutes am Erfolgsort (Cardeneo 2008a, S. 735).

Der *Spediteur* akquiriert Transportaufträge und führt diese mit eigenen Mitteln durch oder organisiert den Transport durch Vermittlung von Aufträgen an Frachtführer, welche die Durchführung des Transports übernehmen. Rechtlich unterscheidet sich der Spediteur vom Frachtführer, indem er mit dem Auftraggeber einen Dienstleistungsvertrag und nicht, wie der Frachtführer, einen erfolgsabhängigen Vertrag abschließt (Stölzle und Faganini 2010, S. 23). Dazu gehören auch Spediteure im Selbsteintritt, d. h. welche den Transport mit eigenen Mitteln durchführen, sowie Fixkosten- und Sammelspeditionen. In allen Fällen gilt, dass der Spediteur haftet wie ein Frachtführer (Cardeneo 2008a, S. 734).

Zur Durchführung der Transporte und Dienstleistungen haben sich die im Gü-terverkehr tätigen Unternehmen auf spezielle Bereiche und Arten der Leistungs-erstellung konzentriert. Anhand der Merkmale *Durchführung, Leistung, Güterart, Einsatz eigener Ressourcen* und *Verkehrsmittel* lassen sich diese Akteure differenzieren (vgl. Kapitel 6 bis 9). Klassischerweise setzen Straßengüterverkehrsunternehmen eigene Ressourcen, bzw. Fahrzeuge, die über eine Leasinggesellschaft gemietet oder finanziert werden, ein. Der Straßengüterverkehr umfasst dabei Güter- und Werkverkehr (Stölzle und Faganini 2010, S. 22 ff.).

11.4 Produktionsverfahren und ausgewählte Transportketten

Sven Langkau

Auf Basis des Straßengüterverkehrs bieten Unternehmen der Verkehrswirtschaft unter-schiedliche Transportketten und Logistiksysteme am Markt an, die in diesem Kapitel vorgestellt werden. Mit Hilfe von Transportketten werden Güter von der Quelle (Ver-sender) zur Senke (Empfänger) verbracht. In Abhängigkeit von Umfang und Art der zu transportierenden Sendung, sowie deren Gewicht, Größe und Eilbedürftigkeit können unterschiedliche Transportketten und -netze zum Einsatz kommen.

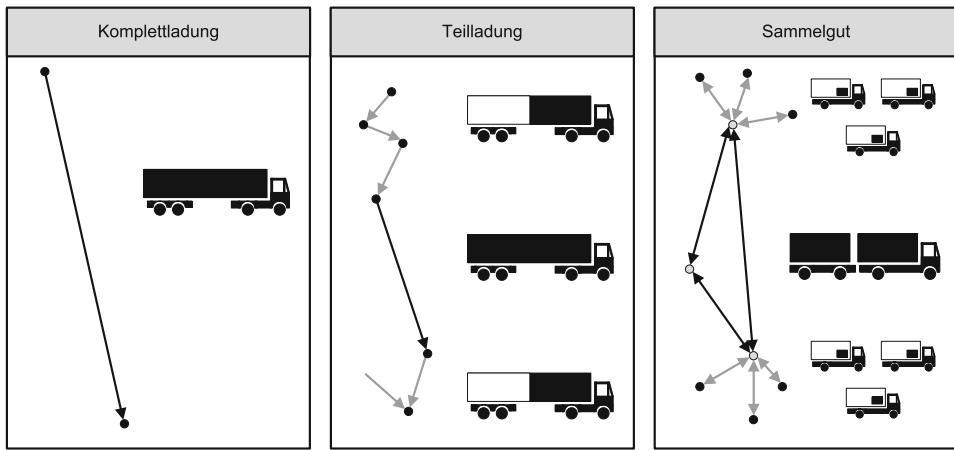


Abb. 11.1 Transportformen im Straßengüterverkehr. (in Anl. an (Deymann 2011, S. 6))

Komplettladung Als Komplettladung⁵ wird eine Gütermenge bezeichnet, die mit Hilfe eines einzelnen Transportmittels (vgl. Abschn. 10.2) direkt vom Versender zum Empfänger transportiert wird, wobei es zu keinerlei zeit- und kostenintensiven Sammel-, Verteil- und Umschlagvorgängen kommt (vgl. Abb. 11.1). Aufgrund dessen spricht man auch von einem ungebrochenen Transport (Müller 2008, S. 4). Da jeweils nur eine Be- und Entlastestelle angefahren wird, ist der Dispositionsaufwand darüber hinaus entsprechend gering. Die Transportkosten werden bei einer Komplettladung vor allem durch die gewählte Strecke beeinflusst – die zu transportierende Menge spielt nur eine untergeordnete Rolle. Aufgrund dessen kann das einzelne Gut umso günstiger transportiert werden, desto besser der Versender die Nutzlast bzw. das Ladevolumen des gewählten Transportmittels auslastet (Fleischmann 2008, S. 13).

Teilladungsverkehr Erhalten Speditionen den Auftrag, eine Einzelsendung zwischen 1,2 und 1,5 Tonnen, also zwischen sechs bis acht Europaletten zu transportieren, so erfolgt das zumeist im Teilladungsverkehr (Bretzke 2010, S. 177). Unter Teilladungsverkehren versteht man Transporte, bei denen eine einzelne Sendung den Frachtraum des gewählten Transportmittels nicht auslastet, aber (auf dem Weg zur Senke) nicht umgeschlagen wird. Um die Frachtkapazität dennoch zu nutzen, werden mit einem Transportmittel mehrere Teilladungen im Quellgebiet abgeholt und im Zielgebiet zugestellt (VNL 2013). I. d. R. erfolgt die Abholung direkt beim Versender und die Zustellung direkt beim Empfänger (vgl. Abb. 11.1). Da nur ein einzelnes Transportmittel eingesetzt und die Güter nicht umgeschlagen werden, gehört auch dieser Transporttyp zu den ungebrochenen Verkehren. Im Vergleich zum Komplettladungsverkehr steigt allerdings die Transportdauer pro Sendung und es sinkt die durchschnittliche Fahrzeugauslastung, wodurch die Transportkosten je Gewichts- und Volumeneinheit steigen. Da das Transportmittel nicht zum Ausgangs-

⁵ Engl.: Full Truckload (FTL).

punkt zurückfährt, muss für einen wirtschaftlichen Betrieb eine Rückladung im Zielgebiet organisiert werden (Bretzke 2010, S. 153).

Sammelverkehr Um Stückgut, Pakete, Fässer, Langgut und nicht palettierte Ware mit einem Einzelgewicht zwischen 30 kg und 2,5 t (Klaus und Krieger 2008, S. 9) wirtschaftlich transportieren zu können, sammeln Spediteure und KEP-Dienstleister die Sendungen im Quellgebiet ein und konsolidieren diese für den Hauptlauf bei einem Versandspediteur zu einer Sammelladung. Im Zielgebiet beim Empfangsspediteur angekommen, werden die Sammelladungen⁶ wieder aufgelöst und die Sendungen dem jeweiligen Empfänger zuge stellt (vgl. Abb. 11.1). Die Transporteure verwenden im Vor- und Nachlauf zumeist leichte Lkw mit einem zul. Gesamtgewicht (GG) zwischen 3,5 und 7,5 Tonnen, um die Güter im Nahverkehr zu den Umschlagpunkten zu transportieren. Damit im Fernverkehr eine hohe Transportkapazität gewährleistet werden kann, kommen zumeist Glieder- und Sattelzüge mit einem GG von bis zu 40 Tonnen zum Einsatz. Teilweise erfolgt dieser Transport auch mit der Bahn (Graf 1998, S. 78). Da die Güter umgeschlagen und mit mehreren Transportmitteln befördert werden, spricht man vom gebrochenen, mehrstufigen Transport. Die Bündelung der Güter im Hauptlauf erhöht die Auslastung des jeweiligen Transportmittels und reduziert damit insgesamt die Transportkosten für jedes einzelne Gut (Fleischmann 2008, S. 13). Allerdings kommt es zu zeit- und kostenintensiven Sammel-, Verteil- und Umschlagvorgängen.

11.4.1 Logistiksysteme

Im Vergleich zu anderen Verkehrsträgern sind für den Straßengüterverkehr die Versender und Empfänger einer Ware direkt erreichbar. Da die Tourenplanung individuell erfolgt und an keinen (Bahn-)Fahrplan gekoppelt ist, sind vergleichsweise kurze Beförderungszeiten realisierbar (Vastag 2008, S. 408). In Abhängigkeit von den Besitzverhältnissen und der Zugänglichkeit für externe Verlader, wird dabei zwischen offenen und geschlossenen Transportnetzen unterschieden (Bretzke und Barkawi 2010, S. 176).

11.4.1.1 Geschlossene Netze

Industrie und Handel verfügen über eigene Distributions- und Beschaffungsnetzwerke, die sie über die Jahre entwickelt und ihren jeweiligen Bedürfnissen angepasst haben. Diese Transportnetze sind i. d. R. für externe Verlader und Transporteure nicht zugänglich und gehören deswegen zu den sog. geschlossenen Netzen.

Industrie Im Bereich des produzierenden Gewerbes befasst sich die Logistik vor allem mit der Distribution und damit mit der bedarfsorientierten Verteilung der gefertigten Waren (Bretzke 2010, S. 148). Bei mehrstufigen Distributionssystemen werden die Waren

⁶ Engl.: Less than Truckload (LTL).

von einer begrenzten Anzahl von Quellen zu einer großen Anzahl von Senken transportiert. Dadurch entspricht die Distributionsstruktur einem auf den Kopf gestellten Baum⁷ (Gleißner 2008, S. 127). I. d. R. haben die Distributionssysteme in Europa nicht mehr als zwei Stufen. Bei der ersten Lagerstufe handelt es sich um ein worksorientiertes Zentrallager, das der Entkopplung von Produktion und Nachfrage dient, eine hohe Lieferbereitschaft gewährleistet und kurze Lieferzeiten für die zweite Lagerstufe ermöglicht (Bretzke 2010, S. 170). Die räumlich dezentral angeordneten Regionallager befinden sich in direkter Nähe zu den jeweiligen Märkten bzw. Kunden. Sie ermöglichen eine zeitnahe, bedarfsgerechte Versorgung mit kleinen Bestellmengen. Kunden, die sich in unmittelbarer Nähe zum Zentrallager befinden, werden zumeist auch von dort versorgt. In diesem Fall übernimmt das Zentrallager die Funktion eines Regionallagers (vgl. Abschn. 17.2).

Eine zunehmende Variantenvielfalt und abnehmende Produktlebenszyklen erschweren inzwischen die Vorhersehbarkeit lokaler Bedarfe und damit die Lieferbereitschaft in lokaler Nähe zum Abnehmer (Windt 2008, S. 581). Darüber hinaus hat sich die Umschlaghäufigkeit der Bestände reduziert, was die Kosten einer zweiten Vorratsstufe erhöht hat (Bretzke 2010, S. 171). Aufgrund dessen wird versucht, auf nationaler Ebene nur noch einstufige Distributionssysteme zu betreiben.

Handel Vor der zunehmenden Filialisierung und der Einführung IT-basierter Warenwirtschaftssysteme war es im Einzelhandel üblich, dass jedes Geschäft für sich bei den einzelnen Herstellern orderte. Teilweise wurde es sogar den jeweiligen Handelsvertretern überlassen, die Nachschubmenge zu bestimmen. Entsprechend der Anzahl von Bestellungen, kam es zu fast ebenso vielen Lieferungen bzw. Rampenkontakte. Aufgrund der hohen Anzahl von Einzellieferungen war der Zeitanteil, den das Personal für das Vereinnehmen und Einsortieren der Waren benötigte, relativ hoch. Darunter litt gleichzeitig die Kundenbetreuung und damit der Verkauf. Mit der Wahrnehmung der Logistik als kritischen Erfolgsfaktor ist der Handel dazu übergegangen, Zentrallagerkonzepte zu entwickeln (Kotzab 2008, S. 208). Die Waren werden von den Lieferanten nunmehr direkt zu dem Zentrallager des jeweiligen Händlers geliefert und von dort aus auf die Filialen verteilt. Durch diese Umstellung von zahlreichen Direktbelieferungen auf wenige Nachschublieferungen aus dem Zentrallager, wird der Zeitaufwand für die Warenvereinnahmung und -verteilung in den Filialen entsprechend reduziert. Für die Bestückung der Regale setzt der Handel teilweise externe Dienstleister ein. Um deren effizienten Einsatz sicher zu stellen, ist eine entsprechend genaue zeitliche Abstimmung mit den Nachschublieferungen notwendig. Die meisten Hersteller versorgen die Zentrallager allerdings über ähnlich getaktete Versandprozesse und Distributionssysteme, wodurch es in Stoßzeiten zu langen Standzeiten an der Rampe kommen kann. Um das zu vermeiden, setzt der Handel inzwischen eigene Lkw oder Speditionen ein, die die Güter bei den Herstellern abholen und abgestimmt auf die verfügbaren Ressourcen im Zentrallager anliefern. Durch dieses Selbstabholerkonzept

⁷ Bzw. "One-to-many-Architektur".

sind allerdings auch unpopuläre Anpassungen auf Seiten der Hersteller notwendig: Bislang wird die Tagesproduktion am Schichtende verpackt und den jeweiligen Spediteuren übergeben, die wiederum die Warendistribution übernehmen. Nun müssen die Artikel vorab kundenspezifisch vorsortiert und bereitgestellt werden, wodurch der Handlungs- und Koordinationsaufwand, sowie der Flächenbedarf steigen (Bretzke 2010, S. 281 f.). Da die Steuerung der Transporte durch die Senke erfolgt, sind diese Transporte Bestandteil des Beschaffungssystems. Ist der Hersteller, also die Quelle, für die Koordination verantwortlich, so ist die Rede von einem Distributionssystem. Teilweise kommt es auch zu einer Teilung der Systemführerschaft, wenn bspw. der Hersteller den Transport zu einem Verteillager steuert und der Handel von dort aus die weiteren Transporte organisiert.

Cross Docking Beim Cross Docking-Konzept übernimmt der Handel die Systemführerschaft und steuert die Transporte vom Hersteller bis zur jeweiligen Filiale vollständig. Bei diesem Konzept sind die Liefermengen und der Lieferzeitpunkt am Cross-Docking-Punkt auf die Bedarfe der dort angeschlossenen Filialen abgestimmt. Die Güter werden am Cross Docking-Punkt nur umgeschlagen und zeitnah auf die jeweiligen Senken verteilt, was eine bestandlose Lagerhaltung ermöglicht. Da hierbei in kurzer Zeit viele Ladeeinheiten umgeschlagen werden, kommen zumeist Flurförderzeuge mit Langgabeln zum Einsatz. Rückgrat dieses Konzeptes ist ein schneller und aktueller elektronischer Datenaustausch⁸ zwischen Lieferant und Abnehmer, worüber Informationen wie Bedarfsmengen, Lieferzeitpunkte, der exakte Empfänger, etc. kommuniziert werden (Bretzke 2010, S. 289). Beim einstufigen Cross Docking kommissionieren die einzelnen Lieferanten die Ware filialbezogen auf Paletten vor. Nach der Anlieferung werden die Paletten empfängerbezogen zusammengestellt und auf den Lkw, der die jeweilige Zustellroute bedient, verladen. D. h. die Zusammensetzung der Ladeeinheiten wird auf dem Transport vom Hersteller zur jeweiligen Filiale nicht verändert. Im Unterschied dazu erfolgt die empfängerbezogene Kommissionierung beim zweistufigen Cross Docking⁹ erst im Terminal (vgl. Abb. 11.2). Die Lieferanten haben dieses zuvor mit artikel- bzw. sortenreinen Paletten versorgt. Die Liefermengen entsprechen jeweils der Summe der Bedarfe der einzelnen Senken (Gudehus 2005, S. 910).

Neben der pünktlichen Lieferung zu den vereinbarten Konditionen, darf es auch zu keinerlei Fehl- oder Falschlieferungen kommen. Dem hohen technischen, organisatorischen und nicht zuletzt finanziellen Aufwand stehen vor allem der Wegfall der Lagerbestände und der damit verbundenen Kapitalbindungskosten gegenüber.

11.4.1.2 Offene Netze

KEP-Dienstleister sowie Sammel- bzw. Stückgutspediteure sind Anbieter sog. offener Netze. Charakteristischer Weise sind bzw. werden die Transporteure nicht Eigentümer der

⁸ Engl.: Electronic Data Interchange (EDI).

⁹ Wird teilweise auch als *Transshipment* bezeichnet.

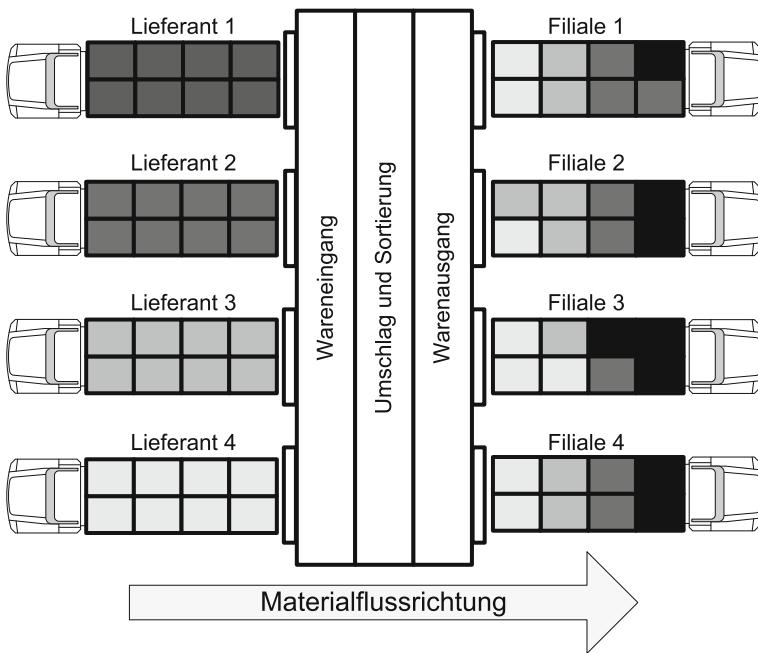


Abb. 11.2 Schema eines Cross Docking-Terminals. (in Anl. an (Gast 2008, S. 113; Bretzke 2010, S. 291))

beförderten Ware. Industrie und Handel nutzen teilweise das Transportnetz der KEP-Dienstleister und Spediteure, um ihre Waren von der Quelle zur Senke transportieren zu lassen. Im Unterschied zu geschlossenen Transportnetzen, ist es allerdings auch für Endkunden zugänglich bzw. werden auch Endkunden beliefert. Da die Sendungen in diesem flächendeckenden Transportsystem von zahlreichen Quellen zu beliebig vielen Senken transportiert werden, spricht man von einer „Many-to-many-Architektur“ (vgl. Abb. 11.3). Das Gewicht der Sendungen liegt bei KEP-Dienstleistern typischerweise unter 31,5 kg und bei Stückgutspediteuren unter 2,5 Tonnen (Kille und Schwemmer 2012, S. 67). Die Produkte der KEP-Dienstleister und Stückgutspediteure sind auf keine bestimmte Branche oder Zielgruppe ausgerichtet und ermöglichen eine flächendeckende Verteilung der Sendungen unter standardisierten Transportmerkmalen (vgl. Abschn. 8.5). Sie unterscheiden sich wie folgt: Kurierdienste übernehmen in einem zumeist regional begrenzten Bereich den begleiteten Transport von der Quelle bis zur Senke. Kennzeichnend ist neben der individuellen Abholung und Zustellung ein schneller Transport zu hohen Frachtpreisen bspw. von Ersatzteilen, Datenträgern und Dokumenten. Expressdienstleister ermöglichen eine schnelle und zeitdefinierte Zustellung der Sendungen mit einer permanenten Sendungsverfolgung. Die Abholung und Zustellung erfolgt ebenfalls individuell, allerdings wird die Sendung nicht persönlich begleitet und ggf. im Sammelverkehr transportiert. Im Schnitt erfolgt der Transport national innerhalb von zwei Tagen und international innerhalb von einer Wo-

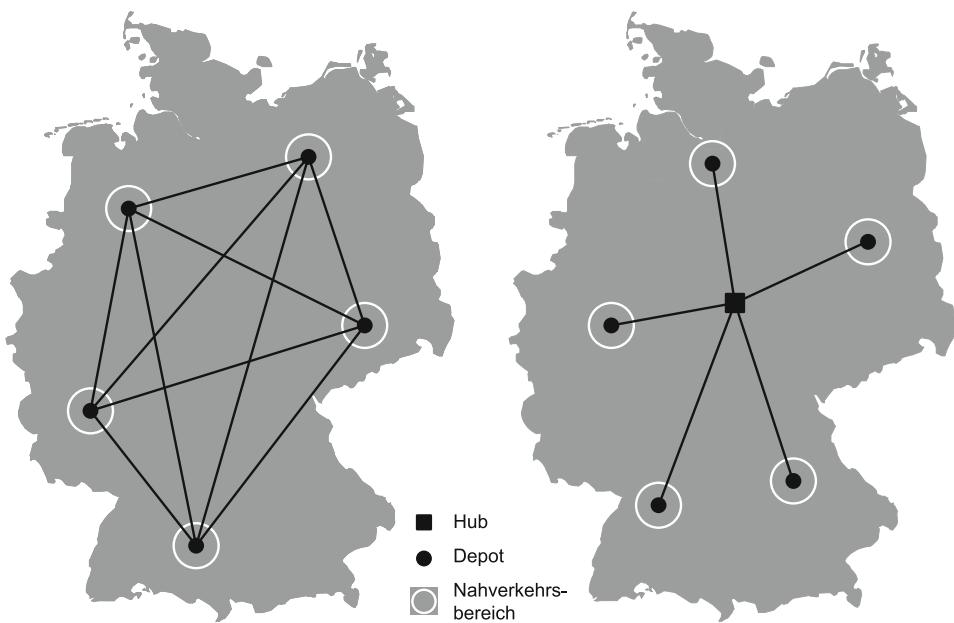


Abb. 11.3 Direktverkehrsnetz und Hub-and-Spoke-Netz. (In Anl. an (Arnold und Furmans 2007, S. 228))

che, wobei die Zustellzeiten i. d. R. nicht fest vereinbart sind (Kille 2008, S. 260). Um solche Transporte flächendeckend in kurzer Zeit durchführen zu können, müssen entsprechende Transportnetzwerke vorgehalten werden. Die zwei Extreme sind typischerweise das Direktverkehrs- und das Hub-and-Spoke-Netzwerk, deren Transportketten nachfolgend erläutert werden.

Direktverkehrsnetz Bei einem Direktverkehrsnetz holen die Netzanbieter die Sendungen entweder direkt beim (Geschäfts-)Kunden ab, oder übernehmen diese an Konsolidierungspunkten wie z. B. Postfilialen und Paketshops. Von dort aus erfolgt der Transport im sog. Vorlauf zu einem Depot im Quellgebiet. Bei einem Depot handelt es sich um einen Standort mit Umschlaganlage, das in ein flächendeckendes Verteilnetz eingebunden ist. Dort werden die Güter entsprechend ihrem Zielbereich vorsortiert und im Anschluss im Fernverkehr zu dem jeweiligen Zieldepot transportiert. Während dieses sog. Hauptlaufs kommt es zu keinen weiteren Umschlagvorgängen und damit auch zu keinem Wechsel des Verkehrsmittels. Eine solche Transportroute zwischen zwei Depots bezeichnet man auch als Relation. Im Depot des Zielgebietes angekommen, werden die Sendungen auf die einzelnen Zustellrouten verteilt und schließlich im Nahverkehr dem Empfänger zugestellt. Bei n Depots sind also $(n(n - 1))$ Relationen notwendig, um alle Güter im Direktverkehr zu verteilen (Cardeneo 2008b, S. 783). Um ein solches Verkehrsnetz wirtschaftlich betreiben zu

können, sind allerdings hohe Transportmengen¹⁰ auf den einzelnen Relationen notwendig. Durch die Mengenbündelung können die Transportkosten im Hauptlauf für ein einzelnes Gut relativ gering gehalten werden. Die Gesamtkosten für den Transport, von der Quelle bis zur Senke, werden von den vor- und nachgelagerten Sammel- und Verteiltransporten bestimmt (Koether 2012, S. 104).

Hub-and-Spoke-Netzwerk Bei einem Hub-and-Spoke-Netzwerk (Nabe und Speiche) werden die Güter ebenfalls in dem Depot des jeweiligen Quellbereichs gesammelt, dann allerdings unsortiert zu einem Hub¹¹ transportiert (Cardeneo 2008b, S. 784). Dort erfolgt die Sortierung und Bündelung der Güter entsprechend ihrem jeweiligen Zieldepot, zu dem sie im zweiten Hauptlauf transportiert werden. Im anschließenden Nachlauf erfolgt dann die Zustellung der Güter im Zielbereich. Da die Güter von n Depots zum Hub und wieder zurück befördert werden, sind $2n$ Relationen notwendig, um solch ein Netzwerk zu betreiben (Klaus und Krieger 2008, S. 223). Im Vergleich zu einem Direktverkehrsnetzwerk wird also eine geringere Anzahl an Relationen betrieben, was allerdings längere Transportwege und -zeiten zur Folge hat (vgl. Abb. 11.3). Die von dem Hub (Nabe) zu den einzelnen Depots sternförmig ausgehenden Relationen bezeichnet man auch als Speichen (engl.: Spokes).

Die Wahl zwischen einem Direktverkehrs- oder HubandSpoke-Netzwerk wird durch das Netzaufkommen, dem zur Verfügung stehenden Zeitfenster und den Kosten für den Betrieb des Netzwerkes bestimmt (Heinrichmeyer 1998, S. 188):

- Auf stark frequentierten Relationen kommen häufig Direktverkehre zum Einsatz.
- Damit sich der Einsatz eines Hubs lohnt, müssen die Betriebskosten kleiner sein, als die Einsparungen durch die geringere Anzahl an Touren.
- Der Umschlag in einem Hub nimmt zusätzliche Zeit in Anspruch. Aufgrund dessen müssen Güter mit einem engen Zeitfenster im Direktverkehr befördert werden.

11.5 Logistische Knoten offener Transportnetze

Sven Langkau

Dieses Kapitel gibt einen Überblick der durch Industrie, Handel und Dienstleister betriebenen logistischen Knoten im Straßengüterverkehr. Einen Schwerpunkt bilden dabei die von Paketdienstleistern und Stückgutspediteuren betriebenen Knoten. Im Anschluss erfolgt die Beschreibung, der dort zum Einsatz kommenden Umschlag- und Sortiertechniken, sowie die der verschiedenen Betriebs- und Planungsstrategien. Zuletzt werden anhand von ausgewählten Knoten unterschiedliche Gebäudeformen und Bereitstellungsprinzipien vorgestellt.

¹⁰ Man spricht auch von einem Netzaufkommen bzw. von einem Mengengerüst des Netzes (Heinrichmeyer 1998, S. 189).

¹¹ Wird auch als Hauptumschlagbasis bezeichnet.

Umschlag- und Sortiereinrichtungen bilden die logistischen Knoten in einem Frachtnetz (vgl. Abschn. 10.4). Ihre unterschiedlichen Funktionen werden nachfolgend zusammengefasst (Stabenau 2008, S. 186):

- Konsolidierungs- bzw. Zustellpunkte
Über Postfilialen und Paketshops erfolgt das Sammeln bzw. Verteilen der Sendungen einer bestimmten Region. Sie existieren vor allem in Transportnetzen mit einem großen Sendungsaufkommen.
- Depots
Die Depots bilden die Schnittstelle zwischen dem Nah- und Fernverkehr. Hier werden die Sendungen aus dem Quellgebiet für die Fernverkehrsrelationen zusammengestellt, bzw. die im Hauptlauf beförderten Einzelsendungen auf die Zustellrouten im Zielgebiet verteilt.
- Hubs
Im Hauptlauf werden die Sendungen aufkommensschwacher Relationen entsprechend ihrem Zielgebiet sortiert und konsolidiert.
- Regionalhub
Umschlagstationen, die günstig zu Landesgrenzen liegen, übernehmen häufig eine Hubfunktion für internationale Sendungen.

11.5.1 Techniken im Umschlagbereich

Die von Paketdienstleistern und Stückgutspediteuren betriebenen Umschlagterminals dienen der Bildung und Auflösung von Ladeeinheiten, sowie der Bereitstellung von avisierten Transporten (ten Hompel et al. 2007, S. 304). Das vorherige Bereitstellen der Güter ist notwendig, um ein rasches Verladen in das entsprechende Transportmittel zu ermöglichen. Der Warenumschlag über das Fahrzeugheck erfolgt überwiegend an Kopframpen mit Ladeluken. Diese Ladeluken verfügen i. d. R. über eine Torabdichtung, die den Spalt zwischen Gebäude und Lkw schließt und einen witterungsgeschützten Warenumschlag ermöglicht. Um den Laderaum eines Lkw gefahrlos betreten bzw. mit einem Flurförderzeug (bspw. ein Gabelstapler) befahren zu können, werden sog. Überladebrücken benötigt. Diese gleichen den Höhenunterschied zwischen dem Hallen- und dem Lkw-Ladeboden aus und ermöglichen, durch ihre flexible Lagerung, eine Anpassung an den jeweiligen Beladungszustand des Lkw. Bei KEP-Dienstleistern erfolgt der Warenumschlag von nicht palettiertem Stückgut manuell. Für den Transport in und aus den Lkw heraus kommen teleskopierbare Stetigförderer zum Einsatz, die bis in die Laderäume hineinragen. Die Bedienung erfolgt durch einen Mitarbeiter, der im Laderaum steht und die Ladeeinheiten entnimmt bzw. zuführt (ten Hompel et al. 2007, S. 312). Die Stetigförderer wiederum sind an das nachgelagerte Sortiersystem angeschlossen. Palettierte Güter werden i. d. R. mit einem Flurförderzeug umgeschlagen. Die eigentliche Sortierung erfolgt entweder manuell, oder teil- bzw. vollautomatisiert. Aufgrund der hohen Investitionskosten und der geringen

täglichen Betriebsstunden kommen vollautomatisierte Systeme nur in Hubs und Depots mit einem hohen Sendungsaufkommen zum Einsatz. Bei sperrigen und schweren Gütern erfolgt die Sortierung über manuelle oder teilautomatisierte Sortiersysteme (Jodin und ten Hompel 2006, S. 4, 10). Die Anlagen sind zumeist in einer Halle mit eingeschossiger Bauweise untergebracht, in der durch große Dachspannweiten und der damit verbundenen geringen Anzahl an Stützen eine flexible Flächennutzung gewährleistet ist (Nehm und Veres-Homm 2008, S. 378). Unabhängig vom Automatisierungsgrad ist eine durchgehende (Barcode-)Kennzeichnung aller Sendungen notwendig, die eine Identifikation der Sendungen und damit deren Routing durch das Terminal erst ermöglicht. Darüber hinaus ermöglicht die Kennzeichnung die Dokumentation des Gefahrenübergangs zwischen Versender, Umschlagpunkt, Zusteller und Empfänger, wodurch der gesamte Transportweg (nach-)verfolgt werden kann (Klaus und Krieger 2008, S. 393).

11.5.2 Betrieb der Knoten

Paketdienstleister und Stückgutspeditionen bieten eine Zustellung der Sendungen innerhalb von 24 Stunden an. Die Transportkette beginnt mit der Abholung der Güter beim Versender bzw. am Konsolidierungspunkt zwischen 12:00 Uhr und 18:00 Uhr und endet mit der Zustellung zwischen 06:00 Uhr und 12:00 Uhr am nächsten Morgen (Deymann 2011, S. 8). In der Zwischenzeit werden die Güter entsprechend dem jeweiligen Transportnetz sortiert und von der Quell- in die Zielregion transportiert. Aufgrund der transportnetzbedingten Abläufe gibt es in den Depots eines Direktverkehrsnetzes zwei und in einem Hub eine Hauptarbeitsphase bzw. Verkehrsphase.

In einem Direktverkehrsnetz umfasst die Verkehrsphase des Sammelgutausgangs (SA) bzw. der Abgangsbearbeitung das Einsammeln der Sendungen im Nahverkehr, das Sortieren im Depot auf alle Fernverkehrsrelationen und den Weitertransport im Fernverkehr. Das mit dem Fernverkehr im Zieldepot eintreffende Transportgut wird in der Verkehrsphase des Sammelguteingangs (SE) bzw. der sog. Eingangsbearbeitung erneut umgeschlagen und für die Zustellung im Nahverkehr vorbereitet (vgl. Abb. 11.4) (Chmielewski 2007, S. 10; Cardeneo 2008b, S. 786).

Liegt ein Hub-and-Spoke-Netz vor, so werden bereits im Depot die Sendungen in der SA-Phase aussortiert, deren Zustellung im Nahverkehrsbereich des jeweiligen Depots erfolgt (Cardeneo 2008b, S. 786). Die restlichen Sendungen werden in dieser Phase konsolidiert und zu einem Hub transportiert. Aufgrund des reinen Warenaumschlags verlässt das Transportgut in einem Hub-and-Spoke-Netz das Depot im Quellbereich zwar schneller, allerdings sind die Fahrstrecken und damit die Fahrzeiten in diesem Netztyp insgesamt länger (Bretzke 2010, S. 325). Um das Zeitfenster zwischen dem Einsammeln und Verteilen der Güter nicht zu überschreiten, muss das Hub über eine entsprechend hohe Umschlag- und Sortierleistung verfügen (Klaus und Krieger 2008, S. 223). Im Vergleich zum Direktverkehrsnetz erfolgt dies dann in einer einzigen Arbeitsphase in der Nacht zwischen 21:00 und 02:00 Uhr (Deymann 2011, S. 10).

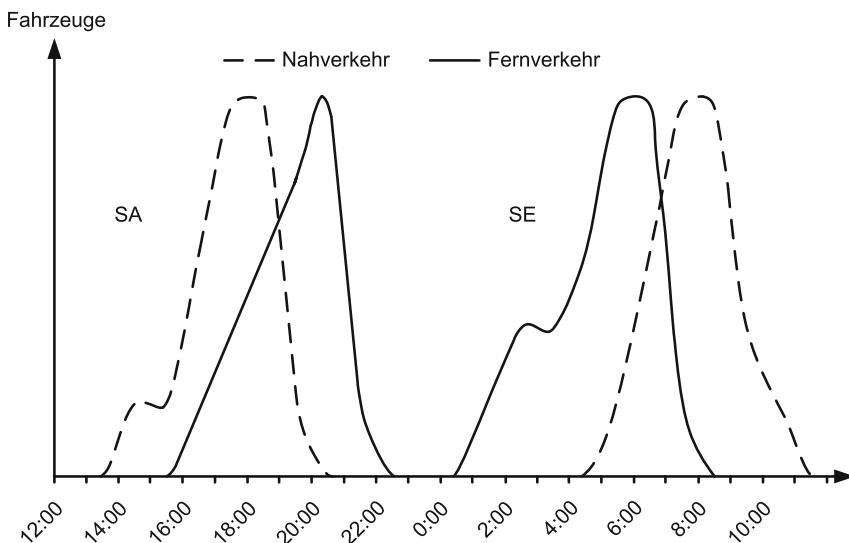


Abb. 11.4 Fahrzeugankunftsverteilung an einem Depot. (in Anl. an (Lublow 1995, S. 4–6; Neumann und Deymann 2008))

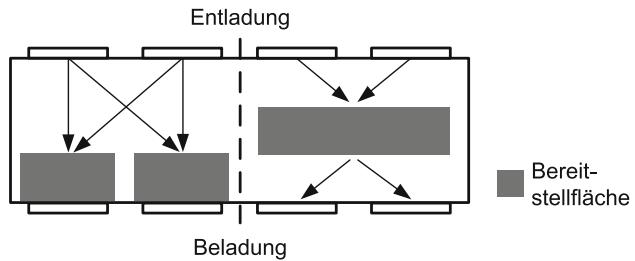
11.5.3 Vorstellung ausgewählter Knoten

In diesem Abschnitt werden die Grundformen und Bereitstellungsprinzipien bei Stückgutspeditionen anlagen und Paketsortierzentränen vorgestellt, die für den Straßengüterverkehr ausgeleget sind.

Beim Neubau einer Stückgutspeditionen anlage wird i. d. R. eine rechteckige Grundform bevorzugt (Deymann 2011, S. 30). Mit der Wahl dieser Bauform wird die Anzahl der Tore, die sich in den Gebäudewinkeln bzw. -ecken befinden, minimiert. Nachteilig ist allerdings „*die schnell ansteigende durchschnittliche Entfernung der äußeren Tore zu den zentral gelegenen Toren*“ (Chmielewski 2007, S. 15). Um den Stauraum der abgehenden Lkw optimal auszunutzen und deren Beladung entsprechend der Entladereihenfolge zu ermöglichen, nutzen Stückgutspeditionen anlagen meist das Vorstauprinzip zur Warenbereitstellung. Die ankommenden Sendungen werden zuerst vereinzelt und anschließend relations- bzw. tourbezogen auf Bereitstellflächen gelagert. Diese sind entweder zentral, oder direkt vor den Verladetoren angeordnet (vgl. Abb. 11.5). Das mit der separaten Bereitstellung verbundene zusätzliche Handling erhöht die Durchlaufzeit, sowie den Flächenbedarf (Klaus und Krieger 2008, S. 588). Darüber hinaus verringert es die Produktivität, da mehr Fördermittel und Personal benötigt werden, die die Sendungen über eine längere Distanz transportieren (Deymann 2011, S. 11).

Im Vergleich dazu kommt bei Hub-Terminals bzw. Paketzentren das Durchflussprinzip zum Einsatz. Hier werden die Sendungen auf kurzen Wegen direkt von einem in das andere Fahrzeug umgeschlagen, ohne dass es dabei zu einer Zwischenlagerung kommt

Abb. 11.5 Umschlag nach dem Vorstauprinzip. (in Anl. an (Tripp 2003, S. 11))



(Klaus und Krieger 2008, S. 588). Diese Vorgehensweise verringert die Durchlaufzeit und erhöht gleichzeitig die Umschlagproduktivität. Allerdings müssen die Ankunftszeiten der ankommenden und abfahrenden Lkw eng aufeinander abgestimmt werden (Deymann 2011, S. 12). Um die Umschlag- und Sortievorgänge zeitlich von den zu- und abfließenden Verkehren zu entkoppeln, kommen teilweise Wechselaufbauten wie Sattelaufflieger, oder Wechselbehälter (nach DIN EN 284) zum Einsatz (Cardeneo 2008a, S. 729). Paketsortierzentren sind im Regelfall in U-Form gebaut. Der Entladebereich ist zentral in der Mitte angeordnet, wodurch die Sendungen auf die vielen Ausgangsrouten gut verteilt werden können (vgl. Abb. 11.6). Ein Großteil verlässt das Sortierzentrum wieder auf Fernverkehrsrelationen, die ggf. wiederum angeschlossene Zustellpunkte bedienen. Sendungen, deren Zieladresse im Nahbereich des Paketzentrums liegen, werden wiederum auf kleinere Lkw, zwischen 3,5 und 7,5 Tonnen, verladen und direkt zugestellt (Vahrenkamp und Siepermann 2007, S. 158).

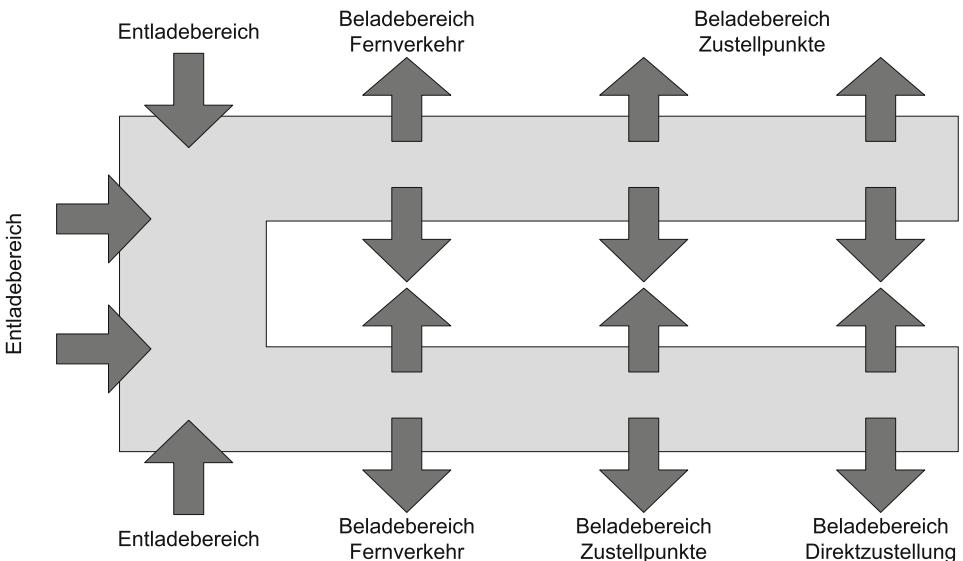


Abb. 11.6 Umschlag nach dem Durchflussprinzip. (in Anl. an (Vahrenkamp und Siepermann 2007, S 158; Graf 1998, S. 79))

Literatur

- ADAC (2012a) 450.000 Kilometer Stau. <http://www.adac.de/infotestrat/adac-im-einsatz/motorwelt/Autobahnstaubilanz.aspx>. Besucht am 26.02.2013
- ADAC (2012b) Satzung Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e. V. 2012
- Appel W, Brähler H, Dahlhaus U, Esch T, Kopp S, Rhein B, Hoepke E, Breuer S (2010) Nutzfahrzeugtechnik. Grundlagen, Systeme, Komponenten. Vieweg Verlagsgesellschaft, Wiesbaden
- Arnold D, Furmans K (2007) Materialfluss in Logistiksystemen. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
- Auffermann C (2008) Handelslogistik. In: Arnold D, Isermann H, Kuhn A, Tempelmier H, Furmans K (Hrsg.) Handbuch Logistik, 3., neu bearbeitete Auflage. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, S. 525–533
- Bretzke W R (2010) Logistische Netzwerke. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
- Bretzke W R, Barkawi K (2010) Nachhaltige Logistik. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
- Bundesamt für Güterverkehr (BAG) (2004) Marktbeobachtung Güterverkehr. Jahresbericht 2003. Bundesamt für Güterverkehr, Köln
- Bundesamt für Güterverkehr (BAG) (2009) Marktbeobachtung Güterverkehr. Jahresbericht 2008. Bundesamt für Güterverkehr, Köln
- Bundesamt für Güterverkehr (BAG) (2012) Marktbeobachtung Güterverkehr. Jahresbericht 2011. Bundesamt für Güterverkehr, Köln
- Bundesamt für Güterverkehr (BAG) (2013) Marktbeobachtung Güterverkehr. Jahresbericht 2012. Bundesamt für Güterverkehr, Köln
- Bundesministerium der Justiz (BMJ) (2013) Straßenverkehrsgesetz. <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/stvg/gesamt.pdf>. Besucht am 06.02.2013
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (2012b) Diskussionspapier für den Fachdialog zur Erarbeitung der Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie. <http://www.bmvbs.de/cae/servlet/contentblob/87820/publicationFile/61853/mks-diskussionspapier-faktenklaerung3-neue-energien.pdf>. Besucht am 10.09.2012
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (2012c) Verkehrsinvestitionsbericht für das Jahr 2010
- Cardeneo A (2008a) Straßengüterverkehr, Speditionen, Logistik-Dienstleistungen. In: Arnold D, Isermann H, Kuhn A, Tempelmier H, Furmans K (Hrsg.) Handbuch Logistik, 3., neu bearbeitete Auflage. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, S. 727–735
- Cardeneo A (2008b) Kurier-, Express- und Paketdienste. In: Arnold D, Isermann H, Kuhn A, Tempelmier H, Furmans K (Hrsg.) Handbuch Logistik, 3., neu bearbeitete Auflage. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, S. 782–788
- Chmielewski A (2007) Entwicklung optimaler Torbelegungspläne in Stückgutspeditionsanlagen. Dissertation, Technische Universität Dortmund
- Dennisen T, Rommerskirchen S, Stefan K (2011) Güterverkehr in Deutschland. Eine Verkehrsart mit vielen Facetten. Wirtschaftsdienst: Zeitschrift für Wirtschaftspolitik 91(3):216–218
- Deymann S (2011) Entwicklung eines Vorgehens zur Groblayoutplanung in Stückgutspeditionsanlagen. Dissertation, Technische Universität Dortmund
- Fleischmann B (2008) Systeme der Transportlogistik. In: Arnold D, Isermann H, Kuhn A, Tempelmier H, Furmans K (Hrsg.) Handbuch Logistik, 3., neu bearbeitete Auflage. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, S. 12–18
- Gabler (2012) Straßenverkehrsrecht. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/strassenverkehrsrecht.html>. Besucht am 05.09.2012
- Gast O (2008) Containerschiffahrt. In: Klaus P, Krieger W (Hrsg.) Gabler Lexikon Logistik, 4., komplett durchgehene und aktualisierte Auflage. Gabler-Verlag, Wiesbaden, S. 101–109

- Gleißner H (2008) Distributionslogistik. In: Klaus P, Krieger W (Hrsg.) Gabler Lexikon Logistik, 4., komplett durchgesehene und aktualisierte Auflage. Gabler-Verlag, Wiesbaden, S. 123–127
- Graf H W (1998) Deutsche Post AG. In: Buchholz J, Clausen U, Vastag A (Hrsg.) Handbuch der Verkehrslogistik, 1. Auflage. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, S. 73–81
- Gudehus T (2005) Logistik. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
- Heinrichmeyer H (1998) Grundlagen der Netzaufbau. In: Buchholz J, Clausen U, Vastag A (Hrsg.) Handbuch der Verkehrslogistik, 1. Auflage. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, S. 185–199
- Holderied C (2005) Güterverkehr, Spedition und Logistik. Managementkonzepte für Güterverkehrsunternehmen, Speditionsunternehmen und logistische Dienstleister. Oldenbourg Verlag, München
- Iddink U, Wohlgemuth S (2008) Mautsysteme in Europa. Status quo und Entwicklungstendenzen. Internationales Verkehrswesen 60(5):194–196
- Jodin D, ten Hompel M (2006) Sortier- und Verteilsysteme. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
- Kille C (2008) KEP-Märkte und Dienste. In: Klaus P, Krieger W (Hrsg.) Gabler Lexikon Logistik, 4., komplett durchgesehene und aktualisierte Auflage. Gabler-Verlag, Wiesbaden, S. 259–263
- Kille C, Schwemmer M (2012) Challenges 2012. DVZ, Nürnberg
- Klaus P, Krieger W (Hrsg.) (2008) Gabler Lexikon Logistik, 4., komplett durchgesehene und aktualisierte Auflage. Gabler-Verlag, Wiesbaden
- Koether R (2012) Distributionslogistik. Gabler Verlag, Wiesbaden
- Kotzab H (2008) Handelslogistik. In: Klaus P, Krieger W (Hrsg.) Gabler Lexikon Logistik, 4., komplett durchgesehene und aktualisierte Auflage. Gabler-Verlag, Wiesbaden, S. 208–214
- Kummer S (2006) Einführung in die Verkehrswissenschaft. UTB GmbH, Wien
- Lublow R (1995) Konzeption eines telematikgetützten Speditionsleitstandes für den Sammelgutumschlag. Dissertation, Technische Universität Dortmund
- Ministrere de l'Énergie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer (2010) Kabotage im Güterkraftverkehr. Die Regelung in Frankreich. Ministrere de l'Énergie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, Paris
- Müller S (2008) Advanced Truck Load Firm. In: Klaus P, Krieger W (Hrsg.) Gabler Lexikon Logistik, 4., komplett durchgesehene und aktualisierte Auflage. Gabler-Verlag, Wiesbaden, S. 3–8
- Nehm A, Veres-Homm U (2008) Logistikimmobilien. In: Klaus P, Krieger W (Hrsg.) Gabler Lexikon Logistik, 4., komplett durchgesehene und aktualisierte Auflage. Gabler-Verlag, Wiesbaden, S. 375–382
- Neumann L, Deymann S (2008) TransSim-Node – A Simulation Tool for Logistic Nodes. Vortrag auf der sechsten „Industrial Simulation Conference“, Lyon, 9–11 Juni 2008
- Stabenau H (2008) Entwicklung und Stand der Logistik. In: Klaus P, Krieger W (Hrsg.) Gabler Lexikon Logistik, 4., komplett durchgesehene und aktualisierte Auflage. Gabler-Verlag, Wiesbaden, S. 163–168
- Stölzle W, Fagagnini H P (Hrsg.) (2010) Güterverkehr kompakt. Oldenbourg Verlag, München
- Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) (2012) <http://www.stvzo.de/stvzo/inhalt.htm>. Besucht am 05.02.2012
- Südmersen J, Springer H, Linde C, Heck J, Cimolino U (2003) Technische Hilfeleistung bei LKW-Unfällen, 1. Auflage. ecomed Sicherheit, Landsberg
- Ten Hompel M, Schmidt T, Nagel L (2007) Materialflusssysteme, 3., völlig neu überarbeitete Auflage. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
- Tripp C (2003) Mittelstandskooperationen auf dem Prüfstand: Chancen und Risiken mit ständischer System-Stückgutkooperationen in Deutschland. Fraunhofer-Studie, München, Nürnberg
- Vahrenkamp R, Siepermann C (2007) Logistik. Oldenbourg Verlag, München

- Vastag A (2008) Beschreibung und Abgrenzung der Distribution. In: Arnold D, Isermann H, Kuhn A, Tempelmier H, Furmans K (Hrsg.) Handbuch Logistik, 3., neu bearbeitete Auflage. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, S. 405–411
- VNL (2013) www.vnl.at/Teilladungsverkehr.998.0.html. Besucht am 27.02.2013
- Windt K (2008) Logistikdienstleistungen. In: Arnold D, Isermann H, Kuhn A, Tempelmier H, Furmans K (Hrsg.) Handbuch Logistik, 3., neu bearbeitete Auflage. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, S. 581–607

Fabian Meier, Julia Sender und Robert Voll

Im Schienengüterverkehr (SGV) wird die Verkehrsleistung durch den Transport von Güterwagen und Güterzügen auf Schienen erbracht. Daher wird zunächst der Verkehrsweg Schiene mit seinem physikalischen Eigenschaften und Einschränkungen betrachtet. Ein Vergleich des deutschen Schienennetzes mit anderen europäischen Netzen wird genutzt, um technische Eigenschaften von Schienennetzen einzuführen. Eine vertiefte Darstellung von Schienenverkehrsmitteln erfolgt in einem eigenen Abschnitt. In einem weiteren Abschnitt werden die Akteure des SGV in die rechtlichen Rahmenbedingungen Europas eingeordnet. Anschließend wird mit einer Beschreibung klassischer und moderner Produktionsverfahren die organisatorische Ebene des SGV dargestellt. Der Überblick über die notwendige Infrastruktur erfolgt durch eine ausführliche Beschreibung der logistischen Knoten im Schienennetz vervollständigt.

12.1 Verkehrswege (Schiene)

Robert Voll

Die Verkehrswege des Schienengüterverkehrs sind durch das Schienennetz vorgegeben. In diesem Abschnitt werden die wichtigsten Eigenschaften des Verkehrsweges Schiene

R. Voll (✉) · F. Meier · J. Sender
Institut für Transportlogistik - TU Dortmund, Leonhard-Euler-Straße 2,
44227 Dortmund, Deutschland
E-Mail: voll@itl.tu-dortmund.de

F. Meier
E-Mail: meier@itl.tu-dortmund.de

J. Sender
E-Mail: sender@itl.tu-dortmund.de

aufgeführt. Am Beispiel des deutschen Güterverkehrsnetzes und dessen Unterschieden zu anderen europäischen Netzen werden Grundlagen der Schienentechnik eingeführt.

12.1.1 Eigenschaften der Schiene

Die Schiene eignet sich auf Grund des geringeren Rollwiderstands zwischen Schiene und Rad besonders gut für den energieeffizienten Landtransport großer Mengen oder Massen von Gütern. Insbesondere auf langen Strecken werden somit der Energieverbrauch und der relative Schadstoffausstoß gering gehalten, sofern die Auslastung der Züge ausreichend hoch ist. Des Weiteren senkt ein hoher Automatisierungsgrad im Schienengüterverkehr den Personalaufwand pro Tonnenkilometer im Vergleich zu anderen Verkehrsträgern wie der Straße. Auf Grund der Spurführung in Verbindung mit Sicherheitsabständen bietet der Schienengüterverkehr eine hohe Transportsicherheit. Deshalb eignet sich der Schienengüterverkehr besonders für den Transport von Gefahrgütern.

Diese zentralen Vorteile sind jedoch den systeminhärenten Nachteilen der Schiene gegenüberzustellen. Die infrastrukturellen Anforderungen des Schienengüterverkehrs sind sehr kostenintensiv. Insbesondere Aufbau und Wartung von Schienennetz und Umschlageinrichtungen verursachen hohe Kosten. Der Schienengüterverkehr erfordert daher zumeist ein großes Sendungsaufkommen, um seine ökonomischen und ökologischen Stärken auszunutzen. Ein besonders großer Anteil des Transportaufkommens im europäischen Schienengüterverkehr wird durch mengenaffine Branchen wie die Montan- und Chemieindustrie erzeugt, da diese die Kapazitäten von Güterzügen sinnvoll ausnutzen können. Als Folge der unflexiblen Spurführung und der hohen Infrastrukturstarkosten eignet sich der Schienengüterverkehr nur bedingt für die Verteilung von Gütern in der Fläche.

Die Transportkapazitäten von Schienenverbindungen werden in erster Linie durch eine Reihe organisatorischer, rechtlicher und physikalischer Parameter eingeschränkt. Die Maximalzahl von Zügen, die pro Zeiteinheit auf einem Streckenabschnitt verkehren können, wird durch die Mindestzugfolgezeit beschränkt. Sie definiert den zeitlichen Mindestabstand zwischen zwei Schienenfahrzeugen und liegt i. A. im Bereich einiger Minuten. Die Grenze der Transportkapazität eines Schienenabschnittes wird somit zentral von der Transportkapazität (Anzahl und Größe der Wagons) des einzelnen Zuges bestimmt. Verschiedene international variierende Faktoren, die im Folgenden benannt werden, haben Einfluss auf die Zusammenstellung eines Zuges.

Vor allem in Europa ist es üblich, dass Personen- und Güterverkehr ein gemeinsames Schienennetz nutzen. Dem Personenverkehr wird zumeist eine Priorität eingeräumt, die sich in der Tatsache niederschlägt, dass Güterzüge zeitweise auf sogenannte Überholgleise ausweichen müssen, um die schnelleren Personenzüge passieren zu lassen. Die Länge der Überholgleise bewirkt somit eine infrastrukturelle Einschränkung der Gesamtzuglänge im Schienengüterverkehr, die in Deutschland mit Ausnahme von Spezialfällen bei maximal 740 m liegt. Eine Ausnahme bilden z. B. die vom größten deutschen Rangierbahnhof Maschen in Richtung Dänemark startenden Güterzüge, die eine Länge von 835 m haben

dürfen. Bremsweglängenvorgaben beschränken das maximal zulässige Gesamtgewicht jedes Zuges i. A. auf etwa 1.600 t. An einzelne Wagons des Schienengüterverkehrs werden Anforderungen an die maximale Achslast, auch als Radsatzlast bezeichnet, und die Meterlast, den Quotienten aus Gesamtgewicht und Gesamtlänge des Wagons, gestellt. Die Höchstmaße im Querschnitt jedes Schienenfahrzeuges bestimmt das Lichtraumprofil der Schienenwege, welches in Deutschland vom Eisenbahnunionsamt festgelegt wird.

12.1.2 Das deutsche Schienennetz im europäischen Vergleich

Neben den im Abschnitt zuvor angeführten Attributen eines Schienennetzes existiert noch eine Reihe weiterer Eigenschaften. Diese sind vor allem im internationalen Schienengüterverkehr von großer Bedeutung, weil die unterschiedlichen technischen Betriebsvoraussetzungen einen Wettbewerbsnachteil des Schienengüterverkehrs gegenüber dem Verkehrsträger Straße zur Folge haben.

Die größten systemischen Unterschiede im europäischen Schienengüterverkehr, welche die Interoperabilität behindern, liegen in den verwendeten Zugsicherungssystemen. Die Regelung des Schienengüterverkehrs geschieht wie im Straßenverkehr i. A. über visuelle Signale. Reagiert der Triebfahrzeugführer nicht angemessen auf diese Signale, greifen die Zugsicherungssysteme automatisch ein, indem sie den Zug abbremsen. Sie werden daher auch als Zugbeeinflussungssysteme bezeichnet. Das in Deutschland verwendete System der linienförmigen Zugbeeinflussung (LZB) überträgt permanent Informationen über den Fahrweg in das Triebfahrzeug (Deutsche Bahn AG 2011). Somit ist es möglich, ohne Signale am Streckenrand einen Zug zu steuern (Pachl 2011). In anderen europäischen Staaten ist die Verwendung von LZB nicht verbreitet. Ebenso wenig Kompatibilität herrscht zwischen Techniken der Zugsicherungssysteme in den restlichen europäischen Ländern (Hornemann 2010). Deutschland bildet somit keine Ausnahme, in dem es sich technisch von seinen Nachbarn unterscheidet. Eine Vereinheitlichung der Zugsicherungssysteme in Form des ETCS (European Train Control System) findet auf Neubaustrecken in der EU bereits statt (Fried 2006). Die kostenintensive Ausstattung aller Schienenstrecken mit ETCS ist noch nicht absehbar.

Ein weiteres Hindernis der Interoperabilität europäischer Güterbahnen besteht in der Verwendung unterschiedlicher Stromnetze. Der Grad der Elektrifizierung auf den gut 33.000 km öffentlichen Gleisen in Deutschland liegt bei etwa 60 %. Das in Deutschland verwendete Wechselstromnetz mit 16,7 Hz und 15 kV wird in allen deutschsprachigen Ländern sowie in Schweden und Norwegen verwendet (DB Netz 2012a). In Europa sind ansonsten 25 kV Wechselstrom, z. B. in Dänemark und Großbritannien, sowie 3 kV Gleichstrom, z. B. in Polen und Italien, am weitesten verbreitet (Janicki und Reinhard 2008, S. 147). Eine Übersicht gibt folgende Abb. 12.1.

Es ist zu erkennen, dass gewisse zusammenhängende Gebiete in Europa existieren, in denen das Stromsystem bei Grenzübergang nicht gewechselt werden muss. Trotzdem ist Vorsicht bezüglich der landesspezifischen Vorschriften angezeigt: Beim Grenzübergang Deutschland-Schweiz ist z. B. zu beachten, dass schweizerische Bahnen für kleinere

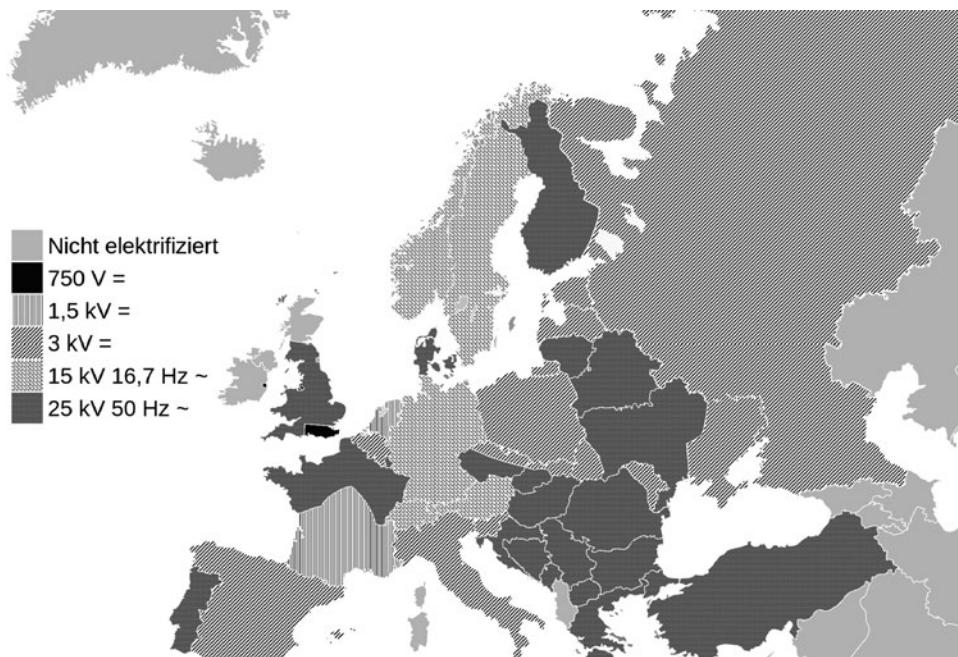


Abb. 12.1 Bahnstromsysteme in Europa. (Quelle: eigene Bearbeitung der gemeinfreien http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Europe_rail_electrification_de.svg&filetimestamp=20110723154458)

Stromabnehmer ausgelegt und deutsche Stromabnehmer dort nicht zulässig sind (Janicki und Reinhard 2008, S. 159).

Im Gegensatz zu den Zugsicherungs- und Stromnetzsystemen herrscht bei den Spurweiten im europäischen Raum eine einzige Spurweite von 1.435 mm vor. Mit Ausnahme der Staaten der iberischen Halbinsel, Finnlands, Irlands und der baltischen Staaten haben alle europäischen Schienen diese Normalspurweite. Sie ist ebenfalls in Nordamerika, China und Australien üblich.

Neben technischen Aspekten gibt es auch organisatorische Hindernisse im länderübergreifenden Schienengüterverkehr Europas. Es gibt weder eine einheitliche Verkehrssprache wie im Luftverkehr noch eine Regulierung der Vergabeverfahren für Sicherheitszertifikate der EIU (Spierings 2006).

12.2 Verkehrsmittel im Güterverkehr

Fabian Meier

Die große Systemfrage bei Lokomotiven ist: elektrisch oder dieselbetrieben? Sie ist natürlich nicht allgemein zu beantworten. Verschiedene Aspekte spielen hier eine Rolle, die im Folgenden genauer beleuchtet werden sollen.

Eine weitere wichtige Frage ist die Möglichkeit des grenzüberschreitenden Verkehrs. Eisenbahnsysteme wurden über 100 Jahre nach nationalen Gesichtspunkten geplant und mit nationalen Lösungen versehen, die nur bedingt kompatibel sind. Dies ist eine der großen Herausforderungen, auf die wir auch eingehen wollen.

12.2.1 Lokomotiven

Elektrische Lokomotiven haben durch ihre Technik bedingt einige Vorteile:

- *Umweltvorteil*: Elektrischer Strom gilt (trotz des immer noch geringen regenerativen Anteils an der Stromerzeugung) als umweltfreundlich.
- *Zukünftiger Regulierungs- und Kostenvorteil*: Es ist damit zu rechnen, dass Erdöl teurer wird und die Vorschriften für Dieselfahrzeuge restriktiver werden.
- *Kraftvorteil*: Elektroloks können enorme Zugkräfte entwickeln, z. B. einen 8000 t schweren Erzzug ziehen (Berndt 2001, S. 136).

Jedoch: Elektrische Lokomotiven brauchen Oberleitungen, die mit erheblichen Bau- und auch Wartungskosten verbunden sind. Darüber hinaus erschweren Oberleitungen die Be- und Entladung der Waggons. Vertikale Be- und Entladung (etwa mit Hilfe eines Portalkrans) ist bei Oberleitungen nicht möglich, so dass man entweder auf die langsamere und aufwändiger horizontale Be- und Entladung zurückgreifen oder aber einen oberleitungsfreien Abschnitt schaffen muss. Für die Ein- und Ausfahrt in solch einen Bereich gibt es verschiedene Möglichkeiten, die im Abschnitt Umschlagbahnhöfe behandelt werden.

Weitere Probleme ergeben sich aus den unterschiedlichen Stromsystemen der einzelnen Staaten; dies wird im nächsten Unterabschnitt behandelt.

Diesellokomotiven haben den großen Vorteil unabhängig von einer Oberleitung agieren zu können. Sie sind deshalb die einzige Möglichkeit wenig benutzte Nebenstrecken zu befahren, deren Elektrifizierung zu teuer wäre. Aufgrund des mitgeführten Treibstoffes und des Eigengewichts des Motors haben Diesellokomotiven ein höheres Gesamtgewicht.

Bei Diesellokomotiven wird der Dieselantrieb nicht direkt zum Antrieb genutzt (wie etwa bei einem LKW oder Auto). Bei der Entwicklung der Diesellokomotiven in den 1920er Jahren wurde dies zuerst versucht; das große Problem war die Notwendigkeit, den Motor lastfrei zu starten und erst nach Hochlaufen des Motors eine kraftschlüssige Verbindung zu den Antriebsrädern und zur Schiene zu erzeugen. Heutzutage sind zwei Diesel-Systeme im Einsatz (Janicki und Reinhard 2008, S. 195):

- *Dieseletelektrischer Antrieb*: Der Dieselmotor treibt einen Generator an; die Lokomotive arbeitet mit dem produzierten Strom. Dies ist eine einfache und relativ störungsfreie Konstruktion. Er ist weltweit der verbreitetste Antrieb.
- *Dieselhydraulischer Antrieb*: Hier wird die von einem Dieselmotor abgegebene mechanische Energie mit Hilfe eines hydrodynamischen Drehmomentwandlers oder

mit Hilfe eines hydrostatischen Getriebes auf eine Maschinerie übertragen. Mit Hilfe dieser Antriebsform lassen sich kleinere und leichtere Lokomotiven bauen, die Leistungsausnutzung (insbesondere beim Anfahren) ist jedoch schlechter als beim dieselelektrischen Antrieb. Die meisten in Deutschland verwendeten Diesellokomotiven arbeiten hydraulisch.

Bedeutende Hersteller von Diesellokomotiven sind Siemens Mobility, Bombardier Transportation, MaK, Vossloh und Voith.

12.2.2 Grenzüberschreitender Verkehr

Die grundsätzlichen Probleme des grenzüberschreitenden Verkehrs wurden schon in Abschn. 12.1 erläutert.

Wir wollen im Folgenden verschiedene Probleme beim europäischen grenzüberschreitenden Verkehr nennen und in ihrer Relevanz einschätzen.

- *Spurweite*: Die Normalspur von 1435 mm herrscht in Mitteleuropa vor. An Grenzen zwischen Staaten mit unterschiedlicher Spurweite werden Güter in der Regel umgeladen, da dies einfacher ist als eine Umspurung der Waggons.
- *Elektrifizierung*: In Europa gibt es verschiedene Systeme für die Oberleitungen. Aus diesem Grund setzen sich Lokomotiven, die mehr als ein System beherrschen, immer mehr durch. Allerdings ist zu beachten, dass solche Lokomotiven auf fremden Netzen zwar fahren können, aber häufig dort nicht die gleiche Zugkraft entwickeln.
- *Zugsicherungssysteme*: Ein großes Problem stellen die verschiedenen Zugsicherungssysteme und die Zulassungsbedingungen für Lokomotiven in den einzelnen Ländern dar. Jedes Zugsicherungssystem braucht eine eigene Antenne zur Signalerfassung; wegen des begrenzten Platzes können in einer Lokomotive nur begrenzt viele Systeme untergebracht werden, so dass Lokomotiven mit „Länderpaketen“ angeboten werden (Janicki und Reinhard 2008, S. 181).

Informationen über Triebfahrzeuge für den grenzüberschreitenden Schienengüterverkehr finden sich in (Vitins 2006).

12.2.3 Güterwagen

Hier sollen kurz einige Typen von Güterwagen beschrieben werden (Berndt 2001, S. 140; Pachl 2011, S. 745).

- *Gedeckter Güterwagen*: Gedeckte Güterwagen eignen sich für witterungsempfindliche Güter, welche palettiert oder verpackt sind. Sie können zur Be- und Entladung mit Gabelstaplern über Schiebetüren befahren werden.

- *Offene Güterwagen*: Diese sind geeignet für Packstücke und für Güter in loser Schüttung. Die Beladung kann über eine Kopframpe, von der Seite oder von oben beladen werden.
- *Flachwagen*: Hiermit werden z. B. Natursteine, Eisen- und Stahlerzeugnisse, Halbfertigprodukte, Maschinen, Hölzer und Rohre transportiert.

12.3 Akteure

Julia Sender

Die Eisenbahnen im Schienengüterverkehr lassen sich nach dem Allgemeinen Eisenbahnge setz (AEG idF v. 12.09.2012) grundsätzlich in zwei Typen mit verschiedenen definierten Aufgaben unterscheiden: Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) und Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU). Des Weiteren lassen sich Eisenbahnen hinsichtlich ihrer Eigentumsverhältnisse und des Zugangs zu ihren angebotenen Leistungen einteilen. Im AEG sind dabei die Aufgaben und Pflichten der einzelnen Akteure und der Aufsichtsbehörden geregelt. Im Folgenden werden die wichtigsten Akteure des Schienengüterverkehrs und deren Aufgaben und Pflichten näher erläutert (vgl. AEG).

Nach § 2 des AEG sind *Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU)* öffentliche Einrichtungen oder privatrechtlich organisierte Unternehmen, die Eisenbahnverkehrsleistungen erbringen. Zu den Eisenbahnverkehrsleistungen zählen die Beförderung von Personen oder Gütern, wobei das EVU die Zugbeförderung leisten muss. Dies bedeutet, dass die EVU für die Transporte von Personen oder Gütern mit eigenen (oder gemieteten) Ressourcen, wie Triebfahrzeugen, Waggons und Personal, zuständig ist. Dies ist in der Praxis auch mit weiteren Aufgaben, wie der Wartung der (technischen) Ressourcen, Marketingaufgaben und sonstigen Dienstleistungen verbunden. Auftraggeber im Güterverkehr können beispielsweise produzierende Unternehmen oder Speditionen sein.

Nach § 2 des AEG sind *Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU)* öffentliche Einrichtungen oder privatrechtlich organisierte Unternehmen, welche eine Eisenbahninfrastruktur betreiben. Die Eisenbahninfrastruktur umfasst die Betriebsanlagen der Eisenbahnen und die Bahnstromfernleitungen. Die Aufgaben der EIU beinhalten somit den Bau, den Betrieb und die Unterhaltung von Schienenwegen außerhalb von Serviceeinrichtungen. Zu den Serviceeinrichtungen zählen nach dem AEG u. a. Personen- und Güterbahnhöfe, Zugbildungsbahnhöfe, Abstellgleise und Häfen.

Eisenbahnen können in *öffentliche* und *nicht-öffentliche* Eisenbahnen unterschieden werden (§ 3 AEG): Öffentliche Eisenbahnen stellen ihre angebotenen Leistungen jeder Privatperson bzw. jedem Unternehmen zur Verfügung. Für öffentliche EIU bedeutet dies auch, dass sie in ihren Entscheidungen bei der Zuweisung von Zugtrassen und der Vergabe von Wegeentgelten unabhängig von den einzelnen EVU sein müssen. Des Weiteren müssen öffentliche EIU einen Mindestumfang an Leistungen gewährleisten (vgl. bspw. § 7e AEG, § 14 Abs. 1 AEG). Nicht-öffentliche Eisenbahnen sind nicht jedem, sondern nur

bestimmten Nutzern zugänglich. Diese Nutzer stellen häufig Tochtergesellschaften von Industrieunternehmen dar, die ausschließlich für ihren Mutterkonzern tätig sind. Dazu zählen beispielsweise Werksbahnen. Sie führen Transporte innerhalb von Werksgeländen durch oder etablieren Schienenverkehre, um bspw. Produktionsstätten eines Betriebs miteinander zu verbinden.

Darüber hinaus können Eisenbahnen hinsichtlich der Eigentums in *bundeseigene* und *nichtbundeseigene* Eisenbahnen unterschieden werden (Berndt 2001, S. 9). Unter bundes-eigenen Eisenbahnen werden Eisenbahnen verstanden, die mehrheitlich im Eigentum der Bundesrepublik Deutschland sind. Unter nichtbundeseigenen Eisenbahnen werden alle anderen Eisenbahnen verstanden. Dazu zählen auch Eisenbahnen, die im Eigentum von Kommunen sind.

Um seine Verkehrsleistungen erbringen zu können, ist demnach jedes EVU von den EIU abhängig. Das EVU muss für die durchzuführenden Zugfahrten und die damit verbundene Erstellung von Fahrplänen Zeitfenster für die benötigte Infrastruktur bei den EIU bestellen. Sofern EIU Anlagen des öffentlichen Verkehrs betreiben, müssen sie allen EVU einen freien Zugang zur Infrastruktur gewährleisten (§ 14 AEG). Die EVU werden auch als Zugangsberechtigte bezeichnet. EIU müssen eine diskriminierungsfreie Benutzung hinsichtlich Zugang und Entgelten ermöglichen. Dieses ist von der Eisenbahnaufsicht zu überwachen (§ 5 AEG). Im Folgenden werden kurz die Eisenbahnaufsichtsbehörden in Deutschland näher erläutert.

Die Aufgaben und Zuständigkeiten von Eisenbahnaufsichtsbehörden sind näher im AEG erläutert (§ 5a AEG). Die Zuständigkeiten werden auf den Bund und die Länder verteilt. Die Eisenbahnaufsichtsbehörden haben i. A. zu überwachen, dass alle rechtlichen Regelungen eingehalten werden. Der Bund ist dabei zuständig für die Aufsicht von bundeseigenen Eisenbahnen mit Sitz im Inland und für bundeseigene Eisenbahnen mit Sitz im Ausland hinsichtlich der Nutzung oder des Betreibens. Des Weiteren ist der Bund für nicht bundeseigene Eisenbahnen (mit Sitz im Ausland) für die Benutzung von Infrastruktur innerhalb von Deutschland zuständig. Dieses wird derzeit auf Bundesebene vom *Eisenbahn-Bundesamt (EBA)* übernommen (Eisenbahn-Bundesamt 2012), welches dem Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung untersteht. Somit ist die EBA die Aufsichts- und Genehmigungsbehörde für bundeseigene Eisenbahnen und für EVU mit Sitz im Ausland. Des Weiteren überwacht die EBA nichtbundeseigene Eisenbahnen, die Sicherheitsgenehmigungen und -bescheinigungen benötigen. Die *Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen* (kurz *Bundesnetzagentur*) überwacht u. a. den Zugang zur Eisenbahninfrastruktur auf Bundesebene (Bundesnetzagentur 2012). Die einzelnen Bundesländer sind für die Aufsicht von nichtbundeseigenen Bahnen mit Sitz in Deutschland und für nichtbundeseigene Bahnen ohne Sitz in Deutschland hinsichtlich des Betreibens von Infrastruktur in Deutschland zuständig. Hierbei ist entsprechend das Bundesland, in dem das Unternehmen seinen Sitz hat, bzw. das Bundesland, in dem die Infrastruktur betrieben wird, zuständig für die Eisenbahnaufsicht, welche auch als Landeseisenbahnaufsicht (LEA) bezeichnet wird. Die einzelnen Länder haben jedoch die Möglichkeit die LEA-Aufgaben an die EBA zu übertragen (§ 5 Abs. 2 AEG).

Diese Möglichkeit wird bisher laut der EBA von 11 Bundesländern wahrgenommen (vgl. (Eisenbahn-Bundesamt 2013)). Somit nehmen nur die Länder Berlin, Bremen, Hamburg, Niedersachsen, Hessen diese Möglichkeit nicht wahr.

12.4 Produktionsverfahren und ausgewählte Transportketten

Julia Sender

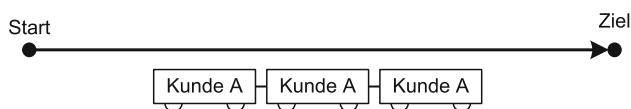
Im Schienengüterverkehr werden verschiedene Produkte für die Erbringung von Eisenbahnverkehrsleistungen angeboten. Diese und verschiedene Produktionsverfahren werden im Folgenden näher erläutert. Die logistische Knoten des Schienengüterverkehrs und die Prozesse in diesen werden in Abschn. 12.4.2 näher erläutert.

12.4.1 Produkte im Schienengüterverkehr

Im Schienengüterverkehr werden verschiedene Produkte (Dienstleistungen) zum Transport von Sendungsaufkommen angeboten. Diese lassen sich in konventionelle und kombinierte Verkehre im Schienengüterverkehr aufteilen. Konventionelle Verkehre sind dabei die klassischen Transportleistungen im Schienengüterverkehr, bei denen der Versender seine Sendungen auf Schienengüterwagen verlädt und diese dann durch das gewählte EVU zum Empfänger transportieren lässt. Zu diesen klassischen Bahnprodukten gehören insbesondere der Ganzzug- und Einzelwagenverkehr. Im Folgenden werden die einzelnen Produktionsformen näher erläutert (Berndt 2001, S. 18–22; Arnold et al. 2008, S. 743–745; Nikutta und Pahl 2009). Für den Kombinierten Verkehr sei auf das entsprechende Kap. 16 dieses Buches verwiesen.

Beim Produkt *Ganzzug* werden alle Wagen eines Güterzugs gemeinsam vom Startdirekt zum Zielknoten (Kunden) transportiert (vgl. Abb. 12.2). Dies bedeutet insbesondere, dass keine weiteren Rangievorgänge während des Transports getätigten werden, bei denen Wagen zum Zug hinzugefügt oder vom Zug entfernt werden. Die Züge werden in der Regel direkt beim Versender beladen und beim Empfänger entladen. Folglich bietet sich dieses Produkt für Sendungsaufkommen mit einer ausreichend großen Wagenanzahl an, welche den Einsatz einer direkten Zugfahrt in Hinblick auf die entstehenden (Fix-)Kosten rechtfertigt. Ganzzugverkehre werden häufig für den Transport von Massengütern, wie Kohle, Erz oder Mineralöl, aber auch in der Automobilindustrie genutzt. Da der Ganzzugverkehr als Direktverkehr erfolgt und mit relativ geringem Rangieraufwand verbunden ist, entstehen geringe Transportzeiten. Insbesondere ist diese Produktionsform mit einem relativ geringen Organisationsaufwand bei der Abfertigung der Züge und der Planung der Abfahrts- und Ankunftszeiten verbunden. Der relativ niedrige Rangieraufwand erhöht darüber hinaus die Sicherheit beim Transport, wodurch sich der Ganzzugverkehr auch für den Transport von großen Gefahrgutmengen eignet. Die Produktionsform *Ganzzug*

Abb. 12.2 Transport im Ganzzugverkehr



nutzt die Vorteile des Schienensystems maßgeblich aus: So können große Mengen an Gütern über lange Entfernungen mit relativ geringem Energieverbrauch sicher transportiert werden.

Auf vielen Relationen liegt kein ausreichend großes Sendungsaufkommen vor, welches einen Ganzzugverkehr wirtschaftlich rechtfertigen würde. In diesem Fall kann das Produkt *Einzelwagenverkehr* genutzt werden. Dieses Produkt bietet die Möglichkeit auch einzelne Wagen oder kleine Wagengruppen über das Schienennetz transportieren zu lassen. Im Einzelwagenverkehr erfolgt der Transport im Schienennetz in der Regel nicht direkt, sondern über mindestens eine Zugbildungsanlage (vgl. Abb. 12.4). In den Zugbildungsanlagen werden die einzelnen Wagen(gruppen) verschiedener Versender und/oder Empfänger zu neuen Güterzügen zusammengestellt. Diese Produktionsform weist somit starke Ähnlichkeit zum Sammelgutverkehr im Straßengütertransport auf (vgl. Unterkapitel 11.4). Durch die Bündelung von Wagenaufkommen kann eine bessere Auslastung der Züge erreicht und somit die gesamten Transportkosten gesenkt werden. Jedoch entstehen durch die Vorhaltung von Zugbildungsanlagen mit entsprechenden Rangiereinrichtungen und -personal sowie dem höheren organisatorischen Aufwand zusätzliche Kosten. Besonders kostenintensiv sind das Sammeln und Verteilen der einzelnen Wagen in der Fläche. Im Gegensatz zum Ganzzugverkehr weist der Einzelwagenverkehr durch den erhöhten Rangieraufwand zudem meist deutlich höhere Transportzeiten und Wartezeiten in den Zugbildungsanlagen auf.

Das Produkt *Stückgutverkehr* (oder auch Teilladungsverkehr) ermöglicht den Transport von Sendungen, die unterhalb einer Wagenladung liegen. Dabei werden die einzelnen Sendungen vom Versender an einem Bahnhof aufgegeben, der für die Stückgutaufgabe geeignet ist. Dort werden die einzelnen Sendungen von Mitarbeitern des EVU umgeschlagen und zu einer Wagenladung konsolidiert. Der Transport über das Schienennetz erfolgt dann ähnlich zum Transport im Einzelwagenverkehr. Dieses Produkt ist jedoch mit einem hohen organisatorischen und technischen Aufwand in den entsprechenden Bahnhöfen verbunden, der normalerweise wirtschaftlich nicht gerechtfertigt ist. Aus diesem Grund wird der Teilladungsverkehr heutzutage nicht mehr in der ursprünglichen Form, sondern über den kombinierten Verkehr abgewickelt, wobei die einzelnen Speditionen Einzelsendungen zu Komplettladungen zusammenfassen und über die Schiene transportieren lassen (Arnold et al. 2008, S. 745). Für den Kombinierten Verkehr sei auf das entsprechende Kapitel verwiesen.

12.4.2 Produktionsverfahren im Einzelwagenverkehr

Grundsätzlich stellen die Netze des Einzelwagenverkehrs spezielle Hub-and-Spoke-Strukturen dar, in denen Hubs durch Zugbildungsanlagen gegeben sind. Folglich sind verschiedenste Formen von Produktionsstrukturen denkbar, welche individuell auf die Bedürfnisse und Anforderungen der EVU angepasst werden können. Im Folgenden werden daher einige typische Systeme des Schienengüterverkehrs genannt (Berndt 2001, S. 42–45; Arnold et al. 2008, S. 743–757; Nikutta und Pahl 2009).

Klassische Systeme beinhalten nur einen Typ von Zugbildungsanlagen. Diese können sich jedoch hinsichtlich der Größe der Rangieranlagen, der eingesetzten Technik und Verfahren unterscheiden (vgl. Unterkapitel 12.5). Diese Faktoren beeinflussen die Kapazität der Zugbildungsanlage, d. h. die Anzahl der Wagen, die rangiert und umgeschlagen werden können. Zwar können die einzelnen Bahnhöfe unterschiedlich ausgestattet sein, jedoch haben alle Bahnhöfe dieselbe Funktion. Dies hat zur Folge, dass i. A. der Rangieraufwand und damit auch der Personal- und Triebfahrzeugbedarf ansteigen. Dadurch, dass jeder Bahnhof prinzipiell die gleiche Funktion hat, kann es zu sehr langen Wartezeiten in den Bahnhöfen kommen, sofern keine ungünstige Auslastung von Zügen in Kauf genommen wird. Die hohen Infrastruktur- und Automatisierungskosten führen dazu, dass es i. d. R. nicht wirtschaftlich ist, alle Bahnhöfe in gleichem Maße zu automatisieren.

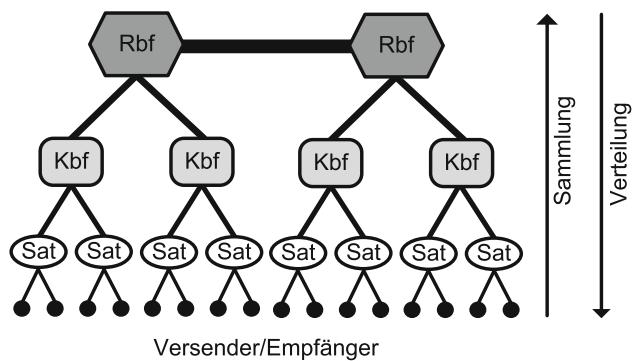
Ein alternatives System stellt das hierarchisch aufgebaute *Knotenpunktssystem* dar. Dieses System besteht aus drei Typen von Zugbildungsanlagen, die hierarchisch angeordnet sind.

Der *Satellitenbahnhof (Sat)* steht im System der Zugbildungsbahnhöfe auf der untersten Hierarchiestufe. Satellitenbahnhöfe bestehen in der Regel nur aus kleinen Gleisanlagen ohne Rangiereinrichtungen und – personal. Jedoch existieren auch Satellitenbahnhöfe, die (einfache) Rangiereinrichtungen vorhalten. Ein solcher Bahnhof wird auch als *Satellitenbahnhof mit Rangiermitteln (SmR)* bezeichnet. Satellitenbahnhöfe dienen im Allgemeinen der Sammlung und Verteilung von lokalem Sendungsaufkommen.

Knotenbahnhöfe (Kbf) (oder auch *Knotenpunktbahnhof*) stellen die zweite Hierarchieebene von Zugbildungsanlagen dar. Sie dienen in der Regel dem Rangieren und Vorsortieren von regionalem Sendungsaufkommen. Diese Zugbildungsbahnhöfe sind mit Rangieranlagen und – personal ausgestattet. Viele der heute existierenden Knotenpunktbahnhöfe besitzen Rangieranlagen mit Ablaufbergenlage. Knotenpunktbahnhöfe können dabei, abhängig von der vorhandenen Infrastruktur, mit mehreren Rangierbahnhöfen verbunden sein.

Rangierbahnhöfe (Rbf) dienen hauptsächlich dem Umschlag von überregionalem Aufkommen und somit als Schnittstelle zwischen dem Güternah- und Güterfernverkehr. Aufgrund der Konzentration auf wenige, aber leistungsstarke Rangierbahnhöfe wurden die Prozesse in den Rangieranlagen stark automatisiert, um ein effizientes und wirtschaftliches Rangieren zu ermöglichen. Trotzdem werden immer noch einige Prozesse, wie das Verbinden und Lösen von Kupplungen, manuell durchgeführt.

Abb. 12.3 Knotenpunkt-
system



Im *Knotenpunkt-System* durchlaufen die einzelnen Wagen ein strikt hierarchisches System (vgl. Abb. 12.3). Die einzelnen Wagen der Güterverkehrsstellen bzw. Gleisanschlüsse werden zum zugeordneten Satellitenbahnhof transportiert und dort mit Wagen von anderen Versendern zu sogenannten Übergabezügen (Bedienfahrten) zusammengestellt. Diese Züge werden dann zum zugeordneten Knotenpunktbahnhof transportiert. Im Knotenpunktbahnhof werden die einzelnen Wagen(gruppen) den anzufahrenden Rangierbahnhöfen entsprechend vorsortiert und zu neuen Zügen zusammengestellt. Anschließend werden diese neuen Züge zu den entsprechenden Rangierbahnhöfen transportiert. In den Rangierbahnhöfen werden die einzelnen Wagen(gruppen) erneut rangiert und zu neuen Zügen (dem Empfangsrangierbahnhof entsprechend) zusammen gestellt. Bei nicht ausreichendem Wagenaufkommen kann der Transport auch nicht direkt zum Empfangsrangierbahnhof, sondern über einen weiteren Rangierbahnhof erfolgen. Im Empfangsrangierbahnhof werden die Züge wieder zerlegt und die einzelnen Wagen entsprechend ihrer Zielknotenpunktbahnhöfe zu neuen Zügen zusammen gestellt. Dort angekommen erfolgen erneute Rangievorgänge und die Bildung von Übergabezügen entsprechend der Zielregion. Die Übergabezüge aus den Knotenpunktbahnhöfen werden in den Satellitenbahnhöfen erneut aufgelöst und den Zielen entsprechend zu Zügen zusammen gestellt. Dieses ist anschaulich in Abb. 12.3 dargestellt, wobei im strikten Knotenpunkt-System keine direkten Transporte zwischen Knotenpunktbahnhöfen erlaubt sind.

Das Ziel dieser strikten Hierarchie ist eine Bündelung von Rangierarbeiten in Knotenpunkt- und Rangierbahnhöfen, um diese effizienter auslasten zu können. Jedoch durchläuft ein Wagen aufgrund der strikten Anordnung der Knoten im Knotenpunkt-System (vgl. Abb. 12.3) jeden Knotentyp in der Regel zweimal – jeweils einmal während der Sammlung und der Distribution. Dieses Vorgehen führt zu einer relativ hohen Transportdauer. Zum einen müssen durch dieses System Umwege in Kauf genommen werden, zum anderen müssen die Wagen in den einzelnen Zugbildungsanlagen rangiert werden und auf andere Wagen(gruppen) warten.

Aus diesem Grund wurde das *flexible Knotenpunkt-System* entwickelt, welches eine Weiterentwicklung des zuvor beschriebenen Knotenpunkt-Systems darstellt. Hierbei wird die strikte Knotenhierarchie zwischen den Knoten- und Rangierbahnhöfen aufgelöst, um das System flexibler zu gestalten (vgl. Berndt 2001). In diesem System können Knoten-

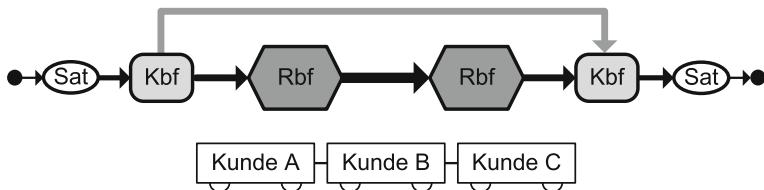


Abb. 12.4 Transport im (flexiblen) Knotenpunktsystem

bahnhöfe mit mehreren Rangierbahnhöfen verbunden sein, sowie Direktfahrten zwischen Knotenpunktbahnhöfen stattfinden, um Umwege bei ausreichender Transportmenge zu vermeiden. Ein Transport kann somit auch direkt zwischen zwei Knotenpunktbahnhöfen stattfinden, sofern ausreichend Wagenaufkommen vorhanden ist (vgl. Abb. 12.4).

Der Wettbewerb im Einzelwagenverkehr ist bisher kaum ausgeprägt (BAG Bundesamt für Güterverkehr 2008, S. 23). In Deutschland ist derzeit die DB Schenker Rail Deutschland AG der einzige Anbieter, der den Einzelwagenverkehr im eigentlichen Sinne deutschlandweit anbietet (VDV Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. 2008, S. 27–29). Im Jahr 1975 wurden von der heutigen DB AG (ehemals Deutsche Bundesbahn) für den Einzelwagenverkehr das sogenannte Knotensystem anstelle eines klassischen Systems eingeführt (Arnold et al. 2008, S. 751). Letzteres war durch eine Vielzahl von Bahnhöfen geprägt. Das derzeitige Netz orientiert sich am flexiblen Knotenpunktsystem, wobei in der Praxis auch Ausnahmen hinsichtlich der immer noch strikten Regeln umgesetzt werden.

Für eine detaillierte Darstellung des Schienengüterverkehrs sei auf (Berndt 2001), (VDV Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. 2008) und (Arnold et al. 2008) verwiesen.

12.5 Logistische Knoten des Schienengüterverkehrs

Robert Voll

In diesem Abschnitt werden die zentralen Knoten des Schienengüterverkehrsnetzes beschrieben. Dazu werden zunächst Gleisanschlüsse betrachtet, die den häufigsten Zugang zum Schienennetz darstellen. Es folgt eine Beschreibung der Rangier- und Umschlagbahnhöfe, die üblicherweise den Übergang von Nah- zu Fernverkehr ermöglichen.

12.5.1 Gleisanschlüsse

Der Zugang zum Schienennetz erfolgt zumeist über einen (privaten) *Gleisanschluss*. Gleisanschlüsse dienen vorrangig dazu, den Verkehr von einzelnen Unternehmen oder von öffentlichen Eisenbahnen umzuschlagen. Die einzelnen Arten von Gleisanschlüssen unterscheiden sich hinsichtlich der Größe und baulichen Gestaltung abhängig von ihrer Bedeutung. Ein *Hauptanschluss* stellt dabei ein Gleis dar, das an das öffentliche Schienennetz angeschlossen ist. Unter einem *Nebenanschluss* wird ein Gleis verstanden, das an

einen bestehenden Gleisanschluss anschließt. Ein *Industriestammgleis* dient der Erschließung von Industriegebieten durch ein Gleis, an das verschiedene Industrieunternehmen durch Nebenanschlussgleise angeschlossen sind. Häufig sind Industriestammgleise öffentlich. Anschlussgleise ermöglichen einen direkten Zugang vom Werksgelände zum öffentlichen Bahnnetz. Bei einer *Anschlussbahn* erfolgt der Verkehr vom Unternehmen zum öffentlichen Netz mit eigenen Triebfahrzeugen und Personal. Insbesondere Unternehmen mit einem großen Aufkommen für den Schienentransport verfügen über eigene Anschlussbahnenetze. Die Bedienung kann auch von Anschlussgleisen unter Nutzung von Triebfahrzeugen und – personal von öffentlichen EVU erfolgen. Am *Übergabegleis* (*Übergabestelle*) erfolgt eine Übergabe der einzelnen Wagen von einem öffentlichen EVU an den Empfänger. Insbesondere wechselt hier auch der Zuständigkeitsbereich hinsichtlich der Betriebsführung und Haftung. Die Anbindung an das öffentliche Schienennetz erfolgt in der Regel mittels einer Anschlussweiche in einem Bahnhof. Diese Bahnhöfe werden oft als Güterverkehrsstellen bezeichnet. Zu Ihnen gehören die im Unterkapitel 12.4 über Produktionsformen des SGV erläuterten Satellitenbahnhöfe ohne Rangiermittel. Dort erfolgt bereits die Bildung von Zügen, obwohl Umstellvorgänge in der Regel nicht stattfinden. Es kann jedoch auch eine Anbindung auf freier Strecke mittels entsprechenden Anschlüssen stattfinden (Arnold et al. 2008).

Die technische Infrastruktur an den Gleisanschlussstellen ist so vielseitig wie die zu verladenden Güter. Der Umschlag von Ladeeinheiten des kombinierten Verkehrs wie Container, Wechselbrücken und Sattelauflieder findet zumeist mit Portalkränen oder sogenannten Reachstackern statt. Die Beladung von Flachwagen wird üblicherweise mit Kränen durchgeführt. Kommen hingegen Schiebewandwagen oder Wagen mit Schiebetüren zum Einsatz, kann die Beladung auch mit Gabelstaplern oder Handgabelhubwagen erfolgen. Kesselwagen für Flüssigkeitstransporte werden häufig über anwendungsspezifische Abfüllstutzen befüllt.

Nachdem lange Zeit eine stetige Verringerung der Anzahl der Gleisanschlüsse in Deutschland zu beobachten war, ist in den vergangenen Jahren eine Trendwende zu erkennen (Allianz pro Schiene 2007). Neben der weithin erkennbaren Tendenz zu umweltbewussterem Handeln führten vor allem politische Einflüsse zu einer Wiederbelebung der Gleisanschlussverkehre. Der Bund gewährt teils sehr umfangreiche Zuschüsse bei der Errichtung neuer Gleisanschlüsse. Ein weiterer wirtschaftlicher Aspekt, der von politischer Seite beeinflusst wurde, sind die Transportkosten des Verkehrsträgers Straße. Nach Einführung der LKW-Maut und steigenden Mineralölpreisen geht eine kontinuierlich wachsende Anzahl Firmen zum Schienentransport über. Prominente Beispiele deutscher Unternehmen, die in den vergangenen Jahren die Verlagerung von Verkehren auf die Schiene durch einen neuen Gleisanschluss vorantrieben, sind BASF, Porsche und die Brauerei Warsteiner (Allianz pro Schiene 2007).

12.5.2 Zugbildungsanlagen

Hauptaufgabe der Zugbildungsanlagen (ZBA), ist die Umstellung von Wagen des Einzelwagenverkehrs, um kleine Sendungen zu zugwürdigen, d. h. hinreichen großen,

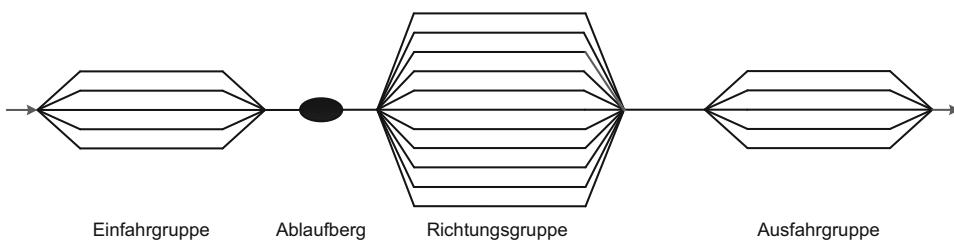


Abb. 12.5 Schematische Zeichnung eines Rbf

Wagenzügen zu bündeln. Zum Prozess der Zugumstellung gehört die Zerlegung, Neusortierung und Bildung von Zügen. Er wird mit Erläuterungen der notwendigen Infrastruktur im Folgenden dargestellt (vgl. Abb. 12.5).

Ein Zug fährt in die Einfahrgruppe ein, wo er auf seine Zerteilung wartet. Die *Einfahrgruppe* besteht aus einer Reihe paralleler Gleise. Ein Mitarbeiter löst die Kupplungen manuell und zerlegt den Zug somit in kleine Wagengruppen (auch als Blocks bezeichnet) oder sogar einzelne Wagen. Die Entscheidungsgewalt über die sogenannte *Zerlegeliste* liegt beim Disponenten der Anlage. Nach der Zerlegung der Züge werden die Wagen von einer Rangierlok über den sogenannten Ablaufberg geschoben. Der Ablaufberg ist seinem Namen entsprechend eine Erhöhung im Gelände. Die Wagen rollen nach Erreichen des Scheitelpunktes über eine Rampe in eine Ebene. Dies geschieht allein durch die Gewichtskraft der Wagen (Berndt 2001).

In der Ebene befindet sich die sogenannte *Richtungsgruppe*, eine zumeist doppelharfenförmige Gruppe paralleler Gleise. Die vom Ablaufberg in die Richtungsgruppe laufenden Wagen werden über Weichen geleitet und damit möglichst richtungsrein in die Gleise der Richtungsgruppe sortiert. Ausnahmen von der richtungsreinen Sortierung können bei Kapazitätsengpässen in der Anlage notwendig sein.

Die von Hand zusammengekuppelten Wagengruppen aus der Richtungsgruppe verlassen als Züge die Zugbildungsanlage. Vor der Abfahrt prüft der Wagenmeister Bremsen, Ladungssicherung und allgemeinen technischen Zustand der Wagen. Er prüft dabei auch die Bremsen, indem er mit einem Hammer auf die Bremsbacken klopft. Der entstehende Ton gibt Auskunft über die Funktionsfähigkeit der Bremsen. Es gibt auch Rangierbahnhöfe, in denen eine eigene *Ausfahrgruppe* existiert, in der Züge auf ihre Abfahrt warten können, ohne die Anzahl der Richtungsgleise einzuschränken, da die Richtungsgleise zumeist eine knappe Ressource darstellen (DB Schenker 2011).

Neben den prototypisch besprochenen Zugbildungsanlagen mit Ablaufberg existieren auch Rangieranlagen ohne Ablaufberge. In diesen Anlagen werden die Rangierprozesse mittels Rangierlokomotiven durchgeführt. Nachteile dieses Vorgehens sind vor allem der höhere Personalaufwand und der Zeitaufwand je umgestelltem Wagon.

Im Folgenden werden die Rangierbahnhöfe Maschen und Mannheim exemplarisch vorgestellt, da es sich bei Ihnen um die größten deutschen Zugbildungsanlagen handelt.

Der Rangierbahnhof Maschen nimmt als größter europäischer Rangierbahnhof eine besonders zentrale Rolle im Schienengüterverkehr Mitteleuropas ein. Auf einer Fläche von 49 ha werden wenige Kilometer südlich von Hamburg jährlich ca. eine Million Wagen umgestellt. Der Rangierbahnhof beschäftigt ungefähr 300 Mitarbeiter und dient als zentraler Umstellbahnhof des Hinterlandverkehrs der großen deutschen Seehäfen.

Maschen ist ein sogenannter zweiseitiger Rangierbahnhof, d.h. Einfahr- und Rangiergruppe existieren jeweils in doppelter Ausführung. Diese sind parallel angeordnet, dabei jedoch geographisch zueinander entgegen gesetzt ausgerichtet, um Nord-Süd-Verkehre und Süd-Nord-Verkehre zu trennen. Insgesamt stehen in den Gleisharfen der Richtungsgruppen 112 Richtungsgleise zur Verfügung (DB Schenker 2011).

Von ebenfalls hochgradiger Wichtigkeit für den Schienenverkehr in Deutschland ist der Rangierbahnhof in Mannheim. Mit ebenfalls zwei Ablaufanlagen und insgesamt 83 Richtungsgleisen ist Mannheim der zweitgrößte deutsche Rangierbahnhof. Die Ausrichtung der Gleisanlagen in West-Ost- und Ost-West-Richtung spiegelt die Hauptverkehrsachsen wider, die von dieser Zugbildungsanlage bedient werden. Nach Modernisierungsarbeiten an der Umschlagtechnik ist der Rangierbahnhof heute in der Lage, in beiden Richtungsgruppen jeweils bis zu 150 Wagen pro Stunde umzustellen (DB Netz AG 2012b).

Zu den wichtigsten Rangierbahnhöfen in Deutschland zählen überdies Köln-Gremberg, Hagen-Vorhalle und Seelze (DB Netz AG 2012b).

12.5.3 Umschlagbahnhöfe

Der DB Netz AG, als Deutschlands größtem EIU, gehören 22 Umschlagterminals für den unbegleiteten kombinierten Verkehr, d.h. vor allem für den Umschlag von Ladeeinheiten zwischen Schiene und Schiene sowie Schiene und Straße. Hier finden keine Rangievorgänge statt, um auf Zügen ankommende Teilladungen zu neuen Zügen zusammenzustellen. Stattdessen findet eine Umladung von Ladeeinheiten zwischen den anstehenden Zügen und Lkw statt. Zentrale Einrichtung der Terminals sind die zumeist mit Portalkränen überspannten Umschlaggleise. Auf den Umschlaggleisen stehen die Züge, deren Ladeeinheiten umzuschlagen sind. Im Falle vertikaler Umschlageinrichtungen, d.h. Portalkräne, muss auf eine Elektrifizierung der Schienenwege verzichtet werden. Der Fahrdraht würde den vertikalen Umschlag ansonsten verhindern. Daher ist es oft notwendig, Wagenzüge, die über elektrifizierte Strecken das Terminal erreichen, mit einem dieselgetriebenen Triebfahrzeug auf die Umstelltgleise zu fahren. Für horizontale Umschlagtechniken wird auf das Kap. 16 über kombinierten Verkehr verwiesen.

Umfassende Modernisierungsarbeiten haben in den vergangenen Jahren zum Ausbau mehrerer wichtiger Umschlaganlagen des Schienengüterverkehrs geführt. Dabei kam es zu großen Erweiterungen der Anlagen in Regensburg, München, Köln-Eifeltor sowie Hamburg-Billwerder (DB Netze 2012c).

Ein Megahub für den Umschlag von Ladeeinheiten des Kombinierten Verkehrs entsteht bis 2016 im östlich von Hannover gelegenen Lehrte. Mit sechs Umschlaggleisen, die von

drei Portalkränen bedient werden sollen, wird der Megahub Lehrte zur Stärkung der Hinterlandverkehre der Seehäfen beitragen (DB Netz Fahrweg 2012).

Für weitere Details, die den Umschlag zwischen Schiene und Straße sowie Schiene und Wasser betreffen, verweisen wir auf das Kapitel über kombinierten Verkehr.

Literatur

- Allgemeines Eisenbahngesetz (AEG) vom 27. Dezember 1993 (BGBl. I S. 2378, 2396; 1994 I S. 2439), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 12. September 2012 (BGBl. I S. 1884) geändert worden ist.
- Allianz pro Schiene (2007) Mehr Bahn wagen. Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV), Berlin
- Arnold D, Heinz I, Kuhn A, Tempelmeier H, Furmans K (2008) Handbuch Logistik. Springer, Berlin
- BAG Bundesamt für Güterverkehr (2008) Marktbeobachtung Güterverkehr – Strukturentwicklungen auf dem Schienengüterverkehrsmarkt, Köln
- Berndt T (2001) Eisenbahngüterverkehr. Teubner, Erfurt
- Bundesnetzagentur (2012) <http://www.bundesnetzagentur.de>. Abgerufen am 25. September 2012
- DB Netz AG (2012a) Infrastrukturregister. DB Netz AG, Frankfurt am Main
- DB Netz AG (2012b) Zugbildungsanlagen der DB Netz AG. DB Netz AG, Berlin
- DB Netz AG (2012c) Umschlagbahnhöfe der Deutschen Bahn. DB Netz AG, Frankfurt am Main
- DB Netz AG Fahrweg (2012) Rund 100 Millionen Euro für den MegaHub Lehrte. DB Netz AG, Frankfurt am Main
- DB Schenker (2011) Zug um Zug. logistics Magazin 3: 42–47. Berlin
- Deutsche Bahn AG (2011) Zugbeeinflussungssysteme. Berlin
- Eisenbahn-Bundesamt (EBA). <http://www.eba.bund.de>. Aufgerufen am 25. September 2012
- Eisenbahn-Bundesamt (EBA). Landeseisenbahnaufsicht (LEA). http://www.eba.bund.de/cln_031/nn_205480/DE/EBA/Aufgaben/LEA/lea_node.html?__nnn=true. Abgerufen am 03. März 2013
- Fried J (2006) Vereinheitlichung und Verbesserung von Zugsicherung und Zugsteuerung. In: Henke M (ed) Europäischer Schienengüterverkehr – ein Markt der Zukunft. Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV), Berlin
- Hornemann K (2010) Zugbeeinflussungssysteme an Ländergrenzen. Bahn Fachverlag, Berlin
- Janicki J, Reinhard H (2008) Schienenfahrzeugtechnik. DB – Fachbuch, Berlin
- Nikutta S, Pahl M (2009) Schlanke Produktionsstrukturen in vernetzten Systemen. Das Produktionsystem im Schienengüterverkehr. Deine Bahn 2: 6–13
- Pachl J (2011) Systemtechnik des Schienenverkehrs. Vieweg + Teubner, Wiesbaden
- Spierings R (2006) Hemmnisse für den grenzüberschreitenden Schienengüterverkehr aus Sicht der Güterbahnen. In: Henke M (ed) Europäischer Schienengüterverkehr – ein Markt der Zukunft. Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV), Rotterdam
- VDV Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (2008) Handbuch Schienengüterverkehr 2008. DVV Media Group GmbH. DVV Rail Media, Hamburg
- Vitins J (2006) Elektrische Mehrsystemlokomotiven für den internationalen Güterverkehr. In: Henke M (ed) Europäischer Schienengüterverkehr – ein Markt der Zukunft. Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV), Zürich

Markus Muschkiet

Der Binnenschiffgüterverkehr ist eine Form des Güterverkehrs, welcher auf Binnenschifffahrtstraßen mit Binnenschiffen durchgeführt wird. Hierbei konkurriert der Binnenschiffgüterverkehr mit den Verkehrsträgern Straße und Schiene. Gleichzeitig bestehen enge Kooperationen zwischen den Verkehrsträgern, insbesondere im Kombinierten Verkehr (s. Unterkap. 16). Das System der Binnenschifffahrt setzt sich aus verschiedenen Akteuren zusammen, die in der Abb. 13.1 dargestellt sind. Das vorliegende Kapitel befasst sich vornehmlich mit den Bereichen Wasserstraße, Schifffahrtsunternehmen mit ihren Schiffen und zuletzt mit den Häfen als Knoten der Binnenschifffahrt.

Der Anteil der Binnenschifffahrt am Modal Split, bezogen auf die Verkehrsleistung nahm in der Vergangenheit stetig ab. Im Zeitraum von 2000 bis 2011 ist der Anteil der Binnenschifffahrt bei einer allgemein steigenden Verkehrsleistung von 13 % auf 9 % gesunken. Zum Vergleich konnten der Straßengüterverkehr und der Güterbahnverkehr ihre Anteile im selben Zeitraum von 68 % auf 71 % bzw. von 16 % auf 18 % steigern. Im Jahr 2011, in dem die Verkehrsleistung der Binnenschifffahrt auf einen einstelligen Prozentwert gesunken ist, traten jedoch negative Sondereffekte auf. Hierzu zählen die 23 Tage dauernde Rheinsperrung aufgrund einer Schiffshavarie im ersten Quartal und ein stark ausgeprägtes Niedrigwasser im darauffolgenden Quartal. (BAG 2012; Winter 2012, S. 572)

Das Güterverkehrsaufkommen liegt seit 2010 weitgehend konstant bei ca. 260 Mio. t/a. (DESTATIS 2012, S. 8). Seit 1993 konnte das Güterverkehrsaufkommen effektiv um ca. 41 Mio. t gesteigert werden (BMVBS 2011, S. 252). Auf dieses im Verhältnis zu den anderen Verkehrsträgern geringen Wachstums, ist der Rückgang des Anteils an der Verkehrsleistung zurückzuführen.

M. Muschkiet (✉)

Institut für Transportlogistik, TU Dortmund,
Leonhard-Euler-Str.2, 44227 Dortmund, Deutschland
E-Mail: muschkiet@itl.tu-dortmund.de



Abb. 13.1 Das System der Binnenschifffahrt (via Donau 2005, S. 1)

In den vergangenen Jahren ist der Umwelt- und Nachhaltigkeitsaspekt der Binnenschifffahrt vermehrt in den Fokus gerückt. Die Binnenschifffahrt hat den niedrigsten Primärenergiebedarf im Güterverkehr pro Liter Diesel je 100 tkm (WSV 2012a). Darüber hinaus weist diese auch im Bereich der im Allgemeinen weniger beachteten externen Kosten des Verkehrs (vgl. Kap. 5) wie Lärm- und Unfallkosten, die geringsten Werte auf. So entstehen in der Binnenschifffahrt Unfallkosten von 3,3 Cent je 100 tkm, während dieser Wert beim Schienengüterverkehr bei 6,0 Cent und beim Straßengüterverkehr bei 42,9 Cent liegt. Ähnlich verhält es sich mit Lärmkosten in Cent pro tkm. Für die Binnenschifffahrt fallen diese Kosten nicht an (BDB 2011). Letzteres wird auch dadurch verdeutlicht, dass sowohl die Ufer als auch die Wasserstraßen selber, seien es natürliche oder künstliche Wasserstraßen, in vielfältiger Form zur Erholung von der Bevölkerung genutzt werden.

Die Binnenschifffahrt zeichnet sich letztendlich insbesondere durch die Massenguttauglichkeit aus. Dadurch hat die Binnenschifffahrt einen vielfach höheren Anteil im Transportsegment Massengut als die 9 % über alle Transportsegmente hinweg. Im Jahr 2009 wurden beispielsweise 47 % der Verkehrsleistung über alle Verkehrsträger in der Gütergruppe „Feste mineralische Brennstoffe“ von der Binnenschifffahrt erbracht. Insgesamt entfallen knapp 56 % der von der Binnenschifffahrt erbrachten Verkehrsleistung im Jahre 2009 auf die vier Gütergruppen „Feste mineralische Brennstoffe“, „Erdöl, Mineralölerzeugnisse, Gase“, „Erze und Metallabfälle“ und „Steine und Erden“. Dieser Anteil ist jedoch rückläufig und konnte nicht komplett durch das Wachstum anderer Gütergruppen, wie z. B. durch „Halb- und Fertigerzeugnisse sowie besondere Transportgüter“ zu denen Container zählen, ausgeglichen werden (BAG 2012). Der Rückgang der Massengüter zugunsten von hochwertigen Konsum- und Investitionsgütern entsteht durch die Veränderung der gesamtwirtschaftlichen Produktionsstruktur in hochentwickelten Volkswirtschaften. Die verkehrlichen Auswirkungen die sich daraus ergeben werden als Güterstruktureffekt beschrieben (Aberle 2009, S. 93). Aufgrund der Affinität der Binnenschifffahrt zu Massengütern ist diese entsprechend überproportional vom Güterstruktureffekt betroffen. Entsprechend kann ein Teil des Rückgangs der Binnenschifffahrt am Modal Split hierdurch erklärt werden. Vor diesem Hintergrund sei jedoch darauf verwiesen, dass die Binnenschifffahrt im Bereich von z. B. „Halb- und Fertigerzeugnisse sowie besondere Transportgüter“ Wachstumsraten vorzuweisen hat. Darüber hinaus wird von

der Binnenschifferwirtschaft versucht mit modernen Produkten wie z. B. RoRo-Verkehren (RoRo – Roll on Roll off, vgl. Abschn. 13.5) weiteres Wachstum zu generieren.

Die Binnenschifffahrt ist durch das kleinste Verkehrsnetz im Vergleich zu den Verkehrsträgern Straße und Schiene gekennzeichnet. Auf diesem Verkehrsnetz wird jedoch ein drei Mal so hohes Verkehrsaufkommen in t je Kilometer Strecke aufgebracht als auf der Schiene. Im Verhältnis zur Straße liegt der Faktor bei sechs Mal so viel (BDB 2011). Das deutsche und europäische Binnenwasserstraßennetz wird im folgenden Abschnitt beschrieben.

13.1 Verkehrswege (Binnenwasserstraße)

Binnenwasserstraßen sind natürliche oder künstliche inländische Gewässer wie Flüsse, Seen und Kanäle, die der Binnenschifffahrt dienen. Diese werden in Küstengebieten rechtlich von Küstengewässern unterschieden (WSV 2012b). „*Binnenwasserstraßen sind Seeschiffahrtsstraßen, wenn diese wie die Unterläufe von Flüssen (Ems, Weser, Elbe, Traße) sowie der Nord-Ostsee-Kanal überwiegend der Seeschiffahrt dienen*“ (WSV 2012b). Darüber hinaus „(. . .) haben Binnenwasserstraßen auch ein breites Spektrum nützlicher außerverkehrlicher Funktionen in der Logistik, der Wasserwirtschaft, in der Energiewirtschaft und nicht zuletzt auch bei der Freizeitgestaltung und Erholung“ (WSV 2012b).

Das deutsche Binnenwasserstraßennetz umfasst 7.235 km. Diese teilen sich auf in 6.663 km Binnenwasserstraße im Sinne des Bundeswasserstraßengesetzes (WaStrG) und 572 km sonstige Binnenwasserstraße. Die 6.663 km Binnenwasserstraße wiederum setzen sich zusammen aus Binnenschiffahrtsstraßen und Seeschiffahrtstraßen, die jeweils weiter in klassifizierte und nicht klassifizierte unterschieden werden. (WSV 2012c)

Die Binnenwasserstraßen werden in sieben Klassen (I bis VII) unterteilt, wobei die Klassen V und VI jeweils noch in a und b bzw. a, b und c unterschieden werden. Somit ergeben sich insgesamt zehn Einteilungen für Motorschiffe und Schleppverbände. Von internationaler Bedeutung sind die Klassen IV bis VII, welche in der Abb. 13.2 dargestellt sind.

Schubverbände können aufgrund ihrer Abmessungen ebenfalls nur die Binnenwasserstraßen der Klassen IV bis VII befahren. Diese Wasserstraßen weisen insgesamt eine Länge von 5066 km auf. Auf ihnen findet der Güterverkehr statt, da Wasserstraßen mit einer geringeren Klasse, keine ausreichende Größe besitzen um einen wirtschaftlich sinnvollen Verkehr zu realisieren. Die Klassifizierung eines Gewässers setzt sich zusammen aus den maximal möglichen Abmessungen des Schiffes (Länge, Breite und Tiefgang), der Tonnage und der Brückendurchfahrtshöhe. (WSV 2012c, d)

Die maximalen Abmessungen eines Schiffes wiederum werden durch Schleusen bzw. Schiffshebewerke und Wendemöglichkeiten begrenzt. Die Brückendurchfahrtshöhe stellt die lichte Durchfahrtshöhe zwischen Wasserspiegel und der Brücke dar. Hierbei wird

Klasse der Binnenwasserstraße	Motorschiffe					Schubverbände						Brückendurchfahrtshöhe*
	Bezeichnung	maxim. Länge	maxim. Breite	Tiefgang	Tonnage	Formation	Länge	Breite	Tiefgang	*Tonnage		
IV	Johann Welker	80-85	9,5	2,5	1 000 - 1 500			85	9,5*	2,50 - 2,80	1 250 - 1 450	5,25 o. 7,00*
V a	Große Rheinschiffe	95 - 110	11,4	2,50 - 2,80	1 500 - 3 000			95 - 110*	11,4	2,50 - 4,50	1 600 - 3 000	5,25 o. 7,00 o. 9,10*
V b								172 - 185*	11,4	2,50 - 4,50	3 200 - 6 000	
VI a								95 - 110*	22,8	2,50 - 4,50	3 200 - 6 000	7,00 o. 9,10*
VI b		140	15	3,9				185 - 195*	22,8	2,50 - 4,50	6 400 - 12 000	
VI c								270 - 280	22,80	2,50 - 4,50	9 600 - 18 000	9,1*
VII								195 - 200*	33,00 - 34,20*	2,50 - 4,50	9 600 - 18 000	
								285	33,00 - 34,20*	2,50 - 4,50	14 500 - 27 000	9,1*

* Details in CEMT-Klassifizierung

Abb. 13.2 Schiffsgrößenklassifizierung nach Binnenwasserstraßen (eigene Darstellung nach CEMT)

zwischen Kanälen mit „oberen Betriebswasserstand zuzüglich den kurzzeitigen Wasserspiegelschwankungen“ und „Flüssen und Wasserstraßen mit veränderlicher Wasserführung auf den höchsten Schiffahrtswasserstand“ unterschieden (WSV 2012b). Zusätzlich werden 30 cm Sicherheitsabstand eingerechnet.

Neben der vorgestellten Einteilung der Binnenwasserstraßen in Klassen, werden die deutschen Binnenwasserstraßen für die Ausweisung der Transportleistung in die neun Wasserstraßengebiete

- Elbegebiet
- Wesergebiet
- Mittellandkanalgebiet
- Westdeutsches Kanalgebiet
- Rheingebiet
- Donaugebiet

- Gebiet Berlin
- Gebiet Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern

unterteilt.

Einzelne Gebiete können wiederum aus mehreren Gewässern bestehen. So besteht das Rheingebiet beispielsweise aus Oberrhein, Mittelrhein, Lahn, Mosel, Saar, Niederrhein, Main und Neckar. Auf dieses Gebiet entfallen knapp 80 % der gesamten Transportleistung aller deutschen Wasserstraßengebiete. Lediglich das Mittellandkanalgebiet mit knapp 6 % und das westdeutsche Kanalgebiet mit knapp 7 % der Transportleistung auf deutschen Binnenwasserstraßen weisen zudem eine signifikante Höhe im oberen einstelligen Bereich auf. Letzteres konnte als einziges Gebiet bis 2010 ein Wachstum vorweisen. Sowohl im Donau- als auch im Elbegebiet ist die Transportleistung rückgängig. Insbesondere im Elbegebiet ist der Rückgang an der Transportleistung stark ausgeprägt, so dass für das Jahr 2011 kein Anteil an der Transportleistung ausgewiesen werden konnte. Zurückzuführen ist dies auf die Fahrwasserverhältnisse auf der Elbe, die unter anderem wegen der ehemaligen deutschen Teilung, oberhalb von Geesthacht bei Hamburg nicht für den Binnenschiffgüterverkehr ausgebaut ist. Somit kann eine ausreichende Abladetiefe von mindestens 1,4 m an mehr als 200 Tagen im Jahr nicht gewährleistet werden. Hierauf ist auch der im Verhältnis zu den ARA-Häfen (Antwerpen, Rotterdam, Amsterdam) geringe Anteil der Hafenhinterlandverkehre mit dem Binnenschiff des Hamburger Hafens zurückzuführen. Binnenschiffahrtsunternehmen haben daher in der Vergangenheit Schiffe in andere Fahrgebiete, insbesondere in das Rheingebiet verlagert. (BAG 2012, S. 31–41) Das Bundeswasserstraßennetz ist in der Abb. 13.3 dargestellt.

Das europäische Binnenwasserstraßennetz umfasst ca. 36.000 km (KEG 2006). Jedoch verfügen die Teile des Netzes, die sich in Weißrussland, der Ukraine und im europäischen Teil Russlands befinden über keine direkten Verbindungen in das restliche europäische Netz. Darüber hinaus sind in diesen 36.000 km auch Wasserstraßen enthalten die kleiner sind als die Klasse III und damit für den Güterverkehr ohne Ausbau nur begrenzt nutzbar sind. Insgesamt verbleiben ca. 14.000 km mindestens mit der Klasse IV (Europawasserstraße) klassifizierte Wasserstraßen (GD TREN 2004, S. 110 ff.). Dieses Netz verkleinert sich auf ca. 9.000 km, wenn die zuvor beschriebenen 5.000 km deutschen Binnenschiffahrtsstraßen abgezogen werden, die mindestens mit der Klasse IV klassifiziert sind. Demnach liegen über 35 % des für den Güterverkehr nutzbaren europäischen Netzes in Deutschland.

In Europa sind vor allem die Donau, das niederländische Wasserstraßennetz, die Rhone sowie das nordfranzösische und belgische Wasserstraßennetz von Bedeutung. Je nach Betrachtung werden die Wasserstraßen aus europäischer Sicht in verschiedene Korridore und Gebiete eingeteilt, die sich teilweise an den zuvor vorgestellten deutschen Wasserstraßengebieten orientieren. Einzelne Gebiete können auch hier wiederum aus mehreren Gewässern bestehen. Insgesamt zeichnet sich das europäische Wasserstraßennetz dadurch aus, dass es nicht durchgehend ist und leistungsstarke Verbindungen zwischen einzelnen Flusssystemen fehlen. (GD TREN 2004, S. 110 ff.)

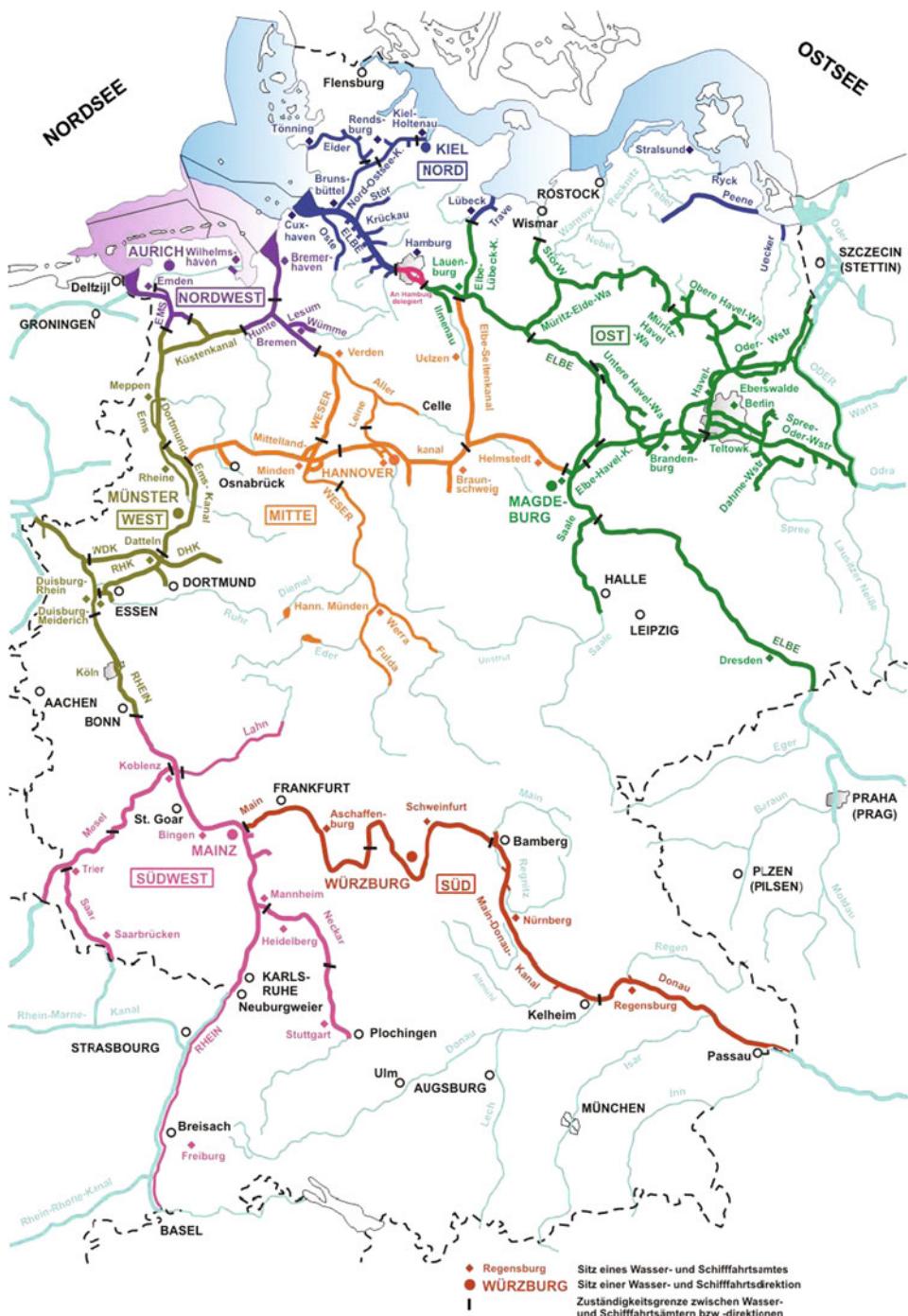


Abb. 13.3 Bundeswasserstraßenkarte W162 (BMVBS 2008)

Eine Ausnahme bilden der Rhein und die Donau, die über den Main und den Main-Donau-Kanal verbunden sind. In diesem Fall verhindert jedoch unter anderem der fehlende Ausbau auf der Donaustrecke zwischen Straubing und Vilshofen in Deutschland eine stärkere Nutzung. Daher findet ein Großteil des Verkehrs im Unterlauf der Donau und damit außerhalb von Deutschland statt. Die Donau ist insgesamt 2.888 km lang; schiffbar ist sie ab dem Flusskilometer 2.415 in Kelheim (Deutschland). Wobei Flusskilometer Null die Mündung ins Schwarze Meer bezeichnet und Flusskilometer 2.888 die Quelle.

Das niederländische Wasserstraßennetz ist insgesamt 6.102 km lang und ist an die Großhäfen Amsterdam und Rotterdam sowie weitere Häfen angebunden. Diese verschaffen der niederländischen Binnenschifffahrt einen im europäischen Vergleich hohen Anteil am Modal Split. Frankreich verfügt insgesamt über 5.132 km Wasserstraßen. Davon sind jedoch nur 1.621 km für größere Schiffe passierbar. In Frankreich sind insbesondere die Rhône und das nordfranzösische Kanalnetz von Bedeutung. Letzteres ist mit dem belgischen Wasserstraßennetz verbunden, welches insgesamt 1.516 km umfasst. Über das belgische Netz kann von Frankreich aus der Hafen Antwerpen erreicht werden. Da dieser wiederum an das niederländische Netz angeschlossen ist, können alle ARA-Häfen und der Rhein von Nordfrankreich aus bedient werden. (EUROSTAT 2012; BÖB 2008, S. 17)

Im Vergleich zu anderen Verkehrsträgern verfügen Binnenwasserstraßen noch über erhebliche Kapazitätsreserven. Laut dem Verein für europäische Binnenschifffahrt und Wasserstraßen e. V. werden zurzeit lediglich 50 % der Kapazität genutzt. Hierzu merkt die Europäische Kommission jedoch an, dass „[...] obwohl der größte Teil des Binnenwasserstraßennetzes über umfangreiche freie Kapazitäten verfügt, [...] einige Engpässe, die durch begrenzten Tiefgang, Brückendurchfahrtshöhen und Schleusenabmessungen verursacht werden, die volle Ausschöpfung dieses Potenzials [verhindern] und [...] so die Wettbewerbsfähigkeit der Binnenschifffahrt [beeinträchtigen]“. (KEG 2006, S. 10)

13.2 Verkehrsmittel im Güterverkehr

Die deutsche Binnenschiffsflotte hatte 2011 einen Anteil von 31,5 % am Gesamtbinnenschiffsverkehr in Deutschland, mit fallender Tendenz. Hingegen transportierten Binnenschiffe unter niederländischer Flagge insgesamt 56,2 % der Beförderungsmenge auf deutschen Binnenwasserstraßen. Dieser Anteil nahm 2011 erstmals seit Jahren leicht ab, nachdem in den Vorjahren ein beständiges Wachstum zu beobachten war. (Winter 2012, S. 573)

Insgesamt umfasste die deutsche Binnenschiffsflotte am 31.12.2011 4.895 Fahrzeuge. Davon sind 3.270 Fahrzeuge grundsätzlich für den Güterverkehr geeignet. Die restlichen 1.625 Fahrzeuge verteilen sich auf Bunkerboote, Bilgenentölerboote, Fahrgastschiffe, Fähren und Barkassen, auf welche im weiteren Verlauf nicht weiter eingegangen wird. (WSV 2012e, S. 4) Die Unterscheidung zwischen Schiffen und Booten ist nicht immer

Tab. 13.1 Anzahl der Güterschiffe nach Schiffstypen (Eigene Darstellung nach WSV 2012e)

Schiffstyp	Anzahl Gesamtanzahl
Frachtschiffe:	2346
Gütermotorschiffe	929
Güterschleppkähne	52
Güterschubleichter	786
Trägerschiffsleichter	121
Tankmotorschiffe	402
Tankschleppkähne	12
Tankschubleichter	44
Schuten:	505
Schlepp- und Schubboote:	419
Schleppboote	131
Schubschleppboote	75
Schubboote	213

eindeutig. Grundsätzlich gilt jedoch, dass ein Boot kleiner ist als ein Schiff. Häufig handelt es sich um historisch gewachsene Bezeichnungen, wodurch auch Fahrzeuge die aufgrund ihrer heutigen Abmessungen als Schiff bezeichnet werden könnten, weiterhin als Boot bezeichnet werden. Bei einem Kahn kann es sich beispielsweise sowohl um ein kleines, offenes und flaches Boot als auch um ein breites, flaches Schiff handeln. Auch hier sind die Bezeichnungen nicht immer eindeutig, weswegen nicht weiter auf die Unterschiede eingegangen wird und die Bezeichnungen von offizieller Stelle übernommen werden. Die Anzahl der Güterschiffe verteilt sich auf die verschiedenen Schiffstypen gemäß Tab. 13.1.

Die Anzahl der deutschen Frachtschiffe hat sich seit Erhebung der Daten im Jahre 1969 um ca. 4.400 Fahrzeuge verringert. Jedoch hat sich in diesem Zeitraum die durchschnittliche Tragkraft nahezu verdoppelt. Eine andere Entwicklung nahmen Schubleichter. Von ihnen existierten im Jahr 1969 insgesamt 117. Diese Anzahl erhöhte sich bis 2011 auf 830. Es fand eine weitgehende Verdrängung von Schleppverbänden durch Schubverbände statt. (WSV 2012e)

Der zahlenmäßige Rückgang der Binnenschiffe insgesamt ist unter anderem auf die Abwrackprämie zurückzuführen, die 1989 vom Rat der damaligen Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft (EWG) beschlossen wurde. Diese als „Strukturbereinigung der Binnenschifffahrt“ bezeichnete Maßnahme wurde in den Jahren 1996–1998 in Belgien, Deutschland, Frankreich, Luxemburg und den Niederlanden umgesetzt. Zuvor fanden bereits auf nationalen Ebenen Abwrackaktionen mit Prämien statt. (EWG 1989; EG 1998)

Eine Besonderheit besteht bei der Tankschiffflotte. Über das Datum 31.12.2018 hinaus dürfen in weiten Teilen Europas Einhüllenschiffe keine gefährlichen flüssigen Güter trans-

portieren. Die Zeit bis Ende 2018 stellt eine Übergangsfrist dar. Für einzelne gefährliche Güter endet diese Frist bereits früher. So durften „verschiedene chemische Substanzen“ ausschließlich bis zum 31.12.2012 mit Einhüllenschiffen transportiert werden. Für „Benzin, verschiedene weitere Erdöldestillate und Kohlenwasserstoffe“ endet die Übergangsfrist am 31.12.2015. Bis Ende 2018 dürfen noch „Diesel, Gasöl, Leichtes Heizöl, Kerosin, Düsenkraftstoff und Terpentinölersatz“ mit Einhüllenschiffen transportiert werden (ZKR 2012, S. 10–12). Da diese Vorschriften frühzeitig bekannt gegeben wurden, haben sich die Marktteilnehmer darauf eingestellt und vermehrt in Doppelhüllenschiffe investiert. Die vorhandenen Einhüllenschiffe sind jedoch nicht im gleichen Maße aus dem Markt ausgeschieden, wie die neuen Doppelhüllenschiffe hinzugekommen sind. Zusätzlich sind die neuen Schiffseinheiten im Durchschnitt größer als die älteren Einhüllenschiffe, wodurch weiterer Laderaum zur Verfügung steht. Unter anderem hieraus resultieren die vorhandenen Überkapazitäten, die diesem Segment der Binnenschifffahrt zurzeit Probleme bereiten. Die älteren Einhüllenschiffe werden, wenn sie aus dem Markt ausscheiden, in der Regel verschrottet. Eine Verlagerung nach Osteuropa ist wegen der auch dort größtenteils geltenden ADN Vorschriften nicht möglich. Ein Verkauf einiger weniger Schiffe außerhalb Europas findet in einem nicht quantifizierbaren Maßstab statt. Die Zentralkommission der Rheinschifffahrt geht Stand Juli 2012 davon aus, dass ca. 80 % der Tankerflotte bereits auf Doppelhüllenschiffe umgestellt worden sind. Es wird daher erwartet, dass die Marktsituation der Tankschiffe weiterhin von Überkapazitäten geprägt sein wird. (ZKR 2012, S. 10–12, 2011)

Systematik der Fahrzeuge

Die in der Tab. 13.1 zahlenmäßig aufgeführten Binnenschiffstypen werden nun funktionsbedingt beschrieben. Die Abmessungen der verschiedenen Schiffstypen richten sich nach den zuvor beschriebenen Binnenwasserstraßenklassen nach CEMT und sind der Abb. 13.2 zu entnehmen.

Frachtschiffe in der Binnenschifffahrt lassen sich grundsätzlich in Trockenfrachtschiffe und Tanker unterteilen. Die Schiffsgrößen nach CEMT kommen bei Tank- wie bei Trockenfrachtschiffen zum Einsatz. Weiter lassen sich Gütermotorschiffe und Schiffsverbände unterscheiden.

Der grundlegende Aufbau des Schiffskörpers bei Frachtschiffen ist in der Ausführung als Tanker sowie als Trockenfrachtschiff gleich. Die Schiffe lassen sich durch den im Heck liegenden Antrieb mit zugehöriger Manövriermanlage sowie der Wohnung und dem Tank für den Schiffsbetrieb charakterisieren. Im mittleren Bereich des Schiffes befindet sich der Laderaum. Bei Tankern wird dieser Bereich zusätzlich durch einen sogenannten Kofferdamm abgetrennt. Hierbei handelt es sich um ein wasser- und gasdichtes Doppelschott zum hinteren und vorderen Schiffsbereich. Der Bug des Schiffes besteht i. d. R. aus einem Wohnabteil und Tanks für den Betrieb des Schiffes. Insbesondere bei modernen Tankern

befindet sich dort außerdem ein weiterer Maschinenraum mit Anlagen wie Pumpen, für die Be- und Entladung einzelner Tanks. (Renner 2002)

Der Laderaum eines Trockenfrachtschiffes eignet sich je nach Ausführung für den Transport von trockenen Massengütern, Chemikalien, verschiedenartigen Stückgütern und Containern. Darüber hinaus existieren Sonderausführungen des Trockenfrachtschiffes wie beispielsweise das reine Containerschiff oder RoRo-Schiffe, welche in der Lage sind rollende Ladung über Rampen aufzunehmen. Reine Containerschiffe in der Klasse des großen Rheinschiffes können bei vier Lagen Containern übereinander bis zu 208 TEU (Twenty Foot Equivalent Unit) transportieren. Bei Schiffen mit den Maßen 135 × 11,45 m (Länge × Breite) beträgt die Transportkapazität bei vier Lagen 268 TEU. Die größten selbstfahrenden Einheiten in Deutschland, Schiffe der JOWI-Klasse mit Maßen von 135 × 16,8 m, verfügen bei vier Lagen über eine Kapazität von 398 TEU, die bei fünf Lagen auf 470 TEU gesteigert werden kann. Im Tankschiff befinden sich Ladetanks, die für flüssiges Massengut und/oder Gase ausgelegt sind. Tankschiffe werden darüber hinaus noch in die Typen G, C und N unterschieden. Der Typ G ist hauptsächlich für Gase, der Typ C für giftige und besonders gefährliche Chemikalien sowie Ölprodukte und der Typ N für Ölprodukte, Säuren und Laugen ausgelegt. (Dosdahl 2002; BMV 1997; EICB 2013)

Neben den zuvor beschriebenen selbstfahrenden Schiffseinheiten gibt es Schiffsverbände, die aus einem Antriebschiff und nicht angetriebenen Schiffseinheiten, sogenannten Leichtern, bestehen. Diese Verbandsbildungen setzen sich i. d. R. aus einem Schubboot mit einem oder mehreren Leichtern zusammen. Der Einsatz von Schleppbooten nimmt seit Jahrzehnten kontinuierlich ab (WSV 2012e, S. 7–8). Leichter besitzen keinen eigenen Antrieb oder andere Aufbauten. Sie bestehen faktisch nur aus Laderaum. Angetrieben werden Leichter durch die Schub- oder Schleppboote. Je nach vorhandener Technik werden Leichter starr oder beweglich mit dem Antriebsboot verbunden. Um die Manövriertfähigkeit und die Spurstabilität zu erhöhen können zusätzlich Bugstrahl- und Passivrudern eingesetzt werden.

Darüber hinaus existieren eine Reihe von Schiffsentwürfen und -prototypen die auf bestimmte Eigenschaften von Wasserstraßen und ihre Beschränkungen ausgelegt sind. Diese sollen die Binnenschifffahrt ökonomischer und ökologischer machen, insbesondere auf Wasserstraßen, die zurzeit nicht intensiv für den Güterverkehr genutzt werden. Exemplarisch sei hier als Prototyp der kanalgängige Containerleichter „SL FRANC“ und als Entwurf „NEWS“ (Next generation European inland Waterway Ship) genannt.

Der Containerleichter „SL FRANC“ ist auf einen geringen Tiefgang ausgelegt, so dass dieser auch bei niedrigen Wasserständen wirtschaftlich zu betreiben ist. Dies ist insbesondere auf der Elbe, auf der der Leichter eingesetzt wird, von Bedeutung, da die Elbe für den Binnenschifffguterverkehr nicht ausgebaut ist. Erreicht wurde der im Vergleich geringe Tiefgang durch eine veränderte Form und ein geringeres Eigengewicht des Leichters. Die Abmessungen betragen 83 × 9,50 × 3 m (Länge × Breite × Höhe), womit eine maximale Ladekapazität von 144 TEU erreicht wird. Bei einem Tiefgang von 1,8 m liegt die Ladekapazität bei 100 TEU, bei 1,6 m Tiefgang bei 75–80 TEU. Der Laderaum ist jedoch

nicht ausschließlich für Container ausgelegt. Auch andere Stückgüter wie Schwer- oder Projektladung sowie Schüttgüter können mit dem Leichter transportiert werden. (THB 2011, S. 6)

Das zurzeit als Entwurf vorliegende Motorgüterschiff „NEWS“ verfolgt einen anderen Ansatz. Es ist mit eigenem Antrieb als reines Containerschiff ausgelegt und kann daher nicht für andere Güter genutzt werden. Die Neukonstruktion des Schiffes ermöglicht einen Transport von 4 TEU nebeneinander gegenüber 3 TEU nebeneinander bei herkömmlichen Motorgüterschiffen. Hierdurch wird die Transportkapazität um 1/3 pro Lage Container erhöht. Um dies zu erreichen wurden die Wallgänge, die klassisch außen liegen, in die Mitte des Schiffes versetzt. Die Abmessungen des Schiffes betragen 110 × 11,4 m (Länge × Breite) und unterscheiden sich damit nicht von anderen Motorgüterschiffen. Zusätzlich kann durch einen Trimmtank der Tiefgang variiert werden, womit auch niedrigere Brücken passiert werden können. Um die Stabilität des Schiffes zu erhalten, werden zudem die Rumpfabschlüsse erhöht. Dies würde als positiven Nebeneffekt die Nutzung im Short-Sea-Bereich ermöglichen, auch wenn dieser Schiffstyp für den Linienverkehr auf dem Main-Donau-Kanal entwickelt wurde. Der Entwurf „NEWS“ weißt weitere Neuerungen im Bereich des Antriebs auf, auf die hier nicht weiter eingegangen werden soll. Zudem existieren auf Grundlage dieses Entwurfs weitere Spezialschiffe wie Autotransporter. (Kleinort 2009)

13.3 Akteure

Die Akteure des Binnenschiffgüterverkehrs setzen sich aus drei Gruppen zusammen. Es handelt sich um die staatlichen Aufsichtsbehörden, die Dienstleister des Verkehrsträgers und die Hafenbetreiber. Alle Beteiligten haben sowohl divergierende als auch gemeinsame Interessen. Die einzelnen Akteure werden in den folgenden Unterabschnitten beschrieben.

13.3.1 Aufsichtsbehörden

Die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) des Bundes ist die Aufsichtsbehörde für die Bundeswasserstraßen. Sie ist zuständig für die Regelung des Schiffverkehrs und der Verwaltung der Bundeswasserstraßen. Hierzu zählen neben den oben aufgeführten Binnenwasserstraßen ebenfalls 23.000 km² Seewasserstraßen. Die Behörde untersteht dem Bundesministerium für Verkehr-, Bau- und Stadtentwicklung (BMVBS). „Die WSV gliedert sich in 7 Wasser- und Schifffahrtsdirektionen, 39 Wasser- und Schifffahrtsämter und 7 Neubauämter“ (WSV 2009). Der Aufgabenbereich umfasst das Sicherstellen der Befahrbarkeit sowie die Sicherheit und Beschilderung von Wasserstraßen. Es werden Schleusen, Wehre und Schiffswerften unterhalten. Des Weiteren liegt im Zuständigkeitsbereich der Verwaltung die Genehmigung für den Aus- und Neubau von Wasserstraßen. Für den

Notfall unterhält das WSV eine Schadbekämpfungsflotte für Öl- und Chemiebekämpfung, Notschlepper und Schiffsbrandbekämpfung. Diese agiert auf Anfrage auch international. Diese Aufgaben werden mit ca. 13.000 Mitarbeitern bewältigt. (WSV09)

Das BMVBS reformiert mit diversen Maßnahmen die WSV, um verschiedene Ziele zu erreichen. Insbesondere steht jedoch die vom Bundesrechnungshof geforderte Kosteneinsparung im Vordergrund. Bis zum Jahre 2020 soll die WSV um 1/3 verkleinert werden. Für Anfang 2013 war hierzu geplant, die Aufgaben der sieben Wasserschifffahrtsdirektionen (WSD) durch eine Generaldirektion in Bonn zu bündeln. Dabei werden die WSD in Außenstellen umgewandelt und durch die Generaldirektion gesteuert. Die Außenstellen werden Ende 2020 ihren Status verlieren, sind jedoch weiterhin Standorte des WSV. (BMVBS 2012a)

Die Auswirkungen auf den Binnenschiffgüterverkehr liegen jedoch weniger in der Umstrukturierung der WSV als der damit einhergehenden „*Kategorisierung der Wasserstraßen nach ihrer Transportfunktion*“, und der geplanten fünfjährigen Überprüfung dieser Netzkategorisierung. Die Binnenwasserstraßen sind in drei Unterkategorien (A, B, C), sowie „sonstige Wasserstraßen“ eingeteilt worden. Die Einteilung beruht auf den tatsächlichen bzw. prognostizierten Gütertransportmengen der Wasserstraßen. Ein Ausbau der Wasserstraßen wird nur noch in der Kategorie A umgesetzt. In der Kategorie B werden „Optimierungsmaßnahmen“ durchgeführt. Bei Ersatzinvestitionen können „Ausbauparameter der Kategorie A“ berücksichtigt werden. Für die Kategorie C und die sonstige Wasserstraßen werden keine Ausbauten mehr vorgesehen. Dieser Teil des Wasserstraßennetzes soll ausschließlich erhalten werden. (BMVBS 2012a) Eine Einteilung der Wasserstraßen in die beschriebenen Kategorien ist auf der Karte „Reform Wasser und Schifffahrtsverwaltung – Karte“ beim BMVBS abrufbar. Teile der Elbe- und der Saale, sowie Teile der Donau sind bis zur Drucklegung dieses Buches noch nicht kategorisiert worden. (BMVBS 2012b)

13.3.2 Dienstleister des Verkehrsträgers

Binnenschiffsreedereien sind Schifffahrtsunternehmen, die Transportaufgaben organisieren und ausführen. Dies kann mit eigenem oder fremdem Schiffsraum durchgeführt werden. Vor diesem Hintergrund bestehen diverse Überschneidungen mit Speditionen des Straßengüterverkehrs (vgl. Unterkap. 11). „*Charakteristisch für eine Reederei ist, dass sie die Transportdurchführung vom Lande aus vorbereitet und leitet (Akquisition des Transportgutes, Verträge, Organisation, Disposition des Schiffraumes, Verwaltung)*“ (BMV 1997, S. 2). Der eigene Schiffsraum kann auch durch sogenannte Hauspartikuliere gesichert werden. Hierbei haben die Binnenschiffsreedereien Teile ihres Schiffsraums an private Schiffführer (= Partikuliere) verpachtet oder verkauft und sich diesen Schiffsraum wiederum vertraglich gesichert. (BMV 1997, F4, S. 2)

Neben den Hauspartikulieren existieren „freie“ Partikuliere, die auf eigene Rechnung Ladung direkt vom Befrachter oder Verlader übernehmen. Sie sind somit genauso wie

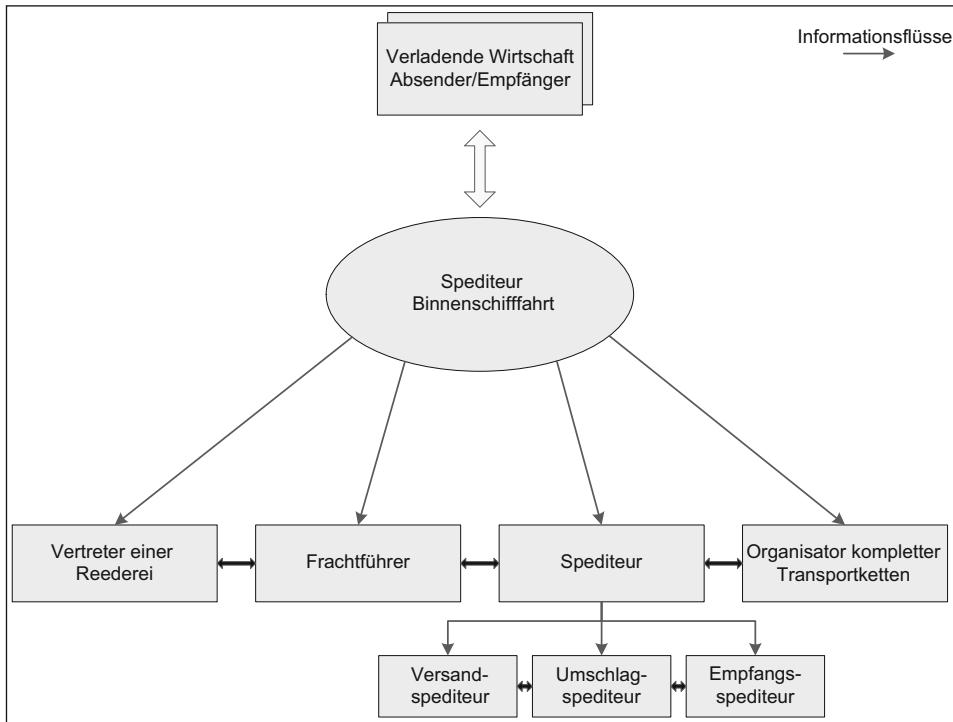


Abb. 13.4 Stellung der Binnenschiffahrtsspedition (eigene Darstellung nach BMV 1997, S. 4)

die Hauspartikuliere Frachtführer. Partikuliere werden auch als Einzel-, Klein- oder Privatschiffer bezeichnet und sind Eigner von bis zu drei Schiffen. Da Partikuliere somit auf Ladungsvermittlungen angewiesen sind, haben sie sich häufig zu Transportgenossenschaften und/oder Beteiligungsgesellschaften zusammengeschlossen. Diese Gesellschaften akquirieren Ladung und stellen diese wie eine Ladungsbörse den Mitgliedern zur Verfügung. Zugleich agieren diese wie Befrachter. (BMV 1997, S. 2–3)

Der Befrachter bildet in der Binnenschiffahrt das Verbindungsstück zwischen dem Anbieter eines Transportauftrages und dem Transportunternehmen in der Binnenschiffahrt. Mittels eines Frachtvertrages verpflichtet sich der Befrachter den Transport durchzuführen. Da dieser keine eigenen Schiffskapazitäten vorhält, stellt er ein Organisationselement für Reeder und Partikuliere dar. (BMV 1997, S. 3)

Die Binnenschiffahrtsspedition organisiert Haus-zu-Haus Verkehre, bei denen der Hauptlauf mit dem Binnenschiff durchgeführt wird. Es kann sich hierbei sowohl um gebrochene als auch um Kombinierte Verkehre (KV) handeln. (BMV 1997, S. 3–4) In der Abb. 13.4 ist die Stellung der Binnenschiffahrtsspedition dargestellt.

Binnenschiffahrtsspeditionen sind häufig Tochterunternehmen von Binnenschiffsreedereien. Die Übergänge bei den Aufgaben sind daher teilweise fließend und hängen unter anderem von der Organisationsform der Transportkette ab.

13.3.3 Hafenbetreiber

Hafenbetreiber und Hafengesellschaften stellen die dritte Gruppe der beteiligten Akteure des Binnenschiffgüterverkehrs. Entsprechend der Einteilung der Binnenhäfen nach Woitschützke (2002, S. 166 ff.), auf die im Abschn. 13.5 genauer eingegangen wird, lassen sich Hafenbetreiber wiederum in drei Gruppen einteilen. Hierbei handelt es sich um öffentliche Häfen, private Häfen und Mischformen von privaten und öffentlichen Häfen.

Die öffentlichen Häfen werden in Deutschland durch den „Bundesverband Öffentlicher Binnenhäfen e.V.“ (BÖB) repräsentiert. Darüber hinaus gibt es Zusammenschlüsse verschiedener Binnenhäfen, die sich gemeinsam darstellen und vermarkten, wie die „Bayernhafen GmbH & Co. KG“ (bayernhafen Gruppe) mit Sitz in Regensburg oder das „Hafenband am Mittellandkanal“ aus Minden. Private Häfen oder auch Werkshäfen stellen ihre Kapazitäten i. d. R. nicht dem freien Markt zur Verfügung, wie öffentlichen Häfen dies tun. Sie generieren ihre Umschlagmengen über die privaten Eigentümer und positionieren sich daher anders am Markt. Private Hafenbetreiber haben sich im Interessensverband „Europäischer Verband privater Hafenunternehmer“ (Feport) mit Sitz in Brüssel zusammengeschlossen.

13.4 Produktionsverfahren und ausgewählte Transportketten

In der Schifffahrt existieren zwei Organisationsformen für Transportketten. Unterschieden werden „Carrier's Haulage“ und „Merchant's Haulage“. Beide Organisationsmodelle werden sowohl in der Binnenschifffahrt als auch Seeschifffahrt angewendet. Für eine Beschreibung des „Carrier's Haulage“ und „Merchant's Haulage“ sei auf Abschn. 14.4 verwiesen.

Transportketten der Binnenschifffahrt beinhalten stets die grundlegenden Elemente einer Transportkette nach DIN 30781 (Norm DIN, 1989). Hierzu gehören die Elemente Quelle/Versender, Vorlauf, Umschlag, Hauptlauf, Umschlag, Nachlauf und Senke/Empfänger. Die Transportkette „*ist die Folge von technisch und organisatorisch miteinander verknüpften Vorgängen, bei denen Personen oder Güter von einer Quelle zu einem Ziel bewegt werden*“ (Ten Hompel 2006, S. 230).

In der Binnenschifffahrt können Transportketten wie bei den anderen Verkehrsträgern in kombinierte und gebrochene Verkehre sowie Direktverkehre unterschieden werden. In der Abb. 13.5 sind die drei genannten Transportketten exemplarisch dargestellt.

Ein aktuelles Beispiel für eine spezielle Transportkette ist die des Leercontainer-transportes. Die Eignung hierfür ist auf die zuvor beschriebenen Eigenschaften des Binnenschifftransports, wie die i. d. R. geringeren Transportkosten im Vergleich mit den Verkehrsträgern Straße und Schiene, sowie die hohe Transportkapazität und Umweltverträglichkeit zurückzuführen. Die geringere Transportgeschwindigkeit des Binnenschiffes spielt im Falle von Leercontainern eine untergeordnete Rolle. Dies führt dazu, dass be-

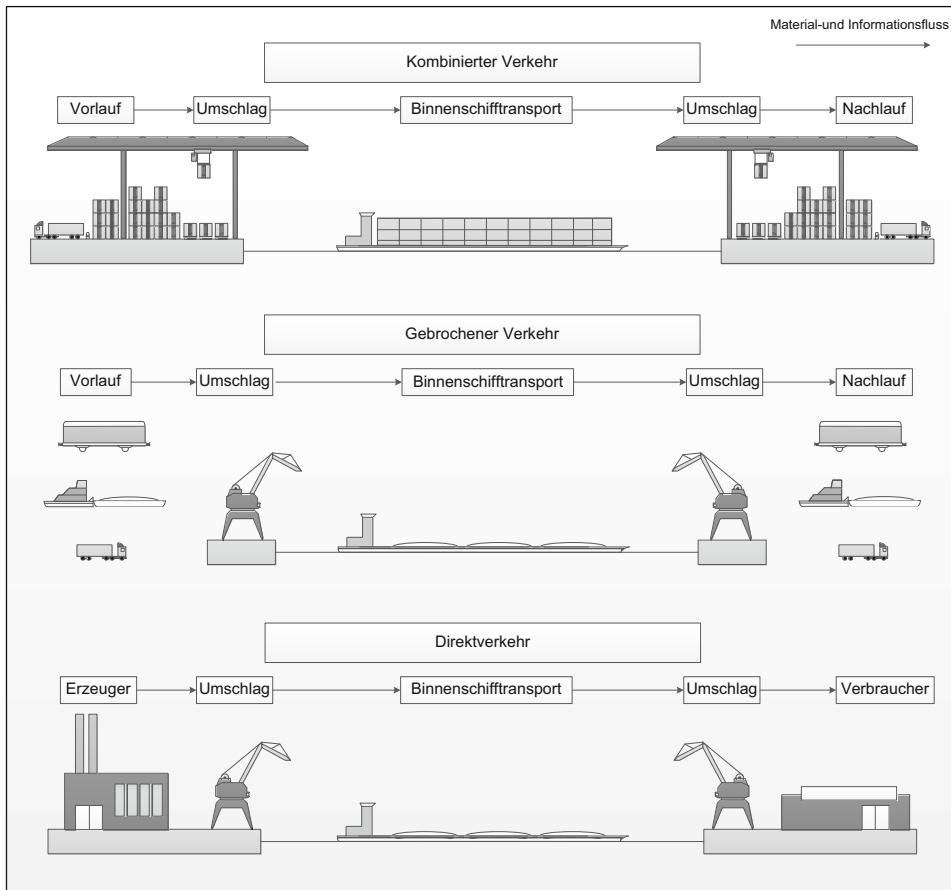


Abb. 13.5 Beispielhafte Transportketten des Kombinierten-, Gebrochenen- und Direktverkehrs (Eigene Darstellung)

ladene Container mit hoher Wertdichte per Bahn oder LKW transportiert werden. Die Rückführung der Leercontainer wird hingegen über das Binnenschiff organisiert. Dies wird durch die Zahlen des statistischen Bundesamtes bestätigt: So sank die Anzahl der beladenen 20'Fuß-Container im Jahr 2011 um ca. 9 % wohingegen der Anteil an leeren 20'Fuß-Container um etwa 28 % zunahm. (Winter 2012, S. 579)

13.5 Logistische Knoten der Binnenschifffahrt

Binnenhäfen stellen Verkehrsknoten bzw. logistische Knoten der Binnenwasserstraßen dar. Sie lassen sich nach Woitschützke (2002, S. 166 ff.) nach Typ und Funktion in sechs Kategorien unterscheiden. Einige dieser Kategorien (s. Abb. 13.6) lassen sich ebenso auf

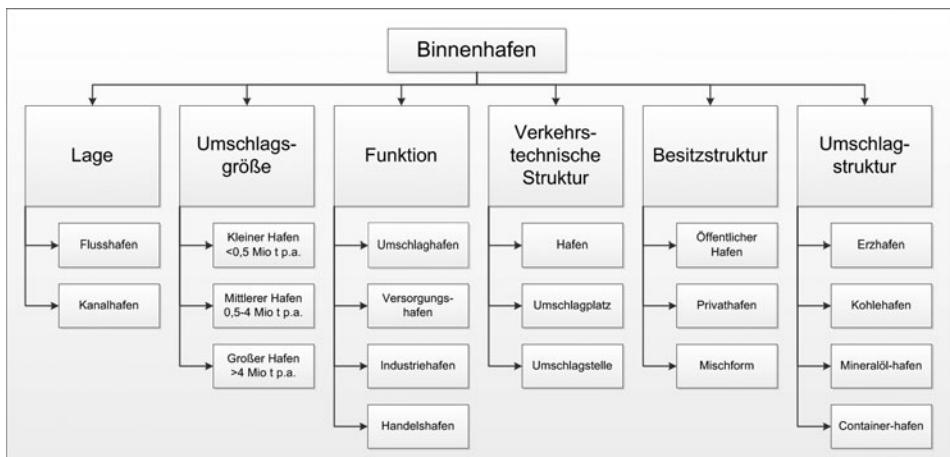


Abb. 13.6 Einteilung von Binnenhäfen nach Typ und Funktion. (Eigene Darstellung nach Woitschützke 2002, S. 167–168)

Seehäfen anwenden. Dies gilt insbesondere wenn Binnenhäfen, wie zum Teil am Niederrhein, ebenfalls den Status eines Seehafens innehaben (Woitschützke 2002, S. 166 ff.). Dies ist beispielweise beim Duisburger Hafen der Fall. Gleichzeitig sind Binnenhäfen i. d. R. ebenfalls Knoten des Kombinierten Verkehrs. Daher sei an dieser Stelle auf das Unterkap. 14 Seeschiffsgüterverkehr und das Unterkap. 16 Kombinierter Verkehr verwiesen.

Insgesamt wurden 258,0 Mio. t im Jahr 2011 in allen deutschen Binnenhäfen umgeschlagen. Entsprechend der zuvor beschriebenen unterschiedlichen Bedeutungen der Wasserstraßen, entfallen von dem Gesamtumschlag über 65 % auf das Wasserstraßengebiet Rhein. Der höchste Wert im Gesamtumschlag seit 1993 wurde im Jahr 1994 mit über 290 Mio. t erreicht. Erst in den Jahren 2007 und 2008 wurden mit 286,8 und 281,3 Mio. t wieder ähnliche Werte erreicht, die jedoch insbesondere im Jahr 2009 mit 236,4 Mio. t wieder unterschritten wurden. Der über die Jahre 1993 bis 2010 ermittelte Umschlagdurchschnitt liegt bei 272,2 Mio. t. Diese Entwicklung entspricht dem zuvor beschriebenen Rückgang der Binnenschiffstransporte am Modal Split. (BMVBS 2011, S. 64–65; Winter 2012, S. 572)

Sechs der zehn größten deutschen Binnenhäfen liegen direkt am Rhein. Hier ist insbesondere der Duisburger Hafen hervorzuheben, welcher der größte Binnenhafen Deutschlands ist. Im Jahr 2011 wurden insgesamt 52,0 Mio. t Güter umgeschlagen. Dies entspricht in etwa der Umschlagsmenge aller deutschen Ostseehäfen. Damit entfallen über 20 % des deutschen Binnenhafengesamtumschlags auf den Duisburger Hafen. (Winter 2012, S. 580) Dieser teilt sich in drei Areale auf: das traditionelle Kernstück in Duisburg und Ruhrtort, den logport I (linksrheinisch) und den logport II (rechtsrheinisch) (Duisport 2012b). Duisburg ist einer der wenigen Binnenhäfen in Deutschland, dem es 2010 gelang das Vorkrisenniveau von 2008 zu übertreffen. Der zweitgrößte Binnenhafen

Tab. 13.2 Gesamtgüterumschlag der 15 größten deutschen Binnenhäfen in Mio. t (Winter 2012, S. 580)

	Umschlag in Mio. t 2011	Umschlag in Mio. t 2010	Veränderung in %
Duisburg	52,0	50,8	+ 2,3
Köln	11,1	11,9	- 7,1
Hamburg	9,7	9,2	+ 5,3
Ludwigshafen	7,1	8,0	- 10,4
Neuss	7,1	7,0	+ 1,2
Mannheim	6,6	7,6	- 13,3
Bremen/Bremerhaven	5,7	5,3	+ 8,2
Karlsruhe	5,5	5,2	+ 5,3
Marl	3,9	3,8	- 5,4
Berlin	3,7	3,8	- 1,6
Heilbronn	3,6	3,9	- 10,0
Gelsenkirchen	3,5	3,8	- 8,9
Kehl	3,4	3,2	+ 6,6
Frankfurt am Main	3,4	4,0	- 15,2
Krefeld-Uerdingen	3,1	3,2	- 2,0
Sonstige Häfen	128,7	129,3	- 0,4
Insgesamt	258,0	260,3	- 0,9

ist der Kölner Hafen. Dieser hat 2011 insgesamt 11,1 Mio. t Güter umgeschlagen. (Winter 2012, S. 580) Der Gesamtgüterumschlag der 15 bedeutendsten deutschen Binnenhäfen ist in Tab. 13.2 dargestellt.

In den vergangenen Jahren ist eine Entwicklung festzustellen, in der sich Binnenhäfen zu modernen Logistikstandorten entwickeln. Hieraus ergeben sich zum Teil zusätzliche Funktionen für die Binnenhäfen, die nicht bei Woitschützke (2002) aufgeführt sind. Dies zeigt sich vor allem in einem breiteren Spektrum der angebotenen logistischen Dienstleistungen und Mehrwertdienste. Beispielhaft hierfür steht die Ansiedlung des „CKD-Export-Standortes“ der AUDI AG im Duisburger Hafen für CKD (Completely Knocked Down, vgl. Bichler et al. (2011), S. 32 f.) Exporte nach China und Indien (Duisport 2012a).

Für Ansiedlungen wie diese und die Wandelung eines Binnenhafens zum modernen Logistikstandort sind Flächen innerhalb der Binnenhäfen die Voraussetzung. Häufig werden hierzu zusätzliche Flächen benötigt, da die Auswirkungen des Güterstruktureffektes trotz des Rückgangs im Bereich der Massengüter nur bedingt zu entsprechend freiwerdenden Flächen führen. Wassernahe Flächen werden jedoch im zunehmenden Maße auch von anderen Interessensgruppen beansprucht. Beispiele für die Umwidmung von Hafenflächen sind der Kölner Rheinauhafen, der Duisburger Innenhafen oder der Düsseldorfer

Medienhafen. Dies führt zu Problemen und Spannungsfeldern. (MWEBWV 2010) (vgl. Unterkap. 3)

13.5.1 Techniken im Umschlagbereich

Die Umschlagtechniken in Binnenhäfen decken sich weitgehend mit denen von Seehäfen und den Knoten des KV. In der Regel unterscheidet sich lediglich die Dimensionierung der einzelnen Umschlaganlagen in den verschiedenen Verkehrsknoten. Aufgrund der zuvor beschriebenen Affinität des Binnenschiffes zu Massengütern werden die dazugehörigen Umschlagtechniken ausführlicher beschrieben, dies gilt ebenso für RoRo-Transporte. Die Techniken im Umschlagbereich für Container werden ausführlich im Abschn. 16.5 beschrieben. Daher werden an dieser Stelle lediglich die Unterschiede zum Seehafen- und KV-Umschlag dargestellt.

Der Massengutumschlag kann in kontinuierliche und diskontinuierliche Prozesse unterschieden werden. Flüssige Massengüter werden ausschließlich kontinuierlich umgeschlagen, bei trockenen Massengütern werden beide Varianten angewandt.

Umschlaganlagen für flüssige Massengüter wie beispielsweise Erdöl, Ölprodukte und verflüssigte Gase haben grundsätzlich den gleichen Aufbau. Wie bereits beschrieben erfolgt der Umschlag kontinuierlich, d. h. mittels Pumpen und Rohrleitungen. In der Regel werden die Schiffe über landseitige Pumpen beladen und über bordeigene Pumpen entladen. Dies gilt insbesondere für Umschlagterminals im Seehafenbereich. In der Binnenschifffahrt verfügen jedoch nicht alle Binnenschiffe über eigene Pumpanlagen, gleichwohl die Anzahl der Schiffe ohne eigene Pumpanlagen abnimmt. Da es sich bei flüssigen Massengütern in der Regel um Gefahrgut handelt, sind die Sicherheitsvorkehrungen beim Umschlag entsprechend hoch. (Brinkmann 2005, S. 147 ff.; Via Donau 2013)

Umschlaganlagen für trockene Massengüter, die, wie bereits beschrieben, sowohl kontinuierlich als auch diskontinuierlich arbeiten, existieren in einer Vielzahl unterschiedlicher Varianten. Beim Umschlag von trockenen Massengütern werden i. d. R. Maßnahmen zur Unterdrückung der Staubentwicklung eingesetzt. Diese unterscheiden sich je nach Transportgut. So werden unempfindliche Güter wie z. B. Kohle oder Erz mit Wasser benetzt. Eine andere Maßnahme ist, dass Umschlageinrichtungen eingehaust werden, damit Stäube möglichst nicht austreten können. Auch Kombinationen verschiedener Maßnahmen kommen zur Anwendung. Je nach Gut werden verschiedene Umschlaganlagen für die Be- und Entladung der Schiffe eingesetzt. Schiffsbelader beruhen grundsätzlich auf dem Prinzip von Förderbändern, mit denen ein kontinuierlicher Massengutstrom zur Beladung des Schiffes erzeugt wird. Für eine ausführliche Beschreibung von Schiffsbeladern sei auf Brinkmann (2005, S. 169–177) verwiesen. Die Entladung von Massengutschiffen erfolgt entweder auf eine Halde oder Silo, was mittels Förderbändern geschieht. Alternativ wird direkt auf andere Verkehrsträger umgeschlagen. Für die jeweiligen Aufgaben werden teilweise verschiedene Umschlaganlagen benötigt. Diese wiederum lassen sich in mechanische und pneumatische Schiffsentladegeräte unterscheiden. Zu den diskontinuierlich und

mechanischen Umschlaganlagen gehören Greiferbrücken, die insbesondere für schwere Massengüter wie Kohle oder Erz eingesetzt werden. Sie entladen das zuvor im Schiff aufgenommene Massengut in einem trichterförmigen Abwurfbunker, unter dem sich das Förderband zur Halde bzw. zum anderen Verkehrsträger befindet. Neben Greiferbrücken, die hauptsächlich in Seehäfen Verwendung finden und einen ähnlichen Aufbau vorweisen wie Containerbrücken, werden in Binnenhäfen Wippdreh- und Hafenmobilkrane eingesetzt. Sowohl bei Wippdreh- und Hafenmobilkranen können die Lastaufnahmemittel ausgewechselt werden, wodurch sie ebenfalls für den Stückgutumschlag geeignet sind. Umschlaganlagen mit dem Lastaufnahmemittel Greifer werden für Schüttgüter am häufigsten verwendet. Für eine ausführlichere Beschreibung von Wippdreh - und Hafenmobilkranen sei zudem auf Brinkmann (2005, S. 322–324) verwiesen. Die kontinuierliche, mechanische Schiffsentladung erfolgt per Becherelevator oder Schaufleradförderer. Diese beiden kontinuierlichen Umschlagsanlagen zeichnet eine geringe Staubentwicklung aus, zudem sind sie auch für schwere Massengüter geeignet. Sie werden jedoch selten in Binnenhäfen eingesetzt. Pneumatische Umschlagmethoden eignen sich ausschließlich für leichtere Massengüter wie Getreide, Zucker, etc. sie werden unterschieden in Saug- und Druckluftförderanlagen sowie kombinierte Saug-Druck-Anlagen. (Brinkmann 2005, S. 160–197)

Umschlaganlagen für rollende Stückgüter sind Rampen die zum Niveaualagegleich zwischen Laderaumboden und Kaikante benötigt werden. Grundsätzlich werden im RoRo-Verkehr selbststrollende oder rollbar gemachte Ladungen umschlagen. Für Letztere werden Rollpaletten als Ladehilfsmittel verwendet. Der RoRo-Umschlag stellt damit eine besondere Form des Stückgutumschlags dar. RoRo-Schiffe verfügen i. d. R. über bordeigene Rampen und sind somit nicht auf Rampen im Hafen angewiesen. Jedoch gehören entsprechende Rampen zur Ausstattung von RoRo-Terminals. Für die Verladung von nicht selbststrollender Ladung werden zudem Hafenzugmaschinen als Umschlagfahrzeuge benötigt. Diese Hafenzugmaschinen, auch Tugmaster genannt, sind Flurförderfahrzeuge, die in die Gruppe der Schlepper und Wagen einzuordnen sind. Hafenzugmaschinen verfügen über eine hydraulische, in der Höhe weit verstellbare Sattelplatte. Diese ist unter anderem dafür notwendig, die im RoRo-Umschlag vorkommenden starken Neigungsunterschiede der Fahrbahnen und Rampen zu kompensieren. Sie ermöglicht zudem, dass bei Umsetzungsvorgängen von Sattelanhängern die Stützbeine nicht eingeklappt werden müssen. Durch die Sattelplatte sind sie sowohl in der Lage Sattelanhänger als auch die im RoRo-Verkehr üblichen Rollpaletten aufzunehmen. Für die Aufnahme der Rollpaletten wird zusätzlich ein sogenannter Schwanenhals benötigt, der als Verbindungsstück zwischen die Rollpalette und die Sattelplatte geschaltet wird. Die Nutzung von Hafenzugmaschinen und Rollpaletten findet vorrangig in RoRo-Terminals der Seeschifffahrt statt. In der Binnenschifffahrt dominiert selbstfahrende Ladung, wie Neufahrzeuge. (Brinkmann 2005, S. 337–342; Ten Hompel 2007, S. 157)

Umschlaganlagen für Stückgut, insbesondere für Projektladung und klassisches Stückgut, sind Wippdreh- und Hafenmobilkrane. Beide Kranarten werden sowohl im See- als auch im Binnenhafen eingesetzt. Beim Umschlag von Projektladung, wie großen



Abb. 13.7 Multimodaler Containerportalkran der Binnenschiffahrt (Eigene Darstellung)

Maschinen und Anlagen(teilen) sind Wippdreh- und Hafenmobilkrane unter anderem wegen ihrer Flexibilität im Vorteil. Da diese Flexibilität mit einer geringeren Umschlagleistung erkauft wird, finden sich Wippdrehkrane insbesondere in kleineren Universal- und Binnenhäfen. Aufgrund der zunehmenden Containerisierung nimmt die Bedeutung von klassischem Stückgut ab, weshalb die Anzahl an spezialisierten Umschlaganlagen für Container zunimmt. Umschlaganlagen für Container unterscheiden sich jedoch im Seehafen und Binnenhafen. Im Seehafen werden an der Kaikante Containerbrücken eingesetzt, die den Containerlagerbereich nicht überspannen. Der Schiffsumschlag ist dadurch von den restlichen Aufgaben des Terminals getrennt. Eine Verbindung wird durch diverse Terminalfahrzeuge hergestellt. Einen vertiefenden Überblick zur Gestaltung von Seehafencontainerterminals und zu Containerbrücken liefert Brinkmann (2005, S. 254–314); Terminalfahrzeuge werden in Abschn. 16.5 beschrieben. In Binnenhäfen werden Portalkrane zum Containerumschlag verwendet, die sowohl die Wasserveite als auch das Containerlager überspannen. Ein gleichzeitiges Überspannen der Gleise und Ladestraßen ist nicht ungewöhnlich. Ein solcher Portalkran ist in der Abb. 13.7 dargestellt. Anhand dieser Beschreibung wird jedoch der multimodale Bezug des Binnenhäfen ersichtlich, weswegen auf das Unterkap. 16 Kombinierter Verkehr verwiesen wird.

13.5.2 Betrieb der Knoten

Die Beschreibung der Funktionsabläufe im Binnenhafen ist in diesem Kapitel auf trockene Massengüter und RoRo-Verkehre beschränkt. Für den Stückgüterumschlag sei wiederum auf Unterkap. 16 verwiesen. Für den Funktionsablauf beim Betrieb eines Massengutterminals des Binnenschiffgüterverkehrs werden exemplarisch ein kontinuierlicher Beladeprozess und ein diskontinuierlicher Entladeprozess beschrieben.

Ein kontinuierlicher Umschlag von Massengut wird mit den zuvor beschriebenen Schiffsbeladern durchgeführt. Hierbei wird ein Massenstrom mittels Förderband von der Lagerstätte des Massengutes, z. B. eine Halde oder ein Silo zum Schiffsbelader erzeugt. Die Schiffsbelader verteilen die Ladung möglichst gleichmäßig im Laderaum der Schiffe. Hierbei muss teilweise mit weiteren Hilfsmitteln nachgearbeitet werden um eine optimale Ladungsverteilung und damit Laderaumausnutzung zu erreichen. Je nach Lage und Typ des Binnenhafens muss das Massengut direkt dort produziert oder mit einem anderen Verkehrsträger zum Hafen transportiert oder direkt dort produziert worden sein. Auf die Zuläufe anderer Verkehrsmittel zum Hafen wird an dieser Stelle nicht weiter eingegangen, da diese Prozesse insbesondere für die Organisation und Aufbau der Schieneninfrastruktur ebenfalls im Unterkap. 16 erläutert werden. Entsprechend wird im vorliegenden Fall von einer Produktion direkt im Hafen ausgegangen. Die Bereitstellung des Gutes für die Verladung auf ein Binnenschiff erfolgt aus einem Silo oder Bunker heraus, der auf die Produktion folgt. Von dort führen Förderbänder zum Schiffsbelader. Die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems setzt sich zusammen aus der Abgabemenge des Silos bzw. Bunkers, der Transportleistung der Förderbänder und der Abgabemenge des Schiffsbeladers. (Brinkmann 2005, S. 169–170)

Ein diskontinuierlicher Umschlag von Massengut erfolgt über die zuvor beschriebenen Greifer, die beispielsweise an einem Wippdrehkran montiert sind. In Reichweite des Wippdrehkrans muss sich der trichterförmige Abwurfbunker befinden. Unter diesem befindet sich wiederum das Förderband welches das Massengut zum Lager befördert. Hierbei kann es sich um eine Halde handeln. Halden haben neben der Lager- auch eine Pufferfunktion. Das Massengut wird mit einer Maschine auf der Halde abgeladen, welche das gleiche Funktionsprinzip wie ein Schiffsbelader besitzt: die gleichmäßige Verteilung der Massenströme des Gutes auf der Halde. Hierbei kann es sich auch um ein Kombinationsgerät aus Absetzer und Rücklader handeln. Mit dem Rücklader, der i. d. R. mit einem Schaufelrad ausgestattet ist, kann das Massengut wiederum von der Halde aufgenommen werden. Über Förderbänder erfolgt dann die Beförderung zur Verladestation auf andere Verkehrsträger oder aber auch zum direkten Verbrauch, z. B. von Kohle in einem Kraftwerk. (Brinkmann 2005, S. 165–168)

Ein RoRo-Umschlag erfordert im Vergleich zu anderen Gütern große Freiflächen. Diese können je nach Platzbedarf und -angebot beim reinen Pkw-Umschlag durch Parkhäuser ergänzt werden. Organisatorisch und i. d. R. auch räumlich werden die Bereiche für die Ver- und Entladung bzw. den Im- und Export getrennt. Wird ausschließlich selbstrollende Ladung umgeschlagen, kann zudem auf Terminalfahrzeuge, wie die zuvor beschriebenen Hafenzugmaschinen und die dazugehörigen Flächen für Wartung und Equipment verzichtet werden. Durch diesen Verzicht nimmt die benötigte Terminalfläche ab. Es sei jedoch angemerkt, dass die Güterstruktur in RoRo-Binnenhafenterminals i. d. R. breiter gefächert ist, als dies bei spezialisierten Pkw-Terminals im Seehafen der Fall ist. Ein RoRo-Binnenhafenterminal ähnelt daher einem Fährterminal, welches ebenfalls eine breit gefächerte Güterstruktur abdecken muss. Ein RoRo Terminal im Seehafen besteht nach (Brinkmann 2005, S. 339) aus:

1. „Schiffsanlegeplatz“
2. Bereitstellungsflächen in unmittelbarer Nähe der Schiffsanlegeplätze
3. Packshuppen für die allgemeine Abfertigung von Stückgut
4. Freilager für große Stückgutkollektive
5. Containerlagerplatz
6. Abstellfläche für Fahrzeuge, Landmaschinen und andere selbstrollende Güter
7. Eventuell Parkhäuser für Häfen mit großem Anteil von Export- und Importfahrzeugen
8. Transitabfertigungsanlage für den grenzüberschreitenden Kraftverkehr.“

In Binnenhäfen finden sich nicht immer alle dieser acht Punkte wieder und die Dimensionen sind i. d. R. um ein Vielfaches kleiner. Zusätzlich sind die Anordnung und Größe der einzelnen Funktionsflächen von einer Vielzahl von Einflüssen abhängig, so dass sie sich in jedem Hafen, seien es See- oder Binnenhäfen, unterscheiden. Jedoch sind die generellen Abläufe auf den Terminals gleich. (Brinkmann 2005, S. 339)

Beim Versand bzw. Export von RoRo-Ladung, z. B. Pkw, werden diese auf den Bereitstellflächen in unmittelbarer Nähe der Schiffsanlegeplätze gepuffert. Hierdurch sind kurze Wege zu den Rampen des Schiffes gewährleistet, wodurch die Anlegezeit der Schiffe verkürzt wird. Je nach Ankunftszeit vor der Schiffsabfahrt, der Organisationsform des Terminals und vorhandenem Platzangebot werden auf dem Terminal ankommende Fahrzeuge jedoch nicht sofort zu den Bereitstellflächen am Schiff verbracht. Da die Bereitstellflächen am Schiff begrenzt sind, werden unter Umständen für die Lagerung der Pkw weiter entfernt liegende Terminalflächen oder die zuvor beschriebenen Parkhäuser genutzt. Da die Umfahrten mit zusätzlichem Aufwand verbunden sind und insbesondere Neufahrzeuge möglichst wenige und kurze Strecken zurücklegen sollen, entsteht hierbei unter Umständen ein Zielkonflikt. Da die zu transportierenden Mengen in der Binnenschifffahrt jedoch geringer sind, treten diese Probleme i. d. R. nicht auf. In den Ford-Werken in Köln, wo die Fahrzeugverladung im „Niehler Ölhafen“ stattfindet ist auf Satellitenaufnahmen (Google Earth) erkennbar, dass keine Bereitstellflächen direkt am Schiffsanlegeplatz vorhanden sind. Jedoch ist im Vergleich zu anderen Binnenhafen-RoRo-Terminals ein Parkhaus existent. (Ford 2013)

Beim Import von Pkw findet der zuvor beschriebene Ablauf in umgekehrter Reihenfolge statt. Die Import-Pkw, bzw. im Fall von Ford auch die Entladung von Pkw innerhalb Deutschlands, werden auf die dafür vorgesehenen Bereitstellflächen gefahren (Ford 2013). Diese können je nach Ausgestaltung des Terminals auch weiter vom Schiffsanlegeplatz entfernt sein. Im Seehafen von Bremerhaven sind die Import- und Exportterminals räumlich getrennt (Brinkmann 2005, S. 346–347). Eine solche Trennung ist in Binnenhäfen nicht vorgesehen.

Literatur

- Aberle G (2009) Transportwirtschaft. 5., überarb. und erg. Aufl., Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, München
- Bichler K et al. (2011) Gabler Kompaktlexikon Logistik. 2., überarbeitete Auflage, Gabler Verlag, Springer Fachmedien, Wiesbaden
- Brinkmann B (2005) Seehäfen: Planung und Entwurf. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York
- Bundesamt für Güterverkehr (BAG) (Jun. 2012) Marktbeobachtung Güterverkehr – Entwicklung des Modal Split auf dem deutschen Güterverkehrsmarkt unter besonderer Berücksichtigung der Binnenschifffahrt, Köln
- Bundesverband der Deutschen Binnenschifffahrt e. V. (BDB) – Daten & Fakten 2010/2011
- Bundesministerium für Verkehr (BMV) (1997) Handbuch Güterverkehr Binnenschifffahrt, Bonn
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (2008) Karte W162 – Bundeswasserstraßen – Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes. Bonn.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) Verkehr in Zahlen 2011/2012. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin, DVV Media Group, Hamburg
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (2012a) 5. Bericht des BMVBS an den Deutschen Bundestag zur Reform der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV), Berlin
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (2012b) Reform Wasser und Schifffahrtsverwaltung – Karte. <http://www.bmvbs.de/cae/servlet/contentblob/86816/publicationFile/59595/reform-wasser-schifffahrtsverwaltung-karte.pdf>, zuletzt besucht 30.11.2012
- Bundesverband öffentlicher Binnenhäfen e. V. (BÖB) (2008) „Frankreichs Binnenschifffahrt sucht Anschluss an das europäische Netz“. In: Themendienst VII
- CEMT–Europäische Verkehrsministerkonferenz/Conférence Européenne des Ministres des Transports (CEMT) – Klassifizierung der europäischen Binnenwasserstraßen. <http://www.wsd-west.wsv.de/wasserstrassen/dateien/klassifizierung/pdf>, zuletzt besucht 20.06.2013
- DESTATIS (2012) Güterverkehrsstatistik der Binnenschifffahrt, Fachserie 8, Reihe 4, 2011. Erschienen Juni 2012, Wiesbaden
- Dosdahl T (2002) Flusskaskotagung 11.04.2002, Klassifikation von Binnenschiffen. Germanischer Lloyd Hamburg, Duisburg
- Duisport (2012a) Export-Hub im Duisburger Hafen: Audi entscheidet sich für den Logistikstandort duisport. Presseinformation 05.12.2012 abrufbar unter http://www.duisport.de/wp-content/uploads/2012/12/121205_PK_Audi_Final.pdf zuletzt besucht 27.02.2013
- Duisport (2012b) Zahlen und Fakten. http://www.duisport.de/?page_id=200, zuletzt besucht 12.10.2012
- Europäische Gemeinschaft (EG) (1998) Verordnung (EG) Nr. 742/98 der Kommission vom 2. April 1998 zur Änderung der Verordnung (EWG) Nr. 1101/89 des Rates hinsichtlich der Bedingungen für die Inbetriebnahme neuer Kapazitäten für Trockenladungsschiffe in der Binnenschifffahrt
- Expertise- en InnovatieCentrum Binnenvaart (EICB) (2013) Scheepstypen. <http://www.informatie.binnenvaart.nl/scheepstypen.html>, zuletzt besucht 05.02.2013
- EUROSTAT (2012) Binnenwasserstraßen nach Tragfähigkeit der Schiffe. Stand 11.09.2012
- Europäische Wirtschaftsgemeinschaft (EWG) (1989) Verordnung (EWG) Nr. 1101/89 des Rates vom 27. April 1989 über die Strukturbereinigung in der Binnenschifffahrt (Amtsblatt L116 vom 28.4.1989)
- Ford (2013) Ford in Deutschland – Innovationen für die Umwelt. <http://www.ford.de/UeberFord/FordinDeutschland/InnovationenfuerdieUmwelt>, zuletzt besucht 05.02.2013
- Generaldirektorat Energie und Verkehr der europäischen Kommission (GD TREN) (2004) Prospects of Inland Navigation within the enlarged Europe (PINE), Full Final Report

- Kommission der Europäischen Gemeinschaften (KEG) (2006): Mitteilung der Kommission über die Förderung der Binnenschifffahrt „NAIADES“ – Integriertes europäisches Aktionsprogramm für die Binnenschifffahrt, Brüssel
- Kleinort P (2009) Neuer Schiffstyp erleichtert Containertransport. In: DVZ Nr. OES, 16.06.2009, 63. Jahrgang
- Ministerium für Wirtschaft, Energie, Bauen, Wohnen und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen (MWEBWV) (2010) Referat für Presse und Öffentlichkeitsarbeit: Binnenhäfen im Spannungsfeld konkurrierender Nutzungsinteressen. Düsseldorf
- Norm DIN 30781 Teil 1 Mai 89. Transportkette, Grundbegriffe
- Renner V (2002) Das Binnenschiff – Vom Tanker bis zum Containerschiff und vom Bugstrahl bis zur Hauptmaschine. Schiffsbautechnische Versuchsanstalt Duisburg, Fachvortrag, 22.08.2002, Duisburg
- Ten Hompel M. et al. (2006) Taschenlexikon Logistik. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, u. a., 2006
- Ten Hompel M. et al. (2007) Materialflusssysteme. 3. völlig neu bearbeitete Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, u. a.
- Täglicher Hafenbericht (THB) (2011) Deutsche Schiffahrts-Zeitung, Sonderbeilage „Deutsche Binnenschifffahrt“ zur Ausgabe 75/2011, S. 6, 64. Jahrgang
- Via Donau (2005) Handbuch der Donauschifffahrt. Österreichische Wasserstraßen-Gesellschaft mbH, Wien
- Via Donau (2013) Daten & Fakten, Binnenschiffe. http://www.donauschifffahrt.info/daten_fakten/binnenschiffe/schiffstypen/tankschiffe/, zuletzt besucht 11.01.2013
- Winter H (2012) Binnenschifffahrt 2011. In: Wirtschaft und Statistik 7/2012, S. 572–582, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2012
- Woitschützke C-P (2002) Verkehrsgeographie. 2., aktualisierte Auflage, Bildungsverlag EINS – Stam, Troisdorf
- Wasser und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) (2012a) Binnenschiff und Umwelt. http://www.wsv.de/Schifffahrt/Binnenschiff_und_Umwelt/index.html, zuletzt besucht 16.10.2012
- Wasser und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) (2012b) Elektronischer Wasserstraßen-Informationsservice (ELWIS). <http://www.elwis.de>, zuletzt besucht 16.10.2012.
- Wasser und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) (2012c) Bundeswasserstraßenkarte DBWK 1000, Bonn
- Wasser und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) (2012d) Längen der dem allgemeinen Verkehr dienenden Binnenwasserstraßen des Bundes nach Wasserstraßenklassen, WSDen und Gewässerarten. Liste 5, Bonn
- Wasser und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) (2012e) Veränderungen des Schiffsbestandes der deutschen Binnenflotte im Jahr 2011, Mainz
- Zentralkommission der Rheinschifffahrt (2011) Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung von gefährlichen Gütern auf Binnenwasserstraßen (ADN) – offizielle deutsche Übersetzung der Zentralkommission für die Rheinschifffahrt
- Zentralkommission der Rheinschifffahrt (2012) Marktbeobachtung 2012-1. Straßburg

Carlos Jahn

Die Seeschifffahrt war bereits vor Jahrhunderten ein verbindendes Element für den interkontinentalen Handel. In der heutigen Zeit stellt der Seeschiffsgüterverkehr eine kostengünstige und zuverlässige Versorgung von Produktionsstandorten mit Rohstoffen, Teilen und Baugruppen sowie von Absatzmärkten mit fertigen Erzeugnissen sicher. Der Seeschiffsgüterverkehr ist ein Bestandteil eines komplexen Systems, der maritimen Transportkette. Die maritime Transportkette verbindet weltweit Versender und Empfänger und schließt eine Vielzahl von unterschiedlich organisierten Strukturen und Akteuren ein. Das folgende Unterkapitel gibt einen Überblick über wichtige Charakteristika des Seeschiffsgüterverkehrs, dessen Knotenpunkte und der beteiligten Akteure.

14.1 Verkehrswege (Seeschiffahrtswege)

Die Schifffahrtswege verbinden die Handelsregionen der Welt. Entsprechend dem Mengenaufkommen an Handelsgütern bildeten sich Haupthandelsrouten für die verschiedenen Gütergruppen heraus, z. B. Rohöl oder Container, wie der sogenannte „Containergürtel“. Dieser spannt sich um die Erdkugel auf der nördlichen Hemisphäre und verbindet die bedeutendsten Containerhäfen (vgl. Abb. 14.1).

Die Haupthandelsrouten stellen keine fixen Verkehrslinien dar und können sich über die Zeit ändern. Sie sind unterschiedlich stark befahren und bilden ein weltumspannendes Seeverkehrsnetz. Unter Berücksichtigung von unterschiedlichen Einflüssen, wie z. B. dem Wetter oder Gefahrensituationen auf Hoher See, können sich die Seeverkehrswege

C. Jahn (✉)

Institut für Maritime Logistik, Technische Universität Hamburg-Harburg,
Hamburg, Deutschland

E-Mail: carlos.jahn@tu-harburg.de

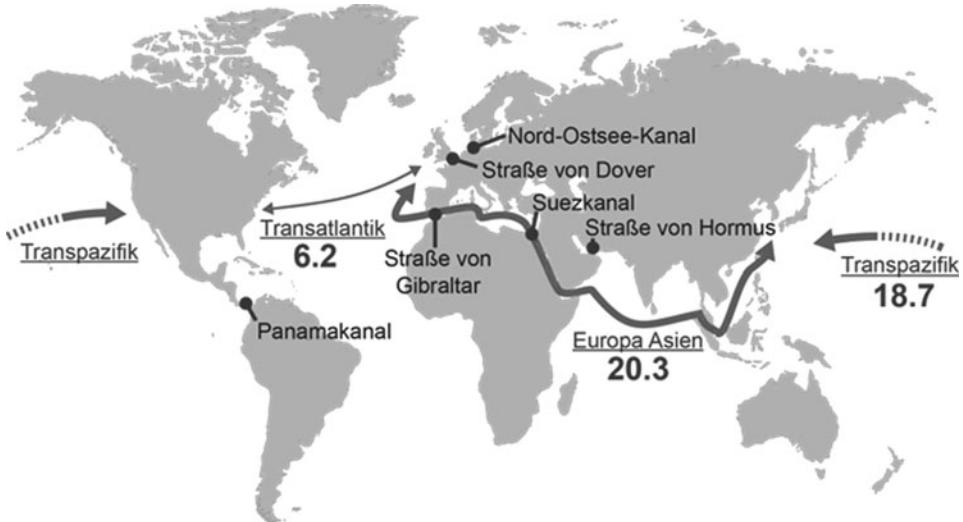


Abb. 14.1 Übersicht ausgewählter Schifffahrtswege und Containerströme in Mio. TEU, Stand: 2011 (UNCTAD 2012, S. 21)

kurzfristig im Verlauf ändern. Das Befahren der Seeverkehrswege ist generell Schiffen aller Nationen gestattet, es gilt das Grundprinzip der „Freiheit der Hohen See“ von 1625 (Woitschützke 2006, S. 275).

14.1.1 Eigenschaften und Attribute

Die Nutzung der Seeschifffahrtswege durch Schiffe, insbesondere der Seehäfen, Schifffahrtskanäle und Meerengen, ist durch Tiefgang, Breite, Länge oder Höhe begrenzt. Meerengen stellen natürliche und Schifffahrtskanäle künstliche Wasserwege dar. Durch die Nutzung der Seeschifffahrtskanäle können Reedereien in der Regel Zeit- und Wegstrecke sparen und somit die Betriebskosten senken – allerdings muss für eine Durchfahrt gezahlt werden.

Die meist befahrenden *Seeschifffahrtskanäle* der Welt sind der Suezkanal, der Panamakanal und der Nord-Ostsee-Kanal.

Der Suezkanal verbindet das Mittelmeer mit dem Roten Meer und ist komplett ohne Schleusen realisiert. Er wurde im Jahr 1869 eröffnet. Im Vergleich mit der Kap-Route um die Südspitze Afrikas werden dadurch große Weg- und Zeiteinsparungen möglich. Für das Beispiel eines Transports von Bremerhaven nach Singapur ergibt sich eine Streckeneinsparung von ca. 3.500 sm (Kap-Route 12.000 sm und Suezroute 8.500 sm). Seit der Inbetriebnahme sind die Kanalbreite und -tiefe ständig erweitert worden. Daher können heute Schiffe mit einem maximalen Tiefgang von ca. 20 m den Kanal nutzen.

Der Panamakanal wurde 1914 in Panama eröffnet und verbindet den Atlantischen und Pazifischen Ozean. Durch diesen Kanal kann der Seeverkehrsweg von z. B. New York nach San Francisco erheblich (von ca. 13.000 sm auf 5000 sm) verkürzt werden. Limitierende Faktoren für die Durchfahrt sind die insgesamt sechs (drei paarige) Schleusen. Den Kanal können Containerschiffe bis 5.000 TEU (Twenty-Foot Equivalent Unit) bzw. Schiffe mit einer Länge von 294 m, Breite von 32,3 m und einem Tiefgang von 12 m nutzen. Durch den aktuellen Ausbau soll der Kanal für Schiffe mit einer Länge von 366 m, Breite von 49 m und einem Tiefgang von 15,2 m befahrbar sein. Dadurch werden dann auch Containerschiffe mit bis zu 12.000 TEU den Kanal passieren können.

Die Nord- und Ostsee werden durch den 1895 gegründeten „Kaiser-Wilhelm-Kanal“ – heute Nord-Ostsee-Kanal (NOK) – verbunden. Der Kanal wird hauptsächlich für Fährerverkehre (Zubringerverkehre) genutzt und ermöglicht Schiffen bis ca. 1.200 TEU mit einer Länge von 235 m, Breite von 32,5 m und Tiefgang von 9,5 m die Durchfahrt. Die Route durch den NOK ist kürzer als die Skagen-Route um die Nordspitze Dänemarks und ermöglicht in der Regel eine Zeiter sparnis von ca. 15 Stunden.

Die meistbefahrenen *Meerengen* sind die Straße von Dover, die Straße von Hormus, die Straße von Gibraltar und die Straße von Malakka.

Bei der Straße von Dover handelt es sich um die engste Stelle des Ärmelkanals und mit 182.500 Schiffsbewegungen im Jahr – rund 500 Schiffsbewegungen innerhalb von 24 Stunden (The Maritime & Coastguard Agency 2012) – um die meistbefahrene Wasserstraße der Welt (Woitschützke 2006, S. 310). Besonders von Bedeutung ist diese Meeresstraße für die Verkehre zwischen der Nordsee und dem Atlantik. Der hohe Anteil an Schiffsverkehr ist damit zu erklären, dass in dieser Region mehrere Seeverkehrswägen zusammenlaufen und Europas größte Containerhäfen im Umfeld zu finden sind.

Die Straße von Gibraltar ist der natürliche, seeseitige Zugang zwischen dem Atlantik und dem Mittelmeer. In Verbindung mit dem Suezkanal bildet die Straße von Gibraltar die kürzeste Verbindung zwischen Europa und Asien. Sie wird jährlich von rund 100.000 Schiffen passiert (Gibraltar Port Authority 2011).

Die Straße von Hormus zwischen dem Persischen Golf und dem Golf von Oman ist für den Rohöltransport von besonderer Bedeutung. In 2011 wurden täglich 17 Mio Barrel Rohöl in Tankern (davon 2/3 der Schiffe mit einer Tragfähigkeit von mehr als 150.000 dwt (Deadweight Tonnage)) durch die Meeresstraße transportiert (U.S. Energy Information Administration 2012). Insgesamt durchqueren neben Industrie- und Konsumgütern knapp 35 % des seeseitig und beinahe 20 % des weltweit gehandelten Öls diese Meeresstraße (U.S. Energy Information Administration 2012).

In Südostasien sind die Straße von Malakka, Singapur und Lombok als wichtige Meerengen zu nennen. Über sie werden die Märkte Europas, die Ölquellen des Persischen Golfs und Asiens miteinander verbunden. Jährlich durchqueren ca. 60.000 Schiffe die Straße von Malakka. Auf diesem Schifffahrtsweg werden ein Viertel aller gehandelten Güter sowie 40 % des weltweiten Erdöls transportiert (Bünte 2009, S. 91).

14.1.2 Vorstellung des internationalen Verkehrsnetzes

Die heutigen Seeschifffahrtswege verbinden die Wirtschaftsräume Europa, Fernost, Amerika und Rohstoffländer über ein weltweites Seeverkehrsnetz miteinander. Durch die weltweite, nicht gleiche Verteilung der Rohstoffe auf unterschiedlichen Kontinenten wurden Seetransporte notwendig. Über die Jahre bildeten sich durch die Ungleichgewichte die folgenden Seeverkehrswege (Woitschützke 2006, S. 277).

Die *Transatlantische Verkehrsroute* verbindet Europa mit den Wirtschaftsräumen in Amerika und die *Transpazifische Verkehrsroute* stellt eine Verbindung zwischen Nordamerika und Ostasien dar. Durch die wirtschaftliche Entwicklung der asiatischen Länder gewannen in den letzten Jahren diese Verbindungen an Bedeutung. Massengutschiffe, die aufgrund des Tiefgangs und ihrer Abmessungen nicht durch den Suezkanal fahren können, müssen die *Route um das Kap der Guten Hoffnung* wählen. Die Rohöllieferungen vom Persischen Golf nehmen diese Route, aber auch die trockenen Massengüter wie z. B. Eisenerz von Südafrika nach Europa. Die *Suez-Indik-Route* ist geprägt durch die Nutzung des Suezkanals. Durch diesen Verkehrsweg werden Nordamerika, Europa, der Nahe Osten und Asien miteinander verbunden. Bei der *Südasienroute* handelt es sich um die Weiterführung der Suez-Indik-Route von Indien bis Singapur. Die *Westpazifische Süd-Nord Route* zwischen Australien und Ostasien wird besonders stark für den Transport von Steinkohle genutzt (Woitschützke 2006, S. 277 ff.).

14.2 Verkehrsmittel im Güterverkehr

Seeschiff ist ein übergeordneter Begriff für alle schwimmenden Verkehrsmittel der Seeschifffahrt. Es lassen sich entsprechend der individuellen Eigenschaften, des Einsatzbereiches oder des Transportgutes verschiedene Unterkategorien definieren. Neben Handelsschiffen, Fischereifahrzeugen und Spezialfahrzeugen sind Leichter, Schuten und schwimmende Geräte im Güterverkehr im Einsatz (Flottenkommando 2011, S. 235). Handelsschiffe transportieren Güter und Personen zwischen Seehäfen und ihre Bauweise richtet sich speziell nach dem überwiegenden Transportgut, wie Trockengutfrachter für trockenes Massengut, Tanker für flüssige Stoffe, Ro/Ro-Schiffe für Fahrzeuge oder Containerschiffe für containerisierte Ladung. Fischereifahrzeuge sind für den Fischfang vorgesehen. Daneben existieren verschiedene Spezialfahrzeuge mit unterschiedlichen Einsatzbereichen und Eigenschaften wie u. a. Eisbrecher, Schlepper, Lotsen-, Bagger- oder Hochgeschwindigkeitsfahrzeuge. Leichter, Schuten und schwimmende Geräte, z. B. Pontons, Docks, verfügen über keinen eigenen Antrieb und übernehmen unterstützende Funktionen in der Seeschifffahrt.

Tab. 14.1 Schiffstypen.
(Brinkmann 2005, S. 62)

Schiffstyp	Unterteilung	Weitere Unterteilung gemäß Transportgut bzw. Funktion
Massengutfrachter	Tanker	Rohöltanker Produktentanker Chemikalentanker
	Trockengutfrachter	Gastanker: LNG und LPG Bulk Carrier OBO Carrier (Ore-Bulk-Oil Carrier)
Containerschiffe	Reine Containerschiffe ConRo-Schiffe (Kombination aus Container und Ro/Ro-Schiff)	Erste bis achte Generation
Stückgutfrachter	Konventionelle Stückgutfrachter Massenstückgutfrachter	
Ro/Ro-Schiffe	Reine Ro/Ro-Schiffe ConRo-Schiffe	Fähren Autotransporter (Car Carrier)

14.2.1 Systematik der Fahrzeuge

Handelsschiffe sind im Güterverkehr das bedeutendste Verkehrsmittel. Schiffstypen lassen sich in folgende vier Hauptkategorien einteilen: Massengutfrachter, Containerschiffe, Stückgutfrachter und Ro/Ro-Schiffe. Weitere Unterteilungen richten sich nach Transportgut und Funktion (vgl. Tab. 14.1).

14.2.2 Vorstellung ausgewählter Verkehrsmittel

Massengutfrachter werden in der internationalen Seeschifffahrt als Bulk Carrier bezeichnet. Bulkladung kann Schütt- bzw. Sauggut aller Art sein, wie Getreide, Ölsaaten, Futtermittel, Granulate, Sand, Kohle oder Erz. Hinsichtlich ihrer Tragfähigkeit unterscheiden sich Small Bulk Carrier (12.000–19.999 dwt), Handy Size (20.000–34.999 dwt), Medium Bulk Carrier (35.000–49.999 dwt), Panamax Size (50.000–84.999 dwt), Large Bulk Carrier (85.000 dwt und mehr), sowie Capesize Bulker (passieren aufgrund ihrer Abmessungen nicht den Suez-Kanal, sondern umfahren das Kap der Guten Hoffnung) (Flottenkommando 2011, S. 235).

Reine Containerschiffe, auch Vollcontainerschiffe genannt, sind ausschließlich für die Beförderung von ISO-Containern (standardisierte Container nach der International Organization for Standardization) in einer Zellstruktur im Laderraum ausgelegt. Sie verfügen

in der Regel über kein eigenes Ladegeschirr und sind auf Containerbrücken verschiedener Containerhäfen zur Be- und Entladung angewiesen. Die Schiffsgröße und Tragfähigkeit der Containerschiffe ist seit ihrer Einführung in den 1960er Jahren sprunghaft angestiegen. Schiffe der ersten Generation konnten nur 500–800 20-Fuß-Container (TEU) aufnehmen, wohingegen Schiffe der neuesten Generation mit einer Stellplatzkapazität von 18.000 TEU ab 2013 in Dienst gehen (Gardiner 2011, S. 60).

Konventionelle Stückgutfrachter transportieren feste Stückgutfracht ohne standardisierte Maße, wie Behälter, Coils, Kisten, Maschinen, Schwergut und andere Einzelgüter. Verstellbare Zwischendecks ermöglichen die Anpassung des Laderaums an die speziellen Anforderungen des Ladungsgutes. Im Vergleich zu Containerschiffen nehmen Stückgutfrachter eine Nischenfunktion ein und bieten im Besonderen die Möglichkeit Transporte für schwere oder sperrige Güter durchzuführen. Häufig werden auf den Decks zusätzlich Stellplätze für Container bereitgestellt und die Schiffe treten in diesen Fällen als Mehrzweckfrachter (Multi-purpose ships) auf.

Autotransporter (Car Carrier) werden für rollende bzw. rollbar gemachte Ladung konzipiert. Über Seiten- und Heckkrampen erfolgt das Laden und Löschen von Autos, LKW, Landmaschinen, oder Sonderfahrzeugen. Innerhalb der Transporter lassen sich eingebaute Zwischendecks, welche sich über die Gesamtlänge des Schiffes erstrecken, den Fahrzeughöhen entsprechend anpassen. Zurzeit sind Autotransporter mit einer Kapazität bis zu 8.000 Autos im Einsatz (Olsen 2013, S. 42). Während des Lade- und Löschvorgangs sind aus Sicherheitsgründen geringe Tidenhübe unerlässlich. Aus diesem Grund setzen sich durch Schleusen abgeschlossene Hafenbecken mit konstanten Pegelständen für Autoterminals in Häfen durch.

14.3 Akteure

Die Seeschifffahrt verbindet Handelspartner weltweit und stellt einen wichtigen Bestandteil der internationalen Logistik dar. Eine Vielzahl an Akteuren ist direkt an der Organisation und der Durchführung des seeseitigen Transports beteiligt bzw. unterstützt den Seeschiffsgüterverkehr indirekt.

14.3.1 Direkt beteiligte Akteure

Der Seeschiffsgüterverkehr stellt den Hauptlauf (Ferntransport) einer intermodalen Transportkette dar, die im Hinterland einer Region A beginnt und im Hinterland einer Region B endet. Die Voraussetzung dafür ist ein Übereinkommen zwischen einem *Versender* und *Empfänger* bezüglich einer Warenlieferung.

In einigen Fällen gestaltet der Versender eigenständig den Vorlauf der Warenlieferung bis zum Seehafen. Wegen der hohen Komplexität der internationalen Transporte wird

häufig ein **Spediteur** mit der Organisation des Vorlaufs oder gar der gesamten Transportkette beauftragt. Die Modalitäten zwischen dem Spediteur und dem Versender werden in einem Speditionsvertrag festgehalten. Zu der zentralen Aufgabe des Spediteurs – Bezugnahme von Güterversendungen – gehört die Beauftragung von **Transportunternehmen** (Frachtführer) für die Durchführung des Warentransports (vgl. Büter 2010, S. 239 ff.).

Die **Transportunternehmen** lassen sich gemäß der eingesetzten Transportträger (Eisenbahnverkehr, Güterkraftverkehr oder Binnenschiffsverkehr) unterscheiden. Die Modalitäten zwischen dem Spediteur und einem Transportunternehmen werden in Frachtverträgen geregelt (vgl. Abschn. 7.3).

Ein mit der Organisation des Seetransports beauftragter Spediteur wird als **Seehafenspediteur** bezeichnet. Zu seinen Aufgaben zählen die Auswahl von Seehäfen und Terminalbetreibern, in denen die Warenlieferung umgeschlagen wird und einer Reederei, die den seeseitigen Transport übernimmt. Häufig spezialisieren sich Seehafenspediteure auf bestimmte Güterarten (vgl. Korf 2005, S. 65).

In Seehäfen sind die **Terminalbetreiber** (Umschlagsbetriebe) für die landseitige Abfertigung der Frachtführer, Zwischenlagerung der Güter und den wasserseitigen Schiffsumschlag zuständig. In der Bundesrepublik Deutschland sind Terminalbetreiber mit Ausnahmen private Unternehmen. In Abhängigkeit von der umzuschlagenden Güterart setzt der Betrieb von Seehafenterminals spezifische Herausforderungen an die Flächenaufteilung und das eingesetzte Equipment voraus. Aus diesen Gründen und angesichts der Zielsetzung eines effizienten Umschlages sind die Seehafenterminals meist auf bestimmte Gütergruppen spezialisierte Umschlagsbetriebe. Die bedeutenden Terminaltypen sind flüssige und trockene Massengutterminals, Stückgut-, Ro/Ro-, sowie Containerterminals. Jedoch existieren auch Terminalbetriebe, die die Strategie der Generalisierung verfolgen und eine große Anzahl an unterschiedlichen Gütern umschlagen. Solche Terminals werden Multi-Purpose Terminals bezeichnet.

Die Kunden der Terminals sind **Reeder**. Ein Reeder ist als „Eigentümer eines ihm zum Erwerb durch die Seefahrt dienenden Schiffes“ definiert (Handelsgesetzbuch (HGB), § 484). Neben der zentralen Aufgabe – Durchführung der Transportdienstleistungen auf dem Seeweg – können Reedereien diverse alternative Aufgaben wie zum Beispiel Stauplanung, Schiff- und Ladungstracking, Spezial- und Kühlverladung, Crewing, Wartung, Instandhaltung sowie Schiffsfinanzierung übernehmen. Ein Reeder muss nicht zwangsläufig Schiffe besitzen, sondern kann auf unterschiedliche Art und Weise Schiffsraum chartern. Im Seeschiffsgüterverkehr wird nach Betriebsformen zwischen der Linien- und Trampschiffahrt unterschieden (Büter 2010, S. 251). Gemäß diesem Unterscheidungsmerkmal werden die Reedereien in Linien- oder Trampreedereien eingordnet. **Linienreeder** sind überwiegend in der Stückgut-, Ro/Ro- und vor allem Containerschiffahrt tätig. Charakteristische Merkmale der Linienschiffahrt sind fixe Fahrpläne mit definierten Lade- und Löschenhäfen auf fixen Schiffs Routen. **Trampreederei** sind im Markt für den Gelegenheitsverkehr (Trampschiffahrt) aktiv. Diese Art von Schiffahrt galt als Hauptbetriebsform vor der Containerisierung und ist in heutiger Zeit hauptsächlich für den Transport von Massengut und Projektladung von Bedeutung (vgl. Schieck 2008, S. 207 ff.).

Die Vertragsmodalitäten bei einem Seetransport sind in einem Seefrachtvertrag festgehalten und der Frachtführer wird als Verfrachter bezeichnet. Eine Vermittlerfunktion zwischen Reedern und ihren eigentlichen Kunden (Befrachter) erfüllen **Schiffsmakler**. Üblicherweise sind Schiffsmakler in den für eine Reederei wichtigen Häfen präsent und bringen Schiffsladungsraumkapazität und Transportbedarf zusammen (vgl. Korf 2005, S. 448).

Zur reibungslosen Abfertigung von Schiffen in Häfen beauftragen Reeder **Klarierungssagenten**. Diese unterstützen die Reederei bei An- und Abmeldungen der Schiffe bei den zuständigen Behörden, besorgen die erforderliche Ausrüstung und Proviant und vermitteln bei eventuellem Reparaturbedarf am Schiff.

14.3.2 Indirekt beteiligte Akteure

Für den Seeschiffsgüterverkehr bilden Seehäfen eine wichtige Schnittstellenfunktion. Während die Terminalbetreiber für den physischen Umschlag von Gütern zuständig sind, gibt es im Umfeld von Seehäfen eine Reihe von Akteuren, die indirekt am Umschlag beteiligt sind, bzw. diesen erst ermöglichen.

Eine **Hafenbehörde** ist für das Management, Instandhaltung und Entwicklung der Infrastruktur (z. B. Kaianlagen, Schienennetze und Straßenanbindung) eines Seehafens zuständig. Für die Nutzung der Hafeninfrastruktur vergeben Hafenbehörden Konzessionen an private Unternehmen, die ihrerseits Objekte der Suprastruktur (Gebäude, Umschlags-, Transport- und Lagertechnologien) installieren und betreiben. In der Bundesrepublik Deutschland sind Hafenbehörden üblicherweise öffentliche Einrichtungen.

Darüber hinaus sind Hafenbehörden für die nautische Sicherheit in Seehäfen verantwortlich und koordinieren beispielsweise den Lotseneinsatz. Diese Aufgaben obliegen dem **Hafenkapitän** (in großen Häfen) bzw. dem **Hafenmeister** (in kleinen Häfen).

Die **Lotzen** fungieren als „orts- und schiffskundige Berater“ (Seelotgesetz (SeeLG) 1984, § 1), und haben die Aufgabe, Schiffe sicher zu ihren Bestimmungsorten in Seehäfen zu begleiten. In der Bundesrepublik Deutschland besitzen die Seehäfen Hamburg und Bremerhaven ein eigenes Hafenlotswesen. In den anderen Seehäfen obliegen die Aufgaben des Lotswesens dem Bund.

Eine unterstützende Funktion bei Hafen-, Anlege- und Ablegemanöver von Seeschiffen erfüllen **Schlepper**. Die entsprechenden Schleppschiffe verfügen über leistungsstarke Antriebsanlagen, die ihnen das Ziehen bzw. Schieben von viel größeren schwimmenden Objekten ermöglicht. Die Schleppschiffe werden von so genannten Schleppreedereien zur Verfügung gestellt und für die Seeschiffe in der Regel von den Schiffsmaklern bestellt. Bei Bedarf kann auch ein Lotse die Unterstützung eines Schleppers anordnen.

Nach einem erfolgreichen Anlegemanöver am Liegeplatz befestigen die **Festmacher** mit Festmacherleinen die Seeschiffe an den dafür vorgesehenen Pollern und ermöglichen den Beginn des Güterumschlages.

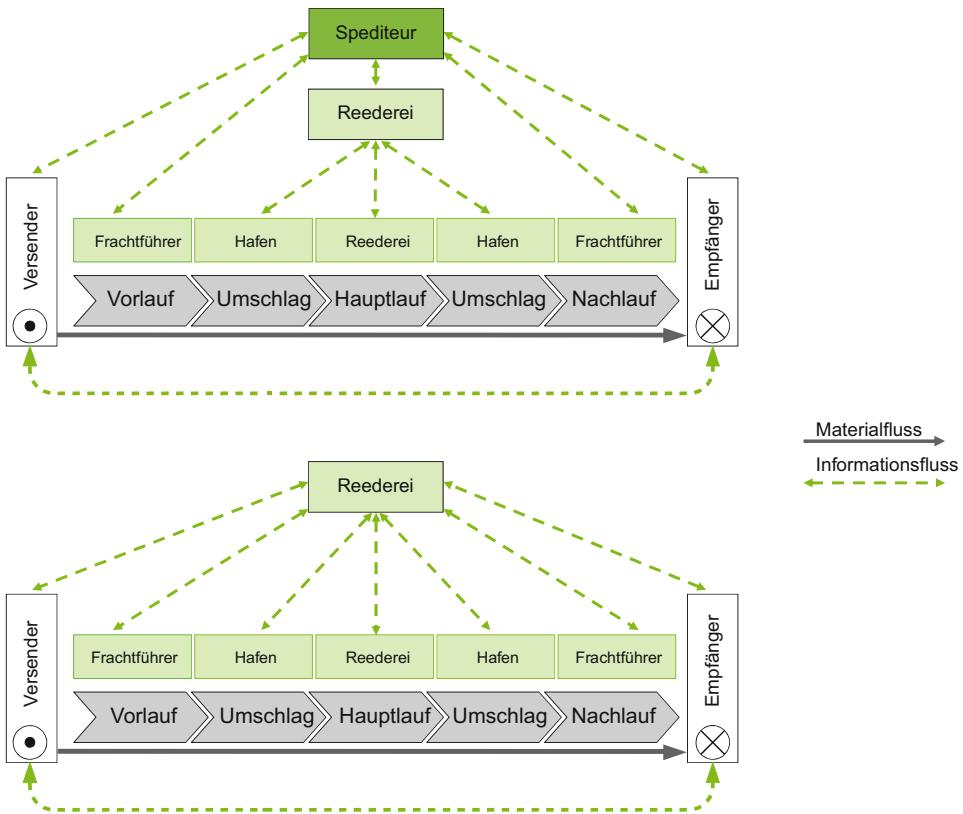


Abb. 14.2 Schematische Darstellung der Organisationsformen des kombinierten Verkehrs Merchant's Haulage (oben) und Carrier's Haulage (unten)

Weitere am Seeschiffsgüterverkehr im Hafenumfeld indirekt beteiligte Akteure sind der **Zoll**, die **Schiffsausrüster** und die **Schiffsversorger**.

14.4 Organisationsformen des kombinierten Verkehrs

Im kombinierten Containerverkehr, bei dem der Seeschiffsgüterverkehr den Hauptlauf bildet, entwickelten sich zwei Organisationsformen: Merchant's Haulage und Carrier's Haulage (vgl. Abb. 14.2).

Bei **Merchant's Haulage** verantwortet ein vom Versender beauftragter Hauptspediteur (bzw. ein Logistikdienstleister) die Organisation der gesamten Transportkette. Der Hauptspediteur bestimmt einen den Hauptlauf organisierenden Reeder, bestellt einen Leercontainer und verantwortet dessen pünktlichen Transport zum Versender. Der Haupt-

spediteur organisiert den Transport des beladenen Containers zum Seehafen, wobei der physische Transport häufig durch einen Frachtführer durchgeführt wird (Vorlauf). Im Seehafen wird der Container vom Terminalbetreiber im Namen des Reeders entgegengenommen und auf das Schiff verladen. Nach dem Seetransport (Hauptlauf) übergibt der Reeder den Container im Überseehafen an einen vom Hauptspediteur beauftragten Importspediteur bzw. Frachtführer, der den Transport des Containers zum Empfänger und den Rücktransport des Leercontainers zum Reeder organisiert (vgl. Arnold et al. 2008, S. 742).

Bei *Carrier's Haulage* organisiert eine Reederei den gesamten Transport. Dies beinhaltet folgende Aufgaben: Bereitstellung des Leercontainers für den Versender, Beauftragung eines Frachtführers mit dem Transport des beladenen Containers zum Seehafen (Vorlauf), Organisation des Seetransports (Hauptlauf), Beauftragung eines Überseefrachtführers mit dem Containertransport vom Überseehafen bis zum Empfänger (Nachlauf) und Organisation des Rücktransports des leeren Containers (vgl. Arnold et al. 2008, S. 742).

14.5 Logistische Knoten der Seeschifffahrt

In der Seeschifffahrt bilden Handelshäfen logistische Knoten, in denen Stück- und/oder Massengüter von einem Transportmittel zu einem anderen im Verlauf von einem Transportvorgang umgeschlagen werden (vgl. DIN EN 14943).

Hinsichtlich der Hafenorganisation existieren unterschiedliche Betreibermodelle. Unterscheidungsmerkmale der Modelle sind zum einen die Besitzverhältnisse von Infra- und Suprastrukturanlagen und zum anderen der Status der Hafenarbeiter und des Terminalmanagements. In der Regel können Häfen von öffentlichen Hafenbehörden verwaltet werden, welche Terminalkonzessionen an privatwirtschaftliche Unternehmen vergeben oder sie können eigene Terminals betreiben.

Häfen selbst wiederum stellen Flächen und wasser- sowie landseitige Zugangsmöglichkeiten, die Infrastruktur, für anlaufende Schiffstypen zur Verfügung. Durch geeignetes Transport- und Umschlagequipment, die Suprastruktur, sorgen Terminalanlagen für den Umschlag der Güter. Ein Umschlag setzt sich zusammen aus Fördervorgängen und aus Lagervorgängen (DIN 30781 Teil 1).

Folgende Terminaltypen lassen sich orientiert an den Güterarten unterscheiden (vgl. Brinkmann 2005, S. 137 ff):

- Konventionelle Massengutterminals,
- Ölterminals,
- Flüssigerdgas (Liquefied Natural Gas; LNG)-/ Autogas (Liquefied Petroleum Gas; LPG)-Terminals,
- Kohle- und Erzterminals,

- Terminals für Getreide, Dünge- und Futtermittel,
- Offshore-Terminals,
- Stückgutterminals (beinhalten Containerterminals) und
- Ro/Ro-Terminals.

Abhängig von Güterart, Terminalgröße und Automatisierungsgrad kommen unterschiedliche Techniken in Terminals zum Einsatz. Sie lassen sich grundsätzlich in Techniken zum Laden und Löschen von Schiffen (Vertikaltransport) und zum horizontalen Transport und zur Lagerung auf der Landseite unterscheiden.

In großen Containerterminals werden für den vertikalen Containerumschlag Containerbrückenkrane eingesetzt. Kleine Terminals verfügen über Kai-/Dreh-/Hafenmobilkranen. Im Horizontaltransport eignen sich je nach Betriebssystem Portalhubwagen (Straddle Carrier), Zugmaschinen mit Chassis/Anhänger, Containerstapler, Greifstapler (Reach Stacker), fahrerlose Transportfahrzeuge (Automated Guided Vehicles, AGV), gummibereifte oder schienengebunden Portalkrane (Rubber Tyred Gantry Cranes oder Rail Mounted Gantry Cranes) (VDI 2687).

Massengutterminals sind für den Vertikaltransport ausgerüstet mit Schiffsbeladern, Greiferbrücken, Dreh-/Mobilkränen, mechanischen Förderern oder pneumatischen Förderern. Für den Horizontaltransport sind mechanische Förderer, Absetzer (Stacker) oder Rücklader (Reclaimer) geeignet.

Bedingt durch den Umschlag von zum Teil schweren bzw. sperrigen Gütern kommen auf Stückgutterminals im Vertikaltransport spezielle Dreh-/Mobil-/Portalkräne sowie Rampen zum Einsatz. Für Horizontaltransporte stehen Greifstapler (Reachstacker), Terminalzugmaschinen (Tug master), Terminaltrailer und Stapler zur Verfügung (Brinkmann 2005, S. 321–325).

Ro/Ro-Terminals stellen Rampen für die vertikalen Ladevorgänge zur Verfügung und im Horizontaltransport Chassis, Cassetten, Plattformcontainer (Flats), Ro/Ro-Stapler, Rolltrailer-Systeme und Cassetten-Systeme.

14.5.1 Der Hamburger Hafen

Der Hamburger Hafen als Universalhafen ist der größte Seehafen in Deutschland und der zweitgrößte in Europa. Er verbindet über 950 Häfen in 178 Ländern miteinander und jährlich laufen den Hafen ca. 12.000 Seeschiffe an (Hamburg Port Authority 2011, S. 5). In Hamburg verlaufen mehrere Handelsrouten ineinander. Der Hamburger Hafen liegt 120 km im Landesinneren und ermöglicht dadurch einen weiten Transport mit dem Seeschiff in die Metropolregion. Insgesamt wurden im Jahr 2011 132,2 Mio Tonnen umgeschlagen, darunter allein 90,1 Mio Tonnen Container (brutto) – knapp 9 Mio TEU. Prognosen gehen davon aus, dass in Hamburg im Jahr 2025 bis zu 25 Mio TEU umgeschlagen werden könnten.

Im Hafen finden sich zahlreiche Terminals z. B. für den Umschlag von Massengütern (Hansaport) oder den Containerumschlag (HHLA und EUROGATE). Im Hamburger Hafen werden auf unterschiedlichen Terminals, die oben genannten Umschlagssysteme verwendet. Am Container Terminal Altenwerder kommen schienengebundene Portalkräne in Kombination mit fahrerlosen Transportfahrzeugen und am EUROGATE Terminal Hamburg Straddle Carrier zum Einsatz.

Den Hamburger Hafen können alle gängigen Schiffsklassen anlaufen – allerdings nicht bei vollem Tiefgang. Im Jahr 2010 liefen 825 Schiffe mit einer Größe von über 330 Metern den Hamburger Hafen an.

Dabei ist der Hamburger Hafen eng verbunden mit dem asiatischen Raum. 2010 entfielen ca. 60 % des Containerumschlags auf Asienverkehre.

Literatur

- Arnold D et al. (2008) Handbuch Logistik. 3., neu bearbeitet Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
- Brinkmann B (2005) Seehäfen: Planung und Entwurf. Springer, Berlin Heidelberg
- Bünte M (2009) Piraterie in Südostasien: Neuere Entwicklungen und Perspektiven. *Journal of Current Southeast Asian Affairs* 28(2):87–99
- Büter C (2010) Außenhandel: Grundlagen globaler und innergemeinschaftlicher Handelsbeziehungen. Springer, Heidelberg Dordrecht London New York
- DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (2005) Norm DIN EN 14943: Transportdienstleistungen – Logistik – Glossar. Beuth, Berlin
- DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (1989) Norm DIN 30781-1: Transportkette – Grundbegriffe. Beuth, Berlin
- Flottenkommando der Deutschen Marine (2011) Fakten und Zahlen zur maritimen Abhängigkeit der Bundesrepublik Deutschland: Jahresbericht 2011. Glücksburg
- Gardiner N (eds.) (2011) Container market 2011/12: Annual review and forecast; incorporating the Container Forecaster – 3Q11. Drewry, London
- Gibraltar Port Authority (2011) Port information. Online verfügbar unter: http://www.gibraltarport.com/port_info. Abgerufen am 01.09.2012
- Hamburg Port Authority (2011) Geschäftsbericht 2010. Hamburg
- Handelsgesetzbuch in der im Bundesgesetzblatt Teil III, Gliederungsnummer 4100–1, veröffentlichten bereinigten Fassung, das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 20. Dezember 2012 (BGBl. I S. 2751) geändert worden ist
- Korf W (2005) Leitfaden für Spediteure und Logistiker in Ausbildung und Beruf. Deutscher Verkehrs-Verlag, Hamburg
- Olsen J H B (2013) From paper pusher to sailor boy. *WWORLD* 26(1):42–46
- Schieck A (2008) Internationale Logistik: Objekte, Prozesse und Infrastrukturen grenzüberschreitender Güterströme. Oldenbourg Verlag, München Wien
- Seelotsgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 13. September 1984 (BGBl. I S. 1213), das zuletzt durch Artikel 105 des Gesetzes vom 8. Dezember 2010 (BGBl. I S. 1864) geändert worden ist
- The Maritime & Coastguard Agency (2012) How CNIS works. Online verfügbar unter: <http://www.dft.gov.uk/mca/mcga07-home/emergencyresponse/mcga-searchandrescue/mcga->

theroleofhmcoasguard/mcga_-_hm_coastguard_-_the_dover_strait/how_cnis_works.htm.

Abgerufen am 01.09.2012

United Nations Conference on Trade and Development (2012) Review of Maritime Transport 2012.
New York Geneva

U.S. Energy Information Administration (2012) Strait of Hormuz. Online verfügbar unter:
<http://www.eia.gov/countries/regions-topics.cfm?fips=WOTC>. Abgerufen am 01.09.2012

Verband Deutscher Ingenieure VDI e. V. (1989) VDI-Richtlinie 2687: Lastaufnahmemittel für
Container, Wechselbehälter und Sattelanhänger. Beuth, Berlin

Woitschützke C-P (2006) Verkehrsgeographie. Bildungsverlag EINS, Troisdorf

Heinrich Frye

Der Luftfrachtverkehr ist ein Segment des Verkehrsträgers Luftverkehr. Die Luftfracht unterliegt sowohl den Bedingungen des internationalen Luftverkehrs als auch den logistischen Anforderungen globaler Transportketten.

Der Luftverkehr ist erst in den letzten fünf Jahrzehnten zu einem eigenen für den kommerziellen Güterverkehr relevanten Verkehrsträger aufgestiegen. Das Wachstum des geflogenen Güterverkehrs ist maßgeblich von den technologischen Weiterentwicklungen, der zunehmenden weltweiten Verschmelzung der Volkswirtschaften, dem steigenden Realeinkommen und der Liberalisierung des Luftverkehrs getrieben. Mitte der 20er Jahre beginnt die Entwicklung der zivilen Luftfahrt mit Gründung der ersten bedeutenden Luftfahrt-Gesellschaften. Mit steigender Nachfrage wachsen in der Folge sowohl die Kapazität als auch die Reichweite der Flugzeuge. Und mit zunehmenden Bedenken und Restriktionen verbessert sich auch deren Umweltverträglichkeit.

Die aktuelle Bedeutung des Luftfrachtverkehrs ist dadurch gekennzeichnet, dass im Gegensatz zur Anfangszeit, in der die Beförderung besonders hochwertiger Fracht und die Erzielung eines schnellen Transports (Ausnahmecharakter) im Fokus stand, heute die regelmäßige Beförderung einer breiten Palette von Gütern zu verzeichnen ist. Mit neuen Flugzeugmustern und dem wachsenden Aufkommen entwickelt sich die Luftfracht vom Notfallprodukt zu einem regelmäßigen Frachtprodukt, das in Abhängigkeit von Transportstrecke und Art der Güter in direkter Konkurrenz mit anderen Verkehrsträgern steht. Im interkontinentalen Güterverkehr konkurriert das Flugzeug mit dem Seeschiff, im kontinentalen Verkehr mit dem Lkw und der Bahn. Der Luftfrachttransport nimmt innerhalb der Transportketten des globalen Warenaustausches von Industrie und Handel

H. Frye (✉)

Projektzentrum Luftverkehrslogistik, Fraunhofer IML,
Joseph-von-Fraunhofer-Straße 2–4, 44227 Dortmund, Deutschland
E-Mail: frye@iml.fraunhofer.de

einen immer höheren Stellenwert ein, wobei der Warenwert weitaus bedeutender ist als die Transportmenge.

15.1 Verkehrswege (Strecken der Luftfracht)

15.1.1 Netzstruktur

Flughäfen sind die Knoten im weltweiten Luftransportnetz. Diese können eine Drehscheibenfunktion (Hubstation) aufweisen oder Start- und Zielort für Luftransporte darstellen (Kopfstationen). Die Verbindungen zwischen den Flughäfen sind die Luftransportwege, auch Strecken genannt. Der Hub einer Luftverkehrsgesellschaft ist in der Regel zentraler Umsteigeknoten für Passagiere und Umschlagdrehkreuz für Luftfracht in deren weltumspannenden Luftransportnetz. Darüber hinaus können innerhalb eines Netzes weitere Neben- und Sub-Hubs betrieben werden. Unabhängig davon werden einzelne Flughafenstandorte auch als ausschließliche Frachthubs genutzt.

15.1.2 Hub and Spokes

Anbieter von Transportdienstleistungen sind bestrebt, ein flächendeckendes Streckennetz unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu betreiben. Aus kapazitiven und wirtschaftlichen Gründen werden deshalb heute viele Verbindungen im Hub-and-Spoke-System (Nabe und Speiche) bedient. Statt von jedem Flughafen jeden anderen Flughafen anzufliegen, werden Fracht oder Passagiere zu einem Hub transportiert und von dort auf weitergehende Flüge verteilt (Abb. 15.1).

Ein Hub-and-Spoke-System reduziert die Anzahl der notwendigen Flüge im Vergleich zu jeweils direkten Flugverbindungen. Bei ungleich verteiltem, schwankendem oder unpaarigem Aufkommen kann die Auslastung der Flüge, die über einen Hub geführt werden, erheblich verbessert werden.

Die Abstimmung der ankommenden und abfliegenden Flüge erfolgt mithilfe von Flugplänen, die weltweit miteinander koordiniert sind. Kommt es zu Kapazitätsengpässen, werden Zeitfenster – die sogenannten Slots – vergeben, die offiziell von den Fluggesellschaften beantragt werden. Die Vergabe erfolgt nach neutralen festgelegten Regeln.

Innerhalb der Hub-Standorte werden die einzelnen Flugverbindungen so aufeinander abgestimmt, dass ein optimiertes Umsteigen der Passagiere erreicht wird. Dies führt zu einer zeitlichen Konzentration von Ankünften und Abflügen in Wellen.



Abb. 15.1 Prinzipielle Darstellung eines Hub-and-Spokes-Netzes im Luftverkehr

15.1.3 Systematik der Verkehrsrechte

Ein wichtiger Bestandteil der Verkehrswege des Luftverkehrs sind die Verkehrsrechte, die darüber entscheiden, ob eine Transportverbindung über einen bestimmten Luftweg angeboten werden kann oder nicht. „Die acht Freiheiten in der Luft“ gehören zu den Grundlagen des internationalen Luftverkehrs. Sie beziehen sich auf die Souveränität eines jeden Staates über den eigenen Luftraum und dem Recht jedes Vertragsstaates, gleichberechtigt am internationalen Luftverkehr teilzunehmen.

Die acht Freiheiten sind wie folgt formuliert:

1. Freiheit: Überflugrecht
2. Freiheit: das Recht zur nicht-kommerziellen Zwischenlandung
3. Freiheit: das Recht Fracht und Passagiere vom Heimatland ins Ausland zu befördern
4. Freiheit: das Recht Fracht und Passagiere vom Ausland ins Heimatland zu befördern
5. Freiheit: das Recht Fracht und Passagiere aus einem fremden Land in ein anderes fremdes Land zu bringen auf einer Route, die ihren Ursprung/ihr Ziel im Heimatland hat
6. Freiheit: das Recht Fracht und Passagiere aus einem fremden Land zu bringen, mit Zwischenlandung im Heimatland
7. Freiheit: das Recht Fracht und Passagiere aus einem fremden Land in ein anderes fremdes Land zu bringen
8. Freiheit: Kabotage; das Recht Fracht und Passagiere innerhalb eines fremden Landes zu transportieren

15.1.4 Weitere Rechtsgrundlagen

Die rechtlichen Grundlagen des Luftverkehrs umfassen internationale Abkommen, die Richtlinien und Verordnungen der Europäischen Union sowie das geltende deutsche Recht. Zu Ihnen gehören das Warschauer Abkommen, das Montrealer Übereinkommen, das Chicagoer (ICAO-) Abkommen, das Schengener Abkommen und das Luftverkehrsge setz (LuftVG). Durch die genannten Abkommen werden u. a. auch unterschiedliche Freiheiten in der Luft definiert.

Die wichtigsten Abkommen sind wie folgt:

Warschauer Abkommen

- 1929 in Warschau unterzeichnet
- vereinheitlicht die Regeln bei der Beförderung im internationalen Luftverkehr
- definiert die Beförderungsdokumentation sowie die Haftung für Passagiere und Fracht in Unglücksfällen oder bei anderen Schäden.

Chicagoer (ICAO-) Abkommen (1944)

- enthält die wichtigsten Grundsätze für die Abwicklung des internationalen Luftverkehrs (Rechte und Pflichten der Vertragsstaaten)
- legt die „Freiheiten der Luft“ eins bis fünf fest. Die Freiheiten sechs bis acht kamen im Laufe der Zeit hinzu, da die ursprünglichen Freiheiten aufgrund neuer Flugstreckenvarianten nicht ausreichten.

Montrealer Übereinkommen (1999)

- ergänzt das Warschauer Abkommen
- regelt Haftungsfragen für die Haftung des Luftfrachtführers für Personen-, Gepäck- oder Frachtschäden während einer Luftbeförderung im internationalen Luftverkehr
- enthält Bestimmungen über Beförderungsdokumente.

Schengener Abkommen (EU-Abkommen 1985)

- Wegfall der Binnengrenzkontrollen zwischen den „Schengen-Staaten“
- Kontrollfreiheit gilt für Land-, Luft- und Seegrenzen
- Folge für Flughäfen: Maßnahmen zur Trennung der Reisenden von Intra-Schengen-Flügen und Passagieren von Drittlandflügen (Non-Schengen-Flüge) zur Unterbindung unkontrollierter Einreisen.

Darüber hinaus werden die zwischen der EU und anderen Ländern zugelassenen Kapazitätsverhältnisse in den drei Liberalisierungspaketen 1987, 1990 und 1992 geregelt. Seit

dem 1. April 1997 ist zudem die volle Kabotage (8. Freiheit) möglich, d. h. die Beförderung von Passagieren, Fracht und Post zwischen zwei Flughäfen eines anderen Mitgliedstaates. Dies ist ein weiterer Schritt in Richtung eines gemeinsamen EU-Luftraumes in der EU.

Das Open-Sky-Abkommen vom 31. März 2008 erlaubt den europäischen Fluglinien, aus jeder Stadt innerhalb der EU alle Flughäfen in den Vereinigten Staaten anzufliegen. Dies führt insbesondere zu einer Verschärfung des Wettbewerbs über dem Nordatlantik.

15.2 Verkehrsmittel im Luftverkehr

15.2.1 Systematik des Verkehrsmittels Flugzeug

Das Flugzeug stellt innerhalb des gesamten Leistungsprozesses für Luftfracht ein herausragend teures und damit das knappe Produktionsmittel dar. Je nach Transportanforderung wird die Luftfracht entweder als lose oder palettierte Beiladungsfracht in Passagierflugzeugen oder als palettierte Fracht in Frachtflugzeugen befördert.

Die wichtigsten unterscheidenden Merkmale zwischen Luftfracht als Beiladung und in Frachtflugzeugen sind:

Beiladung

- Hohe Netzdichte bezogen auf die angebundenen Flughäfen
- Hohe Frequenzen der angebotenen Flüge
- Zusatzeinnahmen zum Passagiergeschäft (Grenzkostenkalkulation)

Frachter

- Die gesamte Ladekapazität ist nur mit Fracht auszulasten
- Nur Relationen mit hohem Frachtaufkommen (geringe Netzdichte)
- Geringe Restriktionen hinsichtlich Abmessungen und Gewicht

In Bezug auf die Laderäume für den Güterverkehr unterscheidet man drei Gruppen von Flugzeugen (vgl. Abb. 15.2):

- a. Narrow Body
 - b. Wide Body
 - c. Wide Body Frachter
- Passagierflugzeuge als Narrow-Body mit Laderäumen für Beiladung von loser Fracht (Belly oder Bulk) in den Unterflurfrachträumen im unteren Teil des Flugzeugs,

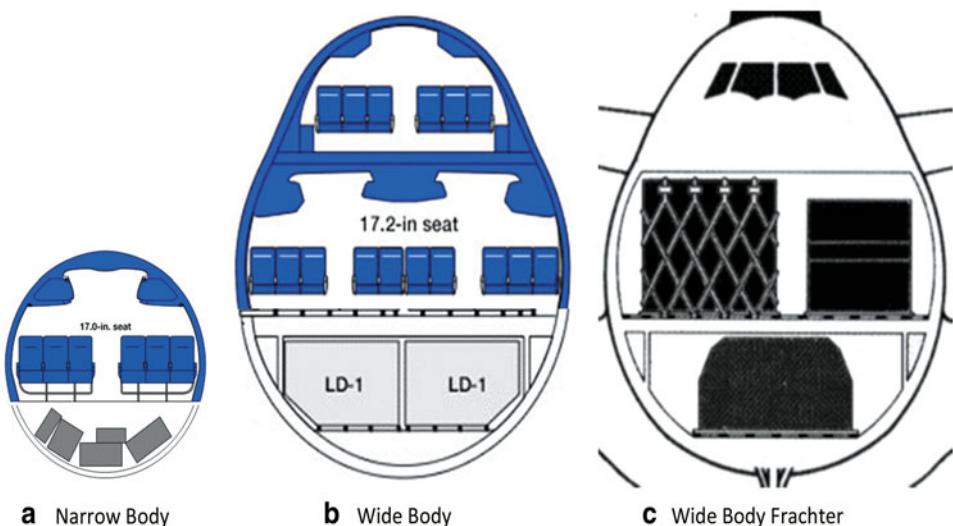


Abb. 15.2 Frachträume im Passagierflugzeug und im Frachtflugzeug

- Passagierflugzeuge als Wide-Body mit Laderäumen für Flugzeug-Ladeeinheiten im unteren Deck (Lower deck) des Flugzeugs unterhalb der Passagierkabine,
- Frachtflugzeuge, die im Oberdeck (Main deck) und, je nach Flugzeugtyp, auch im unteren Deck Laderäume für Flugzeug-Ladeeinheiten aufweisen.

Für Luftfracht auf interkontinentalen Langstrecken ist der wichtigste Frachtflugzeugtyp seit über 30 Jahren das Flugzeugmuster Boeing 747, das bis heute permanent weiterentwickelt wurde (vgl. Abb. 15.3). Als neue Typen übernehmen die Boeing 777 und der Airbus A 330F eine zunehmende Rolle, insbesondere aufgrund ihrer höheren Wirtschaftlichkeit als zweistrahlig Flugzeuge.

Mit einer Nutzlast von über 100 Tonnen können Frachtflugzeuge jeweils rund 30 Ladeeinheiten, die als ULD (Unit Load Device) bezeichnet werden, im 10-Fuß-Format aufnehmen. Die gesamte relevante Spanne der Nutzlasten liegt zwischen 10 und 250 Tonnen (Abb. 15.4).

Größere Frachtflugzeuge wie die An-225 werden vor allem für den Bedarfsverkehr und Sondereinsätze genutzt. Kleinere Frachtflugzeuge werden besonders von Kurier- und Expressdiensten genutzt. Ein besonders typischer Vertreter ist die British Aerospace BAe 146, ein Flugzeug mit rund 12 Tonnen Nutzlast, mittels einfacher Abfertigungsgeräte zu be- und zu entladen, mit geringen Anforderungen an die Start-/Landebahnlänge und extrem leisen Triebwerken. Dieses Flugzeug wurde besonders für die Feinverteilung und Zuführung von Fracht im Nachtsprung zwischen kleinen regionalen Flughäfen und großen internationalen Hubs konzipiert.

Darüber hinaus wird eine große Bandbreite weiterer Flugzeugtypen für den Nur-Fracht-Transport genutzt. Frachtflugzeuge basieren auf Baumustern von Passagierflugzeugen. Fracht-Varianten werden schon als Neubestellung für Frachtladung ausgerüstet. Ein Teil der Frachtflugzeuge sind jedoch auch umgerüstete Passagierflugzeuge.

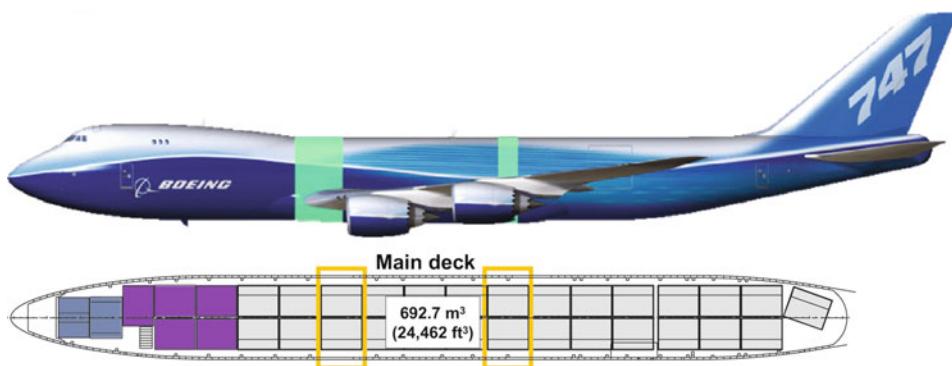


Abb. 15.3 Modernes Frachtflugzeug am Beispiel der Boeing 747 8F (Boeing 2009)

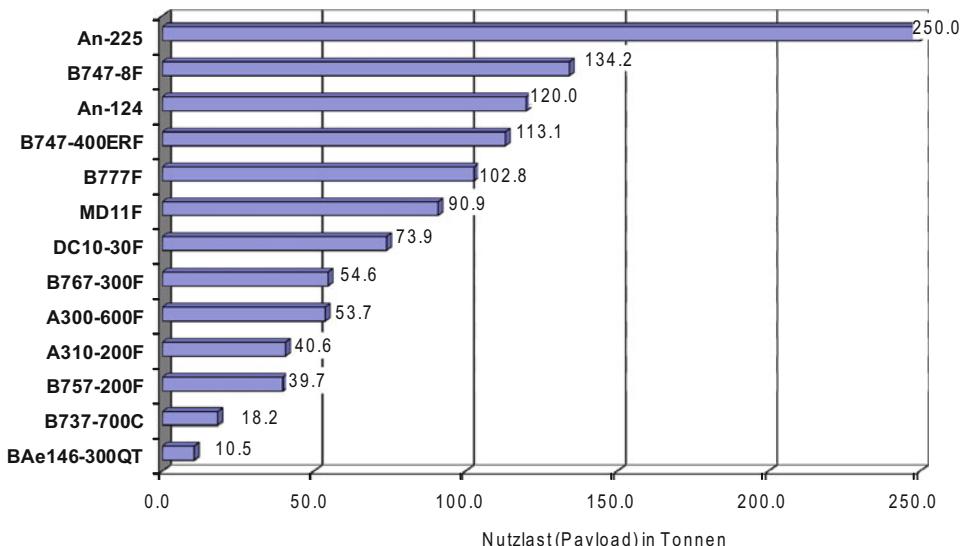


Abb. 15.4 Spanne der Nutzlast aktueller Frachtflugzeugtypen

Eine Übersicht über für den Frachtttransport relevante Flugzeugtypen und deren Fracht- bzw. Beiladungskapazitäten gibt Abb. 15.5.

Besonders hervorzuheben ist das über verschiedene Flugzeugtypen weitgehend ähnliche Verhältnis von Nutzlast und Volumen (= Density). Dieses technische Merkmal von Flugzeugen hat einen durchgängigen und hohen Einfluss auf die Optimierung und Preisgestaltung der Luftfracht im gesamten Vertriebs-, Konsolidierungs- und Abfertigungsprozess der Partner im Luftfrachtmarkt.

	B737-700C	B767-300F	A300-600F	A330-200F	MD 11 F	B777 F	B747-400 ERF	B747-8 F
Länge (m)	33,6	54,9	54,1	58,8	61,2	63,7	70,7	76,4
Höhe (m)	12,5	15,9	16,5	16,9	17,6	18,6	19,4	19,5
Spannweite (m)	34,3	47,6	44,8	60,3	51,7	64,8	64,4	68,5
Lichte Weite (m)	3,53	4,7	5,64	5,64	5,7	5,86	6,1	6,1
Max. Take Off Weight MTOW (Tonnen)	78	187	168	227	286	348	412,8	442,3
Max./Typ. Payload (Tonnen)	18,2	53,7	54,6	69,3	90,9	102,8	113,1	134,2
Reichweite (km)	5.330	6.025	4.850	7.400	6.652	9.045	9.205	8.185
Anzahl ULD (MD/LD)	8	16/9	21/23	23/8	26/10	27/10	30/11	34/14
Load Volume (m³)	127	438	464	475	604	636	711	844
Density (kg/m³)	143,3	122,5	117,7	145,9	150,5	161,6	159,1	159

Abb. 15.5 Kennzahlen von Frachtflugzeugen

15.2.2 Laderaum des Flugzeugs

Die besonderen Bedingungen und Anforderungen des Luftransportes – im Vergleich zu allen anderen Verkehrsträgern – sind in der Gestaltung und Ausstattung der Laderaume von Flugzeugen erkennbar.

Der primär nach aerodynamischen Gesichtspunkten gestaltete Flugzeuggrumpf gibt enge Restriktionen für die Dimensionen und die Form der Laderaume vor. Die bestmögliche Auslastung des Laderaumes ist nur durch spezifisch angepasste Ladeeinheiten und Lademittel möglich.

Die potenziell extremen dynamischen Belastungen und die hohen Sicherheitsanforderungen in der Luft bestimmen die Anforderungen für die Ladungssicherung. Die hohen Kosten des Betriebs von Flugzeugen erfordern die bestmögliche Auslastung und zeitliche Ausnutzung dieses Transportmittels. Hierzu dienen in erster Linie möglichst große Ladeeinheiten und eine hochwertige Ausstattung der Laderaume (Abb. 15.6) für ein schnelles Be- und Entladen, Verstauen und Sichern der Ladung.

Für die Planung der Ladung sind die verschiedenen Dimensionen und spezifischen Zugänglichkeiten der Laderaume wesentliche Kriterien. Besonders die Laderaume für lose Fracht sind, abhängig vom Flugzeugtyp und dessen Version, sehr vielfältig in ihrer Ausführung. Bei extrem niedrigen Raumhöhen ist das Verstauen der Ladung hier sehr erschwert.

Bei den Laderaumen für standardisierte Flugzeugpaletten (= ULD) erfolgt der Zugang (Abb. 15.7) über seitliche Türen (Side door), bei einzelnen Typen von Frachtflugzeugen zusätzlich auch über frontseitige Türen (Nose door). Seitliche Türen ermöglichen den größten Öffnungsquerschnitt. Frontseitige Türen erlauben das Ein- und Ausladen

Abb. 15.6 Laderaum für Luftfracht am Beispiel der Boeing 747-8F. (Boeing 2006)



Abb. 15.7 Zugang zum Laderaum für Luftfracht; links: Side door (Fototeam Fraport AG), rechts: Nose door (Foto: Udo Kröner, Deutsche Lufthansa AG)

der Ladeeinheiten ohne Drehung und das einfache Andocken des Flugzeuges an eine stationäre Ladeeinrichtung, sind jedoch im Zugang aufgrund des Cockpits in der Höhe begrenzt. Hecktüren, meist als befahrbare Rampe ausgestaltet, sind bei Großraumfrachtflugzeugen zu finden, die ursprünglich für den militärischen Einsatz konzipiert sind. Im kommerziellen Luftverkehr sind diese Flugzeuge vor allem für Spezialtransporte im Einsatz.

Die typische zulässige Ladehöhe beträgt im Lowerdeck 1,63 m und im Maindeck 2,44 m. Diese Standardisierung erleichtert die Disposition und den Wechsel ganzer Ladeeinheiten von einem Flugzeug zum anderen. Einzelne Flugzeugtypen können auch geringere Laderaumhöhen als oben genannt aufweisen. Ebenso erlauben bestimmte Ladepositionen auch Ladehöhen von mehr als 3 m. Im Main-Deck sind über die seitliche Tür standardisierte Einheiten bis 20 Fuß Länge verladbar.

15.2.3 Ladeeinheiten und Lademittel

Die Ladeeinheit bzw. die Lademittel für den Transport der Luftfracht im Flugzeug werden auch als Unit Load Devices (ULD) bezeichnet. Wichtig ist die Berücksichtigung und

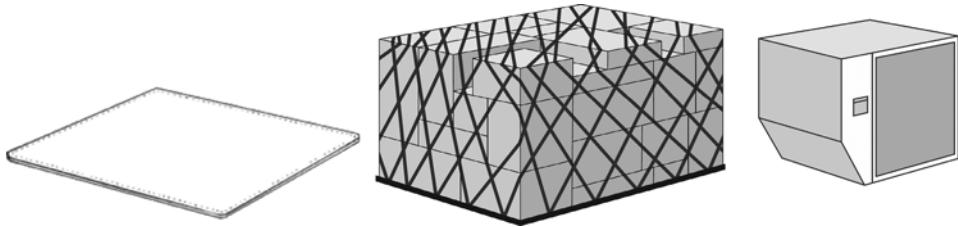


Abb. 15.8 Varianten von Flugzeug-Ladeeinheiten und Lademitteln (ULD)

Ermöglichung der notwendigen spezifisch angepassten Ladeeinheiten je nach Flugzeugtyp und Position im Laderaum. Die Gestaltung der Flugzeug-Ladeeinheiten selbst ist somit mehr den Bedingungen des Fluggerätes unterworfen als auf Anforderungen der Handhabung (z. B. Ergonomie) und der Logistik (z. B. Modularität) ausgerichtet.

Für Flugzeug-Ladeeinheiten werden entweder Container oder Paletten eingesetzt:

- Für jeden Flugzeugtyp gibt es verschiedene Container und Paletten (Lademittel), die an die Geometrie des Flugzeugs angepasst sind.
- Luftfrachtcontainer sind nicht stapelbar und nicht kranbar.
- Eine Flugzeug-Ladeeinheit auf Palette erfordert die strenge Einhaltung der Kontur und eine aufwendige Sicherung des Gutes.
- Jede Flugzeug-Ladeeinheit wird für eine bestimmte Ladeposition vorbestimmt. Bei der Beladung des Flugzeuges ist die vorschriftsmäßige Lastenverteilung und Sicherung der Ladung zu beachten.

Zur bestmöglichen Ausnutzung der unterschiedlichen Konturen der verschiedenen Laderäume existiert eine Vielzahl von Mustern von Flugzeug-Ladeeinheiten. Diese können sowohl Container – mit einer entsprechenden Vielfalt von Typen und Ausführungen (Abb. 15.8) – als auch auf Paletten gebaute, gesicherte Ladungen sein. Um das Eigengewicht zu minimieren, bestehen die Container wie auch die Paletten überwiegend aus hochwertigen Aluminiumlegierungen, Containeraufbauten teilweise auch aus faserverstärkten Kunststoffen.

Die Standardisierungsvorgaben, die zwischen Flugzeugherstellern und Luftverkehrsgesellschaften vereinbart sind, beziehen sich vor allem auf die tragende Grundplattform der Lademittel. Hierin sind die statischen Anforderungen, ausgewählte Rastermaße für die Grundfläche sowie die der Fixierung der Einheiten im Flugzeug und der Befestigung der Ladungssicherung (Gurte und Netze) dienenden Profilrahmen festgelegt.

Unter Berücksichtigung dieser Standardisierung sind auch die Anforderungen an die ULD-Handhabung sowie an die Umschlag- und Fördertechnik für ULD – ob im Flugzeug, auf mobilen Geräten oder in stationären Anlagen – spezifiziert, um einen sicheren und zuverlässigen Gebrauch der Lademittel zu erreichen.

Die Nutzung von Paletten statt Containern hat den Vorteil der Gewichtseinsparung und der Flexibilität, über Ladehöhe und Kontur die Einheiten verschiedenen Laderaumen anpassen zu können. Außerdem ist der Lager-, Transport- und Handlingaufwand für leere Lademittel geringer. Von Nachteil ist, dass die Ladung aufwendig mit Netzen und Gurten gesichert und mit Folien gegen Witterungseinflüsse geschützt werden muss. Groß ist auch das Risiko, dass Konturverschiebungen und Überstände auftreten, die eine der häufigsten Störungsursachen beim Umschlag und Transport der Ladeeinheiten darstellen.

Tendenziell werden große Ladeeinheiten zur Gewichtsoptimierung eher als Paletten gebaut. Das häufigste Standardmaß für große Einheiten ist die Grundfläche von 318×244 cm. Bei kleinen Ladeeinheiten und wenn eine schnelle Be- und Entladung der Einheiten im Vordergrund steht, werden häufiger Container eingesetzt. In der Praxis führt dies dazu, dass vielfach die grobe Aufteilung gilt, „Paletten“ für große Ladeeinheiten und „Container“ für kleine Ladeeinheiten.

Die zulässigen Gewichte pro Ladeeinheit sind zum einen abhängig vom Lademittel. 10-Fuß-MD-Einheiten dürfen beispielsweise maximal 6.804 kg (15.000 lbs) schwer sein, LD3-Container maximal 1.588 kg (3.500 lbs). Für die Gesamtladung eines Flugzeugs bestehen diverse weitere Gewichtsrestriktionen, bezogen auf einzelne Ladepositionen, maximale Gewichte pro Laderaum und Vorschriften für eine insgesamt gleichmäßige Beladung des Flugzeugs.

15.2.4 Ladeplanung

Die Ladeplanung gehört zu den wichtigsten flugvorbereitenden Tätigkeiten, um einen sicheren und wirtschaftlichen Flugbetrieb zu erreichen. Die von der Lastverteilung der Zuladung abhängige Schwerpunktlage eines Flugzeugs hat direkten Einfluss auf die Flugeigenschaften und damit auf die Flugfähigkeit, Flugsicherheit und den Kerosinverbrauch. Eine beliebige Verteilung der Passagiere in der Kabine oder der Fracht im Laderaum kann zu einer kritischen Schwerpunktlage und zum Absturz des Flugzeugs führen.

In der Ladeplanung werden abhängig von Flugzeugtyp, Crew- und Passagieranzahl, Gepäck, Kerosin sowie sonstiger an Bord benötigter Materialien die Ladeeinheiten und die lose Fracht den verfügbaren Laderaumen und Ladepositionen zugeordnet. Wichtige Einflussfaktoren auf die Ladeplanung sind u. a.

- Maximal zulässiges Abfluggewicht (MTOW = maximum take off weight)
- Kerosinmenge in Abhängigkeit von Flugroute und Wettervorhersage
- Anzahl an Crewmitgliedern und gebuchten Passagieren
- Voraussichtliche und tatsächliche Anzahl Koffer und Gepäck
- Gebuchte und tatsächliche Fracht- und Postmenge
- Zuladung an Wasser und Verpflegung (ggf. auch für den Rückflug)
- Sonstige, an Bord benötigte Materialien
- Strukturelle Einschränkungen des Flugzeugtyps

- Verladbarkeit von Sonderfracht, Gefahrgütern und Tieren

Diese Daten werden bereits Stunden vor dem Abflug gesammelt, um die Ladeplanung durchzuführen. Diese wird während der Flugvorbereitung in enger Abstimmung zwischen den beteiligten Personen aktualisiert, wenn z. B. Abweichungen bei der Anzahl Passagiere und der Gepäckzuladung auftreten oder die endgültige Kerosinmenge feststeht.

Die Ladeplanung wird in einem Ladeplan (Loadsheet) dokumentiert. Mit Hilfe des Ladeplans werden die aktuellen Gewichte kalkuliert und die Verteilung der Gesamtladung festgelegt, um die Schwerpunktllage des Flugzeuges zu ermitteln (Weight and Balance). Der Ladeplan liefert dem Piloten eine Übersicht aller Transportgüter und Personen an Bord.

Im Rahmen der Ladeplanung werden die für den Flug vorgesehenen ULDs und losen Frachtstücke auf die verschiedenen Ladepositionen im Flugzeug verteilt. Hierzu werden flugzeugtypabhängige „Loading Instructions“ erstellt.

Anhand des Ladeplans erfolgen dann auch unter Aufsicht des Ramp Agents der Luftverkehrsgesellschaft die physische Beladung des Flugzeugs und die Trimmung des Flugzeugs durch den Piloten auf Basis der Daten zur Schwerpunktllage des Flugzeugs.

15.3 Akteure

15.3.1 Nationale und internationale Behörden

Die Zulassung und Abwicklung des Luftverkehrs regeln die nationalen staatlichen Organe der Luftverkehrsverwaltung. In Deutschland ist das Bundesministerium für Verkehr die oberste Bundesbehörde für zivile Luftfahrtangelegenheiten. Bezogen auf die Verkehrswege ist es für die Genehmigung des internationalen Linien- und Gelegenheitsverkehrs im Rahmen der internationalen Luftfahrtabkommen und der mit ausländischen Staaten getroffenen Vereinbarungen sowie für den Bau und Betrieb von Flugplätzen, Flugplatzentgelte und Flugplatzbenutzungsordnungen zuständig.

Das Luftfahrt-Bundesamt mit Sitz in Braunschweig ist die Zulassungs- und Kontrollbehörde für Luftfahrtgerät, Luftfahrtpersonal, Luftfahrtunternehmen und die Sicherheit des Luftverkehrs.

Der „Flugplankoordinator der Bundesrepublik Deutschland“ ist seit 1971 eine direkt dem Bundesminister für Verkehr unterstellte Bundesbehörde. Diese ist im Vorfeld der Flugsicherung für die zeitliche Abstimmung der An- und Abflüge auf sämtlichen deutschen Verkehrsflughäfen wie auch der Überflüge über das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland sowie für die Verwaltung und Verteilung knapper Start- und Landezzeiten (Slots) auf den bundesdeutschen Verkehrsflughäfen verantwortlich.

Weitere Bundesministerien sind direkt oder indirekt an der Regelung und Abwicklung des Luftverkehrs beteiligt.

Die öffentlich-rechtliche Vertretung aller am zivilen internationalen Luftverkehr beteiligten und als UNO-Mitglied zugelassenen Staaten ist die ICAO (International Civil Aviation Organization) mit Sitz in Montreal. Die ICAO ist eine Sonderorganisation der Vereinten Nationen (UN bzw. UNO). Ziele der ICAO sind die

- Gewährleistung eines sicheren und geordneten Wachstums der internationalen Zivilluftfahrt,
- Förderung des Baus und des Betriebes von Flugzeugen zu friedlichen Zwecken sowie die Entwicklung von Luftverkehrsstraßen, Flughäfen und Flugsicherungsanlagen,
- Verhütung wirtschaftlicher Verschwendungen infolge übermäßigen Wettbewerbs,
- Sicherung der Rechte der Vertragsstaaten und deren Möglichkeiten zum Betrieb internationaler Fluggesellschaften,
- Vermeidung von Diskriminierung zwischen den Vertragsstaaten,
- Verbesserung der Flugsicherheit in der internationalen Luftfahrt.

Die meisten Staaten haben die Regelungen der ICAO in ihr nationales Recht übergeführt. Dadurch kann der internationale Luftverkehr nach überwiegend einheitlichen Kriterien abgewickelt werden.

Die Kontrolle und Sicherung der Luftverkehrswege in Europa erfolgt durch EUROCONTROL. Zu deren Aufgabe gehören die gemeinsame Durchführung der Luftverkehrssicherheitsdienste im oberen Luftraum (7.650 bis 15.000 m) sowie die Zusammenarbeit mit nationalen Flugsicherungsdiensten für die Überwachung des unteren Luftraumes, die Standardisierung von Geräten zur Luftraumüberwachung, die gemeinsame Fortbildung des Luftsicherungspersonals sowie die Berechnung und Einziehung der Flugsicherungsstreckengebühren im Auftrag der Mitgliedstaaten.

15.3.2 Verbände

Die IATA (International Air Transport Association) ist der Weltverband der Unternehmen des kommerziellen Luftverkehrs. Während bis 1974 nur Linienfluggesellschaften Mitglied werden konnten, steht die Vereinigung inzwischen jeder Luftverkehrsgesellschaft offen, die in einem Staat zugelassen ist, der der ICAO angehört oder dort aufgenommen werden kann.

Die internationalen Flughäfen sind weltweit im Airports Council International (ACI) organisiert, einem Verband mit 569 Mitgliedern aus 177 Ländern, der die Flughäfen gegenüber Behörden, Fluggesellschaften und nationalen wie internationalen Organisationen vertritt und die Politik berät.

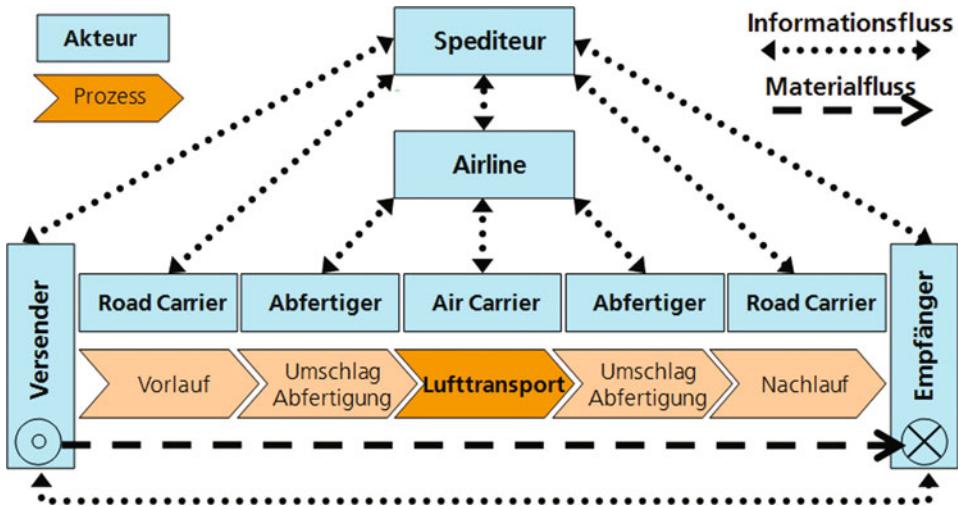


Abb. 15.9 Beteiligte in der Luftfrachttransportkette. (Frye 2003)

15.3.3 Beteiligte des Luftfrachtmarktes

Der Transport einer Sendung beginnt immer beim Versender und endet beim Empfänger. Der Transport beruht dabei in der Regel auf einem Vertrag zwischen diesen beiden Parteien. Dieser Vertrag regelt auch die Verantwortlichkeiten für den Transport. Die dafür zuständige Partei beauftragt einen Spediteur mit der Organisation und der dokumentarischen Abwicklung der Sendung. Als Organisator ist der Spediteur im Wesentlichen für die Beauftragung der Luftverkehrsgesellschaft (LVG) für den Lufttransport sowie die Beauftragung der Lkw-Transportunternehmen für die Transporte zum Ausgangsflughafen und vom Zielflughafen zuständig. Im Auftrag der LVG sind an den Flughäfen die Frachtabfertiger für die Flugvorbereitung der Fracht zuständig sowie die Bodenverkehrs-dienstleister tätig, welche den Transport vom Frachtabfertiger zum Flugzeug sowie für die Be- und Entladung des Flugzeugs übernehmen.

Eine vereinfachte Übersicht über die Beteiligten und die Vertrags- und Prozessbeziehungen untereinander zeigt nachfolgende Abb. 15.9.

Die Institutionen und Unternehmen, die z. B. für die rechtlichen und operativen Aufgaben des Luftverkehrs zuständig sind, sind hier nicht dargestellt. Ebenso bleiben solche Tätigkeiten unberücksichtigt (wie z. B. die Flugzeugabfertigung, das Catering, die Betankung oder die Wartung), die nicht unmittelbar mit der Luftfrachtabfertigung in Verbindung stehen.

Generell sind damit die folgenden fünf Kategorien von Akteuren des Luftfrachtmarktes darstellbar (vgl. Abb. 15.10).

Im Einzelfall können die Akteure unterschiedliche Ausprägungen haben (z. B. Carrier für den Luft- und den Bodentransport). Darüber hinaus können innerhalb eines Unter-

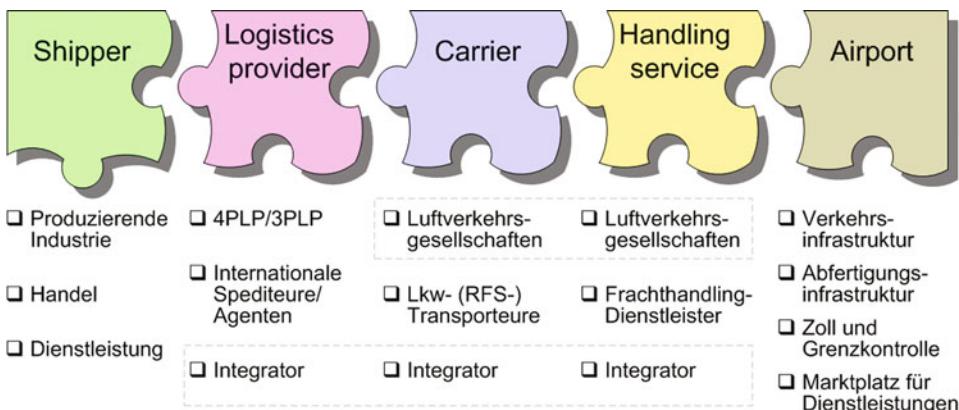


Abb. 15.10 Akteure im Luftfrachtmarkt. (Frye 2003)

nehmens jeweils Tätigkeitsbereiche verschiedener Akteure zusammengefasst („integriert“) sein, was in den wichtigsten Erscheinungsformen ebenfalls aufgezeigt ist.

Wie die Konzentration des Luftfrachtverkehrs weltweit auf wenige herausragende Verkehrsgebiete sowie Standorte (Flughäfen) ist auch bei einigen Akteuren eine hohe Konzentration der Marktanteile zu verzeichnen.

15.4 Logistische Knoten des Luftverkehrs

15.4.1 Die globalen Luftfrachtströme

Luftfrachttransporte sind über das gesamte bestehende Netz der Flughäfen und den von den Luftgesellschaften bedienten Strecken weltweit möglich. Aufgrund der Nachfrage konzentriert sich das Aufkommen jedoch auf die Transporte zwischen den drei großen Verkehrsgebieten Nordamerika, Europa und Asien-Pazifik (Abb. 15.11). Außerdem gibt es im großen Umfang Frachttransporte jeweils innerhalb dieser drei großen Verkehrsgebiete, wobei hier Nordamerika und Asien-Pazifik herausragen.

15.4.2 Standorte des Luftfrachtmarktes – Flughäfen

Flughäfen sind die wichtigsten luftfrachtspezifischen Logistikstandorte. Verkehrsträger-spezifisch konzentriert sich das weltweite Luftfrachtaufkommen besonders ausgeprägt auf eine begrenzte Anzahl Standorte. Dies zeigt die weltweite Statistik aller Verkehrsflughäfen des ACI (Airports Council International) deutlich. Einen Hinweis zur Größenordnung der Frachtmengen auf den einzelnen Standorten und deren Verteilung gibt Abb. 15.12.

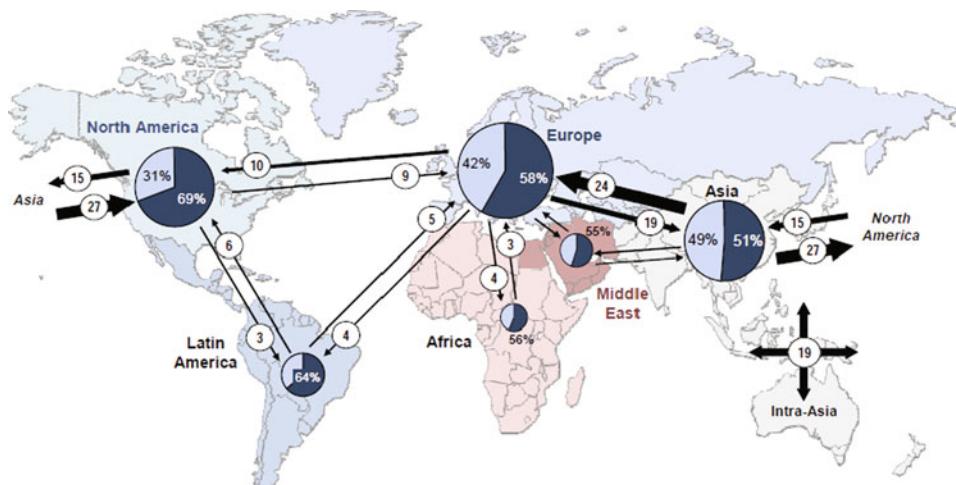


Abb. 15.11 Globale Luftfrachtströme. (Merge Global 2009)

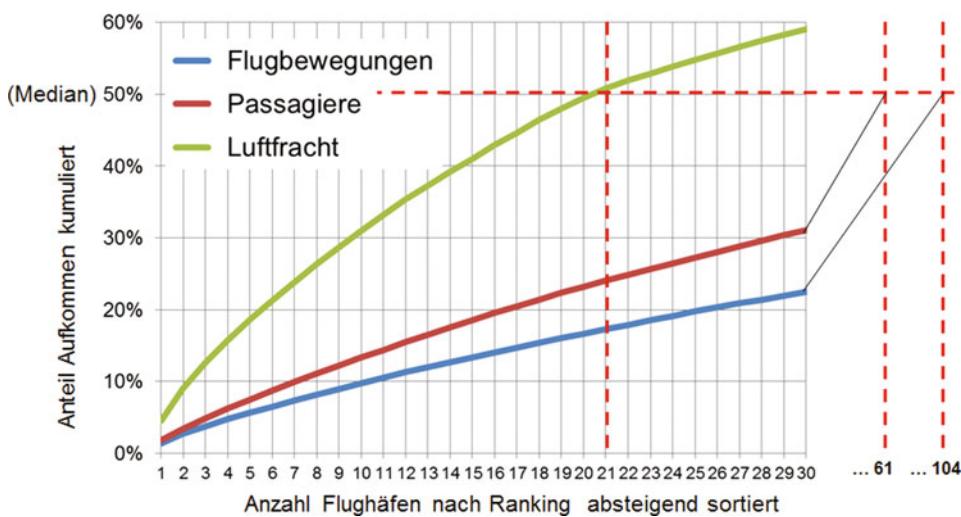


Abb. 15.12 Vergleich von Fracht- und Passagieraufkommen an Flughäfen weltweit. (Quelle: ACI 2012; 100 %: Cargo: 86,7 Mio. Tonnen, Passagiere: 4,9 Mrd., Flugbewegungen: 64,7 Mio.)

Allein die 25 größten Flughäfen leisten bereits 50 % des weltweiten Luftfrachtumschlags (Median des jeweils kumulierten Aufkommens). Dies ist eine erheblich höhere Konzentration auf die jeweils größten Flughäfen als bei Passagieren (61 Flughäfen) und Flugbewegungen (104 Flughäfen) (vgl. Frye 2012).

Die Konzentration des Aufkommens auf wenige Flughäfen ist somit bei der Luftfracht bedeutend stärker ausgeprägt als bei den Passagieren. Hier ist ausschlaggebend, dass für Luftfracht erheblich längere Anfahrtswege zum nächstliegenden Flughafen akzeptabel sind.

tiert werden und die wirtschaftlichen Vorteile durch Bündelung des Aufkommens eine hohe Priorität besitzen.

15.4.3 Infrastruktur und Funktionen des Flughafens

Ein Flugplatz ist ein definiertes Gebiet einschließlich der erforderlichen Gebäude, Anlagen und Ausrüstungen, das ganz oder teilweise für Flug- und Rollbewegungen von Luftfahrzeugen bestimmt ist (vgl. Ashford et al. 2011). Flugplätze dürfen nur mit Genehmigung angelegt oder betrieben werden. Die Genehmigungen für neue Flugplätze oder deren Erweiterung sind in Deutschland sehr aufwendig und schwierig zu erreichen. Deshalb ist die bestmögliche Nutzung der bestehenden Kapazitäten und Flächen eines Flughafens von hoher Wichtigkeit.

Flughäfen sind nach dem LuftVG (Luftverkehrsgesetz) Flugplätze mit besonderem Bauschutzbereich (nach § 12 LuftVG). Im Folgenden werden nur die Flughäfen des allgemeinen Verkehrs betrachtet, das sind die Verkehrsflughäfen:

- Flughäfen bilden den wichtigsten Bestandteil der Infrastruktur des Luftverkehrs,
- sind die Schnittstelle zwischen Land- und Luftseite: diese ermöglicht den Wechsel der Verkehrssysteme zwischen Luft (Flugzeug) und Boden (Pkw, Lkw, Bus, Bahn),
- sind Träger der Abfertigungsfunktionen im Luftverkehr
- und haben teilweise – abhängig von der Größe des Flughafens und den Absprachen mit der Flugsicherung – die Wegsicherungsfunktion für bestimmte Bereiche (Vorfeldkontrolle) zu übernehmen.

Generell unterscheidet man bei einem Flughafen die Luftseite, den Terminalbereich (zur Abfertigung von Passagieren, Gepäck, Fracht und Post) und die Landseite (vgl. Abb. 15.13). Die Luftseite insgesamt umfasst den Luftraum und die Flugbetriebsflächen. Die wichtigste Infrastruktur eines jeden Flughafens sind die Flugbetriebsflächen, die das Start-/Landebahn-System (runway), die Rollwege (taxiways) und das Vorfeld (apron) umfassen.

Die Funktionen und Aufgaben eines Flughafens insgesamt kann man wie folgt nach drei großen Bereichen unterscheiden:

Aviation

- Flugbetrieb
- Terminalbetrieb
- Sicherheitsdienstleistungen

Abfertigung (Groundhandling)

- Flugzeugservices
- Gepäckservices

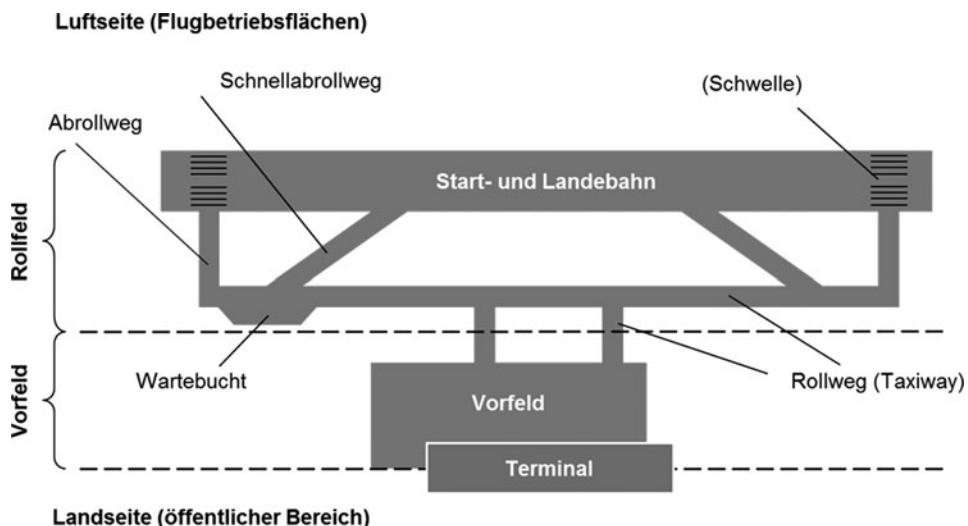


Abb. 15.13 Die wichtigsten Infrastrukturbereiche eines Flughafens

- Passagierdienste
- Frachtabfertigung

Non-Aviation

- Betrieb und Verwaltung von Immobilien, Flächen und Grundstücke
- Retailing (Gastronomie und Einzelhandel)
- Parkraummanagement

Die Luftfracht ist in unterschiedlichem Maße in allen drei Bereichen eines Flughafens relevant.

15.4.4 Struktur der Luftfrachtknoten

Die Prozesse der Luftfracht sind innerhalb der großen Flughäfen weitaus komplexer als die der Passagiere. Schon die Grundstruktur der Luftfrachtprozesse in den Umschlagknoten der intermodalen Transportketten (Abb. 15.14) ist vielfältiger als die der entsprechenden Prozesse im Passagierverkehr, welcher an einem Flughafen hauptsächlich zwischen Einsteiger, Aussteiger und Umsteiger unterscheidet. Hinzu kommt, dass innerhalb eines Flughafens die verschiedenen Partner und Wettbewerber in der Luftfracht viele separate Frachterminals und jeweils eigene Prozesse betreiben.

Trotz dieser Komplexität ist es von Vorteil, Luftfracht an großen Flughafenstandorten zu konzentrieren und zu erhalten. Die Zunahme des Frachtaufkommens insgesamt und

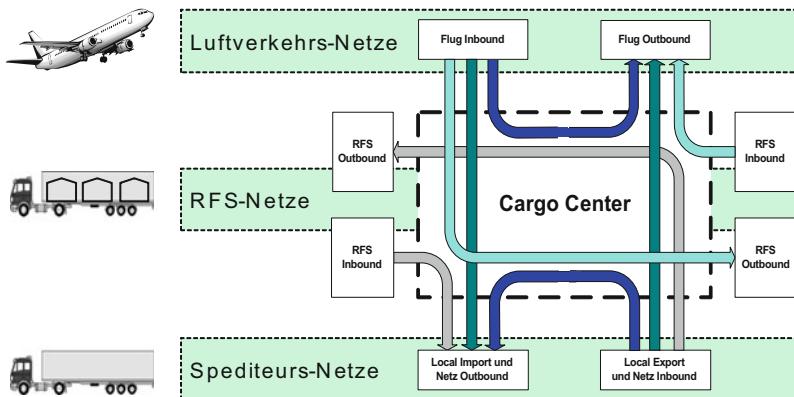


Abb. 15.14 Flughäfen als Knoten der verschiedenen Luftfrachttransportnetze. (Frye 2003)

die Bündelung des Aufkommens auf große Standorte sowie auf eine begrenzte Anzahl Strecken begünstigen zwar das Potenzial, Frachtflugzeuge effizient und wirtschaftlich einzusetzen. Der Anteil der Luftfracht auf Frachtern nimmt aktuell sogar stetig zu. Dennoch hat die Beiladung von Fracht auf Passagierflügen weiterhin eine große Bedeutung sowohl aus Sicht des Passagierverkehrs als auch aus Sicht der Luftfrachtlogistik. Die Beiladung erhöht das Angebot an Strecken und Frequenzen für Luftfracht erheblich. Viele Flüge können mit dem kombinierten Angebot entscheidend besser ausgelastet werden. Verkehrliche Engpässe durch die Frachter sind an den großen Flughafenstandorten dagegen geringer zu erwarten, da diese selbst bei einem hohen Aufkommensanteil nur einen geringen Anteil Flugbewegungen produzieren (z. B. Flughafen Frankfurt Main 2011: über 60 % des Frachtaufkommens bei weniger als 5 % der Flugbewegungen).

Somit hat die Kombination von Passage und Fracht eine große Bedeutung, doch aufgrund der genannten Konzentration des Luftfrachtmarktes nur für wenige Flughäfen.

15.4.5 Luftverkehrsabwicklung

Die wichtigste Funktion und das Alleinstellungsmerkmal eines Flughafens liegen im Bereich Aviation. Der Zuständigkeitsbereich des Flughafenbetriebs (airport airside operation) eines Verkehrsflughafens umfasst

- das S/L-System,
- die Rollwege/Rollverkehrsführung (in Absprache mit der Flugsicherung),
- die Flugzeugpositionen (Disposition und Zuweisung),
- die Gates (Disposition und Zuweisung).

Die geordnete und sichere Abwicklung des Flugbetriebs ist die Grundvoraussetzung für die Luftfrachtprozesse am Flughafen. Darüber hinaus sind nachfolgend die besondere In-

frastruktur (Gebäude und Flächen) sowie die verschiedenen Abfertigungsdienstleistungen an einem Flughafen für die Luftfracht zu betrachten.

15.4.6 Flugzeugabfertigung

Die Abfertigung der Flugzeuge erfolgt auf den Flugzeugpositionen, die über Rollwege mit dem Start- und Landebahnsystem verbunden sind. Diese Flugzeugpositionen können direkt vor den Passagierabfertigungsanlagen, vor den Frachtabfertigungsanlagen oder entfernt von diesen auf dem Vorfeld angeordnet sein.

Eine Gesamtübersicht zur räumlichen Situation auf einer Flugzeugposition während der Flugzeugabfertigung zeigt Abb. 15.15.

Alle Prozesse zur Ver- und Entsorgung des Flugzeugs sind innerhalb eines extrem begrenzten Zeitfensters von einer Vielzahl von Unternehmen und Organisationseinheiten parallel und gleichzeitig durchzuführen.

Als logistisch besonders relevanter Teil der Flugzeugabfertigung sind die Be- und Entladung von Gepäck und Luftfracht zu betrachten. Die Technik für die Be- und Entladung von Flugzeugen ist zu unterscheiden nach Geräten für den Umschlag von Flugzeug-Ladeeinheiten und loser Ladung.

Die Geräte für den Umschlag von Flugzeug- Ladeeinheiten sind besonders ausgerichtet auf

- die Bedienung der in der Lage und Höhe unterschiedlichen Ladetüren der verschiedenen Flugzeugtypen,
- die großflächige unterseitige Stützung der Flugzeug-Ladeeinheiten bei allen Transport- und Umschlagprozessen,
- einen möglichst flexiblen Einsatz im Hinblick auf wechselnde Einsatzorte, auf beengte Platzverhältnisse und auf variierende Abläufe und Reihenfolgen bei den Ladevorgängen.

Am Flugzeug werden Flugzeug-Ladeeinheiten überwiegend mittels verfahrbarem Hubplattformwagen mit ULD-Rollendeck ein- und ausgeladen. Diese Geräte werden für unterschiedliche ULD-Abmessungen, Traglasten und Hubhöhen angeboten. Ladegeräte für Luftfracht sind typischerweise für 20-Fuß-Flugzeug-Ladeeinheiten (bzw. 2 × 10 Fuß gleichzeitig) auf dem Maindeck mit maximal 25 Tonnen Nutzlast und 5,6 m Ladehöhe ausgelegt.

Die Hubplattformen werden für den Ladevorgang gegenüber dem Flugzeug möglichst nicht verfahren. Deshalb müssen die Ladeeinheiten dem Gerät zugeführt bzw. von diesem abgenommen werden.

An den meisten Flughäfen erfolgt der Transport der Fracht auf dem Vorfeld mittels in Zügen gekoppelten Anhängern (Dolly oder Trolley) mit Schlepper als Zugfahrzeug. Dies ermöglicht am einfachsten die reihenfolgegerechte Vereinzelung und Bereitstellung der Flugzeug-Ladeeinheiten am Flugzeug gemäß Ladeplanung. Außerdem ist es günstig für die

1. Tanklastzug
2. Dollies für ULD
3. Trollies für loses Gepäck
4. Zugmaschine
5. ULD-Hubplattform
6. ULD-Transporter
7. Gepäckförderband
8. Fäkalienwagen
9. Fluggastbrücke
10. Catering Lkw
11. Stromversorgung
12. Flugzeugschlepper

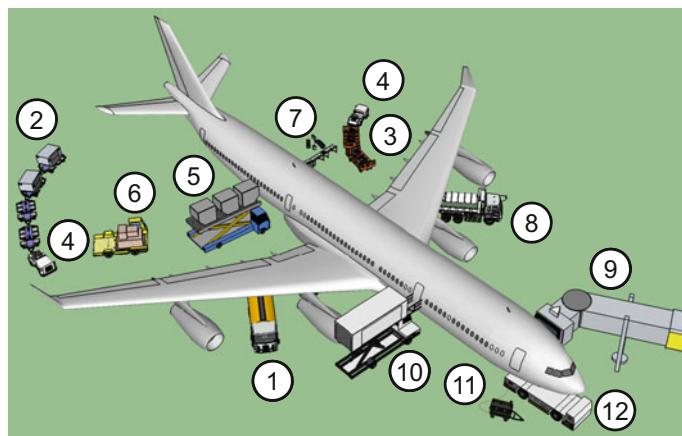


Abb. 15.15 Gleichzeitig eingesetzte Geräte bei der Flugzeugabfertigung



Abb. 15.16 Verladung von Flugzeugladeeinheiten mittels Hubplattform und mobilem Palettentransporter. (Fraport AG)

Bereitstellung einer großen Anzahl von beladenen und leeren Anhängern, ohne die Zugfahrzeuge und Fahrer über die gesamte Zeit zu binden. An einigen Flughäfen werden jedoch auch Trailer eingesetzt, die wie Sattelschlepper rückseitig andocken und laden können.

Wenn Dollies eingesetzt sind, wird effizienter und zuverlässiger jedoch ein spezieller Palettentransporter genutzt, der als mobiles Umsetzgerät die ULD angetrieben aufnimmt und abgibt. Diesen Ladevorgang zeigt Abb. 15.16.

Umfeld \ Objekt	Passagiere	Gepäck	Fracht/Post	Sonstiges
am Flugzeug	Ein- und Austeigen	Flugzeugbeladung und -entladung	Push Back, Ramp Services	
Vorfeld	Passagiertransport	Fracht-, Post- und Gepäcktransport	Security, Infrastruktur	
Gebäude	Passagierabfertigung	Gepäckabfertigung	Fracht-/Postabfertigung	Zoll, Consol, Added Services

Abb. 15.17 Gesamtübersicht der Abfertigungen am Flughafen

Insgesamt ist die Be- und Entladung von Flugzeugen mit Ladeeinheiten auch über stationäre Anlagen möglich, die fördertechnisch mit den Lager- und Abfertigungsanlagen verbunden sind. Da diese Ladeanlagen nur eingeschränkt für bestimmte Flugzeugtypen und Ladetüren sowie nur auf einer einzelnen Flugzeugposition einsetzbar sind, ist die Wirtschaftlichkeit oft nicht gegeben.

Lose Ladung wird vergleichsweise konventionell, in großem Umfang manuell ein- und ausgeladen. Wenn die Lage der Ladetür es erfordert, werden Förderbandwagen eingesetzt. Manchmal wird auch ein Gabelstapler genutzt.

Um schnelle Ladevorgänge am Flugzeug zu erreichen, werden zur Entladung eine ausreichende Anzahl leerer Transportmittel, zur Beladung möglichst große Teile der Ladung auf der Flugzeugposition vorab bereitgestellt. Im Hinblick auf die kritische Gewichtsverteilung im Flugzeug ist bei der Beladung besonders die richtige Beladereihenfolge zu berücksichtigen – durch reihenfolgegerechte Bereitstellung oder Einzelzugriff auf die einzelnen Ladeeinheiten.

15.4.7 Weitere Abfertigungsdienstleistungen

Vor dem Hintergrund, dass die Abfertigung an einem Flughafen generell dem Wechsel der Verkehrsträger Land-Luft und umgekehrt dient, finden alle Abfertigungsprozesse grundsätzlich zwischen der Land- und der Luftseite eines Flughafens statt (vgl. Abb. 15.17). Insgesamt sind die Abfertigung von Passagieren und Gepäck sowie die Abfertigung von Luftfracht und Luftpost zu unterscheiden.

In allen Fällen wird die Luftseite repräsentiert durch das für die Abfertigung bereitstehende Flugzeug auf der Flugzeugpositionsfläche.

Die Landseite wird fast immer durch ein Gebäude bestimmt, ob Passagierterminal, Fracht- oder Postumschlagterminal. Nur für die Gepäckabfertigung existiert in der Regel kein eigenes Gebäude, da deren Einrichtungen und Prozesse innerhalb des Passagierterminals integriert sind. Zudem ist in allen Fällen grundsätzlich das Vorfeld zu überwinden. Auch wenn das Flugzeug am Gebäude angedockt ist, erfolgen die meisten Ver- und Entsorgungsleistungen bezogen auf das Flugzeug über das Vorfeld. Im Falle der Außenpositionen (Positionen auf dem Vorfeld) werden auch die Passagiere mit Bussen transportiert. Somit kommt der Vorfeldlogistik eine besondere Bedeutung zu.

Im Sinne einer strukturierten Grundsystematik zeigt die tabellarische Abbildung die Objekte der Abfertigung in den Spalten und die räumlichen Bereiche der Abfertigung in den Zeilen. Ergänzt wird das Schema durch sonstige Abfertigungsleistungen, wobei die Themen Security und (zentrale) Infrastruktur z. B. als übergreifend aufzufassen sind.

15.5 Produktionsverfahren und ausgewählte Transportketten

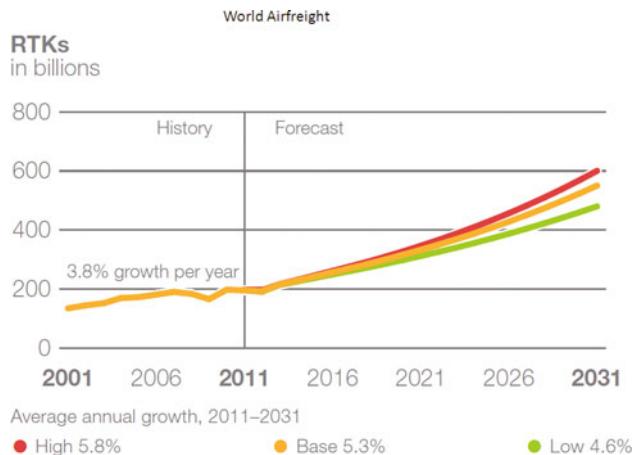
15.5.1 Der Luftfrachtmärkt

Im umfassenden Verständnis gehören zu Luftfracht – im Sinne von Ladegut für den Lufttransport (engl. air cargo) – alle Güter, die auf Linien- oder Charterflügen als Fracht, Express oder Post transportiert werden. Enger gefasst wird unter Luftfracht nur die Fracht verstanden, die nach IATA-Beförderungsbestimmungen für Frachtgut abgefertigt und transportiert wird (IATA: International Air Transport Association). Davon abzugrenzen ist die Luftpost, die nach den Bestimmungen der internationalen Postorganisationen abgewickelt wird. Getrennt zu betrachten sind auch die Ladegüter der Express- und Paketdienste, soweit sie unternehmensintern geflogen werden. Das vom Passagier aufgegebene Gepäck wird nicht zur Luftfracht gezählt.

Der Luftfrachtttransport spielt innerhalb der Transportketten des globalen Warenaustausches von Industrie und Handel eine immer größere Rolle. Im interkontinentalen Verkehr transportiert entweder das Flugzeug oder das Seeschiff. Bei kontinentalen Verkehren – beispielsweise innerhalb der USA oder Europa – konkurriert das Flugzeug mit dem Lkw und der Bahn.

Während der Luftverkehr früher nur für die Beförderung von besonders hochwertiger Fracht und den schnellen Transport in Ausnahmefällen genutzt wurde, deckt sein Einsatz heute das regelmäßige Aufkommen eines breiten Spektrums von Gütern und Transportaufgaben ab. In der dezentralen Produktion und der Verteilung zwischen den Produktionsstätten vieler Unternehmen über die ganze Welt hat die Luftfracht einen festen Platz. Nach aktueller Schätzung der Oxford Group (Oxford Economics 2012) erfolgen zwar nur rund 0,5 % der weltweiten Warenbewegungen als Luftfracht, diese machen jedoch über ein Drittel des Warenwertes des Welthandels aus. Konjunkturschwankungen in den verschiedenen Industrieregionen der Welt spiegeln sich dem entsprechend ausgeprägt im jeweiligen Luftfrachtaufkommen wider.

Abb. 15.18 Aufkommensentwicklung Luftfracht weltweit in Milliarden Tonnen kilometern. (Boeing 2012)



Globale Luftfrachtprognosen werden regelmäßig von Airbus Industrie (Airbus Global Market Forecast) und Boeing (Boeing World Air Cargo Forecast) herausgegeben. Viele Jahrzehnte wurde ein durchschnittliches jährliches Wachstum des gesamten Luftfrachtaufkommens von rund 6 % verzeichnet. Auch die aktuellen Prognosen lassen eine weiterhin über dem Wirtschaftswachstum liegende Aufkommensentwicklung erwarten (vgl. Abb. 15.18).

Ein spezielles Segment der Luftfracht ist die Expressfracht mit einem in den letzten Jahren nochmals höheren Wachstum als die übrige Luftfracht. Dies heißt, dass zusätzlich zur Mengenentwicklung auch die zeitlichen Anforderungen an die Luftfracht steigen.

Generell ist zu beachten, dass für Luftfrachtstatistiken sehr verschiedene Zählweisen und Dimensionen zu unterscheiden sind:

- Tonnenkilometer pro Jahr als die Transportleistung, die von den Luftverkehrsgesellschaften erbracht wird. Diese Zählweise ist auf die Nutzung der Transportkapazität in der Luft ausgerichtet.
- Tonnen pro Jahr bezogen auf die Sendung. Hier wird die Frachtmenge auf dem Weg vom Sender zum Empfänger nur einmal gezählt.
- Tonnen pro Jahr bezogen auf Ankunft und Abflug auf den Flughäfen. Hier wird die Frachtmenge pro Transportabschnitt zweimal gezählt, ein mehrstufiger Lufttransport also entsprechend häufiger, da der Transfer bzw. Transit jeweils doppelt gezählt wird.

15.5.2 Güter der Luftfracht

Insgesamt können alle Güter – soweit sie in Flugzeuge verladbar sind – in der Luft transportiert werden. Besonders bedeutend sind hochwertige Güter aus den Branchen Maschinenbau, elektronische Industrie, Chemie und Automobilindustrie. Diese Güter,

wie Maschinen, Computer, Medikamente, Ersatzteile und Textilien, werden auf fast jedem Flughafen abgefertigt. Charakteristisch für die Luftfracht sind:

- sehr hohe Transportkosten in der Luft,
- eine geringe Transportkapazität im Vergleich zu anderen Verkehrssträgern,
- geringe Verpackungskosten für die einzelnen Sendungen,
- kurze Transportzeiten in der Luft,
- und eine geringe Netzdichte, aufgrund der Bindung an Flughafenstandorte.

15.5.3 Zeit-, mengen- und preisdefinierte Frachtprodukte

Wesentliche Produkt-Klassifizierungen beziehen sich auf definierte zeitliche Zusagen zu meist in Verbindung mit Gewichtsrestriktionen, für die unterschiedliche Raten verlangt werden. Diese werden von verschiedenen Luftfrachttransportdienstleistern (Luftverkehrsgesellschaften bzw. Luftfracht-Carrier) unter verschiedenen Bezeichnungen ähnlich definiert und angeboten.

Die logistischen Anforderungen steigen mit den vereinbarten Produkt-Zusagen. Durch differenzierte Preisbildung und Mengenrestriktionen sind jedoch die Aufkommensanteile höherwertiger und aufwendiger Frachtprodukte steuerbar. Abhängig von der variablen Produktdifferenzierung ergeben sich unterschiedliche Teilmengen von Fracht mit verschiedenen Abfertigungsanforderungen.

Express-, Premium- und Kuriergüter erfordern eine besonders schnelle Abfertigung und die Sicherstellung der zugesagten Beförderungsgarantie. Am Flughafen werden diese Güter oft mit besonders kurzen Anlieferungsfristen vor dem Abflug separat von der Standardfracht abgefertigt.

Eine wichtige Rolle spielt auch die Konsolidierung des Luftfrachtaufkommens durch die Agenten und Spediteure, die den zeitlichen Vorlauf zum Teil verlängern. Durch die Bündelung der Nachfrage verschiedener Versender werden Mengen so zusammengeführt, dass ein ausreichendes und stetiges Aufkommen für die Transportanbieter des Luftransports erzielt werden. Durch ein optimales Volumen-Gewichts-Verhältnis (Density), indem die verschiedensten Sendungen bestmöglich kombiniert werden, optimieren die Agenten und Spediteure dabei ihre Raten gegenüber den Carriern erheblich.

15.5.4 Sonderfracht

Bestimmte Güter benötigen aufgrund ihrer Eigenschaften oder besonderer Anforderungen eine jeweils spezielle Einrichtung und Behandlung. Wichtige Arten von Sonderfracht sind gefährliche Güter, verderbliche Güter, Wertfracht und lebende Tiere.

Beim Transport von gefährlichen Gütern (Dangerous Goods) sind besondere Vorschriften zur Sicherung, Verladung und Kennzeichnung zu erfüllen. Zu diesen Gütern gehören:

radioaktive Stoffe, brennbare und entzündliche Flüssig- und Feststoffe, gefährliche Gase, giftige Substanzen usw. Dangerous Goods werden in besonderen Einrichtungen und Verfahren umgeschlagen. Verpackungen und Container müssen deutlich gekennzeichnet sein.

Verderbliche und temperaturempfindliche Güter (Perishables) sind Blumen, Obst, Fleisch Fisch oder Medikamente. Diese Waren müssen schnell umgeschlagen und in temperaturgeführten Lägern untergebracht werden. Besonders Fleisch und Pflanzen unterliegen einer strengen Kontrolle durch die Behörden.

Als Wertfracht werden besonders diebstahlgefährdete und sicherheitsbedürftige Güter wie Geld, Wertpapiere, Kunstgegenstände, Schmuck und Edelmetalle behandelt, die in besonderen Sicherheitseinrichtungen und mit besonderen Sicherungsvorkehrungen abgefertigt und aufbewahrt werden müssen.

Der Lufttransport von Tieren erfolgt in speziellen Lademitteln. Am Boden sind die Tiere in der Tierstation des Flughafens zu versorgen und für den Flug vorzubereiten.

15.5.5 Gutstruktur

Sehr große Auswirkungen auf den Abfertigungsaufwand haben die physischen Guteigenschaften, besonders die Gewichte und Abmessungen der Frachtstücke und Umschlagseinheiten. Die spezifischen Gewichte sind sehr schwankend und stark abhängig von den Strecken und Märkten. Die zulässigen Abmessungen für Luftfracht werden nur durch den Laderaum des Flugzeugs und dessen Zugänglichkeit begrenzt.

Aufgrund der sehr großen Inhomogenität der Luftfracht sind in der physischen Abfertigung hohe Anforderungen zu bewältigen. Vor allem sind die Handhabungsvorschriften zu erfüllen, die der Luftsicherheit dienen. Hinzu kommt, dass die Optimierung von Volumen- und Gewichtsauslastung (Density) bezogen auf den Laderaum des Flugzeuges wirtschaftlich entscheidend ist. Für die bestmögliche Auslastung der Laderäume sind pro Kubikmeter Ladevolumen 150–200 kg Ladungsgewicht anzustreben.

15.5.6 Prozesse der gesamten Transportkette

Die Luftfrachtrransportkette umfasst die gesamte Prozesskette vom Versender bis zum Empfänger. Der Frachtrtransport durch das Flugzeug stellt als Hauptlauf nur einen Teil der Strecke vom Versender bis zum Empfänger dar. Als Vor- und Nachlauf sind dem Lufttransport die Zuführ-, Sammel- und Verteilprozesse vor- und nachgelagert.

Luftfracht wird durch eine hohe Arbeitsteiligkeit und die damit einhergehende große Anzahl an Prozessbeteiligten wie Airlines, Speditionen, Lkw-Transporteure, Bodenverkehrsdienstleister und Frachtabfertiger charakterisiert.

15.5.7 Prozesse im Vor- und Nachlauf

Auf Basis der vertraglichen Regelungen mit dem Empfänger verpackt der Versender die Sendung und erstellt die notwendigen Begleitdokumente. Der Fluss der Informationen (zumeist in Form von Dokumenten) verläuft parallel zum Frachtfloss.

Nach Bereitstellung der Sendung beim Versender hat der Spediteur mehrere Möglichkeiten, die Güter zum Frachtabfertiger zu bringen. Diese sind abhängig von der Ausgestaltung des Transportnetzes der Spedition. Überwiegend ist heute eine Hub-and-Spoke-Netz struktur anzunehmen, d. h. die Spedition unterhält regionale Niederlassungen (Spokes), in denen die Güter zuerst gesammelt werden.

Im nächsten Schritt werden die Luftfrachtsendungen einer Niederlassung zum nationalen oder kontinentalen Speditions-Hub gebracht. Im Hub werden alle Sendungen ziel rein gebündelt und dann dem Frachtabfertiger übergeben. Sofern die Menge ausreichend ist, findet im Speditions-Hub auch schon der Build-Up der Flugzeug-Ladeeinheiten statt.

Durch die Bündelung und den Build-Up kann der Spediteur günstigere Luftfrachtraten erzielen. Im Regelfall wird eine Sendung vom Versender über die Speditions-Niederlassung und den Hub transportiert. Für Großkunden oder dringliche Sendungen ist es auch möglich, eine Sendung vom Versender oder von der Niederlassung direkt zum Frachtabfertiger zu befördern.

Eine Luftfrachtsendung wird speditionsintern unter einem eigenen Luftfrachtbrief, dem House-AirWayBill (HAWB), geführt. Die gebündelten Sendungen werden am Abgangsflughafen dem Frachtabfertiger mit einem von der LVG vergebenen Luftfrachtbrief, dem Air Way Bill (AWB), übergeben.

Am Zielflughafen empfängt der Frachtabfertiger alle Luftfrachtsendungen eines Flugs und vereinzelt die Sendungen. Vom Zielflughafen wird das dortige Speditionsnetz in umgekehrter Reihenfolge bis zum Empfänger durchlaufen.

Als eigentliche Vor- und Nachlauftransporte gelten die Anlieferungen der Luftfracht vom Versender zum Flughafen und die Auslieferungen vom Flughafen an den Empfänger. Diese Transporte werden im Auftrag des Spediteurs durchgeführt.

Die Zustellung und Abholung zu und von den Flughäfen ergänzen den Lufttransport zu einer vollständigen Transportleistung für den Verlader bzw. Versender. Die Anlieferung und Auslieferung der Luftfrachtsendungen im Vor- und Nachlauf wird überwiegend jeweils durch den Luftfrachtspediteur im Auftrag des Versenders oder Empfängers organisiert und durchgeführt. Diese Vor- und Nachlauftransporte werden fast ausschließlich auf der Straße durchgeführt.

Der Vor- und Nachlauf zwischen den Flughäfen erfolgt als Luftfrachtersatzverkehr mit Lkw überwiegend im regelmäßigen Linienverkehr im Auftrag der Luftverkehrsgesellschaften. Die Sendungen haben dann den Status der Luftfracht. Meist werden komplett Flugzeug-Ladeeinheiten mit speziellen Lkw befördert, zum geringeren Teil auch lose Ladung. Der Luftfrachtersatzverkehr wird auch als Road-Feeder-Service (RFS) oder Trucking bezeichnet.

Auch bei den Speditionstransporten steigt das Bestreben, möglichst ganze Flugzeug-Ladeeinheiten zu transportieren. Dieser Anteil ist in den letzten 15 Jahren kontinuierlich gestiegen. Die Marktkonzentration zugunsten großer Speditionen und die Bildung von Ladegemeinschaften kleinerer und mittlerer Speditionen begünstigen diese Entwicklung. Spediteure betreiben eigene Hubs an Flughäfen, in denen das Aufkommen konsolidiert und komplett Flugzeug-Ladeeinheiten gebaut werden. Damit verwischen sich die Grenzen zwischen den Transporten der Luftverkehrsgesellschaften und denen der Luftfrachtspediteure zunehmend.

15.5.8 Prozesse im Hauptlauf

Der Frachtabfertiger der Luftverkehrsgesellschaft (LVG) bildet die Schnittstelle zwischen dem Luftverkehr (Luftseite) und dem Landverkehr (Landseite). Er übernimmt neben den dokumentarischen Tätigkeiten für die LVG die Pufferung und Sortierung der angelieferten Frachtsendungen und die physische Flugvorbereitung – insbesondere den Build-Up der Flugzeug-Ladeeinheiten.

Luftseitig ankommende Sendungen werden nach dem Break-Down bis zur Abholung durch den Spediteur zwischengelagert. Am Hub einer LVG gibt es zudem Transfersendungen, die luftseitig ankommen und mit einem anderen Flug weiter befördert werden.

Die Transportnetze der Luftverkehrsgesellschaften sind ebenfalls nach dem Hub-and-Spoke-Prinzip aufgebaut. Von kleineren Flughäfen werden die Sendungen zu den großen Hubs gebracht und von dort zum Zielflughafen oder – sofern der Zielflughafen von diesem Hub nicht angeflogen wird – zu einem anderen Kontinental-Hub der LVG transportiert. Die gesamte Luftfrachtbranche konzentriert sich damit im Linienverkehr auf Hub-and-Spoke-Strukturen.

15.5.9 Luftfracht am Flughafen

Der Übergang zwischen dem Land- und Luftverkehr erfolgt an den Flughäfen. Die Gesamtübersicht zeigt die wesentlichen Schnittstellen und Prozesse des Frachtumschlags in den Luftfrachterminals eines Flughafens sowie dessen Einbindung in die umgebenden frachtbezogenen Flughafenprozesse (Vgl. Abb. 15.19).

Die wichtigsten Teilprozesse des Frachtumschlags bezogen auf den gesamten Flughafen sind neben der Frachtabfertigung in den Frachterminals der Vorfeldtransport und die Flugzeugabfertigung.

Die spezifischen Anlagen und Einrichtungen für den Luftfrachtumschlag sind auf größeren Flughäfen in Luftfrachtzentren zusammengefasst. Luftfrachtzentren bieten die verschiedenen Abfertigungs- und Umschlagdienstleistungen gebündelt an.

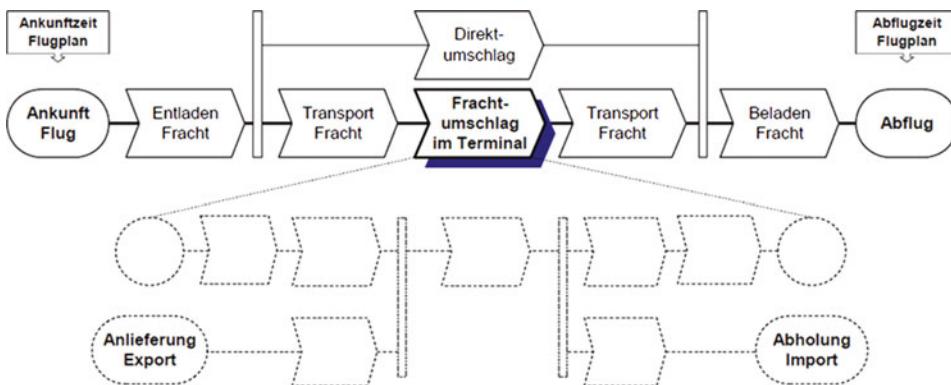


Abb. 15.19 Frachtroutenfluss am Flughafen. (Frye 2011)

Die Abfertigung von Luftfracht am Flughafen erfolgt durch die Luftverkehrsgesellschaft selbst oder durch einen von dieser beauftragten Luftfrachtabfertiger. Die Spediteure sind ebenfalls in den Frachtzentren vertreten, wobei eine zunehmende Wertschöpfung und Integration der Speditionsleistungen innerhalb der Frachtzentren zu verzeichnen ist. Eine wichtige Rolle spielt für alle Beteiligten der Zoll, der für die Fracht eigene Dienststellen unterhält.

15.5.10 Luftfrachtanlagen

Der eigentliche Umschlag und die Abfertigung von Luftfracht finden innerhalb des Frachtzentrums eines Flughafens in den einzelnen Frachtanlagen statt. Die Frachterminals und deren Freiflächen für den Umschlag und die Abfertigung von Luftfracht stellen zusammen die Luftfrachtanlagen dar (Abb. 15.20).

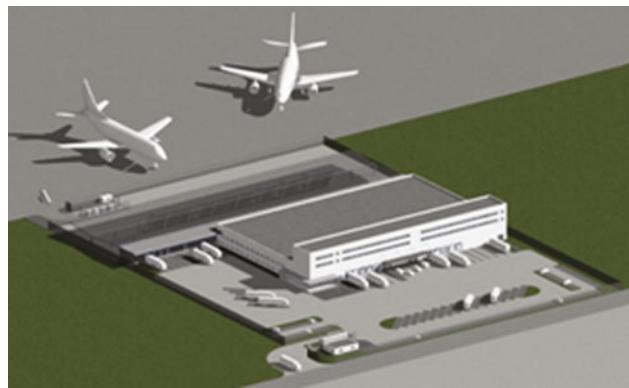
Generell unterscheidet man

- die Landseite (Flächen zur Anlieferung und Abholung durch Lkw)
- die Luft- bzw. Vorfeldseite (Flächen für die Bereitstellung und den Transport zur Be- und Entladung der Flugzeuge)
- das eigentliche Luftfrachtgebäude.

Die Kapazität von Luftfrachtanlagen ist für allgemeine Vergleiche zweckmäßigerweise auf die Gebäudegrundfläche zu beziehen. Abhängig von typischen Aufkommenspitzen, Direktumschlaganteil, Anzahl Gebäudeebenen, Technikeinsatz und Abfertigungsverfahren sind bestehende und geplante Anlagen mit spezifischen Kapazitätswerten zwischen 4 und 40 t/qm/Jahr zu finden.

Wesentliche Unterscheidungsmerkmale von Anlagen sind, ob sie als Kopfstation nur für Import- und Exportprozesse oder als Drehscheibe (Hubterminal) zusätzlich für Transfer-

Abb. 15.20 Luftfrachtanlage
an einem Flughafen



und Transitprozesse eingerichtet sind. Letztere haben hinsichtlich der Größenordnung oft eine herausragende Rolle innerhalb eines Streckennetzes und sind baulich sowie technisch besonders aufwendig eingerichtet.

15.5.11 Luftfrachtabfertigung

Bezogen auf eine Frachtanlage werden drei Umschlagprozesse für Luftfracht unterschieden:

- Export: Annahme der Fracht auf der Landseite und Ausgang zum Flugzeug.
- Import: Eingang der Fracht vom Flugzeug und Auslieferung auf der Landseite.
- Transfer bzw. Transit: Eingang der Fracht vom Flugzeug und Ausgang (Weiterleitung) zum Flugzeug.

Dieser Umschlag kann als direkter Umschlag von Ladeeinheiten (ULD-Direktumschlag) oder über die Abfertigung in einem Luftfrachterminal erfolgen (vgl. Abb. 15.21).

Die zentralen Aufgaben der Luftfrachtabfertigung (dokumentarisches und physisches Luftfrachthandling) sind die Vorbereitung, Zusammenstellung und Herstellung der Flugzeugladung sowie deren Auflösung, Sortierung und Verteilung einschließlich deren Dokumente. Die für die Luftfracht besonders spezifische Abfertigungstätigkeit ist der Aufbau (Build-up) und der Abbau (Break-down) von Flugzeug-Ladeeinheiten (ULD). Die Arbeitsstationen hierfür stellen die Baustellen dar, auf denen die flugzeugspezifischen Ladeeinheiten manuell bearbeitet werden. Sie bilden die Schnittstellen zu den innerbetrieblichen Transport- und Lagerprozessen.

Auf der Landseite erfolgt die Abfertigung der Lkw. Dort wird die Entladung und Beladung von losen Frachtstücken und palettierten Sendungseinheiten meist über Laderampen abgewickelt.

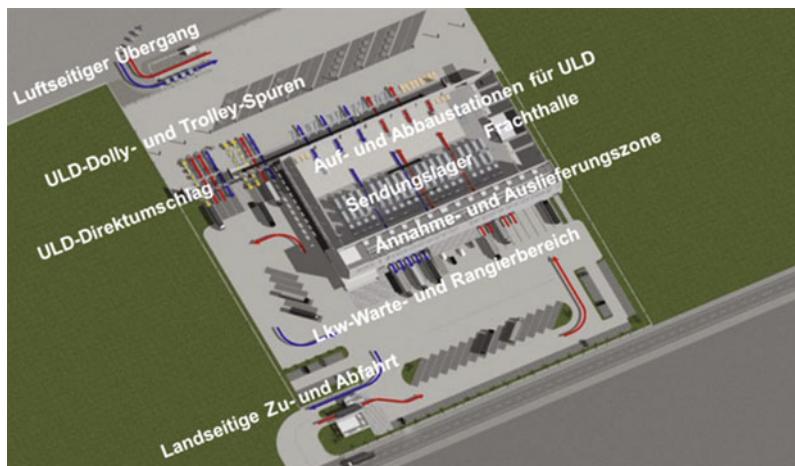


Abb. 15.21 Frachtflüsse und Funktionsbereiche in einem Luftfrachterminal

Die Be- und Entladung der Lkw mit Flugzeug-Ladeeinheiten erfolgt über spezielle Lkw-Abfertigungseinrichtungen, die im Prinzip als Hubtische mit ULD-Rollendecks ausgeführt sind.

Die für die Fracht eingesetzten Läger dienen in erster Linie dem zeitlichen Ausgleich und der Ordnung. Generell werden zwei Typen von Lägern unterschieden: Sendungslager für loses Stückgut und ULD-Lager für komplette Flugzeug-Ladeeinheiten. Lagersysteme für Flugzeug-Ladeeinheiten gehören zu den auffälligsten Systemen, die spezifisch für den Luftfrachttumschlag eingesetzt werden. Mehrstöckige ULD-Lagersysteme erlauben eine erhebliche Reduzierung des Flächenbedarfs für die Lagerung der ULD. Nachteilig ist jedoch, dass die Lagerung hier zusätzliche Umschlagvorgänge erfordert. Und aufgrund der luftfrachtypischen Aufkommenspitzen haben diese regelmäßig hohe Spitzenlasten. Kritisch ist dies insbesondere für die Auslagerung (zum Flug). Ausreichend hohe Leistungsreserven der Schwerlasttechnik für den ULD-Umschlag erfordern hohe Investitionen, die nur in wenigen Fällen wirtschaftlich auszulasten sind.

15.5.12 Informationssysteme

Die zentralen Systeme in der Luftfracht sind die Reservierungs- und Buchungssysteme, die von den verschiedenen Luftverkehrsgesellschaften unterhalten werden (vgl. Grandjot et al. 2007).

Die typischen Funktionen dieser Systeme sind

- die Buchung und Reservierung,
- die dokumentarische Abwicklung,
- die Disposition der Laderäume und Flüge,
- die Tarif- und Ratenberechnung,

- die Sendungsverfolgung,
- das physische Frachthandling,
- die Abrechnung,
- die Aufbereitung von Informationen und Statistiken.

An diese Systeme sind jeweils alle Stationen im Netz einer Luftverkehrsgesellschaft angeschlossen. Mit Hilfe dieser Systeme erfolgt die Disposition, Steuerung und Verwaltung des Transportes der Frachtsendungen und der eingesetzten Transportkapazitäten – mit Schwerpunkt auf den Laderaum des Flugzeuges – ausgehend von den Reservierungs- und Buchungsinformationen über Statusinformationen des Transportverlaufes bis zur Abrechnung nach Abschluss des Transports.

Die sogenannten Frachtabfertigungssysteme unterstützen die dokumentarische und physische Frachtabfertigung am Boden. Deren wichtigsten Funktionen sind

- Datenerfassung und -abgleich bei Anlieferung,
- Datenabgleich (Check in) bei der Eingangsabfertigung,
- Lagerverwaltung,
- Ladevorbereitung und Manifestierung (Erstellung Ladeliste) bei der Ausgangsabfertigung,
- Zollabwicklung bei Auslieferung.

Abfertigungssysteme haben Schnittstellen zu den weltweiten Reservierungs- und Buchungssystemen, Weight and Balance, den Systemen des Flughafens, der Speditionen und des Zolls. Die mobile Datenerfassung und -übertragung spielen eine zunehmende Rolle.

Wichtige Steuerungs- und Optimierungsaufgaben sind:

- Prioritätsgesteuerte Eingangsabfertigung,
- Vorausschauende Ausgangsabfertigung,
- Monitoring von kritischen Prozessen,
- Verbesserung der Auslastung der Abfertigungsressourcen.

Da im Luftverkehr vergleichsweise früh EDV eingeführt wurde, sind inzwischen viele existierende Systeme veraltet. Vielfach steht die Umrüstung auf moderne IT an, die die Erfüllung neuer Anforderungen insbesondere im Hinblick auf Informationsaustausch, Vernetzung und Anpassungsfähigkeit erlaubt.

Auch bei der Kommunikation und Optimierung der Prozesse zwischen den verschiedenen Akteuren besteht noch Handlungsbedarf (vgl. Clausen et al. 2013). Das Bestreben ist hier, z. B. über Standardisierung und gemeinsame Plattformen mittels unabhängige Kommunikations- und Informationsdienstleister, den Datenaustausch zwischen Luftverkehrsgesellschaften, Abfertigern, Spediteuren, sonstigen Dienstleister sowie Empfängern und Versendern zu verbessern.

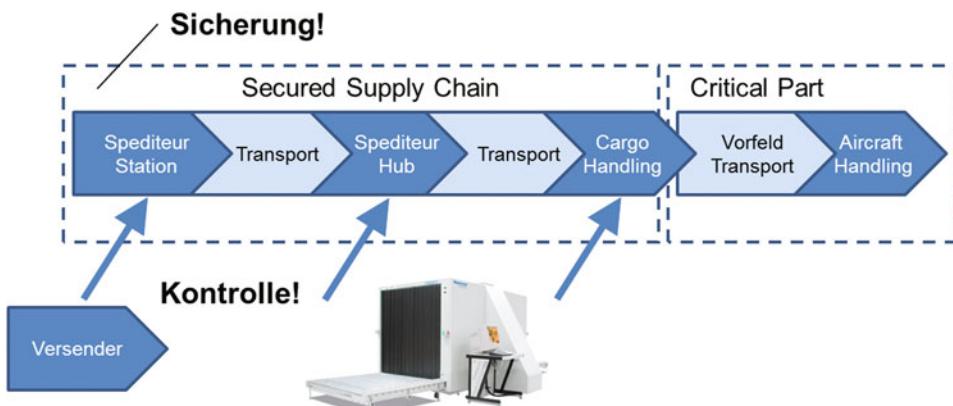


Abb. 15.22 Kontrolle und Sicherung des Sicherheitsstatus

15.5.13 Sicherheit im Luftverkehr

Auf Grund des hohen Symbolcharakters besteht eine hohe terroristische Bedrohung des Luftverkehrs. Die Legislative hat mit immer neuen Vorschriften auf sich ändernde Bedrohungsszenarien reagiert und die Kontrollen sukzessive verschärft. Für den Luftfrachtverkehr besteht die Bedrohung vor allem darin, dass Explosivstoffe mit dem Ziel eingeschleust werden mit dem Ziel, ein Bombenattentat auf ein Flugzeug zu verüben. Da über die Hälfte des weltweiten Luftfrachtaufkommens mit Passagiermaschinen transportiert wird, ist diese Bedrohung der für Gepäckstücke gleichzusetzen.

Die rechtlichen Grundlagen umfassen internationale Abkommen, die Richtlinien und Verordnungen der Europäischen Union sowie das geltende deutsche Recht. Eine ebenfalls hohe Bedeutung haben die Maßnahmen und Programme der USA, da der Warenaustausch mit den USA einen hohen Anteil am Export der Bundesrepublik hat.

Auf europäischer Ebene wurden die Maßnahmen zur Luftsicherheit durch EU-Verordnungen vereinheitlicht und präzisiert. Die Verordnung 300/2008 sieht Verfahren vor, die einer gegenseitigen Anerkennung der Luftsicherheitsmaßnahmen und -verfahren mit Drittländern (und insbesondere den USA) entgegen kommen.

In der gesamten Luftfrachttransportkette ist das Zusammenwirken aller geforderten Einzelmaßnahmen auf die zwei Grundsätze der Sicherheitsmaßnahmen im Luftfrachtverkehr auszurichten (vgl. Abb. 15.22):

1. Grundsatz: Die gesamte Fracht und alle Kurier- und Expresssendungen, die mit Passagier- oder Frachtflugzeugen befördert werden sollen, sind vor Verladung in das Luftfahrzeug Sicherheitskontrollen zu unterziehen.
2. Grundsatz: Nach Abschluss der Sicherheitskontrollen, innerhalb oder außerhalb des Flughafengeländes, ist der Sicherheitsstatus bis zur Verladung in das Luftfahrzeug sowie weiter bis zum Start beizubehalten.

In der Luftfrachttransportkette wurde für Speditionen und Dienstleister die Möglichkeit der Zulassung als Reglementierter Beauftragter"(Regulated Agent) eingeführt, zudem der Status des bekannten und geschäftlichen Versenders.

- An erster Stelle ist das Luftfahrtunternehmen, das Luftfahrzeuge mit mehr als 5,7 Tonnen Höchstgewicht betreibt, auf Sicherheitsmaßnahmen zum Schutz des Luftverkehrs vor unrechtmäßigen Angriffen verpflichtet.
- Der reglementierte Beauftragte ist ein Spediteur oder Dienstleister, der durch die zuständige Behörde – in Deutschland das LBA – zugelassen und kontrolliert wird.
- Der bekannte Versender wird ebenfalls durch die zuständige Behörde zugelassen. Die von diesem aufgegebene Fracht gilt als sicher und muss nicht noch einmal kontrolliert werden.
- Der sogenannte geschäftliche Versender wird von einem reglementierten Beauftragten benannt. Für dessen Fracht gilt ein eingeschränkter Sicherheitsstatus, sie darf ohne weitere Kontrolle z. B. nur auf Frachtflugzeugen geflogen werden.

Sendungen, die nicht von einem Reglementierten Beauftragten oder Bekannten Versender stammen, müssen aufwendig kontrolliert werden. Dies kann durch jeden Akteur in der Transportkette erfolgen, der den Status des Reglementierten Beauftragten hat. Für die Kontrolle gibt es verschiedene Möglichkeiten: die physische Durchsuchung von Hand, die Durchleuchtung und die Spurendetektion. Die zulässigen Kontrollmethoden sind in der EU 300/2008 geregelt.

Literatur

- ACI (2012) Airports Council International (ACI). ACI preliminary traffic results 2011, Montreal
Ashford N, Mumayiz S, Wright P (2011) Airport Engineering. John Wiley & Sons, Hoboken/New Jersey
- Boeing (2006) Point-to-Point – Financial Trends. In: Commercial Aviation, Volume 1, Issue 3. www.boeingcapital.com/p2p/archive/03.2006/747_8_Freighter.htm. Accessed 4. März 2013
- Boeing (2009) Start-up-Boeing: Boeing Freighter Information – 747-8 Freighter – Interior Arrangements. www.boeing.com/commercial/startup/747-8f.html. Accessed 4. März 2013
- Boeing (2012) World Air Cargo Forecast 2012–2013,Boeing Commercial Airplanes, Seattle, www.boeing.com/commercial/cargo
- Clausen U, Frye H, Sieke H (2013) Integrated Air Cargo Hub (IACH) – The Air Cargo Transport Chain of the Future. In: Clausen U, ten Hompel M, Klumpp M (eds) Efficiency and Logistics, Springer, Berlin, pp. 63–69
- Frye H (2003) Luftfracht im Wandel. In: Verein Deutscher Ingenieure (VDI): Wie verändern neue Hub- und Netzstrategien das Verhältnis von Speditionen, Airlines, Airports und Abfertigungen? VDI, Düsseldorf
- Frye H (2011) Flächenbezogene Optimierung von Luftfrachterminals. 2nd edn. Praxiswissen, Dortmund

- Frye H (2012) Luftfracht als Wirtschafts- und Standortfaktor. In: DVWG: Perspektive Mobilität – Herausforderungen im gesellschaftlichen Wandel. DVWG, Berlin, pp. 158–165
- Grandjot HH, Roessler I, Roland A (2007) Air Cargo Guide. 2nd edn. Huss, München
- IATA (2012) International Air Transport Association (IATA): World Air Transport Statistics (WATS), Montreal
- Merge Global (2009) Global Air Freight: Demand Outlook and its Implications. www.cnsc.net/Documents/Brian%20Clancy%20The%20Future%20of%20Global%20Air%20Freight.pdf. Accessed 16 November 2012
- Oxford Economics (2012) ATAG (Air Transport Action Group): Aviation Benefits beyond Borders, Geneve 2012; www.atag.org

Jan Kaffka

Unter dem Begriff Kombinierter Verkehr wird der Transport eines Gutes verstanden, bei dem mindestens zwei unterschiedliche Verkehrsträger, die nacheinander genutzt werden, zum Einsatz kommen. Das Gut verbleibt während des gesamten Transports in derselben Transporteinheit. Im Rahmen der Transportkette erfolgt somit mindestens ein Umschlag. Der Umschlag umfasst nach DIN 30781 die Gesamtheit der Förder- und Lagervorgänge beim Übergang der Güter auf ein Verkehrsmittel, beim Abgang der Güter von einem Verkehrsmittel und beim Verkehrsmittelwechsel der Güter. Auf der langen Distanz, dem Hauptlauf der Transportkette, kommen Schienen- oder Wassertransportmittel zum Einsatz. Wohingegen die Abhol- und Zustellverkehre, der Vor- und Nachlauf der Transportkette, von LKW übernommen werden. (Bukold 1996, S. 22; Lucke et al. 2012, S. 347; DIN 30781 Teil 1, S. 3) Durch eine solche sinnvolle Kombination der Verkehrsmittel werden die Vorteile der einzelnen Fahrzeuge miteinander verknüpft. Zudem wird durch die durchgehende Transporteinheit eine Vereinfachung der für den Transport notwendigen Verladungen angestrebt. (Pfohl 2010, S. 160)

Als Transporteinheit im Kombinierten Verkehr kann sowohl die Ladeeinheit an sich als auch die Ladeeinheit in Kombination mit ihrem Transportmittel verstanden werden (Lampe 2006, S. 7). Güter, die zum Zwecke des Umschlags durch einen Ladungsträger zusammengefasst sind, werden nach DIN 30781 als Ladeeinheit (LE) bezeichnet. Die Ladeeinheiten werden oft nach dem betreffenden Ladungsträger benannt und sind in der Regel genormt. (DIN 30781 Teil 1, S. 2)

Der Kombinierte Verkehr lässt sich in Unbegleiteten Kombinierten Verkehr und Begleiteten Kombinierten Verkehr (siehe Abb. 16.1) unterteilen (Lampe 2006, S. 7).

J. Kaffka (✉)

Institut für Transportlogistik, TU Dortmund, Leonhard-Euler-Straße 2, 44227,
Dortmund, Deutschland
E-Mail: kaffka@itl.tu-dortmund.de

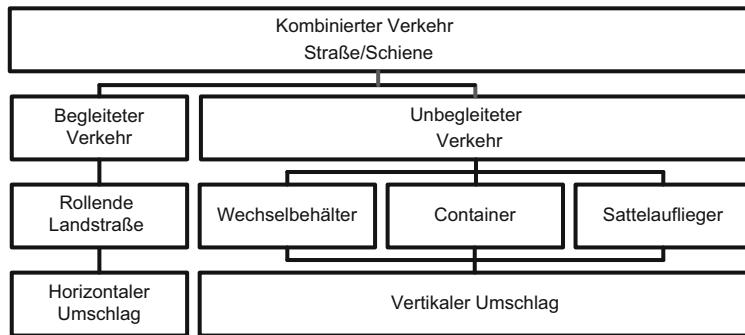


Abb. 16.1 Systemdarstellung Kombinierter Verkehr Straße Schiene. (Lampe 2006, S. 8)

Der Unbegleitete Kombinierte Verkehr ist die verbreitetste Form des KV. Der Transport der Güter wird mit Hilfe von stapelbaren und nicht stapelbaren Ladeeinheiten durchgeführt. Zu den stapelbaren Ladeeinheiten zählen genormte Container. Nicht stapelbare Ladeeinheiten umfassen Wechselbrücken und Sattelauflieger. Im Unbegleiteten Kombinierten Verkehr wird die Ladeeinheit zunächst vom Fahrwerksrahmen des LKW bzw. von der Zugmaschine getrennt. Danach erfolgt der Umschlag auf ein anderes Verkehrsmittel. Hierbei handelt es sich um einen vertikalen Umschlag der beispielsweise mit einem Kran abgewickelt wird. Für einen reibunglosen Umschlag müssen die Ladeeinheiten eine angemessene Stabilität aufweisen. Zudem sind sie mit genormten Befestigungspunkten, sogenannten Greifkanten bzw. Eckbeschlägen, ausgestattet, damit eine sichere Aufnahme des Gutes durch das Umschlagmittel gewährleistet ist. (Lampe 2006, S. 8)

Der Begleitete Kombinierte Verkehr grenzt sich dadurch vom Unbegleiteten Kombinierten Verkehr ab, dass nicht nur die Ladeeinheit an sich transportiert wird, sondern das gesamte Fahrzeug. Typischerweise wird der gesamte LKW von einem Waggon aufgenommen und auf diesem transportiert. Diese Form des Transports wird auch als „Rollende Landstraße“ (RoLa) bezeichnet. Während des Zugtransports begleitet der LKW-Fahrer sein Fahrzeug in einem separaten Waggon und setzt nach Ankunft am Zielbahnhof die Fahrt mit dem LKW zum Bestimmungsort der geladenen Güter fort. Zugleich kann der LKW-Fahrer die Fahrtzeit mit dem Zug als Ruhezeit nutzen. Der Umschlag des LKW auf den Zug erfolgt in horizontaler Form. Über eine Rampe fährt der LKW auf einen speziellen Niederflurwaggon mit einer durchgehenden Ladefläche. Im Gegensatz zum Unbegleiteten Kombinierten Verkehr sind für die RoLa keine komplexen Umschlagbahnhöfe erforderlich. Jedoch beansprucht die Zugmaschine des LKW unnötigen Platz auf dem Zug, so dass weniger Ladeeinheiten transportiert werden können als im Unbegleiteten Kombinierten Verkehr. Weiterhin weisen die Tragwagen der RoLa ein schlechteres Verhältnis von Eigen Gewicht zu Nutzlast auf als die Tragwagen im Unbegleiteten Kombinierten Verkehr. Diese Tragwagen besitzen wesentlich kleinere Räder. Diese verschleißt schneller und müssen deswegen häufiger gewechselt werden. Dies führt zu höheren Wartungskosten. In erster Line kommt der Begleitete Kombinierte Verkehr bei politisch oder infrastrukturell einge-

schränkten Straßentransportbedingungen zum Einsatz. Dies trifft beispielsweise auf den Alpentransit und Länder Osteuropas zu. (Lampe 2006, S. 10 f.; Lucke et al. 2012, S. 349)

In diesem Zusammenhang hat sich auch der Begriff Huckepackverkehr etabliert. Unter Huckepackverkehr werden alle Transporte verstanden, bei denen ein Transportmittel ein anderes Transportmittel transportiert (Pfohl 2010, S. 160).

Neben der RoLa existieren Varianten der schwimmenden Landstraßen und weitere RoRo-Varianten in der See- und Binnenschifffahrt. Diese werden in Unterkap. 13 erläutert.

16.1 Verkehrswege des Kombinierten Verkehrs

Verkehrswege sind physische Verbindungen zwischen Knoten in Verkehrsnetzen. Sie können nach der Zuordnung zu den Verkehrsträgern unterschieden werden in Kraftverkehrsstraßen, Schienenwege, Binnenwasserstraßen und Seeschifffahrtswegen. (Kummer 2006, S. 147–161) Der Kombinierte Verkehr ist per Definition eine Kombination von mindestens zwei Verkehrsträgern pro Transport und nutzt die Verkehrswege der einzelnen Verkehrsträger. Diese werden in den Abschn. 11.1, 12.1, 13.1 und 14.1 beschrieben.

Verkehrsnetzbetreiber im Kombinierten Verkehr bieten Regelverbindungen zwischen verschiedenen Umschlagsknoten in Deutschland an. Diese Hauptlaufsnetze sind Zugnetzwerke, die Verbindungen sowohl zwischen den Umschlagterminals als auch Verbindungen von den Seehäfen zu den Umschlagterminals im Hinterland ermöglichen. Zur Veranschaulichung von Verkehrsnetzen im Kombinierten Verkehr werden die Verkehrsnetze der TFG Transfracht Internationale Gesellschaft für kombinierten Güterverkehr mbH & Co KG (TGF Transfracht) sowie der Kombiverkehr Deutsche Gesellschaft für Kombinierten Güterverkehr mbH & Co KG (Kombiverkehr) beschrieben.

TGF Transfracht und Kombiverkehr sind Operatoren im Kombinierten Verkehr und transportieren für Reeder und Spediteure Ladeeinheiten von der Quellregion zu den Zielregionen. Die Hauptaufgabe hierbei ist der Transport von den deutschen Seehäfen zu den Endempfängern und vom Verlader zu den deutschen Seehäfen. Hierbei hat TGF Transfracht im Jahr 2011 0,895 Mio TEU transportiert. Im gleichen Zeitraum hat Kombiverkehr ein Transportvolumen von 1,95 Mio TEU erreicht. Um ein flächendeckendes Transportnetz im Kombinierten Verkehr zu erreichen bedient das Netz von TGF Transfracht 21 Umschlaganlagen und Kombiverkehr 32 Umschlaganlagen in Deutschland (siehe Tab. 16.1).

TGF Transfracht verfügt nach eigener Darstellung über ein leistungsfähiges, zentralisiertes Verkehrsnetz. Das Albatros Express Netz der TGF Transfracht (siehe Abb. 16.2a) ist eines der dichtesten Zugnetzwerke im Seehafenhinterlandverkehr in Europa und verbindet bedeutende Wirtschaftszentren der Länder Deutschland, Schweiz und Österreich mit den zwei deutschen Seehäfen Hamburg und Bremerhaven. Zum einen bestehen direkte Verbindungen von Hamburg und Bremerhaven zu Orten in Deutschland und Österreich. Auf diesen Strecken verkehren regelmäßig Shuttle-Züge. Zum anderen wird die Drehscheibe

Tab. 16.1 Zahlen, Daten und Fakten von Transfracht und Kombiverkehr. (Transfracht 2013, Zahlen), (Transfracht 2013, Verkehrsaufkommen), (Kombiverkehr 2013, Netz), (Kombiverkehr 2013, Zahlen), (Kombiverkehr 2013, Verkehrsaufkommen) und (Kombiverkehr 2013, Fahrplan)

	Transfracht	Kombiverkehr
Umsatz in Mio € (2011)	250	430
Beförderungsleistung in Mio. TEU (2011)	0,895	1,95
Mitarbeiteranzahl	202	142,5
Züge pro Woche in Deutschland	Ca. 240	> 270
Bediente Umschlaganlagen in Deutschland	21	32

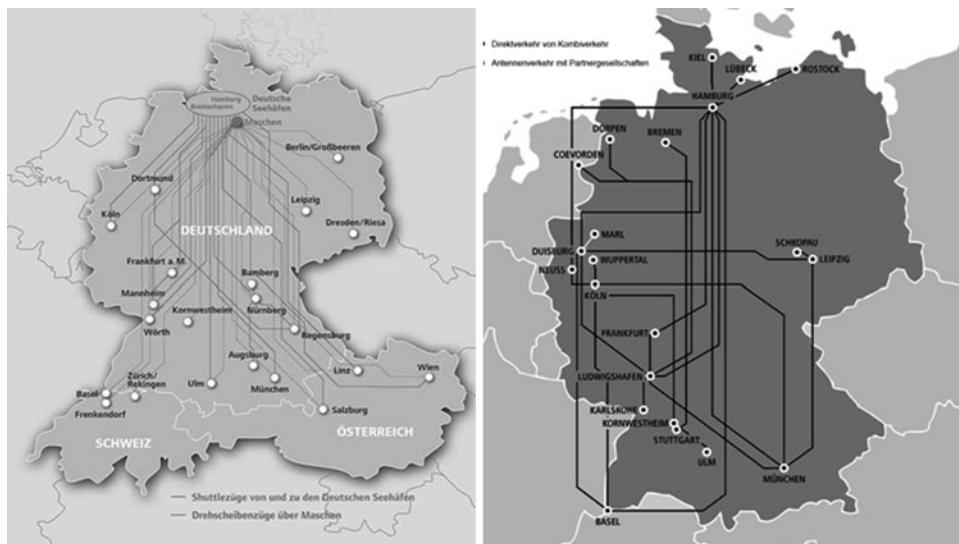


Abb. 16.2 (a) Streckennetz Transfracht (Transfracht 2012, Netzwerkarte) und (b) Streckennetz Kombiverkehr. (Kombiverkehr 2013, Netz)

Hamburg-Maschen als zentraler Knoten zur Bündelung von Transportströmen genutzt. Nach der Zugbildung werden weitere Wirtschaftsregionen durch die Drehscheibenfahrzeuge angefahren. (Transfracht 2013, Übersicht)

Kombiverkehr verfügt nach eigenen Angaben über ein stabiles Netz mit hochwertigen Verbindungen. Das Verkehrsnetz de.NETdirekt + (siehe Abb. 16.2b) von Kombiverkehr verbindet im Wesentlichen nationale Wirtschaftszentren durch ein leistungsfähiges Ganzzugssystem. Das einzige nicht nationale Terminal befindet sich in Basel. Hamburg kann in dem Verkehrsnetz als ein zentraler Knoten aufgefasst werden, der die Städte Kiel, Lübeck und Rostock mit den übrigen deutschen Wirtschaftsregionen verbindet. Das Netz verfügt über viele direkte Verbindungen zwischen verschiedenen Wirtschaftszentren. (Transfracht 2013, Übersicht)

16.2 Verkehrsmittel im Kombinierten Verkehr

Im Folgendem werden die im Kombinierten Verkehr eingesetzten Verkehrsmittel beschrieben. Hierbei erfolgt zuerst eine Systematisierung der Verkehrsmittel nach Verkehrsträger und Ladeeinheit. Im Anschluss werden die speziellen Verkehrsmittel genauer betrachtet.

16.2.1 Systematik der Fahrzeuge

Die Fahrzeuge zum Transport von Ladeeinheiten für den Kombinierten Verkehr werden gemäß der Systematik in Tab. 16.2 in Straßen-, Wasser- und Schienenfahrzeuge eingeteilt. Je nach Ladeeinheit kommen verschiedene Verkehrsmittel zum Einsatz. Der Transport von Wechselbehältern mit einem Wasserfahrzeug ist nicht mit den gleichen Mitteln wie im Containerverkehr möglich und wird daher praktisch nicht genutzt. Des Weiteren können Sattelaufleger nur auf speziellen Roll-On Roll-Off Schiffen auf dem Wasser transportiert werden. Zudem wird das Prinzip der RoLa nicht auf der Straße praktiziert.

16.2.2 Vorstellung ausgewählter Verkehrsträger

Auf der Schiene werden Container und Wechselbehälter mit 2- bzw. 4-achsigen Tragwagen transportiert. Bei 2-achsigen Tragwagen der Bauart L handelt es sich um Flachwagen in Sonderbauform mit zwei unabhängigen Achsen. 4-achsige Tragwagen der Bauart S sind ebenfalls Flachwagen in Sonderbauform, die über ein Drehgestell verfügen. Zur Befestigung der Ladeeinheiten auf den Tragwagen kommen bei beiden Tragwagentypen Drehzapfen (Twistlocks) zum Einsatz. Die Zapfen sind auf den Tragwagen an mehreren Positionen installiert, so dass Ladeeinheiten mit verschiedenen Längen auf dem Tragwagen transportiert werden können. Je nach Länge der Ladeeinheit werden die benötigten Zapfenpositionen durch Verschieben oder Hochklappen eingestellt. Sind die Ladeeinheiten nicht optimal über die Position der Zapfen angeordnet, kann die Länge des Zuges um bis zu 25 % steigen. In Abb. 16.3 Ist ein Ladeplan für einen 4-achsigen Tragwagen mit einer Ladelänge von 60-Fuß dargestellt. Um alle Container und Wechselbehälter mit ihren verschiedenen Längen aufzunehmen, sind insgesamt 16 verschiedene Zapfenpositionen erforderlich. (Lampe 2006, S. 27 f.)

Der Transport von Sattelaufliegern wird mit Taschen- und Wippenwagen durchgeführt. Die Ladefläche der Taschenwagen verfügt über taschenförmige Mulden. Der Sattelaufleger wird durch ein Umschlaggerät auf den Wagen gehoben und so positioniert, dass sich die Räder der Sattelaufleger in den Mulden befinden. Die zulässige Höhe gemäß Lichtraumprofil wird somit eingehalten. Zur universellen Einsetzbarkeit sind neuere Taschenwagen häufig mit zusätzlichen Zapfen zur Befestigung von Containern und Wechselbehältern ausgestattet. Der Wippenwagen besitzt eine ebene Ladefläche, die vom Sattelaufleger

Tab. 16.2 Systematik der Verkehrsmittel im KV

	Straße	Schiene	Wasser
Container	LKW-Chassis	2-achsiger Tragwagen	Containerschiff
	Gliederzug	4-achsiger Tragwagen	Europaschiff
			Großmotorgüterschiff
Wechselbehälter	LKW-Chassis	2-achsiger Tragwagen	
	Gliederzug	4-achsiger Tragwagen	
Sattelaufzieger	Sattelzug	Taschenwagen Wippenwagen	Roll-On Roll-Off Schiffe
RoLa		Niederflurwagen	

überfahren werden kann. Zur Beladung manövriert das Zugfahrzeug den Sattelaufzieger rückwärts auf den Waggon. Sobald der Sattelaufzieger korrekt positioniert ist, senkt sich die Ladefläche einseitig ab. (Lampe 2006, S. 28)

Der Niederflurwagen ist ein aufwändiger Spezialwagen für die RoLa. Der Wagenboden ist durchgängig niedrig gestaltet, so dass Drehgestelle mit niedrigem Raddurchmesser notwendig sind. Da die Drehgestelle nur geringe Achslasten aufnehmen können, benötigt der Niederflurwagen mehr als vier Achsen pro Wagen. Die Konstruktion des Wagens ist verhältnismäßig teuer und weist einen großen Verschleiß auf. (Gesellschaft für Logistik (SGL) 1996, S. 45)

Das Containerschiff ist ein Spezialschiff zum Transport von Containern. Die Kapazität eines Schiffes wird in der Maßeinheit TEU angegeben (Brinkmann 2005, S. 66 f.). Die Laderäume der Containerschiffe sind durchgängig und in Zellen unterteilt, die mit Gleit- oder Eckschienen (Cell Guides) ausgestattet sind. Die Container werden in die Zellen verstaut und übereinander gestapelt. Im Rumpf des Schiffes werden Container bis zu neunfach und auf dem Deck bis zu fünffach übereinander gestapelt. Zur Sicherung der Container werden Ketten und Stangen an sogenannte Cell Guides angebracht. Kleine Containerschiffe, die Container über kurze Seestrecken transportieren, verfügen zum Teil über bordeigene Umschlaggeräte. Große Schiffe werden im Hafen durch hafeneigene Einrichtungen be- und entladen. (Schiek 2008, S. 204)

In der Binnenschifffahrt werden zum Containertransport typischerweise Motorgüterschiffe mit Spezialaufbauten, wie das Großmotorgüterschiff, sowie das Europaschiff eingesetzt. Diese weisen allerdings wesentlich geringere Kapazitäten als die Containerschiffe für den Seeverkehr auf. Beispielsweise kommen auf dem Rhein Containerschiffe mit einer Kapazität von bis zu 500 TEU zum Einsatz. (Aberle 2009, S. 554; Lucke et al. 2012, S. 350; Schönknecht 2009, S. 5)

Roll-on Roll-off Schiffe transportieren Objekte, die über ihre eigene Achse über die Laderampe auf das Schiff gerollt werden. Unter anderem werden LKW, Sattelaufzieger oder Eisenbahnwaggons transportiert. (Schiek 2008, S. 204) Zudem sind die Ladedecks

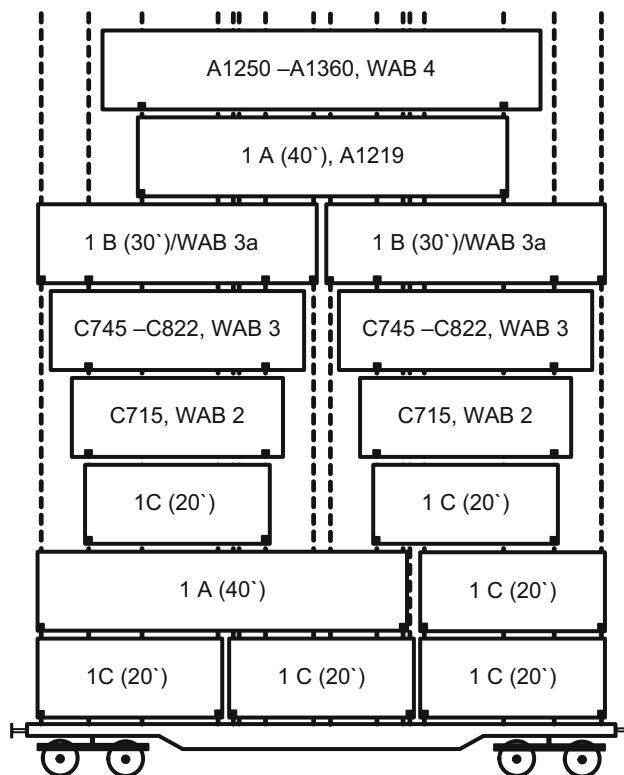


Abb. 16.3 Beladeschema 4-achsiger Tragwagen. (In Anlehnung an Gesellschaft für Logistik (SGL) 1996)

so miteinander verbunden, dass alle Ebenen rollend erreicht werden können (Brinkmann 2005, S. 70).

Im Straßengüterverkehr werden zum Transport von Containern LKW-Chassis eingesetzt. Dies sind spezielle Sattelaufleger, welche, ähnlich den Tragwagen im Schienentransport, auf einer Basisplattform unterschiedliche Positionen von Drehzapfen besitzen. Durch diese Zapfen können Container unterschiedlicher Größen aufgenommen werden. Hierzu gibt es Chassis in unterschiedlichen Größenausführungen. Es gibt kurze Chassis, die nur 20-Fuß Container aufnehmen können und es gibt lange Chassis, die ein ähnliches Beladeschema wie in Abb. 16.3 aufweisen. Verkehrsmittel zum Transport von Sattelaufliegern und Wechselbrücken werden in Abschn. 11.2 näher beschrieben.

16.2.3 Akteure

Im Kombinierten Verkehr wird der Kreis der eingebundenen Akteure, im Gegensatz zum reinen Straßen-, Wasser- oder Schienentransport, größer. Beispielsweise kommen mindestens zwei Frachtführer zum Einsatz. (Schieck 2008, S. 300) In Abb. 16.4 ist das Zusammenspiel zwischen den verschiedenen Akteuren dargestellt.

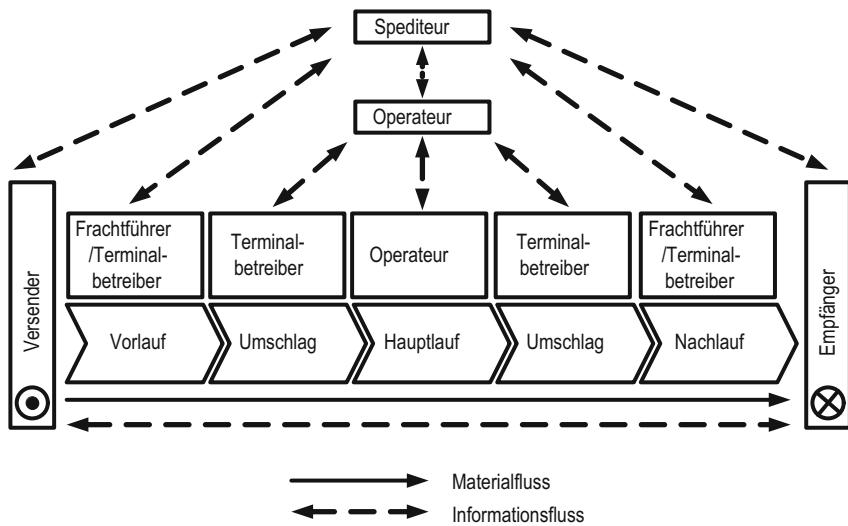


Abb. 16.4 Zusammenspiel der Akteure im Kombinierten Verkehr

Der Spediteur organisiert den gesamten Transportablauf vom Versender zum Empfänger und nimmt somit die Rolle des Mittlers ein. In einigen Fällen ist dieser auch für den Dokumenten- und Informationsfluss verantwortlich. Da der Spediteur selbst keine Transportmittel besitzt, ist er auf den Frachtführer angewiesen. Dies trifft lediglich dann nicht zu, wenn der Spediteur im Selbstseintritt handelt. (Lampe 2006, S. 12 f.) Der Spediteur tritt sowohl mit den Frachtführern, die den Straßenvor- und -nachlauf durchführen, als auch mit den Operateuren in Kontakt. Bei den Operateuren handelt es sich um die Verkaufsgesellschaften im Kombinierten Verkehr. Sie organisieren den Schienentransport. (Lampe 2006, S. 12) Die Operateure kontaktieren die Terminalbetreiber, um die Umschlagabwicklung zu organisieren. Die Terminalbetreiber, auch als Umschlaggesellschaften bekannt, terminieren die Umschlagaufträge. Zudem treffen sie die Entscheidung über das Terminallayout und die Kapazität des Terminals. (Puetmann 2010, S. 16; Lampe 2006, S. 13) Teilweise wird der Umschlag auch von den Operateuren selbst übernommen (z. B. TFG Transfracht) (Lampe 2006, S. 13). Die Eisenbahnverkehrsunternehmen wickeln den Schienentransport ab und sind somit für die Traktion der Züge zuständig. Darüber hinaus übernehmen sie Vor- und Nacharbeiten im Terminal, wie zum Beispiel Rangiertätigkeiten und die Prüfung der Ladeeinheiten (Lampe 2006, S. 13).

Demnach zählen zu den Kunden des Kombinierten Verkehrs Spediteure, Transportunternehmen und Unternehmen, die ihre Güter mit ihren eigenen Fahrzeugen bzw. Ladeeinheiten transportieren. Die genutzten Ladeeinheiten müssen für den Kombinierten Verkehr auf der Schiene zugelassen sein. Die Verkehrsfreigabe erfolgt durch die Verkaufsgesellschaften. (Koch 1997, S. 114)

Im Folgenden werden ausgewählte Akteure vorgestellt. Stellvertretend für die Operateure werden die Unternehmen Schenker Deutschland AG (DB Schenker), Kom-

biverkehr und TFG Transfracht vorgestellt. Als Terminalbetreiber bzw. Umschlaggesellschaft wird die Deutsche Umschlaggesellschaft Schiene-Straße mbH (DUSS 2013) vorgestellt.

DB Schenker geht im Jahre 2003 als neuer Unternehmensbereich der Deutschen Bahn AG aus der Führungsgesellschaft Stinnes AG hervor (DB AG 2013, Chronik). Heute ist DB Schenker einer der führenden Anbieter für integrierte Logistikleistungen in Deutschland und bietet vielfältige Dienstleistungen an (DB Schenker 2013, Kennzahlen). Hierzu gehören beispielsweise DB Schenkerrailog und DB Schenkerhangartner (DB Schenker 2013, Geschichte).

Kombiverkehr wurde im Jahr 1969 gegründet. Heute sind zu jeweils 50 % Spediteure und Transporteure sowie die DB Mobility Logistics AG an der Gesellschaft beteiligt (Kombiverkehr 2013, Gesellschaftsform; Polzin 1999, S. 101). Das Kerngeschäft besteht in der Entwicklung, Organisation und Vermarktung von Transportleistungen auf der Schiene. Begleitende Tätigkeiten sind der Aufbau und Betrieb von Umschlaganlagen, die Entwicklung und Unterhaltung von Spezialwaggons sowie die Traktion und das Consulting. (Kombiverkehr 2013, Unternehmen) Die Kunden von Kombiverkehr sind Spediteure und Transportunternehmen. Kombiverkehr kauft komplett Züge oder Zugteile ein und verkauft sie an ihre Kunden weiter und organisiert somit den Transport vom Quell- zum Zielterminal. Das Auslastungsrisiko der Züge liegt bei Kombiverkehr. Zur Risikominimierung ist die Gesellschaft an einem hohen und regelmäßigen Verkehrsvolumen ihrer Kunden interessiert. (Polzin 1999, S. 101)

TFG Transfracht ist eine Tochter der DB Mobility Logistics AG und organisiert seit 1969 für Reeder und Spediteure den Seehafenhinterlandverkehr von Containern. Von deutschen Seehäfen aus werden Container innerhalb Deutschlands sowie nach Österreich und in die Schweiz transportiert. (Transfracht 2013, Unternehmen) Seit dem 1. Juli 2012 wird das Unternehmen operativ vollständig von DB Schenker Rail gesteuert. Zuvor lagen 50 % der Anteile bei der Hamburger Hafen- und Logistikgesellschaft (HHLA). (TFG Transfracht 2013, Presse) Die Kunden von TFG Transfracht können die Leistungen in Form von Behälterstellung und Verkehrskettenorganisation in Anspruch nehmen. Zudem ist es möglich nur den reinen Transport auf der Schiene zwischen den Umschlagbahnhöfen einzukaufen. (Polzin 1999, S. 104 f.)

Die Deutsche Umschlaggesellschaft Schiene-Straße mbH (DUSS) ist Deutschlands größter Terminalbetreiber für den Kombinierten Verkehr Straße-Schiene. Gegründet wurde die Gesellschaft im Jahr 1982. Heute sind die DB Netz AG mit 75 % sowie die DB Mobility Logistics AG und die Kombiverkehr GmbH & Co. KG mit jeweils 12,5 % an der Gesellschaft beteiligt. (DUSS 2013, Unternehmen) Der Unternehmenszweck liegt in der Planung, Errichtung und Finanzierung sowie der Organisation und Koordinierung der Umschlaganlagen für den Kombinierten Verkehr Straße-Schiene, so dass deren Leistungsfähigkeit sichergestellt wird. Dabei betreibt die DUSS die Terminals entweder selbst oder vergibt die Aufgabe an regionale Betreiber. (Polzin 1999, S. 106 f.)

16.3 Produktionsverfahren und ausgewählte Transportketten

Der Transport von Gütern erfolgt im Kombinierten Verkehr über mehrere Verkehrsträger. Charakteristisch ist die Nutzung von Systemvorteilen, so dass zwei oder mehrere Verkehrsträger nacheinander genutzt werden und eine Transportkette entsteht (Puettmann 2010, S. 14; Lampe 2006, S. 7). Die Transportkette ist nach DIN 30781 als „Folge von technisch und organisatorisch miteinander verknüpften Vorgängen, bei denen Personen oder Güter von einer Quelle zu einem Ziel bewegt werden“ definiert. Dabei wird als Quelle der Versender und als Ziel der Empfänger verstanden. (DIN 30781, S. 3)

In Abb. 16.5 sind typische Transportketten des schienengebundenen Kombinierten Verkehrs dargestellt. Der längste Teil der Strecke wird als Hauptlauf bezeichnet und erfolgt im Kombinierten Verkehr üblicherweise auf der Schiene mit der Eisenbahn oder auf dem Wasser mit dem Binnen- oder Seeschiff. Im Vor- und Nachlauf werden kurze Distanzen üblicherweise mit dem LKW auf der Straße überbrückt. Der Kombinierte Verkehr Schiene-Straße zeichnet sich dementsprechend durch die Kombination der Massenleistungsfähigkeit der Bahn mit der Flexibilität des LKWs aus (Lampe 2006, S. 7).

Zudem kann eine Unterscheidung in kontinentale und maritime Transportkette vorgenommen werden. In der kontinentalen Transportkette wird der Hauptlauf per Bahn oder Binnenschiff und der Vor- und Nachlauf mit dem LKW durchgeführt. Im Gegensatz dazu findet bei der maritimen Transportkette der Hauptlauf per Schiff und der Vor- und Nachlauf als Hafeninterlandverkehr per Straße, Schiene oder Binnenschiff statt. Im Hafeninterlandverkehr können dabei auch mehrere Transportmittel kombiniert werden.

Der Umschlag erfolgt in der Regel in Umschlagterminals mit einem speziellen Umschlagmittel. Eine Ausnahme bildet hierbei die Sonderform der Rollenden- bzw. Schwimmenden Landstraße. Hierbei sind die Umschlagterminals technisch so aufgebaut, dass die Fahrzeuge das Verkehrsmittel überfahren und somit selbstständig beladen (Abb. 16.5c).

16.4 Logistische Knoten des Kombinierten Verkehrs

Logistische Knoten des Kombinierten Verkehrs sind Knotenpunkte, welche die Schnittstellen zwischen Straßen-, Schienen- und Wasserwegen bilden (Kummer 2006, S. 125). Pfohl definiert Knotenpunkte als „Umschlagsplätze (Terminals), die über die notwendigen technischen Hilfsmittel (z. B. Portalkräne) für einen schnellen Güterumschlag von Verkehrsmittel zu Verkehrsmittel und über günstige Verkehrsanbindungen für den Vor- und Nachlauf verfügen. Sie befinden sich in Zentren mit hohem Güteraufkommen und sind für den Hauptlauf im schnellen Direktverkehr mit anderen Knotenpunkten verbunden“ (Pfohl 2010, S. 160 f.).

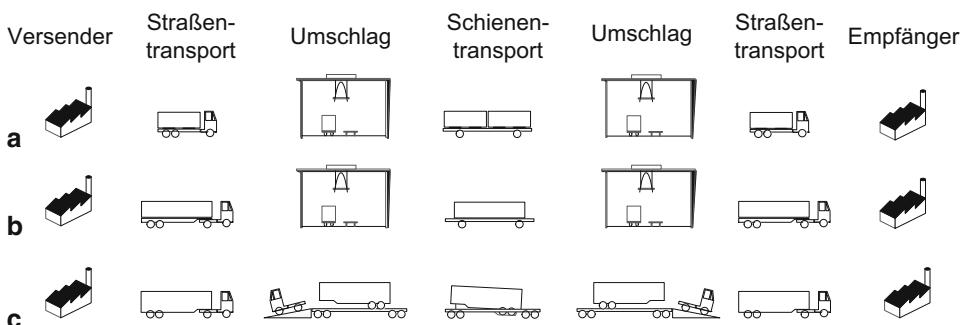


Abb. 16.5 Beispiele der technischen Verknüpfung einer Transportkette Schiene/Straße, (a) Wechselbehälter als Ladeeinheit, (b) Container als Ladeeinheit, (c) Fahrzeug/Sattelauflieder als Ladeeinheit. (In Anlehnung an DIN 30781 Beiblatt, S. 6)

In Abb. 16.6 sind die Funktionsbereiche eines Verkehrsknotens zu sehen. Je nachdem welche Verkehrsträger das Terminal verbindet, werden bi- und trimodale Terminals unterschieden. Klassische Terminals des Kombinierten Verkehrs sind bimodal und verbinden die Verkehrsträger Schiene und Straße. Im trimodalen Terminal wird zudem der Verkehrsträger Wasser bedient. Auf dem Terminalgelände befinden sich Bereiche zur Lagerung von vollen und leeren Containern sowie Lager- und Packhallen. Diese Bereiche sind mit dem Schienen-, dem Straßen- und mit dem Schiffsumschlagbereich verknüpft. Für den Fall eines direkten Umschlages sind die Umschlagbereiche miteinander verbunden.

Für den Umschlag zwischen den unterschiedlichen Verkehrsmitteln werden entweder spurgeführte (z. B. Portalkräne) oder mobile Umschaggeräte (z. B. Reach-Stacker) eingesetzt. Häufig sind Terminals am Morgen und am Abend stark ausgelastet. Dies liegt darin begründet, dass der Kombinierte Verkehr oft im Nachlauf durchgeführt wird. Dementsprechend treffen morgens und abends eine große Zahl an Verkehrsmitteln im Terminal ein. Tagsüber erfolgen häufig Umstauvorgänge von Ladeeinheiten im Depot oder die Beladung und Entladung von LKW. Für einen effizienten Betrieb eines Terminals sind folgenden Faktoren zu beachten (Kummer 2006, S. 125):

- Geographische Lage sowie Nachfragepotenzial
- Qualität der Verkehrsinfrastruktur (Schiene, Straße und evtl. Wasser)
- Anzahl angebotener Relationen
- Gleisausstattung
- Umschlageinrichtungen
- Staufläche
- Sonstige Ausstattungsmerkmale (z. B. Öffnungszeiten, Parkflächen)
- Präsenz von Logistikdienstleistern

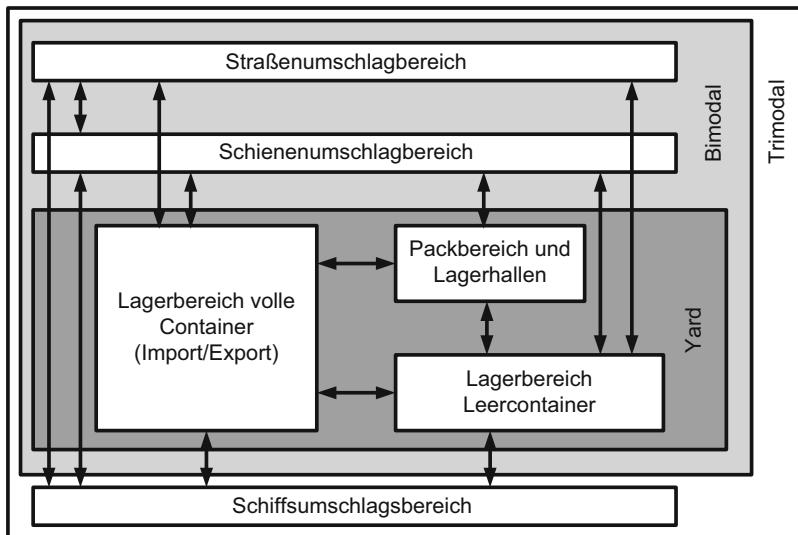


Abb. 16.6 Funktionsbereiche eines Verkehrsknotens. (In Anlehnung an Böse 2006, S. 140)

16.4.1 Techniken im Umschlagbereich

Die Ressourcen für den Umschlag von Ladeeinheiten (insbesondere Container) können in Ressourcen für den Vertikal- und für den Horizontalumschlag gegliedert werden. Ein Unterschied besteht insbesondere darin, ob die Ladeeinheiten in der Höhe der Ladeebene oder über der Ladeebene umgeschlagen werden. (Lucke et al. 2012, S. 348) Für den vertikalen Umschlag kommen Krankonstruktionen die entweder festinstalliert oder auch verfahrbar sein können zum Einsatz. Der Horizontalumschlag wird üblicherweise mit Flurförderzeugen durchgeführt. Im Folgenden werden stellvertretend für den Vertikalschlag der Rubber-Tyred-Gantry-Crane (RTG) und der Rail-Mounted-Gantry-Crane (RMG) vorgestellt. Im Bereich des horizontalen Umschlags werden der Reach-Stacker und der Containerstapler näher erläutert. Dies sind die in Umschlagterminals des Kombinierten Verkehr am meisten eingesetzten Umschlagmittel.

Rubber-Tyred-Gantry-Cranes gehören zusammen mit den Rail-Mounted-Gantry-Cranes zur Gruppe der Transtainer. Transtainer sind Portalkrane, die in Terminalanlagen zum Entladen von LKW und Bahnwaggons, zum Stapeln der Ladeeinheiten im Lager, zum Beladen von LKW und Bahnwaggons mit Ladeeinheiten aus dem Lager und zum Umstapeln der Ladeeinheiten eingesetzt werden. Sie werden bevorzugt in Verkehrsknoten mit beschränkter Lager- und Transportfläche eingesetzt, da sie nur wenig Platz benötigen und eine Reihen- und Blockstapelung möglich ist. Die vorhandene Fläche wird somit optimal genutzt. Der RTG ist ein gummibereifter, mobiler Portalkran, der längs und quer verfahrbar und flexibel einsetzbar ist. Pro Stunde können circa 15 Containerbewegungen ausgeführt werden, wobei die Tragfähigkeit bei 20–50 t liegt. Der RTG überspannt bis zu acht Containerreihen und stapelt maximal sechs Container übereinander. Die sechste Containerlage bleibt jedoch meist leer, um zu gewährleisten, dass der Kran mit einem Container

den Stapel passieren kann. Zwar ist der RTG flexibel einsetzbar, weist aber einen sehr hohen Energiebedarf auf, was unter anderem auf den hohen Rollwiderstand der Fahrzeuge zurückzuführen ist. (Brinkmann 2005, S. 276 f.; Meisel 2009, S. 14; Steenken et al. 2004, S. 8 f.)

Der RMG ist ein schienengebundener Stapelkran. Daher ist dieser auch weniger flexibel als der RTG. Im Gegensatz zu diesem verfügt er jedoch über eine größere Spannweite, die zwischen 5 und 23 Containerreihen plus einer Fahrspur liegt. Die Stapelung von Containern ist in acht Lagen übereinander möglich. Die Leistungsfähigkeit eines RMG liegt bei circa 25 Containerbewegungen pro Stunde. In vielen Fällen werden zwei RMG an einem Containerstapel eingesetzt. Auf diese Weise kann die Produktivität und die Zuverlässigkeit erhöht und gleichzeitig Störungen des Betriebs durch technische Ausfälle vermieden werden. Eine neue Entwicklung stellt das Double-RMG-System dar. Hierbei handelt es sich um eine Konstruktion aus zwei im selben Block installierten Kranen von unterschiedlicher Höhe und Breite. Durch die verschiedenen Höhen und Breiten wird ein berührungsloses passieren der beiden Krane möglich gemacht. (Brinkmann 2005, S. 277 f.; Steenken et al. 2004, S. 8 f.)

Der Reach-Stacker kann in einem Terminal sowohl im Lagerbereich als auch im Umschlagbereich eingesetzt werden. Häufig wird das Flurfördermittel zum Stapeln von Leercontainern in Depots, zur Beladung von LKW und Bahn und zur Bereitstellung von Ladeeinheiten für das Ein- und Auspacken eingesetzt. Der Reach-Stacker verfügt über einen heb- und senkbaren sowie teleskopierbaren Arm. Die Reichweite des Teleskoparms ermöglicht es, Container in drei Reihen hintereinander und sechsfach übereinander zu stapeln. Dadurch ist ein direkter Umschlag von einem Zug auf einen anderen Zug im Nachbaregleis möglich, ohne dass der Reach-Stacker seine Position ändern muss. Außerdem ist der Reach-Stacker für den Huckepackverkehr, auch „Piggy-Back“ genannt, einsetzbar. Der Reach-Stacker ermöglicht es Ladeeinheiten, die auf ein Chassis geladen sind, zusammen mit diesem aufzunehmen und direkt auf einem Bahnwaggon abzustellen. Aufgrund der Flexibilität des Reach-Stackers kann dieser als alleiniges Umschlaggerät im Terminal genutzt werden. Gerade für kleine und mittlere Terminals stellt es einen hohen Kostenfaktor dar, Spezialgeräte zum Containertransport anzuschaffen. Eine Hubleistung zwischen 10 und 45 t, ermöglicht es, dass auch beladene Container ohne Probleme vom Reach-Stacker transportiert und umgeschlagen werden können. Der Reach-Stacker grenzt sich durch seine Flexibilität und Wendigkeit von anderen Flurfördermitteln deutlich ab. Von Vorteil sind die selbstständige Ladeeinheitenaufnahme und -abgabe, der recht schnelle Transport von Ladeeinheiten und die große Reichweite des Teleskoparmes, der auch eine Blocklagerung möglich macht. Jedoch erfordert das Flurfördergerät breite Fahrwege, da die Ladeeinheiten quer zur Fahrtrichtung transportiert werden. Durch die Bindung an die Fahrwege und eine höhere Lastaufnahme und -abgabezzeit ist die Spielzeit gerade bei hochausgelasteten Umschlagterminals hoch. Hierdurch wird eine hohe Anzahl an Reach-Stackern benötigt, um die geforderten Umschlagsleistungen zu erreichen. Daher ist das Einsatzgebiet des Reach-Stackers in Umschlagterminals mit kurzen Transportwegen und vielen Ein- und Auslagerungen. (Brinkmann 2005, S. 266 f., S. 274)

Das Lastaufnahmemittel der RMG, RTG und des Reach-Stackers ist der Topspreeder. Durch diesen werden die Container an ihren oberen Eckbeschlägen aufgenommen und

können dann sicher transportiert werden. Der Topsreader kann auch drehbar gelagert sein, so dass das Umschlagmittel zur Aufnahme einer Ladeeinheit nicht senkrecht vor dieser stehen muss. (Brinkmann 2005, S. 266 f.) Zur Aufnahme von Wechselbrücken und Sattelauflieger sind an dem Topsreader ausfahrbare Greifzangen montiert, welche die Ladeeinheit von unten, an verstärkten Greifpunkten aufnehmen.

Der Containerstapler ist eine Art großer Gabelstapler, der über hydraulisch verstellbare Top- und Seitenspreader verfügt. Mit einer Hubleistung von 40 t ist der Containerstapler in der Lage beladene Container zu bewegen. Jedoch ist für diesen Transport besonders schweres Gerät notwendig, das sehr groß und teuer ist. Aus diesem Grund wird der Containerstapler häufig als sogenannter Leercontainerstapler eingesetzt, wobei die Tragfähigkeit dann auf 10 t sinkt und das Gerät erheblich leichter ist. In dieser Ausführung kann der Stapler Container bis zu neunfach übereinander stapeln. Der Einsatz von Containerstaplern erfolgt nur bei einer geringen Anzahl an umzuschlagenden Containern, bei der sich der Einsatz eines speziellen Flurfördergeräts nicht lohnt. Da der Containerstapler Container quer zur Fahrbahn transportiert, werden auch hier breite Fahrwege benötigt. (Brinkmann 2005, S. 265 f., S. 274)

16.4.2 Betrieb der Knoten

In Bezug auf den Aufbau des Terminals mit Straßen- und Schienenanbindung lassen sich entsprechend der schienenseitigen Anbindung die Durchgangs- und die Kopfform unterscheiden (siehe Abb. 16.7). Das Abstell- und das Ausziehgleis dienen dazu, Züge für den Umschlag zwischen zu puffern und Rangierarbeiten durchzuführen. Um im Ladegleis keine unnötige Zeit neben der Umschlagarbeit zu verlieren, wird in einigen Fällen die Eingangskontrolle des Zuges bereits im Abstell- oder im Ausziehgleis durchgeführt. (Lampe 2006, S. 51 f.)

Bei der Durchgangsform sind das Streckengleis, das Abstellgleis sowie das Ladegleis parallel angeordnet. Bei Ankunft eines Zuges mit Elektrolok im Terminal fährt dieser in das Abstellgleis ein. Die Streckenlok wird abgekuppelt und ist sofort zur Weiterfahrt bereit. Die Tragwagen werden dann mit Hilfe einer Verbrennungslok in das Ausziehgleis gedrückt und anschließend in das Ladegleis gezogen. Da das Ladegleis nicht von einem Fahrdräht überspannt wird, kann ein Zug nur bei Verwendung einer Verbrennungslok direkt in das Ladegleis einfahren. In einigen Fällen sind die Enden des Ladebereichs mit Fahrleitungen überspannt. Wenn ein Zug mit Elektrolok in das Terminal einfährt, kann das sogenannte Schwungverfahren angewandt werden. Dabei durchfährt der Zug den nicht mit Fahrleitungen überspannten Bereich stromlos. Entweder wird der Zug so abgebremst, dass dieser genau in der richtigen Umschlagposition zum Stehen kommt oder der Zug wird auf die richtige Umschlagposition zurückgesetzt. (Lampe 2006, S. 51)

Bei der Kopfform ist das Abstellgleis mit dem Streckengleis verbunden und parallel zum Ladegleis angeordnet. Bei Ankunft im Terminal fährt der Zug vom Streckengleis in das Abstellgleis. Die Lok muss zur Weiterfahrt solange warten, bis eine Rangierlok die

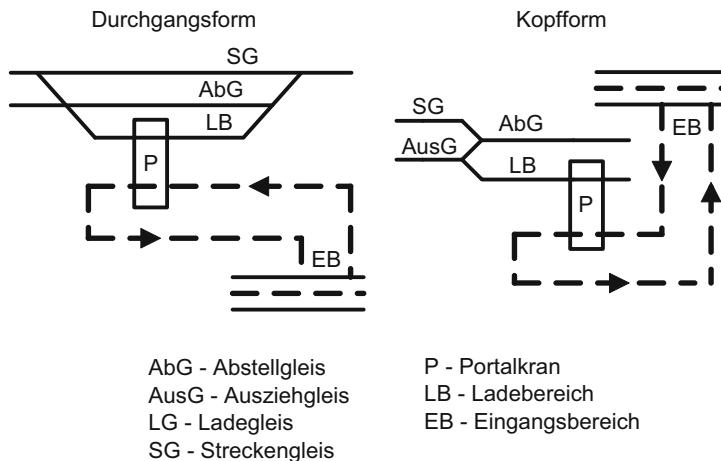


Abb. 16.7 Durchgangs- und Kopfform in Anlehnung an. (Lampe 2006, S. 51)

Tragwagen in das Ausziehgleis gezogen hat. Erst dann steht die Lok frei und kann wieder in das Streckengleis einfahren. Anschließend drückt die Rangierlok die Tragwagen zur Be- und Entladung in das Ladegleis. In allen Terminals, die in Kopfform aufgebaut sind, werden die Tragwagen durch die Rangierlok in das Ladegleis befördert. (Lampe 2006, S. 51 f.)

Im Folgenden werden die im Terminal ablaufenden Prozesse näher beleuchtet. Im Rahmen des LKW-Prozesses wird der Durchlauf des LKW durch das Terminal beschrieben. Je nachdem, ob der LKW Ladeeinheiten empfängt oder versendet werden unterschiedliche Prozessketten differenziert. Zunächst wird der gesamte Durchlauf eines LKW durch das Terminal betrachtet. Im Anschluss wird die Umschlagabwicklung näher erläutert. Bei der Beleuchtung des Zug-Prozesses werden ein- und ausgehende Züge getrennte voneinander dargestellt. Danach werden die Kran-Prozesse erläutert, wobei auf der einen Seite die Prozessabfolge des Krans und auf der anderen Seite die Prozesskette des Kranspiels verdeutlicht werden. In diesem Kapitel werden nur die Prozesse eines Bimodalen Umschlagterminals betrachtet.

Nach Ankunft des LKW im Terminal muss zunächst die Dokumentenabwicklung am Gate erfolgen. Wenn das Terminal über einen Autoschalter verfügt, fährt der LKW diesen an und erledigt alle nötigen Abwicklungen direkt aus dem Fahrzeug. Andernfalls ist eine Vorstaufläche in der Nähe des Gates angesiedelt, auf der das Fahrzeug abgestellt wird. Der LKW Fahrer muss sein Fahrzeug verlassen, um zur Dokumentenabwicklung das Verwaltungsgebäude aufzusuchen. Bei Nutzung von Autoschaltern kann die Gesamt-aufenthaltszeit der LKW im Terminal verkürzt werden. Jedoch besteht keine Möglichkeit den Zufluss an Fahrzeugen in das Terminal zu steuern, wie es bei der konventionellen Anmeldung im Verwaltungsgebäude der Fall ist. Außerdem können Fahrzeuge mit fehlerhaften Transportpapieren nicht am Autoschalter stehen bleiben, da es so zu Stauungen der nachfolgenden LKW kommen würde. Sobald die Dokumentenabwicklung am Gate

abgeschlossen ist, fährt der LKW Fahrer den LKW auf den vorgesehenen Ladeplatz. Der Ladeplatz ist die Position, die dem Fahrer bei der Anmeldung am Gate mitgeteilt wurde und an der die Umschlagabwicklung erfolgt. Die Umschlagabwicklung wird nachfolgend im Detail erläutert. Hat der LKW alle Ladeeinheiten abgeliefert beziehungsweise empfangen fährt dieser zurück zum Gate. Dort erfolgt die Dokumentenabwicklung für die empfangenen Ladeeinheiten sowie eine Überprüfung der Richtigkeit der Ladeeinheiten. In vielen Terminals wird die Dokumentenabwicklung bei Einfahrt in das Terminal schon soweit vorbereitet, dass bei Ausfahrt aus dem Terminal lediglich eine Sichtprüfung notwendig ist. Auf diese Weise kann gewährleistet werden, dass sich die richtigen Ladeeinheiten auf dem LKW befinden. (Lampe 2006, S. 54 f.)

Je nachdem, ob ein LKW Ladeeinheiten im Terminal anliefert oder abholt, werden die Umschlagprozesse Versand und Empfang von Ladeeinheiten unterschieden. Diese variieren jedoch lediglich in der Reihenfolge der Abläufe. Entweder verbleibt der LKW beim Versand einer Ladeeinheit auf dem Ladeplatz oder er fährt einen anderen Ladeplatz an. Nachdem die Ladeeinheit entsichert ist, wartet der LKW Fahrer auf den Umschlag dieser. Sobald die Ladeeinheit von einem Umschaggerät aufgenommen ist, kann der LKW seine Fahrt durch das Terminal fortsetzen. An dieser Stelle können drei verschiedene Prozesse angestoßen werden. Entweder hat der LKW alle Ladeeinheiten umgeschlagen und fährt zur Ausfahrt aus dem Terminal am Gate oder es wird eine weitere Ladeeinheit versendet oder empfangen. Der Versand oder Empfang einer weiteren Ladeeinheit erfordert gegebenenfalls die Anfahrt eines weiteren Ladeplatzes. (Lampe 2006, S. 55 f.)

Der Empfang einer Ladeeinheit erfolgt wie der Versand einer Ladeeinheit, lediglich in umgekehrter Reihenfolge. Der LKW wartet zuerst auf den Umschlag. Nach Absetzen der Ladeeinheit auf dem Transportfahrzeug kann die Ladeeinheit gesichert werden. Auch in diesem Fall schließen sich drei verschiedene Prozesse der Weiterfahrt durch das Terminal an. Diese sind der Empfang einer weiteren Ladeeinheit, der Versand einer Ladeeinheit sowie die Ausfahrt aus dem Terminal. (Lampe 2006, S. 56)

Aus wirtschaftlicher Sicht ist der Versand oder Empfang von nur einer Ladeeinheit unrentabel. Daher tritt oft der Fall ein, dass die oben dargestellten Prozessketten des Versands und Empfangs von Ladeeinheiten mehrfach auftreten. Der Umschlag einer Ladeeinheit setzt sich aus bis zu vier Prozessen zusammen, die unterschiedlich kombiniert werden können (siehe Abb. 16.8). Ein Grund für die verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten liegt in der Beschaffenheit der umzuschlagenden Ladeeinheit nach Art, Länge, Größe und Gewicht. Betrachtet man den Sattelaufleger, kann immer maximal nur ein Sattelaufleger zum Terminal gebracht und ein weiterer in Empfang genommen werden. Dies gilt ebenso für 40-Fuß Container sowie Wechselbrücken mit einer Länge von 13,60 m. Im Gegensatz dazu können 20-Fuß Container und kürzere Wechselbrücken mit Fahrzeugen transportiert werden, die zwei Ladeeinheiten aufnehmen können. Maximal können auf diese Weise zwei Ladeeinheiten versendet und zwei Ladeeinheiten empfangen werden. In der Kombination ergeben sich acht verschiedene Möglichkeiten des Versandes und Empfangs von Ladeeinheiten, die nach der Anzahl der erforderlichen Umschläge unterschieden werden. Bei einem Umschlag wird entweder eine Ladeeinheit empfangen oder versand. Sind zwei

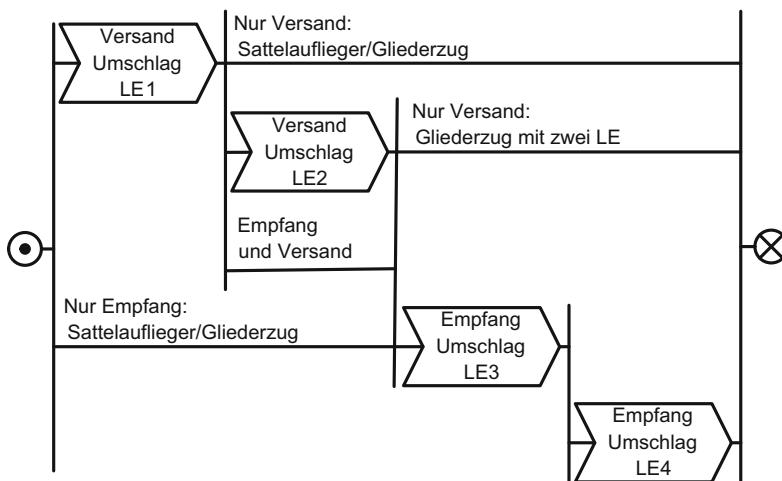


Abb. 16.8 Umschlagabwicklung LKW in Abhängigkeit von der Anzahl zu versendender und empfangener Ladeeinheiten in Anlehnung an. (Lampe 2006, S. 56)

Umschläge erforderlich werden entweder zwei Ladeeinheiten empfangen, zwei Ladeeinheiten versendet oder eine Ladeeinheit empfangen und eine andere versendet. Werden zwei Ladeeinheiten versendet und eine Ladeeinheit empfangen oder andersherum eine Ladeeinheit versendet und zwei Ladeeinheiten empfangen sind drei Umschlagvorgänge notwendig. Die letzte Kombination besteht aus dem Versand von zwei Ladeeinheiten und dem Empfang von zwei Ladeeinheiten. In diesem Fall erfolgen vier Umschläge. Mit steigender Anzahl der Umschlagvorgänge steigt auch die Aufenthaltszeit des LKW im Terminal. Zudem wird die Aufenthaltszeit durch die Anfahrt verschiedener Ladeplätze verlängert. (Lampe 2006, S. 55 ff.)

Tritt der Fall ein, dass Sattelauflieger oder Wechselbrücken nur versendet werden sollen, besteht die Möglichkeit, dass die Fahrer diese selbst im Terminal abstellen. Auf diese Weise können Wartezeiten eingespart werden. Die Ladeeinheiten können sowohl im Umschlagbereich als auch auf jeder anderen befestigten Fläche abgestellt werden. Wird diese Möglichkeit von den Fahrern in Anspruch genommen, muss gewährleistet werden, dass die Ladeeinheit auf dem Abstellplatz gesichert wird. Für das Terminal entstehen in diesem Fall weitere Aufgaben. Wenn die Ladeeinheiten nicht auf einer für die Umschlagmittel zugänglichen Fläche abgestellt wurden, ist es erforderlich diese mit einem terminaleigenen Fahrzeug in den Umschlagbereich zu transportieren. Diese Vorgehensweise ermöglicht eine Entzerrung der Prozesse im Umschlagbereich und die Möglichkeit der Nutzung von Pufferfläche, die außerhalb des Umschlagbereichs zur Verfügung steht. (Lampe 2006, S. 57 f.)

Bei Betrachtung des Zug-Prozesses kann zwischen eingehenden und ausgehenden Zügen unterschieden werden. Als eingehender Zug wird eine beladene Wagengruppe mit Streckenlok verstanden, die in das Terminal einfährt. Der Zug fährt, nach Eintreffen in den Rangierbereich, in das Abstellgleis ein. Um die Tragwagen in das Ladegleis zu befördern,

sind einige Rangievorgänge notwendig. Zunächst wird die Strecklok von der Wagengruppe abgekuppelt. Anschließend zieht die Rangierlok die Tragwagen in das Ausziehgleis, so dass die Streckenlok frei steht und das Terminal verlassen kann. Die Rangierlok drückt daraufhin die Tragwagen in das Ladegleis. Ist der Gleisbereich in Durchgangsform gestaltet, kann bei Nutzung einer Elektrolok, durch Anwenden des Schwungverfahrens, oder bei Nutzung einer Verbrennungsloks die Wagengruppe direkt in das Ladegleis eingefahren werden. Auf diese Weise entfallen zeitaufwändige Rangiertätigkeiten. Sobald sich die Tragwagen im Ladegleis befinden, wird die Eingangskontrolle durchgeführt. Dabei werden die Tragwagen auf beiden Seiten der Gleise abgeschritten, um die Reihenfolge der Wagen und eventuelle Beschädigungen aufzunehmen. Zudem wird kontrolliert, ob sich die vorgenannten Ladeeinheiten auf den richtigen Tragwagen befinden. Außerdem werden die Frachtpapiere übergeben. Nach Entsicherung der Ladeeinheiten kann mit der Entladung begonnen werden. (Lampe 2006, S. 60 f.)

Als ausgehender Zug wird eine Wagengruppe verstanden, die zu versendende Ladeeinheiten geladen hat. Nachdem die letzte Ladeeinheit auf den Zug umgeschlagen ist, wird der Zug auf seinen Transport vorbereitet. Zunächst erfolgt eine Ausgangskontrolle, bei der jede Ladeeinheit auf eventuelle Beschädigungen durch den Umschlag kontrolliert wird. Außerdem wird geprüft, ob die richtigen Ladeeinheiten auf die jeweiligen Tragwagen umgeschlagen wurden. Um wertvolle Zeit einzusparen, wird mit der Ausgangskontrolle und der Fertigstellung der Frachtpapiere parallel zur Beladung des Zuges begonnen. Nach Verladung der letzten Ladeeinheit brauchen infolgedessen nur die zuletzt verladenen Ladeeinheiten überprüft und in die Frachtpapiere mit aufgenommen werden. Bevor der Zug in das Abstellgleis rangiert werden kann, muss aus sicherheitstechnischen Gründen eine Bremsprobe durchgeführt werden. Bei dieser wird der Bremskreis hinsichtlich seiner Reaktion über den ganzen Zugverband getestet. Nach erfolgreicher Bremsprobe werden die Tragwagen mit Hilfe der Rangierlok in das Abstellgleis rangiert. Wenn das Ladegleis über einen Stromanschluss verfügt und in Durchgangsform gestaltet ist, wird die Streckenlok direkt im Ladegleis angekuppelt. Der Zugverband verlässt das Terminal, ebenfalls nach einer Bremsprobe, mit der Streckenlok in das Streckengleis. Dies kann genauso praktiziert werden, wenn eine Verbrennungslok zum Einsatz kommt. (Lampe 2006, S. 61 f.)

Bei der Betrachtung des Kran-Prozesses über den Tagesverlauf wird deutlich, dass sich ausgewählte Prozesse iterativ wiederholen (siehe Abb. 16.9). Der Kranprozess beginnt mit der Aufnahme der Arbeit des Kranfahrers zu Schichtbeginn und endet bei Schichtende. Befindet sich mindestens eine Ladeeinheit im Umschlagbereich des Krans, so wird die nächste Ladeeinheit ausgewählt und umgeschlagen. Befindet sich keine Ladeeinheit im Umschlagbereich, so muss der Kran auf einen an kommenden LKW, einen an kommenden Zug, ein ankommendes Schiff oder ein internes Flurfördermittel warten, um den nächsten Umschlag durchführen zu können. Entweder wird eine bereits im Umschlagbereich befindliche Ladeeinheit auf ein Verkehrsmittel umgeschlagen oder die an kommenden Verkehrsmittel werden entladen. Alternativ zum Warteprozess kann der Kran die freie Zeit nutzen, um eine strategisch günstigere Position anzufahren. Agiert ein zweiter Kran im gleichen Umschlagbereich kann eine strategisch günstige Position am Anfang des Um-

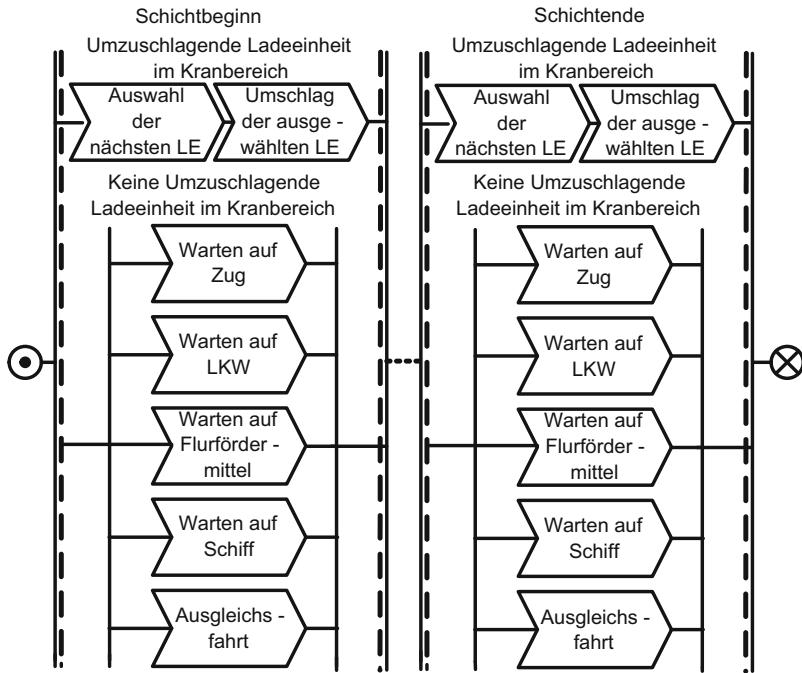


Abb. 16.9 Prozessabfolge für einen Kran in Anlehnung an. (Lampe 2006, S. 58)

schlagbereichs liegen, so dass der Aktionsbereich für den zweiten Kran vergrößert wird. Andernfalls kann eine Position angefahren werden, an der der nächste Umschlag vermutet wird. (Lampe 2006, S. 60)

Der Umschlagprozess selbst, auch Kranspiel genannt, lässt sich wiederum in einzelne Elemente aufteilen. Das Kranspiel beginnt immer mit einer Leerfahrt zur als nächstes umzuschlagenden Ladeeinheit. Nachdem der Spreader über der Ladeeinheit positioniert ist, wird dieser gesenkt. Durch Schließen der Drehzapfen oder der Greifarme wird die Ladeeinheit aufgenommen. Anschließend wird die Last durch Anheben des Spreaders hochgezogen und zur Zielposition verfahren. Sobald die richtige Position erreicht ist, wird der Spreader gesenkt und die Ladeeinheit abgestellt. Dann hebt der Kran den Spreader wieder an und steht für einen weiteren Umschlag, beginnend mit der Leerfahrt, zur Verfügung. (Lampe 2006, S. 61)

16.4.3 Vorstellung ausgewählter Knoten

Das Umschlagterminal der Deutschen Umschlaggesellschaft Schiene-Straße mbH in Köln Eifeltor ist eine wichtige Umschlaganlage des Kombinierten Verkehrs Schiene/Straße in Deutschland. Das Terminal schlägt ISO Container der Größen 20-, 40- und 45-Fuß sowie Wechselbehälter, Sattelaufbauten und Gefahrgut auf wöchentlich 100 nationale und

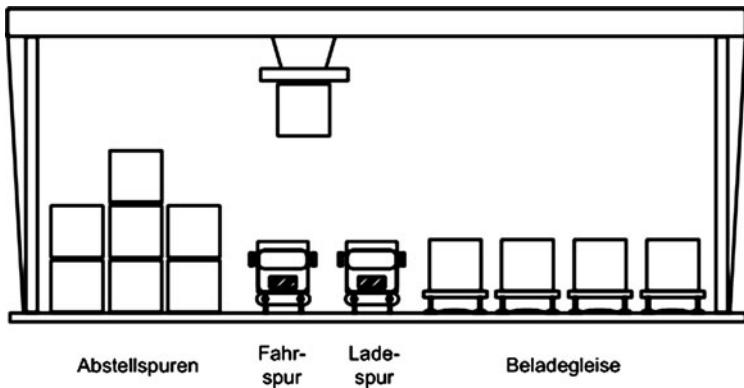


Abb. 16.10 Querschnitt einer Umschlaganlage des Kombinierten Verkehr

internationale KV-Züge um. Nach dem im Jahr 2012 abgeschlossenen Umbau verfügt die Anlage über 3 Kranbahnen, welche jeweils 4 Beladegleise überspannen. Diese Kranbahnen beinhalten insgesamt 8 RMG Krane, wobei zwei Kranbahnen jeweils von drei und eine von zwei Kränen überspannt wird. (DUSS 2013, Terminal) Jede Kranbahn ist hierbei wie in Abb. 16.10 dargestellt aufgebaut.

Die Fahrzeuge fahren über die Fahrspur in der jeweiligen Kranbahn bis zu ihrer Ladeposition in der Ladespur. Hier erfolgt der Umschlag der betreffenden Ladeeinheiten. Sollte kein direkter Umschlag möglich sein, können die Ladeeinheiten in drei Abstellspuren abgestellt werden. Die Umschlaganlage Köln Eifeltor besitzt eine maximale Bodenabstellkapazität von 840 TEU (ungestapelt) und 60 Sattelaufliegern. Die Umschlaganlage ist in der Lage bis zu 380.000 LE im Jahr im 24-Stunden-Betrieb umzuschlagen. (DUSS 2013, Terminal)

Literatur

- Aberle G (2009) Transportwirtschaft. Einzelwirtschaftliche und gesamtwirtschaftliche Grundlagen, 5. Auflage. Oldenbourg Verlag, München
- Böse J W (2007) Planungsinstrumente zur Realisierung von Prozeßinnovationen mit Beispielen aus der Verkehrslogistik, 1. Auflage. Shaker Verlag, Aachen
- Brinkmann B (2005) Seehäfen. Planung und Entwurf. 1. Auflage. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
- Bukold S (1996) Kombinierter Verkehr Schiene/Straße in Europa. Eine vergleichende Studie zur Transformation von Gütertransportsystemen, 1. Auflage. Peter Lang, Frankfurt am Main, Berlin, Bern, New York, Paris, Wien
- DB AG (2013), Chronik. http://www.deutschebahn.com/de/konzern/geschichte/chronik/2000_2010.html. Besucht am 27.02.2013
- DB Schenker (2013), Geschichte. <http://www.logistics.dbschenker.de/log-de-de/start/unternehmen/meilensteine/geschichte2009.html>. Besucht am 27.03.2013

- DB Schenker (2013), Kennzahlen. <http://www.logistics.dbschenker.de/log-de-de/start/unternehmen/kennzahlen.html>. Besucht am 27.02.2013
- DIN 30781 Teil 1: Transportkette Grundbegriffe
- DIN 30781 Beiblatt 1 Teil 1: Transportkette Grundbegriffe Erläuterungen
- DUSS (2013), Terminal. http://www1.deutschebahn.com/file/1624224/data/koeln_flyer.pdf. Besucht am 27.02.2013
- DUSS (2013), Unternehmen. http://www1.deutschebahn.com/ecm2-duss/start/unternehmen/daten_fakten.html. Besucht am 27.02.2013
- Gesellschaft für Logistik (SGL) (1996): Kombinierter Güterverkehr. Ein Überblick über Betrieb und Technik, 1. Auflage. SGL, Bern
- Koch J (1997) Die Entwicklung des Kombinierten Verkehrs. Ein Trajekt im Eisenbahnp paradigm. Deutscher Universitäts Verlag, Gabler Verlag, Wiesbaden
- Kombiverkehr (2013), Fahrplan. http://kombiverkehr.hafas.de/bin/query.exe/dn?ocw_sid=uftmnndr8gav738irbr14jubbl3. Besucht am 27.02.2013
- Kombiverkehr (2013), Gesellschaftsform. <http://www.kombiverkehr.de/web/Deutsch/Startseite/Unternehmen/Kombiverkehr/Gesellschaftsform/>. Besucht am 27.02.2013
- Kombiverkehr (2013), Netz. [http://www.kombiverkehr.de/web/Deutsch/Startseite/Verkehre/Nationaler_Verkehr/Kombi-Netz_2000+/-](http://www.kombiverkehr.de/web/Deutsch/Startseite/Verkehre/Nationaler_Verkehr/Kombi-Netz_2000+/). Besucht am 27.02.2013
- Kombiverkehr (2013), Unternehmen. http://www.kombiverkehr.de/web/Deutsch/Startseite/Unternehmen/Kombiverkehr/%C3%9Cber_Kombiverkehr/. Besucht am 27.02.2013
- Kombiverkehr (2013), Zahlen. <http://www.kombiverkehr.de/neptun/neptun.php/oktopus/page/1-16>. Besucht am 27.02.2013
- Kummer S. (2006) Einführung in die Verkehrswirtschaft, 1. Auflage. Facultas Verlags- und Buchhandels AG, Wien
- Lucke H-J, Clausen U, Eisenkopf A, Frindik R, Lüsch J, Peter U, Stabenau H (2012) Transportlogistik. In: Krampe, H; Lucke, H-J; Schenk, M (Hrsg.): Grundlagen der Logistik. Theorie und Praxis logistischer Systeme, 4. Auflage. Huss-Verlag, München
- Lampe H (2006) Untersuchung von Dispositionentscheidungen in Umschlagterminals des Kombinierten Verkehr Schiene/Straße, 1. Auflage. Verlag Praxiswissen, Dortmund
- Meisel F (2009) Seaside Operations Planning in Container Terminals, 1. Auflage. Physica-Verlag, Berlin, Heidelberg
- Pfohl H-C (2010) Logistiksysteme. Betriebswirtschaftliche Grundlagen, 8. Auflage. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
- Polzin D W (1999) Multimodale Unternehmensnetzwerke im Güterverkehr. Grundlagen, Anforderungsprofile und Entwicklung eines Gestaltungsansatzes für einen zukunftsorientierten Kombinierten Verkehr Straße-Schiene, 1. Auflage. Huss-Verlag, München
- Puettmann C (2010) Collaborative Planning in Intermodal Freight Transportation, 1. Auflage. Gabler Verlag, Wiesbaden
- Schieck A (2008) Internationale Logistik. Objekte, Prozesse und Infrastrukturen grenzüberschreitender Güterströme, 1. Auflage. Oldenbourg Verlag, Wien, München
- Schönknecht A (2009) Maritime Containerlogistik. Leistungsvergleich von Containerschiffen in intermodalen Transportketten, 1. Auflage. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
- Steenken D, Voß S, Stahlbock R (2004) Container terminal operation and operations research – a classification and literature review. OR Spectrum. 2004. Heft 26, S. 3–49.
- Transfracht (2012), Netzwerkkarte, am 05.10.2012 per E-Mail übersandt von Transfracht
- Transfracht (2013), Presse. <http://www.transfracht.com/nc/unternehmen/presse/article/tfg-transfracht-jetzt-komplett-bei-der-deutschen-bahn.html>. Besucht am 27.02.2013
- Transfracht (2013), Übersicht. <http://www.transfracht.com/leistungen/uebersicht.html>. Besucht am 25.2.2013

Transfracht (2013), Unternehmen. <http://www.transfracht.com/unternehmen/unternehmensprofil.html>. Besucht am 27.02.2013

Transfracht (2013), Verkehrsaufkommen, am 05.10.2012 per E-Mail übersandt von Transfracht

Transfracht (2013), Zahlen. <http://www.transfracht.com/unternehmen/zahlen-daten-fakten.html>.
Besucht am 27.02.2013

Teil IV

Methoden-Analyse, Planung und Optimierung

Ute Metzler

Im Rahmen der Transportplanung erfolgt die Definition der Ablauforganisation von Güterverkehren in Transportnetzen. Ziel ist es unter Berücksichtigung der aus dem Anwendungsbereich resultierenden Restriktionen sowie infrastruktureller Maßgaben alle erforderlichen Ressourcen simultan zu planen, zu steuern und zu kontrollieren (Grünert 2003, S. 112). Die Transportplanung bildet ein Element der logistischen Unternehmensplanung und wird gemäß betriebswirtschaftlicher Grundsätze sowie orientiert an unternehmenspolitischen Prinzipien (z. B. Leitbildvorstellungen, Unternehmensphilosophien) durchgeführt (Aberle 2009, S. 415) (Abb. 17.1).

Der Transportplanungsprozess gliedert sich in verschiedene Prozessschritte die im Folgenden kurz erläutert werden. Initial erfordert jede Transportplanung die Definition von Planungs- bzw. Zielkriterien (z. B. Erreichung eines Servicegrads, Priorisierung von Kunden) sowie die Berücksichtigung vorgegebener Restriktionen. Die eigentliche Planung beginnt mit der Datenübernahme und -validierung. Diese beinhaltet die Identifikation, Beschaffung und Aggregation sowie Aufbereitung und Prüfung relevanter Daten. Ausgehend von den ermittelten Plandaten erfolgt die Berechnung von Transportszenarien, -touren und -routen. Im Anschluss daran werden innerhalb des vierten Prozesses die Dokumentation sowie die Übermittlung des Planungsergebnisses an die umsetzende Stelle durchgeführt. Obwohl die Überwachung im eigentlichen Sinn keinen Bestandteil der originären Planungsaufgabe darstellt, ist diese im Rahmen der Transportplanung von elementarer Bedeutung, um die Qualität der Ausführung zu gewährleisten und das Planungsergebnis bewerten zu können (Wendt et al. 2006, S. 9 f.).

Generell und unabhängig von dem Anwendungsbereich können Transportplanungsprozesse anhand ihrer Fristigkeit in strategische, taktische und operative Ebenen differenziert werden. Der strategische Planungsprozess beinhaltet den Aufbau eines Netzes mit

U. Metzler (✉)

4flow management GmbH, Hallerstraße 1, 10587 Berlin, Deutschland

E-Mail: U.Metzler@4flow.com



Abb. 17.1 Allgemeiner Transportplanungsprozess nach Wendt et al. (2006, S. 11)

dem Ziel effiziente Transportverbindungen zwischen den Knoten im Planungsgebiet zu realisieren.

Auf der taktischen Prozessebene wird die (veränderbare) Gebietsstruktur des Netzwerks festgelegt. Außerdem erfolgt in diesem Zusammenhang die Überplanung von Transportstrukturen und Rahmentouren (bspw. regelmäßige Milk-Run-Transporte in der Beschaffung). Auslöser für Überplanungen können Bedarfsänderungen sein, die abweichende Transportmittel und Tarife bedingen. So sind vertragliche Anpassungen häufig in das Aufgabenfeld der taktischen Planung einzuordnen, abhängig von ihrer Vertragsbindung und -dauer können diese jedoch auch Bestandteil der strategischen Transportplanung sein.

Im Rahmen der operativen Transportplanungsebene erfolgt die tägliche Durchführung originärer Dispositionstätigkeiten. Dazu zählt als Kernaufgabe die Koordination und Überwachung der Transporte mit dem Ziel einer kostengünstigen Transportabwicklung bei gleichzeitiger Einhaltung des vertraglich definierten Servicegrads sowie gesetzlicher Bestimmungen (z. B. Lenk- und Ruhezeiten, Zoll- und Gefahrgutvorschriften). In diesem Zusammenhang werden auch die tagesgenaue Touren- und Routenplanung sowie die Transportmittelwahl bzw. Fahrzeugzuweisung durchgeführt. Trotz getrennter Aufgabenbearbeitung innerhalb der drei Ebenen, bedarf es einer Rückkopplung zwischen diesen, um einerseits eine zielgerichtete Umsetzung von Maßnahmen aus der strategischen und taktischen Ebene zu gewährleisten. Andererseits bietet die Rückmeldung aus der Operativen Hinweise für Überplanungen auf der strategischen bzw. taktischen Ebene.

Tab. 17.1 Sourcing Strategien

<i>Arealkonzept</i>	Local Sourcing	Domestic Sourcing	Global Sourcing	
<i>Lieferantenkonzept</i>	Sole Sourcing	Single Sourcing	Dual Sourcing	Multiple Sourcing
<i>Objektkonzept</i>	Unit Sourcing	System Sourcing	Modular Sourcing	
<i>Zeitkonzept</i>	Vorrats- beschaffung	Beschaffung im Bedarfsfall	Fertigungssynchrone Beschaffung	

Trotz eines allgemeinen Transportplanungsansatzes erfordert die Anwendung der Transportplanung auf verschiedene Bereiche die Berücksichtigung charakteristischer Besonderheiten. In den folgenden Abschnitten erfolgt die Darstellung spezifischer Transportplanungsmerkmale anhand exemplarischer Anwendungsfelder.

17.1 Beschaffung

Allgemein werden unter Beschaffung alle unternehmerischen Maßnahmen zur Versorgung mit nicht selbst erstellten Produktionsfaktoren verstanden (Kummer 2009, S. 90). Der Transport bildet somit aufgrund seiner raumüberwindenden Funktion ein zentrales Element für die Umsetzung der Beschaffung. Auslöser für Transporte innerhalb der Beschaffung sind Abrufe oder Bestellungen.

Die Beschaffung ist durch verschiedene *Sourcing Strategien* charakterisiert, die abhängig von ihrer Ausprägung die Transportplanung beeinflussen. Das *Arealkonzept* beschreibt den geografischen Raum in dem die Beschaffungsaktivität durchgeführt wird. Dabei wird zwischen Local, Domestic und Global Sourcing unterschieden (Arnold 2007, S. 29). Local Sourcing umfasst die Materialversorgung durch Zulieferer in räumlicher Nähe zum Abnehmer und gewährt durch kurze Transportwege eine hohe Versorgungssicherheit. Domestic Sourcing hingegen bezeichnet die nationale Beschaffung. Dabei erweitert sich die Bezugsregion auf das gesamte Inland und ermöglicht einen Zugriff auf eine größere Anzahl von Lieferanten. Im Gegensatz zum Local und Domestic Sourcing umfasst das Global Sourcing die weltweiten Beschaffungsaktivitäten. Aufgrund des längeren Transportwegs erhöht sich gleichzeitig das Transportrisiko. Insgesamt beeinflusst die gewählte Arealdimension vor allem die Transportlänge und -zeit. Abhängig von diesen Vorgaben muss die Transportplanung insb. die Verkehrsträgerwahl und Laufzeitkalkulation durchführen (Tab. 17.1).

Gemäß des *Lieferantenkonzepts* wird im Rahmen der Beschaffungsstrategien zwischen der Anzahl Lieferanten differenziert, von denen ein Produkt bezogen wird. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen den zwei Hauptausprägungen Single und Multiple

Sourcing (Arnold et al. 2008, S. 280 f.). Als Single Sourcing¹ bezeichnet man den Bezug eines Produkts von einem einzelnen Lieferanten. Die grundlegende Motivation des Single Sourcings besteht in der Senkung der Beschaffungskosten durch die Nutzung von Mengeneffekten. Im Gegensatz dazu wird beim Multiple Sourcing² ein Produkt von mehreren Lieferanten bezogen. Das Ziel besteht darin, das Versorgungsrisiko und die Abhängigkeit von einzelnen Lieferanten durch die Aufteilung des Beschaffungsvolumens zu reduzieren. Gleichzeitig kann durch die Förderung des Wettbewerbs der Lieferanten eine Preisminde rung erzielt werden. Aus Sicht der Transportplanung ermöglicht das Single Sourcing die Nutzung von Mengeneffekten und kann zu einer besseren Transportmittelauslastung bei gleichzeitiger Reduktion der Komplexität von Transaktionsbeziehungen führen. Dahingegen erfordert die Anwendung des Multiple Sourcings das Anlegen einer erhöhten Anzahl an Transportrelationen, für die vertragliche Raten bei einem Logistikdienstleister einzukaufen sind.

Bei der Unterscheidung von Sourcing Strategien nach dem Beschaffungsobjekt (*Objektkonzept*) wird der Grad der Komplexität der Beschaffungsobjekte betrachtet (Wannenwetsch 2010, S. 163 ff.). Dabei wird zwischen Objekten mit geringer Komplexität und aus einer Vielzahl von Einzelteilen bestehenden Baugruppen unterschieden. Dieses Beschaffungsmerkmal übt keinen direkten Einfluss auf die Transportplanung und wird an dieser Stelle nicht weiter thematisiert. Dahingegen fordert das *Zeitkonzept* eine besondere Berücksichtigung im Rahmen der Transportplanung. In diesem Zusammenhang werden die drei Varianten Vorratsbeschaffung, Einzelbeschaffung im Bedarfsfall und fertigungssynchrone Beschaffung differenziert (Buchholz et al. 1998, S. 8 f.). Mittels Vorratsbeschaffung werden in der Regel größere Mengen zum Aufbau von Beständen bezogen, die innerhalb von Standardtransporten disponiert werden. Dahingegen ist die Einzelbeschaffung im Bedarfsfall durch kleinere Sendungsvolumina charakterisiert und erfordert einen ad-hoc Transport, der abhängig von der Sendungsgröße mittels KEP- oder Stückgutdienstleister durchzuführen ist. Im Falle einer hohen Dringlichkeit bedarf es unter Umständen der Transportdurchführung als Expressleistung. Bei der fertigungs synchronen Beschaffung(Just-in-time, Just-in-sequence) wird zunächst der mittelfristige Bedarf festgelegt, um dem Lieferanten seine Produktionsplanung zu ermöglichen. Die eigentliche Bestellung wird durch Lieferabrufe ausgelöst, die bis zu einem täglichen Feinabruf erfolgen können. Aufgrund der geforderten zeitdefinierten Anlieferung bedarf es einer minutenzzeitfenster-genauen Transportplanung. In der taktischen Planung gilt es eine genaue Transitzeit zu ermitteln. Aufgrund der Kontinuität der Transporte müssen die Anlieferungen nicht täglich überplant werden, die dispositivo Steuerung beinhaltet häufig primär die Überwachung, um Transportrisiken zu minimieren.

¹ Eine besondere Form des Single Sourcings stellt das sogenannte Sole Sourcing dar, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass der Zulieferer Monopolist ist und keine alternativen Zulieferquellen existieren (Arnold 1995, S. 95 ff.).

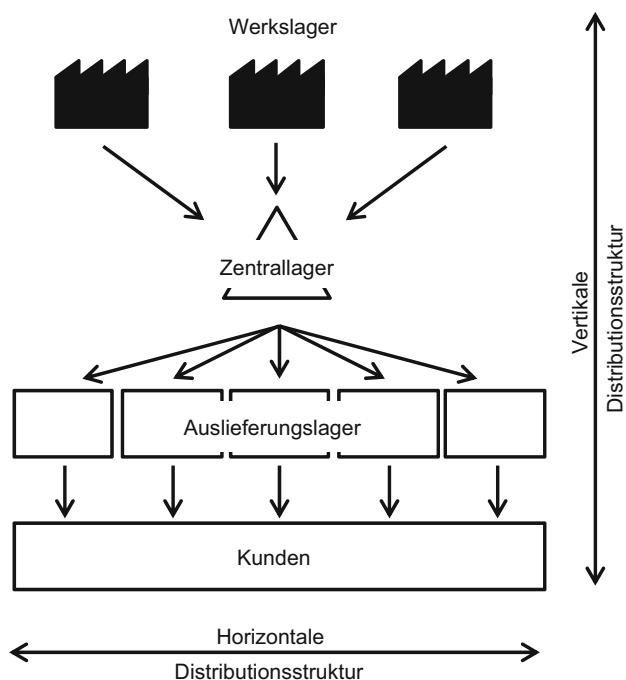
² Eine Sonderform des Multiple Sourcings stellt der Zweiquellenbezug, das Dual Sourcing, dar.

Auf Basis der durch den Einkauf und die Produktion vorgegebenen restriktiven Sourcing Strategien erfolgt mittels der Transportplanung die Wahl des *Transportkonzepts*. Unter Berücksichtigung des Transportaufkommens je Lieferant und dessen geographischer Lage im Netz sowie der Dringlichkeit gilt es das kostengünstigste und gleichzeitig termingerechte Konzept auszuwählen. Die logistisch einfachste Form stellt der *Direkttransport* dar. Dabei werden die Güter auf direktem Weg vom Lieferanten an den Abnehmer transportiert. Die direkte Anlieferung findet häufig bei großen Lieferumfängen, einer fertigungssynchronen Anlieferung bei kurzen Entfernungen sowie der Vergabe von engen Lieferzeitfenstern Anwendung. Eine spezielle Form des direkten Transports ist die Lieferung unter Einbezug eines Konsignationslagers. Dieses wird in der Regel in der Nähe des Abnehmers eingerichtet und durch den Lieferanten beliefert.³ Eine weitere Möglichkeit der Anlieferung bietet das *Gebietsspediteur-Konzept*, das bei der räumlichen Konzentration einer größeren Anzahl von entfernten Lieferanten mit geringem Volumen genutzt wird. Der Radius für eine Sammeltour beträgt ca. 100 km. Durch einen Spediteur bzw. Logistikdienstleister werden die Lieferungen gesammelt und in einem Umschlagpunkt konsolidiert, von dem aus die Güter in vollen Ladungen zum Abnehmerwerk transportiert werden. Sofern bei der Sammeltour eine streckenoptimierte Reihenfolge der einzelnen Anfahrtspunkte unter Verwendung zeitlicher und mengenmäßiger Restriktionen Anwendung findet, wird das Konzept *Milk-Run* genannt (Vahrenkamp 2012, S. 223). Insgesamt können durch die Nutzung von Konsolidierungsknoten Transportkapazitäten besser genutzt werden. In diesem Zusammenhang gilt es auch zu prüfen inwiefern alternativ zu der Transportnetzgestaltung für die Beschaffungsströme eines einzelnen Empfängers ein *Shared user network* eines Logistikdienstleisters genutzt werden kann, um Einsparungen zu erzielen. Generell besteht im Rahmen der Beschaffung das Ziel der Transportplanung darin, abhängig vom Transportaufkommen einer Quelle sowie eingesetzter Sourcing Strategien den Transport als Direktverkehr oder mittels Konsolidierung zu steuern. Ein weiteres Instrument neben der Konsolidierung ist die Anpassung der Anlieferfrequenz, d. h. anstelle der Zusammenführung von Transportvolumina verschiedener Lieferanten erfolgt eine Frequenzanpassung eines einzelnen Lieferanten, so dass diese Relation als Direkttransport bedient werden kann (bspw. Reduktion der Anlieferung von täglich auf zwei Mal pro Woche). Als Maßgabe ist dabei die Dringlichkeit zu beachten, infogedessen ist eine Frequenzanpassung vorzugsweise für die Vorratsbeschaffung durchzuführen.

Da in der Beschaffung oftmals Mehrwegverpackungen und Ladungsträger eingesetzt werden, die dem Lieferanten als Leergut regelmäßig zur Verfügung gestellt werden, besteht eine weitere Planungsaufgabe darin zu ermitteln, in welcher Häufigkeit *Einzeltransporte* oder alternativ *Rundläufe* durchgeführt werden sollten. Leergestelle können in der Regel platzsparender verladen werden, so dass von keinem ausschließlichen Einsatz von Rund-

³ Der Lieferant ist verantwortlich, die vertraglich definierten Ober- und Untergrenzen der Bestände einzuhalten. Der Materialabruf erfolgt bei Bedarf aus dem Konsignationslager und erst in diesem Schritt gehen die Güter in das Eigentum des Abnehmers über.

Abb. 17.2 Horizontale und vertikale Distributionsstruktur nach Arnold et al. (2008, S. 421)



läufen auszugehen ist, sondern ergänzend für den Transport von Vollgut Einzeltransporte Einsatz finden.

17.2 Distribution

Im Gegensatz zur Beschaffung, die die Steuerung der eingehenden Transporte in ein Unternehmen beinhaltet, werden im Rahmen der Distribution die ausgehenden Transporte zu den Endkunden durchgeführt. Da der Anzahl an Lieferanten in der Regel eine höhere Anzahl an Endkunden gegenübersteht, ist die Sendungsgröße in der Distribution geringer als in der Beschaffung. Analog zu dieser besteht das Ziel des Transports innerhalb der Distribution in dem Raumausgleich von Gütern durch den Einsatz geeigneter Transportmittel (Buchholz et al. 1998, S. 13). Abhängig von Branche und Absatzregion erfolgt die Definition der Distributionsnetzstruktur, die sich insbesondere anhand ihrer *Stufigkeit*, der *vertikalen Distributionsstruktur*, unterscheiden kann (Abb. 17.2).

Innerhalb der vertikalen Struktur wird zwischen *ein- und mehrstufigen Warenverteilungssystemen* unterschieden. In einstufigen Systemen erfolgt die Warenverteilung über eine einzige Zentrallagerstufe. Demgegenüber wird die Distribution in mehrstufigen Systemen ausgehend von einem Zentrallager über Regional- und Auslieferungsläger ausgeführt.

Dezentral gesteuerte Distributionsnetze ermöglichen kurze Lieferzeiten und die Bevorratung eines regional nachgefragten Artikelspektrums, induzieren dadurch jedoch gleichzeitig zusätzliche Lagerhaltungskosten. Innerhalb der *horizontalen Distributionsstruktur* erfolgt die Definition der Anzahl der Läger je Stufe, deren räumliche Allokation sowie die Zuweisung der Liefergebiete gemäß Absatzregionen (Arnold et al. 2008, S. 421 f.). Die Ermittlung der Stufigkeit, Anzahl und Standorte innerhalb des Netzes ist Bestandteil der Distributionsplanung und stellt eine vorgelagerte Aufgabe der Transportplanung dar. Dahingegen wird auf strategischer Transportplanungsebene die Zuordnung von Empfängern zu der letzten Lagerstufe durchgeführt. Dabei erfolgt unter Berücksichtigung absatzmarkt-relevanter Zuordnungen (vorgehaltene Artikel je Auslieferungslager) die transportkostenminimale Empfängerallokation. Analog zu der Beschaffung gilt es auch in der Distribution Konsolidierungsmöglichkeiten beispielsweise durch Zusammenführung von Teilladungen in Form eines Milk-Runs zu nutzen. Dies sollte bereits bei der Zuordnung von Empfängern zu den Lagerstandorten berücksichtigt werden.

Das Ziel der Distributionslogistik besteht in der Sicherstellung eines vorgegebenen Lieferserviceniveaus bei gleichzeitiger Kostenoptimierung (Buchholz et al. 1998, S. 12). Dabei übt die Sendungscharakteristik maßgeblichen Einfluss auf den zu wählenden Distributionsweg aus. Unter Berücksichtigung der Destination erfolgt die Verkehrsträgerwahl, die insb. durch die geographische Lage und infrastrukturelle Anbindung des Empfangsknotens beeinflusst wird (z. B. Lage außerhalb des Festlandes, Verfügbarkeit eines Gleisanschlusses). In diesem Zusammenhang ist auch die Dringlichkeit der Sendung zu berücksichtigen, die restriktiv auf die Wahl des Verkehrsträgers Einfluss nimmt. So werden Express-Sendungen durch spezialisierte Dienstleister als Straßen- oder Lufttransport durchgeführt. Weiterhin wird die Distribution aufgrund der Sendungsgröße beeinflusst. Zwischen den verschiedenen Distributionsstufen gilt es für einen kostengünstigen Transport Komplettladungen als Direktverkehr, beim Straßentransport *Full Truck Load (FTL)* genannt, für die Nachschubsteuerung der Regional- und Auslieferungsläger einzusetzen. Aufgrund der oftmals geringen Sendungsgröße im Distributionsgeschäft, wird die finale Zustellung (*Letzte Meile*) in der Regel mittels KEP-Dienstleister ausgeführt (s. Abschn. 1.5). Sofern die Sendung nicht KEP-fähig ist, kann diese alternativ als Stückgut transportiert werden. Abhängig vom Empfänger und der Nachfragefrequenz werden die Transporte als *Bedarfs-* oder *Reiselerverkehr* ausgelegt. Unter Berücksichtigung der genannten Sendungscharakteristika und daraus resultierender Restriktionen werden auf taktischer Ebene die für den Anwendungsfall kostengünstigsten Transporte definiert. Die dispositive Steuerung in der operativen Transportplanung beinhaltet die Zusammenstellung von einzelnen Transportaufträgen zu Fahrzeugladungen sowie deren Transportüberwachung.

Ein in der Distribution verbreitetes Transportkonzept ist das *Cross-Docking*. Darunter wird die Abstimmung von Sendungen verschiedener Lieferanten mit den Anlieferungen an den Empfänger verstanden. Die Funktionsweise des Distributionszentrums beschränkt sich dabei ausschließlich auf das Umschlagen und stellt kein Warenlager dar. Eingehende Transporte beinhalten Sendungen eines Versenders für mehrere Empfänger, die im Rahmen des Cross-Dockings empfangsspezifisch konsolidiert werden, so dass jeder abgehende

Transport die Sendungen mehrerer Versender für einen Empfänger beinhaltet (Kummer 2009, S. 326). Das Ziel des Cross-Dockings besteht darin, durch Bündelung die Anzahl an Transporten zu reduzieren. Ein besonderer Vorteil stellt sich dadurch auch für den Empfänger in Form der Reduktion von Anlieferverkehren dar. Bei der Definition von Cross-Dock Transporten sind insbesondere die Laufzeiten der eingehenden Transporte so aufeinander abzustimmen, dass die Sendungen möglichst zeitgleich in dem Distributionszentrum eintreffen, um eine kurze Pufferung sicherzustellen. Auf operativer Ebene muss gewährleistet werden, dass alle eingehenden Sendungen auf die ausgehenden Fahrzeuge verladen werden können.

17.3 Ersatzteillogistik

Der Ersatzteil-Markt ist aufgrund der teilweise schwer prognostizierbaren Nachfrageschwankungen von einer hohen Dynamik geprägt. Saisonale Produkte sowie Wartungs- und Verschleißteile, die in der Regel in definierten Zeitintervallen ausgetauscht werden, weisen eine höhere Prognostizierbarkeit auf als Reparaturteile, die durch unvorhersehbare Ausfälle nachgefragt werden. Aufgrund von Erfahrungswerten existieren jedoch auch innerhalb der Reparaturteile solche, die eine konstante Nachfrage aufweisen. Dazu zählen bei den Automobilersatzteilen beispielsweise Stoßfänger und Außenspiegel. Die dargestellte Nachfragedynamik wird durch den Trend zu kurzen Produktlebenszyklen bei zunehmender Variantenvielfalt forciert und bedingt ein stetig anwachsendes Spektrum an Ersatzteilen. Im Automobilbau besteht eine rechtliche Lieferverpflichtung der Ersatzteile bis zehn Jahre nach Serienauslauf, woraus ein enormes Mengenproblem in der Ersatzteillogistik mit einer Vielzahl von Langsamdreihern resultiert (Klug 2010, S. 448). Zusätzlich zu der hohen Anzahl verschiedener Artikel sind diese durch Heterogenität charakterisiert (ein Ersatzteil kann sowohl einen O-Ring als auch ein Trägerelement einer Landmaschine darstellen), was eine differenzierte Transportplanung bedingt. Aufgrund des heterogenen Teilespektrums bedarf es sowohl der Steuerung von Ganzladungen als auch Kurier-, Express- und Paketdienstfähiger Teile. Generell erwarten Endkunden im Ersatzteilgeschäft einen hohen Servicegrad, so dass Nicht-Verfügbarkeiten und lange Beschaffungszeiten unter Umständen zu einem Wechsel zu Wettbewerbern führen können. Nicht zuletzt hat der Ersatzteil-Markt als Servicegeschäft einen großen Einfluss auf das Markenimage. Folglich ist eine zuverlässige Ersatzteillogistik mit kurzen Transportzeiten von zentraler Bedeutung.

Ersatzteile lassen sich in *Haus-* und *Kaufteile* unterscheiden. Dabei stellen Hausteile eigengefertigte Artikel dar, wohingegen Kaufteile im Rahmen der Beschaffung bezogen werden müssen. Abhängig von der Lage des Produktionsstandorts der Hausteile zum Ersatzteillager müssen diese auch mittels außerbetrieblicher Transporte beschafft werden. Generell setzt sich das Ersatzteilnetzwerk aus einem Beschaffungs- und einem Distributionsnetzwerk zusammen (vgl. Abschn. 1.1 und 1.2). Im Vergleich zu der Beschaffung in der produzierenden Industrie und dem allgemeinen Handelsgeschäft erfordert die Beschaffung

von Ersatzteilen aufgrund der langfristigen Lieferverpflichtung auch den Bezug geringer Stückzahlen eines Artikels und folglich kleiner Sendungen. Somit ist die Sendungsgröße erneut ein maßgebendes Merkmal der Transportplanung woraus das Transportkonzept abgeleitet wird (vgl. Abschn. 1.1). Eine spezielle Möglichkeit in der Ersatzteilbeschaffung besteht in der Integration der Anlieferströme in die Beschaffung der Serienfertigung, woraus *Skaleneffekte* erzielbar sind. Häufig erfolgt die Belieferung des Ersatzteillagers über einen vorgelagerten *Vorverpacker*. Dessen Aufgabe besteht darin Teile größerer Sendungen zu dekonsolidieren und in kleinere Verkaufseinheiten umzupacken. Entsprechend sind Beschaffungsnetzwerke von Ersatzteilen oftmals mehrstufig aufgebaut.

Abhängig von Branche und Marktanteilen wird ein Netzwerk zur Ersatzteildistribution als *selektives* oder *zentrales Lagersystem* aufgebaut. Bei geringen Marktanteilen erfolgt die Distribution zentral, da potentielle Regionalläger zu hohe Lagerhaltungskosten induzieren, dahingegen werden innerhalb eines selektiven Systems auf die Nachfrage des Absatzgebiets spezifische Regionalläger aufgebaut. Da Ersatzteile oft durch eine hohe Dringlichkeit charakterisiert werden, gilt es abhängig von der gewählten Distributionsnetzstruktur die Transportplanung durchzuführen. Schnellere Verfügbarkeiten können durch eine Dezentrallagerstruktur gewährleistet werden, wohingegen bei der ausschließlichen Nutzung eines zentralen Ersatzteillagers in der Regel vermehrt Expresstransporte erforderlich sind. Diese finden auch in einem selektiven Lagersystem Anwendung, sobald ein dringendes Ersatzteil nicht in dem verantwortlichen Regionallager vorrätig ist und aus dem Zentrallager bezogen werden muss. Infolgedessen bedarf es durch die Transportplanung der Definition alternativer Transportrelationen und -services zu einem Empfänger abhängig von Verfügbarkeit und Eilbedürftigkeit der nachfragten Teile.

17.4 Entsorgungslogistik

Die Entsorgungslogistik befasst sich mit der materialflusstechnischen Optimierung von inner- und außerbetrieblichen Abfallströmen. Ihr vordergründiges Ziel besteht darin Maßnahmen zur Vermeidung und Verwertung zu unterstützen und sofern diese nicht realisierbar sind, die Reduktion von Abfallmengen zu forcieren. Dazu erfolgen mittels entsorgungslogistischer Maßnahmen die Erfassung von Abfallströmen sowie die Optimierung der Material- und Informationsflüsse (Arnold et al. 2008, S. 487).

Mit Hilfe der Entsorgungslogistik werden vorrangig Logistikleistungen zur Erfassung von Wertstoffen und Abfällen, deren Bereitstellung an den annehmenden Anlagen sowie zum Weitertransport der aus den Anlagen austretenden *Faktionen* im Zuge der Verwertung bzw. Beseitigung durchgeführt (Arnold et al. 2008, S. 499). Die Sammelverfahren werden in *Bring-* und *Holsysteme* differenziert. Bei einem Holsystem wird der Abfall direkt an der Anfallstelle durch ein Entsorgungsunternehmen abgeholt. Innerhalb von Bringsystemen sorgen die Abfallerzeuger selbstständig für den Transport zu einer Sammelstelle. Abfälle zur Entsorgung werden in *Siedlungs-* und *Industrieabfälle* unterschieden. Das

Transportnetz in einem Holsystem für die Entsorgung von Siedlungsabfällen ist durch eine hohe Anzahl an Übergabeorten gekennzeichnet, an denen vorwiegend kleine Abfallmengen auftreten. Ein wirtschaftlicher Abtransport lässt sich folglich nur über die Sammlung und den gemeinsamen Transport im Rahmen der *Flächenentsorgung* erzielen. Dahingegen fallen Industrieabfälle an einer vergleichsweise geringen Anzahl an Übergabeorten bei hohem Abfallaufkommen an, so dass diese direkt zur Behandlungs- bzw. Beseitigungsanlage transportiert werden können (*Punktentsorgung*).

Im Weiteren erfolgt die Darstellung der Transportplanung in der Entsorgungslogistik am Beispiel der Hausmüllentsorgung. In den Kommunen wird für die Abfallentsorgung in der Regel das sogenannte *Umleersystem* eingesetzt. In Deutschland existieren genormte Umleersysteme als Müllbehälter mit unterschiedlichem Fassungsvermögen (Jünemann 1989, S. 731 f.). Diese werden über eine Schüttung in Sammelfahrzeuge entladen. Private Wohneinheiten (Ein- und Mehrfamilienhäuser) verfügen abhängig von der Anzahl an Haushalten und Bewohnern über eine definierte Menge und Größe an *Umleerbehältern*. Initial werden durch die Transportplanung die verschiedenen Sammelgebiete in einer Kommune definiert. Dies erfolgt vergleichbar mit der Gebietsplanung im KEP-Geschäft wobei die Nachfrage und die Anzahl an Stopps bei der Abfallentsorgung aufgrund der ausgegebenen Umleerbehälter und der in der Regel kontinuierlichen Abfallproduktion besser planbar sind. Abhängig von der Einwohnerdichte, der Anzahl an Haushalten sowie deren räumlicher Lage können das Abfallaufkommen sowie die erforderlichen Anfahrwege abgeleitet und das Sammelgebiet festgelegt werden. Für jedes Gebiet erfolgt die Zuordnung eines Sammelfahrzeugs sowie einer Bedienmannschaft, die abhängig von dem verfügbaren und gewählten Fahrzeugtyp zu bestimmen ist. So existieren für die Hausmüllentsorgung heutzutage *Seitenlader*, die ausschließlich durch den Fahrer aus der Fahrerkabine bedient werden und der Umleerbehälter automatisiert mittels Greifarm aufgenommen und entleert wird. Dahingegen erfordern die weit verbreiteten *Hecklader* Bedienmannschaften von zwei bis zu sechs Mann. Bei der Bereitstellung der Behälter wird zwischen *Benutzerbereitstellung* und *Mannschaftsbereitstellung* unterschieden. Bei letzterer werden die Umleerbehälter durch das Personal bereitgestellt, woraus eine größere Bedienmannschaft und unter Umständen eine längere Stoppdauer, die transportlogistisch berücksichtigt werden muss, resultiert. Durch die Intensivierung der getrennten Sammlung verschiedener Abfallfraktionen (Restmüll, „gelbe Tonne/gelber Sack“, Biomüll, Altpapier) in Holsystemen bedarf es jeweils separater Planungen und Disposition.

Die Tourenplanung wird in der Regel aufgrund von Erfahrungswerten mit dem Ziel einer gleichmäßigen Verteilung der zu leerenden Umleerbehälter auf die Sammelfahrzeuge und Bedienungsmannschaften durchgeführt (Jünemann 1989, S. 732). Im Vergleich zu anderen Transportsystemen erfolgen Entsorgungsverkehre häufig *zeitgesteuert* statt *bedarfsgesteuert*. Das heißt, dass die Transporte nach einer fest definierten Frequenz unabhängig von der akuten Nachfrage durchgeführt werden. Die Flächenentsorgung von Siedlungsabfällen erfolgt in Form von *Sammeltouren*, die durch eine hohe Stopphäufigkeit charakterisiert sind, mit dem Ziel die Kunden durch kürzeste Wege anzusteuern. Dabei führen die Zentralisierung von Entsorgungseinrichtungen sowie die zunehmende

Fraktionierung getrennt zu sammelnder Abfälle zu einer Zunahme an Transportbeziehungen (Arnold et al. 2008, S. 519). Da es im Allgemeinen aufgrund der Aufnahmekapazität des Fahrzeugs nicht möglich ist alle Kunden in einem Gebiet durch eine Tour zu bedienen, müssen die Fahrzeuge die Entsorgungseinrichtung häufig mehrmals zur Entladung aufsuchen. Generell besteht das Ziel der Transportplanung in der Fahrzeugauslastung und der Vermeidung von Leerfahrten durch die Definition *paariger Verkehre*. Aufgrund des Transports von Abfallprodukten mittels spezieller Fahrzeuge, die keine Transporte von Nicht-Abfallprodukten zulassen, ist die Durchführung paariger Verkehre ausgeschlossen. Innerhalb der Sammeltouren besteht die Leerfahrt ausschließlich zwischen der Entsorgungseinrichtung und der ersten Abfallaufnahmestelle, wohingegen bei der Punktentsorgung der disponierte Direktverkehr nur in eine Richtung ausgelastet werden kann.

17.5 Letzte-Meile-Logistik

Unter der *letzten Meile* wird der letzte Abschnitt der Distributionskette zum Empfangskunden, also die Auslieferung aus dem finalen Distributionszentrum verstanden. Diese Dienstleistung wird in der Regel durch Kurier-, Express- und Paketdienstleister (*KEP-Dienstleister*) durchgeführt. Der letzten Meile kommt eine besondere Bedeutung zu, da die Zustellungskosten bei kleinen Sendungen teilweise über 50 % der gesamten Transportkosten darstellen. Im Vergleich zur klassischen Handelslogistik mit Filialbelieferung wird über die letzte Meile eine deutlich höhere Anzahl an Sendungseinheiten transportiert und zugestellt, wodurch hohe Stoppkosten resultieren. Zusätzlich kostensteigernd wirken sich Fehlzustellungen aufgrund von Abwesenheiten der Empfänger aus, die zusätzliches Handling und erneute Zustellversuche bedingen. Der Dropfaktor liegt im B2C-Geschäft bei ca. 1,1 Paketen pro Stopp.

Die Funktion der letzten Meile hat in den letzten Jahren insbesondere durch die Zunahme des Online-Handels und dem damit verbundenen erhöhten Paketaufkommen an Bedeutung gewonnen. Bei Anstieg der Anzahl an Empfängern hat sich jedoch gleichzeitig deren Erreichbarkeit verschlechtert. Zu den Ursachen zählen die zunehmende Erwerbstätigkeit in einem einzelnen Haushalt sowie die wachsende Zahl an Single-Haushalten bei einer sinkenden Bedeutung der Nachbarschaft.

Ausgehend von einem *Depot*, in dem die Endsortierung der Pakete erfolgt, beginnt die Distribution zu den verschiedenen Empfangsgebieten. Die Gebietsdefinition wird auf Basis von Kennzahlen zu Einwohnern und Haushalten sowie geo- und topographischer Merkmale im Hinblick auf eine Streckenminimierung bei der Auslieferung ermittelt. Im Depot werden je Belieferungsgebiet und KEP-Fahrzeug die Paketsendungen bereitgestellt. Anschließend führt jeder Fahrer die Bestückung seines Fahrzeugs durch. Da der Fahrer seine Tour und Route auf Basis seiner Erfahrung, bei Bedarf unterstützt durch ein Navigationssystem, eigenständig plant, ist es ihm möglich die Sendungen tourenopti-

miert in das Fahrzeug zu sortieren. Paketfahrer, die ihre Gebiete über einen längeren Zeitraum beliefern, können dadurch bspw. Abwesenheiten bestimmter Empfänger zu ausgewiesenen Zeiten berücksichtigen und generell aufgrund des Wissens ihnen bekannte Verkehrsengpässe umgehen. Allgemein müssen analog zu der Filialbelieferung in Innenstädten unter Umständen Anlieferzeitfenster in Fußgängerzonen in der Transportplanung berücksichtigt werden.

Aufgrund der genannten Charakteristika und Restriktionen in der *Direktzustellung* im Rahmen der Letzten-Meile-Logistik wurden ergänzend *Pick-up-Points* implementiert. Diese stellen Abholpunkte für die Endkunden als Weiterentwicklung der Heimbelieferung dar. Dabei beliefert der KEP-Dienstleister die Ware indirekt über den Pick-up-Point an den Endkunden. Pick-up-Points können automatisierte, autarke Systeme sein, die flächendeckend im Absatzgebiet aufgestellt sind, oder in privaten Einrichtungen wie bspw. Tankstellen und Kiosks integriert sein. Sie bieten sowohl für den Dienstleister als auch für den Endkunden den Vorteil einer flexiblen Belieferung und Abholung. Pick-up-Points werden durch den Fahrer vergleichbar mit den übrigen Endkunden im Rahmen der Direktzustellung beliefert, wohingegen durch die konsolidierte Anlieferung ein höherer Dropfaktor gewährleistet und dadurch eine reduzierte durchschnittliche Zustellzeit pro Sendung realisierbar ist. Selbständige arbeitende Pick-up-Points, wie bspw. die Packstation von DHL, sowie ausgewählte private Einrichtungen ermöglichen den Kunden eine Abholung 24 Stunden am Tag, sieben Tage die Woche. Bei gleichzeitiger Vereinfachung der Transportplanung durch die Reduktion von Ablieferstellen auf einer Tour, erfordert die Implementierung eines Pick-up-Point Systems jedoch eine detaillierte Standortanalyse zur Lokalisation der Nachfragegebiete für einen Pick-up-Point. Nur bei einer entsprechend hohen Frequentierung des Systems amortisieren sich die Initialisierungs- und Betriebskosten verglichen mit den höheren Kosten der letzten Meile bei der Direktzustellung, so dass deren Einsatz nur in Ballungsräumen wirtschaftlich ist.

17.6 Verkehre in Produktions- und Umschlagsanlagen

In Produktions- und Umschlagsanlagen finden sowohl Verkehre von Fahrzeugen des öffentlichen Verkehrsraums als auch innerbetriebliche Verkehre, unter anderem durch Unstetigförderer statt. Fahrzeuge des öffentlichen Verkehrsraums dienen in der Regel der Anlieferung und Abholung von Gütern, wohingegen innerbetriebliche Transportmittel und Förderzeuge Umschlagvorgänge sowie Transporte zwischen verschiedenen Einrichtungen auf dem Gelände durchführen. Produktions- sowie Umschlagsanlagen fungieren bezogen auf den Transport somit als Schnittstelle zwischen inner- und außerbetrieblichem Verkehr.

Die übergreifende Definition und Steuerung der Verkehre erfolgt im Rahmen der *Hoflogistik*. Die Aufgabe der Transportplanung besteht in diesem Zusammenhang zunächst darin das Verkehrsflusskonzept der Anlage aufzusetzen. Dabei wird das Ziel einer

harmonisierten Verkehrssteuerung verfolgt, wodurch Verkehrsengpässe, Staus und somit Wartezeiten vermieden bzw. reduziert werden. Bei großen Anlagen mit mehreren Zufahrtmöglichkeiten aus dem öffentlichen Verkehrsraum bedarf es initial, vergleichbar mit der Empfängerallokation zu einem Distributionszentrum, der Zuordnung von Be- bzw. Entladestellen auf dem Gelände zu den Werkstoren. Dabei gilt es die Zuordnung abhängig von dem erwarteten Fahrzeugaufkommen mit dem Ziel der Wegeminimierung durchzuführen. Für einen gerichteten Verkehrsfluss, und da vereinzelte Wege in Produktionsanlagen unter Umständen Gegenverkehre aufgrund limitierter Breite schwer ermöglichen, sollten an ausgewählten Stellen Einbahnstraßenverkehre definiert werden. Weiterhin gilt es zur Gefahrenvermeidung eine Geschwindigkeitsbegrenzung sowie Vorfahrtsregeln aus der StVO zu definieren.

Im Gegensatz zu einem allgemeingültigen Hoflogistik-Konzept erfolgt die operative Transportplanung für die Anliefer- bzw. Abholverkehre und die Fahrten von Fördermitteln verschieden. Zu den vielfach in Produktions- und Umschlaganlagen eingesetzten Fördermitteln zählen Unstetigförderer wie Gabelstapler, Reachstacker, Schlepper und Straddle Carrier, die ihre Fahraufträge per Datenfunk durch eine zentrale Leitstelle erhalten. Diese kann mit Hilfe eines Ortungssystems alle Förderzeuge lokalisieren und die zugewiesenen Aufträge überwachen. Sobald neue Fahraufträge identifiziert werden, erfolgt eine Zuordnung zu einem Fördermittel mit dem Ziel der Wege- und Zeitminimierung, um eine schnelle Auftragsbearbeitung zu gewährleisten. Anliefer- und Abholverkehre, die originär als außerbetriebliche Transporte auf eine Produktions- oder Umschlaganlage einfahren, werden hingegen bei Einfahrt an einer Pforte bzw. an einem Werkstor informiert welchen Punkt sie auf dem Gelände anfahren sollen und bei Bedarf auf den optimalen Anfahrtsweg hingewiesen. Sofern die Be-/Entladestelle für das eintreffende Fahrzeug noch nicht freigegeben ist und dem Fahrer die Einfahrt verwehrt wird, sollte das Fahrzeug außerhalb des Geländes auf einer Parkfläche abgestellt werden. Die Erteilung der Zufahrtserlaubnis erfolgt in der Regel mittels eines vorher an den Fahrer ausgegebenen Handhelds oder durch Anruf.

Eine Möglichkeit zur Harmonisierung der Be- und Entladeverkehre in Produktionsanlagen besteht in der Einführung eines *Dock Managements*. Darunter ist eine Anlieferzeitfenstersteuerung mittels eines IT-Systems zu verstehen. Das Ziel besteht darin im Vorfeld für jedes Fahrzeug ein Be-/Entladezeitfenster zu reservieren, um Wartezeiten auf dem Gelände und an den Be- bzw. Entladetoren zu vermeiden. Dies kann, abhängig von der IT-Anbindung der Prozessbeteiligten, entweder durch Vorgabe der Produktions- bzw. Umschlaganlage oder durch den Spediteur erfolgen. Ergänzend zu der Steuerung von Anlieferzeitfenstern kann ein Dock Management das Tracking von Zeitstempeln beinhalten. Dabei werden zu Beginn und zum Abschluss definierter Prozesse Zeiten erfasst, um Transparenz über die Prozessdauer zu schaffen. Gleichzeitig bieten die erfassten Zeiten im Rahmen des Dock Managements die Möglichkeit die Aufenthaltsdauer je Fahrzeug zu dokumentieren und dadurch von dem Spediteur in Rechnung gestellte Standgelder zu prüfen.

Literatur

- Aberle G (2009) Transportwirtschaft: Einzelwirtschaftliche und gesamtwirtschaftliche Grundlagen, 5. Auflage. Oldenbourg, München
- Arnold D et al (Eds) (2008) Handbuch Logistik, 3., neu bearbeitete Auflage. Springer, Berlin et al
- Arnold U (1995) Beschaffungsmanagement. Schäffer-Poeschel, Stuttgart
- Arnold U (2007) Strategisches Beschaffungsmanagement. In: Arnold U (Ed) Praxishandbuch innovative Beschaffung: Wegweiser für den strategischen und operativen Einkauf, WILEY-VCH, Weinheim, S. 13–46
- Buchholz J et al (Eds) (1998) Handbuch der Verkehrslogistik. Springer, Berlin et al
- Grünert T (2003) Flexible Transportplanung für die Praxis – Vorteile der ressourcenorientierten Planung und deren Berücksichtigung in computerunterstützten Planungssystemen. In: Hossner R (Ed) Logistik Jahrbuch 2003, Verlagsgruppe Handelsblatt, Düsseldorf, S. 112–116
- Jünemann R (1989) Materialfluss und Logistik: Systemtechnische Grundlagen mit Praxisbeispielen. Springer, Berlin et al
- Klug F (2010) Logistikmanagement in der Automobilindustrie: Grundlagen der Logistik im Automobilbau. Springer, Heidelberg et al
- Kummer S (Ed) (2009) Grundzüge der Beschaffung, Produktion und Logistik, 2., aktualisierte Auflage. Addison-Wesley, London
- Vahrenkamp et al (2012) Logistik: Management und Strategien, 7. Auflage. Oldenbourg, München et al
- Wannenwetsch H (2010) Integrierte Materialwirtschaft und Logistik: Beschaffung, Logistik, Materialwirtschaft und Produktion, 4., aktualisierte Auflage. Springer, Heidelberg et al
- Wendt et al (2006) Transportplanung der Zukunft: Prozess- und Kostenanalyse, Optimierungspotenziale und Outsourcing. Books on Demand, Norderstedt

Bernhard van Bonn

Die Analyse, Planung und Optimierung von Logistiksystemen stellen wichtige Instrumente zur Effizienzsteigung und damit auch zur Kostensenkung dar. Für unterschiedliche Anwendungsbereiche finden sich für verschiedenste Planungshorizonte vielfältige Methoden. Durch die Einführung von EDV-Systemen zur Materialflussteuerung stehen für die Durchführung von Logistikplanungen reale Daten zur Verfügung. Die Daten machen es möglich, detaillierte Berechnungen durchzuführen und erlauben praxistaugliche Lösungen zu bestimmen. Abhängig von der logistischen Fragestellung lassen sich verschiedene Optimierungsmodelle für umsetzungsfähige Ergebnisse einsetzen. Der Schwerpunkt dieses Kapitels liegt in der Vorstellung zur Vorgehensweise, Transportsysteme und deren Materialströme zu analysieren, zu planen und zu optimieren.

18.1 Planungsschema

Unabhängig von den Planungshorizonten hat sich zur Durchführung von Logistikplanungen eine 4-stufige Vorgehensweise entwickelt. Dieses Schema ist für langfristige bis kurzfristige Planungshorizonte anwendbar:

1. Datenübernahme
 - a. Aufnahme der Ist-Situation
 - b. Verifikation der Ist-Daten
 - c. Geocodierung bzw. Digitalisierung
 - d. Berechnung von Entfernungsmatrizen

B. van Bonn (✉)

Fraunhofer IML, Joseph-von-Fraunhofer-Straße 2–4, 44227 Dortmund, Germany

E-Mail: Bernhard.van.Bonn@iml.fraunhofer.de

2. Analyse der Ist-Situation
 - a. Analyse der Kosten und Warenströme
 - b. Schwachstellenanalyse
 - c. Aufkommens- und Sendungsstrukturanalyse
 - d. Analyse der Tarifsysteme
3. Modellentwicklung
 - a. Entwurf alternativer Systemlösungen und Konzepte
 - b. Entwicklung spezifischer Optimierungsmodule
 - c. Integration in bestehende Module
4. Szenarien
 - a. Abbildung der Ist-Situation
 - b. Optimierte Zuordnung der Warenströme
 - c. Optimierte Anzahl und Lage der Standorte
 - d. Standortplanung durch Prognosemengen

Im ersten Schritt werden alle notwendigen Daten zur Transportplanung übernommen. Die Daten bilden die Grundlage einer soliden Logistikplanung. Nach der Verifikation der Daten mit Plausibilitätschecks erfolgt in der Regel die Verknüpfung der Logistikdaten mit digitalen Straßennetzdaten. Dies wird durch die Geocodierung geleistet. Anschließend werden für die verschiedenen Planungsinhalte entsprechend benötigte Entfernungsmatrizen berechnet.

Der zweite Schritt stellt den Analyseteil der Ist-Situation dar. Hier liegt der Schwerpunkt auf der Identifikation möglicher Schwachstellen in den Logistikabläufen. Der Analyseteil gibt Aufschluss, in welchen Bereichen eine Optimierung der Warenströme sinnvoll ist.

Nachdem bekannt ist, wo mögliche Einsparungspotentiale in der Transportlogistik zu erwarten sind, werden spezielle Modelle zur Optimierung entwickelt. Der Schwerpunkt liegt im Entwurf alternativer Systemlösungen und Konzepte. Des Weiteren kann es sinnvoll sein, separate Optimierungsmodelle für Teilprobleme zu entwickeln. Eine Stärke dieses dritten Schrittes liegt in der Verknüpfung bestehender Module. Der Vorteil liegt im Aufbau einer umfangreichen Sammlung von Optimierungsfunktionen und Optimierungsalgorithmen. Dadurch ist es nicht zwingend erforderlich Verfahren selbst neu zu implementieren. In der Regel kann auf vorhandene Algorithmen zurückgegriffen werden. Diese werden den Zielvorgaben der konkreten Problematik angepasst. Die Gewichtung verschiedener Aspekte der Zielvorgaben muss über die gegebenen Schnittstellen geeignet definiert werden. An den Zielvorgaben bemisst sich, was im konkreten Problem „optimal“ bedeutet. Die Umsetzung dieser Schnittstellen ist abhängig von der jeweiligen Optimierungsumgebung. Typische Formulierungssprachen gehen von einfachen Datenbankstatements z. B. in SQL bis hin zu Source-Code Segmenten in der jeweiligen Solver Sprache.

Der vierte und letzte Schritt stellt den Anwendungsschritt zur Lösungsbildung dar. Nachdem alle Kriterien, Restriktionen und Aspekte des logistischen Systems aufgenommen sind, wird ein spezifisches Optimierungsmodell entwickelt. Anhand dieses Modells lassen sich verschiedene Fragestellungen bearbeiten, d. h. es muss nicht nur eine spezielle

Aufgabenstellung betrachtet werden, sondern es lassen sich Optimierungen mit verschiedenen Parametern durchführen und gegenüberstellen. Dies wird in Form von Szenarien abgebildet, die als separate Probleminstanzen optimiert werden.

Die beschriebenen vier Schritte erlauben eine standardisierte Transportplanung, indem strukturierte Planungsschritte in der richtigen Reihenfolge angewendet werden.

Die Basis zur Verbesserung von Logistiksystemen bildet neben der richtigen Methodenauswahl die Verwendung realer Logistikdaten. In der Regel handelt es sich bei den Daten um Informationen, die den logistischen Materialfluss beschreiben. In der Regel werden diese Informationen durch operative Systeme erfasst und dienen der Materialsteuerung bei der Beschaffung, Produktion, Lagerung (z. B. Ein-, Zwischen- und Auslagerung), Distribution, Redistribution sowie sonstiger Materialströme.

Die Logistikdaten können in unterschiedliche Kategorien geordnet werden. Die Logistikdaten lassen sich in *Stammdaten* und *Bewegungsdaten* unterscheiden. Bei den Stammdaten handelt es sich um Basisdaten wie Artikelstamm oder Kundendaten. Die Bewegungsdaten beschreiben den eigentlichen Materialfluss von Gütern (z. B. Artikel) über einen Zeitverlauf zwischen verschiedenen Orten. Für logistische Planungen werden beide Datenkategorien benötigt.

18.2 Stammdaten

Zur Kontrolle und Steuerung der Materialströme werden bestimmte Basisdaten in Form von Stammdaten benötigt. Unter Stammdaten werden grundlegende Informationen verstanden, die unabhängig von der Materialbewegung anfallen. Hierzu gehören zum Beispiel Informationen über die Adressen der Kunden oder die Abmessung der zu transportierenden Artikel. Stammdaten beschreiben Attribute, die statisch sind, d. h. über längere Zeit unverändert bleiben. In der Logistik lassen sich verschiedene Typen von Stammdaten unterscheiden:

- Kundenstamm
- Standortdaten
- Artikelstamm
- Verpackungsdaten
- Warengruppenstamm
- Fuhrparkdatenstamm
- Tarifdaten

Zu den *Kundenstammdaten* gehören Informationen über die genaue Kunden- und Lieferanschrift, Zeitfenster zur Anlieferung, Anlieferungsrestriktionen und andere. Die Kundenstammdaten bestehen aus Datensätzen. Jeder Datensatz beschreibt die Informationen eines Kunden. Der Datensatz besteht aus einer eindeutigen Kundennummer bzw.

Identifikation. Des Weiteren bestehen die Kundenangaben mindestens aus seiner Lieferanschrift durch Nennung von Land, Ort, Postleitzahl, Straße und Hausnummer. Es macht Sinn, neben der Anschrift des Kunden weitere Adressinformationen zu verwalten. Häufig unterscheidet sich die Rechnungsadresse von der Lieferadresse. In diesen Fällen sollten beide Adressen in den Kundenstammdaten eingepflegt werden. Liegt keine Lieferanschrift vor, wird für logistische Planungen auf die Rechnungsanschrift ausgewichen. Darüber hinaus gibt es zahlreiche optionale Attribute wie Kundentyp, Kontaktperson, Anlieferrestriktionen, Zeitfenster zur Anlieferung, Lieferfrequenzen, zu verwendende Fahrzeugtypen und weitere. Beim Attribut „Kundentyp“ können für spezielle logistische Fragestellungen unterschiedliche Typen hinterlegt werden. Unter Anlieferrestriktionen werden die Anzahl und Typen von Be- und Entladestellen verstanden. Die Zeitfenster beim Kunden beschreiben, zu welchen Uhrzeiten der Kunde beliefert werden kann. Die Lieferfrequenzen stellen weitere zu berücksichtigende Restriktionen bei der Planung dar. Da möglicherweise ein Kunde nicht von allen zur Verfügung stehenden Fahrzeugtypen beliefert werden kann, wird dies im Kundenstamm vermerkt.

Bei den *Standortdaten* handelt es sich um einen Spezialfall der Kundenstammdaten. In der Logistikplanung können verschiedene Logistikstandorte berücksichtigt werden. Es stehen verschiedene Typen zur Verfügung: Lager (zentral, regional, vollsortimentiert, teilsortimentiert), Umschlag, Depot, Produktion und andere. Die Standortdaten berücksichtigen neben der Adressinformation weitere Angaben über Lagerfläche, Stellplätze (z. B. Paletten, Fächer, Boxen), Lagertechnik, Umschlag- und Verladefläche, Umschlag- bzw. Verladetechnik, minimale und maximale Kapazität in qm oder Stellplätze. In der Regel werden diese Daten im Kundenstamm eingetragen und durch Angabe entsprechenden Typs unterschieden.

Der Materialstrom beschreibt, welche Artikel und Waren bewegt werden. Im Materialstrom wird der Artikel durch eine Identifikationsnummer beschrieben. In den *Artikelstammdaten* finden sich zu jeder Nummer entsprechend weitere Informationen zu einem Artikel. Der Artikelstamm beinhaltet neben der Identifikation durch eine Nummer und Namen weitere Angaben über die Zugehörigkeit in eine Warenguppe, das spezifische Gewicht je Einheit in kg oder t, das Volumen je Einheit in ccm, die Abmessung der Länge, Breite, Höhe je Einheit in mm, der Warenwert je Einheit zum Beispiel in Euro und den Verpackungstyp.

In speziellen Verfahren zur Tourenplanung und Laderaumoptimierung werden weitere Angaben über die Verpackung herangezogen. In den entsprechenden *Verpackungsstammdaten* sind die Informationen über die Transporteinheit (Palette, Rolle, etc.), die Transportvorschriften, die Gefahrgutdeklaration, die Verpackung, die Verpackungsvorschriften, die Stapelvorschrift, das Gewicht, das Volumen, die Abmessung und die Rückführung verwaltet.

In bestimmten Branchen ist es notwendig *Waren- und Produktgruppen* in Stammdaten zu verwalten. Neben einer Identifikation ist hier ein Bildungskriterium der entsprechenden Gruppe vorzuhalten. Des Weiteren finden sich wie bei den Artikel- und Verpackungsdaten weitere Informationen über durchschnittliche Gewichte, das durchschnittliche Volumen, die durchschnittlichen Abmessungen oder den durchschnittlichen Warenwert.

Die Ausführung der Transporte kann mit unterschiedlichen Transportfahrzeugen erfolgen. Im *Fuhrparkdatenstamm* sind die unterschiedlichen zur Verfügung stehenden Fahrzeuge durch entsprechende Identifikationen vermerkt. Im Fuhrparkdatenstamm finden sich die Informationen über den Fahrzeugtyp, mit oder ohne Anhänger, die Abmessung der Fahrzeuge für Außen und Innen, das Brutto- und Nettogewicht in kg, das entsprechende Volumen, der Kraftstoffverbrauch und die Schadstoffklasse. Ferner macht es Sinn, die Anzahl zur Verfügung stehender Fahrer im Fuhrparkdatenstamm zu verwalten. Damit lassen sich bei den Verfahren zur Tourenplanung wie Cross-Docking und Mehrdepotplanung entsprechende Informationen berücksichtigen. Einen weiteren Aspekt in den Fuhrparkdatenstamm stellen die Laderestriktionen dar.

Während bei den *Verpackungsstammdaten* die dort genannten Transportvorschriften je Artikel bzw. Warenguppe gelten, bezieht sich die Laderestriktion hier auf das Transportfahrzeug. Eine typische Information kann hier sein, dass das Fahrzeug nur über die linke oder rechte Seite beladen werden kann. Eine andere Information kann zum Beispiel sein, dass das Fahrzeug über eine hydraulische Ladetür verfügt.

Zur Bewertung der Logistikplanung werden verschiedene Kostenmodelle herangezogen. Für die Bestimmung der Transportkosten werden in den Stammdaten verschiedene Transporttarife hinterlegt. Dabei handelt es sich um *Tarifdaten*, die die Kosten einer einzelnen Sendung oder eines ganzen Fahrzeuges bestimmen. In der Regel sind die Tarife in Form von Tabellen mit den Attributen einer Gewichts-, Volumen-, Lademeterklasse, Entfernung in km-Klassen und entsprechend eingetragener Kosten aufgebaut. Komplexe Tarifdaten enthalten Kostendegressionen oder sind als sprungfixe Kosten definiert. Des Weiteren können als Tarifdaten tagesgenaue Pauschalpreise eines Fahrzeuges hinterlegt sein. Neben der Abbildung der Transportdaten in den Stammdaten können je nach DetAILlierungsgrad der Logistikplanung die Kostendaten erweitert werden um Lager- und Umschlagdaten.

18.3 Bewegungsdaten

Neben den Stammdaten bestehen relevante Logistikdaten auch aus Bewegungsdaten. Die Bewegungsdaten beschreiben im Wesentlichen, welcher Artikel zu welchem Zeitpunkt von einem Start- zu einem Zielort und mit welchen Kosten transportiert wird. Damit stellt der Inhalt der Bewegungsdaten eine bedeutende Information zum Materialstrom und Informationsfluss dar. Mit Hilfe der Bewegungsdaten lassen sich strategische und operative Logistikplanungen gestalten. Zwar stellen diese Daten den Materialstrom aus der Vergangenheit dar, doch können sie durch entsprechende Prognosen zukünftigen Änderungen angepasst werden. Bei strategischen Logistikplanungen wie zum Beispiel der Standortoptimierung werden Bewegungsdaten über einen Zeitraum von zwölf Monaten herangezogen. Damit sollten saisonale Schwankungen der Materialbewegungen berücksichtigt werden können. Bei operativen Logistikplanungen wie zum Beispiel in der Tourenplanung werden

Tagesdaten verwendet. In der Regel werden diese Bewegungsdaten aus den Jahresdaten entnommen und dabei Tage mit durchschnittlichen und maximalen Transportströmen gewählt. In der Logistik lassen sich generell zwei verschiedene Typen von Bewegungsdaten unterscheiden:

- Auftragsdaten
- Sendungsdaten

Für logistische Planungen werden sowohl Auftragsdaten als auch Sendungsdaten herangezogen. Beide Typen von Bewegungsdaten stehen in direktem Zusammenhang. Die Auftragsdaten beschreiben Bewegungen von Materialien auf Artikelebene, wie sie zum Beispiel im Lager anfallen. Die Sendungsdaten beschreiben in der Regel die Materialbewegung in Transportfahrzeugen auf der Straße, Schiene, Wasser oder in der Luft.

Die Auftragsdaten werden zumeist in entsprechenden Vorsystemen generiert. Es handelt sich typischerweise um Enterprise Ressource Planning (ERP)-Systeme oder Lagerverwaltungssysteme (Warehouse-Management-Systeme). ERP-Systeme subsummieren dabei alle betriebswirtschaftlichen Anwendungen, wie Auftragsabwicklung, Vertriebssysteme oder auch Buchhaltungssysteme. Die Bestellung eines Kunden löst einen Auftrag aus. Zum Inhalt eines Datensatzes gehören Informationen über eine Auftragsnummer, eine Kundennummer, eine Lieferanschrift, eine Lagernummer, eine Positionsnummer, eine Artikelnummer, eine Menge des Artikels, ein Auftragsdatum, ein Versanddatum und eventuell eine Sendungsnummer. In der Regel besteht ein Auftrag aus mehreren Artikeln. Dadurch gibt es keine eindeutige Auftragsnummer. Erst in der Kombination von Auftragsnummer und Positionsnummer wird ein Datensatz eindeutig.

Die Lieferung an einen Kunden besteht aus Aufträgen. Damit führt die Abwicklung eines Kundenauftrages zur Generierung von Sendungen. Die Sendungsdaten werden in Versand- oder Transportmanagementsystemen produziert. Ein Auftrag mit all seinen Artikeln wird durch entsprechende logistische Vorgänge an den entsprechenden Logistikstandorten zusammengetragen. Ein idealisierter Auftrag, bestehend aus verschiedenen Artikelnummern, wird an einem Lagerstandort zu einer gemeinsamen Sendung kommissioniert. Durch unterschiedliche Bestellzyklen können unterschiedliche Auftragsnummern mit mehreren oder sogar gleichen Artikelnummern generiert werden. Dies führt dazu, dass die Sendung an einen Kunden bzw. an eine Lieferadresse aus mehreren unterschiedlichen Auftragsnummern besteht. In der Regel besteht eine Sendung aus allen Artikeln, die am selben Tag bzw. zur selben Uhrzeit vom selben Startort zur selben Zieladresse versendet werden sollen. Der typische Datensatz einer Sendung besteht damit aus einer eindeutigen Identifikation, der Startadresse, der Zieladresse, der Sendungsmenge, der Sendungseinheit (Gewicht, Volumen, Lademeter), dem Sendungsabgangsdatum, dem Sendungsankunftsdatum, der Entfernung in km, dem Transporttyp (Vor-, Haupt-, Nachlauf) und den Transportkosten. Im Sinne einer relationalen Datenbank verweisen die Auftragsdaten auf die Sendungsdaten, d. h. zu jedem Auftragsdatensatz existiert eine Sendungsnummer. Dadurch stehen beide Typen von Bewegungsdaten in Relation und können in Verbindung

mit den Stammdaten für logistische Planungen analysiert, bewertet und optimiert werden. Da Auftragsdaten und Sendungsdaten in der Praxis oft aus unterschiedlichen IT-Systemen kommen, ist dieser Bezug leider nicht immer gewährleistet.

18.4 Digitale Verkehrsnetzdaten

Die Planung von Transportströmen erfordert die Entfernungsangabe zwischen einem Start- und einem Zielpunkt, zwischen denen ein Transport ausgeführt wird. Die Entfernung zwischen Standorten werden in Form von Tabellen oder Matrizen bei Logistikplanungen hinterlegt. Die Erstellung von Entfernungen erfordert Informationen über das zu betrachtende Verkehrsnetz. Es gibt verschiedene Typen von Verkehrsnetzen. Generell lassen sich vier bedeutende Typen unterscheiden:

- Straßennetz
- Schienennetz
- Wasserwegenetz
- Flugnetz

Nach umfangreichen Digitalisierungsprozessen stehen Repräsentationen verschiedener Verkehrsnetze in elektronischer Datenform zur Verfügung. Verkehrsnetzdaten werden in der Regel durch Graphen – bestehend aus Knoten und Kanten – beschreiben. In einem digitalen Verkehrsnetz stellen die Knoten Kreuzungen, Sehenswürdigkeiten, Orte oder andere geographische Lokationen dar. Die Kanten zwischen Knoten modellieren die Verbindungen durch Straßen, Schienen, Wasserwege, die von und zu diesen Lokationen führen. Damit auch Einbahnstraßen modelliert werden können, werden gerichtete Graphen verwendet. Ist eine Straße in beiden Richtungen befahrbar, so existiert für jede Richtung eine gerichtete Kante. Jede Fahrspur kann durch eine eigene Kante abgebildet werden. Damit sind parallele Kanten zwischen zwei Knoten möglich. Die Kanten sind mit verschiedenen Attributen versehen. Sie geben zum Beispiel die Entfernung, die Länge oder die Fahrdauer eines Lkw entlang einer Kante an. Mit Hilfe dieser Interpretation lässt sich ein reales Straßennetz detailliert modellieren und zur Berechnung optimaler Wege einsetzen.

Der Umfang digitaler Verkehrsdaten lässt sich durch die Anzahl seiner Knoten und seiner Kanten beschreiben. Digitale Verkehrsnetzdaten werden von verschiedenen Herstellern angeboten. Unter Verkehrsnetzdaten werden häufig Straßennetzdaten verstanden. Das liegt daran, dass Straßennetzdaten den größten Datenumfang gegenüber anderen Verkehrsnetzdaten wie zum Beispiel für Schienen und Wasserwege einnehmen. Im Laufe der vergangenen Jahre hat sich die Qualität digitalisierter Verkehrsnetzdaten und besonders Straßennetzdaten in Europa deutlich verbessert. Die hohe Datenqualität führt zu einem hohen Datenumfang. Digitale Straßennetzdaten reichen von Autobahnen bis hin zu Seiten-

und Nebenstraßen. Generell gilt: Je detaillierter Straßennetzdaten digitalisiert werden, desto mehr Knoten und Kanten werden dazu verwendet. Es ist zu erwarten, dass der Trend zu immer feiner auflösenden Daten weiter anhält. Sicherlich ist es zu begrüßen, dass durch die Datenzunahme digitalisiert erfasster Straßen detaillierte Informationen für verschiedene Transportplanungen zur Verfügung stehen. Sie tragen zur qualitativen Verbesserung der Berechnungsergebnisse bei, indem sich realitätsnahe Entfernungswerte ermitteln lassen. Leider geht diese Qualitätsverbesserung zu Lasten der Berechnungsdauer von Entfernungswerten. Der Umfang digitaler Straßennetzdaten nimmt zum einem durch den weiteren Ausbau des Straßennetzes wie Autobahnen oder Teilstrecken zu. Zum anderen steigt die Menge der Daten durch den immer feiner werdenden Digitalisierungsprozess an.

Der hohe Detaillierungsgrad digitaler Verkehrsnetzdaten führt unter Umständen zu einer unüberschaubaren Datenflut. Schon sehr früh wurde bei der Verwaltung digitaler Straßennetzdaten damit begonnen, diese durch entsprechend organisatorische Strukturen in ihrem Datenzugriff effizient in so genannten *hierarchischen Straßendaten* zu verwalten. In einem hierarchischen Straßennetz sind die digitalisierten Daten in verschiedene Ebenen eingeteilt. Jede *Ebene* (auch *Level* genannt) beschreibt eine bestimmte Detaillierungsstufe der Straßennetzdaten. Alle Knoten und Kanten eines Straßennetzes werden eindeutig einer Ebene zugewiesen. Die Ebenen werden auch als Auflösungsstufen interpretiert. So beinhaltet die oberste Ebene eines hierarchischen Straßennetzes ein großes überregionales Verbindungsnetz und besteht aus relativ wenigen Knoten und Kanten. In der Regel repräsentieren die Knoten der ersten Ebene Haupt- und Großstädte und die Kanten stehen für das Fernstraßennetz (überwiegend Autobahnen). Jede weitere Ebene erweitert das Verbindungsnetz zu einem immer detaillierteren Straßennetz. In der untersten Ebene finden sich detaillierte Informationen über Feld-, Seiten-, Nebenstraßen, Kreuzungspunkte, Straßenkurven oder ähnliches wieder. Sie beschreiben lokale Straßendaten mit regionalem Charakter und liegen verstärkt in Wohngebieten, Wäldern oder allgemein agglomerationsschwachen Gebieten. Somit werden Straßendaten aufgrund ihrer charakteristischen Eigenschaft nach ihrer Bedeutung bzw. Wichtigkeit verschiedenen Ebenen zugeordnet. Generell dient ein hierarchisches Straßennetz dazu, auf die Gesamtheit aller Straßeninformationen effizient zuzugreifen.

Die Ebenen der Straßennetzdaten sind für die Entfernungs berechnung besonders von Vorteil. Die Straßennetzdaten der ersten Ebene bilden einen zusammenhängenden Graphen. Damit ist das Bestimmen von Entfernungswerten zwischen allen Knotenpaaren der ersten Ebene möglich. Damit alle Knoten und Kanten der ersten Ebene zusammenhängend sind, befinden sich nicht nur die Informationen über Autobahnen in der ersten Ebene. Für das Routen von Verbindungswegen zum Beispiel zwischen dem europäischen Kontinent und Großbritannien werden für einen zusammenhängenden europäischen Graphen in der ersten Ebene auch Verbindungswege auf Fähren und Schienen benötigt. Durch das Hinzufügen jeder weiteren Hierarchieebene wird das Straßennetz in seiner Detailliertheit ergänzt. Damit ist es möglich, je nach Anwendungsfall in der Logistikplanung grobe und feine Entfernungstabellen zwischen den verschiedenen Standorten zu generieren.

Bernhard van Bonn

Planungsdaten bilden die Datengrundlage zur Logistikoptimierung. Bevor die Informationen über die Materialflüsse in die verschiedenen Verfahren und Methoden zur Optimierung einfließen, sollten diese zuvor analysiert werden. Das Ziel der Analyse liegt im Aufdecken möglicher Schwachstellen im Ablauf der Logistik im Ist-Zustand. Häufig zeigen die Ergebnisse der Datenanalyse, welche Optimierungsverfahren ausgewählt werden sollten. Des Weiteren können Engpässe und Abwicklungsprobleme in den Logistikprozessen aufdeckt werden. Die Transportanalyse stellt einen speziellen Teil der Datenanalyse dar. Hier liegt der Schwerpunkt in der Datenanalyse aller Transportdaten. Voraussetzung jeder Datenanalyse ist, dass die Daten im Vorfeld auf Plausibilität geprüft sind. D. h., dass zum Beispiel die Sendungs-, Kundennummern eindeutig sind oder dass alle Sendungen im selben Zeitraum liegen.

Es finden sich verschiedene Verfahren zur Transportanalyse. Im Folgenden werden die häufigsten Analyseverfahren vorgestellt:

- Aufkommensanalyse
- Entfernungsklassenanalyse
- Sendungsstrukturanalyse

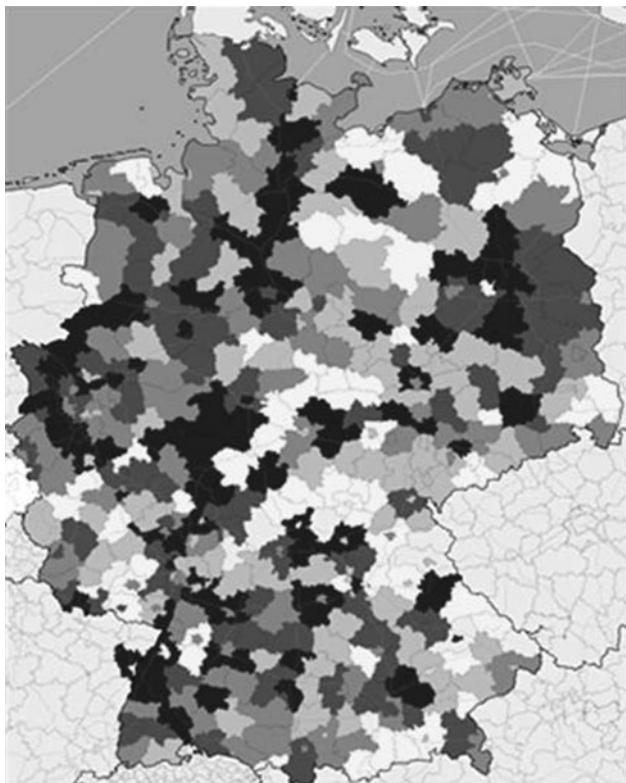
Das Ergebnis aus verschiedenen Transportanalysen gibt ein genaues Bild über den Zustand der Ist-Situation und lässt sich in Form von Grafiken und Tabellen anschaulich darstellen.

B. van Bonn (✉)

Fraunhofer IML, Joseph-von-Fraunhofer-Straße 2–4, 44227 Dortmund, Germany

E-Mail: Bernhard.van.Bonn@iml.fraunhofer.de

Abb. 19.1 Beispiel für eine Aufkommensverteilung in Deutschland auf Kreisebene



19.1 Aufkommensanalyse

Die Aufkommensanalyse dient zur Übersicht von Absatzschwerpunkten. Diese werden in Form von geographischen Karten dargestellt. In der Abb. 19.1 ist ein Beispiel für das Ergebnis einer Aufkommensverteilung in Deutschland auf Kreisebene abgebildet. In der Abb. 19.1 ist der Jahresabsatz der in Deutschland liegenden Kunden eines Unternehmens visualisiert. Für jeden Kreis wurden die in einem Jahr gelieferten Mengen aggregiert. Damit wird für jedes Kreisgebiet ein Zahlenwert der kumulierten Absatzmenge generiert. Diese Zahlenwerte werden ab- oder aufsteigend sortiert. Zur Unterscheidung der Gebiete in absatzstarke und absatzschwache sind im Beispiel fünf verschiedene Klassen gewählt. Die Legende für die Einteilung ist dabei genau so gewählt, dass jede Kategorie annähernd die gleiche Anzahl an Gebieten umfasst. Im Beispiel ergeben sich bei 445 Gebieten und fünf Klassen genau 89 Gebiete je Klasse. Der Vorteil dieser Einteilung liegt in der besonderen Hervorhebung der beiden Extrema von starken und schwachen Absatzgebieten. Damit entfällt der Aufwand zur Generierung der Intervalle je Kategorie.

Das Besondere an den Grafiken zur Aufkommensanalyse zeigt sich in der Gegenüberstellung von Logistikstandorten und Absatzschwerpunkten. Lager- oder Depotstandorte

sollten in der Regel genau im Zentrum absatzstarker Gebiete liegen. Unter diesem Aspekt kann die Aufkommensanalyse zur Verifikation der Ist-Situation bzw. den Ergebnissen einer Standortoptimierung herangezogen werden.

Das beschriebene Vorgehen zur Erstellung einer Aufkommensgrafik kann statt für Absatzmengen auch für andere je nach logistischer Betrachtung vorliegende Attribute erfolgen. Es zeigt sich, dass Analysen mit der Sendungsanzahl, Kundenanzahl, mit dem Warenwert und den Transportkosten weitere nutzbringende Informationen über die Logistiksituation liefern.

19.2 Entfernungsklassenanalyse

Bei der Analyse der aktuellen Transportsituation mit Daten aus dem Ist-Zustand kann sich zeigen, dass Kunden nicht immer aus dem nächstgelegenen Lager versorgt werden. Es gibt dafür unterschiedliche Erklärungen. Zum einen kann zum Beispiel das benötigte Transportgut nicht im nahe liegenden Lager vorrätig sein und es muss aus benachbarten Lagerstandorten zum Kunden transportiert werden. Zum anderen kann dies auch geschehen, wenn es keine einheitlichen operativen Lagerverwaltungssysteme gibt. Dies kann dazu führen, dass durch historisch gewachsene Strukturen, Kunden immer vom selben Standort mit dem vollständigen Sortiment bedient werden und die Warenbestände der benachbarten Standorte unbekannt sind. Solche Effekte zeigen sich in geografischen Analysen (s. Abb. 19.2) durch überkreuzende Kundenzuordnungen auf Lagerstandorte.

Um einen Hinweis auf die Dimension und die genaue Ursache zu bekommen, wird die Entfernungsklassenanalyse herangezogen. Sie dient der Transparenz von Transportzuordnungen im Ist-Zustand.

Bei der Entfernungsklassenanalyse werden alle Sendungen aus einem repräsentativen Zeitraum betrachtet. Zu jeder Sendung liegt die Information vor, wie groß die Entfernung zwischen Anlieferstelle des Kunden und dem abgehenden Lagerstandort ist. Mit Hilfe dieser Informationen wird eine Tabelle erstellt, die die verschiedenen Sendungen in gleiche Entfernungsklassen einordnet. In Abb. 19.3 ist ein Beispiel dargestellt. In der Tabelle sind über 500.000 Sendungen auf acht Entfernungsklassen aufgeteilt. Alle Entfernungsklassen sind mit einer Intervallgröße von 50 km definiert. Je nach betrachteten Logistikgebieten kann diese Größe auch variieren. Werden neben der Anzahl der Sendungen weitere Attribute wie Sendungsgewicht und Anzahl der verschiedenen Anlieferstellen je Entfernungsklasse dargestellt, lassen sich verschiedene Tabellen mit verschiedenen Aussagen erstellen. Im Beispiel ist die Entfernungsklassenanalyse für 19 Logistikstandorte eingetragen. Es macht Sinn, für logistische Auswertungen weitere Entfernungsklassentabellen für jeden Logistikstandort zu generieren. Die Aussage der Abb. 19.3 ist, dass ca. 79 % aller Sendungen im Umkreis von 100 km je Lagerstandort zum Kunden transportiert werden. Mit Zunahme der Entfernung nimmt die Häufigkeit der Sendungen stark ab. In Abb. 19.2 zeigt sich damit, dass die Überschneidung von einigen Relationen zwischen Kunden und



Abb. 19.2 Beispielhafte Transportzuordnungen zwischen Lager und Kunden

Entfernungsklassen von bis	Sendungen	Anteil	Gewicht [kg]	Anteil	Anlieferstellen	Anteil
0 km 50 km	215.617	51% 79%	353.721.097	40%	14.356	52%
50 km 100 km	120.875	28% 51%	272.767.433	30%	7.615	28%
100 km 150 km	59.556	14%	173.030.365	19%	3.272	12%
150 km 200 km	19.063	5%	57.068.578	6%	1.224	4%
200 km 300 km	6.642	2%	24.366.253	3%	521	2%
300 km 400 km	1.999	0%	4.244.659	1%	195	1%
400 km 500 km	1.604	0%	5.436.267	1%	150	1%
> 500 km	1.331	0%	3.962.504	0%	132	0%
Summe	426.687	100%	894.597.156	100%	27.465	100%

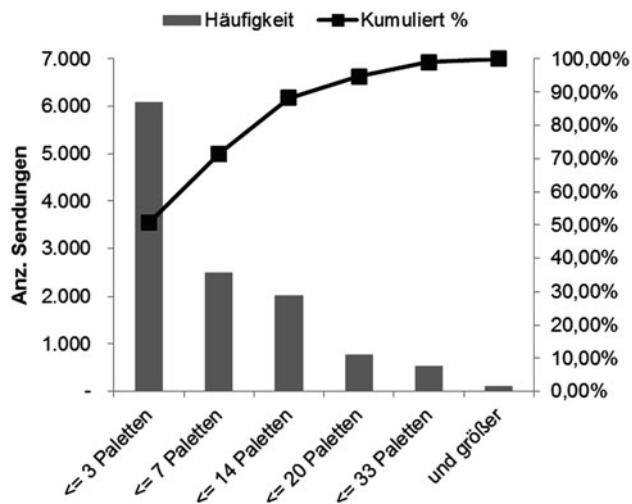
Abb. 19.3 Beispiel für eine Entfernungsklassenanalyse

Lagerstandorten nicht die Regel im logistischen Ablauf darstellt. Wäre eine signifikante Abweichung von großen Entfernungen und Anzahl der Sendungen in der Tabelle zu erkennen, müssten zur Begründung weitere Informationen aus dem operativen Tagesgeschäft herangezogen und untersucht werden.

19.3 Sendungsstrukturanalyse

Der Transport von Sendungen kann sehr unterschiedlich gestaltet werden. Ein wesentlicher Einflussfaktor dazu ist die Sendungsgröße. Kleine Sendungen führen dazu, dass möglicherweise mehrere Transportstufen zur Konsolidierung der Sendungsmengen

Abb. 19.4 Beispiel für eine Sendungsstrukturanalyse



durchgeführt werden müssen, um die Transportkosten durch eine bessere Fahrzeugauslastung zu senken. Durch immer kürzere Bestellzyklen seitens der Kundenaufträge nimmt die Anzahl an Kleinsendungen permanent zu. Dieser Prozess wird auch als die „Atomisierung von Sendungen“ bezeichnet. Im Gegensatz dazu können Sendungen auch ganze Container oder Fahrzeugeinheiten bzw. Fahrzeuge einnehmen. Dies wird auch als full truck load (FTL) deklariert. Bei der Planung zur Verbesserung der Transportströme ist es interessant zu wissen, wie sich die zu optimierenden Sendungsgrößen aufteilen. Die Sendungsstrukturanalyse ist ein Instrument zur Überprüfung von Sendungsgrößen. Analog zur Entfernungsklassenanalyse werden die Sendungsdaten auf unterschiedliche Klassen verteilt. Bei der Sendungsstrukturanalyse sind die Klassen zumeist in Gewicht, Volumen oder Lademeter eingeteilt. In Abb. 19.4 ist ein Beispiel für eine Sendungsstrukturanalyse dargestellt.

Die Sendungsklassen sind hier nach Paletten gegliedert. Die dargestellte Sendungsstruktur zeigt, dass ca. 50 % aller Sendungen nicht größer als drei Paletten je Sendung sind. Gleichzeitig ist diese Klasse die häufigste (Balken).

Im Gegensatz dazu werden im Beispiel lediglich ca. 10 % des gesamten Sendungsaufkommens in nur wenigen Fällen per Komplett- bzw. Teilladung ab 14 Paletten transportiert. Im Sinne der Ausführung kostengünstiger Transporte können diese Sendungen per Direkttransport vom Lager zum Kunden stattfinden. Beide Extreme zeigen, welche Potentiale zur Kostenreduzierung durch eine Sendungsstrukturanalyse ermittelt werden können. Die übrigen Sendungen beschreiben im Beispiel klassische Palettenwaren im Stückgutbereich. Diese Sendungsmengen lassen sich hier über ein Stückgut-Netz effizient abwickeln.

In der Regel stellen diese Sendungsmengen die Spielmasse für eine Transportoptimierung dar. Durch Transportkonsolidierungen über eine oder mehrere Transportstufen

lassen sich kostengünstige und gut ausgelastete Transportfahrzeuge planen. Je nach Kombinationsspielraum der Sendungsgrößen und unter Berücksichtigung verschiedener Restriktionen können die Transportkosten so oft gesenkt werden. Die Sendungsstrukturanalyse gibt somit eine Auskunft über das mögliche Potential zur Transportoptimierung und auch darüber welche Verfahren und Optimierungsstrategien herangezogen werden können.

Christiane Geiger, Bernhard van Bonn und Zoran Miodrag

20.1 Prozessplanung

Christiane Geiger

Abstrakt gesprochen beschreibt ein Prozess eine Folge von Aktivitäten, durch die ein oder mehrere Objekte transformiert werden (Arndt 2008 S. 77; Becker und Kahn 2012, S. 6). Bei den Objekten handelt es sich beispielsweise um Menschen, Güter oder Informationen (Klaus 2002, S. 27). Ihre Transformation kann in räumlicher, zeitlicher, quantitativer oder qualitativer Hinsicht erfolgen und findet grundsätzlich zwischen Prozessbeginn und Prozessende statt. Während der Prozessstart von der Quelle abhängt, an der sich die Objekte in den Prozess begeben, wird Letzteres durch die Senke festgelegt, an der die Objekte aus dem Prozess austreten (Schmidt 2012, S. 3).

Typische Transformationen in der Güterlogistik sind die räumliche Bewegung durch Beförderung, die zeitliche Aufbewahrung mittels Lagerhaltung, das Ver- oder Ausladen von Gütern im Rahmen ihres Umschlags sowie die quantitative Vereinzelung durch Kommissionierung. Anhand der Verkettung dieser Aktivitäten werden ganze Logistikprozesse ausführbar, wie der Versand eines Auftrags zum Kunden. Mit der Bereitstellung im Warenausgang tritt die Sendung dabei in den Versandprozess ein. Nach der Beladung des

C. Geiger (✉) · Z. Miodrag

Institut für Transportlogistik, TU Dortmund, Leonhard-Euler-Straße 2,
44227 Dortmund, Deutschland

E-Mail: geiger@itl.tu-dortmund.de

Z. Miodrag

E-Mail:miodrag@itl.tu-dortmund.de

B. v. Bonn

Fraunhofer IML, Joseph-von-Fraunhofer-Straße 2–4, 44227 Dortmund, Deutschland
E-Mail: Bernhard.van.Bonn@iml.fraunhofer.de

Fahrzeugs wird die Sendung zum Kundenstandort transportiert, an dem sie durch ihre Entladung wiederum den Prozess verlässt.

Neben ihrer Verknüpfung zu einem Prozess können die Aktivitäten auch für sich genommen einen Prozess darstellen. Der Grund liegt in der flexiblen Granularität von Prozessen, nach der die Anzahl an Untergliederungen beliebig gewählt werden kann. Dementsprechend setzt sich jede oben genannte Aktivität wiederum aus einer Reihe an Aktivitäten zusammen, die gemeinsam eine Objekttransformation vollziehen. Beispielsweise umfasst der Umschlag einer Palette ihre Aufnahme mittels Hubwagen, Überführung zum Fahrzeug, Absetzen auf der Ladefläche und Sicherung gegen die während des Transports wirkenden Bewegungskräfte.

Werden die oben genannten Aktivitäten als eigenständige Prozesse betrachtet, bilden sie die klassischen Basisleistungen der Güterlogistik. Damit verkörpern sie die sogenannten Kernprozesse, von denen nach Klaus (2002, S. 26 f) die unterstützenden Prozesse zu unterscheiden sind. Beispiele für Letztere sind das Umpacken von Materialien und das Umlagern von Ladungsträgern. Unterstützende Prozesse schaffen keinen unmittelbaren Mehrwert, sind jedoch Voraussetzung für die Ausführung der Kernprozesse (Becker und Kahn 2012, S. 7).

Der in der Güterlogistik herrschende Trend zum Outsourcing (vgl. Unterkap. 8) führt dazu, dass Logistikdienstleister neben den klassischen Logistikaufgaben vielfältige Zusatzleistungen anbieten. Beispiele sind Montage- oder Konfigurationstätigkeiten, die eine Wertschöpfung am Produkt vornehmen und daher als Kernprozesse eingestuft werden können. Hinzu zählen aber auch Aufgaben wie die Verpackung und Etikettierung, die einen unterstützenden Charakter aufweisen.

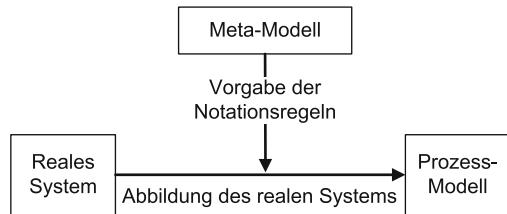
Eine weitere Flexibilität von Prozessen betrifft den durch sie abgedeckten Ablauf. So können Quelle und Senke, welche den Start und das Ende eines Prozesses vorgeben, entsprechend dem interessierenden Realitätsausschnitt festgelegt werden. Analog zur Granularität und dem damit verbundenen Detaillierungsgrad ist die Abgrenzung des Prozesses abhängig von der angestrebten Nutzung. In der Logistik werden Prozesse sowohl für strategische, taktische als auch operative Planungsvorhaben betrachtet.

Die Planung von Prozessen kann dabei entweder als Neukonzipierung oder zur Optimierung bestehender Abläufe erfolgen. Je nach Zielsetzung umfasst die Prozessplanung sämtliche oder eine Auswahl der Schritte Prozessaufnahme, Auswahl der Modellierungswerzeuge, Modellierung, Optimierung und Umsetzung der festgelegten Prozesse.

Im Rahmen der *Prozessaufnahme* werden bestehende Abläufe, die sich innerhalb eines realen Systems und eines Ausschnitts abspielen, erhoben. Durch verschiedene Techniken kann diese Erfassung unterstützt werden. Klassische Aufnahmetechniken sind beispielsweise die Beobachtung, das Interview oder die Ableitung aus bestehenden Prozessplänen sowie anderen Unterlagen wie Organigrammen.

Zugunsten einer validen Grundlage für die weiteren Planungsschritte muss die Prozessaufnahme unverfälscht erfolgen. Beobachtung und Interview beruhen als *primäre* Techniken auf der Wahrnehmung. Das reale System bzw. der betrachtete Ausschnitt wird dabei unmittelbar erlebt, unter Umständen jedoch subjektiv perzipiert. Bei der Ableitung aus be-

Abb. 20.1 Modellierungsme-
thode als Meta-Modell



stehenden Plänen oder Unterlagen als *sekundäre* Aufnahmetechnik hat die Prozessaufnahme keinen direkten Bezug zum realen System. Beinhaltet die Dokumente nicht sämtliche Informationen, besteht die Gefahr einer Nichterfassung von wesentlichen Aktivitäten.

Die realgetreue, vollständige Erhebung der Abläufe beinhaltet zeitgleich die Forderung nach einer ökonomischen Erfassung. Diese setzt eine klare Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes und der aufzunehmenden prozessbezogenen Daten voraus. Bei der späteren Modellierung der Prozesse werden sonst unnötige Details abgebildet, welche die Übersichtlichkeit und Nutzbarkeit des Prozessmodells erschweren.

Durch die *Auswahl der Modellierungsmethode* wird festgelegt, in welcher Form, Struktur und Darstellungsweise die Prozesse beschrieben werden. Eine Modellierungsmethode definiert, wie Aktivitäten und deren Verbindungen in Prozessen dargestellt werden (Klarl 2011, S. 29 f.). Die Methode selbst stellt demnach ein Meta-Modell dar (vgl. Abb. 20.1), durch dessen Anwendung ein Modell der Realität erstellt wird.

Es existiert eine Vielzahl an Methoden zur Modellierung von Prozessen. Diese unterscheiden sich sowohl formal in ihrer Darstellungsweise (skriptbasierte oder grafische Darstellung) der Prozesse als auch inhaltlich, u. a. in ihrer Anwendungskomplexität, ihrem Abstraktionsgrad, der Einbindung dynamischer Elemente oder ihrer Übersichtlichkeit (Fischer et al. 2006, S. 63 f.). Skriptbasierte Methoden beschreiben den Prozessablauf formell in Anlehnung an Programmiersprachen. Dadurch wird eine hohe Präzision ermöglicht, allerdings auf Kosten der Anschaulichkeit und allgemeinen Verständlichkeit (Rumpel 2012, S. 63). In der Praxis werden daher diagrammbasierte Methoden wie die erweiterte ereignisgesteuerte Prozesskette (eEPK), Swimlane, Unified Modeling Language (UML), Business Process Model and Notation (BPMN) oder Petri-Netze eingesetzt (Gadatsch et al. 2007, S. 17). Unter diesen Methoden hat die eEPK, deren Grundzüge in Abb. 20.2 exemplarisch dargestellt werden, als Bestandteil von SAP®-Systemen am meisten Beachtung gefunden (Gadatsch 2012, S. 65; Becker et al. 2009, S. 43).

Die *Modellierung* ist zentraler Bestandteil jeder Prozessplanung. Es wird mit Hilfe der ausgewählten Modellierungsmethode ein Modell erstellt, das die Prozesse formal abbildet (Gadatsch 2012, S. 63). Dabei sind die Grundsätze ordnungsgemäßer Modellierung zu beachten: Richtigkeit, Relevanz, Wirtschaftlichkeit, Klarheit, Vergleichbarkeit und systematischer Aufbau (vgl. dazu z. B. Leimeister 2012, S. 195 ff.). Während die letztgenannten Grundsätze weitgehend durch die Auswahl einer geeigneten Modellierungsmethode und deren korrekte Anwendung beachtet werden, muss bei der Modellierung selbst speziell auf die Richtigkeit und Relevanz des Modells geachtet werden. Die Richtigkeit des Modells

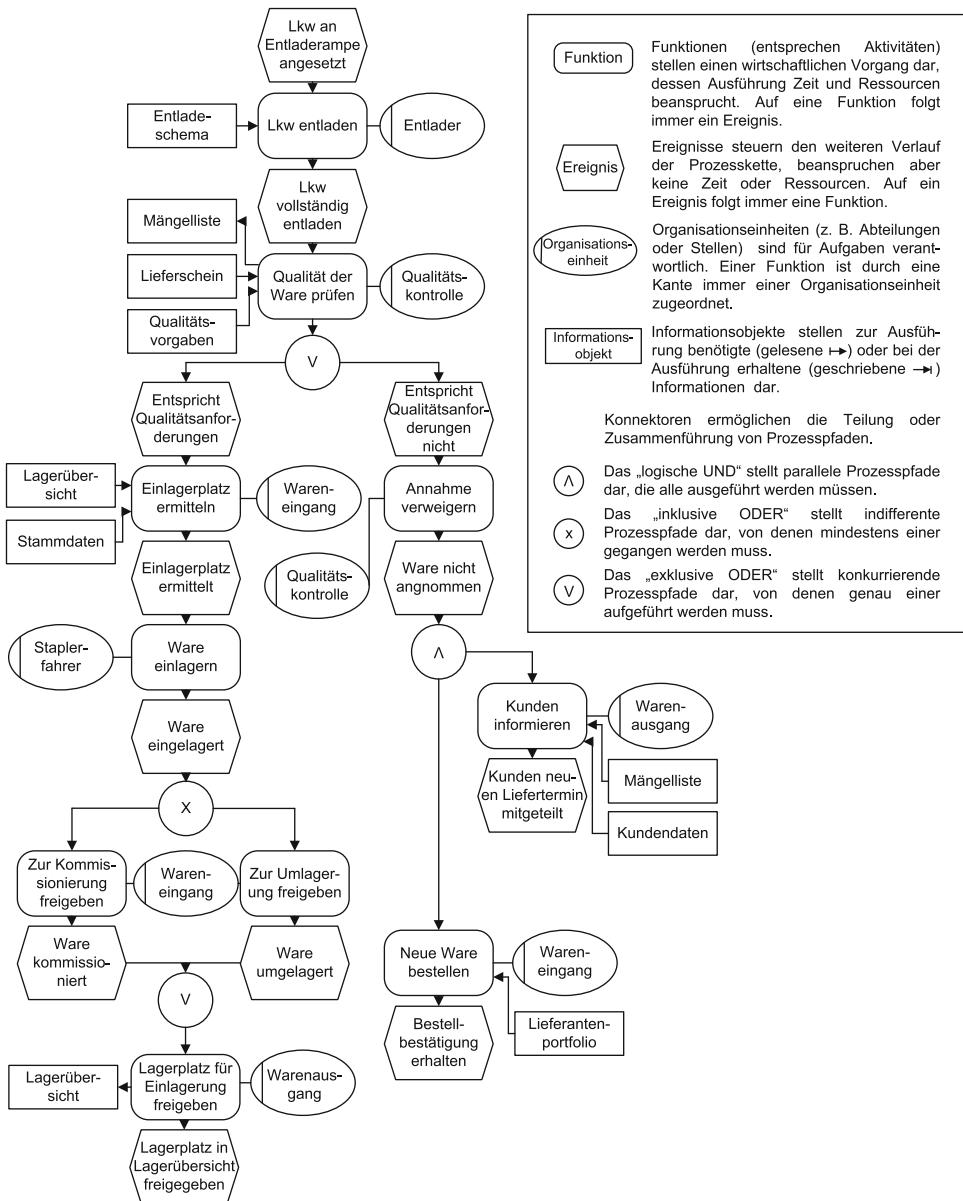


Abb. 20.2 Beispielhafte eEPK mit auszugsweiser Basisnotation

ist gewährleistet, wenn alle Vorgaben der Modellierungsmethode berücksichtigt wurden und das Modell den darzustellenden Prozess richtig wiedergibt. Beziiglich der Relevanz ist bei der Modellierung zu beachten, dass nur die Realitätsausschnitte betrachtet werden, die für den Zweck der Modellierung bedeutsam und notwendig sind. Damit geht dieser Grundsatz mit dem oben beschriebenen Anspruch einer ökonomischen Erfassung einher.

Mit Hilfe des erstellten Modells ist eine *Optimierung* der Prozesse möglich. Bei der Optimierung sollen die Prozesse so verändert werden, dass eine effizientere Abwicklung erreicht wird. Zu diesem Zweck wird ausgehend von dem Ist-Zustand, welcher die derzeitige Leistung des Systems bestimmt, ein Soll-Zustand abgeleitet (Arndt 2008, S. 79). Der Soll-Zustand beschreibt die angestrebte Leistungsfähigkeit des Systems. Im Rahmen seiner Definition sind den Ansprüchen der Kunden zu genügen, das Erreichen der Unternehmens- bzw. Abteilungsziele sicherzustellen und die Leistung der Wettbewerber zu berücksichtigen (Becker 2008, S. 35 f).

Im Rahmen der Analyse des Ist-Zustandes werden die bestehenden Wirkungszusammenhänge zwischen einzelnen Aktivitäten und ganzen Prozessen geprüft und auf diesem Weg Schwachstellen im Ablauf aufgedeckt. Schwachstellen können organisatorischer Natur sein, indem sie z. B. aus einer unzureichenden Zuteilung von Ressourcen, ineffizienten Kommunikationsstrukturen oder unklaren Verantwortungsbereichen resultieren. Viele Schwachstellen liegen auch in der fehlerhaften Struktur und Abwicklung der Prozesse begründet, wie überflüssige oder fehlende Aktivitäten, einer ungünstigen Reihenfolge von Arbeitsschritten, einer falschen Bedienung von Geräten oder einer unvorteilhaften Anordnung von Betriebsmitteln.

In Anlehnung an die Unterscheidung in Kern- und unterstützende Prozesse werden identifizierte Schwachstellen auch als Fehl- und Blindprozesse eingeordnet. Fehlprozesse bezeichnen inkorrekt ausgeführte Prozesse wie Kommissionierfehler, Beschädigen von Ware oder Ausschussproduktion. Blindprozesse resultieren aus einer fehlerhaften Ausführung vorgelagerter Prozesse und stellen korrigierende Eingriffe dar. Hierzu zählen beispielsweise Rückfragen, ungewolltes Puffern oder Suchvorgänge (Arndt 2008, S. 81).

Um die identifizierten Schwachstellen zu beheben, sind die Prozesse zu restrukturieren und in ihrer Ausführung zu verbessern. Abbildung 20.3 enthält grundlegende Varianten dieser Prozessoptimierung.

Sowohl im Rahmen von Neuplanungen als auch von Optimierungsvorhaben werden Soll-Prozesse konzipiert. Eine wesentliche Voraussetzung für ihre anschließende *Umsetzung* besteht in dem Antrieb und der Akzeptanz seitens der Prozessaufführenden. Gefördert werden kann deren Motivation, wenn die Betroffenen bereits während der Prozessplanung z. B. durch Interviews eingebunden werden. Zusätzlich ist eine ausführliche Dokumentation und Kommunikation der Soll-Prozesse zu empfehlen. Auf diesem Weg können Erneuerungen und Veränderungen detailliert dargelegt und begründet und somit etwaige Vorurteile abgebaut werden. Analog sollten die Verantwortlichkeiten zur Prozesseinführung klar verteilt sein. Es bietet sich an ein Team mit entsprechenden Kompetenzen auszustatten, das im Rahmen eines Projektes für die Einführung der neuen Prozesse zuständig ist. Bei Änderung operativer Abläufe ist zudem stets zu prüfen, ob die übergeord-

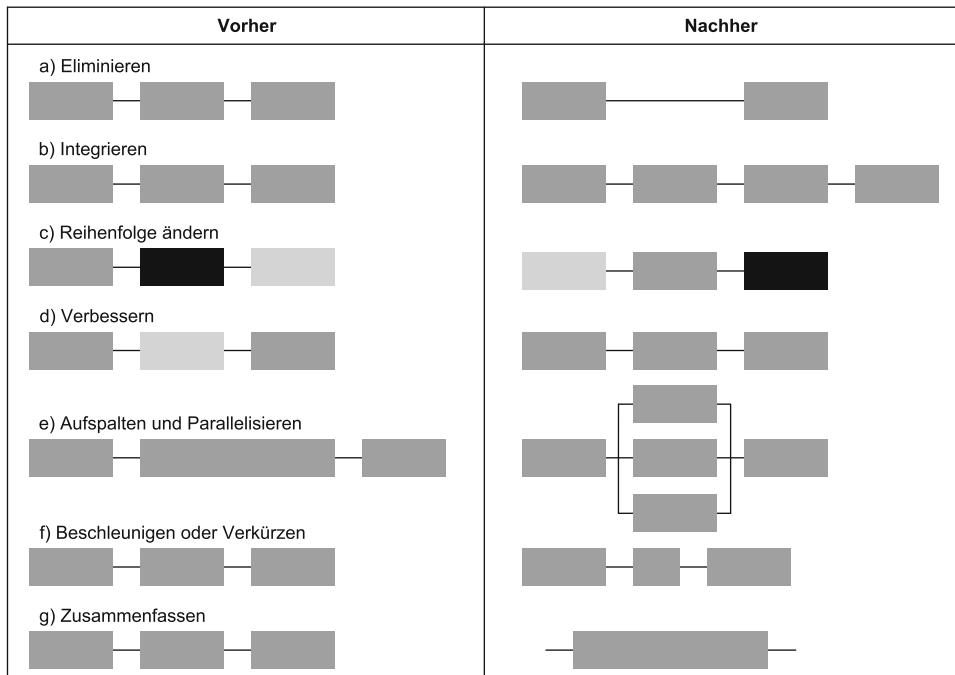


Abb. 20.3 Grundvarianten der Prozessoptimierung. (In Anlehnung an Arndt 2008, S. 80)

nete Aufbauorganisation diesen entspricht. Andernfalls besteht die Gefahr, dass die durch die Optimierung nutzbaren Potentiale nicht ausgeschöpft werden. Werden beispielsweise Aktivitäten aus einem Prozess in einen anderen integriert, so müssen die Entscheidungsbefugnisse für diese Aktivitäten auch an den neuen Verantwortlichen übergehen. Ferner gilt es, die Fortschritte der Umsetzung aus der Managementsicht zu überwachen. Dabei sollte der Implementierung eine rollierende Planung zugrunde gelegt werden, um flexibel auf Verzögerungen oder unvorhergesehene Probleme und Widerstände reagieren zu können.

20.2 Kosten-Nutzen-Analyse

Zoran Miodrag

Mit dem Ziel die Vorteilhaftigkeit mehrerer unterschiedlicher Alternativen zu bestimmen, sind in der Vergangenheit bereits zahlreiche Analyse- und Entscheidungsmethoden entwickelt worden. Im Allgemeinen werden diese Bewertungsverfahren unter dem Begriff der *Kosten-Nutzen-Analyse* subsummiert. Allen Verfahren gemein ist, dass sie im traditionellen bildungswissenschaftlichen Ansatz der Kosten-Nutzen-Analyse jeweils die Nutzen,

Nutzwert und Wirksamkeit den Kosten einer Alternative gegenübergestellt und mit diesen ins Verhältnis gesetzt werden (Levin 2001, S. 136). In der Verkehrslogistik kommen diese Ansätze zum Einsatz, um z. B. über die Vorteilhaftigkeit mehrerer Vorhaben zu entscheiden. So kann die Kosten-Nutzen-Analyse beispielsweise als Entscheidungsinstrument eingesetzt werden, um Verkehrsfolgekosten einer Flächenentwicklung abzuschätzen (Wagner 2009, S. 34). Nachfolgende Verfahren sind in der Praxis gängig und werden im Weiteren näher erläutert:

- Kosten-Nutzen-Analyse
- Kosten-Wirksamkeits-Analyse
- Risikoanalyse
- Nutzwertanalyse

Kosten-Nutzen-Analyse Ziel der Kosten-Nutzen-Analyse ist die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme. Aus einer Vielzahl, verschiedener Alternativen (Maßnahmen, Prozessen oder Projekten) soll diejenige mit dem günstigsten Verhältnis aus Kosten und Nutzen herausgefunden werden. Vorteil der Kosten-Nutzen-Analyse gegenüber einer rein betriebswirtschaftlichen Analyse, z. B. der Rentabilitätsrechnung ist, dass bei dieser Methode die gesamtwirtschaftlichen Kosten und Nutzen in die Untersuchung einbezogen werden. Nicht monetär bewertbare Wirkungen werden grundsätzlich erfasst, wenn auch lediglich qualitativ beschrieben. Vorzug der Kosten-Nutzen-Analyse ist die einheitliche, monetäre Bewertung verschiedener Alternativen. Dies erhöht die Transparenz und macht die Entscheidung für eine Maßnahme vergleichbarer. Als kritisch zu erachten sind die Erfassung aller Wirkungen eines Projektes sowie deren monetäre Bewertung und die angemessene Berücksichtigung nicht monetär bewertbarer Wirkungen. Zudem gilt die Erfassung ideeller Werte als problematisch, wie beispielsweise die Erfassung der Qualität, des Images, der Betriebsgeräusche oder sogar der Kundenzufriedenheit. Diese Werte lassen sich nicht uneingeschränkt durch monetäre Größen beschreiben. Abb. 20.4 verdeutlicht, dass mit der Kosten-Nutzen-Analyse die Kosten von Alternativen in einem Rechenmodell ins Verhältnis zu den Nutzenanteilen, die durch diese Maßnahmen ausgelöst werden, gesetzt und bewertet werden. (Stockmann 2006, S. 242–261; Drews 2010, S. 119–130; Warnecke et al. (2003), S. 155–157)

Nach Lewin und McEwan können für die bildungsökonomische Kosten-Nutzen-Analyse zum Vergleich alternativer Maßnahmen, drei methodische Varianten gewählt werden: die Kosten-Wirksamkeitsanalyse, die Kosten-Nutzwert-Analyse und die rein monetäre Kosten-Nutzen-Analyse. (Levin 2001, S. 136)

Die rein monetäre Kosten-Nutzen-Analyse ist eine der gängigsten Verfahren bei der Entscheidung zwischen mehreren Lösungsalternativen. Ziel ist es hier, eine größtmögliche, positive Nutzen-Kosten-Differenz zu erreichen. (Levin 2001, S. 58)

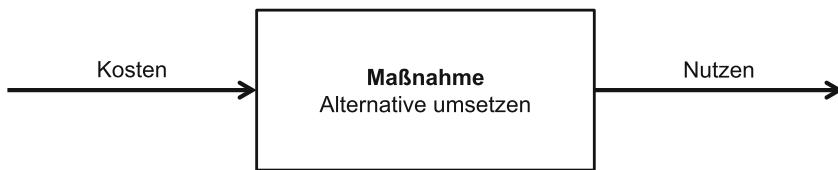


Abb. 20.4 Kosten-Nutzen-Analyse. (Drews 2010)

Die Kosten-Nutzen-Analyse wird dabei in mehreren Schritten durchgeführt:

1. *Aufstellen des Zielsystems*: Das Zielsystem muss gut strukturiert werden, damit messbare oder zumindest schätzbare Indikatoren abgeleitet werden können. Eine strenge Zielhierarchie ist erforderlich, um im Nachgang bestimmen zu können, welchen Beitrag die einzelnen Zielelemente zum Gesamtnutzen beigetragen haben.
2. *Indikatoren*: Definition geeigneter Indikatoren, die aufzeigen, welche Auswirkungen die Realisierung einer Alternative auf ein gesetztes Ziel hat.
3. *Rahmenbedingungen*: Analyse und Festlegung der relevanten Rahmenbedingungen, welche die Entscheidung beeinflussen können.
4. *Alternativen*: Festlegen, welche Alternativen zur Lösung des Problems durchgeführt werden. Definition der Null-Alternative (Vergleichsalternative).
5. *Auswirkungen*: Beschreiben der möglichen Auswirkungen der Alternativen auf die Zielerreichung.
6. *Bewertung der Auswirkungen*: Monetäre Bewertung der möglichen Auswirkungen. Dabei sind Kosten negative, Erträge positive Bewertungen.
7. *Sensitivitätsanalyse*: Mittels einer Sensitivitätsanalyse wird untersucht, wie stark die Zielerreichung bei kleinen Veränderungen in den Einschätzungen des Entscheiders oder bei sich ändernden Rahmenbedingungen schwanken.
8. *Diskontierung*: Alle Kosten und Erträge werden bei längerfristigen Betrachtungen auf den gegenwärtigen Zeitpunkt diskontiert.
9. *Kosten-Nutzen-Betrachtung*: Alle Nutzenwerte- und alle Kosten werden addiert und es wird der Quotient der beiden Summen gebildet.
10. *Nicht-monetäre Indikatoren*: Nicht monetär bewertbare Indikatoren werden gesondert beschrieben. Eventuell können sie über die Bildung von sogenannten Schattenpreisen monetär erfasst werden. Schattenpreise oder auch Opportunitätskosten werden dabei als „Kosten“ verstanden, die entstehen, wenn Alternativen nicht genutzt werden und mögliche Erlöse nicht erwirtschaftet werden.
11. *Entscheidung*: Diejenige Alternative wird ausgewählt, welche das beste Kosten-Nutzen-Verhältnis hat. Die nicht monetär bewertbaren Indikatoren werden bei der Auswahl berücksichtigt. (Hüftle 2006; Litke 2007, S. 137)

Vorteilhaft ist bei diesem Verfahren, dass das Rechenmodell transparent und nachvollziehbar ist. Qualitative und quantitative Entscheidungskriterien werden verarbeitet und

die Kosten können klar und transparent abgebildet werden. Nachteilig ist, dass die nicht-monetär bewertbaren Indikatoren lediglich in die abschließende Bewertung der Alternativen einfließen. Daher werden sie u. U. geringer gewichtet als monetäre Indikatoren. Ebenfalls kann sich der gewählte Zinssatz nachteilig auswirken, der bei der Diskontierung angesetzt wird. Im Resultat können die Alternativen unterschiedlich effektiv sein. Auch die Erfassung aller Rahmenbedingungen ist oft schwierig. In der Praxis kommt es häufig vor, dass relevante Rahmenbedingungen nicht abgebildet werden können. (Hüftle 2006; Drews 2010, S. 92–112)

Einsatz findet die Kosten-Nutzen-Analyse, wenn die Kosten und der Nutzen der Alternativen monetär bewertbar sind. Insbesondere in der Investitionsplanung der öffentlichen Verwaltung oder dem Gesundheitswesen (Hüftle 2006).

Kosten-Wirksamkeits-Analyse Die Anwendung der rein monetären Kosten-Nutzen-Analyse setzt voraus, dass sich sowohl Kosten als auch Nutzen adäquat in monetären Größen ausdrücken lassen. Bei der Kosten-Wirksamkeits-Analyse, beschränkt sich die Monetarisierung auf die Kostenseite und nicht auf den erbrachten Nutzen. Die Kosten-Wirksamkeits-Analyse ist wie die Kosten-Nutzen-Analyse eine Methode, die zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Alternativen eingesetzt wird. Sie ordnet sich methodisch zwischen der Kosten-Nutzen-Analyse und der Nutzwertanalyse ein, insofern dass der Nutzen nicht monetär wie in der Kosten-Nutzen-Analyse, sondern in dimensionslosen Größen wie in der Nutzwertanalyse ermittelt wird. Im Gegensatz zur Nutzwertanalyse berechnet die Kosten-Wirksamkeits-Analyse in der Regel die Kosten eines Vorhabens ähnlich der Kosten-Nutzen-Analyse monetär. Die Kosten-Wirksamkeits-Analyse ist auch eine Bewertungsmethode zum Vergleich von Alternativen. Verglichen werden die Kosten einzelner Maßnahmen oder ganzer Maßnahmenbündel mit den damit erreichten Wirksamkeiten (Erträgen). Zum Vergleich der mit Hilfe der Kosten-Wirksamkeits-Analyse ermittelten Ergebnisse bedarf es dem Einsatz einer Entscheidungsregel. Beispielsweise kann eine Budgetrestriktion, z. B. größtmöglicher Nutzen innerhalb eines vorgegebenen Budgets, eine Nutzenschwelle, z. B. minimale Kosten bei vorgegebenen Mindestnutzen, oder auch das Kosten-Wirksamkeitsverhältnis, z. B. günstigstes Verhältnis zwischen Nutzen und Kosten, ausschlaggebend sein Abb. 20.5. (Runge 1998, S. 204–208; Drews 2010, S. 92–112)

Die Analyse wird in mehreren Schritten durchgeführt:

1. *Zielanalyse*: Es wird ein Zielsystem aufgestellt mit einem Gesamtziel und mehreren Teilzielen. Diese sollen vollständig und widerspruchsfrei sein. Die einzelnen Teilziele werden durch Gewichte hinsichtlich ihres Stellenwertes für das Gesamtziel bewertet.
2. *Erfassung von Rahmenbedingungen*: Die Rahmenbedingungen, unter denen die Ziele erreicht werden sollen, werden analysiert.
3. *Alternativen*: Die Handlungsalternativen, welche die Ziele erfüllen können und die Rahmenbedingungen nicht verletzen, werden ausgearbeitet.
4. *Kostenanalyse*: Jeder Handlungsalternative werden monetäre und/oder nicht-monetäre Kosten (über den Opportunitätskostenansatz) zugeordnet.

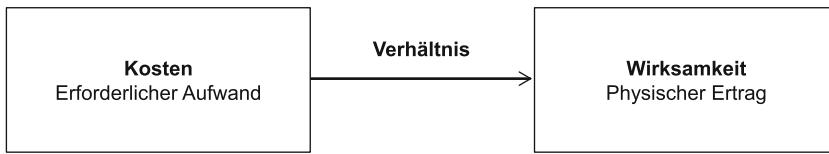


Abb. 20.5 Kosten-Wirksamkeits-Analyse (Nach Drews 2010)

5. *Wirksamkeitsanalyse*: Die Wirksamkeit einer Alternative wird ermittelt, indem für die einzelnen Ziele geeignete Maßstäbe für den Zielerreichungsgrad (Wirksamkeit) festgelegt werden (kardinal, ordinal oder nominal). Die Alternativen werden häufig mit Punkte- oder Rangskalen bewertet.
6. *Diskontierung*: Kosten und Wirkungen werden, soweit möglich, mit einem festzulegenden Zinssatz diskontiert.
7. *Risiko und Unsicherheit*: Die Risiken bei Kosten und Wirksamkeit werden analysiert und mit Wahrscheinlichkeiten oder Unsicherheiten quantifiziert.
8. *Entscheidungsempfehlung*: Es wird eine Kosten-Wirksamkeits-Matrix erstellt, aufgrund derer Entscheidungsvorschläge generiert werden können.

Nachteilig bei diesem Bewertungsverfahren ist, dass keine absolute Aussage über die Vor teilhaftigkeit einer Alternative gegenüber einer anderen Alternative gemacht werden kann. Sie kann lediglich als Entscheidungshilfe eingesetzt werden. Auch dass, je nach dem welcher Zinssatz bei der Diskontierung angesetzt wird, die Kosten der einzelnen Alternativen schwanken, kann als Nachteil gesehen werden. Außerdem ist diese Methode anfällig für subjektive Einstellungen und Präferenzen des Entscheiders. (Runge 1998, S. 204–208)

Die Kosten-Wirksamkeitsanalyse wird häufig eingesetzt, wenn zwar eine monetäre Bewertung der Kosten einer Alternative möglich ist, jedoch der Nutzen nicht monetär gemessen werden kann.

Nutzwertanalyse Die Nutzwertanalyse ist eine nicht monetäre Bewertungsmethode, welche mehrere komplexe Alternativen vergleichbar machen kann. Das Ziel der Nutzwertanalyse ist es, den subjektiven Nutzwert, der durch die individuellen Nutzenfunktionen des Entscheiders bestimmt wird, mit verschiedenen Alternativen zu vergleichen. Sie werden gemäß ihrer Nutzwerte geordnet und anschließend die Alternative mit dem höchsten Nutzwert ausgewählt (Abb. 20.6). (Hoffmeister 2007, S. 278; Drews 2010, S. 119–130)

Die Nutzwertanalyse wird in mehreren Schritten durchgeführt:

1. *Festlegen der Alternativen*: Welche Alternativen können zur Lösung des Problems durchgeführt werden? Welche ist die Null-Alternative (Vergleichsalternative)?
2. *Konkretisieren des Zielsystems*: Das Zielsystem muss sehr gut strukturiert werden, damit daraus messbare oder mindestens schätzbare Indikatoren abgeleitet werden können. Es



Abb. 20.6 Nutzwertanalyse. (Nach Drews 2010)

ist eine strenge Zielhierarchie erforderlich, um später bestimmen zu können, welchen Beitrag die einzelnen Teilziele zum Gesamtnutzen leisten.

3. *Indikatoren*: Bestimmen der maßgeblichen Indikatoren, welche die Auswirkungen einer Alternative auf ein definiertes Ziel festhalten.
4. *Zielgewichtung*: Mit der Zielgewichtung legt der Entscheider gemäß seinen Präferenzen fest, welchen relativen Anteil die einzelnen Ziele am Gesamtnutzen haben.
5. *Zielerträge*: Es wird bestimmt, welche (messbaren) Auswirkungen eine Alternative auf die Indikatoren hat.
6. *Zielerreichung*: Anhand von Nutzenfunktionen wird bestimmt, wie sich der Nutzen bei Zu- oder Abnahme des Indikatorwertes verhält.
7. *Gesamtnutzen*: Die Nutzenwerte der verschiedenen Ziele werden unter Berücksichtigung der Zielgewichte aggregiert
8. *Sensitivitätsanalyse*: Mittels einer Sensitivitätsanalyse wird untersucht, wie sich die Rangfolge der Alternativen gegenüber kleinen Veränderungen in den Einschätzungen des Entscheiders (z. B. in der Festlegung der Gewichte) oder gegenüber geänderten Bedingungen (z. B. Benzinprieze), verhält.
9. *Entscheidung*: Die Alternative mit dem höchsten Gesamtnutzen wird als beste Alternative ausgewählt. (Wadenpohl 2010, S. 175 ff.)

Die Nutzwertanalyse hat den Vorteil, dass Präferenzen des Entscheiders berücksichtigt werden können. Der Entscheider hat damit ein strukturiertes Problemlösungsverfahren. Ebenfalls vorteilhaft ist, dass die Alternativen direkt miteinander verglichen werden können. Negativ ist bei dieser Methode, dass die Gewichtung der Ziele und das Aufstellen der Nutzenfunktionen vom Entscheider abhängig und damit auch subjektiv sind. Außerdem ist nicht sichergestellt, dass zwei Alternativen unter demselben Aspekt verglichen werden. (Hoffmeister 2007, S. 278)

Die Nutzwertanalyse wird insbesondere dann eingesetzt, wenn die Präferenzen des Entscheiders bei komplexen Entscheidungen mit mehreren Zielen berücksichtigt werden und wenn die Entscheidungskriterien nur schwer miteinander zu vergleichen sind (Hoffmeister 2007, S. 278).

Risikoanalyse Bei der Risikoanalyse wird in der Regel das Produkt aus der Eintrittswahrscheinlichkeit und dem Schadensausmaß bei einem bestimmten Ereignis oder einer Entscheidung als Risiko bezeichnet. Sowohl eine hohe Eintrittswahrscheinlichkeit als auch ein hohes Schadensausmaß stellen somit ein hohes Risiko dar. (Krämer 1994, S. 42)

Die Risikoanalyse setzt sich aus drei Teilschritten zusammen. Der Risikoidentifikation, der Risikobewertung und der Risikoklassifikation. Die Risikoidentifikation wird als Teil einer Systemanalyse oder Wirkungsanalyse durchgeführt. Es werden Risikobereiche identifiziert und anschließend weiter spezifiziert, solange bis überschaubare und handhabbare Einzelrisiken bestimmt wurden. Bei der anschließenden Risikobewertung erfolgt die Berechnung oder Schätzung von Eintrittswahrscheinlichkeiten und möglicher Schadenshöhen. Wichtig ist es hier auf Interdependenzen zwischen den Einzelrisiken zu achten. Beispielsweise wenn sich die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Risikos beim Eintritt eines anderen Risikos erhöht. Abschließend erfolgt eine Risikoklassifikation. (Krämer 1994, S. 42)

Prozesskostenrechnung Neben diesen dargestellten Bewertungsverfahren gibt es als weitere Methode die Prozesskostenrechnung. Diese dient der verursachungsgerechten Ermittlung und Zuordnung der Kosten zu den verursachenden Prozessen. Prozesskosten entstehen durch die Nutzung betrieblicher Ressourcen. Sowohl Kosten als auch Ressourcennutzung sind wesentliche Effizienzgrößen. (Finkeissen 2000, S. 66)

Die Vorgehensweise bei der Implementierung der Prozesskostenrechnung ist in fünf Schritten aufgebaut:

1. *Schritt:* Identifikation aller relevanten Prozesse (Prozessanalyse)
2. *Schritt:* Zuordnung von Kosten zu Prozessen (keine detaillierte Aufschlüsselung der Kosten)
3. *Schritt:* Bestimmung der Kostentreiber
4. *Schritt:* Prozesskostenermittlung
5. *Schritt:* Prozesskostenkalkulation

In einem ersten Schritt werden im Rahmen der sogenannten Prozessanalyse alle relevanten Aktivitäten bzw. Prozesse identifiziert. Als Aktivität (bzw. Teilprozess) ist in diesem Zusammenhang eine Tätigkeit zu verstehen, die zum Verbrauch von Ressourcen führt. Wenn Aktivitäten nach Struktur, Ablauf und Zeitvolumen gleich oder ähnlich sind, handelt es sich um sogenannte homogene Aktivitäten. (Eberlein 2010, S. 231)

Als Kostentreiber wird jene Haupteinflussgröße der Kostenentstehung und -entwicklung bezeichnet, die auf eine Aktivität oder einen Prozess bezogen ist. Eine Folge von homogenen Aktivitäten, die sich auf ein bestimmtes Arbeitsziel beziehen und die im Falle eines erneuten Arbeitsvollzuges identisch wiederholt werden müssen, werden als Prozess bzw. Hauptprozess definiert (Eberlein 2010, S. 231).

Der größte Vorteil der Prozesskostenrechnung ist die Erhöhung der Transparenz in den Gemeinkostenbereichen. Mit der Prozesskostenrechnung hat der Anwender die Möglichkeit Rationalisierungspotenziale aufzudecken, indem sie ihm aufzeigt, welche Prozesse betriebliche Ressourcen und Kosten in Anspruch nehmen (Reckenfelderbäumer 1998, S. 28 f.). Die Prozesskostenrechnung hat auf der anderen Seite den Nachteil, dass sie eine vollständige Unschärfe in der Verteilung der Gemeinkosten zu den Verursachern

nicht vermeiden kann. Für kurzfristige Entscheidungen ist die Prozesskostenrechnung nicht geeignet (Reinecke 2007, S. 96).

20.3 Szenariotechnik

Bernhard van Bonn

Die Durchführung von Optimierungsrechnungen wird von verschiedenen Parametern und Restriktionen beeinflusst. Zur Lösungsfindung ist es von Vorteil, nicht nur eine Lösung zu kalkulieren. Die Freiheitsgrade durch die Einstellung verschiedener Parameter zur Optimierung erlauben es unterschiedliche Effekte zur Bestimmung von Einsparungspotentialen auszuweisen. In diesem Sinne bietet es sich an, verschiedene Optimierungsberechnungen durchzuführen und zu verwalten. Die Szenariotechnik stellt dabei eine Möglichkeit dar, die Ergebnisse aus verschiedenen Optimierungsberechnungen zu verwalten und gegenüberzustellen.

Bei der Planung von Standorten für ein Transportsystem kann sich eine Vielzahl an Szenarien ergeben. In nachfolgend sind verschiedene typische Szenarien für eine Standortplanung aufgelistet.

Szenario 0: *Ist-Zustand*

- Darstellung des heutigen Zustandes, Kennzahlen (Lager und Transport)
- Vergleichsbasis zu anderen Szenarien, Kalibrierung des Modells

Szenario 1: *Ideal*

- Anzahl und Lage der Standorte ist variabel
- Maximale Kosteneinsparung im Lager und Transport

Szenario 2: *Zuordnungsoptimierung*

- Anzahl und Lage der Standorte bleibt fix
- Optimierung der Kunden auf Standorte unter Berücksichtigung der vorhandenen Standortkapazitäten

Szenario 3: *Standortoptimierung mit verschiedenen Prognosen*

- Standortoptimierung (Auswahl aus bestehenden Standorten) unter Berücksichtigung veränderter Absatzschwerpunkte

Szenario 4: *Real*

- Kombination aus Ideal-Szenario und Ist-Zustand

Die Optimierung von Standorten durch die Szenariotechnik beginnt mit der Abbildung des Ist-Zustandes. Ein solches Szenario dient zur Kalibrierung des Optimierungsmodells und wird als Basis- bzw. Vergleichsszenario zu allen übrigen Szenarien herangezogen. Losgelöst von vielen Restriktionen, lässt sich in einem Ideal-Szenario die optimale Anzahl und Lage möglicher Lagerstandorte bestimmen. In der Abb. 20.7 sind die Ergebnisse eines typischen Ideal-Szenarios dargestellt. Gesucht wurden optimal liegende Depotstandorte für ein dreistufiges Transportnetz in Europa. Rot markierte Standorte beschreiben die Ist-Standorte. Gelb markierte Standorte stellen die berechneten optimal liegenden Standorte dar. Es wurde sukzessiv die Anzahl der Depotstandorte erhöht. Die Ergebnisse der ermittelten Standortlagen von einem bis zu sechs Standorten sind abgebildet.

In der Regel lassen sich Ideal-Szenarien kaum umsetzen. Sie dienen hauptsächlich zur Ermittlung eines Benchmarks zum Ist-Zustand. In der Standortoptimierung finden sich häufig Szenarien, in denen eine Zuordnungsoptimierung von Kunden auf fixe Lagerstandorte durchgeführt wird. Solche Szenarien können dann in Teilszenarien oder Varianten untergliedert werden. Diese könnten dann mit verschiedenen Restriktionen verbunden sein, wie zum Beispiel eine Zuordnungsoptimierung mit oder ohne Lagerkapazitäten durchzuführen. Durch das Kombinationsspiel aus variablen Restriktionen und Mengenstromoptimierung werden immer bessere Szenarien konstruiert, deren Umsetzungsfähigkeit steigt. Diese Szenarien werden auch als Real-Szenarien beschrieben. Schließlich führt die Gegenüberstellung der verschiedenen Szenarien mit ihren Kosteneinsparungspotenzialen als auch ihren Vor- und Nachteilen zur Auswahl eines umsetzungsfähigen Szenarios. Des Weiteren lassen sich Szenarien definieren, bei denen die Servicezeiten mit in die Optimierung einfließen. Sie liefern eine Antwort auf die Frage, was zum Beispiel ein 100 % flächendeckender Lieferservice in Europa kosten würde (siehe Abb. 20.8).

Die rechnergestützte Planung und Optimierung von Logistiksystemen ist nur so gut wie die dafür eingesetzten Modelle. Je detaillierter die Konstruktion erfolgt, desto umsetzungsfähiger sind die Antworten aus diesen Modellen. Die Entwicklung von Modellen dient dazu, reale Logistiksysteme mathematisch zu beschreiben. Dabei werden standardisierte Logistikprozesse in Form eindeutiger Anweisungsvorschriften abgebildet. Durch den rechnergestützten Einsatz lassen sich in der Logistikplanung umfangreiche Datenmengen berücksichtigen. Das Ziel der Modellierung von Logistiksystemen liegt darin, Verbesserungspotentiale zu bestimmen. Dies können Kostenoptimierungen, aber auch verbesserte Servicezeiten sein. Der Planungshorizont beeinflusst die Entwicklung von Modellen maßgeblich. So ist ein Modell zur Bestimmung von Lagerstandorten unter strategischen Aspekten völlig anders konstruiert als die Bestimmung optimaler Touren für die tägliche Warenauslieferung. Es finden sich aber auch Beispiele, wo es für die gleichen logistischen Fragestellungen verschiedene Modelle gibt.

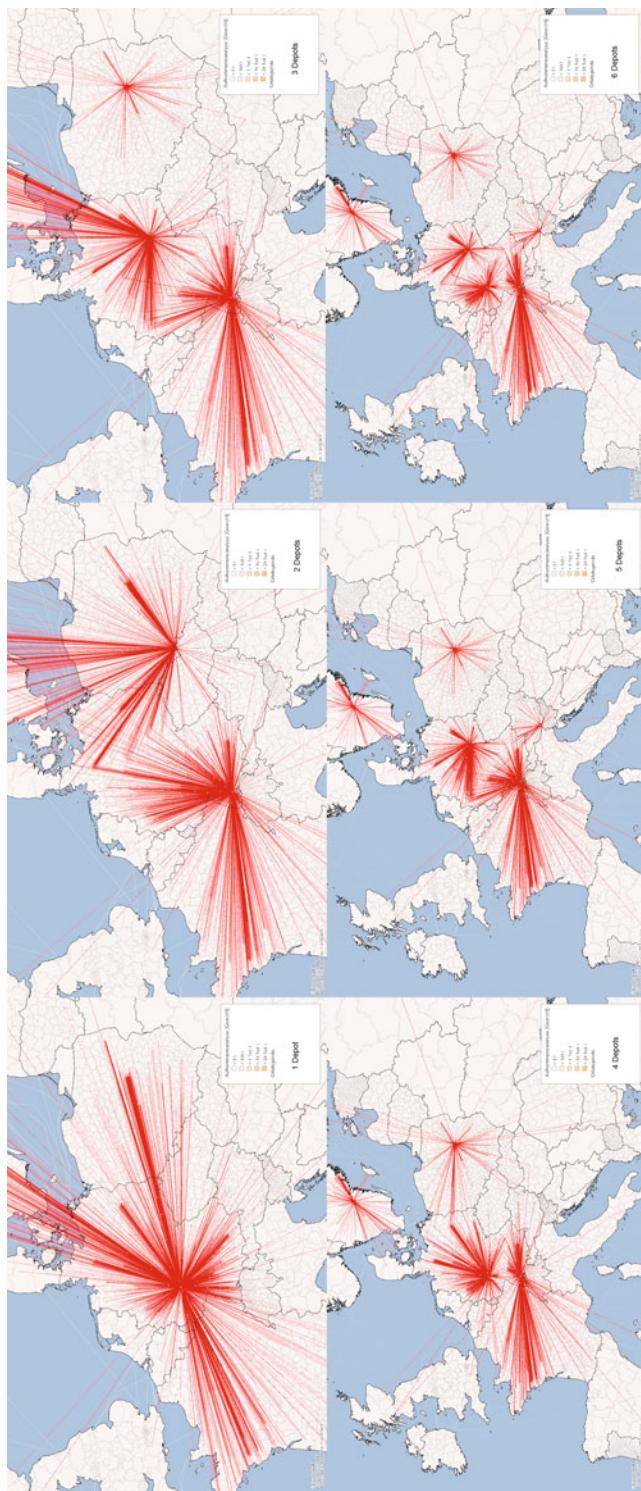


Abb. 20.7 Beispiele für ein Szenario mit Standortvarianten

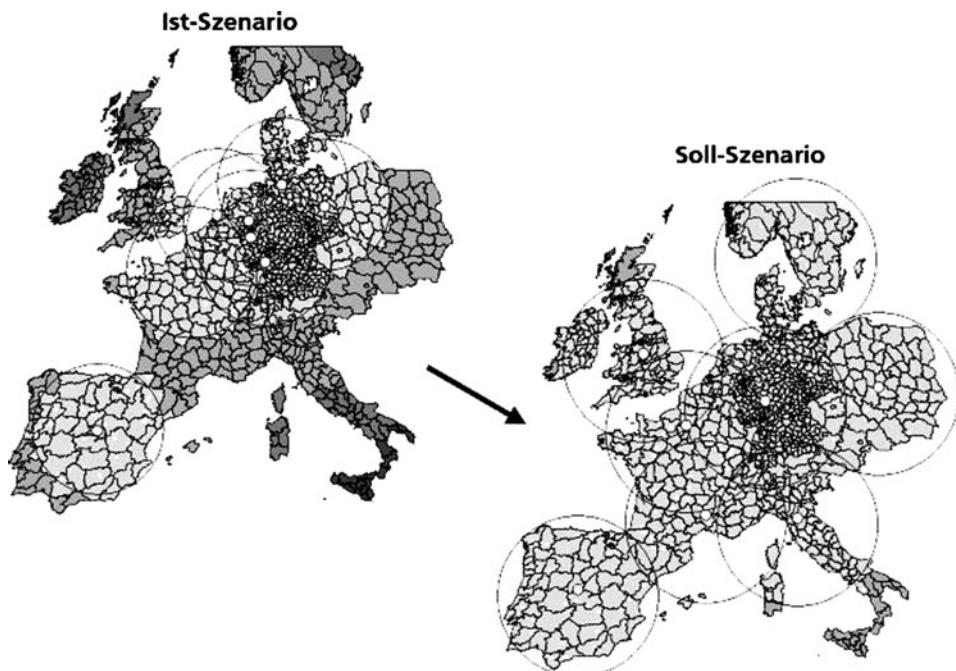


Abb. 20.8 Beispiele für ein Szenario mit optimierten Servicezeiten

Einen weiteren wichtigen Aspekt zur Modellentwicklung stellt die Auswahl der richtigen Methode dar. Auf der einen Seite lassen sich Modelle für *Optimierungen* und zum anderen zur *Simulation* einsetzen. Bei der Optimierung werden allgemein neue Strukturen zur Lösungsfundung ermittelt. Sie findet verstärkt in strategischen Planungen ihren Einsatz. Die Simulation bildet häufig den Ablauf von Systemen ab. Damit lassen sich reale Ablaufprozesse an ihren Kapazitätsgrenzen testen. Dies ermöglicht es, dass das operative Tagesgeschäft durch lokale Veränderungen schnell verbessert werden kann. Somit wird schon in der Modellentwicklung entschieden, ob globale oder lokale Einsparungspotentiale ermittelt werden. Im folgenden Abschnitt wird eine Vorgehensweise vorgestellt, wie außerbetriebliche Transportsysteme durch den Einsatz entsprechender Modelle optimiert werden können.

20.3.1 Zielfunktion

Wird ein Logistiksystem in Form eines Modells beschrieben, stellt die Zielfunktion den Kernbereich dar. Unter Zielfunktion wird dabei eine Funktion im mathematischen Sinn verstanden, die die abgebildeten Logistikprozesse bewertet. Die Bewertung erfolgt in

der Regel über die Bestimmung von Kosten. Unter Kosten wird dabei der Aufwand für den Transport von Waren in bestimmten Prozessabschnitten verstanden. In der Transportlogistik können unterschiedliche Kosten berücksichtigt werden:

- Transportkosten
- Umschlagkosten
- Lagerkosten
- Servicekosten
- u. a.

Je nachdem, welche Kostentreiber es zu minimieren gilt, sollten diese im Modell auch berücksichtigt werden. Wird eine Zielfunktion zur Bestimmung von Transportkosten definiert, kann sie dazu unterschiedlich konstruiert werden. Im Wesentlichen hängt dies zum einem vom betrachteten Zeithorizont und zum anderen vom betrachteten Geschäftsfeld ab. Der Zeithorizont steht hier für eine strategische oder operative Planung. Bei einer strategischen Planung wie zum Beispiel der Standortoptimierung macht es Sinn, die Transportkosten aggregiert auf Relationsebene zu bestimmen. Hingegen werden bei einer operativen Planung wie zum Beispiel der Tourenplanung die Transportkosten auf Fahrzeugebene bestimmt.

Damit das Modell die verschiedenen Sendungen kostentechnisch bewerten kann, wird eine abstrakte Kostenfunktion eingesetzt, die häufig von der Entfernung zwischen dem Start- und Zielpunkt sowie dem Sendungsgewicht bzw. -volumen abhängig ist. Die Kostenfunktion kann dabei als lineare, sprungfixe, degressive oder je nach Anwendungsfall beliebig definierte mathematische Funktion beschrieben sein. Erweitert werden kann die Kostenfunktion um Umschlag- und Lagerkosten, wie sie an den entsprechenden Standorten anfallen können. Des Weiteren lassen sich die Transportkosten differenzieren nach Vor- und Nachlaufkosten sowie gebündelten Hauptlaufkosten. Sollen im Modell also verschiedene Transportstufen überprüft werden, sollten sich diese auch durch unterschiedliche Transportkosten voneinander unterscheiden lassen. Eine Besonderheit stellt die Auswahl verschiedener Verkehrsmittel dar. Hier sollten sich die verschiedenen Verkehrsmittel wie LKW und Bahn kostentechnisch unterscheiden. In Abb. 20.9 ist ein Beispiel für eine Zielfunktion dargestellt, die Transport- und Lagerkosten berücksichtigt.

Erfolgt eine Logistikoptimierung ausschließlich nach den Transportkosten, so zeigt sich, dass diese mit der Zunahme an Umschlag- bzw. Lagerstandorten sinken. Die Transportkosten sinken zum Beispiel deshalb, da häufig bei einem zweistufigen Transport die Kosten für einen Hauptlauftransport sehr günstig sein können. Die anschließenden Nachlauftransporte zwischen Lager- und Kundenstandort sind unter Einhaltung von Servicezeiten häufig als Kostentreiber anzusehen. Dies führt dazu, dass in der Regel die Nachlauftransportkosten größer als die im Hauptlauf sind. Durch die Zunahme an Lagerstandorten können die Nachlauftransporte verkürzt werden. Im Gegensatz dazu verhalten sich die Lagerkosten. In der Regel steigen sie mit der Zunahme an Umschlag- bzw. Lagerstandorten.

$$\begin{aligned}
 Kosten_{Lager} &= \frac{1}{3} \cdot Kosten_{Fläche} + \frac{2}{3} \cdot Kosten_{Betrieb} \\
 Kosten_{Fläche} &= \frac{1}{3} \cdot \text{Kostensatz}[\text{€ / kg / Land}] \cdot \text{Gewicht}[\text{kg}] \cdot \text{anzLager2012} / \text{anzLager2010} \\
 > \text{Nebennutzflächen} \\
 &\quad + \frac{2}{3} \cdot \text{Kostensatz}[\text{€ / kg / Land}] \cdot \text{Gewicht}[\text{kg}] \cdot \sqrt{\text{anzLager2012} / \text{anzLager2010}} \\
 > \text{Lagerflächen} \\
 Kosten_{Betrieb} &= \frac{1}{10} \cdot \text{Kostensatz}[\text{€ / kg / Land}] \cdot \text{Gewicht}[\text{kg}] \cdot \text{anzLager2012} / \text{anzLager2010} \\
 > \text{Overhead} \\
 &\quad + \frac{9}{10} \cdot \text{Kostensatz}[\text{€ / kg / Land}] \cdot \text{Gewicht}[\text{kg}] \\
 > \text{Auslastungsunabhängige Betriebskosten} \\
 &\quad + \frac{9}{10} \cdot \text{Kostensatz}[\text{€ / kg / Land}] \cdot \text{Gewicht}[\text{kg}] \cdot \sqrt{\text{anzLager2012} / \text{anzLager2010}} \\
 > \text{Auslastungsabhängige Betriebskosten}
 \end{aligned}$$

Abb. 20.9 Beispiel für eine Zielfunktion, die Transport- und Lagerkosten berücksichtigt

Durch die Zunahme an Lagerstandorten steigen die Fix- und Betriebskosten für jeden Standort an. Ebenso entsteht ein Lagerverschnitt, da mehr Lager- oder Umschlagflächen benötigt werden, als wenn alles zentralisiert an einem Standort abgewickelt würde. Werden bei einer Logistikoptimierung nur die Lagerkosten berücksichtigt, würde als Ergebnis eine Zentralisierung vorgezogen werden. Indem beide gegenläufigen Kosten aus Transport und Lager in einer gemeinsamen Zielfunktion definiert werden, lassen sich geeignete Lösungen finden.

In Abb. 20.10 ist ein Beispiel für einen möglichen Kurvenverlauf einer Zielfunktion aus Transport- und Lagerkosten dargestellt. Bei der Optimierung eines zweistufigen Transports verhalten sich die Transport- und Lagerkosten mit der Zunahme an Umschlag- bzw. Lagerstandorten gegenläufig. Erst die Summe aus beiden Kostenarten weist ein brauchbares Ergebnis aus. In der Abbildung zeigt die Summenkurve, dass zwischen sieben und acht Lagerstandorten ein kostenminimales Transportsystem vorliegt. An dieser Stelle sei der Hinweis gegeben, dass die Zielfunktion auch um weitere Kostenarten wie zum Beispiel die Umschlagkosten erweitert werden kann.

Werden Zielfunktionen in der Optimierung eingesetzt, die die Transport- und Lagerkosten berücksichtigen, lassen sich Zentralisierungs- bzw. Dezentralisierungseffekte ableiten. Häufig wird dies vor Durchführung einer Optimierung aus dem Verhältnis der beiden Kostenarten aus der Ist-Daten-Analyse abgeleitet. In der Abb. 20.11 ist ein Diagramm für drei Fallsituationen dargestellt. Bei der Standortoptimierung ist Folgendes zu erwarten: Wenn die Lagerkosten deutlich höher als die Transportkosten ausfallen, ist mit einer Standortreduzierung bzw. Zentralisierung als Ergebnis zu rechnen. Wenn die Transportkosten höher als die Lagerkosten sind, kann eine Standorterhöhung bzw. Dezentralisierung erwartet werden. Halten sich die Transport- und Lagerkosten ungefähr die Waage, kann keine direkte Aussage vor Ausführung einer Standortoptimierung getroffen werden.

Die Definition der Zielfunktion muss nicht nur aus Kostensicht erfolgen. Auch Kriterien wie die Einhaltung von Servicezeiten können als Zielfunktion definiert werden. In

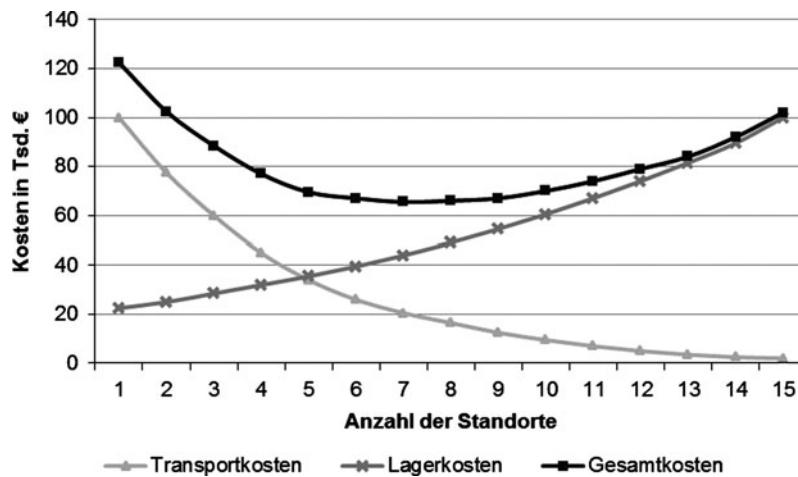


Abb. 20.10 Beispiel für den Kurvenverlauf einer Zielfunktion aus Transport- und Lagerkosten

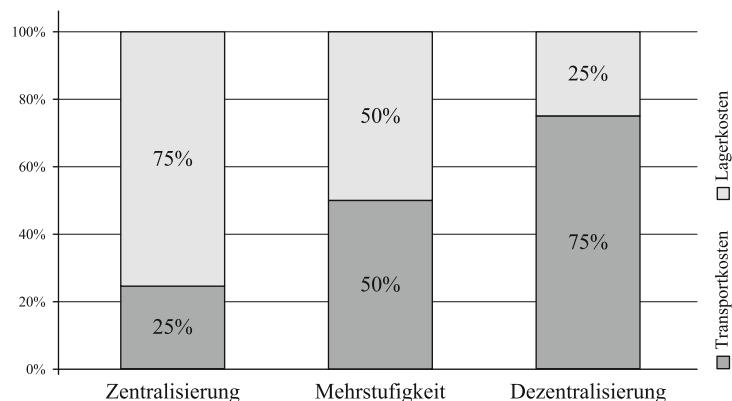


Abb. 20.11 Das Verhältnis zwischen Transport- und Lagerkosten entscheidet in der Regel über Zentralisierung oder Dezentralisierung

praktischen Planungen zeigt sich aber, dass dies häufig nur in einem zweistufigen Planungsprozess berücksichtigt wird. Dabei werden im ersten Planungsschritt die Logistikkosten minimiert und in einem zweiten Schritt die Einhaltung von Servicezeiten kontrolliert. Damit spielt die Berücksichtigung von Servicezeiten eher die Rolle einer Restriktion zur Erfüllung der Logistikaufgabe.

Literatur

- Arndt H (2008), Supply Chain Management — Optimierung logistischer Prozesse, 4., aktualisierte und überarbeitete Auflage. Gabler Verlag, Wiesbaden
- Becker J, Kahn D (2012) Der Prozess im Fokus. In: Becker J, Kugeler M, Rosemann M (eds) Prozessmanagement – Ein Leitfaden zur prozessorientierten Organisationsgestaltung, 7., korrigierte und erweiterte Auflage. Springer Verlag, Berlin, pp 3–16
- Becker J, Mathas C, Winkelmann A (2009) Geschäftsprozessmanagement. In: Günther O, Karl W, Lienhart R, Zeppenfeld K (eds) Informatik im Fokus. Springer Verlag, Berlin
- Becker T (2008) Prozesse in Produktion und Supply Chain optimieren, 2., neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Springer Verlag, Berlin
- Drews G, Hillebrand N (2010). Lexikon der Projektmanagement- Methoden. Haufe- Lexware GmbH, Freiburg
- Eberlein J (2010). Betriebliches Rechnungswesen und Controlling. 2. Auflage. Oldenbourg Wissenschaftsverlage GmbH, München
- Finkeissen A (2000). Prozesswertschöpfung, Management & Controlling. Books on Demand GmbH
- Fischer H, Fleischmann A, Obermeier S (2006) Geschäftsprozesse realisieren, 1. Auflage. Vieweg & Sohn Verlag, Wiesbaden
- Gadatsch A (2012) Grundkurs Geschäftsprozess-Management – Methoden und Werkzeuge für die IT-Praxis: Eine Einführung für Studenten und Praktiker, 7. Auflage. Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden
- Gadatsch A, Knuppertz T, Schnägelberger S (2007) Status Quo Prozessmanagement 2007 – Umfrage zur aktuellen Situation in Deutschland, Österreich und der Schweiz. Köln: Kompetenzzentrum für Prozessmanagement
- Hoffmeister W (2007). Investitionsrechnung und Nutzwertanalyse. Eine entscheidungsorientierte Darstellung mit vielen Beispielen und Übungen. Otzberg: BMV – Berliner Wissenschafts- Verlag
- Hüftle M (2006). „OptiV – Erschließung von Entscheidungs- und Optimierungsmethoden für die Anwendung im Verkehr“ – Bewertungsverfahren. <http://www.ivh.uni-hannover.de/optiv/index.html>, aufgerufen am 19.12.12
- Klarl H (2011) Zugriffskontrolle in Geschäftsprozessen — Ein modellgetriebener Ansatz. Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden
- Klaus P (ed) (2002) Die dritte Bedeutung der Logistik: Beiträge zu Evolution logistischen Denkens. Deutscher Verkehrs-Verlag, Hamburg
- Krämer B, Lohrberg F: Umweltverträglichkeit bewerten – Überlegungen und Ansätze am Beispiel des Straßenbauvorhabens A 26. UVP-Report 8, S. 42–45
- Leimeister J M (2012) Dienstleistungsengineering und -management. Springer Verlag, Berlin
- Levin Henry M, McEwan Patrick J (2001). Cost-Effectiveness-Analysis. Methods and Applications. 2nd Edition. Sage Publications
- Litke Hans-D (2007). Projektmanagement. Methoden, Techniken, Verhaltensweisen. Evolutionäres Projektmanagement. Carl Hanser Verlag München
- Reinecke Sven, Janz Simone (2007). Marketingcontrolling: Sicherstellen von Marketingeffektivität und -effizienz. W. Kohlhammer Druckerei GmbH + Co. KG Stuttgart
- Reckenfelderbäumer Martin (1998). Entwicklungsstand und Perspektiven der Prozesskostenrechnung. Gabler Verlag Wiesbaden
- Runge K (1998). Die Umweltverträglichkeitsuntersuchung. Internationale Entwicklungstendenzen und Planungspraxis. Hamburg: Springer Verlag
- Rumpel R (2012) Planung und Realisierung von IT-Infrastrukturen – ein prozessbasierter Ansatz. Oldenbourg Verlag, München

- Schmidt G (2012) Prozessmanagement – Modelle und Methoden, 3. überarbeitete Auflage. Springer Verlag, Berlin
- Stockmann R (2006). Evaluation und Qualitätsentwicklung. Eine Grundlage für wirkungsorientiertes Qualitätsmanagement. Waxmann Verlag GmbH, Münster
- Wadenpohl F (2010). Stakeholder bei größeren Verkehrsinfrastrukturprojekten. Dissertation, Zürich
- Wagner T (2009). Verkehrswirkungen von Logistikansiedlungen. Abschätzung und regionalplanerische Bewertung. Dissertation. Wiesbaden
- Warnecke H.J, Bullinger H.J, Hichert R, Voegele A (2003). Wirtschaftlichkeitsrechnung für Ingenieure. 3. Auflage. Carl Hanser Verlag München Wien

Jens Baudach, Robert Voll, Lars Eufinger, Fabian Meier, Julia Sender,
Ina Goedicke und Carina Thaller

Im Rahmen dieses Kapitels wird zunächst eine kurze Einführung in die mathematische Optimierung und hier insbesondere in den Teilbereich der mathematischen Modellierung gegeben, da dieser die wichtige Funktion der Schnittstelle zwischen einem zu optimierenden logistischen Problem und den dafür zu entwickelnden Lösungsverfahren zukommt. Es folgt eine Einführung in die Komplexitätstheorie, die einen theoretischen Rahmen für die Einschätzung der zur Lösung von Optimierungsproblemen notwendigen Ressourcen liefert. Anschließend werden exakte und heuristische Optimierungsverfahren eingeführt. Hier erfolgt eine beispielhafte Darstellung einiger wichtiger Verfahren zur Lösung logistischer Optimierungsprobleme. Danach wird die Methode der Simulation vorgestellt, welche die Möglichkeit bietet, logistische Systeme mit ihren stochastischen Eigenschaften

J. Baudach (✉) · R. Voll · L. Eufinger · F. Meier · J. Sender · I. Goedicke · C. Thaller
Institut für Transportlogistik, TU Dortmund, Leonhard-Euler-Straße 2,
44227 Dortmund, Deutschland
E-Mail: baudach@itl.tu-dortmund.de

Robert Voll
E-Mail: voll@itl.tu-dortmund.de

Lars Eufinger
E-Mail: eufinger@itl.tu-dortmund.de

Fabian Meier
E-Mail: meier@itl.tu-dortmund.de

Julia Sender
E-Mail: sender@itl.tu-dortmund.de

Ina Goedicke
E-Mail: goedicke@itl.tu-dortmund.de

Carina Thaller
E-Mail: thaller@itl.tu-dortmund.de

und komplexen Beziehungen zwischen den Systemkomponenten in einem hohen Detailierungsgrad zu modellieren und zu untersuchen. Abschließend werden die Grundlagen der Wirtschaftsverkehrsmodellierung erläutert und anhand von ausgewählten Modellsätzen die methodischen Vorgehensweisen, Eigenschaften und Strukturen im Detail vorgestellt. Zusätzlich wird noch darauf verwiesen, dass in der Wirtschaftsverkehrsmodellierung logistische Strategien und Konzepte sowie Logistikknoten Berücksichtigung finden müssen.

21.1 Mathematische Modellierung

Jens Baudach

Die mathematische Optimierung stellt eine äußerst leistungsfähige Methode dar, die zur Lösung einer Vielzahl strategischer, taktischer und operativer Problemstellungen in der Verkehrs- und Transportlogistik beiträgt. Dabei lassen sich letztlich nahezu alle Optimierungsprobleme auf eines der beiden folgenden ökonomischen Grundprinzipien zurückführen (Werners 2008, S. 1):

- Erzielle ein *bestimmtes Ergebnis* mit *minimalem Einsatz* an Ressourcen.
- Erzielle ein *maximales Ergebnis* bei einem *gegebenen Einsatz* an Ressourcen.

Im Rahmen dieses Abschnitts wird eine kurze Einführung in die *mathematische Optimierung* und hier insbesondere in den Teilbereich der *mathematischen Modellierung* gegeben, da dieser die wichtige Funktion der Schnittstelle zwischen einem zu optimierenden logistischen Problem und den dafür zu entwickelnden Lösungsverfahren zukommt. Eine Vorstellung mehrerer solcher Verfahren bzw. Algorithmen, die in der Praxis für verschiedene logistische Problemstellungen genutzt werden, erfolgt in Abschn. 21.2 und Unterkap. 22.

Weiterhin soll dieser Abschnitt auch als Einführung in den verwandten Bereich des *Operations Research (OR)* gesehen werden, in dem die mathematische Modellierung einen zentralen Teilaспект darstellt. *Operations Research* beschreibt eine wissenschaftliche Methodik, die sich durch ein äußerst systematisches Vorgehen auszeichnet, welches zuallererst eine detaillierte Analyse einer praxisnahen, komplexen Problemstellung durchführt bevor sie mit einer (mathematischen) Abbildung sowie der Lösungs- oder Entscheidungsfindung fortfährt. Ein typischer Planungsprozess, der durch Operations Research gestützt ist, kann dabei nach Domschke und Drexl (2005, S. 1) im Wesentlichen durch die folgenden sechs Schritte dargestellt werden:

- Erkennen und Analysieren eines Problems
- Bestimmen von Zielen und Handlungsmöglichkeiten

- Mathematische Modellierung
- Datenbeschaffung
- Lösungsfindung
- Bewertung der Lösung

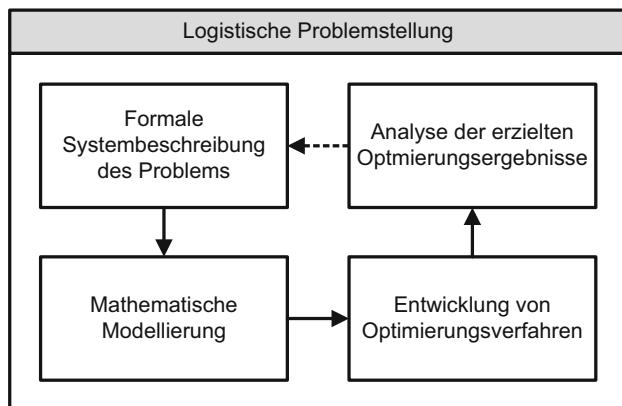
An dieser Stelle soll darauf hingewiesen werden, dass die Abbildung und Lösung eines (logistischen) Entscheidungsproblems durch mathematische Optimierungsmodelle und -algorithmen nur einen möglichen Weg innerhalb des Operations Research darstellt. Einen weiteren Weg stellt die Anwendung von *Simulation* bzw. von *Simulationsmodellen* (und entsprechender Software) dar. In der Wissenschaft und Praxis werden die mathematische Optimierung und Simulation erfahrungsgemäß nur in wenigen Fällen für dieselben Probleme genutzt, da die Methoden unterschiedliche Stärken und Schwächen bei der Lösungsfindung besitzen. Am Ende dieses Abschnitts wird daher eine grundlegende Abgrenzung der beiden Methoden vorgenommen, um einem Anwender eine erste Entscheidungsunterstützung zu geben, für welche Probleme welche Methode am ehesten zur Lösung geeignet ist. Eine detailliertere Auseinandersetzung mit dem Bereich der *ereignisgesteuerten Materialflussimulation*, die insbesondere bei der Planung und Steuerung logistischer Systeme eine bedeutende Rolle spielt, erfolgt in Abschn. 21.3.

21.1.1 Vorgehen in Optimierungsprojekten

Abgeleitet aus den oben aufgeführten sechs allgemeinen Schritten eines Planungsprozesses im Operations Research (Domschke und Drexel 2005, S. 1 ff) wird im Folgenden eine *vierstufige Vorgehensweise* für Optimierungsprojekte in der Logistik präsentiert und erläutert (vgl. Abb. 21.1). Unabhängig von der konkret angegebenen Anzahl an Stufen und ihren Bezeichnungen kann das *grundlegende Vorgehen* im Operations Research als weitestgehend identisch bezeichnet werden, wie bspw. in Suhl und Mellouli (2006, S. 6 ff) oder Werners (2008, S. 2 ff) ersichtlich ist.

Formale Systembeschreibung des Problems Zu Beginn der Optimierung einer logistischen Problemstellung (z. B. Optimierung der für Transporte eingesetzten LKW, Standortauswahl und Kundenzuordnungen in einem Transportnetz, effiziente Personaleinsatzplanung) gilt es, diese im Detail zu analysieren und die meist noch recht allgemein vorhandenen Aufgabenstellungen sukzessive für eine durch mathematische Optimierung unterstützte Planung zu konkretisieren. Dies geschieht über die Erstellung einer *formalen Systembeschreibung*, die alle relevanten Planungaspekte (Ziele, zu treffende Entscheidungen sowie zu berücksichtigende Regeln und Restriktionen) widerspruchsfrei und vollständig enthalten muss. Zusätzlich sollte bereits an dieser Stelle geklärt werden, ob alle für die Planung bzw. Optimierung benötigten Daten verfügbar sind. Sollte dies nicht der Fall sein, müssen entsprechende Anpassungen in der formalen Systembeschreibung

Abb. 21.1 Vorgehen in Optimierungsprojekten



vorgenommen werden, um im weiteren Verlauf eine bestmögliche Lösung des Problems zu gewährleisten.

Mathematische Modellierung Auf Basis der formalen Systembeschreibung wird in der zweiten Stufe des Vorgehens ein mathematisches Optimierungsmodell erstellt, das ein mathematisches Abbild der gegebenen logistischen Problemstellung darstellt und genau auf die zu berücksichtigenden Ziele, Entscheidungen und Regeln ausgerichtet bzw. reduziert ist. Eine detaillierte Beschreibung der Überführung einer formalen Systembeschreibung in ein mathematisches Modell erfolgt weiter unten in diesem Abschnitt.

Entwicklung von Optimierungsverfahren In der dritten Stufe wird ein Algorithmus (bzw. ein Optimierungsverfahren) entwickelt, der das zuvor aufgestellte mathematische Modell in Bezug auf die gegebenen Zielsetzungen (z. B. Minimierung der Kosten) bestmöglich löst. Lösungsverfahren, die nachweislich in der Lage sind eine *optimale* Lösung zu finden, die nicht weiter verbessert werden kann, werden als *exakte Verfahren* bezeichnet. Demgegenüber stehen die sogenannten *heuristischen Verfahren*, kurz *Heuristiken*, die das Finden *der besten* Lösung zwar nicht garantieren können, dafür aber meist wesentlich schneller zu guten Lösungen führen. Eine nähere Betrachtung von Optimierungsverfahren bzw. -methoden erfolgt im Rahmen von Abschn. 21.2.

Analyse der erzielten Optimierungsergebnisse In der vierten und im Idealfall letzten Stufe des Vorgehens wird die erhaltene Lösung, die aus der Anwendung eines Optimierungsverfahrens auf die gegebenen Planungsdaten (z. B. Stamm- und Auftragsdaten) resultiert, analysiert und bewertet. Ziel ist es, dass die Lösung aus Sicht eines Fachmanns nicht nur in der Praxis zulässig ist, sondern darüber hinaus auch wie erhofft eine signifikante Verbesserung für das logistische Problem darstellt. Hier endet meist der Bereich bzw. die Zuständigkeit der rein mathematischen Optimierung und es kann mit der Umsetzung der Optimierungsergebnisse in die Praxis begonnen werden. Sollte jedoch die

erhaltene Lösung nicht hinreichend gut oder im schlechtesten Fall sogar nicht zulässig, d. h. in der Praxis nicht umsetzbar sein, so muss eine Rückkopplung erfolgen und die vorherigen Stufen erneut durchlaufen werden. Insbesondere muss in enger Abstimmung mit Experten aus der Praxis überprüft werden, ob in der formalen Systembeschreibung keine Fehler vorliegenden oder wichtige Aspekte, z. B. Regeln oder Restriktionen, noch nicht berücksichtigt worden sind (vgl. Abb. 21.1). Wenn Änderungen in der Systembeschreibung vorgenommen worden sind, müssen die bereits entwickelten Modelle und Verfahren in den nachfolgenden Stufen entsprechend daran angepasst werden.

21.1.2 Mathematische Modellbildung im Operations Research

Wie die obige Vorstellung des Vorgehens in Optimierungsprojekten bereits zeigt, sind insbesondere der Aufbau einer formalen Systembeschreibung für die gegebene Problemstellung und die darauf aufbauende Entwicklung eines mathematischen Optimierungsmodells von zentraler Bedeutung für den späteren Erfolg einer Optimierung. Die formale Systembeschreibung lässt sich dabei, z. B. nach Suhl und Mellouli (2006, S. 32 ff) oder Domschke und Drexel (2005, S. 3 ff), in

- zu treffende *Entscheidungen*,
- *Regeln und Restriktionen* (aus der Praxis)
- sowie *Ziele der Optimierung*

aufteilen, mittels derer nahezu jede Problemstellung aus der (logistischen) Praxis hinreichend gut erfasst werden kann. Die jeweiligen Bestandteile der drei Bereiche werden anschließend sukzessive in ein mathematisches Modell überführt, das analog zum Aufbau der formalen Systembeschreibung in

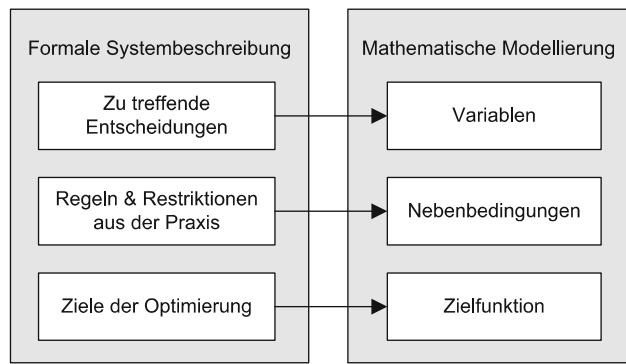
- *Variablen*,
- *Nebenbedingungen*
- und eine *Zielfunktion*

gegliedert ist (vgl. Abb. 21.2). Die Art und Weise der Überführung jedes Bereichs der Systembeschreibung in sein mathematisches Pendant wird im Folgenden detailliert erläutert und abschließend am Beispiel einer Problemstellung aus dem Bereich der Standortplanung verdeutlicht.

Entscheidungen & Variablen Eine Lösung einer logistischen Problem- oder Aufgabenstellung zeichnet sich dadurch aus, dass sie konkrete Antworten bzw. Aussagen über die zu treffenden Entscheidungen liefert. Typische Entscheidungen und Fragestellungen aus klassischen Optimierungsproblemen in der (Transport-)Logistik lauten etwa:

- Welche Standorte sollen eröffnet werden?

Abb. 21.2 Überführung der Systembeschreibung in ein mathematisches Modell



- Welche Mengen (welcher Produkte) werden von welchem Standort zu welchem Kunden transportiert?
- Wie viele LKW werden auf welchen Transportrouten benötigt?
- Welche Transportroute soll ein Fahrzeug nehmen bzw. in welcher Reihenfolge sollen die Kunden angefahren werden?
- Wie viele Mitarbeiter (welcher Qualifikation) brauche ich wann?

Die Beantwortung dieser Fragen erfolgt in einem mathematischen Optimierungsmodell über *Variablen*, die synonym oft auch als *Entscheidungsvariablen* bezeichnet werden (Suhl und Mellouli 2006, S. 32). Eine konkrete Entscheidung ist dann gleichbedeutend mit der Zuweisung bzw. Belegung einer Variablen mit einem Wert. Je nach Art der Entscheidung können Variablen entweder einen *kontinuierlichen*, einen *ganzzahligen* oder einen *binären* Wertebereich haben (Domschke und Drexl 2005, S. 4). In vielen Fällen sind sie zusätzlich durch eine Negativitäts- oder Nichtnegativitätsbedingung eingeschränkt, wie nachfolgend exemplarisch dargestellt:

$x_i \in \mathbb{R}_+$ ($x_i \geq 0$)	Positive kontinuierliche Variable
$x_i \in \mathbb{N}$ ($x_i \geq 0 \wedge$ ganzzahlig)	Positive ganzzahlige Variable
$x_i \in \mathbb{B}$ ($x_i \in \{0,1\}$)	Binäre Variable

(21.1)

In vielen praktischen Problemen existieren verschiedene Fragestellungen, die in einer gut strukturierten und übersichtlichen Modellierung auch durch eine unterschiedliche Benennung von Variablen, z. B. $x = (x_1, \dots, x_m)$ und $y = (y_1, \dots, y_n)$, abgebildet werden sollten. Zudem zeichnet sich eine Fragestellung oft durch eine noch sehr allgemeine Formulierung aus, die bei genauer Betrachtung aus einer Vielzahl *ähnlicher* Teilentscheidungen besteht. So lässt sich etwa die oben präsentierte Fragestellung zur Standortauswahl („Welche Standorte sollen eröffnet werden?“) durch eine Menge an separaten Standortentscheidungen („Wird ein Standort eröffnet?“) präzisieren, die jeweils mit „ja = eröffnen“ oder „nein = nicht eröffnen“ zu beantworten sind. Für eine vorab gegebene (und nummerierte) Menge an möglichen Standorten $i \in \{1, \dots, n\}$ kann z. B. mit (y_1, \dots, y_n) und

$y_i \in \{0,1\}$ eine Menge an binären Variablen verwendet werden, die genau diese separaten Ja-oder-Nein-Entscheidungen für jeden Standort i abbilden.

In logistischen Problemen werden (positive) kontinuierliche Variablen oft zur Abbildung von *gebrochenen* Sendungs- oder Transportströmen verwendet, z. B. wenn diese über das Gewicht bewertet werden. Ganzzahlige Variablen müssen verwendet werden, wenn Transportströme über *nicht teilbare* Einheiten abgebildet werden, z. B. die Anzahl an Containern, Waggons oder Fahrzeugen.

Regeln und Restriktionen & Nebenbedingungen Während jede einzelne Variable prinzipiell jeden Wert innerhalb ihres Wertebereichs annehmen kann, muss die Zulässigkeit einer (Gesamt-)Lösung noch auf die Einhaltung aller gegebenen Regeln und Restriktionen des Problems kontrolliert werden. Nur wenn die gewählten Werte *aller* Variablen einer Lösung auch *alle* Regeln und Restriktionen im Zusammenspiel einhalten, so darf diese Lösung als *zulässig* für das Problem bezeichnet werden.

Eine Regel oder Restriktion aus der formalen Systembeschreibung wird in der mathematischen Modellierung meist mittels einer oder mehrerer *Nebenbedingungen* abgebildet.

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_{ij} \quad \left\{ \begin{array}{l} \geq \\ = \\ \leq \end{array} \right\} b_i \quad \text{für alle } i \in \{1, \dots, m\} \quad (21.2)$$

Die oben abgebildete Formel veranschaulicht dies am Beispiel *linearer Nebenbedingungen*, bei denen die linke Seite der Gleichungen bzw. Ungleichungen eine Linearkombination der Variablen x_{ij} (hier mit i und j doppelt über zwei Mengen indiziert) darstellt. Die rechte Seite enthält mit b_i eine Konstante, die etwa bei einer Nebenbedingung zur Einhaltung von Kapazitätsgrenzen die maximal verfügbare Menge einer Ressource angibt (Suhl und Mellouli 2006, S. 33).

Ziele der Optimierung & Zielfunktion Nachdem die Zulässigkeit einer Lösung über die Wertebereiche der Variablen sowie ein System aus Nebenbedingungen sichergestellt wird, gilt es nun, eine bestmögliche Lösung für das Problem zu finden. Im mathematischen Modell werden dazu die gegebenen Ziele der Problemstellung in eine *Zielfunktion* $F(x)$ übertragen, die es entweder zu minimieren oder maximieren gilt. In der Zielfunktion werden die entsprechenden Variablen eines Lösungsvektors x mit Kosten- oder Nutzenparametern bewertet, z. B. in Form einer linearen Funktion:

$$\text{Minimiere/Maximiere } F(x) = \sum_{i=1}^n c_i x_i \quad \text{mit } x = (x_1, \dots, x_n) \quad (21.3)$$

Wenn alle denkbaren zulässigen Lösungen eines Optimierungsproblems durch die Menge X repräsentiert werden, dann ist eine *optimale Lösung* $x^* \in X$ genau dann gefunden, wenn

es keine weitere zulässige Lösung $x \in X$ gibt, die einen niedrigeren (Minimierung) bzw. höheren (Maximierung) Zielfunktionswert aufweist. Es muss für eine optimale Lösung $x^* \in X$ also formal gelten:

$$\begin{aligned} \text{Minimierung: } F(x^*) &\leq F(x) \quad \text{für alle Lösungen } x \in X \\ \text{Maximierung: } F(x^*) &\geq F(x) \quad \text{für alle Lösungen } x \in X \end{aligned} \quad (21.4)$$

Ein Optimierungsproblem kann prinzipiell mehrere optimale Lösungen besitzen, die jedoch alle denselben optimalen Zielfunktionswert haben müssen. Beispiele für zu maximierende Größen sind etwa der Absatz, der Umsatz, die Auslastung von Ressourcen oder die Zufriedenheit von Kunden oder Mitarbeitern. Verallgemeinernd kann hier von einer *Maximierung von Nutzen* gesprochen werden (Domschke und Drexel 2005, S. 4). In Minimierungsproblemen steht in der Regel die *Minimierung von Kosten* (verschiedener Ausprägungen) im Mittelpunkt. Für den Bereich der Logistik können dies z. B. Transportwege, Transportkosten, Umschlagkosten oder Zeit sein. Eine wichtige Grundvoraussetzung für eine Verwendung in der Zielfunktion ist immer die Messbarkeit dieser Größen.

21.1.3 Beispiel: Modellierung eines Warehouse-Location-Problems

Im Folgenden soll das allgemein vorgestellte Vorgehen zur Überführung einer formalen Systembeschreibung in ein mathematisches Optimierungsmodell anhand eines konkreten Beispiels aus der Logistik, dem sogenannten *Warehouse-Location-Problem (WLP)* veranschaulicht und schrittweise durchgeführt werden. Aus der Vielzahl existierender Standortplanungsprobleme wird im Folgenden das sogenannte *kapazitierte, einstufige Warehouse-Location-Problem* betrachtet, wie es etwa in Domschke und Drexel (1996, S. 53) beschrieben ist.

Problemstellung Ein Unternehmen beliefert insgesamt n Kunden, von denen jeder Kunde $j \in (1, \dots, n)$ eine individuelle Nachfrage von b_j Mengeneinheiten (ME) an Gütern des Unternehmens hat. Das Unternehmen möchte durch die Eröffnung neuer Auslieferungslager seine Kosten senken. Hierfür stehen insgesamt m mögliche Standorte zur Verfügung; die Begriffe *Standort* und *Lager* werden im Folgenden daher synonym verwendet. Jedes Lager $i \in (1, \dots, m)$ besitzt eine maximale Kapazität (ein maximales Angebot) von a_i Mengeneinheiten der Güter und die Eröffnung eines Lagers an einem Standort i verursacht Fixkosten in Höhe von f_i Geldeinheiten (GE). Für den Transport von Gütern zwischen einem Lager i und einem Kunden j fallen variable Transportkosten in Höhe von c_{ij} Geldeinheiten je beförderter Mengeneinheit eines Gutes an. Bei ausreichenden Kapazitäten können Kunden vollständig durch einen Standort beliefert werden, d. h. nur einem Lager zugeordnet sein (vgl. Abb. 21.3). Im vorliegenden Fall begrenzter Lagerkapazitäten kann jedoch eine Belieferung durch mehrere Standorte erforderlich oder sinnvoll sein und ist daher zulässig.

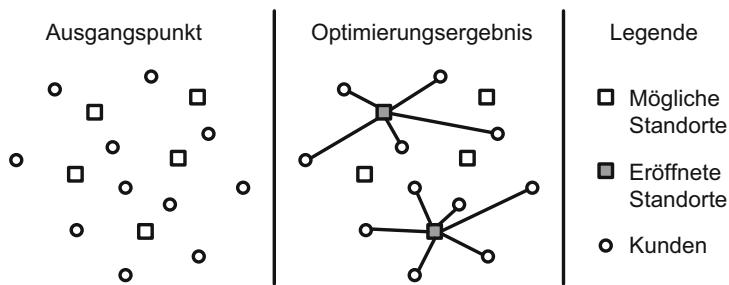


Abb. 21.3 Entscheidungen im Warehouse-Location-Problem

Formale Systembeschreibung Im betrachteten Warehouse-Location-Problem müssen zwei Arten von *Entscheidungen* getroffen werden (vgl. Abb. 21.3):

- Welche Standorte werden eröffnet?
- Wie viele Güter erhält welcher Kunde von welchem Standort?

Bei den Entscheidungen sind dabei aus Sicht der Praxis die folgenden *Regeln und Restriktionen* einzuhalten:

- Ein eröffnetes Lager dürfen in Summe maximal Güter in Höhe der Lagerkapazität verlassen (ein nicht eröffnetes Lager verlassen keine Güter).
- Ein Kunde kann nur dann von einem Lager beliefert werden, wenn dieses tatsächlich eröffnet wird.
- Jeder Kunde erhält (von einem oder mehreren Lagern) genau die gewünschte Menge an Gütern.

Beim letzten Punkt wird unterstellt, dass das Angebot im System, d. h. die aggregierten Lagerkapazitäten, mindestens so groß ist wie die gesamte Nachfrage der Kunden. Andernfalls existiert keine zulässige Lösung für das Problem.

Das Ziel der Optimierung besteht für das vorgestellte Warehouse-Location-Problem in der Minimierung der Gesamtkosten, die sich aus

- den fixen Kosten der eröffneten Standorte sowie
- den variablen Kosten der transportierten Gütermengen

zusammensetzen.

Mathematische Modellierung Für die zu treffenden Entscheidungen über eine Standorteröffnung werden *binäre Variablen* und für die Transportströme *positive Variablen*

verwendet (die Güter müssen nicht zwingend ganzzahlig sein):

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{falls an Standort } i \text{ ein Lager eröffnet wird} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \text{transportierte Gütermenge von Lager } i \text{ zu Kunde } j \quad (21.5)$$

Die für das kapazitierte Warehouse-Location-Problem aufgestellten Regeln und Restriktionen werden über drei unterschiedliche Nebenbedingungen abgebildet. Die erste Nebenbedingung (21.6) stellt sicher, dass die Summe aller Sendungsmengen, die einen Standort i verlassen, nicht größer als die vorhandene Kapazität a_i sein darf.

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq a_i y_i \quad \text{für } i = 1, \dots, m \quad (21.6)$$

Wird ein Standort i nicht eröffnet, so gilt $y_i = 0$, die rechte Seite der Ungleichung wird ebenfalls zu null und es können keine Transporte x_{ij} aus Standort i stattfinden.

Die zweite Nebenbedingung (21.7) garantiert, dass ein Kunde j nur dann von einem Standort i beliefert werden kann, wenn der Standort auch eröffnet wird. Dabei darf die entsprechende Sendungsmenge x_{ij} nicht größer sein als der Bedarf des Kunden. Auch hier können, wie bereits in (21.6), bei Nicht-Eröffnung eines Standorts über die Verwendung der Binärvariable y_i die entsprechenden Transportflüsse auf den Wert null gezwungen werden.

$$x_{ij} \leq b_j y_i \quad \text{für } i = 1, \dots, m \quad \text{und } j = 1, \dots, n \quad (21.7)$$

Die letzte Nebenbedingung (21.8) trägt dafür Sorge, dass jeder Kunde j genau seinen Bedarf b_j erhält. Die Summe der Transporte, die ein Kunde aus allen Standorten erhält muss genau diesem Wert entsprechen.

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j \quad \text{für } j = 1, \dots, n \quad (21.8)$$

Für die vorgestellten Nebenbedingungen wird zusätzlich die Annahme getroffen, dass der Bedarf jedes Kunden kleiner oder gleich der Kapazität (dem Angebot) jedes Standorts ist, d. h. es gilt $b_j \leq a_i$ für alle Paare (i, j) . Wenn dies nicht zutrifft, so kann in Nebenbedingung (21.7) die Lagerkapazität b_j durch den Parameter $k_{ij} = \min\{a_i, b_j\}$ ersetzt und eine präzisere bzw. schärfere Formulierung der Nebenbedingung erzielt werden (Domschke und Drexl 1996, S. 54).

Die angestrebte Minimierung der Gesamtkosten wird in der Zielfunktion (21.9) über zwei Summenblöcke für die fixen Kosten der eröffneten Standorte sowie die variablen Kosten der zwischen Standorten und Kunden transportierten Gütermengen abgebildet:

$$\text{Minimiere } F(x, y) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^m f_i y_i \quad (21.9)$$

Zusammenfassend kann das vollständige mathematische Optimierungsmodell für das kapazitierte, einstufige Warehouse-Location-Problem wie folgt angegeben und in dieser Form auch leicht mittels geeigneter Optimierungssoftware implementiert werden:

$$\text{Minimiere } F(x, y) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij}x_{ij} + \sum_{i=1}^m f_i y_i$$

unter den Nebenbedingungen :

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n x_{ij} &\leq a_i y_i && \text{für } i = 1, \dots, m \\ x_{ij} &\leq b_j y_i && \text{für } i = 1, \dots, m \text{ und } j = 1, \dots, n \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} &= b_j && \text{für } j = 1, \dots, n \end{aligned} \tag{21.10}$$

und

$$\begin{aligned} y_i &\in \{0,1\} && \text{für } i = 1, \dots, m \\ x_{ij} &\geq 0 && \text{für } i = 1, \dots, m \text{ und } j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

21.1.4 Arten von Optimierungsproblemen und -modellen

Optimierungsprobleme bzw. -modelle lassen sich in unterschiedliche Arten bzw. Klassen einteilen. Im Folgenden werden einige grundlegende Klassifizierungen von Optimierungsproblemen vorgestellt, anhand ihrer wichtigsten Merkmale miteinander verglichen und abschließend typische Anwendungsfelder oder Einsatzgebiete aufgeführt.

Lineare und nichtlineare Optimierung Eine erste wichtige Unterscheidung kann anhand der Zielfunktion und der Nebenbedingungen vorgenommen werden. Enthält ein Modell sowohl eine lineare Zielfunktion als auch ausschließlich lineare Nebenbedingungen, wie etwa unter (21.2) und (21.3) dargestellt, so wird es als *lineares Optimierungsproblem* bzw. *Optimierungsmodell* bezeichnet. Sobald die Zielfunktion oder nur eine der Nebenbedingungen eines Modells eine nichtlineare Komponente wie etwa eine Multiplikation von zwei oder mehreren Variablen beinhaltet (z. B. $x_i x_j$, x^3 , $x_{ij} y_i$), liegt ein *nichtlineares Optimierungsproblem* bzw. *Optimierungsmodell* vor. Obwohl viele praktische Problemstellungen prinzipiell nichtlinearer Natur sind, z. B. wenn das Eintreten zweier oder mehrerer Ereignisse durch Und-Verknüpfungen überprüft wird, lassen sie sich meist gut durch lineare Modelle annähern und mit darauf aufbauenden Optimierungsverfahren lösen (Domschke und Drexl 2005, S. 8). Bei den nachfolgenden Problemklassen werden ebenfalls ausschließlich lineare Probleme und Modelle betrachtet.

(Kontinuierliche) Lineare Optimierung Der Begriff *lineare Optimierung* wird in der Literatur in der Regel als Kurzform für die *kontinuierliche lineare Optimierung* verwendet. Deren lineare Modelle enthalten ausschließlich kontinuierliche Variablen, die ggf. noch

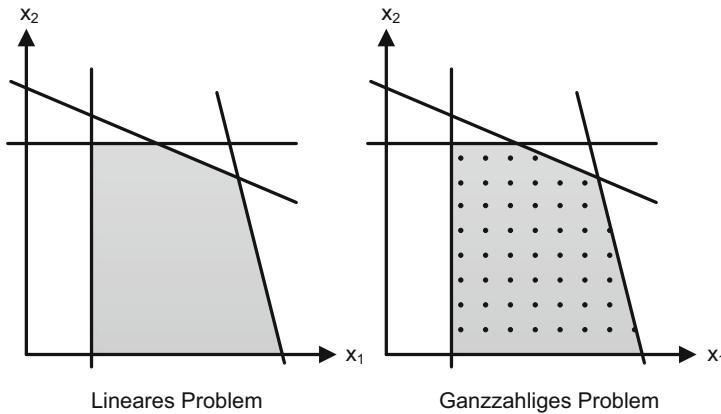


Abb. 21.4 Lineare und ganzzahlige Optimierung

im Vorzeichen eingeschränkt sein können. Ein lineares Modell für den vereinfachten Fall mit zwei Variablen und den reellen Parametern a_{ij} , b_i und c_j sieht typischerweise wie folgt aus:

$$\text{Minimiere } F(x_1, x_2) = \sum_{j=1}^2 c_j x_j = c_1 x_1 + c_2 x_2$$

unter den Nebenbedingungen :

$$a_{i1} x_1 + a_{i2} x_2 \leq b_i \quad \text{für } i = 1, \dots, n$$

und

$$x_j \geq 0 \quad \text{für } j = 1, 2$$
(21.11)

Anhand dieses zweidimensionalen Modellbeispiels lässt sich sehr gut das Zusammenspiel von Zielfunktion, Nebenbedingungen sowie dem resultierenden zulässigen Lösungsraum eines linearen Optimierungsproblems veranschaulichen (vgl. Abb. 21.4). Die Nebenbedingungen (und die Zielfunktion) können dabei durch Umformung als lineare Funktion der *klassischen* Form $y = ax + b$ dargestellt werden:

$$a_{i1} x_1 + a_{i2} x_2 \leq b_i \iff x_2 \leq \left(\frac{b_i}{a_{i2}} \right) - \left(\frac{a_{i1}}{a_{i2}} \right) x_1 \quad (21.12)$$

Für jede Nebenbedingung, die als Ungleichung formuliert ist, liegen dann die zulässigen Werte-Kombinationen der Variablen (x_1, x_2) entweder oberhalb oder unterhalb (und genau auf) der entsprechenden Funktionsgerade. Da in einem mathematischen Optimierungsmodell alle Nebenbedingungen eingehalten werden müssen, bilden die Funktionsgeraden aller Nebenbedingungen zusammen den *zulässigen Lösungsraum*, d. h. eine *Hülle*, in der alle zulässigen Lösungen (x_1, x_2) des Problems liegen müssen (vgl. grau

eingefärbter Bereich in linker Seite von Abb. 21.4). Ein geeignetes Verfahren zur Lösung linearer Optimierungsprobleme, dessen Funktionsweise anhand eines solchen zweidimensionalen Lösungsraums veranschaulicht werden kann, stellt das *Simplexverfahren* dar. Es wird im Detail in Abschn. 21.2 vorgestellt.

Ganzzahlige Optimierung Während in der linearen Optimierung ausschließlich kontinuierliche Variablen vorkommen dürfen, sind in der *ganzzahligen (linearen) Optimierung* alle Variablen ganzzahlig (Domschke und Drexl 2005, S. 120). Das in (21.11) beschriebene lineare Modell würde entsprechend durch die Änderung des Variablentyps $x_j \geq 0$ zu $x_j \in \mathbb{N}$ (bzw.: $x_j \geq 0$ und x_j ganzzahlig) zu einem ganzzahligen linearen Modell. Die Auswirkung der Ganzzahligkeitsbedingung auf den Lösungsraum eines linearen Modells ist in der rechten Seite von Abb. 21.4 veranschaulicht. Der weiterhin durch die Funktionsgeraden der Nebenbedingungen definierte Lösungsraum wird zusätzlich dadurch eingeschränkt, dass nicht mehr jedes Variablenpaar (x_1, x_2) innerhalb der Hülle eine zulässige Lösung für das Problem ist, sondern nur noch alle *ganzzahligen Kombinationen* bzw. *Punkte* (vgl. Abb. 21.4).

In den meisten Fällen ist die Lösung eines ganzzahligen Problems wesentlich schwieriger als die Lösung des entsprechenden linearen Problems (das Weglassen der Ganzzahligkeitsbedingung wird als *lineare Relaxierung* bezeichnet). Eine detailliertere Behandlung der Themen *Optimierungsmethoden* und *Komplexität* findet im Rahmen von Abschn. 21.2 statt, in dem mit dem *Branch-and-Bound-Prinzip* auch ein Verfahren zur Lösung ganzzahliger (linearer) Probleme vorgestellt wird.

Binäre und (gemischt-)ganzzahlige Probleme Enthält ein Optimierungsmodell ausschließlich *binäre Variablen*, so wird es als *binäres Problem* bezeichnet und stellt einen Teilbereich der ganzzahligen Optimierung dar. Mit dem Begriff der *kombinatorischen Optimierung* soll an dieser Stelle ein weiteres wichtiges Gebiet der mathematischen Forschung genannt werden, da sich nahezu alle kombinatorischen Optimierungsprobleme, z. B. Zuordnungs- oder Auswahlprobleme, als ganzzahlige Probleme formulieren lassen (Korte und Vygen 2008, S. 109).

Wenn ein Modell sowohl aus ganzzahligen Variablen als auch aus kontinuierlichen Variablen besteht, so liegt ein *gemischt-ganzzahliges Problem* vor (Wolsey 1998, S. 3). So stellt etwa das in (21.10) vorgestellte *Warehouse-Location-Problem* ein gemischt-ganzzahliges Problem dar, in dem die Standortentscheidungen über binäre Variablen und die Transportströme über kontinuierliche Variablen abgebildet werden. Im Falle zwingend ganzzahliger Transportmengen würde sich das Modell durch Modifikation der Variablen $x_{ij} \in \mathbb{N}$ in ein rein ganzzahliges Modell verwandeln.

Neben Standortplanungsproblemen gibt es in der Logistik eine Vielzahl strategischer, taktischer und operativer Problemstellungen, die mittels (gemischt-)ganzzahliger Optimierungsmodelle abgebildet und gelöst werden können. Die folgende Auswahl zeigt einige dieser Anwendungsgebiete:

- Netzplanung, Netzstrukturplanung
- Transport- bzw. Sendungsbündelung (inkl. Routing)
- Touren- und Routenplanung
- Dienstplanung, Personaleinsatzplanung
- Torbelegungsplanung in Logistikanlagen

Weitere Möglichkeiten der Klassifizierung Zwei weitere Möglichkeiten für Klassifizierungen von Optimierungsprobleme stellen die *dynamische Optimierung* und die *stochastische Optimierung* dar. Beide bauen in der Regel auf linearen oder (gemischt-) ganzzahligen Problemen auf. Im Fall der *dynamischen Optimierung* werden zusätzlich zeitliche Aspekte eines Problems, z. B. Sendungsflüsse in logistischen Netzen im Zeitverlauf oder der Zustand einer logistischen Anlage zu verschiedenen Zeitpunkten, berücksichtigt. Die entsprechenden Modelle können z. B. über den Einbau von Zeitabschnitten, Zeitstufen oder Zeitscheiben erweitert werden (Chmielewski et al. 2009, S. 1). Ein *stochastisches Optimierungsproblem* liegt vor, wenn ein oder mehrere Parameter eines Problems stochastischer Natur sind und als Zufallszahl interpretiert werden können (Domschke und Drexl 2005, S. 6). Ein Beispiel hierfür sind z. B. unsichere Sendungs- oder Auftragsmengen von Kunden in einer Touren- und Routenplanung. Für eine detaillierte Vorstellung der beiden Problemklassifizierungen wird auf die weiterführende Literatur am Ende dieses Abschnitts verwiesen.

Neben der mathematischen Optimierung ist die *Simulation* ein weiterer bedeuternder Teilbereich des Operations Research (Domschke und Drexl 2005, S. 8). Die nachfolgende Abgrenzung zur Optimierung wird primär für die *ereignisgesteuerte (Materialfluss-)Simulation* vorgenommen, die im Rahmen der späteren Abschn. 21.3 und (22.5) im Detail behandelt wird.

21.1.5 Abgrenzung von mathematischer Optimierung und Simulation

Die mathematische Optimierung und die ereignisgesteuerte (Materialfluss-)Simulation stellen zwei äußerst leistungsfähige Methoden dar, die zur Lösung einer Vielzahl strategischer, taktischer und operativer Problemstellungen in der Verkehrs- und Transportlogistik beitragen. Sie werden jedoch in den meisten Fällen aufgrund ihrer methodischen Stärken und Schwächen getrennt voneinander zur Lösung unterschiedlicher Problemstellungen eingesetzt.

Die *ereignisgesteuerte Simulation* ist in der Lage, logistische Systeme mit einem hohen Detaillierungsgrad und stochastischen Prozessen sehr realitätsnah abzubilden. Allerdings kann sie Entscheidungen erfahrungsgemäß nur sehr aufwändig durch die Bewertung und den Vergleich verschiedener Szenarien treffen, die a priori zu definieren sind (vgl. Abb. 21.5). Umgekehrt besitzt die *mathematische Optimierung* die Fähigkeit, eine Vielzahl an Entscheidungen zur Lösung eines logistischen Problems zu treffen. Aufgrund der hohen Komplexität lassen sich viele logistische Probleme realistischer Größe jedoch nur

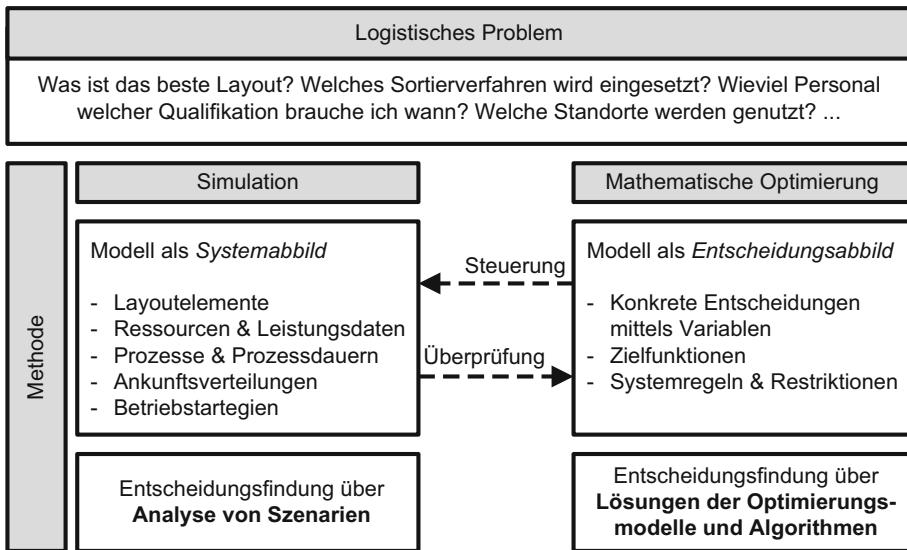


Abb. 21.5 Gegenüberstellung der Methoden Optimierung und Simulation

mit einem niedrigeren Detaillierungsgrad und ohne stochastische Aspekte gut, d. h. in akzeptabler Laufzeit und mit einem hinreichend guten Zielfunktionswert, modellieren und lösen.

Vor der eigentlichen Lösung einer logistischen Problemstellung sollte daher immer eine genaue Analyse des Problems und insbesondere der Aufgaben- bzw. Zielstellung erfolgen. Nur so kann eine fundierte Entscheidung getroffen werden, welche der beiden Methoden überhaupt zur Abbildung und Lösung des Problems geeignet ist oder zumindest eine bessere Aussicht auf Erfolg verspricht.

Eine *Kombination* der beiden Methoden Simulation und Optimierung bietet sich darüber hinaus für ausgewählte Problemstellungen an, z. B. für die Planung und Steuerung von logistischen Anlagen. So kann etwa eine Umschlaganlage eines KEP-Logistikdienstleisters aufgrund ihrer Kombination von manuellen Umschlagtätigkeiten, automatisierten Sortierprozessen, stochastischen Einflussgrößen sowie einer Vielzahl an Zuordnungsentscheidungen (z. B. der LKW-Tor-Zuordnung) als nahezu ideal für eine Verknüpfung von Optimierung und Simulation angesehen werden. Im Idealfall kann über die Ausnutzung der komplementären Stärken der beiden Methoden Simulation und Optimierung ein konkreter praktischer Nutzen für die Entscheidungsunterstützung z. B. in der logistischen Anlage erzielt werden, der letztendlich zu besseren Ergebnissen führt als eine der beiden Methoden für sich alleine erzielen würde (vgl. Abb. 21.5).

21.1.6 Ergänzende und weiterführende Literatur

Mit diesem Absatz sollte ein erster und grundlegender Einblick in die mathematische Optimierung, hier insbesondere die Modellierung, gegeben werden. Als ergänzende und weiterführende Literatur zum Thema Optimierung (in der Logistik) können z. B. die folgenden Titel genannt werden:

- Ahuja et al. (1993)
- Domschke (1995)
- Domschke und Drexel (1996)
- Domschke (1997)
- Domschke und Drexel (2005)
- Korte und Vygen (2008)
- Suhl und Mellouli (2006)
- Werners (2008)
- Wolsey (1998)

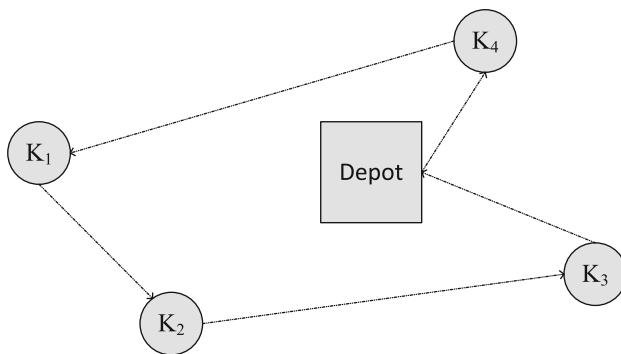
21.2 Optimierungsmethoden

21.2.1 Komplexitätstheorie

Robert Voll

Zur Einführung in die mathematischen Optimierungsverfahren ist es notwendig, einige theoretische Grundlagen aus der *Komplexitätstheorie*, einem Teilgebiet der Informatik, zu veranschaulichen. Die Komplexitätstheorie beschäftigt sich mit Aussagen über die Zeit- und Speicherressourcen, die nötig sind, um gewisse Entscheidungsprobleme auf einer Rechenmaschine zu lösen. Optimierungsverfahren können mitunter viel Zeit beanspruchen. Um sie in der Realität nutzbringend einzusetzen, ist daher Wissen über die Laufzeit der Verfahren sinnvoll.

Ein in der Logistik häufig auftretendes Problem, das in der Literatur als das *Problem des Handlungsreisenden oder Travelling Salesperson Problem (TSP)* (Thomas H Cormen, 2004) bekannt ist, lässt sich kurz folgendermaßen beschreiben: Ein Fahrzeug startet an einem Depot D und muss n verschiedene Kunden K_1 bis K_n beliefern, bevor es zum Depot zurückkehrt. Dabei gilt es die kürzeste Rundtour unter allen möglichen Touren zu finden (vgl. Abb. 21.6). Für eine kleine Anzahl Kunden ist die Anzahl der Lösungsmöglichkeiten überschaubar. Beispielsweise kann das Problem für 4 Kunden noch durch Ausprobieren gelöst werden. Es gibt in diesem Fall nur vier Möglichkeiten, zu welchem Kunden man zuerst fährt. Für jede dieser Möglichkeiten gibt es drei Möglichkeiten den zweiten und wieder zwei Möglichkeiten den dritten Kunden zu wählen. Der letzte Kunde ist dann automatisch

Abb. 21.6 Beispiel zum TSP

bestimmt. Es gibt somit $4! = 4 \times 3 \times 2 \times 1 = 24$ Rundtouren. Bedauerlicherweise steigt die Anzahl möglicher Lösungen mit der Anzahl der Kunden extrem schnell an. Für 10 Kunden existieren bereits $10! = 3.628.800$ unterschiedliche Touren. Die Anzahl möglicher Lösungen für 100 Kunden ist bereits größer als die Menge aller Atome des Universums. Viele logistische Planungsprobleme können auf das Problem des Handlungsreisenden zurückgeführt werden und machen die Lösung weit größerer Instanzen notwendig. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit geschicktere Verfahren zu entwickeln, die möglichst nur einen kleinen Teil der großen Menge von Möglichkeiten auswerten müssen.

Die reine Existenz vieler möglicher Lösungen allein macht ein Problem jedoch nicht zwangsläufig schwer lösbar. Man stelle sich das Problem vor, das von einem Navigationssystem im Auto alltäglich gelöst wird: Finde den kürzesten Weg zwischen zwei gegebenen Adressen (vgl. Abb. 21.7). Obwohl unzweifelhaft Millionen Adressen existieren und unzählige Variationen bestehen, an welchen von Ihnen man auf dem zwischen Start- und Zieladresse vorbeifährt, ist dieses Problem leicht zu lösen. Das bekannteste Verfahren dazu ist der Algorithmus von Dijkstra (Cormen 2004).

Obwohl das zuletzt beschriebene *Kürzeste Wege Problem* (SPP für Shortest Path Problem) der Intuition nach eine gewisse Verwandtschaft mit dem Problem des Handlungsreisenden besitzt, sind beide Probleme sehr unterschiedlich in ihrer Komplexität. Das SPP kann auch für eine Millionen von Adressen schnell gelöst werden. Das TSP bringt bereits mit 100 anzufahrenden Adressen moderne Rechner an ihre Kapazitätsgrenzen.

Diese empirischen Ergebnisse lassen sich theoretisch belegen. Die Komplexitätstheorie unterscheidet in erster Linie zwei Problemklassen. Das SPP gehört der leichteren der beiden Klassen, der Klasse P der in Polynomialzeit lösaren Entscheidungsprobleme, an. Diese Zugehörigkeit sagt etwas über die nötige Lösungszeit eines Problems im Verhältnis zu dessen Größe aus. Die Größe des SPP lässt sich sinnvoll in der Anzahl möglicher Adressen messen. Es kann gezeigt werden, dass der oben erwähnte Dijkstra-Algorithmus niemals mehr als ein festes Vielfaches des Quadrates der Anzahl möglicher Adressen benötigt.

Hingegen kann die Komplexitätstheorie nachweisen, dass es kein Verfahren geben kann, das so schnell ist, dass eine vergleichbare Formel für die Lösungszeit des TSP erfüllt ist. Das TSP wird daher der Klasse der NP-schweren Probleme (NP für Nicht-Polynomialzeit)

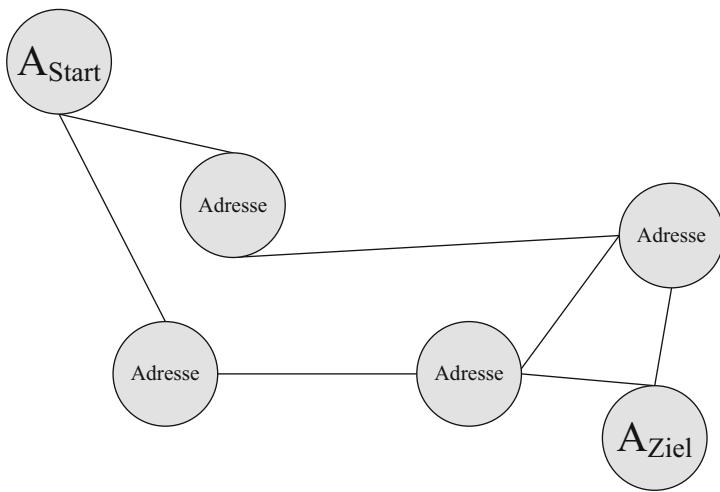


Abb. 21.7 Beispiel zum SPP

zugeordnet. Eine vergleichbare Einordnung kann für die meisten Entscheidungsprobleme durchgeführt werden.

Die Komplexitätstheorie sieht sich häufig mit der auf den ersten Blick nicht unberechtigten Frage konfrontiert, wie die Aussage, dass ein Problem in der Praxis nicht schnell und zugleich optimal lösbar ist, helfen kann. Die Antwort auf diese Frage lautet, dass es dadurch unnötig wird, einen Algorithmus zu suchen, der das Problem schnell und optimal löst. Stattdessen wird man sich üblicherweise mit einer weniger guten Lösung zufrieden geben müssen, die dafür jedoch in einer praxistauglichen Zeit berechnet werden kann. Diese Überlegungen bilden die Motivation für die im Kapitel über Heuristiken vorgestellten Methoden der Optimierung. Für tiefergehende Einblicke in die Komplexitätstheorie sei dem geneigten Leser das Lehrbuch von Wegener (Wegener 2003) empfohlen, in dem er einen weitreichenden Überblick über das Forschungsgebiet der Komplexitätstheorie gibt. Darin wird auch erklärt, dass die Einordnung von Problemen in die Klassen P und NP wohl begründet ist, obwohl bisher kein formaler Beweis für die Trennbarkeit dieser Problemklassen erbracht wurde.

21.2.2 Exakte Verfahren

Lars Eufinger, Fabian Meier und Julia Sender

Bei *exakten Lösungsverfahren* handelt es sich um Algorithmen, die garantiert nach endlicher Zeit eine optimale Lösung zu einem gegebenen Problem liefern (oder feststellen, dass das Problem keine Lösung hat bzw. die Zielfunktion beliebig geringe Werte annehmen kann). Man beachte, dass wir im Folgenden nur Minimierungsprobleme behandeln;

die Ausführungen sind aber direkt auf Maximierungsprobleme übertragbar. Dabei bauen wir auf der Einführung in die mathematische Modellierung (Abschn. 21.1) und der dort erfolgten Begriffsbildung auf.

Für *Lineare Probleme (LP)*, d. h. Probleme mit kontinuierlichen Variablen, steht das Simplex-Verfahren zur Verfügung. Es spielt auch eine wichtige Rolle als Hilfsverfahren, um bei ganzzahligen Problemen Teilprobleme zu untersuchen.

Ganzzahliges Probleme (IP = Integer Programming) bzw. *Gemischt-ganzzahliges Probleme (MIP = Mixed Integer Programming)* enthalten Variablen, deren Wertebereich auf (einige) ganze Zahlen beschränkt ist.

Ganzzahliges Probleme haben aufgrund der Nebenbedingungen meistens eine endliche Lösungsmenge. Das primitivste exakte Verfahren, um hier eine optimale Lösung zu finden, ist die *vollständige Enumeration*, d. h. die Überprüfung aller Lösungsmöglichkeiten darauf, ob es sich um die Optimallösung handelt. Die meisten in der Praxis vorkommenden Probleme sind jedoch *NP-schwer* (Abschn. 21.2.1). Daraus folgt insbesondere, dass eine vollständige Enumeration exponentielle Laufzeit hat, und daher nur für sehr kleine Problemgrößen durchführbar ist. Deswegen sind Verfahren wie Branch-and-Bound und Branch-and-Cut entwickelt worden, die in einer Vielzahl von Fällen die Suche erheblich beschleunigen.

Unter einer *Relaxierung* eines Problems wird im allgemeinen ein Problem verstanden, dass durch Entfernen von Nebenbedingungen oder Variablen aus dem ursprünglichen Problem entsteht. Wird bei einem (gemischt)-ganzzahligen Problem die Forderung an die Ganzzahligkeit der entsprechenden Variablen fallengelassen, wird von einer LP-Relaxierung des ursprünglichen Problems gesprochen. Dies bedeutet, dass ganzzahlige Variablen durch reelle Variablen ersetzt werden. Für binäre Variablen bedeutet dies, dass die Nebenbedingung $x \in \{0,1\}$ durch die Nebenbedingungen $x \geq 0$ und $x \leq 1$ ersetzt werden. Die LP-Relaxierung eines (gemischt-) ganzzahligen Optimierungsproblems stellt ein lineares (reelles) Problem dar, welches häufig effizient mit bekannten LP-Lösungsverfahren, wie dem Simplex-Verfahren, gelöst werden kann. Aus diesem Grund findet die LP-Relaxierung von Problemen in einigen exakten Verfahren, wie Branch-and-Bound-Verfahren, Anwendung.

Das exakte Lösen bis zur optimalen Lösung ist bei den meisten praktischen Problemen unmöglich. Der Nutzen exakter Verfahren besteht vielmehr in folgenden Punkten:

- *Bestimmung unterer Schranken*: Häufig lassen sich heuristische Lösungen eines Problems finden, doch man weiß nicht, wie „gut“ sie eigentlich sind. Lässt man dagegen ein exaktes Verfahren eine ausreichend lange Zeit laufen bis mindestens eine zulässige Lösung gefunden ist, so erhält man danach nicht nur eine gültige Lösung, sondern auch eine untere Schranke, die keinesfalls unterschritten werden kann. Ist der Abstand zwischen Lösung und unterer Schranke sehr gering (bspw. 2 %), kann auf weitere Optimierung verzichten werden, da man keinen nennenswerten Vorteil daraus ziehen kann.

- *Verwendung im Sinne einer Heuristik:* Viele exakte Verfahren liefern auch bei unvollständiger Ausführung hinreichend gute Lösungen bei kleinen und mittelgroßen Problemen; sie können also auch statt oder in Ergänzung zu Heuristiken eingesetzt werden, was im nächsten Unterabschnitt genauer beschrieben wird. Außerdem ist es sinnvoll, sie in Fällen einzusetzen, in denen die Problemstruktur für Menschen schwer zu durchschauen ist (und deshalb unklar ist, wie man heuristisch vorgehen soll).

Dazu kommt natürlich das theoretische Interesse an diesen Verfahren, da sie allgemeine Einsicht in Problemstrukturen geben und helfen können, in Zukunft bessere Algorithmen zu entwickeln.

Im Folgenden wird zuerst das Simplex-Verfahren beschrieben, welches Grundlage aller weiteren Verfahren ist. Anschließend wird auf weitere wichtige exakten Verfahren eingegangen.

Simplex-Verfahren Das Simplex-Verfahren ist das Standardverfahren zur Lösung Linearer Probleme, wie sie in Abschn. 21.1 beschrieben wurden. Dabei handelt es sich um Optimierungsaufgaben, bei denen die Zielfunktion und alle Nebenbedingungen (Ungleichungen) linear sind und die Variablen (in ihren Grenzen) alle reellen Werte annehmen können. Auf Probleme, in denen bestimmte Variablen nur ganzzahlig sein können (wie z. B. Zahl der LKW, Anzahl unteilbarer Güter) wird im nächsten Teil dieses Unterabschnitt eingegangen.

Um die Idee des Simplex-Verfahrens anschaulich zu machen, betrachten wir zunächst einen zweidimensionalen Lösungsraum, d. h. ein Problem, welches nur zwei Variablen hat. Angenommen, wir haben zwei Lager X und Y, in denen wir x bzw. y Tonnen Material einzulagern wollen. Dabei müssen zur Aufrechterhaltung des Betriebs folgende Bedingungen erfüllt sein:

1. Es müssen insgesamt mindestens 100t eingelagert werden, um immer genug Reserve zu haben:

$$x + y \geq 100$$

2. Um Unausgewogenheit zu vermeiden, soll X mindestens so viel wie Y einzulagern, aber nicht mehr als doppelt so viel:

$$\begin{aligned} x &\geq y \\ x &\leq 2y \end{aligned}$$

3. Die Kapazität der Lager ist begrenzt:

$$\begin{aligned} x &\leq 75 \\ y &\leq 55 \end{aligned}$$

Die Einlagerung einer Tonne kostet in X täglich 400 €, in Y aber 500 €. Dies bedeutet, dass wir die Funktion

$$f(x, y) = 400x + 500y$$

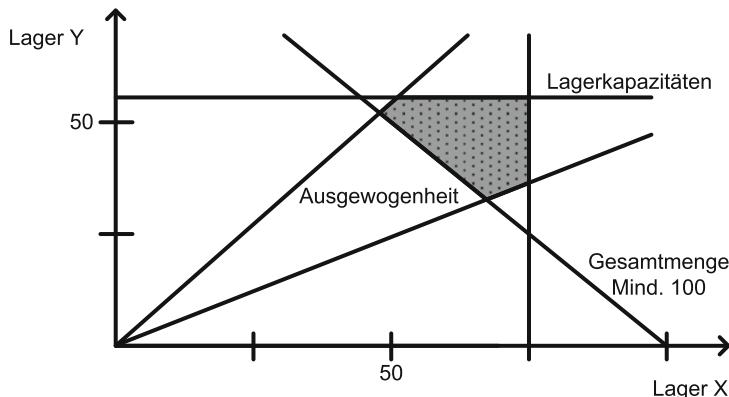


Abb. 21.8 Lösungsraum für Lineares Programm

minimieren wollen. Der Lösungsraum (also die Menge aller (x, y) , welche die unter 1, 2 und 3 genannten Bedingungen erfüllen) soll im Folgenden graphisch veranschaulicht werden. Für jede Ungleichung erhalten wir eine Gerade, die den Lösungsraum begrenzt. Insgesamt sieht dies so aus (Abb. 21.8):

Nur die Werte (x, y) im schraffierten Bereich erfüllen die oben genannten Bedingungen. Nun wollen wir in diesem Lösungsraum den Minimalwert der Funktion $f(x, y) = 400x + 500y$ finden. Die wichtigste Grunderkenntnis in diesem Zusammenhang ist (siehe z. B. (Hamacher und Klamroth 2006, S. 11)):

Der Minimalwert von f wird in einer Ecke des Lösungsbereichs angenommen

Wir wollen dies hier nicht formal beweisen, sondern nur plausibel machen: Nehmen wir an, (x_0, y_0) wäre eine optimale Lösung, die nicht auf einer Kante oder Ecke liegt. Wir legen durch (x_0, y_0) eine beliebige Strecke. Diese können wir von (x_0, y_0) in zwei Richtungen ablaufen. Jetzt gibt es grundsätzlich zwei Fälle: Entweder die Zielfunktion f nimmt auf allen Punkten der Strecke den gleichem Wert an, oder f steigt in eine Richtung an und sinkt in die andere Richtung. Der zweite Fall ist aber unmöglich, weil (x_0, y_0) ja eine optimale Lösung ist und daher der Wert von f in keine Richtung sinken kann. Also ist f auf der gesamten Strecke konstant (und überall minimal). Wir laufen diese Strecke jetzt bis zu einer Kante und finden so einen Punkt (x_1, y_1) , an dem f den gleichen minimalen Wert hat. Nehmen wir die Kante, auf der (x_1, y_1) liegt. Nun können wir obige Überlegungen auch für diese Kante durchführen. Die Zielfunktion f kann nicht in eine Richtung steigen und in die andere Richtung sinken, denn sonst wäre unsere Annahme verletzt, dass der Ausgangspunkt optimal ist. Somit muss die Zielfunktion f auf der Strecke immer gleich bleiben. Wenn wir diese Kante somit entlang laufen, können wir eine Ecke finden, die den gleichen minimalen Wert für f hat wie die Punkte (x_0, y_0) und (x_1, y_1) . Folglich ist diese Lösung dann auch optimal. Zusammen-

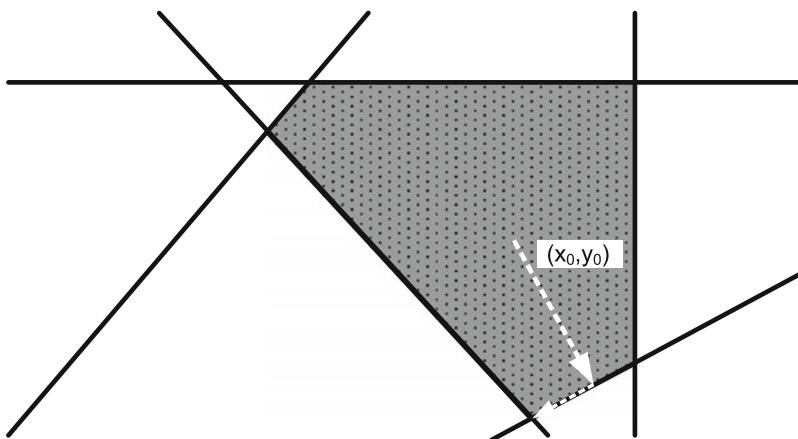


Abb. 21.9 Ein Optimum liegt in einer Ecke

gefasst kann man sagen: Gibt es Optimum „in der Mitte des Lösungsraumes“, so gibt es auch eines auf einer Ecke. Zeichnung 21.9 verdeutlicht dies.

Nach obiger Argumentation reicht es also die Ecken der Figur abzulaufen. Die Idee des Simplexalgorithmus ist deshalb:

- Starte an einer Ecke.
- Laufe entlang einer Kante zu einer Nachbarecke, wenn der Wert von f dort niedriger ist.
- Wenn man eine Ecke erreicht, bei der keine Nachbarecke besser ist, höre auf.

Der letzte Schritt ist korrekt, da Lineare Probleme keine lokalen Minima haben, d. h. wenn man eine Ecke erreicht, bei der der Wert von f in jede Richtung ansteigend ist, ist dies das absolute Minimum von f .

Illustrieren wir dies an obigem Beispiel. Dafür haben wir die Ecken beschriftet und starten (willkürlich) bei der Ecke A (Abb. 21.10):

- *Ecke A:* Hier gilt $x = 55$, $y = 55$. Die Gesamtkosten sind also $f(55, 55) = 55 \cdot 400\text{€} + 55 \cdot 500\text{€} = 49.500\text{€}$. Wir vergleichen dies mit den Kosten der beiden Nachbarecken:
 - *Ecke E:* $f(75, 55) = 75 \cdot 400\text{€} + 55 \cdot 500\text{€} = 57.500\text{€}$
 - *Ecke B:* $f(50, 50) = 50 \cdot 400\text{€} + 50 \cdot 500\text{€} = 45.000\text{€}$
 Deshalb wählen wir Ecke B.
- *Ecke B:* Da wir von Ecke A kommen, müssen wir nur Ecke C prüfen:
 - *Ecke C:* $f(66\frac{2}{3}, 33\frac{1}{3}) = 43.333\frac{1}{3}$.
 Wir wechseln also zu C.

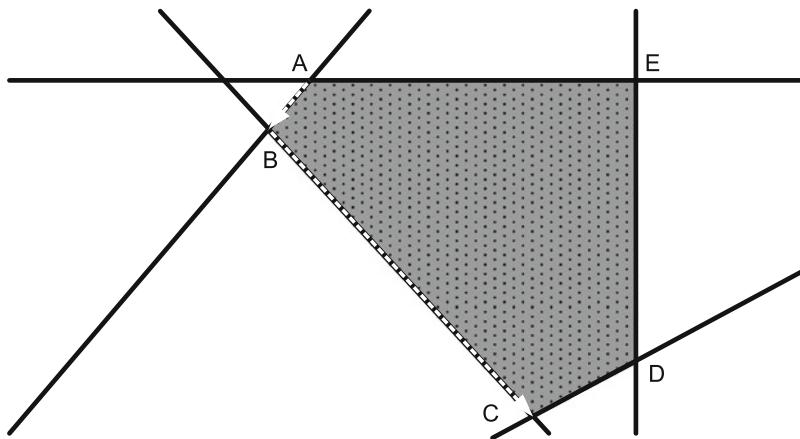


Abb. 21.10 Eckenlaufen im Simplex-Verfahren

- *Ecke C:* Wir müssen nur Ecke D prüfen:
 - *Ecke D:* $f\left(75,37\frac{1}{2}\right) = 48.750$.
Daher handelt es sich bei C um ein Optimum.

Wir haben also als (eine) optimale Lösung den Punkt $(66\frac{2}{3}, 33\frac{1}{3})$ mit dem Zielfunktionswert $43.333\frac{1}{3}$ gefunden.

Bei allgemeinen höherdimensionalen Problemen können wir natürlich nicht mehr einfach an der Zeichnung sehen, wo sich Ecken befinden und welche Ecken benachbart sind. Deshalb wird das Problem im Allgemeinen mit Matrizen beschrieben, woraus sich durch das Lösen linearer Gleichungssysteme Ecken und deren Nachbarecken ableiten lassen. Details finden sich z. B. in (Domschke und Drexl 2007).

Das Simplex-Verfahren ist ein Verfahren, welches bei praktischen Problemen sehr schnell arbeitet. Moderne Solver wie ILOG CPLEX oder GUROBI können in vielen Fällen Instanzen mit Millionen Variablen in wenigen Stunden lösen.

Wie oben schon angedeutet, funktioniert das Simplex-Verfahren jedoch nur bei Problemen, deren Lösungsmenge reellwertig (also kontinuierlich ist). Auf Fragen wie: „Wie viele LKW brauche ich?“ ist die Antwort „3,76“ eher ungeeignet, auch Zuordnungsfragen und Entscheidungsprobleme (Soll ich mein Lager in Dortmund oder München errichten? Antwort: 30 % in Dortmund, 70 % in München) brauchen bessere Methoden.

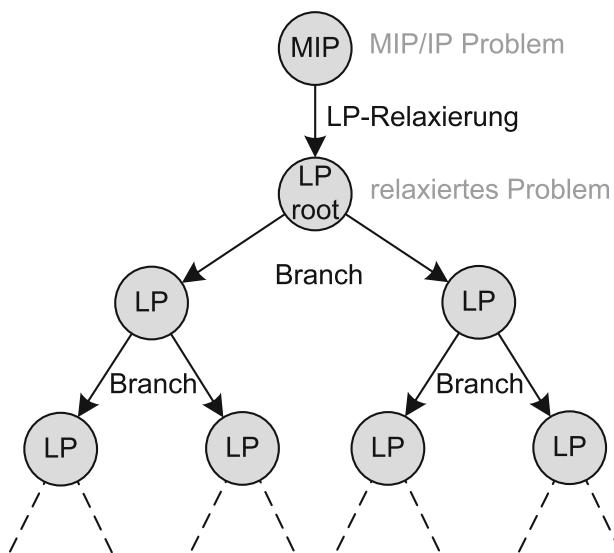
Wir werden jedoch weiter unten sehen, dass das Simplex-Verfahren wichtig ist, um bei ganzzahligen Problemen Teilprobleme zu lösen und auch, um *untere Schranken* zu berechnen, d. h. Werte, die bei der Optimierung keinesfalls unterschritten werden können. Es ist wichtig, diese Werte zu kennen, um das Potential einer weiteren Optimierung auszuloten: Befindet man sich mit seiner aktuellen Lösung schon 1 % an der unteren Schranke, ist eine zeitaufwändige weitere Optimierung oft wenig lohnend.

Branch-and-Bound-Prinzip Branch-and-Bound-Verfahren sind Verfahren zur exakten Lösung von ganzzahligen Optimierungsproblemen. Diese Verfahren basieren auf dem Branch-and-Bound-Prinzip, welches einen Rahmen für die konkreten Verfahren vorgibt. Ausgehend von einer LP-Relaxierung des ursprünglichen Problems werden schrittweise einfache Optimierungsprobleme gelöst, um mithilfe der gefundenen unteren Schranken die optimale Lösung zu finden. Dabei wird hier von einem Minimierungsproblem ausgegangen. Maximierungsprobleme lassen sich immer in Minimierungsprobleme transformieren.

Der Lösungsraum eines ganzzahligen Optimierungsproblems besteht aus ganzzahligen Punkten (vgl. Abb. 21.14). Theoretisch kann durch eine vollständige Enumeration aller möglichen ganzzahligen Punkte im Lösungsraum die optimale Lösung gefunden werden. Dies führt jedoch bereits bei Probleminstanzen mittlerer Größe zu sehr langen Rechenzeiten und ist praktisch nicht anwendbar. Das Branch-and-Bound-Prinzip hingegen basiert auf einer impliziten Enumeration aller möglichen Lösungen. Es besteht aus zwei Komponenten: Branching (Erzeugung eines Suchbaums) und Bounding (Abschneiden von Ästen des Suchbaums). Die Grundidee des Branching besteht darin, den betrachteten Lösungsraum sukzessiv zu teilen. Durch dieses Teilen des Lösungsraums in zwei Teillösungsräume entsteht ein Suchbaum (vgl. Abb. 21.11). Jeder Knoten entspricht dabei einem Teilproblem, das zu lösen ist. Innerhalb dieses Suchbaums wird versucht, Teilmengen (Äste) zu identifizieren (Bounding), die in der weiteren Suche nicht betrachtet werden müssen. Dies bedeutet anschaulich, dass gewisse Zweige des Suchbaums abgeschnitten werden. Auf diese Weise müssen nicht alle potentiellen Lösungen betrachtet werden. Im Folgenden wird der Ablauf von Branch-and-Bound-Verfahren und insbesondere die beiden Komponenten Branching and Bounding näher erläutert (Abb. 21.13).

Der generelle Ablauf ist wie folgt gegeben. Zuerst wird das ursprüngliche Problem linear relaxiert, d. h. die Ganzzahligkeitsbedingungen an die Variablen werden vernachlässigt. Das relaxierte Problem kann i. d. R. schnell gelöst werden, bspw. mit dem Simplex-Verfahren. Jedoch ist die Lösung meist noch nicht ganzzahlig und somit unzulässig. Mindestens einer der eigentlich ganzzahligen Entscheidungsvariablen wurde in der Lösung noch kein ganzzahler Wert zugewiesen. Ist eine solche fraktionale Variable gefunden, kann an dieser Stelle verzweigt werden (*Branching*). Dies geschieht, indem der Lösungsraum des relaxierten Problems in zwei Teilräume zerlegt wird und dabei unzulässige (nicht-ganzzahlige) Lösungen abgeschnitten werden. Das Teilen erfolgt durch Hinzufügen von jeweils einer Nebenbedingung zum aktuell betrachteten Lösungsraum. Im ersten Teillösungsräum ist dabei der Wert der Variablen kleiner oder gleich der nächsten kleineren ganzen Zahl und im zweiten Teilraum größer oder gleich der nächstgrößeren ganzzahligen Zahl. Auf diese Weise wird der ursprüngliche Lösungsraum in zwei kleinere Teilräume unterteilt (vgl. Abb. 21.12). Dabei wird ein Teil des Lösungsraums, der keine ganzzahligen Werte enthält, entfernt. Der Branching-Schritt schließt somit nicht ganzzahlige Lösungen aus, behält aber alle ganzzahligen Punkte im Lösungsraum. Indem dieses Vorgehen für jeden Lösungsraum wiederholt wird, entsteht ein Entscheidungsbaum (vgl. Abb. 21.13). In jedem Knoten des Baumes ist ein relaxiertes Teilproblem zu lösen.

Abb. 21.11 Branch-and-Bound-Baum



Um obiges Vorgehen zu veranschaulichen, betrachten wir ein sehr einfaches Beispiel: Ein Unternehmen möchte täglich seine produzierten Waren vom Produktionsstandort zu seinem Lager transportieren. Pro Tag besteht ein Transportbedarf von 26 Transporteinheiten der produzierten Ware. Für diesen Transport stehen zwei Fahrzeugtypen mit unterschiedlicher Kapazität zur Verfügung. Das erste Fahrzeug kann 10 Transporteinheiten und das zweite Fahrzeug 16 Transporteinheiten aufnehmen. Das Unternehmen verfügt über 3 Fahrzeuge des ersten und 4 Fahrzeuge des zweiten Typs. Die Kosten auf der Transportstrecke zwischen Produktionsstandort und Lager sind 200 € für den ersten Fahrzeugtyp und 350 € für den zweiten Fahrzeugtyp. Das Unternehmen möchte die Transportkosten minimieren. Das Modell ist also wie folgt gegeben, wobei x_1 die Anzahl der genutzten Fahrzeuge des Typs 1 und x_2 die Anzahl der genutzten Fahrzeuge des zweiten Typs darstellen:

$$\begin{aligned}
 \min \quad & 200x_1 + 350x_2 \\
 \text{u.d.N.} \quad & 10x_1 + 16x_2 \geq 26 \\
 & x_1 \leq 3 \\
 & x_2 \leq 4 \\
 & x_1, x_2 \in \mathbb{Z}^+
 \end{aligned}$$

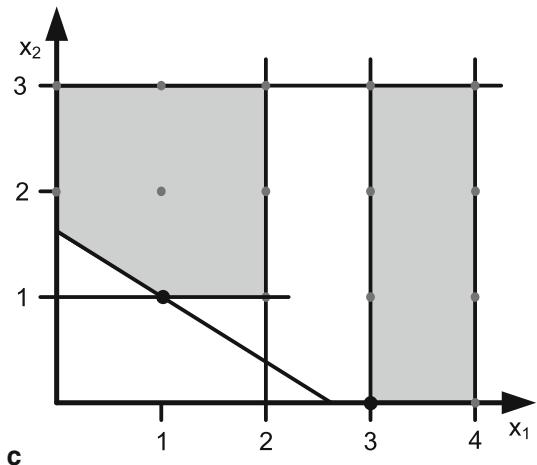
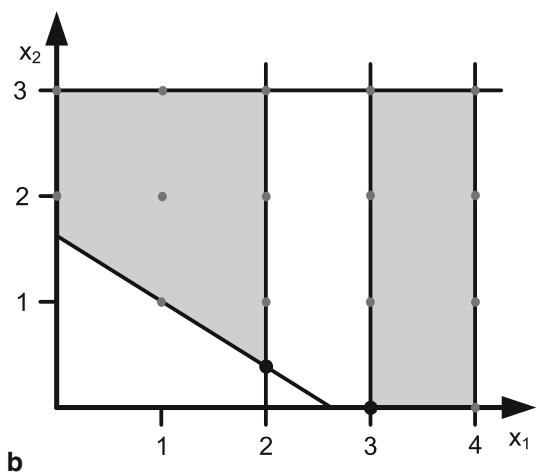
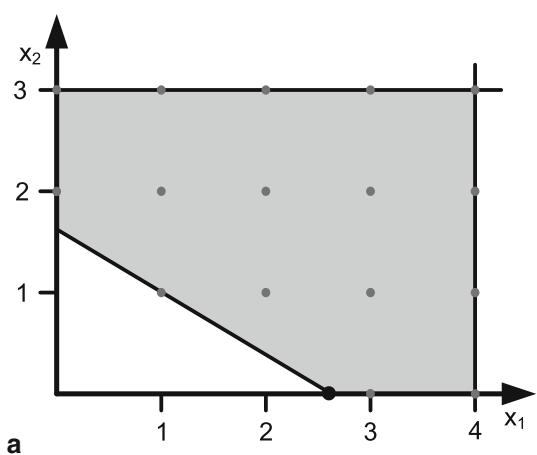
Das Problem kann relaxiert werden, indem die Ganzzahligkeitsbedingungen an die Entscheidungsvariablen x_1 und x_2 fallen gelassen werden und nur noch $x_1 \geq 0$ und $x_2 \geq 0$ gefordert wird. Der Lösungsraum zu diesem relaxierten Problem ist in Abb. 21.12 in der Graphik graphisch dargestellt. Die Lösung des relaxierten Problems führt zu einer optimalen Lösungen mit $x_1 = 2,6$ und $x_2 = 0$ und Kosten von 520 €. (Diese Lösung ist in der

Graphik a als dickerer, schwarzer Punkt markiert). Jedoch ist die Variable x_1 noch nicht ganzzahlig und somit ist die Lösung noch nicht zulässig für das ursprüngliche (ganzzahlige) Problem. Dies bedeutet anschaulich, dass 2,6 Fahrzeuge eingesetzt werden sollten, was in der Praxis natürlich nicht möglich ist, da immer nur ganze Fahrzeuge eingesetzt werden können. Aus diesem Grund wird ein Branching-Schritt durchgeführt, der den Lösungsraum in zwei Teillösungsräume unterteilt. Dabei werden unzulässige Teile des Lösungsraums entfernt, d. h. in diesem Bereich liegen nur Lösungen, die für das ursprüngliche Problem unzulässig sind. Das Verzweigen erfolgt durch Hinzufügen von jeweils einer Nebenbedingung zum bisher betrachteten (relaxierten) Problem. Da die Variable x_1 noch nicht ganzzahlig ist, wird der Branch über diese Variable durchgeführt indem einmal $x_1 \leq 2$ und einmal $x_1 \geq 3$ zusätzlich zu den bisherigen Restriktionen gefordert wird. Diese Forderungen teilen den ursprünglichen Lösungsraum in zwei Teillösungsräume (vgl. Abb. 21.12b). Also erfolgt das Branching durch Hinzufügen von jeweils einer zusätzlichen Nebenbedingungen: Das erste Teilproblem entsteht durch die zusätzliche Nebenbedingung $x_1 \leq 2$ und das zweite Teilproblem durch die zusätzliche Nebenbedingung $x_1 \geq 3$. Folglich wird der Lösungsraum insgesamt verkleinert, wobei jedoch keine ganzzahligen Lösungen ausgeschlossen werden (vgl. Abb. 21.12b). Die beiden Teilprobleme bilden jeweils einen neuen Knoten im Suchbaum des Branch-and-Bound-Baums.

Nun gehen wir mit der gleichen Methode an die Teilprobleme heran. Die optimale Lösung für das erste Teilproblem (mit $x_1 \leq 2$) ist durch $x_1 = 2$ und $x_2 = 0,375$ gegeben. Der Zielfunktionswert ist 531,25 €. Nun ist zwar die optimale Lösung für Variable x_1 ganzzahlig, aber die optimale Lösung für x_2 nicht mehr. Aus diesem Grund muss in diesem Knoten weiter verzweigt werden. Die Lösung für das zweite Teilproblem (mit $x_1 \geq 3$) ist durch $x_1 = 3$ und $x_2 = 0$ gegeben und beide Lösungswerte sind ganzzahlig. Der Zielfunktionswert beträgt 600 €. Somit ist die Lösung von zulässig für das ursprüngliche Problem. Folglich muss in diesem Knoten nicht weiter verzweigt werden, da die optimale ganzzahlige Lösung für das entsprechende Teilproblem schon gefunden ist. Doch es können möglicherweise noch bessere Lösungen in den Zweigen des anderen Teilproblems enthalten sein. Der Branching- Schritt erfolgt in diesem Teilproblem über die Variable x_2 mittels der beiden Nebenbedingungen $x_2 \leq 0$ und $x_2 \geq 1$. Wie in Abb. 21.12c zu erkennen, führt die erste Forderung zu keiner zulässigen Lösung. Es gibt im Lösungsraum keine Lösung mit $x_1 \leq 2$ und $x_2 \leq 0$. Folglich muss dieses Teilproblem nicht weiter betrachtet werden. Die Lösung des anderen Teilproblems mit $x_2 \geq 1$ führt zur optimalen Lösung $(x_1, x_2) = (1,1)$ mit Kosten von 550 €. Diese Lösung ist ganzzahlig. Damit ist die Suche im Branch-and-Bound Baum abgeschlossen. Somit haben wir durch das Branch-and-Bound-Verfahren zwei zulässige Lösungen gefunden. Die erste Lösung $(x_1, x_2) = (3,0)$ führt jedoch zu höheren Kosten und ist somit nicht optimal für das Problem. Somit wäre es für das Unternehmen am besten jeweils ein Fahrzeug jeden Typs für den Transport zu nutzen, wobei beide Fahrzeuge komplett ausgelastet sind.

Für größere Probleme entsteht jedoch ein relativ großer Suchbaum und durch das reine Branching müsste man immer noch alle Knoten betrachten. Somit wäre durch dieses Vorgehen alleine noch nicht viel gewonnen, da jedes Teilproblem (Knoten) gelöst und untersucht werden müsste.

Abb. 21.12 Beispielhafte Darstellung des Branching



Jedoch kann der Aufwand im Suchbaum durch das sogenannte Bounding reduziert werden, indem nicht alle Teilprobleme bei der Suche betrachtet werden müssen.

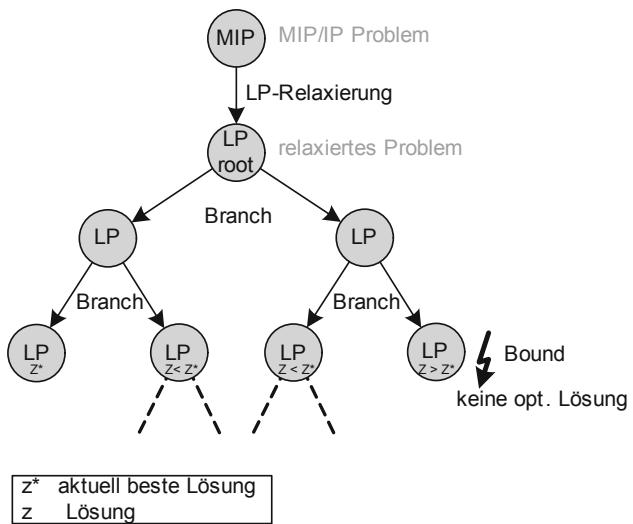
Die Idee des *Bounding* beruht auf folgender Tatsache: Werden gewissen Nebenbedingungen, wie die Ganzzahligkeitsbedingung, ignoriert, kann die Lösung dieses (vereinfachten) Problems zwar besser aber niemals schlechter als die Lösung des ursprünglichen Problems sein. Somit stellt die Lösung eine untere Schranke für das ursprüngliche Problem dar.

Die Lösung eines relaxierten Problems in einem bestimmten Knoten ist also eine untere Schranke (Bound) für alle von diesem Knoten abgeleiteten Teilprobleme. Dies wird im Rahmen des Bounding ausgenutzt. Das Bounding dient dazu, bestimmte Zweige des Suchbaums abzuschneiden, d. h. nicht weiter zu betrachten. Dies erfolgt mittels zweier Schranken: obere und untere Schranke. Wird im Laufe der Verzweigung eine ganzzahlige Lösung von einem Teilproblem gefunden, dient diese als obere Schranke. Das bedeutet, die optimale Lösung kann nur besser oder genauso gut sein wie diese gefundene Lösung. Als obere Schranke wird somit immer nur die beste gefundene zulässige Lösung verwendet. Somit ist festzuhalten: Aus den (relaxierten) Lösungen der Teilprobleme erhalten wir untere Schranken für die optimale Lösung; aus den zulässigen Lösungen der Teilprobleme erhalten wir obere Schranken für die optimale Lösung.

Wenn der Wert einer Lösung in einem Knoten (untere Schranke) folglich über dem Wert der aktuell besten zulässigen Lösung (obere Schranke) liegt, muss der Knoten selbst, sowie alle weiter unten im Suchbaum gelegenen Knoten nicht weiter betrachtet werden. Die Lösungen in den nachfolgenden Knoten können nämlich nicht besser sein als die Lösung der übergeordneten Knoten, die jeweils untere Schranken liefern (vgl. Abb. 21.13). Auf diese Weise muss nicht der ganze Baum und somit alle Knoten, sondern nur Teile des Baums betrachtet werden.

Wir wollen die Schritte des Branch-and-Bound-Verfahrens an dem Lagerbeispiel, das im Rahmen der Erläuterungen zum Simplex-Verfahren vorgestellt wurde, erläutern. Im Gegensatz zu den dortigen Annahmen wird hier gefordert, dass nur „ganze“ Lagereinheiten gelagert werden können. Dies bedeutet, dass die Variablen x und y ganzzahlig sein müssen. Im ersten Knoten des Branch-and-Bound-Baums (Root-Knoten) wird das relaxierte Problem wie zuvor gelöst. Diese Lösung ist demnach durch $x_1 = 66, \bar{6}$ und $x_2 = 33, \bar{3}$ und Kosten von $43.333\frac{1}{3}$ € gegeben. Nun wird dieses Problem hinsichtlich der x_1 -Variable verzweigt (mit $x_1 \leq 66$ und $x_1 \geq 67$). Die Lösung des ersten Teilproblems (mit $x_1 \leq 66$) führt zu der (für das Teilproblem) optimalen ganzzahligen Lösung $(x_1, x_2) = (66, 34)$ mit Kosten von 43.400 €. Diese Lösung muss jedoch noch nicht für das gesamte Problem optimal sein; sie stellt jedoch eine zulässige Lösung für dieses dar. Die Lösung des zweiten Teilproblems mit $x_1 \geq 67$ führt zu einer Lösung mit $x_1 = 67$ und $x_2 = 33,5$ und Zielfunktionswert 43.550 €. Zwar ist diese Lösung noch nicht ganzzahlig, aber der Zielfunktionswert ist schlechter als der der aktuell besten Lösung. Aus diesem Grund muss dieser Zweig nicht weiter betrachtet werden, denn alle Lösungen können nur noch einen Zielfunktionswert von 43.550 € oder höher annehmen. Folglich haben wir die optimale (ganzzahlige) Lösung des Problems schon gefunden. Diese ist durch $x^* = (x_1^*, x_2^*) = (66, 34)$ mit Zielfunktions-

Abb. 21.13 Branch-and-Bound-Baum mit Bounding



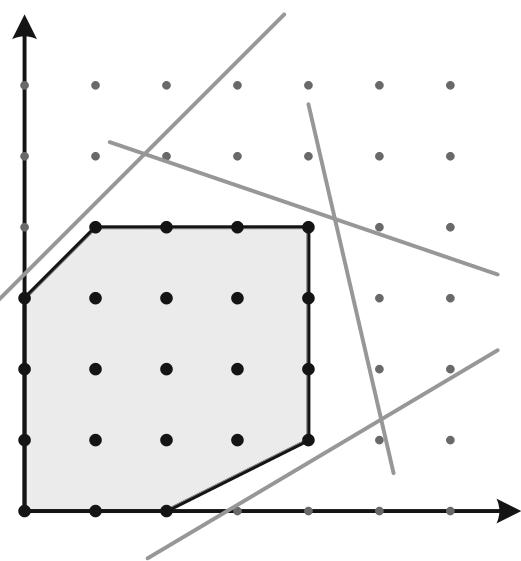
wert 43.400 € gegeben. Insbesondere bei größeren Probleminstanzen kann das Bounding zu einer deutlichen Reduktion des zu betrachtenden Suchbaums führen.

Für den Suchprozess im Branch-and-Bound-Baum existieren diverse Strategien, um diesen zu durchlaufen. Diese Strategien betreffen zum einen die Variablenauswahl zur Verzweigung und zum anderen die Knotenauswahl. In der ersten Entscheidung kann beispielsweise die Variable mit dem kleinsten oder größten fraktionalen Anteil zur Verzweigung genutzt werden; im zweiten Entscheidungsproblem kann bspw. der Knoten mit dem niedrigsten Zielfunktionswert als nächstes betrachtet werden.

Für eine detailliertere Auseinandersetzung mit Branch-and-Bound-Ansätzen sei auf (Kallrath 2002, S. 65–78; Domschke und Drexl 2011, S. 132–137; Nemhauser und Wolsey 1999, S. 356–367) und (Lee 2002) verwiesen.

Schnittebenenverfahren (engl. cutting plane algorithms) sind Methoden zur Lösung von ganzzahligen linearen Optimierungsproblemen. Die Grundidee dieser Verfahren basiert auf einer LP-Relaxierung des ursprünglichen Problems. Durch Hinzufügen von gültigen Ungleichungen wird versucht, den Lösungsraum des relaxierten Problems schrittweise zu verkleinern, um eine ganzzahlige Lösung zu finden. Gültige Ungleichung bedeutet in diesem Zusammenhang, dass diese Ungleichung zwar fraktionale Lösungen abschneidet, aber die ganzzahligen Lösungen im Lösungsraum behält. Dies heißt, dass alle ganzzahligen Lösungen, die durch die Schnittebene induzierte Nebenbedingungen erfüllen, ein Teil der fraktionalen Lösung jedoch nicht. Anschaulich ist dies in Abb. 21.14 zu sehen. Dort ist der Lösungsraum des relaxierten Problems durch die Koordinatenachsen sowie die grauen Linien begrenzt. Im ganzzahligen Problem sind nur die ganzzahligen Punkte (schwarze Punkte) relevant. Durch Hinzufügen von geeigneten Schnittebenen, kann der Lösungsraum des relaxierten Problems so weit wie möglich eingeschränkt werden. Es werden dabei nur unzulässige Lösungen abgeschnitten. In Abb. 21.14 ist der relaxierte Lösungsraum durch die grauen Linien begrenzt; dieser Lösungsraum wird durch die schwarzen

Abb. 21.14 Beispielhafte Darstellung eines ganzzahligen Lösungsraums



Linien verkleinert. Ganzzahlige (zulässige) Punkte werden dabei nicht abgeschnitten. Das bedeutet, dass der Lösungsraum durch die hinzugefügten Schnittebenen zwar verkleinert wurde, die Ganzzahligkeitsrestriktionen aber immer noch relaxiert sind. Folglich stellt der kleinere Lösungsraum mit den neuen Ungleichungen immer noch ein relaxiertes Problem (LP) dar und die Ecken des Polyeders (Lösungsraums) sind durch ganzzahlige Punkte gegeben. Folglich kann durch Hinzufügen von ausreichend vielen geeigneten Schnittebenen der Lösungsraum so verkleinert werden, dass die optimale ganzzahlige Lösung zugleich optimale Lösung eines LP ist. Sie kann dann mit effizienten LP-Verfahren, wie dem Simplex-Verfahren, gefunden werden kann. Ein bekanntes Schnittebenenverfahren ist bspw. das Verfahren von Gomory (Gomory 1958). Für Schnittebenenverfahren sei bspw. auf (Wolsey 1998, S. 113–134) und (Nemhauser und Wolsey 1999) verwiesen.

Auch wenn das Schnittebenenverfahren allein angewendet werden kann, um IP optimal zu lösen, hat sich gezeigt, dass die Kombination mit dem Branch-and-Bound-Verfahren häufig zu besseren Ergebnissen führt. Diese kombinierten Verfahren werden auch als *Branch-and-Cut-Verfahren* bezeichnet. Dabei können in jedem Branching-Schritt Schnittebenen zum (Teil-) Problem hinzugefügt werden, um den Lösungsraum zu verkleinern. Das Problem wird mit den neuen Ungleichungen erneut gelöst, um möglichst eine Lösung zu finden, die näher an einem Optimum des Teilproblems liegen. Ist die gefundene Lösung noch nicht ganzzahlig, kann nach weiteren möglichen Schnittebenen gesucht werden. Werden keine weiteren gefunden und ist die gefundene Lösung noch nicht zulässig für das ursprüngliche Problem, kann wieder ein Branching-Schritt erfolgen, welcher den Lösungsraum in zwei Teilprobleme löst. Dabei bleiben die neu hinzugefügten Ungleichungen in allen untergeordneten Knoten bestehen. In den neuen Knoten kann wieder das Schnittebenenverfahren eingesetzt werden. Dieses Vorgehen kann in jedem Knoten

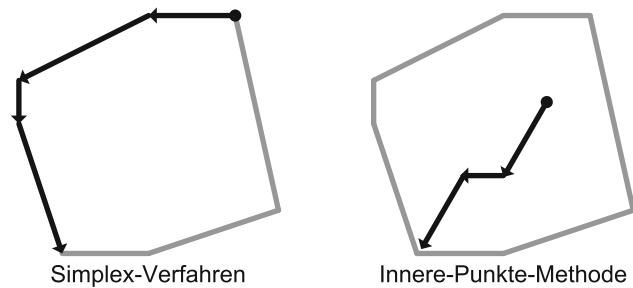
des Entscheidungsbaumes durchgeführt werden. Die in den Teilproblemen gefundenen Schnittebenen können für alle Teilprobleme, also global, gültig sein, oder nur für das betrachtete Teilproblem und die untergeordneten Knoten, also lokal. Problemspezifisches Wissen kann dabei helfen, geeignete Schnittebenen schneller zu finden und somit die effizient von Branch-and-Cut-Verfahren zu erhöhen. Für weitere Details zu Branch-and-Cut sei bspw. auf (Wolsey 1998, S. 157–161) und (Mitchell 2002) verwiesen

In der Praxis haben sich Branch-and-Cut-Verfahren gegenüber reinen Branch-and-Bound- oder Schnittebenenverfahren bewährt. Viele (kommerzielle) Löser, Solver genannt, nutzen Branch-and-Cut-Verfahren zur Lösung von MIP (Mixed Integer Problems, s. auch Abschn. 21.1). Zu diesen Solver zählen bspw. IBM ILOG CPLEX, GUROBI oder der freie Solver SCIP vom Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik Berlin (ZIB). Viele dieser Solver haben direkte Schnittstellen zu Programmiersprachen wie C++, C# und Java und können darüber in der Praxis genutzt werden. Des Weiteren bieten Modellierungs-umgebungen, wie AIMMS, AMPL, GAMS oder MPL, einen Zugang zu diversen Solvern. In diesen Modellierungssprachen bzw. -umgebungen können die mathematischen Optimierungsprobleme relativ einfach modelliert und anschließend mit den Solvern gelöst werden.

Eine alternative Sichtweise auf das Branch-and-Cut-Verfahren wäre die folgende: Anstatt alle gültigen Ungleichungen, insbesondere die, die den Lösungsraum so klein wie nötig halten, zu betrachten, werden einige dieser Ungleichungen anfangs nicht betrachtet und erst nach und nach durch die Schnittebenen hinzugefügt. Ein ähnlicher Ansatz ist durch das sogenannte *Branch-and-Price-Verfahren* gegeben. Dieser Ansatz basiert auf einer Kombination von Branch-and-Bound- mit Spaltenerzeugungsverfahren (engl.: column generation algorithms) anstelle von Schnittebenenverfahren. Diese Spaltenerzeugungsverfahren sind Ansätze zur Lösung von LP-Problemen. In Branch-and-Price-Verfahren werden anstelle von gültigen Ungleichungen Variablen (Spalten) in den einzelnen Teilproblemen weggelassen um die Problemgröße zu reduzieren. Die Idee beruht darauf, dass in der optimalen Lösung von Problemen viele der Variablen den Wert Null annehmen und somit im Prinzip keine Rolle spielen. In den einzelnen Knoten werden anstelle von Schnittebenen Spalten hinzugefügt. Sofern geeignete Spalten hinzugefügt werden konnten, wird das LP reoptimiert (d. h. mit den zusätzlichen Spalten erneut gelöst). Analog zu Branch-and-Cut-Verfahren erfolgt ein Branching-Schritt, wenn keine geeigneten neuen Spalten gefunden werden können. Für eine detaillierte Beschreibung von Column Generation sei auf (Desrosiers und Lübecke 2005) und für Branch-and-Price auf (Barnhart et al. 1998) verwiesen.

Weitere exakte Verfahren und Ansätze Wir wollen nun kurz weitere allgemeine Verfahren zum Lösen von mathematischen Optimierungsproblemen vorstellen. Diese sind die Innere-Punkte-Methode, die Lagrange-Relaxierung und Dekompositionsverfahren. Außerdem werden wir kurz auf die Idee hinter Preprocessing für die Mathematische Optimierung eingehen.

Abb. 21.15 Unterschiede Simplex-Verfahren und Innere-Punkte-Methode



Die *Innere-Punkte-Methode* ist ein alternatives Lösungsverfahren zum Simplex-Verfahren für Lineare Probleme. Der große Unterschied zwischen dem Simplex-Verfahren und der Inneren-Punkte-Methode ist, dass sich die Zwischenlösungen des Simplex-Verfahren auf dem Rand des Lösungsraums befinden und bei der Inneren-Punkte-Methode, wie der Name schon sagt, alle Zwischenlösungen innerhalb des Lösungsraums befinden und niemals auf dem Rand des Lösungsraums. Die Grundidee der Inneren-Punkte-Methode ist es mit einer zulässigen Startlösung innerhalb des Lösungsraums zu beginnen und dann bessere Lösungen innerhalb des Lösungsraums zu finden und sich so zu der optimalen Lösung nach außen zu „hangeln“ (vgl. Abb. 21.15). Diese befindet sich, wie wir schon aus dem Abschnitt über das Simplex-Verfahren wissen, immer auf dem Rand des Lösungsraums. Für eine detaillierte Beschreibung der Inneren-Punkte-Methode sei auf (Kallrath 2013, S. 329–336) und (Hamacher und Klamroth 2006, S. 79–104) verwiesen.

Bei der *Lagrange-Relaxierung* geht es vorrangig darum, dass gegebene Optimierungsproblem zu vereinfachen. Dabei betrachtet man die Nebenbedingungen des Optimierungsproblems. Oft gibt es Nebenbedingungen die nur schwer oder zumindest schwerer zu erfüllen sind als andere. Diese Nebenbedingungen werden relaxiert und als „Strafterm“ in die Zielfunktion aufgenommen. Dadurch werden ursprünglich ungültige Lösungen gültig, verschlechtern jedoch die Zielfunktion. Oft werden Lagrange-Relaxierungen verwendet um untere Schranken für ein Optimierungsproblem zu bestimmen. Für eine ausführlicher Beschreibung der Lagrange-Relaxierung wird auf (Pardalos und Resende 2002) und (Kallrath 2013) verwiesen.

Dekompositionsverfahren zerlegen das Problem in kleinere Subprobleme. Diese Subprobleme werden dann in Kombination oder nacheinander gelöst. Die oben vorgestellten Branch-and-Bound-Verfahren und Branch-and-Cut-Verfahren sind solche Dekompositionsverfahren. Weitere Dekompositionsverfahren sind beispielsweise die Benders-Dekomposition (Benders 1962) oder das Spaltenerzeugungsverfahren/Column-Generation (Kallrath 2013, S. 221–223). Bei der Benders-Dekomposition wird das Optimierungsproblem in eine Folge von Masterproblemen und Unterproblemen zerlegt. Die Masterprobleme werden für eine Teilmenge der Variablen gelöst und die restlichen Variablen werden anschließend in den Unterproblemen bestimmt. Wenn ein Unterproblem feststellt, dass die gegebene Lösung des Hauptproblems unzulässig ist, werden eine oder mehrere Nebenbedingungen generiert und zum Masterproblem hinzugefügt. Dieses wird

dann erneut gelöst. Dadurch werden verschiedene kleine Probleme gelöst anstelle eines großen. Näheres dazu ist in (Benders 1962) zu finden. Das Spaltenerzeugungsverfahren funktioniert ähnlich. Auch hier wird das Optimierungsproblem in Master und Unterprobleme aufgeteilt, welche dann gelöst werden. Eine detailliertere Beschreibung dazu ist in (Kallrath 2013, S. 221–223) zu finden.

Preprocessing kann verwendet werden um das Optimierungsproblem zu vereinfachen. Im Preprocessig werden die Nebenbedingungen von Optimierungsproblemen untersucht. Manchmal ist es möglich einzelne Nebenbedingungen wegzulassen und so das Optimierungsproblem zu vereinfachen. Wir betrachten beispielsweise folgende Nebenbedingungen:

$$x_1 + 2x_2 \leq 5 \quad (21.13)$$

$$x_1 + 2x_2 \leq 7 \quad (21.14)$$

Man sieht sofort, dass Nebenbedingung (21.14) immer erfüllt ist, wenn Nebenbedingung (21.13) erfüllt ist. Somit kann Nebenbedingung (21.14) weggelassen werden. Des Weiteren können im Preprocessing die Variablen des Optimierungsproblems auf Abhängigkeiten und auf ihren Wertebereich untersucht werden. Stellt man beispielsweise fest, das zwei Variablen wie folgt zusammenhängen,

$$x_1 + x_2 = 3$$

kann eine der Variablen durch die andere ersetzt werden ($x_2 = 3 - x_1$) und das Optimierungsproblem wird einfacher, da es nun weniger Variablen betrachten muss. Ebenso können die Wertebereiche der Variablen verfeinert werden. Außerdem ist es durch Preprocessing auch möglich festzustellen ob ein Optimierungsproblem lösbar ist, d. h. ob zulässige Lösungen des Optimierungsproblems existieren. Stellt man im Preprocessing fest, das das Problem nicht lösbar ist, so ist es nicht nötig ein Lösungsverfahren zu verwenden und spart somit Zeit. Für eine detaillierte Beschreibung von Preprocessing verweisen wir auf (Kallrath 2013, S. 158–166).

Es gibt eine weitere Klasse von Optimierungsproblemen, die in der Logistik oft genutzt wird: die Klasse der Netzwerkprobleme (vgl. Abschn. 22.3). Insbesondere werden wir im Folgenden auf das Kürzeste-Wege-Problem SPP (Shortest Path Problem) eingehen. Ein Netzwerk oder auch Graph besteht aus einer Menge von Knoten und Kanten. Die *Knoten* stellen für gewöhnlich verschiedene Standorte da. Die *Kanten* wären in diesem Fall die Verbindungen zwischen den Standorten und können gerichtet oder ungerichtet sein. Ist eine Kante von Knoten A nach Knoten B *gerichtet*, kann diese nur von A nach B genutzt werden, nicht jedoch von B nach A. *Ungerichtete* Kanten können in beide Richtungen verwendet werden. Für das Kürzeste-Wege-Problem werden für gewöhnlich gerichtete Kanten verwendet. Jede Kante kann mit Attributen wie der Entfernung oder auch der Fahrzeit versehen werden. Ein Beispiel für einen solchen gerichteten Graphen ist in Abbildung Abb. 21.16 zu sehen:

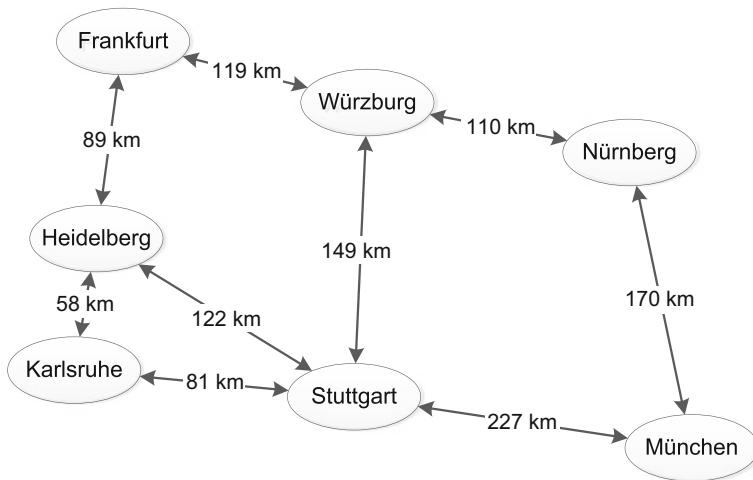


Abb. 21.16 Beispiel: kürzeste Wege Problem

In diesem Beispiel besteht die Menge der Knoten aus den Städten Frankfurt, Heidelberg, Karlsruhe, München, Nürnberg, Stuttgart und Würzburg. Die Menge der Kanten sind die Verbindungen der Städte untereinander. Zu beachten ist, dass beispielsweise keine direkte Verbindung zwischen Frankfurt und München besteht. Wollen wir jedoch herausfinden wie wir in diesem Netzwerk auf dem kürzesten Weg von Frankfurt nach München kommen, ist das nicht sofort zu erkennen. Dazu werden wir im Folgenden den Algorithmus von Dijkstra vorstellen, der uns helfen wird dieses Problem zu lösen.

Mit dem Algorithmus von *Dijkstra* können wir die kürzesten Wege von einem Knoten zu allen anderen Knoten berechnen. Im Folgenden wollen wir das Beispiel aus Abb. 21.16 verwenden, um die kürzesten Wege von Frankfurt zu den anderen Städten zu berechnen. Zur übersichtlicheren Darstellung kürzen wir die Städte mit Ihren Anfangsbuchstaben ab (F für Frankfurt, M für München usw.). Des Weiteren führen wir für den Dijkstra-Algorithmus folgende Notationen ein (Hamacher und Klarmoth 2006, S. 117–121): Wir betrachten den Graph $G = (V, E)$ mit der Menge an n Knoten V und der Menge an m Kanten E . Die Kosten einer Kante $e = (i, j) \in E$ seien gegeben durch $c(e) = c_{ij}$ und sind nicht negativ. Wir suchen für alle $i \in V \setminus \{s\}$ einen Weg P_{si} von s nach i mit minimalen Kosten $c(P_{si}) := \sum_{e \in P_{si}} c(e)$. In unserem Beispiel ist der Knoten $s \in V$ Frankfurt. Wir bezeichnen die Entfernung eines Knoten $i \in V$ zu s mit d_i und setzen $d_s = 0$, da der Startknoten s verständlicherweise die Entfernung 0 zu sich selbst hat. Um den Wert von d_i für jeden Knoten $i \in V \setminus \{s\}$ zu bestimmen verwenden wir die Hilfsvariablen p_i . In jeder Iteration bestimmen wir einen Knoten $i \in V \setminus \{s\}$ und setzen $d_i = p_i$. In Iteration p teilen wir die Menge der Knoten K in zwei disjunkte Mengen X_p und \bar{X}_p . In X_p sind alle Knoten, deren Entfernung zu s wir schon bestimmt haben und sich nicht mehr ändern können. In \bar{X}_p befinden sich alle Knoten deren Entfernung zu s wir noch bestimmen müssen. Wir

betrachten nur die Kanten $e = (i, j) \in E$ mit $i \in X_p$ und $j \in \overline{X}_p$, also alle Kanten die ihren Startpunkt in X_p und ihren Endpunkt in \overline{X}_p besitzen. Wir initialisieren die Menge X_p in der ersten Iteration mit $X_1 = \{s\}$. Die Hilfsvariablen p_i werden initialisiert mit

$$P_i = \begin{cases} c_{si}, & \text{wenn } (s, i) \in E \\ \infty, & \text{sonst} \end{cases}.$$

Des Weiteren verwenden wir für jeden Knoten ein Vorgänger-Attribut $pred(i)$ welches uns helfen wird die bestimmten kürzesten Wege zu rekonstruieren. Wir initialisieren $pred(i)$ mit

$$pred(i) = \begin{cases} s, & \text{wenn } (s, i) \in E \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}.$$

p initialisieren wir mit $p := 1$.

In unserem Beispiel besteht die Knotenmenge aus den Städten, welche jeweils durch ihren Anfangsbuchstaben abgekürzt werden, somit ist $V = \{F, W, N, H, K, S, M\}$. Im ersten Iterationsschritt sind nur die Knoten H und W verfügbar, da diese direkt über eine Kante mit F verbunden sind. Die Menge $X_1 = \{F\}$ besteht nur aus dem Startpunkt F. Wir wählen H aus, da sich die Stadt näher an F befindet als W und erzeugen so unsere Menge $X_2 = \{F, H\}$. Nun sind wir sicher, dass wir den kürzesten Weg von F nach H gefunden haben. Als nächstes aktualisieren wir die Werte p_j und $pred(j)$. Im nächsten Iterationsschritt ($p = 2$) sind die Knoten W, K und S auswählbar. Die Knoten K und S kommen zur Auswahl hinzu da diese eine direkte Verbindung zu H besitzen, für welches der kürzeste Weg von dem Startknoten F schon sicher bestimmt ist. So fahren wir fort, bis wir für jede Stadt den kürzesten Weg von F aus bestimmt haben.

In jeder Iteration wählen wir ein $i \in \overline{X}_p$ mit minimalem p_i aus, fügen i zu X_p hinzu und entfernen i aus \overline{X}_p .

$$X_{p+1} := X_p \cup \{i\}, \quad \overline{X}_{p+1} := \overline{X}_p \setminus \{i\}.$$

Da i die minimalen Kosten der verbliebenen Knoten besitzt, können wir sicher sein, dass wir den kürzesten Weg von s nach i gefunden haben und somit setzen wir $d_i = p_i$. Nun untersuchen wir alle Kanten, die als Startpunkt den Knoten i besitzen und als Endpunkt einen Knoten $j \in \overline{X}_p$. Ist die bisherige Entfernung p_j von s nach j größer als die Entfernung von s nach i plus die Entfernung von i nach j , so haben wir nun einen kürzeren Weg von s nach j gefunden, als wir zuvor hatten und wir aktualisieren p_j und $pred(j)$.

$$p_j := d_i + c_{ij}, \quad pred(j) := i.$$

Schließlich aktualisieren wir p bevor wir die nächste Iteration durchführen: $p := p + 1$.

Ist $p = n$ haben wir alle kürzesten Wege P_{si} gefunden. Und der Algorithmus stoppt. In Tab. 21.1 werden die Iterationsschritte für das Beispiel aus Abb. 21.16 dargestellt. Die

Tab. 21.1 Berechnung zum Kürzeste-Wege-Problem

p		W	N	H	K	S	M	X_{p+1}
1	p_i	119	∞	89	∞	∞	∞	{F, H}
	$pred(i)$	F	0	F	0	0	0	
2	p_i	119	∞	-	147	211	∞	{F, H, W}
	$pred(i)$	F	0	-	H	H	0	
3	p_i	-	229	-	147	211	∞	{F, H, W, K}
	$pred(i)$	-	W	-	H	H	0	
4	p_i	-	229	-	-	211	∞	{F, H, W, K, S}
	$pred(i)$	-	W	-	-	H	0	
5	p_i	-	229	-	-	-	438	{F, H, W, K, S, N}
	$pred(i)$	-	W	-	-	-	S	
6	p_i	-	-	-	-	-	399	{F, H, W, K, S, N, M}
	$pred(i)$	-	-	-	-	-	N	

markierten Felder sind die in Iteration p ausgewählten Knoten $i \in \bar{X}_p$ mit minimalen Kosten.

Nun haben wir die kürzesten Wege von Frankfurt zu den anderen Städten bestimmt. Die kürzeste Entfernung von Frankfurt nach München beträgt in unserem Beispiel 399 km. Um die Pfad des kürzesten Weges herauszufinden nutzen wir die Vorgänger-Attribute $pred(i)$. Zunächst untersuchen wir das Vorgänger-Attribut von München $pred(M) = N$. Wie wir sehen ist der Vorgänger-Attribut von München Nürnberg. Als nächstes müssen wir das Vorgänger-Attribut von Nürnberg untersuchen $pred(N) = W$ und erhalten Würzburg. Wir machen dies solange bis das Vorgänger-Attribut uns als Stadt Frankfurt liefert. Nun können wir den Pfad einfach rekonstruieren und sehen das in unserem Beispiel der kürzeste Weg von Frankfurt nach München über Würzburg und Nürnberg führt.

Um die kürzesten Wege von jeder zu jeder anderen Stadt zu berechnen könnten wir den obigen Algorithmus mit jeder Stadt als Startpunkt ausführen. Somit würde der Algorithmus insgesamt n mal ausgeführt werden. Eine Alternative ist in diesem Fall der Floyd-Warshall-Algorithmus (Pardalos und Resende 2002), dieser berechnet die kürzesten Wege von jeder zu jeder anderen Stadt.

21.2.3 (Meta-)Heuristiken

Lars Eufinger, Fabian Meier und Julia Sender

Häufig ist das Laufzeitverhalten von exakten Verfahren bei größeren Probleminstanzen sehr schlecht, so dass es schwierig wird, eine (gute) zulässige Lösung in einer angemessenen Zeit zu finden. Aus diesem Grund werden heuristische Ansätze entwickelt. Sie finden in der Regel relativ schnell gute, zulässige Lösungen. Jedoch liefern sie meistens keine Informationen zur Güte der Lösung, d.h. sie geben keine Auskunft darüber wie weit

sie vom Optimum entfernt sind. Heuristiken werden meist problemspezifisch angepasst, obwohl in einigen Fällen die Grundstruktur vorgegeben wird.

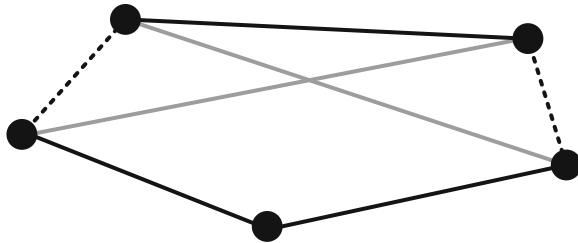
Eröffnungsverfahren Wie findet man nun zu einem Problem eine geeignete Heuristik? Häufig ist es möglich, eine Lösung „Stück für Stück“ aufzubauen, d. h. man fängt bei einer leeren, unzulässigen „Lösung“ an (z. B. kein Paket wird transportiert) und fügt immer ein zusätzliches Element hinzu, bis man auf eine zulässige Lösung kommt. Der einfachste Ansatz ist hierbei, in jedem Schritt jeweils die geringsten Kosten zu verursachen. Man nennt diesen Ansatz *greedy*, also „gierig“. Problematisch ist dabei, dass man sich in jedem Schritt nur die lokalen Kosten, also z. B. die Kosten eines Pakets anschaut, die dann jeweils optimiert werden. In manchen Problemstellungen liefert dies brauchbare Ergebnisse, in anderen kann es zu sehr schlechten Ergebnissen führen (z. B. ist es sicherlich bei dem Transport *eines* Paketes am besten einen Direktweg zu fahren, bei sehr vielen Paketen lässt sich jedoch durch eine Bündelung und mögliche Umwege viel Geld sparen).

Viele Heuristiken arbeiten teilweise „greedy“, versuchen aber eine rein lokale Optimierung zu vermeiden indem sie bspw. eine Schätzung der Gesamtkosten oder stochastische Komponenten in das Verfahren integrieren.

Metaheuristiken stellen einen algorithmischen Rahmen zur heuristischen Lösung von Optimierungsproblemen dar. Dies bedeutet, dass sie allgemeine Regeln und Strategien zur Entwicklung von problemspezifischen Heuristiken definieren, welcher die Grundstruktur der Heuristik festlegen. Der Ansatz von Metaheuristiken kann auf eine Vielzahl von Problemstellungen angewandt werden. Diese Verfahren finden häufig sehr gute und zum Teil sogar optimale Lösungen. Jedoch ist keine Güteabschätzung gegeben, d. h. man erhält kein Maß dafür, wie weit sich die aktuelle Lösung von einer (theoretischen) Optimallösung entfernt ist. Der Erfolg von Metaheuristiken basiert maßgeblich auf der konkreten (problemabhängigen) Definition und Implementierung der einzelnen Schritte. Metaheuristiken können auf verschiedenen Ansätzen beruhen, welche sich in der Art und Weise unterscheiden, wie die einzelnen Lösungen erzeugt werden. Bei Lokale-Suche-Ansätzen werden in jeder Iteration ausgehend von einer betrachteten Lösung kleine Modifikationen an dieser vorgenommen. Auf diese Weise werden neue Lösungen erzeugt. In evolutionären Algorithmen (d. h. auf Populationen basierenden Heuristiken) besteht die Grundidee zur Erzeugung neuer Lösungen in einer Rekombination von Lösungen. Es existieren jedoch auch viele Metaheuristiken, welche die Ideen verschiedener Ansätze miteinander kombinieren. Diese Verfahren werden auch als *hybride* Metaheuristiken bezeichnet.

Lokale Suche (engl.: local search) beschreibt einen Ansatz zur Lösung von kombinatorischen Optimierungsverfahren. Lokale-Suche-Ansätze werden in vielfältigen Anwendungen und Verfahren genutzt, um schwierige Optimierungsprobleme heuristisch zu lösen. Die Grundidee basiert auf einer schrittweisen Verbesserung der Lösung. Dazu werden von einer (zulässigen) Startlösung ausgehend die „benachbarten“ Lösungen, die durch leichte Modifikationen der ursprünglichen Lösung entstehen, betrachtet. Die beste gefundene Lösung wird als nächstes betrachtet und modifiziert (natürlich nur, sofern sie zu der aktuellen Lösung eine Verbesserung darstellt). In verallgemeinerten Lokale-Suche-

Abb. 21.17 Beispielhafte Darstellung des Austauschs von zwei Kanten



Ansätzen, wie dem weiter unten beschriebenen „Simulated Annealing“, können auch unter bestimmten Bedingungen benachbarte Lösungen akzeptiert werden, wenn diese erst einmal keine Verbesserung darstellen. Doch was ist genau unter „leichter Modifikation“ und „Nachbarschaft einer Lösung“ zu verstehen? Die Nachbarschaft einer Lösung sind „ähnliche“ Lösungen, die nach einer vorgegebenen Regel (Nachbarschaftsfunktion) erzeugt werden. Dies soll im Folgenden anhand von einfachen Beispielen erläutert werden. Im Fall des Travelling-Salesman-Problems soll eine Reihe von Orten auf einem möglichst kurzen bzw. kostengünstigen Weg besucht werden. Dabei sind die Entfernung von je zwei Orten bekannt und eine Lösung besteht aus einem Weg durch den dadurch entstehenden Graphen, der jeden Ort mindestens einmal besucht. Hier kann ein Nachbar (bzw. eine Nachbarschaftslösung) durch einen Zug (Modifikation) entstehen, der zwei Kanten aus der bestehenden Route entfernt und die vier zugehörigen Endpunkte neu verbindet, so dass wieder eine Rundtour entsteht (vgl. Abb. 21.17). Auf diese Weise wird die zuvor betrachtete Lösung (leicht) modifiziert und eine neue entsteht. Ein weiteres einfaches Beispiel ist durch Standortprobleme gegeben, in dem bspw. optimale Standorte für Lager gefunden werden sollen. Hier können neue Lösungen erzeugt werden, indem jeweils ein Lager geschlossen oder eröffnet wird. Diese Beispiele verdeutlichen auch den Begriff „lokale Suche“. Ausgehend von einer aktuellen Lösung wird in der Nähe der aktuellen Lösung, also lokal, nach besseren Lösungen gesucht.

Der Ablauf von Verfahren, die auf lokaler Suche basieren, ist in der Regel wie folgt gegeben:

1. Bestimme eine zulässige Startlösung
2. Erzeuge (zulässige) Nachbarn ausgehend von der aktuellen Lösung.
3. Sofern einer dieser Nachbar besser als die aktuelle Lösung ist, ersetze diese. Solange bis das Abbruchkriterium noch nicht erreicht ist, gehe zu Schritt 2.

Der genaue Ablauf der lokalen Suche hängt stark von verschiedenen Faktoren ab, wie der konkreten Problemstellung, der Erzeugung der Startlösung, dem gewählten Nachbarschaftsbegriff und dem Abbruchkriterium. Es lässt sich zwischen deterministischen und stochastischen Verfahren unterscheiden.

Deterministische Verfahren führen bei mehrfacher Anwendung auf dieselbe Probleminstanz und unter Verwendung gleicher Einstellungen (Parameter) auf dieselbe Lösung.

Randomisierte (oder stochastische) Ansätze enthalten hingegen zufällige Elemente. Folglich führt eine mehrfache Anwendung des Verfahrens auf dieselbe Probleminstanz unter den gleichen Einstellungen i. d. R. zu unterschiedlichen Lösungen. Für die einzelnen Elemente der Lokalen-Suche-Verfahren existieren verschiedene Möglichkeiten und Strategien, welche sich auch in einer Vielzahl von verwandten Verfahren, wie Tabu-Suche oder Simulated Annealing (die wir im Folgenden erläutern), widerspiegeln. Im Folgenden werden beispielhaft einige Möglichkeiten angegeben.

Die *Nachbarschaftsfunktion* legt fest, wie die Nachbarn einer Lösung erzeugt werden. Die Nachbarschaft enthält alle Lösungen, die sich aus der aktuell betrachtenen Lösung durch (einmaliges) Anwenden einer zu definierenden Vorschrift zu Erzeugung von Nachbarn ergeben. Eine Möglichkeit besteht darin, die Nachbarschaftsfunktion durch einzelne (mögliche) Züge anzugeben, die es ermöglichen, von einer Lösung zu einer anderen zu gelangen. In einer randomisierten lokalen Suche können dabei verschiedene Wahrscheinlichkeiten für die unterschiedlichen Züge angegeben werden, mit denen sie während der Suche ausgewählt werden. Im obigen Beispiel der Standortplanung wäre ein Zug durch das Schließen eines (zufällig oder nach einem bestimmten Kriterium gewählten) Lagers gegeben. Bei einem reinen Verbesserungsverfahren werden nur Lösungen akzeptiert, die zu einer besseren Lösung führen. Dies kann jedoch dazu führen, dass das Verfahren in einem lokalen Optimum stecken bleibt. Das heißt, es können ausgehend von der aktuellen Lösung keine Nachbarn erzeugt werden, die zu einer besseren Lösung führen. Diese Verfahren werden auch als reine Verbesserungsverfahren bezeichnet. Um einem solchen lokalen Optimum zu entkommen, kann man bspw. auch Lösungen (Nachbarn) akzeptieren, die einen schlechteren Zielfunktionswert aufweisen (s. bspw. Simulated Annealing). Dabei ist es jedoch in der Regel sinnvoll gewisse Kriterien an die Akzeptanz von schlechteren Lösungen zu stellen. Werden bspw. Nachbarn akzeptiert – egal wie groß die Verschlechterung ist – kann es passieren, dass man sich wieder sehr weit vom Optimum entfernt und somit keine besseren Lösungen gefunden werden. Mögliche *Abbruchbedingungen* der lokalen Suche sind bspw. ein gegebenes Zeitlimit, eine maximale Iterationszahl oder eine gewisse Anzahl von Iterationen, innerhalb derer eine Verbesserung stattgefunden haben muss. Die *Bewertungsfunktion* legt fest, wie die einzelnen Lösungen bewertet werden. In der Regel basiert diese auf der Zielfunktion des Optimierungsproblems. Für weitere Details zu Lokale-Suche-Verfahren sei z. B. auf (Domschke und Drexel 2011, S. 128–130) oder (Yagiura und Ibaraki 2002) verwiesen.

Tabu-Suche (engl.: tabu search) ist ein iteratives Verfahren zur heuristischen Lösung von Optimierungsproblemen basierend auf der lokalen Suche. Um lokalen Optima zu entgehen, wird eine sogenannte Tabu-Liste mit einer gewissen maximalen Länge eingeführt. Diese verhindert, dass bspw. zuvor getätigte Züge „sofort“ wieder rückgängig gemacht werden. Die auf der Tabu-Liste stehenden Züge oder Lösungen dürfen somit in der aktuellen Iteration nicht ausgeführt werden. Häufig gibt es dabei jedoch eine Ausnahme (*Aspirationskriterium*): Dieses Kriterium erlaubt es gewissen Operationen bzw. Nachbarn, die auf der Tabu-Liste stehen, trotzdem auszuwählen. Ein mögliches Kriterium ist, dass der Zug die aktuell beste Lösung verbessern würde. Eine mögliche (simple) Tabu-Strategie

ist es, das Komplement (die Umkehrung) einer durchgeführten Operation zu verbieten. Im Standortplanungsbeispiel würde dies bedeuten, dass ein Lager, das geschlossen wurde, für eine bestimmte Anzahl von Iterationen nicht mehr eröffnet werden darf. Der Ablauf der Tabu-Suche ähnelt stark dem Ablauf der lokalen Suche. Jedoch wird der Schritt 3 um die Tabu-Liste ergänzt und ein vierter Schritt eingeführt:

1. Bestimme eine zulässige Startlösung
2. Erzeuge (zulässige) Nachbarn ausgehend von der aktuellen Lösung
3. Wähle den besten Nachbarn aus, der nicht auf der Tabu-Liste steht (bzw. „tabu“ ist und das Aspirationskriterium erfüllt). Falls dieser Nachbar besser ist als die aktuell beste Lösung, ersetze diese.
4. Aktualisiere entsprechend des ausgeführten Zugs die Tabu-Liste. Solange bis das Abbruchkriterium noch nicht erreicht ist, gehe zu Schritt 2.

Die Aktualisierung der Tabu-Liste erfolgt häufig nach dem FIFO-Prinzip (first in-first out). Häufig werden bei der Tabu-Suche alle Lösungen als Ausgangspunkt für die weitere Suche akzeptiert, auch wenn sie Verschlechterungen darstellen. In diesem Zusammenhang verhindert die Tabu-Liste, dass direkt von einer verschlechterten Lösung wieder zu der besseren zurückgekehrt wird. Jedoch kann auch hier die Akzeptanz entsprechend eines zuvor definierten Akzeptanzkriteriums erfolgen. Für weitere Details zur Tabu-Suche sei auf die grundlegenden Arbeiten von Glover (Glover 1989, 1990) sowie (Glover und Laguna 2002) verwiesen.

Evolutionäre Algorithmen: In Analogie zu der Natur werden hier zulässige Lösungen als Individuen aufgefasst, deren sogenannte Fitness(werte) jeweils der Qualität ihres Zielfunktionswertes entspricht.

Zu Beginn des Algorithmus wird zufällig eine Menge von Individuen (d. h. zulässige Lösungen) erzeugt. Aus dieser Menge werden nun immer wieder neue Individuen erzeugt, wobei es zwei grundlegende Möglichkeiten gibt:

- *Mutation:* Eine Lösung wird nur leicht verändert d. h. sie wird durch eine Lösung ersetzt, die sich nur wenig von der vorgehergehenden unterscheidet. Dies entspricht einer zufälligen (leichten) Veränderung des Erbguts des Individuums. In einem Transportproblem würde man z. B. ein paar LKWs oder Züge anders routen, oder einen Umschlagspunkt (Hub) an eine andere Stelle setzen. Wichtig ist dabei natürlich, dass die geänderte Lösung weiterhin zulässig ist.
- *Paarung bzw. Rekombination:* Zwei Individuen werden miteinander gekreuzt, d. h. aus zwei Lösungen werden durch geeignete „Mischung“ eine oder zwei neue kreiert. Es kann z. B. eine Lösung einen bestimmten Block von Variablenwerten der anderen Lösung übernehmen. Auf diese Weise entsteht eine neue Lösung.

Die Überlebens- und Paarungswahrscheinlichkeit der Individuen hängt dabei von ihrer Fitness ab. Dies entspricht der Selektion in der Evolution. Dadurch verschwinden statistisch gesehen schlechte Lösungen mit der Zeit und gute Lösungen bleiben und „vermehren sich“, d. h. erzeugen weitere Lösungen in ihrer Nähe. Der Lösungspool sollte daher bei günstiger Auswahl der Mutations- und Paarungsfunktionen mit der Zeit aus immer besseren Lösungen (Individuen) bestehen. Nach einem Abbruchkriterium wie einer festgelegten Zeitspanne oder dem Erreichen einer Lösung unter einer gegebenen Schranke wird das Verfahren abgebrochen und die beste Lösung gewählt. Alternativ können auch mehrere gute Lösungen aus dem Lösungspool an lokale Optimierungsverfahren übergeben werden. Danach wählt man dann die beste lokal optimierte Lösung aus.

Bei evolutionären Algorithmen müssen jedoch einige potenzielle Probleme beachtet werden:

1. *Anfangslösungen*: Wir brauchen hinreichend viele und diversifizierte zulässige Lösungen, um durch Paarung und Mutation größere Teile des Lösungsraums zu erforschen (und so keine sehr guten Lösungen zu übersehen). Insbesondere kann eine Voroptimierung der Anfangslösungen dazu führen, dass man nur lokale Optima als Individuen hat, deren Rekombinationen immer in einem kleinen Teil des Lösungsraumes bleiben. Zur Bestimmung der Anfangslösungen braucht man entweder einen Lösungsraum mit wenigen Restriktionen (so dass das Finden von zulässigen Lösungen unproblematisch ist), oder eine gute und schnelle problemspezifische Eröffnungsheuristik.
2. *Mutation*: Hier muss definiert werden, was eine „Nachbarlösung“ ist. Dies ist bei vielen Modellen unproblematisch. Wenn der Raum der zulässigen Lösungen aber unübersichtlich ist, d. h. durch viele Nebenbedingungen bestimmt wird, so kann es sehr langwierig sein, eine benachbarte Lösung zu finden, die wieder zulässig ist. Der Nutzen eines genetischen Algorithmus für ein Problem hängt entscheidend davon ab, ob es möglich ist, schnell eine genügende Zahl von zulässigen Nachbarlösungen zu finden (dabei können dann auch angepasste Heuristiken eingesetzt werden).
3. *Rekombination*: Die Paarung (oder Rekombination) erfolgt in der Regel, in dem man für einen kleinen Teil der Variablen die Werte zweier Lösungen austauscht (und so zwei neue Lösungen erhält, die jeweils ein wenig „genetisches Material“ von der anderen Seite erhalten haben). Problem hierbei ist, dass die neuen Lösungen nicht unbedingt zulässig sein müssen. Die Rekombination kann also dazu führen, dass nun Ungleichungen verletzt sind, die vorher Bestand hatten. Diesem Problem kann man grundsätzlich auf zwei Arten begegnen: Entweder man schränkt den Variablenaustausch so ein, dass keine Restriktionen verletzt werden können, oder man versucht die unzulässigen neuen Lösungen durch leichte Veränderung in den Lösungsraum zu schieben. Auch eine Kombination von beiden Methoden ist denkbar. Ein typischer Ablauf wäre wie folgt gegeben:
 - Wähle aus der Population zwei Lösungen als Eltern aus (zufällig mit Tendenz zu fitten Lösungen).
 - Bilde durch Austausch einzelner Variablenwerte eine oder zwei neue Lösungen.

- Falls diese neuen Lösungen Nebenbedingungen verletzen können sie (häufig durch eine Heuristik) so verändert werden, dass sie wieder zulässig sind.
- Zulässige Kinder-Lösungen werden in die Population aufgenommen, dafür werden im Gegenzug weniger fitte Lösungen aus der Population entfernt werden, um die Populationsgröße konstant zu halten (eine typische Größe wäre etwa 100).

Eine wichtige Anwendung von genetischen Algorithmen sind Scheduling-Probleme, z. B. beschrieben in (Wall 1996). Weitere erfolgreiche Anwendungsfelder (häufig in Kombination mit reinen Lokale-Suche- oder anderen problemspezifischen Heuristiken als sogenannte memetische Algorithmen) sind Maschinenbelegungsprobleme oder mehrdimensionale Rucksackprobleme. Eine gute Auflistung findet sich unter (Pardalos und Resende 2002, S. 159).

Simulated Annealing Das simulierte Abkühlen beruht auf einer Analogie zur langsamen Abkühlung eines flüssigen Materials mit dem Ziel der Erreichung des optimalen Energiezustands. Ohne weiter auf die Physik einzugehen beschreiben wir im Folgenden die mathematische Idee des Verfahrens.

Angenommen, wir haben einen Raum zulässiger Lösungen, in dem es einfach ist, zu einem Punkt seine Nachbarpunkte zu bestimmen (dies setzt voraus, dass die gegebenen Restriktionen nicht zu zahlreich sind). Weiterhin sei die Zielfunktion recht kompliziert. Die naivste Lösungssuche wäre, von einem Startpunkt ausgehend immer zu dem Nachbarn mit der besten Lösung zu wechseln, solange, bis alle Nachbarn schlechtere Werte aufweisen.

Im Allgemeinen wird man mit der naiven Methode schnell in einem lokalen Minimum hängenbleiben, welches möglicherweise weit von der tatsächlich besten Lösung entfernt ist. Dieses Verfahren wäre *greedy*.

Wie lässt sich aus dieser naiven Idee doch noch ein brauchbares Verfahren generieren? Der neue Ansatz ist, nicht nur zu besseren Nachbarlösungen zu wechseln, sondern mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit auch schlechtere Lösungen zu akzeptieren. Das Verfahren ist also *stochastisch*. Um aber nicht dauerhaft blind umherzulaufen oder einmal gefundene „gute Bereiche“ wieder zu verlassen, sollte die Wahrscheinlichkeit für solch einen „Schritt ins Ungewisse“ mit der Zeit abnehmen. Man berechnet die Wahrscheinlichkeit aus der Differenz zwischen der aktuellen und der neuen Lösung (je größer die Verschlechterung, desto unwahrscheinlicher ist es, sie zu akzeptieren) und der aktuellen „Temperatur“: Dies ist eine Größe, die im Laufe des Verfahrens abnimmt und damit das Umherrennen „dämpft“.

Man kann unter relativ allgemeinen Bedingungen beweisen, dass bei genügend langsamer Abkühlung das Verfahren mit Wahrscheinlichkeit Eins gegen die Optimallösung konvergiert (Pardalos und Resende 2002, S. 211). Dieses Ergebnis ist allerdings nur von theoretischem Interesse, da eine solch langsame Abkühlung Laufzeiten erreichen kann, die wesentlich größer sind als bei vollständiger Enumeration. Deswegen muss man, um auch in der Praxis erfolgreich zu sein, gewisse Einschränkungen treffen. Dies betrifft zum einen die Abkühlungsgeschwindigkeit, zum anderen aber auch die Anzahl der untersuch-

ten Nachbarn eines Punktes: Ist ihre Anzahl zu groß kann ihre Überprüfung zu langwierig sein, so dass man eine (sinnvolle) Auswahl treffen muss. Eine schlechte Auswahl kann allerdings dazu führen, dass der Lösungsraum nicht mehr vollständig erreicht wird. Einige Autoren, wie etwa (Dueck und Scheuer 1990) schlagen vor, einfachere Annahme- und Ablehnungsregeln zu treffen als die durch die Abkühlung bestimmten, um so den Algorithmus zu beschleunigen (Klose 2001). Im Allgemeinen ist Simulated Annealing eher für Probleme geeignet, für die man sehr gute Lösungen erhalten möchte und relativ viel Zeit zur Verfügung hat, wie es z. B. bei strategischen Planungsproblemen der Fall ist, (Pardalos und Resende 2002).

Ameisenalgorithmus Der Ameisenalgorithmus simuliert das Verhalten einer Ameisenkolonie auf Futtersuche. Die Ameisen werden als stochastischer Prozess simuliert und durchlaufen das Gebiet auf zufällige Weise. Dabei hinterlassen sie auf ihrem Weg eine Pheromonspur, die von nachfolgenden Ameisen wahrgenommen wird. Kommt eine Ameise an eine Weggabelung so wählt die Ameise mit einer höheren Wahrscheinlichkeit den Weg, welcher eine höhere Konzentration an Pheromonen aufweist. Gehen wir von zwei unterschiedlich langen Wegen vom Ameisenbau zum Futter aus: Zu Beginn verteilen sich die Ameisen gleichmäßig auf beide Wege. Da die Ameisen auf dem kürzeren Weg logischerweise schneller am Futter und somit auch wieder auf dem Rückweg sind, ist die Pheromon-Konzentration auf dem kürzeren Weg schon nach kurzer Zeit größer als auf dem längeren Weg. Nachfolgende Ameisen werden dann bevorzugt den kürzeren Weg wählen, da dieser eine höhere Pheromon Konzentration aufweist. Im Laufe der Zeit verdunsten Teile der Pheromonspuren. Somit verschwindet auf dem immer weniger genutzten längeren Weg nach und nach die Pheromonspur und die Ameisen nutzen fast ausschließlich den kürzeren Weg.

Dazu betrachten wir folgendes Beispiel (vgl. Abb. 21.18). Die Ameisen einer Kolonie begeben sich auf Futtersuche. Auf ihrem Weg zum Futter befindet sich ein Hindernis, welches den Weg in zwei Pfade aufteilt. Da die Ameisen in a) noch keinerlei Informationen besitzen verteilen sie sich gleichmäßig auf beide Pfade. In b) befinden sich die ersten Ameisen wieder auf dem Rückweg zu ihrem Bau. Die Ameisen werden bevorzugt den linken Pfad verwenden, da dieser aufgrund der schon zurückgekehrten Ameisen eine höhere Konzentration an Pheromonen besitzt. Letztendlich werden in c) immer mehr Ameisen den linken Pfad wählen und der rechte und längere Pfad wird nur noch vereinzelt genutzt.

Ameisenalgorithmen finden in vielen Gebieten der kombinatorischen Optimierung Anwendung. Beispiele dafür sind das Kürzeste-Wege-Problem oder das Traveling Salesman Problem. Aber auch andere Problemstellungen wie Assignment-Probleme, Scheduling-Probleme oder auch Subset-Probleme lassen sich mithilfe von Ameisenalgorithmen lösen. Des Weiteren gibt es eine Vielzahl von Variationen von Ameisenalgorithmen, welche unterschiedliche Ameisentypen verwenden, wie beispielsweise Dronen und Königinnen. Für detailliertere Informationen zu Ameisenalgorithmen wird auf (Pardalos und Resende 2002, S. 130–138) und (Dorigo 2004) verwiesen.

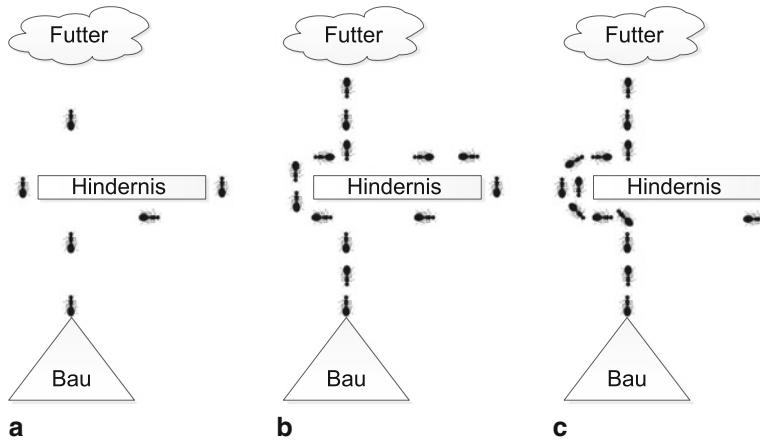


Abb. 21.18 Ameisen bei der Arbeit

Exakte Verfahren können auch als Heuristik eingesetzt werden. Will man sicherstellen, dass nach einer gewissen Zeit eine Lösung gefunden wird, kann man ein exaktes Verfahren nach einer bestimmten Laufzeit oder Iterationsanzahl terminieren lassen. Man betrachtet dann die bislang gefundenen Lösungen und nimmt die mit dem besten Funktionswert. Somit lassen sich einigermaßen gute Lösungen in beschränkter Rechenzeit finden. Die Qualität der gefundenen Lösungen hängt selbstverständlich von der verfügbaren Rechenzeit ab. Es kann jedoch auch passieren dass in der Zeit keine zulässige Lösung gefunden wird.

Auch innerhalb der exakten Verfahren können Heuristiken verwendet werden. So werden beispielsweise oft Heuristiken zur Bestimmung von Schranken verwendet. Hier macht man sich die schnelleren Laufzeiten der Heuristiken zu Nutze, da es nicht notwendig ist exakte Lösungen für obere oder untere Schranken zu finden. Umgekehrt werden auch exakte Verfahren innerhalb von Heuristiken verwendet. Innerhalb der Heuristiken können kleinere Probleme mithilfe von exakten Verfahren gelöst werden. Dies wird genutzt wenn die kleineren Probleme einfach zu lösen sind. Dadurch können mit geringem Rechenaufwand bessere Lösungen durch die Heuristiken gefunden werden.

21.3 Simulation logistischer Systeme

Ina Goedicke

Wie bereits in Abschn. 21.1 angedeutet, bietet die Methode der Simulation die Möglichkeit, logistische Systeme mit ihren stochastischen Eigenschaften und komplexen Beziehungen zwischen den Systemkomponenten in einem hohen Detaillierungsgrad abzubilden. Sie wird daher zur Untersuchung von logistischen Systemen genutzt, wenn ein Experiment

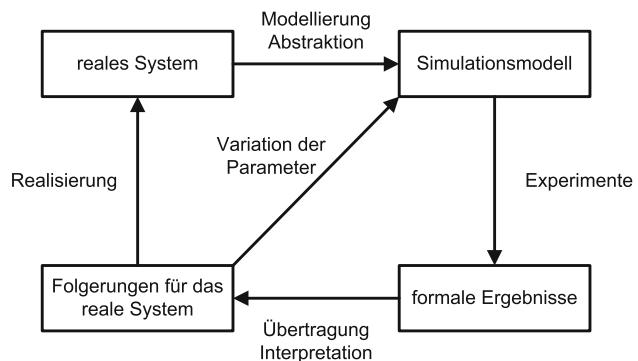
am realen System oder einem physischen Modell zu zeit- bzw. kostenaufwändig oder nicht realisierbar ist (Law 2007, S. 4 f.).

Im Kontext der Anwendung auf Logistik-, Materialfluss- und Produktionssysteme ist die Methode der Simulation „das *Nachbilden* eines Systems mit seinen *dynamischen* Prozessen in einem *experimentierbaren* Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die *Wirklichkeit* übertragbar sind“ (VDI 3633 – Blatt 1 2010, S. 3). Mit Hilfe der Simulation werden somit die Elemente und Strukturen eines existierenden oder gedachten Systems in einem Simulationsmodell nachgebildet (z. B. die Toranordnung, das Flächenlayout, die Umschlaggeräte und die Steuerung für das Modell eines Cross-Docking-Terminals). Das Modell wird dann im Zeitverlauf von Einheiten, z. B. beladenen Paletten, durchlaufen. So können anhand von Zählungen und Messungen während eines Simulationslaufs Aussagen über das Systemverhalten gewonnen werden, typischerweise in Form von leistungs- und auslastungsbezogenen Kennzahlen. Über Experimente am Modell besteht dann die Möglichkeit, die Auswirkungen unterschiedlicher Systemlasten (z. B. Anzahl an umzuschlagenden Paletten), veränderter Parameter der Modellkomponenten (z. B. Prozesszeiten zur Wareneingangskontrolle) oder verschiedener Steuerungsstrategien (z. B. veränderte Torzuordnung) auf die Nachbildung des Systems zu analysieren und daraus Folgerungen für das reale System abzuleiten (z. B. die Grenzleistung des Cross-Docking-Terminals). (Gudehus 2012, S. 119 ff.)

Die Anwendung der Methode Simulation auf ein logistisches System durchläuft dabei den in Abb. 21.19 dargestellten Zyklus. Im ersten Schritt wird zunächst der IST-Zustand oder der geplante Zustand des zu untersuchenden realen Systems auf die wesentlichen Elemente und Interdependenzen abstrahiert und in ein sogenanntes Simulationsmodell übertragen. Durch die Variation der verschiedenen Modellparameter können Experimente an dem Systemabbild durchgeführt werden (Simulationsläufe), deren Resultate die formalen Ergebnisse der Simulation darstellen. Diese Ergebnisse müssen anschließend interpretiert und auf das reale System übertragen werden, sodass sich aus dem Experiment am abstrakten Modell Folgerungen für das reale System schließen lassen (Page 1991, S. 7). Die Auswirkungen der ausgewählten Modellparameter auf das reale System sind nach diesem Schritt quantifizierbar und ganzheitlich bewertbar. Es lässt sich daraus schließen, ob und wenn ja, in welcher Art und Höhe, die Variation bestimmter Modellparameter sinnvoll oder sogar notwendig ist, um die Genauigkeit des Systemabbilds in der Simulation zu verbessern. Ist diese hinreichend genau, lassen sich Erkenntnisse zur Verbesserung des Systems gewinnen und Empfehlungen für deren Umsetzungen in der Realität ableiten. (Hrdliczka et al. 1997, S. 4; Page 1991, S. 10 f.)

Neben der dynamischen Methode der Simulation sind prinzipiell auch statische und analytische Berechnungsverfahren, wie z. B. die Warteschlangentheorie, dazu geeignet, Aussagen zu den zu untersuchenden logistischen Systemen zu liefern. Diese statischen Berechnungsverfahren können dynamische Effekte im Zeitverlauf jedoch nicht oder nur unzureichend abbilden, so dass die typischerweise dynamischen Fragestellungen in logistischen Systemen nur mit Einschränkungen beantwortet werden können. Zudem ist eine genaue Analyse der ineinandergrifffenden Einzelprozesse innerhalb eines Logistiksy-

Abb. 21.19 Vorgehen der Simulation nach Hrdliczka et al. (1997, S. 3)



stems aufgrund der resultierenden Komplexität mit analytischen Berechnungsverfahren nur bedingt möglich (Law 2007, S. 5). Aufgrund der hohen Dynamik, d. h. der Abhängigkeit des Systems von der fortschreitenden Zeit, bietet sich auch eine rein mathematische Optimierung für sie häufig nicht an, da diese nur sehr bedingt zeitlich veränderliche Probleme in akzeptabler Zeit lösen kann. Darüber hinaus führen die Problemstellungen der Logistik häufig zu schwierig lösbar ganzzahligen oder nichtlinearen Zusammenhängen (Erläuterungen dazu siehe Abschn. 21.1). Im Gegensatz zu den Methoden der mathematischen Modellierung und Optimierung führt die Simulation jedoch nur in eingeschränktem Rahmen zu allgemeingültigen Gesetzmäßigkeiten. Die Ermittlung von Strategien oder Entscheidungen zur Optimierung eines Systems mit Hilfe der Simulation erfolgt meist analytisch auf Basis verschiedener Untersuchungsszenarien. (Gudehus 2012, S. 119 f; Page 1991, S. 8 f)

Die Anwendbarkeit der Methode auf logistische Systeme und der erreichbare Nutzen werden im folgenden Abschnitt vorgestellt. Anschließend werden grundlegende Begriffe sowie die typische Vorgehensweise zur Durchführung einer Simulationsstudie erläutert.

21.3.1 Anwendbarkeit und Nutzen der Simulation

In der Logistik wird Simulation vor allem zur Abbildung und Analyse dynamischer Prozesse, wie beispielsweise der inner- und außerbetrieblichen Materialflüsse, eingesetzt. Mit Simulationsstudien lässt sich das Verhalten der Systeme bei unterschiedlicher Gestaltung und unter Einsatz verschiedener Strategien untersuchen um so bessere Lösungen finden. Es können komplexe Sachverhalte, die das menschliche Vorstellungsvermögen überschreiten, veranschaulicht werden.

In allen Entwicklungsphasen eines logistischen Systems kann so die Entscheidungsfindung unterstützt werden (VDI 3633 – Blatt 1 2010, S. 6 ff):

Planung In der Planungsphase eines logistischen Systems dient die Simulation vor allem zur Unterstützung des Funktions- und Leistungsnachweises, zur Prüfung des Systemdesigns sowie zur Gewährleistung einer fehlerarmen Inbetriebnahme des Systems.

Realisierung Während der Realisierungsphase können durch Simulation Leistungstests des Systems durchgeführt werden und Mitarbeiter bereits mit ihren zukünftigen Aufgaben und dem Systemverhalten vertraut gemacht werden.

Betrieb Ist das logistische System bereits in Betrieb, werden vor allem operative Entscheidungen, wie beispielsweise die Auswirkungen verschiedener Dispositionstrategien oder Stör- und Notfallstrategien, mittels Simulation auf ihre Leistungsfähigkeit überprüft.

Typische Problemstellungen, die es in der Logistik zu untersuchen gilt, zielen auf eine ganzheitliche Untersuchung und Verbesserung der häufig gegenläufigen Ziele der Durchlaufzeit- und Bestandsminimierung sowie der Servicegrad- und Auslastungsmaximierung (Kuhn und Wenzel 2008, S. 75). Durch die Fähigkeit der Simulation, das Modell der Realität in Hinsicht auf das Systemdesign und die Strategiewahl manipulieren zu können, steht ein Werkzeug zur Verfügung, welches es für jedes logistische System individuell ermöglicht, die zur Auswahl stehenden Parameter zu analysieren und abgewogene Entscheidungen unter Berücksichtigung der spezifischen Problemstellungen zu treffen.

Durch die Anwendung der Simulation wird *qualitativer*, sowie projekt- bzw. systembezogener *quantitativer* Nutzen generiert. Der qualitative Nutzen zeigt sich z. B. in Form eines besseren Systemverständnisses, der Vermeidung von Fehlplanungen, einem Flexibilitätsgewinn durch die Ermöglichung einer kurzfristigen Reaktionsfähigkeit, oder in Form eines günstigeren Anlagenbetriebs durch die Verbesserung des Anlaufverhaltens. Quantitativer Nutzen ergibt sich, indem quantifizierbare Ergebnisse für verschiedene Lösungsvarianten gewonnen und objektiv vergleichbar gemacht werden. (Kuhn und Wenzel 2008, S. 76)

21.3.2 Grundlegende Begriffe

Ein logistisches System besteht aus verschiedenen Komponenten, die ggf. selbst weiter zerlegbar sind. Die *Aufbaustruktur* beschreibt die Beziehungen zwischen den einzelnen Komponenten. Regeln und Attribute bestimmen wiederum die *Ablaufstruktur* innerhalb der Komponenten. Als *Systemgrenzen* werden die Schnittstellen zur Umwelt des betrachteten Systems bezeichnet, welche selbst nicht mehr Gegenstand des Modells sein soll. Diese Umwelt liefert jedoch einen bestimmten Input für das System (Quellen) und bekommt einen Output vom System (Senken). (Kuhn und Wenzel 2008, S. 76)

Diese grundlegenden Strukturen müssen in das Simulationsmodell überführt werden, um ein Abbild des realen Systems zu erhalten. Wesentlich ist, dass sich dieses Modell in Bezug auf den schwerpunktmäßig zu untersuchenden Bereich so weit wie möglich

Abb. 21.20 Einordnung von Simulationsverfahren sozio-technischer Systeme in Anl. an Liebl (1995, S. 11)

Zufall \ Zeit	statisch	dynamisch
stochastisch	Monte-Carlo-Verfahren	Diskrete Simulation
deterministisch		Deterministische Simulation

analog zum realen logistischen System verhält (Kuhn und Wenzel 2008, S. 77). Für die Durchführung einer Simulationsstudie können verschiedene Simulationsverfahren und Simulationswerkzeuge genutzt werden, welche im Folgenden beschrieben werden.

Simulationsverfahren bzw. *-methoden* lassen sich zunächst, wie in Abb. 21.20 dargestellt, über die Kategorien Zeit und Zufall unterscheiden. Die Einteilung nach der Zeit beurteilt, inwieweit ein Simulationsmodell von dem Fortschreiten der Zeit abhängig ist. Die Kategorisierung nach dem Zufall unterscheidet, ob die Eingangsdaten eines Modells zufällige, stochastische Daten oder feste, bekannte Daten sind. (Liebl 1995, S. 10 f)

Grundsätzlich gibt es statische, stochastische Verfahren (Monte-Carlo-Verfahren), welche ein deterministisches Problem zu einem bestimmten Zeitpunkt betrachten und mittels Zufallszahlen lösen (ein Anwendungsbeispiel ist die Flächen- oder Integralberechnung durch sog. Stichprobenexperimente) (Liebl 1995, S. 55). Diese Verfahren finden bei der Untersuchung logistischer Systeme mit Hilfe der Simulation jedoch selten Anwendung, da die Berücksichtigung der Änderungen des Systemverhaltens bei fortschreitender Zeit eine wesentliche Anforderung an eine Methode zur Analyse von Logistikstrukturen und -prozessen darstellt.

In dynamischen Simulationen bildet die Simulationszeit den Fortschritt der Zeit in der Realität ab, über den sich der Zustand des Systems verändern kann (Kuhn und Wenzel 2008, S. 78). Stochastische Verfahren oder Elemente der Modellierung berücksichtigen dabei die im realen System auftretenden Schwankungen von Zuständen oder Variablenwerten, z. B. die nach einer Exponentialverteilung auftretenden Ausfälle einer Maschine. Im Gegensatz dazu stehen deterministische Simulationen oder Simulationselemente, bei denen Zustände bzw. Variablen nach bestimmten Regeln von einem Betrachtungszeitraum zum nächsten als fixe Werte fortgeschrieben werden, wie bspw. eine jeden Monat auftretende Bedarfsmenge in fest definierter, immer gleicher Höhe (Liebl 1995, S. 13).

Um in dynamischen Simulationen den Fortschritt der Zeit im Modell zu erfassen, können wiederum zwei verschiedene Methoden unterschieden werden (Kuhn und Wenzel 2008, S. 78 f; Page 1991, S. 9):

Kontinuierliche Simulationsmethode Bei Verwendung dieser Methode erfolgt eine stetige Abbildung der Zustandsvariablen zu jedem Zeitpunkt der Simulation über eine Menge gekoppelter Differentialgleichungen. Sie wird häufig eingesetzt, wenn die Simulation von Stoffströmen oder physikalischen Größen, wie z. B. der Geschwindigkeit, im Mittelpunkt der Untersuchung stehen. Da dies in sozio-technischen Systemen, zu denen auch die mei-

sten Logistiksysteme gehören, häufig nicht der Fall ist, finden kontinuierliche Methoden hier selten Anwendung (Liebl 1995, S. 10).

Diskrete Simulationsmethode Die Anwendung einer diskreten Methode bedingt eine Betrachtung der Zustandsänderungen im System zu diskreten, trennbaren Zeitpunkten. Der Übergang von einem Systemzustand zum anderen erfolgt somit diskontinuierlich (Liebl 1995, S. 9). Die diskreten Methoden lassen sich dabei weiter unterteilen:

- *Zeitgesteuert* ist eine Simulation, in der die Simulationszeit in gleich großen Zeitintervallen erhöht wird und Zustandsänderungen jeweils nach Ablauf eines Intervalls erfasst werden. Sind die Zeitintervalle entsprechend klein gewählt, kann eine *quasikontinuierliche* Simulation erfolgen.
- *Ereignisorientiert* sind Methoden, die Zustandsänderungen registrieren, sobald ein Ereignis auftritt. Diese Methoden werden auf Logistiksysteme am häufigsten angewendet, da hier typischerweise die Veränderungen der Systemzustände durch Ereignisse verursacht werden, bspw. durch die Ankunft eines Fahrzeugs oder den Ausfall einer Maschine (Kuhn und Wenzel 2008, S. 79). Treten in Komponenten des betrachteten Systems kontinuierliche Vorgänge auf, wie z. B. die Geschwindigkeit mit der sich ein Fahrzeug im System bewegt, können diese häufig über eine diskrete Modellierung hinreichend genau angenähert werden (Liebl 1995, S. 10).

Simulationswerkzeuge sind Softwarehilfsmittel, welche die Möglichkeit bieten, Simulationsmodelle aufzubauen und das Fortschreiten der Zeit bzw. die Zustandsänderungen des Systems über die Zeit zu erfassen, wobei die vorangehend beschriebenen Methoden zum Einsatz kommen (Kuhn und Wenzel 2008, S. 78, 82). Die existierenden Werkzeuge können dabei hinsichtlich ihrer Flexibilität und ihren Anwendungsmöglichkeiten unterschieden werden. *Sprachorientierte* Konzepte, die bei der Verwendung reiner Programmiersprachen und speziell auf Simulationen ausgerichteter Simulationssprachen zur Anwendung kommen, sind sehr flexibel einsetzbar, erfordern jedoch einen relativ hohen Aufwand (VDI 3633 – Blatt 1 2010, S. 19). So sind allgemeine Programmiersprachen, wie bspw. C++, und Simulationssprachen wie SIMUL_R in allen Anwendungsbereichen einsetzbar, enthalten jedoch keine spezialisierten Bausteine, die einen schnellen Modellaufbau ermöglichen würden (Page 1991, S. 157 ff; Eley 2012, S. 10 f). Einfacher in der Handhabung sind *eigenständige Programmpakete*, sog. Simulatoren oder Simulationsinstrumente wie z. B. Enterprise Dynamics oder Plant Simulation, die über vordefinierte Bausteine zur Modellerstellung, Datenverwaltung und Auswertung verfügen und eher graphisch orientiert sind (VDI 3633 – Blatt 1 2010, S. 14). Um zu vermeiden, dass bei Anwendung eines solchen Simulators eine absolute Beschränkung auf die vordefinierten Funktionen und Bausteine besteht, werden sog. offene Simulatoren angeboten, in denen eine Modifikation der Modellkomponenten und Funktionalitäten durch den Anwender möglich ist (Kuhn und Wenzel 2008, S. 83). Da diese sowohl eine flexible

Anwendung als auch einen sinnvollen Rahmen nutzbarer Grundfunktionen und Modellbausteine zur Verfügung stellen, ist die Nutzung eines solchen Simulationsinstrumentes in vielen Anwendungsfällen sinnvoll. Neben Simulatoren und Simulationssprachen existieren auch sog. *Simulatorentwicklungsrumgebungen*, die den Aufbau neuer Simulatoren zum Ziel haben (VDI 3633 – Blatt 1 2010, S. 18).

Die typischen ereignisgesteuerten Simulationswerkzeuge, welche in der Logistik zur Anwendung kommen, enthalten ähnliche grundlegende Elemente, die das Nachbilden realer Systeme ermöglichen. Nach Eley (2012, S. 9 f) lassen sich diese Elemente wie folgt kategorisieren:

Die Zeitliste enthält die auszuführenden Ereignisse, welche in chronologischer Reihenfolge aufgeführt sind. Im Laufe einer Simulationsstudie werden abgearbeitete Ereignisse von dieser Liste gelöscht und dynamisch neue hinzugefügt.

Entities sind bewegliche Objekte, die sich und ihren Standort im Verlauf der Simulation ändern können, z. B. Kundenaufträge oder Fahrzeuge. Diese Elemente können innerhalb eines Simulationslaufs ggf. vernichtet werden.

Ressourcen werden von Entities in Anspruch genommen und sind unbeweglich. Sie sind während des gesamten Simulationslaufes vorhanden, jedoch nicht immer verfügbar. Typische Beispiele für Ressourcen sind Bearbeitungsstationen oder Mitarbeiter.

Warteschlangen sind Lagerbereiche, in denen Entities vor Ressourcen gelagert werden können, falls diese mit anderen Entities belegt sind. Ihre Abarbeitung erfolgt nach zu definierenden Regeln, bspw. dem Last-in-first-out-Prinzip.

Attribute sind Eigenschaften von Entities und Ressourcen, die ihr Verhalten beeinflussen bzw. steuern (z. B. Typ eines Fertigungsauftrages oder Verfügbarkeit einer Ressource zu einem bestimmten Zeitpunkt).

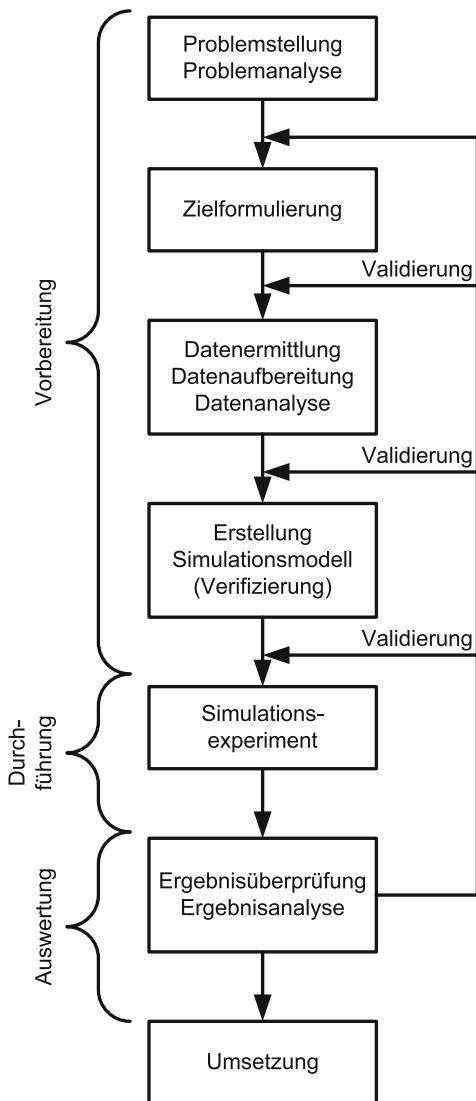
Methoden greifen in den Simulationsverlauf ein und steuern das Modell, indem sie beispielsweise Attributwerte ändern. Ihre Einbindung erfolgt typischerweise über die zugrundeliegende Programmiersprache, welche die notwendigen Strukturen und Operatoren bereitstellt.

Variablen speichern Werte und Informationen ab, die im Verlauf der Simulation weiter genutzt werden.

Zufallszahlen folgen stochastischen Verteilungen und bilden so beispielsweise das Ausfallverhalten von Anlagen ab.

Das Softwarewerkzeug ist das wesentliche Hilfsmittel zur Durchführung einer Simulationsstudie. Es muss auf Basis der Aufgabenstellung und des zu modellierenden Systems ausgewählt werden (Kuhn und Wenzel 2008, S. 85; Law 2007, S. 188). Der darauf folgende grundsätzliche Handlungsablauf einer Simulationsstudie wird im nächsten Abschnitt erläutert.

Abb. 21.21 Ablauf einer Simulationsstudie nach (VDI 3633 – Blatt 1 2010, S. 19)



21.3.3 Vorgehensweise einer Simulationsstudie

Der Verlauf einer Simulationsstudie besteht aus drei grundlegenden Phasen: Vorbereitung, Durchführung und Auswertung (vgl. Abb. 21.21). Diese Phasen können während der Entwicklung und Nutzung des Modells wiederholt bzw. iterativ durchlaufen werden (VDI 3633 – Blatt 1 2010, S. 19). Innerhalb der einzelnen Phasen lassen sich weitere Abschnitte definieren.

In der ersten Phase, der *Vorbereitung*, muss zunächst das zu untersuchende Problem analysiert werden, damit im nächsten Schritt eine möglichst genaue Zielformulierung erfolgen kann (Page 1991, S. 13). Dazu muss das Gesamtziel in Teilziele untergliedert werden. Deren Abhängigkeiten und Wechselwirkungen müssen untersucht und ein Vorgehen zur ganzheitlichen Betrachtung abgeleitet werden. Die Definition des Zielsystems ist von großer Bedeutung für einen wirtschaftlichen und effektiven Einsatz der Simulation, da das Konzept für die Modellierung von Anfang an die für die Untersuchung wesentlichen Eigenschaften berücksichtigen sollte. Nur auf diese Weise kann ein Ergebnis später sinnvoll interpretiert und ein Verständnis des simulierten Systems erlangt werden. (VDI 3633 – Blatt 1 2010, S. 21 f)

Im nächsten Abschnitt der Vorbereitungsphase werden Daten zum betrachteten System gesammelt, gebündelt und entsprechend des Ziels untersucht (Page 1991, S. 15). Dabei werden drei verschiedene Kategorien an systembeschreibenden Daten unterschieden:

- *Technische Daten*: Sie beschreiben die Struktur und die einzelnen Komponenten des Systems.
- *Organisationsdaten*: Durch sie werden Zustandsveränderungen im System beschrieben (z. B. bzgl. der Ressourcensteuerung oder der von einem bestimmten Objekt zu durchlaufenden Prozesse).
- *Systemlastdaten*: Sie beschreiben die im System zu bearbeitende Last, z. B. in Form von Fertigungsaufträgen oder umzuschlagenden Sendungen (Bernhard et al. 2007, S. 4 f).

Im letzten Schritt der Vorbereitungsphase wird das Simulationsmodell aufgebaut und, ausgehend von den in den vorangegangenen Schritten erlangten Erkenntnissen, auf seine Richtigkeit überprüft. Die Erstellung des Modells erfolgt dabei in zwei Stufen. In der ersten Stufe wird in einem gedanklichen und symbolischen Aufbau des Modells der DetAILierungsgrad festgelegt, der maßgeblich von den in der Zielformulierung definierten Ergebnissen beeinflusst wird. Das reale System wird dabei soweit abstrahiert, dass dessen wesentliche Parameter, sowie die Aufbau- und Ablaufstruktur erfasst werden, jedoch auch eine akzeptable Projektlaufzeit gewährleistet ist. Mithilfe dieser Erkenntnisse wird das System dann in der zweiten Stufe mithilfe einer Simulationssoftware in ein Modell umgesetzt (VDI 3633 – Blatt 1 2010, S. 31, 34). Systemspezifische Ablaufregeln und Strategien müssen dabei meist zusätzlich programmiert werden (Kuhn und Wenzel 2008, S. 87).

Um zu gewährleisten, dass die Systemeigenschaften im Modell korrekt wiedergegeben werden, muss das Modell verifiziert und validiert werden (Page 1991, S. 16). Im Rahmen der *Verifizierung* (oder *Verifikation*) wird dabei überprüft, ob das Modell richtig umgesetzt worden ist, d. h. ob das Konzept zur Abbildung des realen Systems sowie die dafür notwendigen Strukturen und Regeln korrekt in das Simulationsmodell umgesetzt worden sind. Die Verifizierung findet daher typischerweise während und nach Abschluss der Modellimplementierung statt. Da logistische Systeme häufig sehr komplex sind, ist ein formaler Beweis für die Korrektheit des Modells oft sehr aufwändig und schwierig (Rabe et al. 2008, S. 14). Um das Modell dennoch zu verifizieren, gibt es eine Reihe verschiedener Metho-

den, von denen im nächsten Abschnitt eine Auswahl vorgestellt wird. Im Unterschied zur Verifizierung überprüft die *Validierung*, ob das erstellte Modell für die zu untersuchende Problemstellung das geeignete Modell ist, d. h. ob das Verhalten des realen Systems genau genug im Modell wiedergegeben ist (Rabe et al. 2008, S. 15). Die Validierung muss daher während aller Phasen der Simulationsstudie durchgeführt werden und dabei bemerkte Auffälligkeiten eine Korrektur in einem der vorangegangenen Arbeitsschritte bewirken (Kuhn und Wenzel 2008, S. 86 ff). Die Verfahren für die Validierung und Verifizierung eines Modells lassen sich oft nicht eindeutig einem der beiden Bereiche zuordnen. Nicht zufriedenstellende Ergebnissen der Tests können sowohl in der Annahme falscher Werte, Strukturen oder Regeln (Validierung) als auch in der nicht korrekten Umsetzung der richtig getroffenen Annahmen im Modell (Verifizierung) begründet sein (Rabe et al. 2008, S. 16). Im weiteren Verlauf wird eine Auswahl wichtiger Testverfahren zur Verifikation und Validierung kurz erläutert. Da sich eine gewisse Subjektivität der Methoden trotz des Ziels, einen objektiven Nachweis der Modellkorrektheit anzustreben, nicht vermeiden lässt, sind diese zur Orientierung nach absteigendem Grad der Subjektivität gelistet („sehr hoch“ bis „weniger hoch“, nach (Rabe et al. 2008, S. 116)).

Animation Dieses Verfahren basiert auf der Beobachtung der graphischen Darstellung während eines Simulationslaufs. Vorteilhaft kann es daher bei der Untersuchung des Modellverhaltens in kurzen Phasen angewendet werden. Fehler in selten auftretenden Situationen können damit kaum erkannt werden. (Law 2007, S. 252)

Begutachtung/strukturiertes Durchgehen Mit Personen, die nicht maßgeblich an der Entwicklung des Modells beteiligt waren, wird die Richtigkeit verschiedener Modellaspekte festgestellt. Wesentliche Gesichtspunkte sind dabei bspw. die Angemessenheit der getroffenen Annahmen und die Struktur der Modellierung. (Liebl 1995, S. 202; Rabe et al. 2008, S. 97, 104 f)

Monitoring Bei diesem Verfahren erfolgt während eines Simulationslaufs die graphische Darstellung von interessanten Werten (z. B. Wert einer Variablen oder die Auslastung einer Ressource), die auf diesem Wege einfach überprüft werden können. Getestet wird damit allerdings nur der auf diese Weise sichtbar gemachte Bereich des Modells. Sinnvoll ist es, die Werte im Zeitverlauf darzustellen, um extreme Ausschläge der Kurven o. ä. zu erkennen. (Rabe et al. 2008, S. 101 f)

Trance-Analyse Hierbei wird ein einzelnes Objekt in seinem Modelldurchlauf verfolgt, wobei überprüft wird, ob das Ablaufverhalten der Zustände und Ereignisse plausibel ist. Hilfreich für die Objektivität des Verfahrens ist es, im Vorhinein Hypothesen über den Ablauf zu formulieren. (Liebl 1995, S. 201 f)

Sensitivitätsanalyse Es werden die Auswirkungen untersucht, die veränderte Eingabeparameter auf das Systemverhalten haben. Diese müssen mit Beobachtungen am realen System übereinstimmen. (Rabe et al. 2008, S. 102 f)

Festwerttest Um die Korrektheit des Systemverhaltens nachzuweisen, werden alle stochastischen Einflüsse ausgeschaltet, indem nur fixe Werte im Modell verwendet werden (z. B. für Bearbeitungszeiten). Das so entstehende deterministische Modell verhalten bzw. Teilespekte davon können dann auch analytisch berechnet werden, so dass ein direkter Vergleich auf Richtigkeit möglich ist (z. B. die Leistung einer Bearbeitungsstation). (Rabe et al. 2008, S. 99 f)

Vergleich mit aufgezeichneten Daten Daten aus der Simulation werden dabei mit vergangenheitsbezogenen Daten aus einem realen System verglichen, sofern dieses vorhanden ist. Es muss jedoch darauf geachtet werden, dass das System nicht nur mit den Daten verglichen wird, die auch zur Justierung der Systemparameter genutzt worden sind, da diese mit einem Fehler behaftet sein können. (Law 2007, S. 253 f; Rabe et al. 2008, S. 111)

Ereignisvaliditätstest Hierbei erfolgt ein Vergleich des mengenmäßigen Auftretens und der zeitlichen Abfolge von Ereignissen in der Simulation und im realen System. Für eine hinreichend objektive Beurteilung sollten im Vorhinein Hypothesen zum Modellverhalten aufgestellt werden, deren Gültigkeit dann auch in der Simulation nachgewiesen wird. (Rabe et al. 2008, S. 98 f).

Die Verfahren zur Verifikation und Validierung müssen sinnvoll miteinander kombiniert werden, um ein insgesamt stabiles Modell zu erhalten (Rabe et al. 2008, S. 115 f). Nicht jedes Verfahren eignet sich jedoch für alle Phasen der Modellierung (überblick siehe Rabe et al. 2008, S. 113 f).

An dem fertig implementierten Modell werden in der Phase der *Durchführung*, welche der Vorbereitungsphase folgt, mithilfe von Simulationsexperimenten systematisch Variationen und Kombinationen von verschiedenen Strategien und Parametern in Hinblick auf ihre Systemauswirkungen untersucht (Kuhn und Wenzel 2008, S. 88). Dabei können die in Abb. 21.22 dargestellten vier grundlegenden Anwendungsfälle unterschieden werden. Wird ein bekanntes System, d. h. ein detailliert definierbares reales System, unter einer bekannten Systemlast untersucht, erfolgt der Nachweis der Funktionalität des Systems. Der zweite Fall, die Analyse von Systemalternativen, erfolgt zur Sicherstellung der Vergleichbarkeit typischerweise bei gegebener Systemlast. Im Gegensatz dazu können im dritten Fall für ein gegebenes System unter Variation der Systemlast die Leistungsgrenzen der Systemkomponenten ermittelt werden. Im Rahmen von Grundlagenforschung werden darüber hinaus mit Hilfe von Parametervariationen unbekannte Systeme untersucht, deren Systemlast ebenfalls nicht fest definiert ist. (VDI 3633 – Blatt 3 1997, S. 4)

Für jedes Experiment werden Simulationsläufe durchgeführt, deren Ergebnisse aufbereitet, analysiert und überprüft werden müssen. Die Ergebnisse der verschiedenen Experimente (Szenarien) bieten dann eine objektive Entscheidungsbasis, zur Auswahl einer geeigneten Lösungsstrategie für das zu Anfang der Simulationsstudie definierte Problem (Kuhn und Wenzel 2008, S. 76). Die entsprechende Strategie kann dann im realen System umgesetzt werden.

Eine detailliertere Beschreibung typischer Anwendungen der Methode Simulation auf Problemstellungen der Verkehrs- und Transportlogistik erfolgt in Abschn. 22.5.

System	Systemlast	Simulationsergebnis
bekannt	bekannt	Funktionalität von Technik und Systemorganisation
unbekannt	bekannt	Ermittlung technischer und organisatorischer Alternativen
bekannt	unbekannt	Leistungsgrenzen
unbekannt	unbekannt	Allgemeingültige Aussagen über typische Systemstrukturen

Abb. 21.22 Anwendungsfälle von Simulationsstudien nach VDI 3633 – Blatt 3 (1997, S. 4)

21.4 Wirtschaftsverkehrsmodellierung

Carina Thaller

Ein *Modell* ist im Allgemeinen eine zweckbezogene Abbildung eines realen Systems, in dem die Wirklichkeit vereinfacht dargestellt und die wichtigsten Aspekte hervorgehoben werden (Ortúzar und Willumsen 2001). Sie bilden die Grundlage für Untersuchungen von Veränderungen (Simulation) und der Auswirkungen, wenn diese in der Realität nicht oder nicht ohne Risiko durchgeführt werden können. Abhängig vom Modellzweck können und müssen dabei immer Abstraktionen vorgenommen werden, um die relevanten Zusammenhänge abbilden und beschreiben zu können (Bossel 2004, S. 50).

Der Überbegriff *Verkehrsmodell* findet für alle Modelle Verwendung, die ein Verkehrssystem abbilden. Somit ist ein *Wirtschaftsverkehrsmodell* die vereinfachte Abbildung bzw. Darstellung des Wirtschaftsverkehrs, die relevante Aspekte in diesem Kontext (z. B. bestimmte Verkehrsträger, Untersuchungsgebiet) untersucht. Neben der Zielsetzung ist der Abstraktionsgrad abhängig von der Größe des zu modellierenden Verkehrssystems. Das Verkehrsmodell übernimmt dabei die Aufgabe, das Verkehrsgeschehen idealisiert nachzubilden und das Verkehrsangebot und -nachfrage zu beschreiben.

Die Verkehrsinfrastruktur mit ihren zugehörigen Eigenschaften in Form eines Verkehrsnetzes wird unter dem Begriff *Verkehrsangebot* definiert. Durch seine Service-Eigenschaft und weiteren angebotsseitigen Komponenten des Verkehrssystems kann das Verkehrsangebot spezifischer charakterisiert werden (Ortúzar und Willumsen 2001; Cerwenka et al. 2000):

- Hardware: Infrastruktur (Verkehrsträger) und Rollmaterial (Verkehrsmittel)
- Software: Logistik (zur erforderlichen Informationsübermittlung), Normengefüge (Ge- und Verbote sowie Rechtsvorschriften) und Mobilitäts- bzw. Transport- und Reisekosten (Tarifsystem)

Die *Verkehrsnachfrage* beschreibt hingegen alle Ortsveränderungen von Personen oder Fahrzeugen, die sich innerhalb eines definierten Zeitraumes unter Berücksichtigung von ökonomischen und verkehrsplanerischen Gegebenheiten ereignen. Die Verkehrsnachfrage wird somit vom Verkehrsbedarf abgeleitet, der u. a. durch die Siedlungsstruktur bedingt ist (Kirchhoff 2002).

Die Verkehrsnachfrage ist nach folgenden Merkmalen charakterisierbar (Ortúzar und Willumsen 2001):

- „Qualitative and differentiated“: Die Verkehrsnachfragen können durch ihre Anforderungen differenziert werden, u. a. durch Zeitpunkt, Geschwindigkeit und Regelmäßigkeit. Zusätzlich beeinflussen auch die Güterart (Güterverkehr) und der Wegezweck im Personenverkehr die Verkehrsnachfrage. Jeder Nachfrage liegen unterschiedliche Rahmenbedingungen zu Grunde, die das Verkehrsangebot erfüllen muss.
- „Derived“: Verkehrsnachfragen sind Folge und Auswirkung von Bedürfnissen und generieren sich durch Verkehrs- und Transportbedarfe. Sie stellen in diesem Kontext keine Ursache dar.
- „Takes place over space“: Verkehrsnachfragen sind durch ihren räumlichen Kontext gekennzeichnet, der die explizite Berücksichtigung von Distanzen und die Verortung der Quell- und Zielorte von Verkehrsbedarfen erfordert.
- „Dynamic“: Innerhalb eines Zeitraumes unterliegen die Verkehrsnachfragen Tages- oder Wochenschwankungen und sind somit nicht statisch bzw. konstant.

Das Verkehrsangebot und die Verkehrsnachfrage sind also die Grundlage, um ein Verkehrssystem zu beschreiben. Diese Komponenten werden in ein Verkehrsmodell implementiert, um z. B. die Verkehrsbelastungen und Wirkungen von Maßnahmen zu ermitteln.

21.4.1 Anwendungsbereiche und Zielsetzung

Für die einzelnen Verkehrsarten (Personen-, Güterverkehre) sind Modelle entwickelt worden, die auf die jeweiligen Besonderheiten ausgerichtet sind. Wirtschaftsverkehrsmodellierung ist im Gegensatz zur Personenverkehrsmodellierung eine junge Forschungsdisziplin und hat sich in ihrer Entwicklung und Anwendung weltweit in verschiedene Richtungen entwickelt (Tavasszy 2006).

Verkehrsmodelle können die Kausalfaktoren der Verkehrsgenese und seiner Prozesse mit den bedingten Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen unter definierten Rahmenbedingungen abbilden und erklären. Auch die erwarteten Auswirkungen auf das Verhalten der Verkehrsteilnehmer und -ströme auf Maßnahmen können damit abgeschätzt werden. Diese Maßnahmen werden durch die Bereiche Stadtentwicklung, Verkehrsinfra-

strukturplanung, Ordnungspolitik und Verkehrsorganisation bestimmt (Sonntag et al. 1996).

Somit verfolgen die Verkehrsmodelle zwei wesentliche Ziele:

- Vorhersage von Maßnahmenwirkungen als Basis für konkrete Entscheidungen im Planungsprozess
- Realitätsnahe Darstellung der konkreten Abläufe unter ökonomischen Gesichtspunkten

Gemeinsames Ziel dieser Modelle ist, das erwartete Wirtschaftsverkehrsaufkommen verschiedener regionaler Untersuchungsräume zu erklären und zu prognostizieren sowie die erwarteten Reaktionen auf Maßnahmen der verschiedenen Verkehrsteilnehmer abzuschätzen. Weitere Hinweise dazu finden sich in de Jong et al. (2004).

21.4.2 Grundlagen der Verkehrs nachfragemodellierung

Unter dem Begriff *Verkehrs nachfrage* wird die ausgetauschte Menge an Gütern oder Fahrten zwischen zwei Zellen eines Untersuchungsraumes verstanden. Viele Modellansätze, auch u. a. für Wirtschaftsverkehrsprognosen, basieren auf dem Vierstufen-Algorithmus nach Manheim (1979).

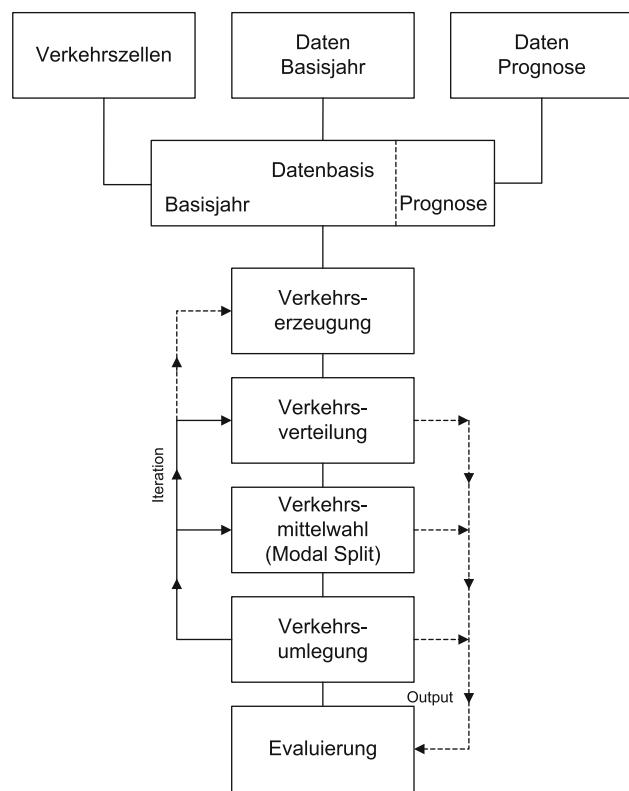
In der Abb. 21.23 wird dieser Ansatz kurz im Überblick dargestellt.

Das Verkehrsmodell wird auf Basis von ausgewählten und kalibrierten Daten entwickelt. Die Datenbasis besteht hauptsächlich aus Bevölkerungs-, Wirtschafts-, Raumstruktur- und Bildungsdaten (Ortúzar und Willumsen 2001, S. 23). Der zuvor definierte Untersuchungsraum wird in Verkehrszellen aufgeteilt. Daraus werden nun die sogenannten vier Stufen des Modells generiert:

- Verkehrserzeugung
- Verkehrsverteilung
- Verkehrsmittelwahl (Modal Split)
- Verkehrsumlegung

Unter dem Begriff *Verkehrs nachfragemodellierung* werden die ersten beiden Schritte der vierstufigen Modellierung Verkehrserzeugung und -verteilung verstanden. Im ersten Schritt wird die Verkehrs nachfrage erfasst und im zweiten Schritt die generierten Fahrten auf die jeweiligen Zielzellen verteilt. Der dritte Schritt beinhaltet die Verteilung der einzelnen Verkehrsströme auf die verschiedenen Verkehrsmittel, die für den Verkehr zur Verfügung stehen. Der Bereich Verkehrsmittelwahl wird in einigen Verkehrs nachfragemodellen direkt als Sub-Modell integriert oder indirekt als Nebenbedingung bzw. Eingangsgröße berücksichtigt. Im vierten Schritt werden die Fahrten der einzelnen Transportmittel innerhalb der entsprechenden Netzwerke (auf infrastruktureller Ebene) verteilt; hier erfolgt die sogenannte Routenwahl.

Abb. 21.23 Vier-Stufen-Ansatz (Quelle: Eigene Darstellung nach Ortúzar und Willumsen 2001)



Zwischen den jeweiligen Sub-Modellen existieren Rückkopplungen, die meist in mehreren Iterationen aufeinander abgestimmt werden. Abschließend kann auf Basis der Ergebnisse bzw. des Outputs eine Evaluierung erfolgen. Für weitere Informationen kann u. a. auf Schnabel und Lohse (1997) und Kutz (2003) zurückgegriffen werden.¹

Dieser Modellansatz ist jedoch für den Personenverkehr konzipiert worden, der sich maßgeblich vom Wirtschaftsverkehr unterscheidet (de Jong et al. 2004, S. 104). Wirtschaftsverkehrsströme werden durch eine Vielzahl von Entscheidungsträgern (Sender, Spediteur, Frachtführer, Fahrer, Empfänger) beeinflusst und generiert. Der Wirtschaftsverkehr stellt damit einen komplexeren Untersuchungsgegenstand dar als die Individuen mit ihrem Verhaltensmustern in der Personenverkehrsmodellierung (de Jong et al. 2004; National Institute for Transport and Logistics 2005). Der Wirtschaftsverkehr unterscheidet sich zusätzlich gegenüber dem Personenverkehr durch die Vielzahl an verschiedenen Beförderungsaufgaben (z. B. Paketzustellung mit vielen Zwischenstopps, Massenguttrans-

¹ Zusätzliche Hinweise zu den vier Stufen des Verkehrsmodellierungsansatzes liefern Liedtke (2006); de Jong et al. (2004); Leontief und Strout (1963); Ortúzar und Willumsen (2001); Liedtke und Schepperle (2004); Aberle (2000); Ben-Akiva und Lerman (1985); Train (2003) und Hensher und Button (2000).

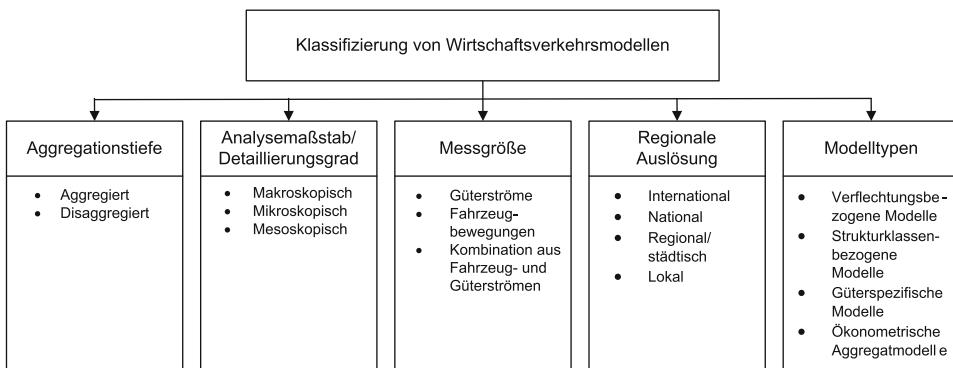


Abb. 21.24 Kriterien zur Unterscheidung von Wirtschaftsverkehrsmodelle (Quelle: Eigene Darstellung nach Gühnemann und Liedtke 2005)

porte). Die Verkehre finden in diesem Kontext innerhalb eines komplexen Netzwerks statt.

21.4.3 Klassifizierung der Modellkriterien

Wirtschaftsverkehrsmodelle lassen sich hinsichtlich verschiedener Kriterien klassifizieren, die Rückschlüsse auf erforderliche Daten, Anwendungsgebiete bzw. Systemgrenzen und Vorgehensweisen bei der Modellierung ermöglichen (siehe Abb. 21.24). Im Folgenden wird ein Überblick der verschiedenen Modellansätze gegeben, die aus den Ausprägungen der folgenden Aspekte resultieren (Gühnemann und Liedtke 2005).

In der Wirtschaftsverkehrsmodellierung sieht das *Aggregationsniveau* eine Differenzierung nach aggregierten und disaggregierten Ansätzen vor.

Bei aggregierten bzw. zonenbasierten Modellen wird der definierte Betrachtungsraum in Verkehrszellen unterteilt und die Verkehrs nachfrage je Zelle (Raumeinheit) aus den Strukturdaten dieser Verkehrszelle abgeleitet oder verdichtete Verkehrsdaten je Verkehrszelle als Parameter verwendet. Der aggregierte Ansatz ist immer noch der meist verwendete in der Wirtschaftsverkehrsmodellierung in Deutschland (z. B. Bundesverkehrswegeplanung) sowie auf europäischer Ebene (Liedtke und Schepperle 2004; Spahn et al. 2005). Nach diesem Ansatz werden der Wirtschaftsverkehr und seine Genese mittels beobachtbaren Verkehrsströmen einerseits und der Struktur und Dynamik der Verkehrserzeuger andererseits analysiert. Aggregierte Wirtschaftsverkehrsmodelle nutzen statistische Daten, die in unterschiedlichen Aggregationsstufen vorhanden sind (z. B. bezogen auf eine Stadt, ein Bundesland). In diesem Kontext sind aggregierte Modelle stets makroskopisch (Liedtke 2006).

Disaggregierte Verkehrsmodelle leiten die Verkehrs nachfrage durch das Verhalten von Einzelunternehmen oder verhaltenshomogenen Gruppen ab. Die Modellbildung basiert dabei auf unverdichteten Daten (Liedtke 2006, S. 33). Als spezifische Erscheinungsform der disaggregierten Modelle sind agentenbasierte Modelle (Akteursmodelle) zu erwähnen, die das Entscheidungsverhalten relevanter Akteure im Wirtschaftsverkehr berücksichtigen.

Die interagierenden Akteure, die an Transportprozessen beteiligt sind, werden einzeln dargestellt. Das Verhalten des Gesamtsystems wird also durch die Aktionen (Aktivitäten) der Individuen abgebildet (Rothengatter und Liedtke 2006; Ortúzar und Willumsen 2001). Im Gegensatz zu den aggregierten Modellen gehen diese Modelle nicht mehr von einem homogenen Verhalten aller Akteure aus. Sie bilden die Auswirkungen von einzelnen Maßnahmen auf den Entscheidungsprozess einzelner Akteure ab. Damit kann in diesem Kontext eine differenzierte Bewertung der Maßnahmen stattfinden (Wermuth und Wirth 2005, S. 312).

In den letzten Jahren wurden vermehrt disaggregierte bzw. mikroskopische Modelle entwickelt, die den Wirtschaftsverkehr verhaltensbasiert erklären (Varschen et al. 2005, S. 34). Zwei wesentliche Entwicklungen haben den Reifegrad dieser Modelle erhöht – der Einsatz von Mikrosimulation und insbesondere der Multi-Agenten Technologie sowie die Entwicklung performanter Meta-Heuristiken zur Lösung komplexer Planungsprobleme. Für Sub-Modelle des Vier-Stufen-Ansatzes werden nun auch disaggregierte Modelle herangezogen. Aktuelle mikroskopische Ansätze verwenden zur Klassifizierung nicht mehr ausschließlich Güterklassifizierungen nach der *Nomenclature Uniforme de Marchandises pour les Statistiques de Transport* (NST 2007)² wie in makroskopischen Modellen, sondern zusätzlich Klassifizierungen von Wirtschaftssektoren nach der *Nomenclature Générale des Activités Économiques dans les Communautés Européennes* (NACE) und der Wirtschaftszweigsystematik in Deutschland (WZ) (Schaich und Schmidt 2012). Unterschied zu aggregierten Modellen ist, dass disaggregierte Modelle die Originaldaten von statistischen Erhebungen nutzen. Jede Beobachtung stellt eine einzelne Entscheidung dar.

Ein zweites Klassifizierungskriterium für die Verkehrsnachfragemodellierung des Wirtschaftsverkehrs stellt der Analysemaßstab dar, der meist von der Zielsetzung der Modellierung abhängig ist (Gringmuth et al. 2005; Liedtke 2006). Wirtschaftsverkehrsmodelle können anhand des Analysemaßstabs in makro- und mikroskopische Modelle eingeteilt werden.

Die makroskopischen Modelle betrachten Gütergruppen und Güterströme bezogen auf die Verkehrsflüsse. Bei dieser Betrachtungsweise werden Kanten zwischen zwei Knoten als Ströme dargestellt, die das Einzelverhalten von Akteuren vernachlässigen (Persson und Davidsson 2007, S. 5 f.). In diesem Rahmen werden großräumige Verkehrsflüsse mit überörtlichen Verkehrsbeziehungen sowie regionale und globale Produktions- und Verbrauchsstrukturen modelliert. Die Verkehrsnachfrage kann mittels aggregierter Kennwerte für Fahrzeugkollektive, Wirtschaftsbranchen oder Gütergruppen in den betrachteten Wirtschaftsräumen analysiert werden. Die Wechselwirkungen zwischen Verkehrsnachfrage und Verkehrsangebot werden über mittlere Zusammenhänge zwischen Verkehrsstärke, -dichte und mittlerer momentaner Geschwindigkeit dargestellt.

Bei der mikroskopischen Modellierung wird die Verkehrsnachfrage des Gesamtsystems von dem Verhalten der einzelnen Akteure abgeleitet und die jeweiligen Wechselwirkun-

² NST 2007 gehört zu den internationalen Waren- und Güterverzeichnissen. Die NST dient als Grundlage für die Gliederung der gemeinschaftlichen Güterverkehrsstatistiken. Damit ist sichergestellt, dass Statistiken aus dem Verkehrsbereich mit anderen Statistikbereichen vergleichbar sind. Seit dem Berichtsjahr 2008 wird die NST-2007 verwendet (Schaich und Schmidt 2012).

gen dieser simuliert. Insbesondere die Wirtschaftsverkehrsgenese betrieblicher Standorte und einzelner Transportaufträge sowie Touren sind hier von Interesse (Rothengatter und Liedtke 2006). Diese Modelle nutzen disaggregierte Datengrundlagen, die – falls notwendig – aus den aggregierten Daten abzuleiten sind. Jedoch sind disaggregierte Modelle nicht unbedingt mikroskopisch, da sich die Daten auch auf ein homogenes Verhalten einer Gruppe beziehen können (Liedtke 2006, S. 33). Mittels der mikroskopischen Modellierung kann eine zeitlich und räumlich detaillierte Darstellung der Wirtschaftsverkehre erfolgen. Die mikroskopischen Modelle liefern zwar eine hohe Präzision, die Rechengeschwindigkeit ist jedoch aufgrund der größeren zu bewältigenden Datenmengen sehr niedrig. Diese Modelle finden meist nur für einen Verkehrsträger und in kleinräumigen Untersuchungsgebieten Anwendung³.

Neben den mikroskopischen und makroskopischen Ansätzen werden in den vergangenen Jahren auch mesoskopische Modelle entwickelt, die beide Modellierungskonzepte kombinieren. Dadurch können multimodale Routen oder das Marktverhalten von Akteuren abgebildet werden.

Ferner können die Wirtschaftsverkehrsmodelle anhand der verwendeten Basisgrößen (*Abbildungsgegenstand*) differenziert werden (Meimbresse et al. 1996; Machledt-Michael 1999). Fahrzeugbewegungen und Güterströme sind die zu unterscheidbaren *Messgrößen* im Wirtschaftsverkehr.

Die güterbezogenen Wirtschaftsverkehrsmodelle konzentrieren sich dabei auf die Ursache der generierten Verkehre, u. a. auf Güterarten und ihr spezifisches Aufkommen. Die Güterströme werden hierbei ausgehend von den ökonomischen Interaktionen der Verkehrszenellen in Fahrzeugströme überführt. Dadurch können Verkehrsangebotsbelastungen abgeleitet werden. Der Ansatz ermöglicht es, das Verkehrsaufkommen und den zugehörigen Modal-Split zwischen Verkehrsträgern darzustellen. Hierbei werden statistische Zusammenhänge zwischen Güteraufkommen und wirtschaftlichen Strukturmerkmalen der Produktion und Verarbeitung herangezogen. Der Ansatz ist prinzipiell für großräumige Fragestellungen geeignet, da mit der Basisgröße Güterstrom ein großflächiger Betrachtungsraum mit einer groben Einteilung in Verkehrszenellen verbunden ist (Wermuth und Wirth 2005, S. 311). Hauptsächlich werden diese Modellansätze auf nationaler und internationaler Ebene eingesetzt.

Nach Wermuth und Sommer (2003) werden bei güterbezogenen Modellierungsansätzen vier wesentliche Modelltypen eingesetzt, u. a. verflechtungs-, strukturklassenbezogene, gütergruppenspezifische sowie ökonometrische Aggregatmodelle.

- Die *verflechtungsbezogenen Modelle* werden auf Basis von Güterverflechtungen, die aus Gesamtverkehrserhebungen gewonnen werden, entwickelt. Dabei werden Hochrechnungsmethoden basierend auf Entwicklungsfaktoren einzelner Verkehrszenellen eingesetzt und die Güterverflechtungen und -relationen fortgeschrieben.

³ z. B. Fahrtenketten-Modell (Machledt-Michael 2000), GoodTrip – Urban Freight Movement in Supply Chains (Boerkamps und van Binsbergen 1999, 2000), WiVSim, InterLOG (Liedtke 2006)

- In *strukturklassenbezogene Modelle* werden die Segmente Bearbeitung, Verteilung und Konsum durch einfache Kennwerte in simplifizierten Güterflussmodellen beschrieben. Über die identifizierten Strukturgrößen wird das Güteraufkommen abgeleitet. Dabei wird u. a. über die Anzahl der Beschäftigten im primären und sekundären Sektor die Güterproduktion bestimmt und die Einwohnerzahl als Determinante für den Konsum herangezogen. Die Berechnung des Güteraufkommens für jede Verkehrszelle erfolgt auf Basis von strukturgrößenspezifischen Empfangs- und Versandarten.
- *Gütergruppenspezifische Modelle* haben sich aus strukturklassenbezogenen Modellen entwickelt. Die Strukturklassen Produktion, Verteilung und Konsum werden jedoch nach einzelnen Gütergruppen weiter differenziert. Die Unterscheidung erfolgt hier in Anlehnung an bestimmte Wirtschaftssektoren bzw. -branchen. Für jeden Wirtschaftssektor werden Empfangs- und Versandraten der spezifischen Gütergruppen erhoben, die in der Modellierung Berücksichtigung finden.
- *Ökonometrische Aggregatmodelle* ermitteln den Güteraustausch für größere Raumeinheiten mittels Input-Output-Modellen (z. B. nach Leontief et al. 1963) oder Regressionsanalysen (z. B. aufgrund der Güterverkehrsstatistik). Diese Modelle fokussieren sich auf den Güterfernverkehr.

Aus der Wirtschaftsverkehrsfrage modellierung resultiert für jede Gütergruppe eine Güterstrommatrix zwischen den Untersuchungsräumen, die Aussagen über das Nachfrageverhalten generiert (Rothengatter und Liedtke 2006).

Die fahrten- bzw. fahrzeugbezogenen Wirtschaftsverkehrsmodelle (Fahrtenketten-Modell von Machledt-Michael, WiVSim) hingegen generieren das relevante Verkehrs-aufkommen direkt aus den Eigenschaften (Strukturdaten) der betrachteten Akteure bzw. Verkehrszellen, ohne zuvor Gütermengen zu berücksichtigen (Wermuth und Wirth 2005). Unter Einbezug von fahrzeugbezogenen Kennwerten werden die einzelnen Fahrten eines Fahrzeugs im Untersuchungsraum modelliert. Die Moduswahl muss in diesem Fall in verkehrsmittelspezifischen Kennwerten oder Modal Splits vorgegeben werden und ist nicht Teil des eigentlichen Nachfragemodells. Neben diesen Rahmenbedingungen kann die tatsächliche Fahrzeugbelastung der Infrastruktur besser abgebildet werden. Diese Modelle finden häufig nur Anwendung für einen Verkehrsträger (z. B. Straße) und kleinere Be-trachtungsräume. Insbesondere in städtischen Ballungsräumen ist dieser Modellansatz aufgrund der vielfältigen Wechselbeziehungen in Industrie und Handel verbreitet.

Bezogen auf die *regionale Auflösung bzw. den Betrachtungsraum* kann zwischen internationalen Modellen (z. B. SCENES, STEMM, ITEMS), nationalen Modellen (SAMGODS von SIKA 2004; TFK et al. 2002; NEMO von de Jong et al. 2004; RAND Europe & SITMA 2005) und regionalen Modellen (z. B. VISEVA-W von Lohse et al. 1997; WIVER von Sonntag et al. 1999) unterschieden werden. Aber auch Modelle für städtische (GoodTrip von Boerkamps und Binsbergen 1999, 2000; Fahrtenketten-Modell von Machledt-Michael 2000; Schwerdtfeger 1976; Schmidt 1977) sowie betriebliche Untersuchungsräume (Werkverkehre, Vorfeldverkehre an Flughäfen) sind umgesetzt worden.

21.4.4 Nationale und internationale Wirtschaftsverkehrsmodelle

Es existiert eine Vielzahl an Verkehrsnachfragermodellen. Allein in Europa wurden bis 2005 ca. 222 Modelle entwickelt, davon beziehen sich 65 nur auf den Wirtschaftsverkehr und 29 werden mit dem Personenverkehr kombiniert (de Jong et al. 2004, S. 104; de Jong et al. 2012). Die meisten dieser Wirtschaftsverkehrsmodellierungsansätze sind aus Personenverkehrsmodellen abgeleitet worden.

Einen vertieften Überblick über Wirtschaftsverkehrsmodelle in Europa und Nord-Amerika bieten Hensher und Button (2000); de Jong et al. (2004); ME&P & WSP (2002); Arndt (2010); Mest (2011) und Tavasszy et al. (2010).

Im folgenden Abschnitt werden ausgewählte Wirtschaftsverkehrsmodelle mit ihren unterschiedlichen Eigenschaften und Strukturen vorgestellt und im Detail erläutert. Der Fokus liegt dabei auf Ansätzen, die logistische Aspekte in der Modellentwicklung berücksichtigen. Dabei handelt es sich um das makroskopische, aggregierte Großraummodell SMILE (Niederlande), den verhaltensbasierten, disaggregierten Ansatz InterLOG (Deutschland), das mikroskopische, agentenbasierte WiVSim (Deutschland) und das makroskopische, disaggregierte „kleinräumige Wirtschaftsverkehrsmodell“ (KWM) (Deutschland). Diese vier verschiedenen Ansätze sollen zur Veranschaulichung und zur Plausibilisierung der Thematik Wirtschaftsverkehrsmodellierung herangezogen werden.

21.4.5 SMILE

Das makroskopische, aggregierte Modell SMILE „Strategic Model for Integrative Logistics Evaluations“ wurde in den Niederlanden entwickelt und betrachtet Distributionszentren mit den entsprechenden Konsolidierungsmöglichkeiten sowie die dadurch resultierenden Verkehrsströme basierend auf Routenplanungen. Nicht nur inländische Transportflüsse, sondern auch Transitflüsse sowie Im- und Exporte werden in dem Modell abgebildet. Unter Einbezug ökonomischer Entwicklungen werden Verkehrsströme auf nationaler Ebene simuliert (Tavasszy et al. 2003; Tavasszy 2006, S. 7). Bedingt durch den aggregierten Aufbau ist das Modell nur für größere Untersuchungsräume geeignet. Innerhalb des Modells können keine singulären Bewegungen dargestellt werden (Tavasszy 2006; ME&P & WSP 2002). Zudem berücksichtigt dieser Ansatz logistische Aspekte in der Wirtschaftsverkehrsmodellierung.

Das Modell ist in drei Stufen aufgebaut. In der ersten Stufe (Produktion) findet die Verknüpfung der produzierenden Aktivitäten einzelner Unternehmen zu Produktketten statt – dieser Schritt soll die Produktionsketten abbilden. Basierend auf der Umrechnung von monetären Angaben in Gütermengen werden in SMILE Produktions- und Verbrauchs-Matrizen für einzelne Wirtschaftssektoren erstellt. Darauf aufbauend werden Standortmuster herangezogen, um Quelle-Ziel-Matrizen für die Güterflüsse zu entwickeln. In der zweiten Stufe (Bestand) wird die Lagerhaltung modelliert und dabei Distributionszentren und deren Standortermittlung berücksichtigt. In die Betrachtung werden dabei Lagerservicegrade, Bestands- und Umschlagkosten miteinbezogen und die Quelle-Ziel-

Relationen zu Transportflüssen verknüpft. Daraus resultieren Quelle-Ziel-Tabellen von Transportflüssen, die in der dritten Stufe (Transport) in die Modellierung integriert werden. Diese Phase sieht die Umlegung von Warenströmen in Transportketten vor. Ein multimodales Netzwerkmodell mit sechs Verkehrsträgern wird entwickelt, um die optimale Routenwahl für jede Güterart und jedes Element der Transportkette in Abhängigkeit der Logistikkosten zu kalkulieren. Durch das Modell können abschließend Aussagen zu Güterflüssen, Transportkosten, zu Umwelt- und Energieaspekten getroffen werden (Tavasszy et al. 2003; ME&P & WSP 2002; Iding et al. 2002; National Institute for Transport & Logistics 2005).

Im Detail kann in SMILE sogar die Kostenfunktion für 50 sogenannte „Logistics Families“ modelliert werden. Diese „Logistics Families“ sind Produktgruppen, die bzgl. ihres Handlings und Transports homogen sind. Nach Tavasszy et al. (2003) sind folgende Kriterien für dieses Vorgehen von Relevanz:

- Wertdichte ($\text{€} / \text{m}^3$)
- Packdichte (Anzahl Colli je Volumeneinheit)
- Vergänglichkeit (Zeitraum innerhalb dessen ein Produkt technisch und wirtschaftlich nutzbar ist)
- Lieferzeit
- Sendungsgröße
- Lieferfrequenz
- Nachfragehäufigkeit

Die Bereiche Umschlag, Lagerhaltung und Transport werden somit durch die identifizierten Kostenparameter abgedeckt. Innerhalb des Modells suchen sich die Güter selbstständig eine Strecke durch Logistiknetze vom Produzenten zum Konsumenten. Die aggregierte Modellierung der Güterströme bedingt dieses Verhalten (Tavasszy 2010). In der Abb. 21.25 wird die Modellstruktur von SMILE gezeigt.

21.4.6 InterLOG

Das Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung der Universität Karlsruhe (IWW) entwickelte den mikroskopischen, disaggregierten Modellansatz InterLOG (Liedtke 2006), das sowohl güter- als auch fahrzeugbezogene Aspekte enthält. Somit verfolgt der Ansatz das Ziel, die beiden bislang parallel existierenden Ansätze zu vereinen. In diesem Zusammenhang wird der Wirtschaftsverkehr verhaltensbasiert auf disaggregierter Ebene abgebildet. Der mikroskopische Ansatz generiert zunächst individuelle heterogene Akteure mit Hilfe der statistischen Monte-Carlo-Simulation und basiert auf statistischen Verhaltensparametern. Dieser Ansatz berücksichtigt also die Entscheidungen der einzelnen Akteure und bildet einfache Transport-Mesostrukturen als Folge von lokalen Marktinteraktionen im Straßengüterverkehr ab. Das Ergebnis ist eine „Produktionsland-

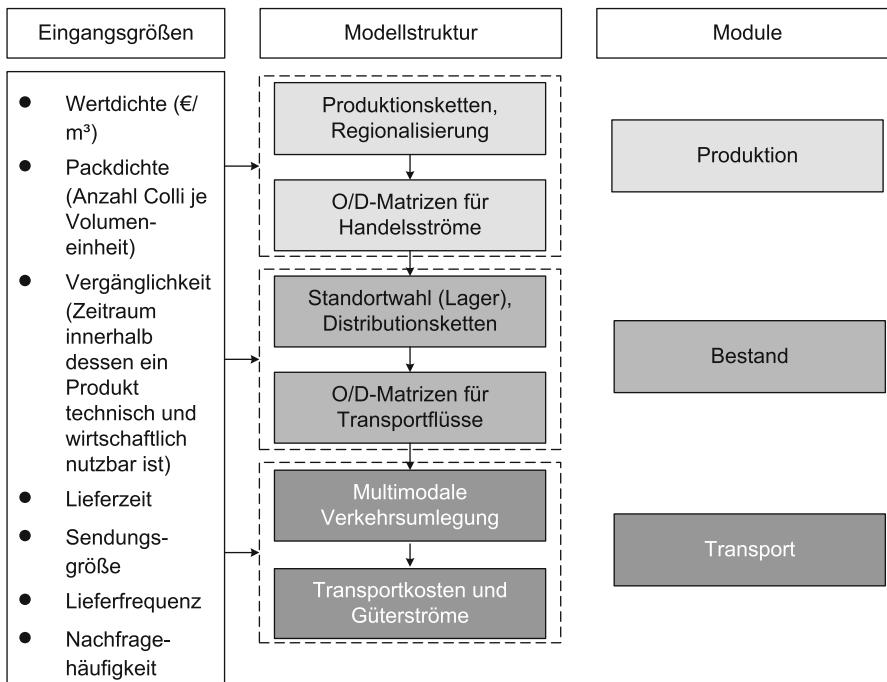
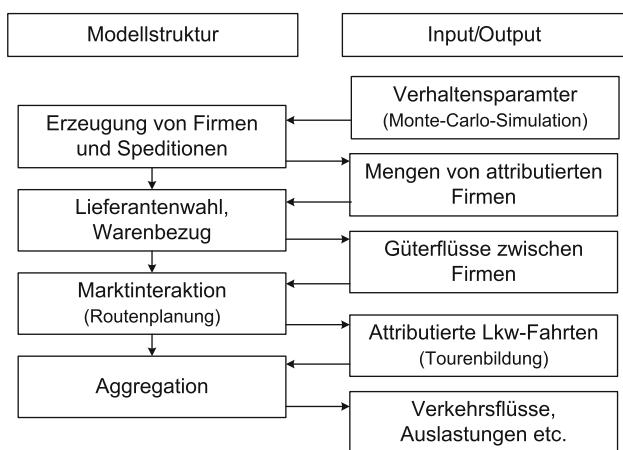


Abb. 21.25 Modellstruktur von SMILE (Quelle: Eigene Darstellung nach Tavasszy et al. 2003)

schaft“ mit einer Verteilung von Unternehmen entsprechend ihrer Standorte, Größen und ökonomischen Aktivitäten (Rothengatter und Liedtke 2006). Das Modell integriert die wesentlichen Akteure am Markt, u. a. Verlader (Versender, Empfänger) und Logistikdienstleister. Die Verlader zielen im Modell durch eine Anpassung von Lieferfrequenzen und Beauftragung eines möglichst günstigen Transportunternehmens auf die Minimierung der Gesamtlogistikkosten für einzelne Lieferbeziehungen ab. Hingegen verfolgen die Transportunternehmen das Ziel, möglichst regelmäßige und paarige Verkehre zu generieren und neue Routen dynamisch zu bilden, um auf Neuaußschreibungen des Marktes zu reagieren. Für das Submodul Routenplanung werden entsprechende Algorithmen in das Modell integriert, um die Touren (z. B. mit Teilladungen von verschiedenen Versendern) abzubilden. In den weiteren Stufen der Verkehrsmodellierung werden auch mikroskopische Ansätze angewandt. Final werden die Verkehre aggregiert (Rothengatter und Liedtke 2006; Liedtke 2006; Liedtke 2009; Mest 2011). In der Abb. 21.26 wird im Überblick die Modellstruktur von InterLog aufgezeigt.

Abb. 21.26 Modellstruktur von InterLog (Quelle: Eigene Darstellung nach Liedtke 2006)



21.4.7 WiVSim

Das Wirtschaftsverkehrsmodell WiVSim wurde vom Institut für Verkehrsforschung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt entwickelt (Knitschky et al. 2006; Lischke 2007). Es handelt sich dabei um einen mikroskopischen, agentenbasierten Modellierungsansatz. Das Modell liefert detaillierte Aussagen bzw. Prognosen zum zukünftigen Wirtschaftsverkehr für alle Verkehrsträger. Außerdem werden damit weitere Erkenntnisse zu den Einflussgrößen auf die Entscheidungen der Versender und Empfänger (Agenten) von Gütern abgeleitet und gewonnen (DLR 2008). WiVSim ist als gekoppeltes Wirtschafts- und Verkehrssimulationsmodell für den Wirtschaftsverkehr zu definieren. Der Fokus liegt auf der Prognose der Akteursentscheidungen, die in Abhängigkeit zu den ökonomischen Entwicklungen und exogenen Wirtschaftsfaktoren betrachtet wird. Die Wirtschaftsverkehrsfrage wird in WiVSim unter Berücksichtigung der Produktions- und Logistikentwicklung auf disaggregierter Ebene dargestellt (Spahn et al. 2005, S. 70 ff.). Zunächst wurde eine synthetische Wirtschaftsstruktur für den Untersuchungsraum Deutschland generiert (Bochynek et al. 2009, S. 23 ff.). Darauf aufbauend werden zwei Unternehmen der synthetischen Struktur als Versender und Empfänger eines Gutes definiert und miteinander verknüpft. Im nächsten Schritt wird die Losgröße bestimmt, auf die einzelnen Güterströme verteilt sowie jede Sendung entsprechend ihrer Eigenschaften zu einer von 18 Logistikgruppen zugeordnet (Spahn 2007). Im Anschluss werden diese Ergebnisse in ein Verkehrsmittelwahlmodell gespeist und typische Tourenmuster gebildet. Die Tourenmuster wurden aus Daten des Kraftfahrtbundesamtes (KBA) abgeleitet.

Die Logistikdienstleister werden durch Sendungszuweisung zu einer Logistikgruppe indirekt betrachtet. Diese Zuordnung stützt sich auf ein regelbasiertes System, bei dem die Regelparameter durch Annahmen definiert wurden (Spahn 2007). Diese sind also demnach exogen vorgegeben. Die Transportmuster werden entsprechend ihrer statistischen Häufigkeit zugeordnet (Spahn und Lenz 2007). In der Abb. 21.27 wird die Modellstruktur von WiVSim dargestellt.

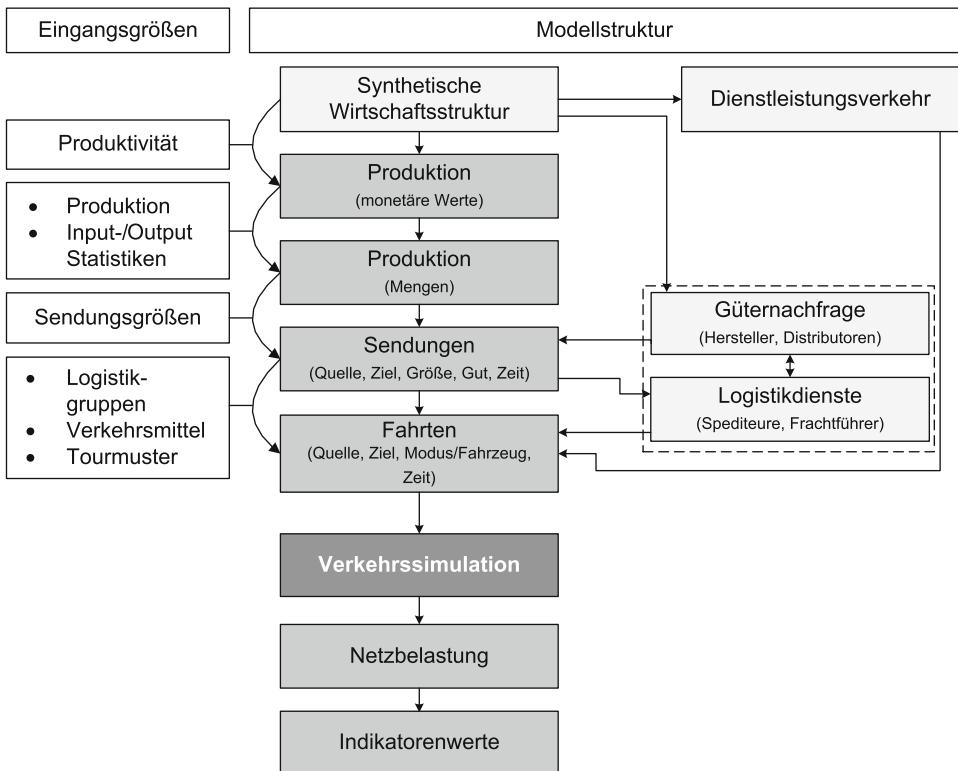


Abb. 21.27 Modellstruktur von WiVSim (Quelle: Eigene Darstellung nach Spahn et al. 2005 und Spahn und Lenz 2007)

21.4.8 Kleinräumiges Wirtschaftsverkehrsmodell (KWM)

2004 wurde das makroskopische, disaggregierte „Kleinräumige Wirtschaftsverkehrsmodell“ (KWM) von Janßen et al. (2005) zur Abbildung des Güter- und Personenwirtschaftsverkehrs aufgebaut. Es ist mittlerweile in das von der Ingenieursgruppe IVV GmbH und Co. KG vertriebene Verkehrsmodell VENUS integriert. Das KWM selber ist güter- als auch fahrtenbezogen (hybrid) und arbeitet deskriptiv. Die 5-stufige Modellierung wird durch die Verkehrserzeugung initiiert. Die vom Verknüpfungstool angepassten, aggregierten Struktur- und Verhaltensdaten fließen nun in die Modellumgebung. Im ersten Schritt werden die Fahrzeug-Transportzweck-spezifischen Start- und Stopppotentiale generiert. Diese werden aus Strukturdaten (z. B. Unternehmen, Erwerbstätigen) sowie aus verkehrsbezogenen Kennzahlen (u. a. Fahrtenaufkommen, Fahrtzweckverteilung) für jede Verkehrszelle abgeleitet. Das KWM erzeugt die Zielpotentiale direkt aus den Strukturdaten. Im nächsten Schritt werden durch den Gravitationsansatz die Start- und Stopppotentiale zu Quelle-Ziel-Relationen verknüpft. Mittels Tourenparameter werden aus diesen Quelle-Ziel-Relationen im nächsten Schritt die Touren gebildet. Durch den Savings-Algorithmus

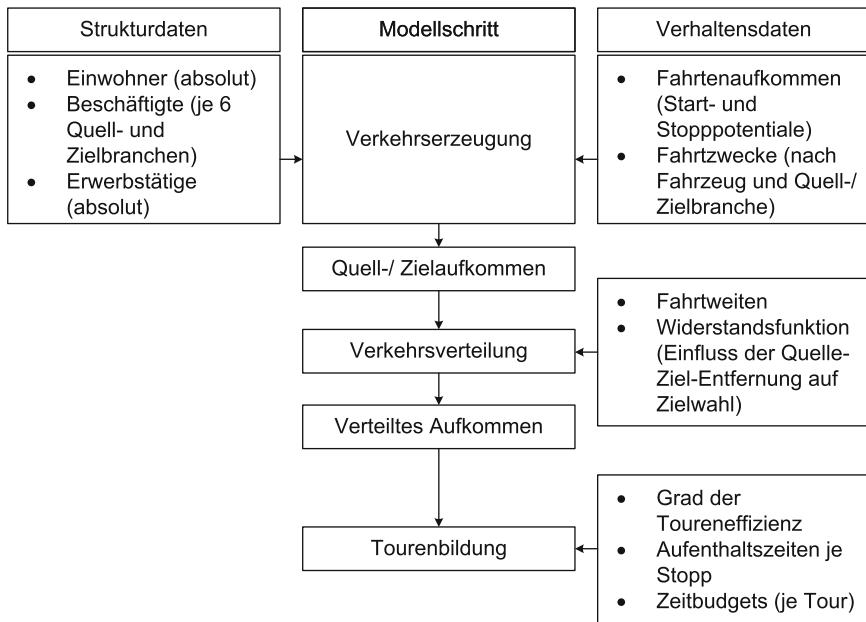


Abb. 21.28 Aufbau des KWM-Modells (Quelle: Eigene Darstellung nach Janßen et al. 2005)

werden Rundtouren erzeugt. Dabei werden die Tourenparameter als Abbruchkriterien der Touren herangezogen. Der Modellansatz gehört zur Klasse der deskriptiven Modelle, die einen geringen verhaltenserklärenden Modellierungsgrad und eine geringe Prognosefähigkeit aufweisen. Er baut auf den aus dem Personenverkehr übertragendem 4- bzw. 5-Stufenansatz auf und leitet die Verkehrsfrage über Raumstrukturgrößen und Verhaltensdaten (z. B. aus der KiD) ab (siehe Abb. 21.28).

21.4.9 Logistische Aspekte in Wirtschaftsverkehrsmodellen

Logistikkonzepte haben in hohem Maße Auswirkungen auf die Induzierung und Generierung des Wirtschaftsverkehrs und damit auf das gesamte Wirtschaftsverkehrsaufkommen. Basierend auf einer Typologisierung von Strategien und Strukturen wurde ein Modellkonzept entwickelt, das Interdependenzen zwischen den eingesetzten Logistik- bzw. Beschaffungskonzepten und Verkehren genauer beleuchtet (Clausen et al. 2007; Clausen und Neumann 2007; Clausen et al. 2008; Clausen und Iddink 2009; Clausen und Iddink 2011). Im Rahmen der Studie wurden zunächst Regelmäßigkeiten identifiziert, die konkrete Aussagen über das Verkehrsaufkommen ermöglichen und grundlegende Erkenntnisse zur Weiterentwicklung von Wirtschaftsverkehrsmodellen erlauben. Unter Berücksichtigung von Logistikkonzepten und logistischen Aspekten wurde eine Systematik von Unternehmen entwickelt. Methodisch fand das Verfahren der typologischen Ordnung Verwendung. Diese Vorgehensweise ermöglicht eine detaillierte Analyse von Unterneh-

	Strategien	Strukturen	Objekte	Prozess/ Informationsfluss
Beschaffung	<ul style="list-style-type: none"> Sourcing-Konzepte <ul style="list-style-type: none"> ▪ Arealkonzept ▪ Lieferantenanzahl ▪ Objekt ▪ Beschaffungsprinzip ▪ Wertschöpfungsort Lieferkonzepte <ul style="list-style-type: none"> ▪ Belieferung ▪ Anlieferung ▪ Produktionssynchronität 	<ul style="list-style-type: none"> Stufigkeit der Beschaffungskette Lieferantenstruktur 	<ul style="list-style-type: none"> Hauptgruppen Spezifität <ul style="list-style-type: none"> ▪ Abnehmerspezifisch ▪ Anbieterspezifisch ▪ Kombination Materialklassen Merkmale der Beschaffungsobjekte 	<ul style="list-style-type: none"> Art der Bestellungen Art der Steuerung Bestellprozess <ul style="list-style-type: none"> ▪ zeitliche Aspekte ▪ mengenmäßige Aspekte ▪ saisonale Aspekte
Interne Wertschöpfung	<ul style="list-style-type: none"> Lager <ul style="list-style-type: none"> ▪ Betreiberstrategie Produktion <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fertigungsart ▪ Fertigungsform 	<ul style="list-style-type: none"> Lager: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Struktur ▪ Funktion ▪ Art ▪ Lage ▪ Sortimentsbreite 	<ul style="list-style-type: none"> Sortiment/Produktgruppen Materialklassen Merkmale der Produkte 	<ul style="list-style-type: none"> Entkopplungspunkt Kundeprodukt Informationsaustausch
Distribution	<ul style="list-style-type: none"> Distributionskonzepte <ul style="list-style-type: none"> ▪ Arealkonzept ▪ Selektion/ Differenzierung ▪ Objekt ▪ Wertschöpfungsort ▪ Belieferungsprinzip Lieferkonzepte <ul style="list-style-type: none"> ▪ Belieferung ▪ Anlieferung ▪ Produktionssynchronität 	<ul style="list-style-type: none"> Stufigkeit der Distributionskette Absatzwege und -kanäle Kundenstruktur 	<ul style="list-style-type: none"> Hauptgruppen Spezifität <ul style="list-style-type: none"> ▪ Abnehmerspezifisch ▪ Anbieterspezifisch ▪ Kombination Materialklassen Merkmale der Distributionsobjekte 	<ul style="list-style-type: none"> Art der Abrufe Art der Steuerung Abrufprozess <ul style="list-style-type: none"> ▪ zeitliche Aspekte ▪ mengenmäßige Aspekte ▪ saisonale Aspekte
Transport	<ul style="list-style-type: none"> Verkehrsmittel Transportorganisation Transportkonzepte 	<ul style="list-style-type: none"> Stufigkeit Genutzte Netze Genutzte Knoten 	<ul style="list-style-type: none"> Guteigenschaften Objektgröße Ladehilfsmittel Sendungseigenschaften NST/R-Gruppe 	<ul style="list-style-type: none"> Transportprozess <ul style="list-style-type: none"> ▪ zeitliche Aspekte ▪ mengenmäßige Aspekte ▪ Fahrzeugbezogene Aspekte ▪ Fahrtenbezogene Aspekte

Abb. 21.29 Typologische Ordnung der logistischen Strategien und Strukturen (Quelle: Eigene Darstellung nach Clausen und Iddink 2009)

men hinsichtlich ihrer logistischen Aspekte und Transporte. Darauf aufbauend können homogene Typen mit ähnlichen Merkmalen bzw. Merkmalsausprägungen identifiziert werden.

Nach der entwickelten typologischen Ordnung wird das Unternehmen entsprechend seiner funktionalen Gliederung in die Bereiche Beschaffungs-, Produktions- und Distributionslogistik sowie Transportlogistik unterteilt. Des Weiteren kann das Unternehmen nach den logistischen Komponenten Strategie, Struktur und Objekt bzw. Gut differenziert betrachtet werden. Die Abb. 21.29 zeigt die entwickelte typologische Ordnung von logistischen Strategien und Strukturen nach Clausen und Iddink (2009).

Die Merkmale und Merkmalsausprägungender typologischen Ordnung wurden als Parameter zur Definition von Anpassungsvorschriften für Verkehrsnachfragemodele verwendet. Dadurch kann das Quelle- und Senkenverhalten von Unternehmen im Wirtschaftsverkehr über die eingesetzten Logistikstrategien und -strukturen formal beschrieben und die zugehörigen Warenströme in Transportströme überführt werden (Mest 2011).

In diesem Kontext verfolgen Thalleret al. (2013) in ihrem Forschungsvorhaben, logistische Knoten und ihre spezifischen Merkmale in der Wirtschaftsverkehrsmodellierung zu berücksichtigen und zu integrieren. Logistische Knoten werden als agierende Systeme definiert, die den Wirtschaftsverkehr generieren bzw. maßgeblich beeinflussen. Bisher blieben diese zentralen Verkehrsknoten in Wirtschaftsverkehrsmodellen unberücksichtigt. Zudem wurde im Rahmen dieses Projektes eine Typologie entwickelt, die logistische Knoten anhand verschiedener Parameter charakterisiert. Dazu wurden Merkmale des logistischen Knotens, des Fahrten- und Transportaufkommens sowie der Nutzerseite herangezogen (siehe Abb. 21.30).

In dem Projekt „Dynamo PLV“ versuchen auch Roth und Boltze (2011) die multidimensionalen Probleme der Produktion, Logistik und des Verkehrs in einem integrierten, interdisziplinären Ansatz zu bewältigen. Mit diesem Konzept werden eine nachhaltige Wertsteigerung innerhalb der Supply Chain sowie eine nachhaltige Verkehrsentwicklung verfolgt. Das laufende Projekt zielt darauf ab, ein Entscheidungsmodell zur integrierten Optimierung von Produktion, Logistik und Verkehr zu entwickeln und sinnvolle Maßnahmen zur Optimierung abzuleiten. Das Modell soll die Zusammenhänge zwischen den drei Disziplinen aufzeigen. Außerdem sollen Akteursentscheidungen der drei Bereiche und deren Auswirkungen im Modellansatz dargestellt und analysiert werden (siehe Abb. 21.31).

21.4.10 Verkehrsmodellierung als Erklärungs- und Entscheidungsinstrument für die Verkehrsplanung

Um die Ziele der Verkehrsplanung erreichen zu können, muss bei Erhalt der Mobilität das Verkehrswachstum reduziert und der verbleibende Kraftfahrzeugverkehr hinsichtlich seiner Belastungen auf ein verträgliches Maß zurückgeführt werden. Wirtschaftsverkehrsmodelle können in diesem Zusammenhang als Erklärungs- und Entscheidungsinstrumente für die Verkehrspolitik und die Infrastrukturplanung herangezogen werden, um effiziente Lösungsansätzen für Planungsprozesse zu formulieren. Die Wirtschaftsverkehrsmodelle liefern detaillierte Informationen zum aktuellen Wirtschaftsverkehrsaufkommen, zur Wirtschaftsverkehrsverteilung sowie zum Verkehrsmittelwahlverhalten. Basierend darauf können Prognosen zum zukünftigen Wirtschaftsverkehrsaufkommen und zur Wirtschaftsverkehrsleistung berechnet werden. Die prognostizierten Szenarien werden von der Verkehrspolitik für alle planungshoheitlichen Ebenen (national, regional, kommunal) genutzt, um daraus effiziente Maßnahmen abzuleiten. Zudem existieren bereits maßnahmensensitive Wirtschaftsverkehrsmodelle, die Maßnahmen auf ihre Effizienz testen können. Die am sinnvollsten, erscheinenden Maßnahmen werden ausgewählt und in den Planungsprozess integriert. Die Maßnahmen werden in der Umsetzungsphase implementiert und im Nachgang auf ihre Praxistauglichkeit überprüft (Monitoring). Der Bundesverkehrswegeplan als Planungsinstrument basiert u. a. auf Verkehrsmodellen, die zur Unterstützung für eine nachhaltige Planung und den bedarfsgerechten Ausbau des Bundesautobahnnetzes herangezogen werden. Die Länder arbeiten zumeist auf Basis ih-

Merkmale des logistischen Knotens		
Logistische Stammdaten	Netzstrukturen und Transportketten	Transport- und Umschlagobjekte
<ul style="list-style-type: none"> ● Gesamtfläche ● Umschlagfläche ● Lagerfläche ● Max. Umschlagkapazität ● Gesamtumschlag Vorjahr ● Anzahl der Nah- und Fernverkehrsrampen 	<ul style="list-style-type: none"> ● Geographische Lage des Standortes ● Schnittstelle zwischen Nah- und Fernverkehr ● Anzahl weiterer Standorte ● Netzwerkdictheit ● Netzwerkstruktur 	<ul style="list-style-type: none"> ● Güterart ● Verwendete Umschlaggeräte und Umfang ● Ladeeinheiten Ein-/ Ausgang und Umfang
Merkmale des Transport- und Fahrtenaufkommens		
Verkehrsträger und Verkehrsinfrastruktur		
<ul style="list-style-type: none"> ● Anbindung der Verkehrsträger ● Eingesetzte Fahrzeugtypen je Verkehrsträger ● Transportaufkommen je Verkehrsträger ● Fahrtenaufkommen je Verkehrsträger ● Max. und durchschnittliche Transportstrecke für Anlieferung und Zustellung im Nah- und Fernverkehr ● Tageszeitliche Verteilung der Ein- und Ausfahrten ● Auslastung der Transportmittel ● Leerfahrtenaufkommen 		
Merkmale der Nutzerseite		
Organisation		
<ul style="list-style-type: none"> ● Unternehmensexyp ● Branche des/der Kunden ● Organisationsstruktur ● Umsatz des Standortes ● Beschäftigtenanzahl des Standortes ● Anzahl der beteiligten Unternehmen 		

Abb. 21.30 Aufbau der Typologie für logistische Knoten (Geschäftszeichen zum DFG-Projekt: CL 318/12-1 und LE 1137/4-1) (Quelle: Thaller et al. 2013)

rer Landesraumordnungsprogramme und -pläne. Die Regionen, Städte und Kommunen nutzen Regionalpläne, Flächennutzungspläne bzw. Bauleitpläne. Verkehrsmodelle dienen hierbei auf allen erwähnten Ebenen als Grundlage für die Verkehrsplanung. Dabei wird nicht nur der Verkehr berücksichtigt, sondern auch die Raum- und Siedlungsstrukturerwicklung, die dabei aufeinander abgestimmt werden müssen. Es handelt sich hierbei um ein interdisziplinäres Planungsfeld, das die Abstimmung und enge Zusammenarbeit zwischen

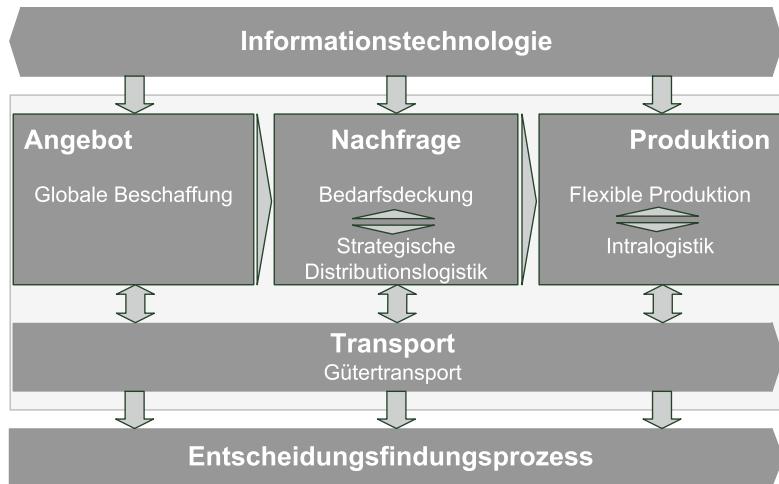


Abb. 21.31 Struktureller Aufbau von Dynamo PLV (Quelle: Eigene Darstellung nach Roth und Boltze 2012)

den Teilbereichen erfordert. Weitere Hinweise zu verkehrsplanerischen Maßnahmen für den Wirtschaftsverkehr liefern Wermuth und Wirth (2005).

Literatur

- Aberle G (2000) Transportwirtschaft. Einzelwirtschaftliche und gesamtwirtschaftliche Grundlagen. Wolls Lehr† und Handbücher der Wirtschafts† und Sozialwissenschaften, 3rd edn. Oldenbourg Verlag, München
- Ahuja RK, Magnanti TL, Orlin JB (1993) Network Flows – Theory, Algorithms and Applications. Prentice Hall, New Jersey.
- Arndt W-H (2010) Optimierungspotenziale im Wirtschaftsverkehr durch bestellerseitige Kooperation. Untersuchung des Ansatzes einer Beschaffungs-/Bestellerkooperation als ein Instrument für eine effiziente und stadtverträgliche Gestaltung des Wirtschaftsverkehrs. Dissertation der Technischen Universität Berlin
- Barnhart C, Johnson EL, Nemhauser, GL, Savelsbergh, MW, Vance, PH (1998) Branch-and-price: column generation for solving huge integer programs. Operations Research 46(3): 316–329
- Ben-Akiva M, Lerman S (1985) Discrete choice analysis. Theory and application to travel demand. MIT Press, Cambridge
- Benders JF (1962) Partitioning Procedures for Solving Mixed-variables Programming Problems. Numerische Mathematik 4: 238–252
- Bernhard J, Hömberg K, Nagel L, Riha I, Schürmann C, Sieke H, Völker M (2007) Standardisierte Modelle zur Systemlastbeschreibung/ Sonderforschungsbereich 559– Große Netze in der Logistik. Forschungsbericht Universität Dortmund
- Bochynek C et al (2009) Erstellung und Verwendung einer synthetischen Wirtschaftsstruktur zur disaggregierten Modellierung der Wirtschaftsverkehrsnachfrage. In: Clausen U (ed) Wirt-

- schaftsverkehr 2009. Daten – Modelle – Anwendung. Verlag Praxiswissen, Dortmund, pp 23–37
- Boerkamps J, Van Binsbergen A (1999) GoodTrip – A new Approach for Modelling and Evaluation of Urban Goods Distribution. Conference Proceedings 2nd KFB Research Conference, Lund
- Boerkamps JHK, Binsbergen AJ (2000) Modeling Behavioral Aspect of Urban Freight Movement in Supply Chains. In: Proceedings of TRB 79th Annual Meeting. Washington
- Bossel H (2004) Systeme, Dynamik, Simulation – Modellbildung, Analyse und Simulation komplexer Systeme. Norderstedt
- Cerwenka P et al (2000) Kompendium der Verkehrssystemplanung. Österreichischer Kunst- und Kulturverlag, Wien
- Chmielewski A, Clausen U, Janas M, Naujoks B (2009) Optimizing the Door Assignment in LTL-Terminals. *Transportation Science* 43(2):198–210
- Clausen U, Iddink U (2009) The Impact of Logistics on Modelling Commercial Freight Traffic. Conference Proceedings International Conference on Prospects for Research in Transport and Logistics on a Regional – Global Perspective, Istanbul
- Clausen U, Iddink U (2011) Ableitung von Eingangsparametern für Wirtschaftsverkehrsmodelle anhand empirischer beschaffungslogistischer Daten. In: Clausen U (ed) Wirtschaftsverkehr 2011. Modelle – Strategien – Nachhaltigkeit. Verlag Praxiswissen, Dortmund, pp 41–54
- Clausen U, Neumann L (2007) A typology of logistics strategies and structures for analyzing their impacts on commercial freight traffic. In: Cheng CH et al (eds) *Transportation Systems: Engineering and Management*. Proceedings of the 12th International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies (HKSTS 2007). Hong Kong, pp 343–352
- Clausen U et al (2007) Klassifikation von Logistiksystemen als Element der Wirtschaftsverkehrsmodellierung. In: Clausen U (ed) Wirtschaftsverkehr 2007: Modelle – Strukturen – Umsetzung. Verlag Praxiswissen, Dortmund, pp 9–24
- Clausen U et al (2008) Approaches for modelling commercial freight traffic regarding logistics aspects. Conference Proceedings Third International Symposium on Transport Simulation, Surfers Paradise
- Cormen TH (2004) Algorithmen – eine Einführung. München, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, Wien
- De Jong G et al (2004) National and International Freight Transport Models. An Overview and Ideas for Future Development. *Transport Reviews* 24:103–124
- De Jong G et al (2012) Recent developments in national and international freight transport models within Europe. *Transportation*, Springer Science & Business Media, LLC. 2012
- Desrosiers J, Lübecke ME (2005) A primer in column generation. In: Desaulniers G, Desrosiers J, Solomon MM (eds), *Column Generation*, Springer, p 1–32
- Domschke W (1995) Logistik: Transport (4. Auflage). Oldenburg, München.
- Domschke W (1997) Logistik: Rundreisen und Touren (4. Auflage). Oldenburg, München.
- Domschke W, Drexel A (1996) Logistik: Standorte (4. Auflage). Oldenburg, München.
- Domschke W, Drexel A (2005) Einführung in Operations Research (6. Auflage). Springer, Heidelberg.
- Domschke W, Drexel A (2011) Einführung in Operations Research. Springer Verlag
- Doringo MA (2004). *Ant Colony Optimization*. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts
- Dueck G, Scheuer T (1990) Threshold accepting: A general purpose optimization algorithm appearing superior to simulated annealing. *Journal of Computational Physics*: 161–175
- DLR – Institut für Verkehrsorschung (2008) WiVSim – Gekoppeltes Wirtschafts- und Verkehrs-simulationsmodell für den Güterverkehr. http://www.dlr.de/vf/desktopdefault.aspx/tabcid958/4508_read-8123/. Accessed 20 Sept 2012
- Eley M (2012) *Simulation in der Logistik*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg

- Gringmuth C et al (2005) Impacts of intelligent information systems on transport and the economy – the micro-based modelling system OVID. Conference Proceedings 10th Meeting of EURO Working Group Transportation (EWGT), Posen
- Glover F (1989) Tabu search. I. ORSA Journal on Computing, 1(3): 190–206.
- Glover F (1990) Tabu search. II. ORSA Journal on Computing, 2(1): 4–32.
- Glover F, Laguna M (2002) Tabu search. In: Pardalos PM, Resende MG (eds), *Handbook of applied optimization*, Oxford University Press, New York, p 194–209
- Gomory RE (1958) Outline of an algorithm for integer solutions to linear programs. Bulletin of the American Mathematical Society 64: 275–278.
- Gudehus T (2012) Logistik 1, 4. Auflage. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
- Gühnemann A, Liedtke G (2005) Internationaler Stand der Forschung zu Modellen im Wirtschaftsverkehr. Vortrag auf Workshop Disaggregierte Verkehrsmodelle im Wirtschafts- und Güterverkehr – Stand und Perspektiven, Köln
- Hamacher HW, Klamroth K (2006). Lineare Optimierung und Netzwerkoptimierung.
- Hensher DA, Button KJ (eds) (2000) *Handbook of Transport Modelling*. Pergamon, Amsterdam
- Hrdliczka V, Jakobi H, Schumacher R, Wenzel S (1997) Leitfaden für Simulationsbenutzer in Produktion und Logistik. ASIM-Mitteilungen, 58
- Iding MHE et al (2002) Freight trip generation by firms. Vortrag auf European Congress of the Regional Science Association, Dortmund
- Janßen T, Vollmer R, Beckhoff J et al (2005) Kleinräumige Wirtschaftsverkehrsmodelle. Forschungsbericht. FE-Nr.: 70.0689/2002/ im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen. Aachen
- Kallrath J (2002) Gemischt-ganzzahlige Optimierung: Modellierung in der Praxis – Mit Fallstudien aus Chemie, Energiewirtschaft, Metallgewerbe, Produktion und Logistik. Vierweg, Braunschweig/Wiesbaden
- Kallrath J (2013) Gemischt-ganzzahlige Optimierung: Modellierung in der Praxis: Mit Fallstudien aus Chemie, Energiewirtschaft, Papierindustrie, Metallgewerbe, Produktion und Logistik (2., überarb. u. erw. Aufl. Ausg.). Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden
- Klose A (2001) Standortplanung in distributiven Systemen. Physica-Verlag
- Kirchhoff P (2002) Städtische Verkehrsplanung. Konzepte, Verfahren, Maßnahmen. Teubner, Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden
- Knitschky G, Menge J, Varschen C (2006) Veränderungen im Güterverkehr in Deutschland. Technical report. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) – Institut für Verkehrsforschung
- Korte B, Vygen J (2008) *Kombinatorische Optimierung – Theorie und Algorithmen*. Springer, Berlin.
- Kutz M (ed) (2003) *Handbook of Transportation Engineering*. New York
- Kuhn A, Wenzel S (2008) Modellierung logistischer Systeme. In: Arnold et al. (eds) *Handbuch Logistik*, 3. Auflage. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
- Law A (2007) *Simulation, Modeling & Analysis*, 4. Auflage. McGraw-Hill, New York
- Lee EK (2002) Branch-and-bound methods. In: Pardalos PM, Resende MG (eds), *Handbook of applied optimization*. Oxford University Press, New York, p 53–65
- Leontief W, Strout A (1963) Multiregional input-output-analysis. In: Leontief W (ed) *Input-output economics*. Oxford University Press, Oxford, pp 129–161
- Liebl F (1995) *Simulation*, 2., überarbeitete Auflage. R. Oldenbourg Verlag GmbH, München
- Liedtke G (2006) An Actor-based Approach to Commodity Transport Modelling. Karlsruher Beiträge zur Wirtschaftspolitischen Forschung, vol 20. Nomos Verlag, Baden-Baden
- Liedtke G (2009) Principles of micro-behaviorcommoditytransportmodeling. *Transportation Research* 45(5)

- Liedtke G, Schepperle H (2004) Segmentation of the transportation market with regard to activity-based transport modelling. International Journal of Logistics: Research and Applications 7:199–218
- Lischke A (2007) Verstehen wie Verkehr entsteht – Zusammenspiel von Wirtschaft und Güterverkehr. DLR Nachrichten 118:14–15
- Lohse D, Theichert H, Dugge B, Bachner G (1997) Ermittlung von Verkehrsströmen mit linearen Gleichungssystemen – Verkehrs nachfragemodellierung. In: Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Straßenverkehr der TU Dresden, vol 5. Dresden
- Machledt-Michael S (1999) Fahrtenkettenmodell für den städtischen und regionalen Wirtschaftsverkehr. Technische Universität Carolo Wilhelmina zu Braunschweig, Fachbereich Bauingenieurwesen. Braunschweig
- Machledt-Michael S (2000) Fahrtenkettenmodell für den städtischen und regionalen Wirtschaftsverkehr. Conference Proceedings AMUS 2000– Stadt Region Land, Aachen
- Manheim ML (1979) Fundamentals of Transportation Systems Analysis. In: Cambridge et al (eds) MIT Press: Basic Concepts, vol 1. Cambridge
- ME & P & WSP (2002) Review of freight modelling Report B2– Review of Models in Continental Europe and Elsewhere. Final Report. DfT Integrated Transport and Economic Appraisal. Cambridge
- Meimbresse B et al (1996) WIVER – Ein Berechnungsmodell für den städtischen und regionalen Wirtschaftsverkehr. Straßenverkehrstechnik 96:538–545
- Mest L (2011) Typologische Ordnung von Logistikstrategien und -strukturen und ihre Integration in die Nachfragemodellierung des Güterwirtschaftsverkehrs, Dortmund
- Mitchell, JE (2002) Branch-and-cut algorithms for combinatorial optimization problems. In: Pardalos PM, Resende MG (eds), Handbook of applied optimization, Oxford University Press, New York, p 65–78
- National Institute for Transport & Logistics (2005) Freight Strategy for Scotland. Towards a methodology. Final Report, Dublin
- Nemhauser G, Wolsey LA (1999) Integer and combinatorial optimization. John Wiley & Sons, Inc., New York
- Ortúzar JDD, Willumsen LG (2001) Modelling Transport. John Wiley and Sons, New York
- Page B (1991) Diskrete Simulation. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
- Pardalos PM, Resende, MG (2002) Handbook of Applied Optimization. Oxford University Press, New York
- Persson J, Davidsson P (2007) Transport Modelling – Overview and Best Practice. East West TC, Karlshamn
- Rabe M, Spieckermann S, Wenzel S (2008) Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
- Rand Europe & SITMA (2005) The development of a logistics module in the Norwegian and Swedish national freight model systems. Deliverable 4: Final progress report on model development. RAND Europe, Leiden
- Roth N, Boltze M (2011) Technical note. Dynamo PLV – Dynamic and Seamless Integration of Production, Logistics and Transportation. Road & Transport Research 20(2):77–80
- Rothenegger W, Liedtke G (2006) Agentenbasierte Simulation der Güterverkehrsmärkte. Vortrag auf 3. Wissenschaftssymposium Logistik, Dortmund
- Schaich E, Schmidt K (2012) Einheitliches Güterverzeichnis für die Verkehrsstatistik der EU. In: Gabler Verlag (ed) Gabler Wirtschaftslexikon. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/7685/einheitliches-gueterverzeichnis-fuer-die-verkehrsstatistik-der-eu-v6.html>. Accessed 18 Sept 2012
- Schmidt H-G (1977) Systemtheoretische Erfassung des Güterverkehrs zum Zwecke seiner expliziten Berücksichtigung in Verkehrsplanungsprozessen. In: Bundesministerium für Verkehr (ed) Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, vol 237. Bonn

- Schnabel W, Lohse D (1997) Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung. 2nd edn, vol 2. Berlin
- Schwerdtfeger W (1976) Städtischer Lieferverkehr. Bestimmungsgründe, Umfang und Ablauf des Lieferverkehrs von Einzelhandels- und Dienstleistungsbetrieben. Schriftenreihe des Instituts für Stadtbauwesen der TU Braunschweig, vol 20. Technische Universität Braunschweig, Braunschweig
- Sonntag H et al (1996) Entwicklung eines Wirtschaftsverkehrsmodells für Städte. In: Straßenwesen (ed) Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Verkehrstechnik. vol 33. Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven
- Sonntag H et al (1999) Städtischer Wirtschaftsverkehr und logistische Knoten – Wirkungsanalyse von Verknüpfungen der Güterverkehrsnetze auf den städtischen Wirtschafts- und Güterverkehr, F + E-Vorhaben 77396/1996, im Auftrag des Bundesministers für Verkehr
- Spann M (2007) Mikroskopische Modellierung des Güterverkehrs – Von der Theorie zur Praxis. In: Clausen U (ed) Wirtschaftsverkehr 2007. Modelle – Strukturen – Umsetzung. Verlag Praxiswissen, Dortmund, pp 35–44
- Spann M, Lenz B (2007) Application of a multi-level freight transport demand model to estimate the effects of political measures. In: 11th World Conference on Transport Research
- Spann M et al (2005) Mikroskopische Modelle der Güterverkehrsfrage. In: Clausen U (ed) Wirtschaftsverkehr 2005. Trends – Modelle – Konzepte. Verlag Praxiswissen, Dortmund, pp 63–76
- Statens Institut för Kommunikationsanalys (SIKA) (SIKA) (2004) Sampers och Samgods. Nationella modeller för prognoser och analyser inom transportsektorn. SIKA, Stockholm
- Suhl L, Mellouli T (2006) Optimierungssysteme. Springer, Heidelberg.
- Tavasszy L (2006) Freight Modelling – An overview of international experiences. Conference Proceedings TRB Conference on Freight Demand Modelling: Tools for Public Sector Decision Making, Washington DC
- Tavasszy L (2010) SMILE: Strategic Model for Integrated Logistics and Evaluations, Technical report, TNO Intro
- Tavasszy L et al (2003) Scenario-wise analysis of transport and logistics with a SMILE Vortrag auf Conference on national and international freight transport models, Helsinki
- Tavasszy L et al (2010) Incorporating logistics in freight transportation models: State of the art and Research opportunities. In: Proceedings of the 12th World Conference of Transport Research (WCTR), July 11–15 2010, Lisbon, Portugal
- TFK Institutet för Transportforskning et al (2002) A logistics module for SAMGODS. Rapport 2003:1. Stockholm
- Thaller C, Klauenberg J, Clausen U, Lenz B (2013) Charakterisierung logistischer Knoten mittels logistik-, verkehrs- und betriebsspezifischer empirischer Daten – Analyse zur Integration logistischer Knoten in die Verkehrsfragemodellierung des Güterverkehrs. In: Clausen U, Thaller C (eds) Wirtschaftsverkehr – Datenerfassung und verkehrsträgerübergreifende Modellierung des Wirtschaftsverkehrs als Entscheidungsgrundlage für die Verkehrspolitik. Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg
- Train K (2003) Discrete Choice Methods with Simulation. University Press, Cambridge
- Varschen C et al (2005) Produktionsveränderungen und Güterverkehrsfrage – Ergebnisse von Einzelfallanalysen. In: Clausen U (ed) Wirtschaftsverkehr 2005: Trends – Modelle – Konzepte. Dortmund, pp 33–47
- VDI 3633 – Blatt 1 (2010) Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen – Grundlagen. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- VDI 3633 – Blatt 3 (1997) Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen – Experimentplanung und -auswertung. Beuth Verlag GmbH, Berlin

- Wall, MB (1996) A Genetic Algorithm for Resource-Constrained Scheduling. Von <http://lancet.mit.edu/~mwall/phd/thesis/thesis.pdf> am 5. März 2013 abgerufen
- Wegener I (2003) Komplexitätstheorie – Grenzen der Effizienz von Algorithmen. Springer, Berlin
- Werners B (2008) Grundlagen des Operations Research (2. Auflage). Springer, Heidelberg.
- Wermuth M, Sommer C (2003) Straßenverkehrsplanung und Straßenverkehrstechnik. Institut für Verkehr und Stadtbauwesen, Braunschweig
- Wermuth M, Wirth R (2005) Modelle und Strategien des Güterverkehrs. In: Steierwald G et al (eds) Stadtverkehrsplanung. Grundlagen, Methoden, Ziele. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
- Wolsey LA (1998) Integer Programming. John Wiley & Sons, New York.
- Yagiura M, Ibaraki T (2002) Local Search. In: Pardalos PM, Resende MG (eds), Handbook of applied optimization. Oxford University Press, New York, p 104–123

Anwendungsfelder für Optimierungsmodelle

22

Christian Tesch, Julia Sender, Fabian Meier, Lars Eufinger, Robert Voll,
Jan Kaffka, Daniel Diekmann und Ina Goedicke

Als einleitendes Anwendungsfeld wird in Unterkapitel 22.1 zunächst das Konzept der Gebietszuordnung thematisch abgegrenzt, dessen Anwendungsbereiche vorgestellt und bekannte Verfahren bewertet. In Unterkapitel 22.2 erfolgt dann eine Einführung in die strategische Netzplanung von Hub-and-Spoke-Netzwerken. Unterkapitel 22.3 stellt aufbauend auf den Grundlagen zur Tourenplanung Eröffnungsverfahren und weiterführende Verbesserungsverfahren vor und erläutert praxisrelevante Nebenbedingungen. In Unterkapitel 22.4 wird aufgezeigt, welchen Einfluss unterschiedliche Transportkostenstrukturen auf

J. Sender (✉) · C. Tesch · F. Meier · L. Eufinger · R. Voll · J. Kaffka · D. Diekmann · I. Goedicke
Institut für Transportlogistik, TU Dortmund, Leonhard-Euler-Straße 2, 44227 Dortmund,
Deutschland
E-Mail: sender@itl.tu-dortmund.de

C. Tesch
E-Mail: tesch@itl.tu-dortmund.de

F. Meier
E-Mail: meier@itl.tu-dortmund.de

L. Eufinger
E-Mail: eufinger@itl.tu-dortmund.de

R. Voll
E-Mail: voll@itl.tu-dortmund.de

J. Kaffka
E-Mail: kaffka@itl.tu-dortmund.de

D. Diekmann
E-Mail: diekmann@itl.tu-dortmund.de

I. Goedicke
E-Mail: goedicke@itl.tu-dortmund.de

die Optimallösungen von Transportproblemen haben. Abschließend stellt Unterkapitel 22.5 die Untersuchung und Optimierung logistischer Anlagen mit Hilfe ereignisorientierter Simulation vor, Anwendungsfelder sind dabei Umschlaganlagen des Straßengüterverkehrs sowie des Kombinierten Verkehrs.

22.1 Gebietszuordnung

Christian Tesch

Bei der Sammlung oder Auslieferung von Gütern jeglicher Art ist eine grundlegende Planung in Form einer Gebietseinteilung erforderlich, damit erhebliche Einsparungen erzielt werden können. Die Anzahl möglicher Gebietseinteilungen wächst dabei exponentiell zu der Größe der Fläche, die eingeteilt werden soll (Arbia 1989, S. 144–143). Das Konzept der Gebietszuordnung in der Logistik entstand Ende der 1970er Jahre im Bereich der Beschaffungslogistik der Automobilindustrie mit den Zielen, die Fahrzeugauslastung zu erhöhen, Verkehre des Warenein- und -ausgangs besser zu steuern sowie Transportkosten und die Anzahl an Transportdienstleistern zu reduzieren. Heutzutage wird dieses *Gebietsspediteurskonzept* nicht nur in der Beschaffungslogistik umgesetzt, sondern findet ebenfalls häufig Anwendung in der Distributionslogistik (Klaus und Krieger 2004, S. 169–170). Der Einsatz von Gebietszuordnungen hat in der Praxis gezeigt, dass außerdem eine Kombination mit Leergut- und Rückführungstransporten Synergien erzeugt.

Am Beispiel eines Stückgutdepots kann die Aufgabe der Gebietszuordnung dargestellt werden. Dabei ist jedem Depot ein größeres Gebiet zugewiesen, in dem die Zustellung und Abholung von Sendungen durchgeführt werden. Dieses Gebiet ist so weitläufig oder die Sendungsmengen sind so hoch, dass mehr als ein Fahrzeug zur Erledigung der Aufträge benötigt wird. Nicht selten unterhalten Stückgutspeditionen über 100 Lkw im Nahverkehr, so dass eine strategische Gebietszuordnung als Vorplanung zur täglichen Tourenbildung dient.

Die zugrunde liegende Problemstellung der Gebietszuordnung kann verallgemeinert wie folgt formuliert werden: Zerteile ein gegebenes Servicegebiet so in eine Menge von Regionen, dass bei Beachtung von Liefer-, Abhol- und Laufzeitanforderungen die besten Lieferketten gefunden werden.

22.1.1 Thematische Abgrenzung

Das Aufteilen von Gebieten wird häufig auf strategischer Planungsebene durchgeführt. Hierbei kann die Problemstellung auch mit der Herausforderung einer Standortplanung kombiniert werden, so dass eine kombinierte Optimierung notwendig wird (s. Abschn. 22.2). In diesem Abschnitt werden existierende Standorte jedoch als fix vorausgesetzt, so dass die Gebietszuordnung alleinstehend betrachtet werden kann.

Die strategisch oder taktisch getroffenen Entscheidungen der Gebietsaufteilung haben große Auswirkungen auf die tägliche operative Tourenplanung. Da häufig nur auf Basis der Vergangenheitsinformationen von Zustell- und Abholtouren eine statische Gebietseinteilung erfolgt, können einzelne Touren stark unterschiedlich gut ausfallen. Eine Überschreitung von Fahrzeitbegrenzungen oder das Verpassen von Kundenzeitfenstern in Einzelfällen muss hierbei in Kauf genommen werden. Die Betrachtung von Gebietsschnitten sollte daher stets in Kombination mit Tourenplanungen angegangen werden (Spengler et al. 2004). Im folgenden Abschnitt werden verschiedene tourenplanungsabhängige Methoden zur Gebietsteilung erläutert.

Die Optimierung der Gebietszuordnung korreliert somit auf strategischer und operativer Planungsebene und sollte idealerweise dynamisch und integrativ vorgenommen werden.

22.1.2 Anwendungsbereiche

Das Prinzip bei einer Gebietszuordnung, also das Zerteilen geographischer Flächen in kleinere Gebiete, ist eine bekannte Methode zur Herangehensweise an große Aufgabenstellungen. Der reduktionistische Ansatz *Teile und Herrsche* wird besonders in Bereichen der Informatik eingesetzt.

In vielen Bereichen der Transportlogistik hat sich die Verwendung von strategisch geplanten Gebietszuordnungen bewährt. Insbesondere in Branchen mit einem hohen Subunternehmereinsatz können bei fester Zuordnung klare vertragliche Zuständigkeiten getroffen werden (Gebietsspediteurskonzept). In der folgenden Auflistung wird die Übertragung dieses Konzeptes sowohl auf die Distribution als auch auf die kombinierte Zustellung und Abholung aufgezeigt.

- In der *Stückgutbranche* eignet sich die starre Zuordnung nur teilweise dank einer Großzahl von *Business-to-Business*-Sendungsmengen. Hierbei kommen besonders Kunden mit regelmäßigen Einlieferungen in das Stückgutnetz dem Ziel einer gleichmäßigen Auslastungsverteilung der Gebiete zugute. Außerdem werden rund die Hälfte der Abholstopps erst im Laufe des Tages bekannt, so dass eine optimierte simultane Gebiets- und Tourenplanung im Vorfeld ggf. zu unflexibel würde.
- Eine besonders gute Eignung einer festen Gebietszuordnung findet sich im Bereich der *Entsorgung* haushaltsnaher Abfallbehälter, da hier eine sehr geringe Dynamik der Abholstellen besteht und eine periodische Durchführung vorgegeben werden kann (Engels 2012).
- Die Zustellung im *Briefdienst* ist ebenfalls periodisch planbar und unterliegt nur geringen Schwankungen der Zustellorte, so dass ein Gebietszuordnungskonzept hier eine hohe Konstanz in der operativen Planung darstellt.
- Mediale Produkte wie Tageszeitungen erscheinen regelmäßig und sind tagaktuell. Für die zuverlässige Distribution zu den Abonnenten ist ein eigener Lieferservice oder

auch Kooperationen mit anderen Betrieben von zentraler Bedeutung. Somit kann die *Medialogistik* sehr gut von einem optimierten Gebietsschnitt profitieren.

- Saisonalitätsschwankungen vor wichtigen Feiertagen wirken sich insbesondere durch einen steigenden Versandhandel im *Kurier-Express-Paket-Dienst (KEP)* aus. Hier kommt erschwerend hinzu, dass eine eher geringe Periodizität in der Zustellung sowie schwankende Sendungsmengen je Gebiet bestehen, wodurch eine feste Gebietszuordnung nicht flexibel genug würde.

22.1.3 Verfahren

Um das Problem der Gebietszuordnung mathematisch zu lösen, sind sowohl exakte als auch heuristische Ansätze möglich. Aufgrund der Komplexität und Größe der Probleme haben sich jedoch insbesondere heuristische Ansätze bewährt. In der Regel wird bei heuristischen Ansätzen mit einer möglichst guten (zulässigen) Startlösung begonnen. Diese wird mit einem sogenannten Eröffnungsverfahren bestimmt. Als grundlegende Regeln zur Anwendung heuristischer Ansätze dienen die folgenden *Gestaltungsprinzipien zur Gebietseinteilung* nach Gudehus (2005, S. 944–948).

Die wichtigsten Ansätze werden im Folgenden kurz erläutert.

- Das *Prinzip der minimalen Anzahl* hat als Ziel, dass die Anzahl der möglichen Gebiete minimiert wird. Hierbei wird gleichzeitig die Anzahl an Umschlagspunkten reduziert, um hierin entstehende Umschlagskosten gering zu halten.
- Die maximale Reichweite der Auslieferfahrzeuge soll durch das *Prinzip der notwendigen Anzahl* in einen Zusammenhang mit der notwendigen Anzahl von Gebieten für die gesamte Zustellung gesetzt werden. Hier wird anhand der maximalen Reichweite der Fahrzeuge vorgegeben, wie viele Touren benötigt werden um die komplette Distribution durchführen zu können.
- Das *Prinzip des ausgeglichenen Ladungsaufkommens* sieht vor, dass eine gleichmäßige Auslastung der Touren gewährleistet werden soll. Anhand dieses Faktors soll verhindern werden, dass einzelne Touren zu gering oder zu stark ausgelastet sind.
- Zur Regulierung von Touren mit übermäßig vielen Stopps innerhalb eines Gebietes oder bei Touren deren Entfernungen zu groß sind, findet das *Prinzip der Gebietsteilung* seine Anwendung und splittet das Gebiet in zwei Teile mit ähnlich vielen Senken. Dabei werden die Gebiete so geschnitten, dass die beiden neuen Touren minimale Strecke haben.
- Das *Prinzip der zulässigen Vereinfachung* sagt aus, dass eine grobe Aufteilung häufig eine ausreichende Güte besitzt, da Lage und Anzahl der Senken im tatsächlichen Einsatz variieren können und somit jeweils eine Neuberechnung der Gebietseinteilung notwendig würde.

Drop-Verfahren Als tourenplanungsabhängiges Planungsverfahren ist das Drop-Verfahren ein heuristisches Eröffnungsverfahren, das ursprünglich dazu dient,

Warehouse-Location-Probleme zu lösen (Neumann 1996, S. 234). Ein Warehouse-Location-Problem ist ein Standortproblem, das die Frage behandelt, welche Produktionsstandorte wirtschaftlich am sinnvollsten sind (Krüger 2010, S. 6). Der Drop-Algorithmus startet, indem 1) alle Senken des betrachteten Gebiets innerhalb einer einzigen Tour bedient werden. 2) Falls diese Tour realistisch ist, wird mit Schritt 3 fortgefahrene. Ist die Tour nicht realistisch, also zu kurz oder zu lang, wird mit Schritt 4 fortgefahrene. 3) Sind nun alle Prinzipien für die erhaltenen Gebiete erfüllt, endet das Verfahren. Ansonsten wird 4) das *Prinzip der Gebietsteilung* unter Verwendung des *Prinzips des ausgeglichenen Ladungsaufkommens* angewendet und zu Schritt 1 zurückgesprungen.

Add-Verfahren Im Gegensatz zum Drop-Algorithmus, der zunächst alle potentiellen Standorte eröffnet, startet der Add-Algorithmus mit einer leeren Standortmenge und errichtet danach Schritt für Schritt die effektivsten Standorte bis sich der Wert der Zielfunktion nicht mehr verringert. Die Vorgehensweise ist analog zum Drop-Algorithmus (Neumann 1996, S. 234).

Stern- und Kreisverfahren Dieses Verfahren basiert auf Betrachtung der Tagestourenlänge zur Gebietseinteilung. Als Startpunkt jeder möglichen Tour dient ein Regionalzentrum, von wo aus der kleinste, der mittlere und der maximale Kreis ermittelt werden. Zur Entfernungsmessung wird die Luftlinie von dem Ausgangspunkt der Touren errechnet (Gudehus 2005, S. 962). Diese drei Kreise bilden somit die Gebietsaufteilung und werden bei Bedarf in weitere Sektoren unterteilt.

Einteilung nach Planquadraten Dieses Verfahren erzielt eine Lösung, bei dem zu Beginn nicht alle Zustell- und Abholorte in die Planung einbezogen werden, sondern nur eine Teilmenge. Zunächst wird das gesamte Gebiet ähnlich einer Landkarte in Planquadrate aufgeteilt. Im Anschluss daran werden die Touren je Planquadrat der Reihe nach auf das *Prinzip der notwendigen Anzahl* und auf das *Prinzip des ausgeglichenen Ladungsaufkommens* geprüft. Sind diese nicht erfüllt, wird das *Prinzip der Gebietsteilung* angewendet oder es werden benachbarte Gebiete zusammengefasst bis die entsprechende Tour realistisch ist.

22.1.4 Vor- und Nachteile

Rein mathematisch betrachtet, ist eine feste Gebietszuordnung bei variierenden Anliefer- oder Abholstellen selten optimal und kann zu schlechten Tourenplänen führen. Mit Hilfe der Zerlegung eines großen Gebietes in überschaubare Gebiete wird im Allgemeinen lediglich ein großes Tourenplanungsproblem auf mehrere beherrschbare Problemgrößen reduziert. Die einzelnen Teilprobleme können dann jeweils optimal gelöst werden, allerdings wird dabei das globale Optimum außer Acht gelassen. Beispielsweise können vorgegebene Kundenzzeitfenster den Einsatz einer zusätzlichen Tour in einem Gebiet erfordern, obwohl ein Fahrzeug im benachbarten Gebiet diese Aufgabe mit wenig Mehraufwand

erfüllen könnte. Gleichermaßen gilt im Fall von Kapazitätsbeschränkungen der Fahrzeuge. Überstreiten die abzuholenden Sendungen in einem Gebiet die Maximallast eines Fahrzeuges, wäre es sinnvoll, die starre Gebietseinteilung kurzfristig zu lockern und die Touren in Nachbargebieten zu überprüfen. Eine Reoptimierung auf Grundlage der bisherigen Gebietszuordnung kann hier ein guter Kompromiss zwischen kompletter Neuzuordnung und Erhalt bestehender Strukturen sein.

Trotz vieler bekannter Nachteile sind feste Gebietszuordnungen in vielen Branchen anzutreffen. Je nach Anwendungsfall überwiegen die Vorteile gegenüber den Einschränkungen. Besonders nicht quantifizierbare Argumente machen einen Einsatz in der Praxis sinnvoll.

- Die Fahrer sammeln Erfahrungen in ihrem zugewiesenen Gebiet, indem sie Besonderheiten der Kunden kennenlernen, das Straßennetz beherrschen und Verkehrsauslastungen zu bestimmten Tageszeiten gut prognostizieren. Eine kürzere Fahrtzeit und höhere Liefertreue sind die Konsequenzen.
- Durch eine feste Zuteilung eines Gebiets zu einem Fahrer baut der Fahrer ein Verantwortungsgefühl auf. Jeder Fahrer ist stärker motiviert, seine Kunden zu bedienen und somit die Lieferqualität zu steigern.
- „One face to the customer“: Kunden kennen Fahrer. Hiermit kann eine vertraute Beziehung zum Fahrer gebildet werden. Für die Kunden ist nachvollziehbar, wer der für sie verantwortliche Mitarbeiter ist. Die Kommunikation zwischen Fahrer und Kunden wird gesteigert, so dass Abläufe und Kundenzufriedenheit gesteigert werden.
- Die Bedienung von Neukunden wird vereinfacht: Aufgrund vielfältiger Kontakte zu Kunden und Kenntnisse über Nichtkunden im Teilgebiet können potenzielle Neukunden leichter identifiziert und akquiriert werden.

22.2 Strategische Netzplanung

Julia Sender und Fabian Meier

In vielen Transportnetzen werden versendete Waren während ihres Transports in sogenannten *Hubs* umgeschlagen. *Hubs* sind spezielle logistische Einrichtungen zum Umschlagen, Sammeln, Sortieren und Verteilen von Gütern. Darunter fallen unter anderem Zugbildungsanlagen, Speditionsanlagen oder auch Lager, wenn sie obigen Zwecken dienen. Die Gründe dafür können vielfältig sein:

- Die Waren müssen sortiert werden, weil sie unsortiert eingesammelt werden (z. B. Briefe).
- Der Transport einzelner Sendungen auf direktem Weg wäre ökonomisch ineffizient (vgl. Abb. 22.2) Durch den Transport größerer Warenmengen auf den einzelnen Verbindungen sollen Einsparungen erzielen werden, da die Transportkosten pro kg (oder m³) im Allgemeinen mit der Transportmenge abnehmen. Dies liegt daran, dass größere LKW

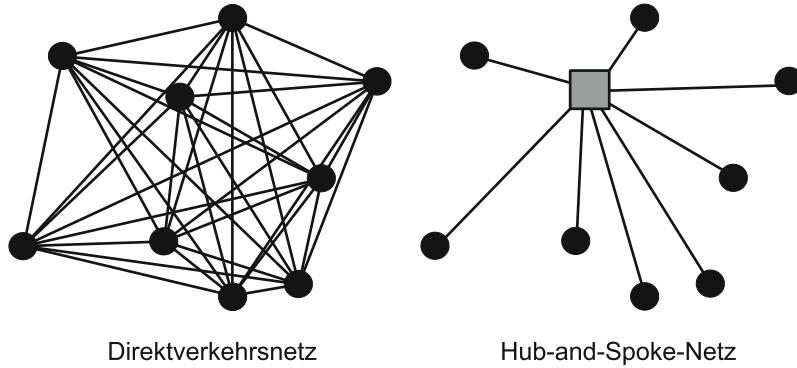


Abb. 22.1 Direktverkehrsnetz versus Hub-and-Spoke-Netz

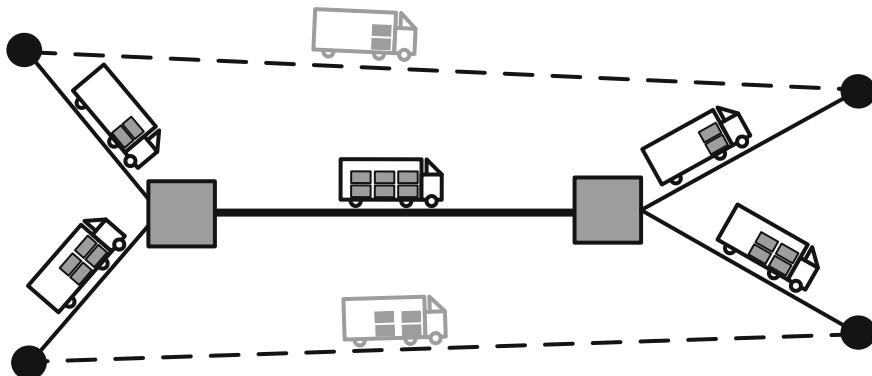


Abb. 22.2 Direkter Transport versus Transportbündelung

verwendet werden können, die LKW-Auslastung steigt, oder auf Massenverkehrsmittel wie Bahn oder Binnenschiff umgestiegen werden kann.

Man möchte die Zahl der Transportverbindungen reduzieren um (Infrastruktur-)Kosten zu sparen. Häufig geschieht dies im Sinne eines Hub-and-Spoke-Netzwerkes (Nabe-Speiche-Netzwerk). Dies wird in Abschn. 10.5 beschrieben: Ist n die Zahl der Versender/Empfänger, so gibt es $n(n-1)$ Direktverbindungen, während es bei Transportnetz mit einem Hub nur noch $2(n-1)$ Verbindungen gibt (vgl. Abb. 22.1).

Jedoch weist der Transport über ein Hub-and-Spoke Netz nicht nur positive Effekte auf. Nachteile der Nutzung von Hubverbindungen können sein:

- Es entstehen Kosten für den Bau von Hubeinrichtungen (Fixkosten).
- Es entstehen Kosten für den Betrieb und die Instandhaltung der Hubs (Fixkosten) sowie für den Warenaumschlag (variable Kosten).
- Die Waren werden im Allgemeinen auf Umwegen transportiert, was zusätzliche Transportwege und somit höhere Transportzeiten und -kosten verursacht (vgl. Abb. 22.1 und 22.2).

- Der Konsolidierungsaspekt kann dazu führen, dass einzelne Sendungen relativ lang in den Hubeinrichtungen auf andere Sendungen warten mit denen sie gebündelt werden sollen. Dies kann zu einer Erhöhung der benötigten Transportzeit führen.

Die Gesamtkosten eines Netzwerkes mit vielen Versendern und Empfängern hängen entscheidend von der Platzierung der Hubs sowie der genutzten Verbindungen ab. Mit diesem Entscheidungsproblem beschäftigen sich sogenannte *Hub-Location-Probleme*, in denen die gegebenen Anforderungen mathematisch modelliert werden, um sie allgemeinen Lösungsverfahren zugänglich zu machen. Bevor wir Hub-Location-Modelle genauer erläutern, wollen wir zunächst ein paar Beispiele für typische Anwendungsfelder nennen:

Flugverkehr Ein typisches Beispiel ist durch die Netzwerke in der Luftfracht bzw. im Luftransport gegeben, in denen Passagiere oder Güter per Flugzeug transportiert werden. Wir wollen dies am Personenluftverkehr erläutern: Zum einen gibt es dort direkte Flugverbindungen zwischen zwei Orten, welche insbesondere auf Kurzstrecken oder zwischen großen, zentralen Flughäfen angeboten werden. Möchte man jedoch ein weiter entferntes Ziel anfliegen, kommt es häufig vor, dass keine direkten Flüge dorthin angeboten werden, so dass es erforderlich ist umzusteigen. Bestimmte Flughäfen dienen dafür als Hub; die Passagiere verschiedener ankommender Flüge werden auf verschiedene ausgehende Flüge aufgeteilt (Konsolidierung und Dekonsolidierung). Insbesondere bei Langstreckenflügen sind solche Zwischenstopps nicht unüblich. Auf Hauptverbindungsstrecken werden große Flugzeuge mit vielen Sitzplätzen eingesetzt, welche pro Passagier günstiger zu betreiben sind. Auf den Anbindungsstrecken zu diesen zentralen Flughäfen (Hubs) werden meist kleinere Flugzeuge eingesetzt. Dieses gilt natürlich ähnlich für den Transport von Gütern im Luftverkehr.

Postnetzwerk Eine weitere Anwendung ist im Postversand oder bei KEP-Diensten gegeben. Der Transport von einem Versender zu einem Empfänger auf direkten Weg wäre sehr kostenintensiv, insbesondere wenn man bedenkt wie viele potentielle Versender und Empfänger es durch die einzelnen Haushalte bedingt in Deutschland gibt. Folglich erfolgt kein direkter Transport zwischen den einzelnen Haushalten, sondern zwischen einzelnen Postbezirken. Die Post wird in Briefkästen oder an Abgabepunkten/Depots gesammelt und entsprechend der Gebiete zum zuständigen Sortierzentrums (Hub) gebracht, wo die Briefe entsprechend ihrer Zielregionen sortiert werden. Dieses Beispiel zeigt auch neben der Konsolidierungsfunktion die Sortier- und Distributionsfunktion von Hubs auf.

Telekommunikation Bei Anwendungen im Telekommunikationsbereich werden unterschiedliche Datennetze betrachtet. Dazu gehören u. a. Telefonnetzwerke, Rechnernetze, Netzwerke für Telefonkonferenzen. Der Sendungsfluss ist in diesem Zusammenhang durch die Nachfrage nach Datenübertragung (Video, Sprache, Daten i. e. S., etc.) gegeben, welche über vielfältige physische Verbindungen (Telefonleitung, Glasfaserkabel, Koaxialkabel, etc.) und nicht-physische Verbindungen (drahtlose Netzwerke, Satelliten, etc.) übertragen

werden können. In diesen Systemen wäre eine direkte Verbindungen in vielen Fällen viel zu kostenintensiv. Im Telefonbereich würde dies bedeuten, dass nahezu jeder Haushalt mit jedem anderen Haushalt direkt über ein eigenes Kabel verbunden sein müsste. Aus diesem Grund werden nicht immer direkte Verbindungen eingerichtet, sondern ein Netzwerk in dem die einzelnen Kunden (Versender/Empfänger) mit Hubs verbunden sind. Hubs sind in diesem Fall durch die verschiedenen elektronischen Elemente, wie Konzentratoren, Switches oder Gates, gegeben, welche einen Transport, Konsolidierung und eine Verteilung ermöglichen. Die hohen Fixkosten für Verbindungen im Telekommunikationsbereich sowie die Skaleneffekte durch Bündelung bei der Übertragung, führen zu einer vielfältigen Anwendung von Hub-and-Spoke-Netzen in der Telekommunikation.

LTL-Verkehr Im Less-Than-Truckload-Verkehr werden im Verhältnis zu LKW-Größe kleine Warenmengen versandt (etwa einzelne Paletten). Da die Fahrtkosten eines LKW kaum von der Beladung abhängen, ist es sinnvoll, Transporte zu konsolidieren, um Geld zu sparen. Begrenzend wirkt hier natürlich der Zeitaspekt, der gegen die Kosten von (fast) leeren Fahrten abgewogen werden muss. Da in der Regel keine Sortierung vorgenommen werden muss, ist diese Art von Transport recht flexibel, d. h. es können auch einzelne Verkehre direkt (ohne Nutzung von Hubs) durchgeführt werden.

In den meisten praktischen Anwendungen können Hubeinrichtungen nicht an jedem beliebigen Punkt im betrachteten Gebiet errichtet werden. Vielmehr stehen nur bestimmte geeignete (freie) Flächen bzw. geeignete Standorte zur Verfügung. Die Auswahl und Festlegung geeigneter Standorte ist dabei stark abhängig von den Anforderungen des Unternehmens an den Standort. Für eine detailliertere Auseinandersetzung mit (logistischen) Standorten sei auf (Domschke und Drexel 1996) verwiesen.

Wir wollen nun anhand der Gemeinsamkeiten der obigen Beispiele Hub-Location-Modelle allgemein beschreiben. Bevor wir dabei auf die mathematische Modellierung eingehen, werden die möglichen Restriktionen und Kosten beschreiben. Ein typisches Hub-Location-Problem sieht etwa wie folgt aus:

Es gibt eine Menge D von *Versendern/Empfängern*, zwischen denen vorgegebene (durchschnittliche) Warenmengen transportiert werden sollen. Dabei können zu den Versendern und Empfängern von Waren Depots, Lager, Gleisanschlüsse und sonstige logistischen Einrichtungen zählen. Weiterhin gibt es eine Menge H von potentiellen Hubs (häufig eine Teilmenge der Versender/Empfänger). Die Frage ist nun, an welchen potenziellen Standorten aus H Hubs errichtet werden und wie diese mit den Depots verknüpft werden. Letztendliches Ziel ist es, unter Einhaltung aller (logistischen) Restriktionen die Gesamtkosten zu minimieren. Diese setzen sich aus den (fixen und variablen) Transportkosten und Hubkosten zusammen.

Im Allgemeinen sieht eine Transportverbindung dann so aus: Für die Ware w_{ij} , welche von Versender i zum Empfänger j transportiert werden soll, existieren mehrere prinzipielle Transportmöglichkeiten:

- Sie wird direkt vom Versender zum Empfänger transportiert: $i \rightarrow j$.
- Sie wird über genau einen Hub transportiert: $i \rightarrow k \rightarrow j$.
- Sie benutzt zwei Hubs: $i \rightarrow k \rightarrow l \rightarrow j$.
- Sie wird über mehrere Hubs transportiert: $i \rightarrow k \rightarrow l \rightarrow \dots \rightarrow m \rightarrow j$.

Im Allgemeinen besteht ein Fluss in einem Hub-and-Spoke-Netzwerk also aus mehreren Komponenten. Die Verbindung zwischen dem Versender (Depot) und dem ersten Hub stellt eine Sammlung dar, welche auch häufig als (Hub-)Vorlauf bezeichnet wird. Anschließend erfolgt ein Transfer von einem Hub zu einem anderen (Hub-Hauptlauf). Im letzten Hub werden die Waren entsprechend ihrer Empfänger verteilt. Diese Distributionskomponente wird auch als (Hub-)Nachlauf bezeichnet. Je nach Transportweg kommen nicht unbedingt alle drei Komponenten vor. In vielen Problemstellungen sind nicht alle der zuvor genannten Möglichkeiten zulässig, was genauer unter *Routingrestriktionen* erläutert wird.

In den folgenden Absätzen wollen wir auf die einzelnen Restriktionen und Kosten genauer eingehen. Dabei ist zu beachten, dass eine genauere Modellierung mit mehr Restriktionen und komplexerer Kostenfunktion (z.B. Berücksichtigung verschiedener LKW-Größen, verschiedener Kostenarten, die zeit- oder entfernungsabhängig sind, etc.) das Modell zwar realistischer macht, jedoch auch die Komplexität des Modells und somit den Rechenaufwand enorm erhöhen kann. Hub-Location-Probleme gehören im Allgemeinen zu den NP-schweren Problemen (zu Komplexität s. Unterabschn. 21.2.); realitätsnahe Modelle können kommerzielle Programme schon bei 50 potentiellen Standorten überfordern. Bevor wir genauer darauf eingehen, wie man diesen Herausforderungen begegnet, wenden wir uns nun den Restriktionen und Kosten zu.

Zeitrestriktion Wie oben schon erwähnt, sind Verbindungen über Hubs im Allgemeinen zeitintensiver als direkte Verbindungen. Sinnvoll kann es deshalb sein, ein Zeitlimit für die Gesamtstrecke zu setzen oder einzelne Komponenten des Weges (wie Hub-Vorlauf, Hub-Hauptlauf und Hub-Nachlauf) jeweils zeitlich zu begrenzen. In diesem Fall ist natürlich vorausgesetzt, dass entsprechende Daten zu den notwendigen Fahrzeiten vorliegen. Des Weiteren kann auch die Anzahl der Umschläge in Hubeinrichtungen beschränkt werden, um zu lange Transportzeiten zu verhindern. Eine weitere Möglichkeit besteht auch darin, die Anzahl der Transportkanten (einzelnen Verbindungen zwischen Knoten) zu beschränken. In vielen Anwendungen ist es beispielsweise üblich pro Transport maximal zwei Stopps in Hubeinrichtungen zu erlauben.

Kapazitätsrestriktionen Die mögliche Umschlagsmenge eines Hubs (pro Tag) ist im Allgemeinen begrenzt. Dies bedeutet, dass eine maximale Anzahl von Sendungen pro Tag im Hub umgeschlagen werden kann. Diese Begrenzung kann sich auch nur auf die „eingesammelten Waren“ beziehen, also auf solche, die nicht bereits über einen Hub

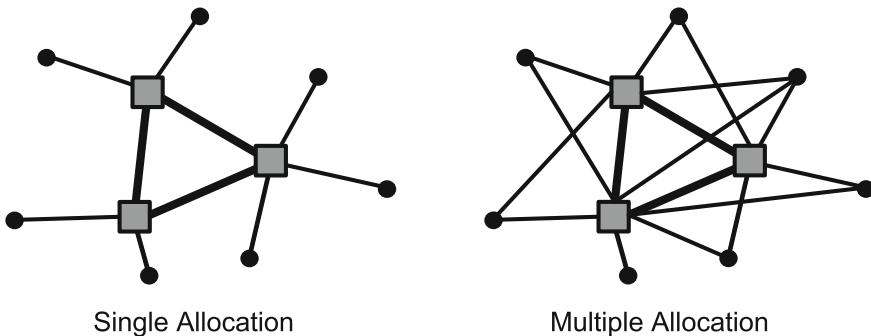


Abb. 22.3 Single Allocation versus Multiple Allocation

gelaufen sind und dort schon sortiert und markiert wurden. Dies ist abhängig von der konkreten Problemstellung. Genauso kann die Transportmenge auf gewissen Strecken begrenzt sein (etwa, weil pro Tag nur eine gewisse Anzahl an Zügen fahren kann). Des Weiteren können auch Kapazitäten von einzelnen Fahrzeugen betrachtet werden.

Splittingrestriktionen Die Frage ist hier, ob eine Warenmenge w_{ij} , welche von einem Versender i zu einem Empfänger j geliefert werden soll, beim Versender oder im Hub gesplittet werden darf und somit über verschiedene Strecken geroutet werden kann. Dabei besteht die Warenmenge w_{ij} in der Regel aus mehreren einzelnen Sendungs-/Transporteinheiten. Dies kann in der Praxis der Fall sein, wenn etwa in zwei verschiedenen LKW noch Restkapazitäten vorhanden sind, die quasi umsonst ausgenutzt werden könnten. Im Flugverkehr ist es bspw. problemlos möglich, Passagiere mit gleichem Start- und Zielort über verschiedene Strecken zu befördern um auf diese Weise die Flugzeuge optimal auszulasten (sofern sie nicht explizit gemeinsam gebucht haben). In der Belieferung von Depots oder Firmen wird es häufig gewünscht, alle Paletten gemeinsam anzuliefern. Das Verbot der Aufteilung erhöht natürlich die Schwierigkeit des Problems. Insbesondere aufgrund der strategischen Ausrichtung von Hub-Location-Problemen wird dieser Aspekt häufig nicht gefordert.

Routingrestriktionen Die meisten Hub-Location-Modelle lassen sich in Single-Allocation und Multiple-Allocation-Varianten unterteilen (vgl. Abb. 22.3). Bei der *Single-Allocation*- Version wird jeder Versender/Empfänger genau einem Hub zugeordnet, wohingegen in der *Multiple-Allocation*- Variante eine mehrfache Zuordnung möglich ist. Dies bedeutet, dass es erlaubt ist, verschiedene von einem Versender ausgehende Warenmengen über verschiedene Hubs zu routen. Dies erhöht zwar die Flexibilität und führt i. d. R zu niedrigeren Transportkosten, jedoch steigt dadurch auch die Komplexität des Modells. Voraussetzung für Multi-Allocation ist jedoch, dass schon beim Versender für jede Sendung der Zielort bekannt ist und sie dementsprechend auf einem günstigeren Weg transportiert werden kann. Erfolgt dagegen die Sortierung erst in einem Hub (wie etwa bei Briefen), so sollte man ein Single-Allocation-Modell wählen.

Hubkosten Die Hubkosten setzen sich in der Regel aus zwei Komponenten zusammen: Fixkosten (pro Tag), welche die allgemeinen Betriebskosten und Abschreibungen für die Errichtung von Hubs umfassen, sowie variablen Kosten, welche von der konkreten Umschlagsmenge abhängen. In vielen grundlegenden, einfacheren Modellen wird statt der Berücksichtigung von Fixkosten die Zahl der Hubs von vornherein (exogen) vorgegeben; dann entscheidet das Modell nur über den Ort, aber nicht über die Anzahl der Hubs.

Transportkosten In Abschn. 22.4 werden verschiedene Ansätze zur Berechnung von Transportkosten besprochen. Hier sei nur darauf hingewiesen, dass einfache lineare Modelle häufig von einem gegebenen Einheitskostensatz pro Sendungseinheit oder -menge (etwa pro kg) ausgehen, welcher auf Hub-Hub-Verbindungen (durch eine Diskontierung) niedriger ist. Dies ist zwar nicht besonders realistisch, aber einfach zu berechnen. Die Kostenabbildung in realistischeren Modellen erfordert deutlich mehr Aufwand und erhöht somit auch die Schwierigkeit des Problems. Realistischere Ansätze sind beispielsweise fahrzeugabhängige Kosten. Sobald ein Fahrzeug fährt, entstehen unabhängig von der konkreten Ladungsmenge Kosten. Auf diese Weise entsteht eine stückweise konstante oder lineare Kostenfunktion (s. auch Abschn. 22.4).

Im Folgenden wollen wir nun ein mathematisches Standardmodell für ein Hub-Location-Problem vorstellen (Campbell und O'Kelly 2012):

Als gegebene Daten brauchen wir außer der Transportmenge w_{ij} vom Versender i zum Empfänger j auch die Transportkosten pro Ladeeinheit (kg, m³, Palette, etc.), die mit c_{ij} bezeichnet werden. Wir modellieren den Bündelungseffekt von Hubs, indem wir einen Diskontierungsfaktor („Rabatt“) α mit $0 < \alpha < 1$ auf Hub-Hub-Verbindungen einführen. Sei beispielsweise $\alpha = 0,7$, so kostet der Transport auf der Hub-Hub-Verbindung $k \rightarrow l$ nur $0,7 c_{kl}$, also 30 % weniger. Diese Kostenfunktion ist zwar vergleichsweise ungenau, dafür aber gut zu berechnen. Transportieren wir nun die Ware w_{ij} über die Hubs k und l (also als $i \rightarrow k \rightarrow l \rightarrow j$), so entstehen pro Ladeeinheit Transportkosten von $c_{ik} + \alpha c_{kl} + c_{lj}$. Diese kürzen wir dann mit c_{ijkl} ab. Diese Parameter entsprechen den Eingabedaten des Modells. Sie werden also von „außen“ (exogen) gegeben.

Die zu treffenden Entscheidungen bei einer Planung eines Hub-and-Spoke-Netzwerkes sind:

- Wo (an welchen Standorten) sollen Hubs errichtet werden?
- Wie soll der Sendungsfluss verlaufen? Das heißt, wie sollen die einzelnen Knoten miteinander verbunden sein?

Zur Modellierung dieser Fragen werden Entscheidungsvariablen genutzt. Die binäre Variable H_k zeigt an, ob am Standort ein Hub genutzt wird ($H_k = 1$) oder nicht ($H_k = 0$). Die Variable X_{ijkl} beschreibt den Anteil von w_{ij} , welcher über die Verbindung $i \rightarrow k \rightarrow l \rightarrow j$ läuft. Beispielsweise bedeutet $X_{1389} = 0,3$, dass 30% der Warenmenge w_{13} von Versender 1 zum Empfänger 3 über die Hubs 8 und 9 transportiert werden (also auf dem Weg 1 → 8 → 9 → 3). Ist die Ware w_{13} nicht aufteilbar, so wäre nur binäre Variablen mit

$X_{1389} = 1$ oder $X_{1389} = 0$ zulässig, wobei die binäre Variable Eins ist, wenn das komplette Sendungsaufkommen von 1 nach 3 über die Hubs 8 und 9 transportiert wird und Null wenn kein Transport über diese Hubs stattfindet. Aufgrund der einfacheren Darstellung wollen wir aber im folgenden einfachen Modell eine Splittung erlauben. Das Modell sieht dann so aus:

$$\text{Minimiere } \sum_{i,j,k,l} w_{ij} \cdot c_{ijkl} \cdot X_{ijkl} \quad (22.1)$$

$$\sum_{k,l} X_{ijkl} = 1 \quad \text{für alle } i, j \quad (22.2)$$

$$\sum_k H_k = p \quad (22.3)$$

$$X_{ijkk} + \sum_{l \neq k} (X_{ijkl} + X_{ijlk}) \leq H_k \quad \text{für alle } i, j, k \quad (22.4)$$

$$H_k \in \{0, 1\} \quad \text{für alle } k \quad (22.5)$$

$$X_{ijkl} \geq 0 \quad \text{für alle } i, j, k, l \quad (22.6)$$

Wir werden jetzt die einzelnen Bestandteile des Modells erläutern:

1. *Gleichung (22.1):* Die Zielfunktion besteht in diesem Modell nur aus den auf Einheitskosten basierenden gesamten Transportkosten, wobei Inter-Hub-Transporte diskontiert werden. Diese ergeben sich, indem man die Kosten jeder Strecke $i \rightarrow k \rightarrow l \rightarrow j$ pro Ladeeinheit mit den Ladeeinheiten (w_{ij}) und mit ihrem Nutzungsanteil multipliziert. Dabei ist $c_{ijkl} = c_{ik} + \alpha c_{kl} + c_{lj}$ mit dem Diskontierungsfaktor $0 < \alpha < 1$.
2. *Gleichung (22.2):* Die Anteile X_{ijkm} müssen sich (für gegebenes i, j) zu 100 % aufaddieren. Somit garantiert diese Restriktion, dass das jeder Quelle-Senke-Bedarf erfüllt wird, d. h. das komplette Sendungsaufkommen von einem Versender zu einem Empfänger verschickt wird.
3. *Gleichung (22.3):* Die Anzahl der Hubs wird auf eine vorgegebene Anzahl p festgelegt. Dies ist eine gängige Alternative zur Betrachtung von Kosten für die Errichtung von Hubs.
4. *Gleichung (22.4):* Diese Restriktion ist notwendig um zulässige Lösungen zu erhalten. Sie sichert ab, dass für jede Fahrt über einen Hub auch ein Hub errichtet wird. Im Grunde ist diese Ungleichung als Implikation zu lesen. Betrachten wir die beiden möglichen Fälle:

- *k ist ein Hub:* Dann ist $H_k = 1$. Da wir aus (22.2) wissen, dass die linke Seite der Ungleichung immer kleiner oder gleich 1 ist, ist die Ungleichung in jedem Fall erfüllt.
- *k ist kein Hub:* Dann ist $H_k = 0$. Da alle Variablen auf der linken Seite ≥ 0 sind und ihre Summe jetzt ≤ 0 sein muss, ist die Ungleichung nur gültig, wenn alle Variablen auf der linken Seite gleich 0 sind.

Was bedeutet dies nun? Ist k kein Hub, so können keine Waren über k geleitet werden (also müssen die zugehörigen X -Variablen null sein). Ist k jedoch ein Hub, so gibt es keine Einschränkungen. Man kann dies auch umgekehrt formulieren: Sobald ein Fluss über den Hub k fließt, muss am Standort k auch ein Hub eröffnet sein.

5. *Gleichung (22.5):* Jeder Punkt ist entweder ein Hub oder nicht. Werte, die zwischen Null und Eins liegen, ergeben hier keinen Sinn, da kein halber Hub errichtet und genutzt werden kann.
6. *Gleichung (22.6):* Jeder Transportanteil muss ≥ 0 sein.

Insgesamt handelt es sich hierbei um ein MIP (Mixed Integer Program), da wir sowohl reelle Variablen (X_{ijkl}) als auch ganzzahlige Variablen (H_k) betrachten.

Neben der vorgestellten Formulierungsart gibt es weitere Ansätze. Im Folgenden seien zwei wichtige genannt. Im Jahr 1987 wurde von O'Kelly die erste mathematische Formulierung eines Hub-Location-Problems eingeführt (O'Kelly 1987). Diese quadratische Formulierung basiert auf binären Zuordnungsvariablen X_{ik} . Diese Variablen legen fest ob ein Knoten i einem Hub k zugeordnet wird ($X_{ik} = 1$) oder nicht ($X_{ik} = 0$). Folglich existiert ein Pfad Quelle $i \rightarrow$ Hub $k \rightarrow$ Hub $l \rightarrow$ Senke j sofern $X_{ik} = X_{jl} = 1$ gilt. Dieser Ansatz ist damit aber auch nur für Single-Allocation- Versionen anwendbar. Aufgrund der binären Zuordnungsvariablen entsteht eine quadratische Zielfunktion; daher kann man die oben beschriebenen Verfahren für lineare Probleme nur indirekt anwenden, indem man eine geeignete Linearisierung vornimmt.

Eine weitere alternative Formulierung ist durch die Mehrgüterfluss-Problem-Formulierung von (Ernst und Krishnamoorthy 1996; Ernst und Krishnamoorthy 1998) gegeben. In diesem Ansatz gibt es für jede Komponente des Flusses (Sammlung, Transfer, Verteilung) eine Variable. Die Sammlung von einer Quelle i zu einem Hub k wird über die Variable Z_{ik} dargestellt. Transferfahrten zwischen zwei Hubknoten k und l sind durch die Flussvariable Y_{kl}^i gegeben. Somit ist Y_{kl}^i der Fluss der Quelle i der von Hub k zu Hub l fließt. Die Flussvariable X_{lj}^i entspricht dem Fluss der Quelle i , der über den Hub l an die Senke j verteilt wird. Dieser Ansatz erlaubt flexiblere Modellformulierungen und insbesondere auch Flüsse über mehr als einen Hub.

Für detaillierte Darstellungen zu Hub-Location-Problemen sei auf die Übersichtsarbeiten (Alumur und Kara 2008; Campbell et al. 2002; Campbell und O'Kelly 2012) verwiesen.

Die Lösungsansätze für Hub-Location-Probleme sind vielfältig. Für kleine Problemgrößen mit wenigen zu errichtenden Hubs existieren enumerative Algorithmen (vgl. Abschn. 21.2). Diese basieren zum Teil auf Kürzeste-Wege-Algorithmen und probieren im Prinzip alle möglichen Kombinationen von Hubstandorten aus. Enumerative Ansätze sind

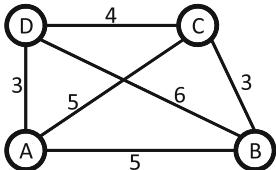
bspw. in (Ernst und Krishnamoorthy 1998; Aykin 1995) gegeben. Für größere Datensätze mit vielen möglichen Hubs bzw. einer nicht vorgegebenen Anzahl von zu errichtenden Hubs sind die Ansätze jedoch nicht effizient anwendbar. Weitere Ansätze basieren auf den klassischen Verfahren zur Lösung von MIP-Problemen (vgl. Abschn. 21.2), wie Branch-and-Bound-Verfahren (z. B. Ernst und Krishnamoorthy 1996; Ernst und Krishnamoorthy 1998; Mayer und Wagner 2002), Dual-Ascent-Methoden (z. B. Klincewicz 1996; Mayer und Wagner 2002) und Langrange-Relaxierungen (z. B. Aykin 1994). Obwohl diese beiden Kategorien von Lösungsansätzen (theoretisch) optimale Lösungen finden können, ist dieses für praxisnahe Probleminstanzen aufgrund des Laufzeitverhaltens i. d. R kaum möglich. Aus diesem Grund existieren vielfältige heuristischen Lösungsansätzen. Viele dieser Ansätze basieren auf (Meta-)Heuristiken (vgl. Abschn. 21.2), wie Tabu-Suche-Verfahren (z. B. Skorin-Kapov 1994) oder Simulated Annealing (z. B. Ernst und Krishnamoorthy 1996).

22.3 Tourenplanung

Lars Eufinger und Christian Tesch

Eine historische Eingliederung zur Planung von Rundreisen lässt sich nicht erstellen, da es sich hier um ein elementares Problem der Menschheit handelt. Der Tourenplanung liegt das in der Mathematik als Findung eines Hamiltonkreis bezeichnete Problem zugrunde. Im Englischen wird das Tourenplanungsproblem des Handlungsreisenden als Traveling-Salesperson-Problem (TSP) benannt, welches wiederum eine Variante des ursprünglichen Hamiltonkreisproblems darstellt (Applegate et al. 2007; Toth und Vigo 2001). Ein Hamiltonkreis existiert bereits, wenn auf einem gegebenen Graphen aus Knoten und Kanten ein beliebiger Kreis gefunden wird, der jeden Knoten genau einmal enthält. Das Problem ist hierbei bereits gelöst, sobald ein erster gültiger Kreis gefunden wird. Die Verschärfung des TSP nun besteht darin, dass unter allen möglichen Wegen derjenige Weg gesucht wird, der die geringste Länge aufweist.

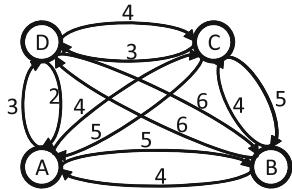
Eine sprachliche sowie formale Definition des TSP, die als Anstoß für eine wissenschaftliche Betrachtung diente, ist bereits aus dem Jahre 1930 bekannt. Erst die Idee, eine computergestützte Lösung zu schaffen, trieb erste Versuche in den 50er Jahren an, das Problem algorithmisch zu lösen. Seit dieser Zeit sind diverse Ausprägungen des Tourenplanungsproblems in der Forschung untersucht worden. Die Gründe dafür, dass ein urmenschliches und lange untersuchtes Problem heutzutage stets aktuell ist, liegen einerseits in der Komplexität der Grundaufgabe und andererseits in den höchst unterschiedlichen Anwendungsfällen wie Staplerleitplanung oder Mikrochipdesign. In der heutigen Gesellschaft findet man das Problem der Tourenplanung in erweiterten oder abgewandelten Formen, so dass eine Vielzahl an praxisrelevanten Restriktionen berück-



Ungerichteter Graph

	A	B	C	D
A	-	-	-	-
B	5	-	-	-
C	5	3	-	-
D	3	6	4	-

(Untere) Dreiecksmatrix für ungerichteten Graph



Gerichteter Graph

	A	B	C	D
A	-	4	5	2
B	5	-	5	6
C	4	4	-	4
D	3	6	3	-

Distanzmatrix für gerichteten

Abb. 22.4 Ungerichteter und Gerichteter Graph mit 4 Knoten und 6 bzw. 12 Kanten.

sichtigt werden müssen. Derartige Abweichungen von der Grundform können sich sowohl negativ als auch positiv auf die Komplexität der Gesamtproblematik auswirken.

Ein ungerichteter und ein gerichteter Graph mit jeweils vier Knoten sowie den dazugehörigen Distanzmatrizen in Abb. 22.4 dient zur Veranschaulichung benötigter Grundinformationen einer Tourenplanung.

Bei Betrachtung eines vollständigen Graphen g mit n Knoten und m Kanten stehen nach Wahl eines Startknotens noch $n-1$ Knoten zur Auswahl und da nach jeder getroffenen Auswahl genau ein Knoten weniger zur Verfügung steht, sind in Summe $(n-1)!$ unterschiedliche Hamiltonkreise möglich. Hierbei muss genau beachtet werden, ob der zugrunde liegende Graph ungerichtet oder gerichtet ist. Im *ungerichteten* Fall gilt für alle Kontenpaare a und b im dem Graph, dass die Gewichtung der Kante von a nach b gleich der Gewichtung der Kante von b nach a ist. Da somit die Richtung der benutzten Kanten keine Relevanz für eine Rundreise hat, existieren in einem ungerichteten Graph genau halb so viele mögliche Touren wie in einem gerichteten Graph, also $(n-1)!/2$. In Abb. 22.5 sind beispielhaft die möglichen sechs Rundreisen im gegebenen gerichteten Graphen dargestellt. Hierbei ist ebenfalls zu erkennen, dass zu jeder Rundreise ein Pendant existiert, welches gegenläufig ist (Paare (a) – (b)). Somit halbiert sich die Anzahl an Rundreisen in

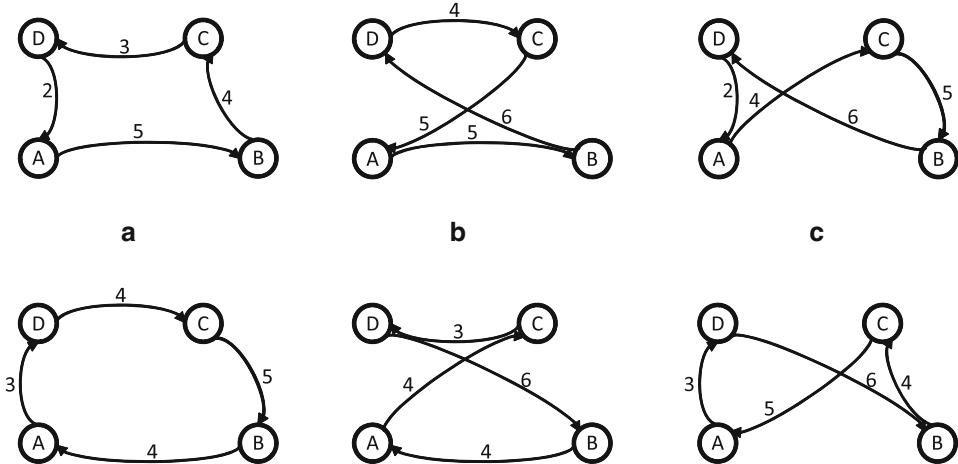


Abb. 22.5 Alle sechs möglichen Rundreisen in einem Graphen mit 4 Knoten.

der ungerichteten Variante, da die Reihenfolge der besuchten Knotenfolge irrelevant ist und die Tourenlängen jeweils gleich sind (Werners 2008, S. 175–186).

Derart überschaubare Problemstellungen wie in diesem Beispiel sind sehr schnell zu lösen, indem alle möglichen Permutationen aufgezählt und bewertet werden. Erhöht man allerdings die Problemgröße auf 20 Knoten, was einer üblichen Tourenplanungsaufgabe häufig entsprechen kann, wächst die Anzahl an Möglichkeiten bereits auf über 2,4 Trilliarden. Selbst eine computerbasierte Aufzählung kann hierbei unbrauchbar lange dauern, um das optimale Ergebnis zu errechnen. Somit müssen andere Herangehensweisen verwendet werden, die nicht unbedingt das optimale Ergebnis produzieren, aber eine Lösung mit genügend hoher Güte in akzeptabler Zeit erzielen.

22.3.1 Kürzeste Wege

Die Grundlage jeder Tourenplanung bilden Entfernungswerte zwischen allen zu betrachtenden Knoten ohne die eine Rundreise nicht zu planen und zu optimieren wäre. Diese Entfernungswerte lassen sich mithilfe von Algorithmen für das kürzeste Wege Problem (Shortest Path Problem) berechnen (vgl. Abschn. 21.2). Das kürzeste Wege Problem lässt sich in drei Teilprobleme unterteilen. Diese sind das *Source Target Shortest Path Problem* (STSP), das *Single Source Shortest Path Problem* (SSSP) und das *All Pair Shortest Path Problem* (APSP). Bei dem STSP wird der kürzeste Weg von einem bestimmten Startknoten zu einem festgelegten Zielknoten gesucht. Um von einem bestimmten Startknoten die kürzesten Wege zu allen anderen Knoten als Zielknoten zu bestimmen, wird das SSSP verwendet. Das APSP bestimmt die kürzesten Wege von allen Knoten als Startknoten zu allen anderen Knoten als Zielknoten. In Abschn. 21.2 haben wir bereits den Algorithmus

Tab. 22.1 Kürzeste Wege Algorithmen

Algorithmus	STSP	SSSP	APSP	Negative Kantengewichte
Dijkstra-Algorithmus	+	++	+	-
Bellman-Ford-Algorithmus	+/-	+	+/-	++
Algorithmus von D'Esopo und Pape	+	++	+	--
Floyd-Warshall-Algorithmus	-	+	++	--
A*-Algorithmus	++	+	-	--

++ sehr gut geeignet; + gut geeignet; +/- mittelmäßig geeignet;

- schlecht geeignet; -- sehr schlecht geeignet

von Dijkstra zur Berechnung von kürzesten Wegen kennengelernt. Dieser berechnet die kürzesten Wege von einem bestimmten Startknoten zu allen anderen Knoten, also das SSSP. Er ist der am weitesten verbreitete Algorithmus für das kürzeste Wege Problem. Jedoch kann der Dijkstra-Algorithmus nicht mit negativen Kantengewichten umgehen. Kanten mit *negativem Kantengewicht* sind Kanten deren Kostenwert negativ ist. In der Praxis sind diese jedoch nur sehr selten relevant und werden hier nur der Vollständigkeit halber genannt. Dies kann der Algorithmus von Bellman-Ford. Hier ist jedoch zu beachten, dass es möglich ist, dass negative Kreis gefunden werden. Ein *Kreis* ist ein Pfad von einem Knoten zu sich selbst. Das Kantengewicht des Pfads ist die Summe aller Kantengewichte der im Pfad verwendeten Kanten. Besitzt der Pfad ein negatives Kantengewicht wird er als *negativ* bezeichnet. Besitzt ein Graph mit negativen Gewichten einen negativen Kreis, so ist es möglich jeden Pfad beliebig klein zu machen. Dazu kann man den negativen Kreis beliebig oft durchlaufen. Aus diesem Grund gibt es zwei mögliche Ergebnisse bei dem Algorithmus von Bellman-Ford. Die erste ist, dass das SSSP Problem gelöst wurde und die kürzesten Wege vom Startknoten zu den anderen Knoten gefunden wurden. Das zweite Ergebnis ist, dass in dem Graph ein negativer Kreis gefunden wurde. Weitere Algorithmen sind der Algorithmus von D'Esopo und Pape, der Floyd-Warshall-Algorithmus und der A*-Algorithmus. Der Algorithmus von D'Esopo und Pape ist eine Modifikation des Dijkstra-Algorithmus und ist effizient für das SSSP Problem bei Graphen mit geringer Kantenzahl. Der Floyd-Warshall-Algorithmus ist effizient für das APSP Problem und wird vorwiegend dort genutzt. Der A*-Algorithmus wird hauptsächlich für das STSP Problem verwendet und benötigt in der Berechnung eine Matrix mit Luftlinienentfernungen zwischen allen Knotenpaaren, welche eine untere Schranke für den kürzesten Pfad darstellt. In Tab. 22.1 wird veranschaulicht für welche Teilprobleme die oben genannten Algorithmen geeignet sind. Für weitere Informationen zu den Algorithmen wird auf (Domschke 2007, S. 73–98) verwiesen.

22.3.2 Verfahren zur Tourenplanung

Aufgrund der individuellen Anforderungen an Tourenplaneralgorithmen sind unzählige speziell angepasste Lösungsverfahren entwickelt worden. Häufig werden hierzu beweisbar gute Verfahren um neue Nebenbedingungen ergänzt, wodurch die Komplexität der zu lösenden Aufgabe steigen oder auch sinken kann.

Eine weit verbreitete Vorgehensweise zur Entwicklung und Implementierung von Tourenplaneralgorithmen besteht aus einem zweistufigen Verfahren. In der ersten Stufe wird eine gültige Startlösung generiert, welche in der zweiten Stufe mit speziellen Verbesserungsverfahren optimiert werden kann. Zwei in der wissenschaftlichen Literatur häufig erwähnte Eröffnungsverfahren sind der 1964 von Clark und Wright entwickelte Savings-Algorithmus sowie das 1974 von Gillet und Miller entwickelte Sweep-Verfahren. Die weite Verbreitung dieser Verfahren liegt an ihrer schnellen Umsetzbarkeit sowie an den guten Lösungen des Grundproblems der Tourenplanung.

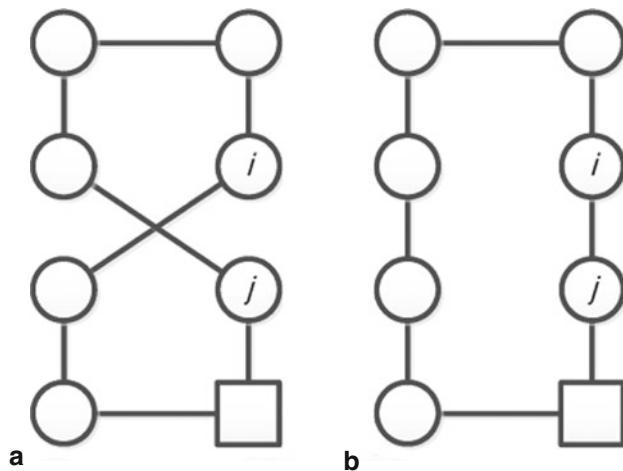
Der Savings-Algorithmus erstellt zunächst eine Anfangslösung, in der jeder Kunde durch eine eigene Tour bedient wird. Dadurch gibt es anfangs genauso viele Touren wie Kunden, die bedient werden. Jede dieser Touren hat diese Struktur: Depot – Kunde – Depot. Logischerweise sind all diese Touren nicht effizient. Deswegen werden nach und nach Touren zusammengelegt. Nehmen wir an, wir haben zwei Touren, welche wir zusammenlegen möchten. Die eine Tour ist Depot – Kunde A – Depot, die andere ist Depot – Kunde B – Kunde A. Nun können wir durch Zusammenlegen der Touren die Tour Depot – Kunde A – Kunde B – Depot und die umgekehrte Tour Depot – Kunde B – Kunde A – Depot erhalten. Dadurch sparen wir die beiden Strecken von Depot zu Kunde A und von Depot zu Kunde B, erhalten jedoch zusätzlich die Strecke von Kunde A zu Kunde B. Ist die Strecke von Kunde A zu Kunde B geringer als die Strecken vom Depot zu Kunde A und vom Depot Kunde B, so lohnt sich die Zusammenlegung der Touren. Die Ersparnis, die durch Zusammenlegung zweier Touren mit Kunde A und Kunde B zu einer Tour entstehen, werden als Savingswert bezeichnet. Diese Savingswerte werden der Größe nach sortiert und nur die Paare betrachtet, die eine Ersparnis ermöglichen. Wir beginnen mit dem Paar, welches die größte Ersparnis bietet und überprüfen ob wir die Touren zusammenlegen können. Es können immer nur Touren an ihren Endknoten zusammengelegt werden. *Die Endknoten* einer Tour sind die ersten und letzten Kunden einer Tour.

Für eine detaillierte Beschreibung des Savings-Algorithmus und für Informationen über das Sweep-Verfahren verweisen wir auf (Domschke und Scholl [2010](#), S. 228–240).

22.3.3 Häufig verwendete Verbesserungsverfahren

Die Qualität der mittels der oben beschriebenen Heuristiken berechneten Lösung ist oft nur bedingt gut und wird häufig nur als zulässige Startlösung genutzt. Man verwendet häufig

Abb. 22.6 Der Two-Opt-Operator (a) Die initiale Tour und (b) die veränderte Tour nach Anwendung des Operators auf Positionen i und j



verschiedene Operatoren um die gefundenen Lösungen zu verbessern. Zu den Operatoren zählen Intra- sowie Inter-Tour-Operatoren, welche eine bzw. zwei Touren modifizieren.

Die Intra-Tour-Operatoren umfassen u. A. den 2-Opt-, den Interchange-, und den Relocate-Operator. Der 2-Opt-Operator ändert die Reihenfolge innerhalb einer Tour so dass die Kunden an Position i und j, mit $j > i$, anschließend direkt nacheinander angefahren werden; dabei wird die Ordnung der Kunden von Position $i + 1$ bis $j - 1$, sofern existent, umgedreht. Ein Beispiel für die Anwendung des 2-Opt-Operators ist in Abb. 22.6 zu sehen. Im Gegensatz zu diesem Operator ändert der Interchange-Operator die Reihenfolge nicht, er tauscht lediglich die Position zweier Kunden. Auffällig ist, dass bei beiden Operatoren die Zielfunktion zunächst ignoriert wird und die Auswahl der Positionen innerhalb einer Tour rein zufällig erfolgt. Erst in einem späteren Schritt findet eine Bewertung und Auswahl der neu entstandenen Lösungen statt. Im Gegensatz dazu steht der Relocate-Operator, bei welchem ebenfalls ein Kunde zufällig ausgewählt wird, nach dem Entfernen aus der Tour wird dieser allerdings anschließend wieder so eingefügt, dass die Zielfunktion in Bezug auf diese Tour optimiert wird.

Im Gegensatz zu den Intra-Tour-Operatoren betrachten und modifizieren die Inter-Tour-Operatoren zwei Touren anstatt einer Tour. Zu den wichtigsten Operatoren zählen der Cross-Tour-Interchange- und der Switch-Tour-Operator. Beim Cross-Tour-Interchange-Operator werden die Kunden der Positionen i aus der ersten Tour und Position j aus der zweiten Tour miteinander vertauscht; für ein Beispiel s. Abb. 22.7 Der Switch-Tour-Operator löscht einen Kunden aus einer Tour und fügt ihn optimal – mit Bezug zur Zielfunktion – in eine andere Tour ein.

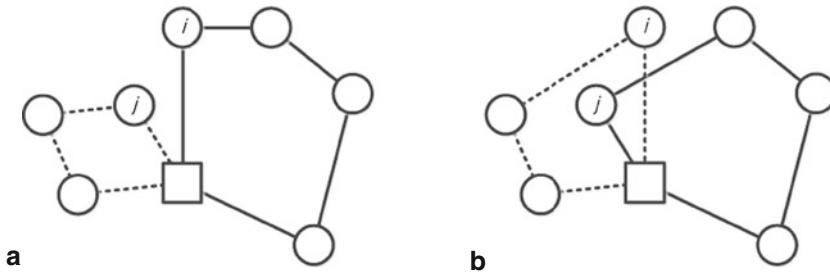


Abb. 22.7 Der Cross-Tour-Interchange-Operator (a) Die initialen Touren und (b) die veränderten Touren nach Anwendung des Operators auf Position i der ersten Tour und Position j der zweiten Tour

22.3.4 Häufige Nebenbedingungen in der Praxis

Leider lassen sich die beschriebenen Standardproblemstellungen nur sehr selten auf reale Tourenplanungsprobleme anwenden. Oft müssen diese erweitert und angepasst werden um vorgegebene Restriktionen einzuhalten. Eine gängige Verwendung für die Erweiterung der Verfahren sind Kundenzzeitsschranken. In sehr vielen Fällen wünschen die Kunden in bestimmten Zeitfenstern beliefert zu werden. Dies ist aufgrund der Öffnungszeiten der Geschäfte oder auch der innerbetrieblichen Abläufe gängig. Aber auch Fahrverbote innerhalb von Fußgängerzonen zu bestimmten Uhrzeiten können ausschlaggebend für die Kundenzzeitsschranken sein. Werden innerhalb der Optimierung die Fahrzeiten betrachtet, ist es außerdem oft sinnvoll, die Servicezeiten, die beim Be- oder Entladen auftreten, zu betrachten. Da diese Zeiten zu den Lenkzeiten der Fahrer gezählt werden, welche im gesetzlichen Rahmen bleiben sollen. Generell lassen sich die Vorgaben und Ausprägungen der Tourenplanungsprobleme in vier Kategorien einteilen (vgl. (Domschke und Scholl 2010, S. 200–203)):

1. Depot- und kundenspezifische Vorgaben
2. Vorgaben an die Fahrzeuge
3. Problemspezifische oder zusätzliche Vorgaben
4. Zielsetzungen

Diese vier Kategorien werden in Tab. 22.2, 22.3, 22.4 und 22.5 näher beschrieben.

Des Weiteren ist bei den Bedarfen zu unterscheiden ob diese deterministisch oder stochastisch vorgegeben sind. Bei *deterministischen* Bedarfen sind die gesamten Auftragsdaten

Tab. 22.2 Depot- und kundenspezifische Vorgaben

Depot- und kundenspezifische Vorgaben	
Vorgabe	Mögliche Ausprägungen
Anzahl der Depots	Ein Depot Mehrere Depots Kein Depot
Kapazität der Depots	Unbeschränkt Beschränkt Teilweise beschränkt
Typ des Bedarfs	Bedarf auf den Knoten (kundenorientiertes Problem) Bedarf auf den Kanten (kantenorientiertes Problem) Gemischt
Art des Bedarfs	Ausliefern Sammeln Gemischt ohne Reihenfolge Gemischt mit Reihenfolge
Zeitschränken/ Liefertermin	Keine zeitlichen Beschränkungen Zeitpunkt fest vorgegeben Zeitfenster pro Kunde fest vorgegeben Zeitfenster pro Kunde vorgegeben, Strafkosten bei Verletzung Frühestmögliche Bedienzeitpunkte vorgegeben Spätestmögliche Bedienzeitpunkte vorgegeben
Teilbarkeit der Aufträge	Beliebig teilbar Beschränkt teilbar Unteilbar
Bedienung der Kunden	Alle Kunden sind zu bedienen Nur eine Teilmenge der Kunden ist zu bedienen Selektion der zu bedienenden Kunden

für die Tourenplanung zum Planungszeitpunkt bekannt und es kann genau geplant werden. Bei *stochastischen* Daten sind Unsicherheiten in der Planung vorhanden, die die Tourenplanung zusätzlich erschweren. Außerdem lässt sich zwischen offline- und online-Problemen unterscheiden. Für die *offline-Probleme* sind wiederum alle Daten des Problems zum Planungszeitpunkt vorhanden. Für die *online-Probleme* kommen jedoch im Laufe der Ausführung der Touren weitere Aufträge hinzu, welche in die Planung integriert und die zuvor errechneten Touren angepasst werden müssen.

Eine weitere Möglichkeit der Zielsetzung ist es, den Lieferservice zu verbessern oder einen gewissen Lieferservice sicherzustellen.

Tab. 22.3 Vorgaben an die Fahrzeuge

Vorgaben an die Fahrzeuge	
<i>Vorgabe</i>	<i>Mögliche Ausprägungen</i>
Anzahl	Beschränkt Unbeschränkt Teilweise beschränkt
Zusammensetzung	Homogen Inhomogen
Kapazität	Beschränkt Unbeschränkt Teilweise beschränkt
Lenkzeiten	Beschränkt Unbeschränkt Teilweise beschränkt
Zeitbeschränkung/Verfügbarkeit der Fahrzeuge	Unbeschränkt Identische Beschränkung für alle Fahrzeuge Unterschiedliche Beschränkungen für die Fahrzeuge
Anzahl an Touren pro Fahrzeug	Nur eine Tour pro Fahrzeug möglich mehrere Touren pro Fahrzeug möglich
Form der Touren	Offen Geschlossen

Tab. 22.4 Problemspezifische oder zusätzliche Vorgaben

Problemspezifische oder zusätzliche Vorgaben	
<i>Vorgabe</i>	<i>Mögliche Ausprägungen</i>
Planungshorizont	Eine Periode Mehrere gleiche Perioden Mehrere unterschiedliche Perioden Unendlich

Tab. 22.5 Zielsetzungen

Zielsetzungen	
<i>Vorgabe</i>	<i>Mögliche Ausprägungen</i>
Minimierung von	Gesamtkosten Fahrzeiten Entfernungen Tourenanzahl Fahrzeuganzahl

22.4 Transportbündelung und Netzflussoptimierung

Julia Sender und Robert Voll

Kosten bzw. Transportkosten lassen sich in *mengenabhängige (variable)* und *mengenunabhängige (fixe)* Kosten unterteilen. Fixkosten entstehen beispielsweise durch den Einsatz eines Fahrzeugs oder den Einsatz von Fahrpersonal auf einer Strecke. Die Kosten entstehen unabhängig davon, ob nur eine Sendung transportiert wird oder das Fahrzeug komplett ausgelastet ist. Sobald jedoch die Kapazität eines Fahrzeugs erreicht ist und ein weiteres Fahrzeug eingesetzt werden muss, entstehen diese Fixkosten erneut. Folglich sind die fixen Transportkosten für einen Fahrzeugeinsatz durch eine „gestufte“ (stückweise konstante) Kostenfunktion gegeben. Dies ist beispielhaft in Abb. 22.8 aufgezeigt.

Bei einer solchen Kostenfunktion sinken die Stückkosten pro Sendungseinheit mit zunehmender Kapazitätsauslastung. Das bedeutet, dass der Transport der einzelnen Sendungen günstiger wird bis eine Kapazitätsgrenze erreicht ist. Dieser Effekt wird als Skaleneffekt oder mit dem englischen Begriff „Economies of Scale“ bezeichnet. Doch wie kommt es zu dieser auf den ersten Blick etwas ungewöhnlichen Kostenfunktion? Dies lässt sich einfach anhand folgenden Beispiels erklären: Angenommen, wir hätten eine Kapazität von 10 Sendungseinheiten und fixe Kosten von 100 € für ein Fahrzeug. Würde man nur eine Sendung auf einer Strecke transportieren, würden die gesamten Kosten dieser Sendung zugeordnet. Der Transport dieser Sendungseinheit kostete folglich 100 €. Würde man jedoch zwei Sendungen transportieren, wäre der Anteil der Kosten für jede Sendung nur noch die Hälfte. Pro Sendungseinheit wäre somit ein Stückkostenpreis für den Transport von 50 € gegeben. Würden nun 10 Sendungen transportiert, wäre der Kostenanteil nur noch ein Zehntel (also 10 €). Bei voller Auslastung wäre der Stückkostenpreis pro Sendung somit so gering wie möglich. Der Kostenanteil, der auf eine Sendung entfällt, wird also umso kleiner, je mehr Sendungen transportiert werden. Was geschieht aber, wenn nun 11 statt 10 Sendungen transportiert werden sollen? In dem Fall müssten zwei Fahrzeuge eingesetzt werden, was zu Kosten von 200 € führt. Folglich würde der Stückkostenpreis bei 200 € Fahrzeugkosten und 11 Sendungseinheiten bei circa 18 € liegen. Würde man nun 12 Sendungen transportieren, wäre der Stückkostenpreis durch etwa 16 € gegeben. Der Stückkostenpreis fiele somit nicht mehr so stark ab wie im Fall von nur einem Fahrzeug. Bei voller Auslastung des zweiten Fahrzeugs würden die 200 € auf 20 Sendungseinheiten gleichmäßig verteilt, so dass in diesem Fall wieder ein Stückkostenpreis von 10 € pro Sendung gegeben wäre. Folglich nähmen die Stückkosten bis zu einem Minimum, welches durch die Stückkosten bei kompletter Auslastung gegeben ist, ab. Die Kosten für ein zusätzliches Transportmittel würden dabei jeweils anteilig durch alle Sendungseinheiten geteilt, so dass die sprunghaften Anstiege der Kostenfunktion immer geringer (mit zunehmender Sendungsmenge) würden.

Generell stellen Fixkosten eine konstante Kostenfunktion dar, falls nur eine Ressource oder Einrichtung mit einer gewissen Kapazität zur Verfügung steht. Diese verläuft

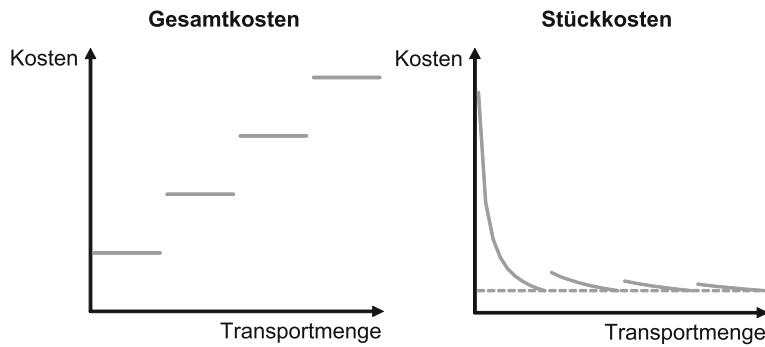


Abb. 22.8 Kostenfunktionen bei fixen Kosten

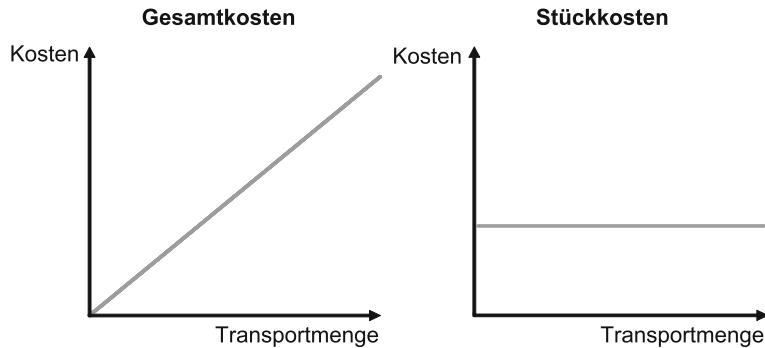


Abb. 22.9 Kostenfunktionen bei variablen Kosten

parallel zur x-Achse mit wachsendem Sendungsaufkommen. In diesem Fall fällt die Stückkostenfunktion bis zu dem Minimum (bei voller Auslastung) ab. Folglich entsprechen die Kostenverläufe denen bis zum ersten Sprung in Abbildung Abb. 22.8. Falls verschiedene Fahrzeugtypen mit verschiedenen Kapazitäten und Kosten betrachtet werden, müssen die Kostenfunktionen und -verläufe angepasst werden. Die zuvor beschriebene Logik hinter dem Aufbau der Kostenfunktionen bleibt jedoch bestehen.

Bei mengenabhängigen Kosten wird ein Einheitskostenfaktor pro Sendungseinheit angenommen. Diese Kosten fallen unabhängig davon an, wie viele Einheiten tatsächlich transportiert werden. Die Stückkosten pro Sendungseinheit sind somit konstant (vgl. Abb. 22.9). Wenn nur eine Sendungseinheit transportiert wird, fallen diese Kosten nur einmal an. Sobald zwei Sendungseinheiten transportiert werden, fallen diese Kosten also zweimal an, usw. Auf diese Weise ergibt sich eine linear steigende Kostenfunktion (vgl. Abb. 22.9). Variable Kosten können beispielsweise durch manuellen Aufwand je Sendung oder Energiekosten entstehen, die genau einer Sendungseinheit zuzuordnen sind.

Folglich entsteht die Gesamtkostenfunktion aus der Addition beider Kostenverläufe. Die kombinierten Gesamtkosten sind folglich stückweise lineare Kostenfunktionen und die

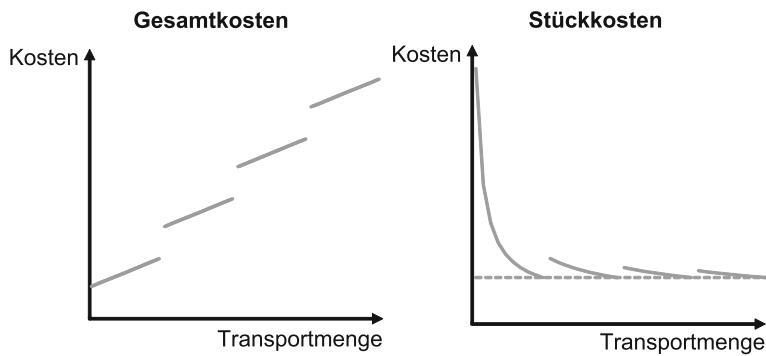
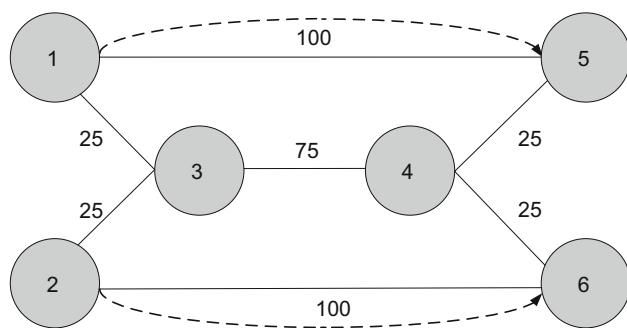


Abb. 22.10 Kostenfunktionen bei fixen und variablen Kosten

kombinierten Stückkosten sind somit stückweise fallende Kostenfunktionen mit Sprüngen, sobald die Kapazitätsgrenze der Fahrzeuge erreicht ist (vgl. Abb. 22.10).

Die genaue Zusammensetzung dieser Kosten hat auch Auswirkungen auf die Gestaltung von Netzwerken, was im Folgenden näher erläutert wird. Dazu wird zunächst auf verschiedene Netzwerktypen eingegangen, bevor die Auswirkungen der Kosten beispielhaft erläutert werden. In Netzwerken werden Sendungen (Güter, Daten, etc.) zwischen Quellen (Versender) und Senken (Empfänger) transportiert. In einem Direktverkehrsnetz (vgl. Abb. 22.1) erfolgt ein Transport vom Versender direkt zum Empfänger. Es bestehen also direkte Verbindungen zwischen allen Quellen (Versendern) und Senken (Empfängern), so dass der Transport ohne Zwischenstopps in Hub- oder Lagereinrichtungen erfolgt. In einem System mit n Knoten gibt es somit genau $n \cdot (n-1)$ Transportverbindungen. Jeder Knoten ist mit allen anderen ($n-1$) Knoten verbunden, aber nicht mit sich selbst. Im Fall von 10 Versendern und Empfängern wären dies schon 90 Verbindungen; im Fall von 100 Versendern und Empfängern schon 9.900 mögliche Verbindungen. Somit ist eine große Zahl von Verbindungen notwendig, um alle Versender und Empfänger zu erreichen. Insbesondere bei kleinen Sendungsmengen führt dies natürlich zu einer schlechten Auslastung der Fahrzeuge. In vielen (logistischen) Anwendungen wäre dies sogar praktisch unmöglich. Man stelle sich beispielsweise ein Direktverkehrsnetz für den Briefversand vor. In diesem Fall müssten die Briefe von jedem einzelnen Kunden (etwa Haushalt, Büro, Unternehmen) direkt mit einem eigenen Fahrer und Fahrzeug zu jedem anderen Kunden transportiert werden. Auch wenn diese Sendung nur eine einzelne Postkarte umfassen würde. Falls ein Kunde beispielsweise nur ein Paket oder einen Brief verschicken würde, wäre für den Versand ein Fahrzeugeinsatz notwendig. Auch wenn dieses Fahrzeug kaum beladen wäre, würden die Kosten für den Einsatz des Fahrzeugs sowie die Personalkosten für den Fahrer anfallen. Damit wäre der Transport dieser Sendung sehr kostenintensiv. In diesem Fall entstünden höhere Fixkosten je Sendungseinheit (Abb. 22.8). Würde die Sendungsmenge des Kunden ein Fahrzeug komplett auslasten, wären die Kosten je Sendungseinheit folglich relativ gering. Ein primäres, logistisches Ziel ist es somit, die Fahrzeuge auf jeder Strecke möglichst gut auszulasten. Aus diesem

Abb. 22.11 Beispiel zur Bündelung



Grund haben sich Hub-and-Spoke Netze entwickelt. In diesen Netzen wird Sendungsaufkommen von verschiedenen Versendern und Empfängern auf Teilstrecken gebündelt. Somit erfolgt der Transport nicht direkt, sondern über Hubeinrichtungen, in denen das Sammeln und Verteilen von Sendungen stattfindet, um die Vorteile der Bündelung zu nutzen. In einem Netz mit nur einem Hub kann die Anzahl von Verbindungen auf $2 \cdot n$ reduziert werden. Im obigen Beispiel mit 10 Versendern/Empfängern wären somit nur noch 20 Verbindungen und im Fall von 100 Versendern/Empfängern nur noch 200 Verbindungen notwendig. Folglich reduziert sich i. d. R auch die Anzahl der notwendigen Fahrzeuge. Auf diesen Verbindungen wird dann das Sendungsaufkommen gebündelt. Wenn bspw. obiger Kunde jeweils ein Paket an 10 Empfänger schickt, würden diese Pakete auf der Strecke zum Hub gemeinsam transportiert werden. Dort würden sie entsprechend den Empfängern mit weiteren Paketen gebündelt werden und gemeinsam zu den einzelnen Empfängern transportiert werden. Die Gestaltung der Kosten hat große Auswirkungen auf die Gestaltung und Optimierung von Transportnetzen, was im Folgenden näher erläutert wird.

Gewisse Kostenstrukturen bewirken in Transportnetzen eine Bündelung von Materialströmen und erfordern eine zentralisierte Planung. Zur Veranschaulichung wird das Beispiel in Abb. 22.11 herangezogen. In diesem Beispiel sei ein Transportnetzwerk mit 6 Umschlaganlagen gegeben. Die Knoten 1 und 2 seien dabei die Quellen von zwei Sendungen, die zu den Knoten 5 bzw. 6 zu liefern seien (gestrichelte Linien). In dem Beispiel wird angenommen, dass die Sendungen dabei klein genug seien, dass sie gemeinsam in einem Fahrzeug transportiert werden könnten. Für jede Kante des Netzwerkes sei die Länge bekannt. Die Längen sind in der Abbildung eingezeichnet. Die Kosten für den Einsatz eines Fahrzeuges auf einer Kante seien im Beispiel proportional zu ihrer Länge. Umschlagkosten werden zu Gunsten der Übersichtlichkeit vernachlässigt.

In dem Beispiel sind zwei unterschiedliche Kostenszenarien zu unterscheiden. Im ersten Szenario entstehen Kosten für jeden Kilometer, den eine Sendungseinheit transportiert wird. Diese Kosten sind unabhängig von der konkreten Auslastung der Fahrzeuge. Folglich entsprechen diese Kosten den zuvor erläuterten variablen Kosten. Eine solche Kostenstruktur kann z. B. auftreten, wenn der Versender die Transportleistung bei einem Logistikdienstleister einkauft und für jede zu transportierende Sendungseinheit einen fe-

sten Kostensatz (pro km oder Strecke) zahlt. Im zweiten Szenario ist der Versender zugleich der Operateur und seine Kosten entstehen durch den Einsatz eines Fahrzeuges. Die Kosten werden also nicht sendungsweise, sondern je Fahrzeugkilometer betrachtet. Somit müssen hier Fixkosten je Fahrzeugeinsatz betrachtet werden.

Es stellt sich nun die Frage, wie die beiden Sendungen in beiden Szenarien kostenminimal an ihr Ziel gebracht werden können. Im Falle der sendungsbasierten Kosten in Szenario 1 ist leicht einzusehen, dass jedes Paket auf dem kürzesten Weg, d. h. über die je 100 km lange Direktkante, von seiner Quelle zum Ziel gebracht wird. Diese Lösung verursacht in Summe 200 Sendungskilometer und ist für dieses Szenario optimal.

Die Situation ändert sich massiv durch die Betrachtung des Szenarios 2. Da nun jeder Kilometer eines Fahrzeuges Kosten verursacht, unabhängig von der geladenen Menge, und die Möglichkeit besteht, die Sendungen in einem gemeinsamen Fahrzeug zu transportieren, entsteht ein wichtiger Effekt, der als Bündelungseffekt bezeichnet wird. Der Direkttransport der beiden Sendungen führt auch hier zu Kosten für 200 Fahrzeugkilometer. Dies ist jedoch nicht die günstigste Variante. Es ist möglich, zunächst beide Sendungen von ihren jeweiligen Quellen zu Knoten 3 zu transportieren und von dort aus gemeinsam zu Knoten 4 zu bringen. Dadurch entstehen auf der langen Kante zwischen 3 und 4 nur Kosten für ein Fahrzeug und 75 km. Die Sendungen können in 4 aufgeteilt und ihren Bestimmungsorten zugeführt werden. In der Summe entstehen auf diese Weise Kosten für 175 Fahrzeugkilometer. Die Ersparnis ist durch die Bündelung der Sendungsströme auf der zentralen Kante von 3 nach 4 möglich. Es handelt sich um die optimale Lösung für das betrachtete Szenario.

Eine Analyse dieses Ergebnisses zeigt, dass die individuelle Strecke jedes einzelnen Paketes mit 125 km 25 % länger ist als die kürzest mögliche Verbindung (Direktverbindung). Das nicht mehr sendungsbasierte Kostenmodell führt somit dazu, dass zur Bestimmung einer netzglobalen Optimallösung die Zentralisierung der Transportentscheidungen notwendig wird, d.h. die Routen der Sendungen können nicht unabhängig voneinander optimal bestimmt werden. Diese Zentralisierung wird notwendig, weil eine stärkere Interdependenz zwischen den Routen einzelner Sendungen entsteht. Durch die Betrachtung von auf dem Fahrzeugeinsatz basierenden Kosten bietet das Modell einen Blick auf freie Kapazitäten, für die ohnehin schon Kosten entstanden sind. Diese freien Kapazitäten können folglich von anderen Sendungen genutzt werden.

Zur Verdeutlichung sei jedoch noch darauf hingewiesen, dass Bündelung nur dann Einzug in das Ergebnis hält, wenn alle Sendungen zeitgleich betrachtet werden. Wird die Planung einzelner Routen sequentiell durchgeführt, wird im vorgestellten Beispiel für beide Szenarien die gleiche Lösung über die Direktkanten erzeugt.

Die Bündelung von Transportströmen wird aufgrund dieser Kosteneffekte in der Logistik häufig angewandt. Dem Operateur entstehen zumeist Fixkosten für den Einsatz eines Transportmittels. Der Grad der Auslastung verändert diese Kosten meist nur geringfügig, z. B. durch höhere Treibstoffkosten bei höherem Gewicht. Somit versucht der Operateur Warenströme zu bündeln, um die Transportkosten zu minimieren.

Durch die Errichtung und den Betrieb von Hubeinrichtungen entstehen jedoch auch Kosten. Somit muss beim Design von Transportnetzen und der Entscheidung für einen Netztyp immer ein Kompromiss zwischen Transportkosten, die durch eine Bündelung von Sendungseinheiten sinken können, und Kosten für Hubeinrichtungen, die durch den Bau und Betrieb Kosten verursachen, gefunden werden.

22.5 Simulation logistischer Anlagen

Daniel Diekmann, Ina Goedicke und Jan Kaffka

Logistische Anlagen (z. B. Speditionsanlagen, Distributionszentren, Häfen) stellen in übergeordneten Transportketten wichtige Umschlagpunkte dar, deren Leistungsfähigkeit wesentlich die am Markt angebotenen Dienstleistungen bestimmt. Insbesondere die kundenseitig gestiegenen Service- und Qualitätsanforderungen sowie der insgesamt zu verzeichnende Zuwachs an Sendungsmengen bringen für die Betreiber neue Herausforderungen mit sich. Damit definierte Kosten- und Serviceziele erreicht werden können und keine Engpässe innerhalb der Transportnetze entstehen, müssen daher Effizienzsteigerungen erschlossen oder Neu- bzw. Erweiterungsbaumaßnahmen durchgeführt werden.

Mit zunehmender Größe und Komplexität der Anlagen wachsen auch die Anforderungen an eine effizienten Planung und Steuerung. Viele Einzelprozesse, welche nicht selten stochastische Eigenschaften haben und stark voneinander abhängig sind, müssen bestmöglich aufeinander abgestimmt werden, um zu einem Gesamtoptimum zu gelangen. Da dieses Zusammenspiel mit herkömmlichen Methoden häufig nur unzureichend genau analysiert werden kann, sind am Institut für Transportlogistik anwendungsorientierte Simulationsumgebungen für verschiedenste logistische Knoten entwickelt worden. Für die Anwendungsfelder des Straßengüterverkehrs sowie des Kombinierten Verkehrs werden im Folgenden die Entwicklungen, praktische Aufgabenfelder und exemplarische Ergebnisse vorgestellt.

22.5.1 Simulation von Umschlaganlagen im Straßengüterverkehr

Im Straßengüterverkehr existiert eine Vielzahl sehr unterschiedlich ausgeprägter Anlagen für den Umschlag, welche sich insbesondere in Hinblick auf die eingesetzte Technik und den Grad der Automatisierung differenzieren lassen. So sind Anlagen im Stückgutspeditionsgeschäft stärker durch manuelle Umschlagtätigkeiten charakterisiert, wohingegen Anlagen von Paketdienstleistern einen sehr hohen Automatisierungsgrad besitzen. Darüber hinaus bestehen nahezu bestandslose Anlagen (z. B. Cross Docking Terminals) oder Umschlaganlagen mit angeschlossenen Lagerbereichen und -flächen (vgl. Abschnitt 11.5).

Mit Blick auf die typischen Aufgaben lassen sich die Anlagen des Straßengüterverkehrs allgemein in die Subsysteme des außerbetrieblichen Yard Managements und der innerbe-

	Yard-Management	Schnittstelle Tor	Terminalgebäude
Layoutplanung	Größe und Nutzung externer Flächen	Position Be- & Entladung, Zuordnung Ziele zu Toren	Größe und Nutzung interner Flächen
Betriebsstrategien	Verkehrsfluss- und Rangierersteuerung	Zuordnungsregeln	Personalsteuerung, Beladekonzepte

Abb. 22.12 Aufgabenfelder der Layoutplanung und der Betriebsstrategien

trieblichen Tätigkeiten im Terminalgebäude unterteilen. Die Schnittstelle zwischen diesen beiden Subsystemen stellen die Be- und Entladetore des Terminals dar. Abbildung 22.12 beschreibt die typischen Aufgabenfelder, welche sich in die Ebenen der mittel- bis langfristigen Layoutplanung und der kurzfristigen Betriebsstrategien unterteilen lassen.

Die Layoutplanung beschäftigt sich mit der räumlichen Anordnung und den funktionalen Zusammenhängen aller Flächen die zur Fahrzeug- und Sendungsabwicklung notwendig sind. Grundsätzlich muss hierbei zwischen Neu- und Erweiterungsplanungen unterschieden werden. Erweiterungsplanungen schränken durch die Beachtung vorhandener Restriktionen den Lösungsraum ein. Für die außerbetriebliche Planung des Hofs müssen die externen Funktionsflächen in Bezug auf Größe und Nutzung geplant werden. Hierzu gehören die Eingangskontrolle, Warte-, Stell- und Rangierflächen sowie Fahrwege. Hinsichtlich der Schnittstelle Tor ist neben der Bestimmung der Art und Anzahl der Tore die optimale Lage der Be- und Entladetore eine wichtige Planungsaufgabe, da diese maßgeblichen Einfluss auf die Transportentfernungen innerhalb der Terminals hat (Clausen et al. 2009). Zu den innerbetrieblichen Flächen, die in Größe und Nutzung definiert werden müssen, gehören u. a. Entladepuffer, Fahrwege, Lager- und Bereitstellflächen. Da der Planungshorizont des Layouts mittel- bis langfristiger Art ist, fallen Aufgaben bezüglich der Anzahl oder Ausrichtung der Layoutobjekte nicht regelmäßig, sondern nur beim Neubau oder initiiert durch größere Marktveränderungen an. Die Zuordnung von Relationszielen zu Beladetoren wird allerdings in kürzeren Zeithorizonten (z. B. monatlich) aufgrund von kleineren Änderungen in der Kundenstruktur oder saisonalen Mengenschwankungen durchgeführt.

Zu den Betriebsstrategien einer Umschlaganlage gehören u. a. die Verkehrsfluss- und Rangierersteuerung auf dem Hof, die Zuordnungsregeln der Torbelegungsplanung an der Schnittstelle des Tors sowie die innerbetriebliche Personalsteuerung im Terminal. Heutzutage werden diese Aufgaben hauptsächlich auf Basis von individuellen Kenntnissen

und Erfahrungen der Anlagenbetreiber mit wenig Automatisierungsunterstützung ausgeführt (Van Belle et al. 2012). Intelligentes Yard Management in Form einer Steuerung der Rangievorgänge von Wechselbrücken und Sattelaufliegern gilt als Erfolgsfaktor, da die Wechselzeiten zwischen zwei Fahrzeugen entscheidenden Einfluss auf die Leistung im Terminal haben. Daran knüpft die Priorisierung bei der Torzuordnung an, die sich auf die nachgelagerten, internen Prozesse auswirkt. Für letztere ist insbesondere die dynamische Anpassung der Personalressourcen wichtig, um alle anfallenden Aufgaben auch zu Stoßzeiten rechtzeitig und effizient abfertigen zu können.

Optimierung auf der Basis von Simulation In Hinblick auf die in Abb. 22.12 vorgestellten, sich gegenseitig beeinflussenden Aufgabenfelder wird eine ganzheitliche Methode zur Optimierung von Logistikknoten des Straßengüterverkehrs entwickelt, damit eine Analyse der komplexen Zusammenhänge zwischen den Systemkomponenten möglich ist (Rohrer 1995). Die Methode muss dabei allen Anforderungen realer Umschlaganlagen gerecht werden. Aufgrund des hohen Abhängigkeitsgrads und der Komplexität sowohl beim Yard Management als auch innerhalb des Terminals, kann eine analytische Methode keine ganzheitliche Sicht auf Systeme realer Größenordnung gewährleisten. Ebenso ist es nur bedingt sinnvoll, einzelne Bereiche durch mathematische Optimierung zu verbessern, da im Vorfeld nicht bekannt ist, welche Teilsysteme bzw. Veränderungen in welchen Teilsystemen die größte Auswirkung auf die Gesamtleistung eines Terminals haben. Die Methode muss daher sowohl Layoutentscheidungen als auch operative Prozesse der Nutzung und Steuerung von Ressourcen in Betracht ziehen. Das Zusammenspiel dieser Aspekte eines Terminals hat einen entscheidenden Einfluss auf Leistung und Kosten. Aus diesem Grund ist eine simulationsbasierte Methode zu bevorzugen, da sie die komplexen und stochastischen Zusammenhänge realer Systeme im Zeitverlauf berücksichtigt und damit Lösungen für die Herausforderungen von Anlagenplanung und -betrieb bietet. Es werden Indikatoren für die Effizienz des Gesamtprozesses ermittelt, daraus neue Strategien entwickelt und ihre Auswirkung auf das System geprüft (Goedicke und Deymann 2010).

Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, ist in Zusammenarbeit mit Incontrol Simulation Solutions und dem Institut für Transportlogistik an der TU Dortmund die Simulationsumgebung TransSim Node (Vorgängerversion: VeloS) entwickelt und seitdem vielfach angewandt und ergänzt worden (Goerke et al. 2006). TransSim Node ermöglicht auf der Basis der Simulationssoftware Enterprise Dynamics die Modellierung und Simulation von Material- und Informationsflüssen in Logistikknoten des Straßengüterverkehrs (Deymann und Neumann 2008). Die spezielle Simulationsumgebung wird verwendet, um die Effekte von strategischen und operativen Planungsprozessen zu untersuchen und Optimierungsmöglichkeiten in den inner- und außerbetrieblichen Prozessen der Terminals zu testen. So kann ein wichtiger Beitrag dazu geleistet werden, die Umschlagleistung bzw. -effizienz von Speditionen zu erhöhen (Deymann und Neumann 2008). Die entwickelte Simulationsumgebung bietet dazu alle typischen Komponenten einer Umschlaganlage des Straßengüterverkehrs, insbesondere Speditionsterminals, als Modellierungsbauusteine an,



Abb. 22.13 3D-Sicht außerbetrieblicher und innerbetrieblicher Bereiche im Simulationsmodell (TransSim Node)

und erlaubt die Analyse sowohl langfristiger, strategischer als auch kurzfristiger, operativer Entscheidungen anhand eines experimentierbaren Simulationsmodells.

Vorgehensweise bei der Modellierung mit TransSim Node Die Modellierung von Logistikknoten mit TransSim Node erfolgt auf mikroskopischer Ebene durch die Verwendung von typischen Bausteinen. So sind die Bewegungen auf dem Hof, von der Anmeldung beim Pförtner bis zur Abmeldung und dem Verlassen der Anlage, sowie alle Prozesse innerhalb des Terminals für den Umschlag und die Sortierung der Sendungen detailliert abbildbar (vgl. Abb. 22.13). Dabei verwendet TransSim Node sowohl vorkonfigurierte Bausteine der Software Enterprise Dynamics als auch spezielle Bausteine, welche durch das Institut für Transportlogistik an der TU Dortmund, teilweise in Kooperation mit der Firma Incontrol, entwickelt worden sind (Deymann und Neumann 2008).

Zur Modellierung relevanter Strukturen und Prozesse können in einem Umschlagterminal statische und dynamische Komponenten differenziert werden. Zu den statischen Komponenten zählen der Pförtner, Ladestellen oder Warte- und Pufferbereiche, die zusammen das Layout der Anlage bilden und somit als Basis für die Bewegung der dynamischen Komponenten dienen. Der Pförtner stellt dabei die Systemgrenze einer Anlage zu den im übergeordneten Transportnetz stattfindenden Verkehren dar (Goerke et al. 2006). Die Abbildung erfolgt maßstabsgetreu basierend auf den wichtigen Eigenschaften, wie Größe und Position. Die statischen Komponenten stellen die Quellen und Ziele im Modell dar und sind über die Modellierung von Transportbausteinen miteinander verknüpft (z. B. außerbetriebliches Straßennetzwerk auf dem Hof, innerbetriebliches Staplernetzwerk). Die dynamischen Komponenten hingegen bewegen sich im System, wie beispielsweise Sendungen, Fahrzeuge, Gabelstapler oder Mitarbeiter.

Fahrzeuge und Transporteinheiten, wie z. B. Container, werden dabei realitätsnah in den möglichen Kombinationen und Zuständen abgebildet und können sich dynamisch im Verlauf eines Modells verändern: Fahrzeuge mit/ohne Anhänger, Sattelzüge, Wechselbrücken leer/voll etc. (Neumann und Szewczyk 2008). Das Yard Management ist in einem zentralen Steuerungselement implementiert, welches über Tabellen die Zustände

der einzelnen außerbetrieblichen Layoutkomponenten verwaltet und auf der Grundlage dieser Informationen ein Routing der Fahrzeuge im Modell vornimmt. Es kommen dabei folgende Tabellen zur Anwendung (Neumann und Szewczyk 2008):

- *Übersichtstabellen* verwalten allgemeine Informationen, z. B. zu den Fahrzeug- und Sendungstypen.
- *Eingangstabellen* beschreiben die Eingangslast für das System in Form von eingehenden Fahrzeugen und Sendungen.
- *Statische Ablauftabellen* legen für die eingehenden Fahrzeuge sog. Fahrtenketten fest, die angeben, in welcher Reihenfolge welche Stationen auf den Gelände anzufahren sind.
- *Dynamische Tabellen* dienen der Speicherung der Systemzustände. Sie existieren jeweils für alle Objektgruppen, z. B. alle Ladestellen, und halten dabei für jedes Objekt dynamisch die relevanten Parameter fest (Name, frei/belegt etc.). Außerdem gibt es Tabellen, die sich während des Simulationslaufs in ihrer Länge verändern, da sie z. B. alle nicht abgeschlossenen Aufträge für die Rangierfahrzeuge enthalten.

Die Umgebung TransSim Node gehört somit zur Gruppe der Transportsimulationswerkzeuge, welche zwischen- und innerbetriebliche Flüsse von Waren sowie die dafür notwendigen Warenumschläge und Zwischenlagerungen betrachtet. Sie grenzt sich damit von sog. Verkehrssimulationen ab, welche zur ganzheitlichen Betrachtung von Verkehrssystemen, z. B. dem Straßennetz in einer Großstadt, konzipiert sind (Ruesch et al. 2010).

Mithilfe der auf TransSim Node basierenden Simulationsmethode können sowohl bestehende Standorte verbessert als auch die Planung neuer Terminals unterstützt werden. Soll eine Umschlaganlage durch eine Simulationsstudie optimiert werden, ist zunächst eine detaillierte Analyse erforderlich. Im ersten Schritt müssen sowohl interne als auch externe Layoutdaten und Prozesszeiten gesammelt sowie Sendungsdaten für die entsprechende Systemlast aufbereitet werden. Um die Datenbasis in das Simulationsmodell zu integrieren, sind entsprechende unterstützende Softwaretools entwickelt worden. Darüber hinaus wurden Module implementiert, die Änderungen von Torzuordnungen und die Steuerung von Bereitstellflächen vereinfachen, sodass eine verhältnismäßig schnelle Modellierung des innerbetrieblichen Layouts ermöglicht wird. (Clausen et al. 2011a)

Das erste Modell einer Simulationsstudie repräsentiert in der Regel das IST-System und dient zur Validierung sowie als Referenzmodell für die Untersuchung alternativer Szenarien (z. B. einer veränderten Steuerungsstrategie für die Flächenbelegung). Die Analyse des IST-Systems legt außerdem Engpässe offen, auf die im weiteren Verlauf der Simulationsstudie genauer eingegangen werden kann. Insbesondere die Abbildung der Steuerung in einem Simulationsmodell stellt je nach Szenario unterschiedliche Anforderungen. Üblicherweise erfolgen Zuweisungsentscheidungen in den betrachteten Umschlaganlagen, z. B. die Zuweisung von Fahrzeugen zu Toren, nach dem first-come-first-serve Prinzip (FCFS), da nur wenige Prozesse über die Informations- und Kommunikationstechnologie zur Realisierung komplexer Strategien verfügen (Van Belle et al. 2012). Die offene Architektur der Simulationssoftware ermöglicht es an dieser Stelle jedoch, intelligenteren Strategien

zu implementieren und ihre Wirkung auf das Umschlagsystem zu bewerten. Alternative Abfertigungsregeln sind zur möglichen Verbesserung des Systems bereits Bestandteil der Simulationsumgebung. Bei Torzuweisungen können u. a. Priorisierungen von einzelnen Toren und Fahrzeugen oder eine gleichmäßig verteilte Auslastung aller Tore genutzt werden. Innerhalb des Terminals ist ein intelligentes System zur Staplersteuerung integriert, welches Distanzen, Puffergrößen, Auslastungen und Sendungsdaten einbezieht (Clausen et al. 2011b). Darüber hinaus ist die Modellierung von Mitarbeitern unter Berücksichtigung von typischen Schichtplänen und Aufgaben möglich. Des Weiteren ist ein Unterflur-Schleppkettenförderer als zusätzliches Modul entwickelt und implementiert worden, welches für die detaillierte Evaluation des benötigten Personals und der Anzahl an Hubwagen sowie der Strategie für die Rückführung leerer Hubwagen einsetzbar ist (Kaffka et al. 2010).

Alle beschriebenen Elemente der Simulationsumgebung sind flexibel einsetzbar, sodass unterschiedliche Szenarien modelliert und ihre Auswirkungen auf die identifizierten Engpässe und die Gesamtsystemleistung beurteilt werden können. Um verschiedene Szenarien vergleichbar zu machen, ist ein standardisiertes Kennzahlensystem entwickelt worden. Dieses basiert auf detaillierten Daten, die im Verlauf der Simulationsläufe aufgenommen werden und die Ereigniskette von jeder Sendung und jedem Fahrzeug verfolgen. Einerseits zeigen die Ergebnisse die Veränderungen der Prozess- und Ressourcenauslastung auf. Andererseits stellen sie Kennzahlen hinsichtlich der Umschlagleistung in Bezug auf die Sendungen bzw. Sendungstypen sowie die Fahrzeuge zur Verfügung. Insgesamt entstehen aggregierte Kennzahlen, die bei der Identifikation der besten Alternative zur Leistungsverbesserung dienen. (Clausen et al. 2012a)

Studien und Ergebnisse Seit der Entwicklung der Simulationsumgebung wurde sie vielfach in Simulationsstudien verschiedener Umschlaganlagen angewandt. Im Folgenden werden exemplarisch drei Anwendungsszenarien und Ergebnisse vorgestellt.

Im Fokus der Analysen des ersten Szenarios stand die Untersuchung der Auswirkungen einer effizienten Organisation des Yard Managements auf das dazugehörige Terminal (Goedcke und Deymann 2010). Ziel der Untersuchungen war eine Effizienzsteigerung an der Schnittstelle zwischen Hof und internen Handlingsprozessen. Um die Auswirkungen der verschiedenen Strategien darstellen zu können und das System zu validieren, erfolgte zunächst die Simulation der IST-Situation. Dabei wurden die Reihenfolgen der Rangierzorgänge und die Zuweisungen der Stellplätze nach dem FCFS-Prinzip vorgenommen. Die aus den Simulationsläufen gewonnenen Ergebnisse wurden anschließend den Ergebnissen der neuen Szenarien gegenübergestellt. Die Auswertungen zeigten, dass sich durch die Anwendung einer Kombination der Abfertigungsprinzipien „kürzester Weg“ und „längste Wartezeit“ sowie einer intelligenten Stellplatzzuweisung die Rangierzeiten um bis zu 30 % reduzieren lassen. Weiterführend sind die Auswirkungen der Hofprozesse auf die Entladeleistung detailliert untersucht worden (Clausen und Goedcke 2012).

Die Auswirkungen der Lage der Entladetore auf die innerbetrieblichen Wege waren Untersuchungsgegenstand des zweiten Anwendungsszenarios (Clausen et al. 2011b). Hierbei war eine Umschlaganlage in I-Form mit zwei unterschiedlichen Positionen der Entladezo-

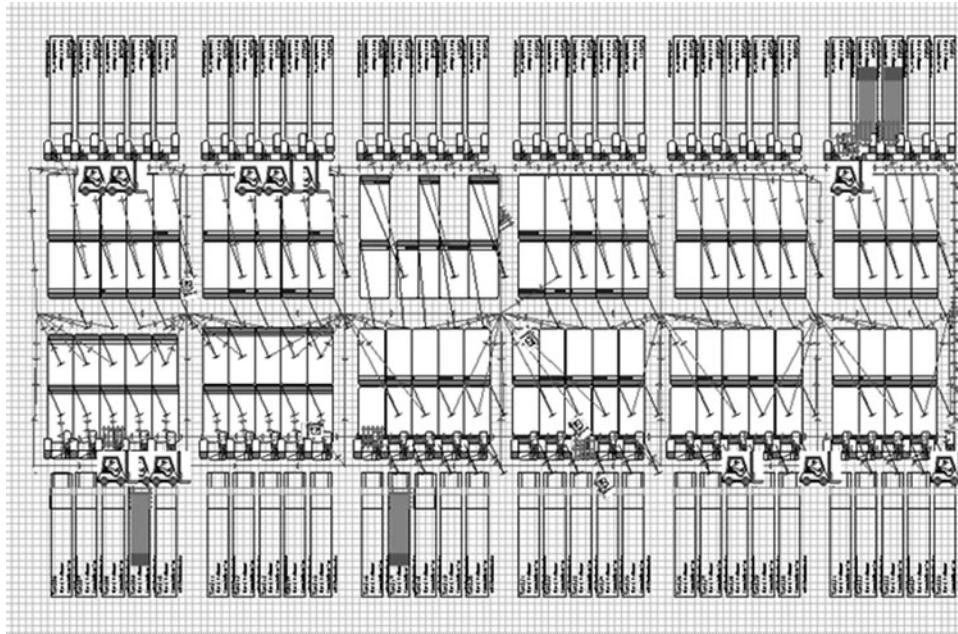


Abb. 22.14 Terminallayout in I-Form (2D-Sicht, TransSim Node)

nen gegeben. Abbildung 22.14 stellt das im Simulationsmodell maßstabgetreu abgebildete Layout der gegebenen Anlage dar.

Im ersten Layout wurden die Entladezonen jeweils in der Mitte der beiden Längsseiten platziert. Im zweiten Layout befanden sich die Entladetore an den gegenüberliegenden Ecken der Längsseiten des Gebäudes. Alle weiteren Parameter wurden für beide Simulationsläufe nicht verändert, so dass sich die Szenarien lediglich in der Funktion der Tore und den daraus resultierenden Torzuweisungen unterschieden. Die Ergebnisse der Analysen zeigten, dass die Transportzeiten im ersten Layout (mittige Entladezonen) um 12 % geringer waren als im zweiten Layout (Entladezonen an den gegenüberliegenden Ecken). Darüber hinaus wurde in dem Anwendungsszenario überprüft, wie sich eine wegoptimierte Vergabe der Transportaufträge auf die innerbetriebliche Leistung auswirkt. Die Gegenüberstellung der Ergebnisse der Simulationsläufe ergab, dass sich die Leerfahrten in Abhängigkeit von der Strategiekombination und des Layouts um bis zu 26 % reduzierten.

Untersuchungsgegenstand eines dritten Anwendungsszenarios war die Analyse eines Unterflur-Schleppkettenförderers zur Optimierung des Hubwagenhandlings einer Speditionsanlage. Hierbei war es das Ziel, die Kapazität des automatisierten Transportsystems mit zwei Entladezonen zu erhöhen. Daher wurde ein spezieller Schleppkettenförderer für dieses Projekt entwickelt, um das Personal, die Anzahl an Hubwagen und alle Prozesse miteinzubeziehen. Im ersten Schritt wurde die derzeitige IST-Situation simuliert und analysiert, um alle Engpässe des Systems zu identifizieren. Es zeigte sich, dass die Organisation,

die Hubwagenanzahl und das Personal einen entscheidenden Einfluss auf die Leistung des Gesamtsystems haben. Aus diesem Grund wurden Strategien für die Rückführung leerer Hubwagen untersucht, bei welchen zusätzlich zwischen zwei Ansätzen differenziert wurde. Im ersten kehrt der leere Hubwagen stets zur eigenen Quellstation zurück, im zweiten Ansatz wird dieser an die nächste Station gesteuert, an dem ein vordefinierter Füllgrad unterschritten ist. Die Auswertungen belegten eine Erhöhung der Leistung um 4 % bei Anwendung des zweiten Ansatzes. (Kaffka et al. 2010)

Darüber hinaus bietet die Simulation weitere Untersuchungsmöglichkeiten für gekoppelte Systeme. So konnte gezeigt werden, dass eine Erhöhung der Umschlageffizienz in Kombination mit einem intelligenten Fahrzeugrouting im Nahverkehr die Nachhaltigkeit des Straßengüterverkehrs durch Reduktion von CO₂-Emissionen verbessert (Clausen et al. 2012b). In diesem Anwendungsfall wurde das Umschlagterminal mit zwei Modifikationen simuliert, um die Ressourcenauslastung zu erhöhen und Transportzeiten und -wege zu verringern. Im ersten Szenario wurde die aktuelle Leistung des Terminals bei Anwendung des FCFS-Prinzips bei der Staplerzuweisung sowie der aktuellen Tor-Zielzuweisungen des Logistikdienstleisters untersucht. Im zweiten Szenario wurde basierend auf der Anzahl an Sendungen pro Destination sowie weiterer Restriktionen eine neue Tor-Zielzuweisung implementiert. Im dritten Szenario wurden weitere Abfertigungsstrategien simuliert, die eine wegoptimierte Aufgabenzuweisung für Gabelstapler ermöglicht. Die Auswertung aller drei Szenarien zeigte eine Erhöhung der Effizienz von Ladungstätigkeiten zwischen 4 % und 9 %. Werden nur die Aktivitäten im Terminal betrachtet, so konnten die CO₂-Emissionen pro Jahr im zweiten Szenario um 1,8 % und im dritten Szenario um 4,1 % im Verhältnis zum ersten Szenario gesenkt werden.

22.5.2 Simulation von Umschlagterminals des Kombinierten Verkehrs

Umschlagterminals des Kombinierten Verkehrs können nach ihrer Modalität eingeteilt werden. Es wird hierbei zwischen bimodalen und trimodalen Terminals unterschieden. Bimodale Terminals bedienen jeweils zwei Verkehrsträger. Klassischerweise sind dies die Verkehrsträger Straße und Schiene. In trimodalen Terminals werden Ladungsträger zwischen drei Verkehrsträgern umgeschlagen. Dies sind in der Regel die Verkehrsträger Straße, Schiene und Wasserstraße. In beiden Varianten können auch andere Verkehrsträgerkombination einbezogen werden, da diese jedoch äußerst selten sind, konzentriert sich dieser Abschnitt auf die typischen Umschlagterminals. Handelt es sich um Umschlagterminals, die den Verkehrsträger Wasserstraße bedienen, lassen sich diese noch nach der Lage klassifizieren. Es wird zwischen See- und Binnenhafenterminal unterschieden. Die umzuschlagenden Ladungseinheiten in diesen Terminals sind genormte Behälter wie Container und Wechselbrücken sowie Fahrzeuge die speziell für den Kombinierten Verkehr geeignet sind (s. Abschn. 16). Werden in einem Terminal ausschließlich Container umgeschlagen handelt es sich um ein Containerterminal.

Die Umschlagterminals des Kombinierten Verkehrs sind als komplexe Materialflusssysteme zu betrachten. Es gibt für jeden Verkehrsträger einzelne Umschlagbereiche und einen Bereich zur Lagerung der Ladungseinheiten. Dieser Bereich lässt sich in weitere funktionelle und der Ordnung im Lagerbereich dienende Unterbereiche (z. B. Bereiche für Gefahrgut, Import und Export Container) feingliedern. Hinzu kommen zu dem noch Bereiche für die Verwaltung und Zusatzdienstleistungen, wie z. B. das Packen und Entladen von Ladeeinheiten. Diese unterschiedlichen Bereiche beeinflussen sich gegenseitig, wodurch für das gesamte Materialflusssystem stochastische Wechselwirkungen entstehen und dieses komplex werden lassen. Um ein solches System ganzheitlich zu verbessern, wird die Methode der Simulation gewählt. Diese ermöglicht die Darstellung des Systems mit allen Bestandteilen in einem experimentierbaren Modell. Für die Modellierung von Umschlagterminals des Kombinierten Verkehrs wurde eine spezielle Simulationssuite am Institut für Transportlogistik entwickelt. Diese basiert auf der Simulationsumgebung Enterprise Dynamics Logistics Suite und umschlagsterminalspezifische Bausteine bereit.

Die Simulationssuite umfasst hierbei sowohl Infrastruktur- und Suprastrukturbausteine als auch Fahrzeuge, Ladeeinheiten und Steuerungselement. Diese können den Anforderungen entsprechend in der Größe und in ihren Betriebsparametern (Geschwindigkeiten, Anzahl Mitarbeiter, usw.) eingestellt werden. Infrastrukturbausteine beinhalten die Kaimauer als Ladestelle für Schiffe, Gleise als Ladestellen für Züge und Straßen als Verkehrswege im Terminal und Ladestellen für LKW. Bausteine für die Suprastruktur sind die Gebäude (bspw. Pforte, Administration), die Lagerplätze für Container und die stationären, nicht frei verfahrbaren Umschlagmittel. Diese sind die Krananlagen zum Umschlag der Container, welche entweder als Kaikrane zum wasserseitigen Umschlag oder als Stapelkrane zum landseitigen Umschlag oder der Lagerung der Ladeeinheiten eingesetzt werden. In Binnenhafenterminals werden die Krane in der Regel als alleiniges Umschlagmittel eingesetzt, welches sowohl die wasserseitigen als auch die landseitigen Operationen durchführt. In Seehafenterminals werden dafür hingegen unterschiedliche Krananlagen genutzt. Es werden jeweils spezialisierte Krane für die einzelnen Funktionsbereiche eines Terminals eingesetzt, welche mittels eines Transportsystems miteinander verknüpft sind. Der Kranbaustein der Simulationssuite kann in allen beschriebenen Einsatzgebieten genutzt und speziell für den Einsatzzweck parametrisiert werden. Fahrzeuge werden als einzelne Objekte abgebildet und bewegen sich selbständig und ohne Führung im Modell. Fahrzeuge können Schiffe, Züge und LKW sowie frei verfahrbare Flurfördermittel, wie z. B. Reach Stacker, sein. Als Ladeeinheiten sind Container in den Größen 20-Fuß bis 45-Fuß sowie Wechselbehälter und Sattelauflieder abbildbar. Als Sonderformen sind Container als Kühl- oder Gefahrgutcontainer parametrisierbar. Die Simulationssuite wird mittels zweier Konzepte gesteuert. Auf der einen Seite erfolgt die Steuerung der Umschlagmittel dezentral über die einzelnen Umschlagmittel selbst. Auf der anderen Seite werden die Verkehrsmittel und der Lagerbereich zentral über den Strategiebaustein gesteuert (Clausen et al. 2012c).

Bei der dezentralen Steuerung der Umschlagmittel wählt diese entweder den räumlich am nächsten gelegenen Auftrag aus oder ermittelt den am besten zum Umschlag geeigneten Auftrag mit Hilfe einer Auftragsreihenfolgeplanung. (Clausen et al. 2012c)

Das zentrale Steuerungselement bestimmt, welche Ladestellen innerhalb des Umschlagterminals vom Verkehrsmittel angefahren werden. Des Weiteren bestimmt das zentrale Steuerungselement, wo eine Ladeeinheit im Lagerbereich eingelagert wird. Hierbei können unterschiedliche Lagerstrategien für die Zoneneinteilung (Premarshalling Stacking, Scattered Stacking, Free Stacking) und Stapelselektion (Category Stacking, Residence Time Stacking, Random Stacking) eingesetzt werden.

Die Simulationssuite wird genutzt um Containerterminalbetreiber sowohl bei der Neuplanung als auch bei der Optimierung des laufenden Betriebes zu unterstützen. In einem Anwendungsfall wurde die Steuerung der Portalkrane eines Binnenhafencontainerterminals untersucht. Bisher haben die Kranfahrer des Containerterminals weitestgehend selbst bestimmt, welche Ladeeinheiten sie als nächstes umschlagen. Sie versuchten dabei, immer den räumlich am nächsten zur aktuellen Kranposition befindlichen Container anzufahren. Lediglich zu fahrplanmäßigen Abfahrtzeitpunkten von Verkehrsmitteln wurden Container, welche noch auf das oder von dem abfahrenden Verkehrsmittel umgeschlagen werden mussten, priorisiert behandelt. Mit Hilfe der Simulation wurde überprüft, ob durch eine Steuerung mittels einer automatisierten Auftragsreihenfolgeplanung die Umschlageffizienz und -kapazität gesteigert werden kann. (Clausen und Kaffka 2012)

Das betrachtete Terminal besteht aus folgenden Komponenten:

- 3 Umschlagskrane auf einem Gleis
- 1000 Ground Slots im Depot mit einer maximalen Stapelhöhe von 5 Containern und einer Größe von 20 Fuß.
- Ein 4-Gleis-Modul mit einer Länge von 400 Metern zur Be- und Entladung von Zügen
- Eine Kaimauer mit einer Länge von 400 Metern mit 2 Ladeplätzen für Binnenschiffe
- 20 LKW-Ladestellen
- Umschlag von ca. 1000 Containern pro Tag

Alle Umschlagsvorgänge in dem Terminal werden von den 3 Kranen getätig. Zur Kollisionsvermeidung und um Behinderungen im Arbeitsablauf zu vermeiden, ist jeder Kran einem festen Arbeitsbereich zugeordnet. Um Deadlock Situationen zu vermeiden, überlappen sich diese Arbeitsbereiche an den Grenzen zueinander um jeweils 4 Ground Slots. In diesen Bereich werden Container von einem Kran an den anderen Kran übergeben und die Export Container werden dort gelagert. Jeder Arbeitsbereich eines Kranes hat einen eigenen Bereich für Import- und Leercontainer.

Systemlastdaten für die Simulationsstudie wurden aus den realen Vergangenheitsdaten des Containerterminals abgeleitet. Des Weiteren erfolgte eine Aufnahme aller relevanten Layoutobjekte, Umschlagsprozesse und Prozesszeiten vor Ort. Mit Hilfe der Vergangenheitsdaten erfolgte die Abbildung des IST-Systems im Modell, welches den IST-Zustand des Containerterminals widerspiegelt. Die 3-D- und 2-D-Ansicht des Simulationsmodells ist in Abb. 22.15 abgebildet. (Clausen und Kaffka 2012)

Die Validierung des Modells erfolgte über die tatsächlichen Leistungskennzahlen des Containerterminals. Diese wurden mit den Ergebnissen der Simulation des IST-Modells

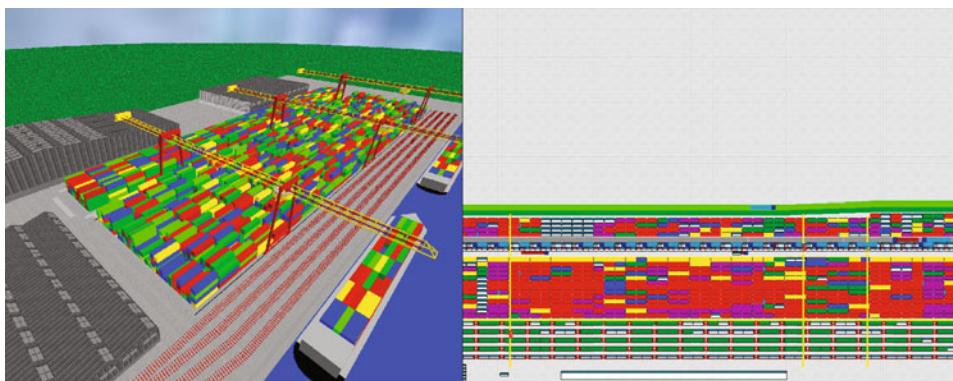


Abb. 22.15 Simulationsmodell in 3D und in 2D. (Clausen und Kaffka 2012)

verglichen und in Expertenworkshops mit den Fachleuten vor Ort Schritt für Schritt überprüft, so dass nach Abschluss dieses Prozesses ein validiertes Simulationsmodell für die weiteren Untersuchungen zur Verfügung stand. Darauf aufbauend wurde in einem zweiten Modell die Kransteuerung auf eine Steuerung mittels einer Auftragsreihenfolgeplanung mit Prioritätskennzahl umgestellt.

Dementsprechend besteht der Experimenteplan aus zwei verschiedenen Szenarien, welche zur Vermeidung von statistischen Ausreißern jeweils 20-Mal simuliert worden sind. Ergebnis der Studie war, dass die Zeit, die ein LKW an der Ladestelle verbringt mit Hilfe einer intelligenten Auftragsreihenfolgeplanung um 6 % gesenkt werden kann, dies entspricht 2 min. Dies führt dazu, dass mehr LKW im Terminal abgefertigt werden können und somit die Kapazität erhöht werden kann. Des Weiteren konnte der Umschlagsfaktor um 2,5 % gesenkt werden. Der Umschlagsfaktor beschreibt hierbei das Verhältnis von unbezahlten zu bezahlten Umschlagsvorgängen. Ein Containerterminal wird in der Regel für einen Umschlag von einem Verkehrsmittel auf ein weiteres Verkehrsmittel bezahlt. Alle Umschläge, in die das Depot involviert ist, werden hingegen nicht bezahlt. Bucht der Kunde beispielsweise einen Umschlag einer Ladeeinheit von einem LKW auf einen Zug, dann bezahlt er diesen direkten Umschlag. Wird die Ladeeinheit jedoch erst in das Depot eingelagert und dann zu einem anderen Zeitpunkt auf den Zug geladen, dann bezahlt der Kunde lediglich einen Umschlag, obwohl zwei Umschläge durchgeführt werden mussten. Dieser Fall ist in Containerterminals die Regel, da die Ladeeinheiten zeitlich von dem Hauptlaufverkehrsmittel entkoppelt angeliefert und abgeholt werden. Bei direktem Umschlag ist der niedrigste Umschlagsfaktor 1. Die Absicht eines Terminalbetreibers ist es, so nah wie möglich an den Faktor 1 heranzukommen und somit unproduktive Umlagervorgänge im Depot zu vermeiden. Die Reduktion des Umschlagsfaktors um 2,5 % bedeutet in diesem Fall eine Reduzierung der Umlagervorgänge von 20 pro Tag, welche zusätzlich für produktive Umschlagsvorgänge genutzt werden können. Zusätzlich konnte der Anteil von Leerfahrten an den Kranfahrten um 4 % gesenkt werden. (Clausen und Kaffka 2012)

Die Verbesserungen in der Umschlageffizienz führten dazu, dass es dem Terminal möglich war, die Standzeiten der Züge im Terminal zu senken und somit mehr Züge pro Tag abzufertigen. Dies führte zu einer Erhöhung der Grenzleistung des Terminals um 30 %. (Clausen und Kaffka 2012)

22.5.3 Resümee

Die vorgestellten Entwicklungen und Ergebnisse zeigen, dass die Simulation auf verschiedenen betrieblichen Anwendungsebenen Vorteile für die Betreiber von logistischen Anlagen bietet. Zu einer frühen Phase der Planung lassen sich Layoutszenarien gegenüberstellen und bewerten. Dies hilft die Planungssicherheit zu erhöhen und die Leistungsfähigkeit detailliert zu analysieren. Potentiale entstehen dabei häufig aus Verbesserungen in den wechselseitigen Abhängigkeiten einzelner Prozesse.

Neben der strategischen Planungsebene existieren eine Vielzahl an Möglichkeiten die Effizienz logistischer Anlagen durch verbesserte operative Steuerungsstrategien zu steigern. Die beschriebenen Anwendungsfälle für die intelligente Steuerung der Rangierfahrzeuge, der innerbetrieblichen Staplerflotte und der Kransteuerung zeigen, dass innerhalb der Anlagen Optimierungspotentiale im zweistelligen Prozentbereich stecken.

Literatur

- Alumur S, Kara B Y (2008) Network hub location problems: The state of the art. European Journal of Operational Research 190: 1–21
- Applegate D L et al (2007) The Traveling Salesman Problem: A Computational Study. Princeton University Pres, Princeton, USA
- Arbia, G (1989) Spatial Data Configuration in Statistical Analysis of Regional Economic and Related Problems. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht
- Aykin T (1994) Lagrangian relaxation based approaches to capacitated hub-and-spoke network design problem. European Journal of Operational Research 79: 501–523
- Aykin T (1995) Networking policies for hub-and-spoke systems with application to the air transportation system. Transportation Science 29: 201–221
- Campbell J F, Ernst A T, Krishnamoorthy M (2002) Hub location problems. In: Drezner Z, Hamacher H W (ed) Facility location. Applications and theory, Springer, Berlin, p 373–407
- Campbell J F, O'Kelly M E (2012) Twenty-five years of hub location research. Transportation Science 46: 153–169
- Clausen U, Chmielewski, A, Naujoks B, Janas M (2009) Optimizing the Door Assignment in LTL-Terminals. In: Transportation Science 43(2):198–210
- Clausen U, Goedicke I, Mest L, Kaffka J (2011a) Layout Planning of Less Than Truckload Terminals. In: Balsamo S, Marin A (Hrsg.) Proceedings of the 9th Industrial Simulation Conference, Venedig, Juni 2011, pp 204–208
- Clausen U, Kaffka J, Diekmann D, Mest L (2011b) Impact of Different Unloading Zone Locations in Transshipment Terminals Under Various Forklift Dispatching Rules. In: Jain S, Creasey RR,

- Himmelsbach J, White KP, Fu M (Hrsg.) Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference, Phoenix, Dezember 2011, pp 1663–1672
- Clausen U, Goedelke I (2012) Simulation of Yard Operations and Management in Transshipment Terminals. In: Laroque C et al. (Hrsg.) Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference. Omnipress 2012
- Clausen U, Kaffka J (2012) Modeling of Handling Task Sequencing to Improve Crane Control Strategies in Container Terminals. In: Laroque C, Himmelsbach J, Pasupathy R, Rose O, Uhrmacher AM (Hrsg.) Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference, Berlin, Dezember 2012. Omnipress
- Clausen U, Dabidian P, Diekmann D, Goedelke I, Kaffka J (2012a) Optimizing LTL Terminal Performance by Simulation. In: Geril, P., Heupel, T., Klumpp, M. (Hrsg.): Proceedings of the European Simulation and Modelling Conference 2012, Essen, Oktober 2012, pp 386–393.
- Clausen U, Goedelke I, Mest L, Wohlgemuth S (2012b) Combining Simulation and Optimization to improve LTL Traffic. Papaioannou P (Hrsg.) Transport Research Arena – Europe 2012, Procedia – Social and Behavioral Sciences 48:1993–2002
- Clausen U, Kaffka J, Meier F (2012c) CONTSIM – Container Terminal Management with Simulation. In: Proceedings of EWGT 2012–15th Meeting of the EURO Working Group on Transportation, Paris, September 2012. Procedia – Social and Behavioral Sciences 54. Elsevier, Paris, pp 332–340
- Deymann S, Neumann L (2008) TRANSSIM-NODE – a simulation tool for logistics nodes. In: Colloc J, Petit C, Dussart C (Hrsg.) Proceedings of the 6th Industrial Simulation Conference, Lyon, Juni 2008, pp 283–287
- Domschke W, Drexel A (1996) Logistik: Standorte. Oldenbourg, München, Wien.
- Domschke W (2007) Logistik: Transport: Grundlagen, lineare Transport- und Umladeprobleme. 5. Auflage, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, München
- Domschke W, Scholl A (2010) Logistik: Rundreisen und Touren. 5. Auflage Hrsg. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH.
- Engels, V (2012). Planungsheuristiken für periodische, kantenbasierte Sammelprobleme der Entsorgungslogistik. Dr. Hut Verlag, Dortmund
- Ernst A T, Krishnamoorthy M (1996) Efficient algorithms for the uncapacitated single allocation p-hub median problem. Location Science 4: 139–154
- Ernst A T, Krishnamoorthy M (1998) Exact and heuristic algorithms for the uncapacitated multiple allocation p-hub problem. European Journal of Operational Research 104: 100–112
- Goedelke I, Deymann S (2010) Simulation von Strategien der Hoflogistik in Sortierzentren. In: Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal. KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, pp 253–260
- Goerke M, Neumann L, Hücke M (2006) VeloS – Verkehrslogistische Simulation an der Schnittstelle von Intra- und Extralogistik. In: Wenzel S (Hrsg.) Simulation in Produktion und Logistik, ASIM Tagungsband zur 12. Fachtagung. SCS Publishing House, Erlangen, pp 459–468
- Gudehus, T (2005). Logistik – Grundlagen, Strategien, Anwendungen. Springer, Berlin-Heidelberg
- Kaffka J, Mest L, Deymann S, Poliwanow W (2010) Optimierung des Hubwagenhandlings für eine Unterflurschleppkette einer Speditionsanlage mittels Simulation In: Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal, KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, pp 301–308
- Klaus, P, Krieger, W (2004). Gabler Lexikon Logistik. Gabler, Wiesbaden
- Klincewicz J G (1996) A dual algorithm for the uncapacitated hub location problem. Location Science 4: 173–184
- Krüger, F (2010). Methoden und Anwendungsbereiche der Standortplanung (1. Ausgabe). GRIN Verlag, Norderstedt

- Mayer G, Wagner B (2002) HubLocator: An exact solution method for the multiple allocation hub location problem. *Computers and Operations Research* 29: 715–739
- Neumann, K (1996). *Produktions- und Operationsmanagement*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
- Neumann L, Szewczyk M (2008) Abbildung von Yard Management-Prozessen in Simulationsmodellen. In: Rabe M (Hrsg.) *Advances in Simulation for Production and Logistics Applications*. Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart, pp 289–298
- O'Kelly M E (1987) A quadratic integer program for the location of interacting hub facilities. *European Journal of Operational Research* 32: 393–404
- Rohrer M (1995) Simulation and Cross Docking. In: Alexopoulos C, Kang K, Lilegdon WR, Goldsman D (Hrsg.) *Proceedings of the 1995 Winter Simulation Conference*, Arlington, Dezember 1995, pp 846–849
- Ruesch M, Hegi P, Burkhard M, Starostina T, Lötscher A (2010) Leitfaden 2010/01 – Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung. SVI Schweizerische Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten, Zürich. http://www.svi.ch/fileadmin/redaktoren/dokumente/Publikationen/Merkblaetter_Leitfaeden/SVI_Leitfaden_2010_01_Simulation_GV_v1.6_09.12.2010.pdf. Accessed 4 März 2013
- Skorin-Kapov D, Skorin-Kapov J (1994) On tabu search for the location of interacting hub facilities. *European Journal of Operational Research* 73: 502–509
- Spengler S, Voß S, Kopfer H (2004). *Logistik Management*. Physica-Verlag HD, Heidelberg
- Toth P, Vigo D (2001) *The Vehicle Routing Problem*. Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, USA
- Van Belle J, Valckenaers P, Cattrysse D (2012) Cross-docking: State of the art. In: *Omega: The International Journal of Management Science* 40(6):827–846
- Werners B (2008) *Graphentheorie*. Springer.

Sachverzeichnis

- A**
- Ärmelkanal, 205
 - Abfall, 285
 - Abfallentsorgung, 286
 - Ablaufberg, 175
 - Abstellgleis, 266
 - Abwicklungskosten, 114
 - ACI (Airports Council International), 231
 - ADAC, 144
 - Add-Algorithmus, 409
 - Aerodynamik, 29
 - Aircargo-Carrier, 82
 - Akteursmodell, 385
 - Aktionsplan Güterverkehr und Logistik, 45
 - Algorithmus, evolutionärer, 366
 - All Pair Shortest Path Problem (APSP), 421
 - Allgemeines Eisenbahngesetz (AEG), 167
 - Ameisenalgorithmus, 369
 - Angebotsbearbeitung, 105
 - Animation, 379
 - Anlagenstandort, 29
 - Anpassungsprinzip, 41
 - Anschlussgleis, 174
 - Antrieb
 - dieselektrischer, 165
 - dieselhydraulischer, 165
 - Arbeitsbedingungen, veränderte, 10
 - Arbeitskräftepotential, 10
 - Arealkonzept, 279
 - Artikelstammdaten, 294
 - Aspirationskriterium, 365
 - Asset-based Dienstleister, 65
 - Außerdem, 138
 - Aufkommensanalyse, 300
 - Auftragsdaten, 296
 - Auftragsreihenfolgeplanung, 441
- B**
- Ausfahrgruppe, 175
 - Ausgliederung Siehe Outsourcing, 75
 - Ausschreibung, 84, 105
 - Auftraggeber, 105
 - Ausschreibender, 106
 - Autobahnmautgesetz (ABMG), 140
 - Autoschalter, 267
 - Autotransporter, 208
 - Aviation, 235
- B**
- Bündelungseffekt, 432
 - Bahnprodukt, 169
 - Bauwesen, 39
 - Bedarfsvorkehr, 283
 - Bedienfahrt, 172
 - Begleiteter Kombinierter Verkehr, 254
 - Berufsverkehr, 18
 - Beschaffungslogistik, 65, 115, 127
 - Beschaffungsnetzwerk, 284
 - Beteiligungsgesellschaft, 76
 - Betriebsgeheimnis, 88
 - Binnenhafen, 192, 195
 - Umschlagtechniken, 196
 - Binnenhafenterminal, 441
 - Binnenschifffahrt, 179, 258
 - logistische Knoten, 193
 - Strukturbereinigung, 186
 - Umwelt- und Nachhaltigkeitsaspekt, 180
 - Binnenschifffahrtsspedition, 191
 - Binnenschiffgüterverkehr, 179, 188
 - Binnenschiffsflotte, 185
 - Binnenschiffsreederei, 190
 - Binnenschiffftransport, 192
 - Binnenwasserstraße, 181
 - Binnenwasserstraßennetz, 181

- Blindprozess, 309
 Boeing 747, 222
 Bonner Palettentausch, 128
 Bounding, 354
 Boxtalette, 130
 Branch-and-Bound-Prinzip, 339, 350, 419
 Branch-and-Cut-Verfahren, 356
 Branch-and-Price-Verfahren, 357
 Branchenarbitrage, 89
 Branching, 350, 352
 Briefdienst, 407
 Bulk Carrier, 207
 Bundesamt für Güterverkehr (BAG), 47, 144
 Bundesfernstraßenmautgesetz (BFStrMG), 140
 Bundesfernstraßennetz, 138
 Bundesvereinigung für Logistik (BVL), 7
 Bundesverkehrswege, 17
 Bundesverkehrswegeplan (BVWP), 18, 124, 396
 Bundeswasserstraßenkarte, 184
 Bundeswasserstraße, 189
 Bundeswasserstraßengesetz, 181
 Business-to-Business
 Sendungsmenge, 407
 Business-to-business, 82
 Business-to-consumer, 82
- C**
 Car Carrier, 208
 Carrier's Haulage, 192, 212
 Cell Guides, 258
 Co-Sourcing, 98
 Consumer-to-consumer, 82
 Container, 143, 198
 Containerbrücke, 198, 208
 Containerbrückenkran, 213
 Containergürtel, 203
 Containerhafen, 203
 Containerleichter, 188
 Containerschiff, 188, 205, 207, 209, 258
 Containerstapler, 266
 Containerterminal, 442
 Containerumschlag, 214
 Cross Docking, 149, 283
 Cross-Docking-Terminal, 433
 Cross-Tour-Interchange-Operator, 424
 Cutting plane algorithm, 355
- D**
 Daseinsvorsorge, 33
 Datenanalyse, 299
 Datenbank, 46
 Datenschutz, 49
 Datentransfer, 11
 Dedicated Service, 98
 Dedicated Warehouse, 99
 Dekompositionsverfahren, 358
 Depot, 81, 151, 287, 443
 Fahrzeugankunftsverteilung, 155
 Depotstandort, 318
 Dezentrallager, 285
 Dienstleister, Definition, 61
 Dienstleistung, 55
 Ergebnisorientierung, 56
 Potenzialorientierung, 56
 Diesellokomotive, 165
 Dijkstra-Algorithmus, 343, 360, 422
 Direktfahrt, 131
 Direkttransport, 281
 Direktverkehrsnetz, 151, 154, 430
 Direktzustellung, 288
 Displayherstellung, 57
 Distribution, 282
 Distributionslogistik, 65, 116, 283
 serviceorientierte, 115
 Distributionsnetzwerk, 284
 Distributionsstruktur, 282
 Distributionssystem, 147
 Dock Management, 289
 Dolly, 236
 Domestic Sourcing, 279
 Doppelhüllenschiff, 187
 Dortmunder Schule, 4
 Drop-Algorithmus, 409
 Dual-Ascent-Methode, 419
 Durchflussprinzip, 156
 Durchgangsverkehr, 47
 Dynamo PLV, 396
- E**
 Economies of Scale, 428
 EcoTransIT, 28
 Einfahrgruppe, 175
 Einhüllenschiff, 186
 Einzeltransport, 281
 Einzelwagenverkehr, 170, 173
 Produktionsverfahren, 171

- Eisenbahn
öffentliche, 167
bundeseigene, 168
nicht-öffentliche, 167
nichtbundeseigene, 168
Eisenbahn-Bundesamt (EBA), 168
Eisenbahnaufsichtsbehörde, 168
Eisenbahninfrastrukturunternehmen
(EIU), 167
Eisenbahnpolitik, 43
Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU), 167,
260
Elektrifizierung, 166
Elektromobilität, 49
Empfangsrangierbahnhof, 172
Enterprise Ressource Planning (ERP)-System,
296
Entfernungsklassenanalyse, 301
Entladezone, 439
Entscheidungsvariable, 332
Entsorgungslogistik, 285, 407
Entsorgungsverkehr, 286
Enumeration, vollständige, 345
Erderwärmung, 24
Ereignisvaliditätstest, 380
Ersatzteil
 Hausteile, 284
Ersatzteillager
 Kaufteile, 284
Ersatzteilloistik, 284
Ersatzteilnetzwerk, 284
Europäische Pool-Palette (Euro-Palette), 128
Europawasserstraße, 183
Expertenbeauftragung, 86
Expressdienstleister, 150
- F**
Fahrtenketten-Modell, 388
Fahrtentagebuch, 48
Feederverkehr, 205
Fehlprozess, 309
Feinstaub, 22
 lungengängiger, 22
 ultrafeine Partikel, 22
Fernverkehr, 132, 140
Festmacher, 210
Festwerttest, 380
First-come-first-serve Prinzip (FCFS), 437
- Fitnesswert, 366
Fixkosten, 90, 100, 428
Flächenentsorgung, 286
Flächenverbrauch, 10
Flächenverkehr, 125
Flexibilität, 74
Floyd-Warshall-Algorithmus, 362, 422
Flughafen, 231
 Abfertigungsdienstleistungen, 238
 Frachtumschlag, 244
 Funktionen, 233
 Infrastruktur, 233
 Luftfrachtanlage, 246
 Flugplankoordinator, 228
 Flugsicherheit, 227
 Flugsicherungsstreckengebühr, 229
 Flugverkehr, 412
 Flugzeug, 221
 Ladeeinheiten, 236
 Laderaum, 224
 Flugzeugabfertigung, 236
 Flugzeugpalette, 224
 Flugzeugpositionsfläche, 238
 Flurfördermittel, 270
 Fourth-Party-Logistics-Provider (4PL), 68
 Frachtabfertigungssystem, 248
 Frachtenbörs, 84
 Frachtführer, 63, 82, 101, 126, 145, 209, 260
 Frachtflugzeug, 222
 Frachtkapazität, 146
 Frachtpapiere, 270
 Frachtschiff, 186, 187
 Freiheit der Hohen See, 204
 Fremdvergabe
 Chancen und Risiken für Verlader, 86
 einfacher Leistungen, 84
 Einzelleistungen auf dem Spotmarkt, 83
 logistischer Leistungen, 73, 83, 85
 Fuhrparkdatenstamm, 295
 Full Truck Load (FTL), 283
 Full truck load (FTL), 303
- G**
Güterklassifizierung, 386
Güterkraftverkehrsgesetz (GüKG), 133
Güterlogistik, 305
Gütermotorschiff, 187
Güterstruktureffekt, 180, 195
Gütertransport, 28, 63

- Güterverkehr, 3, 8, 45, 125
 Ladeneinheiten, 127
 Netzstrukturen, 130
 Verkehrsformen, 130
 Verkehrsmittel, 141, 164
 Verkehrsmittelwahl, 125
- Güterverkehrsfluss, 19
 Güterverkehrsleistung, 8
 Güterwagen, 166
 Ganzahligkeitsbedingung, 351
 Ganzzug, 169, 256
 Gebietsspediteurskonzept, 281, 406
 Gebietsteilung, 408
 Gebietszuordnung, 406, 407, 410
 Gestaltungsprinzipien, 408
 Gefahrenübergang, 145
 Gegenstromprinzip, 17, 41
 Geldeinheit, 334
 Gelegenheitsverkehr, 209
 Gemeinkosten, 316
 Geocodierung, 292
 Geschäftsbeziehung
 Beendigung, 113
 kontraktlogistische, 113
- Getränkeaufbau, 142
 Gitterbox, 128
 Gleisanschluss, 173
 Global Sourcing, 279
 Global Warming Potential (GWP), 25
 Globalisierung, 9, 34
 Greenhouse Gas Protocol (GHG), 25
 Greifkante, 254
 Großmotorgüterschiff, 258
 Großraumfrachtflugzeug, 225
- H**
 Hafenbehörde, 210, 212
 Hafenbetreiber, 192
 Hafengesellschaft, 192
 Hafenhinterlandverkehr, 183, 262
 Hafenkapitän, 210
 Hafenmeister, 210
 Hafenmobilkran, 197
 Hafenzugmaschine, 197
 Halbpalette, 128
 Hamburger Hafen, 213
 Hamiltonkreis, 419
 Handelsgesetzbuch, 126
- Handelsschiff, 206
 Hauptanschluss, 173
 Hausmüllentsorgung, 286
 Hauspartikulier, 190
 Heuristik, 330, 363, 370
 Hoflogistik, 288
 Horizontaltransport, 213
 House-AirWayBill (HAWB), 243
 Hub, 154, 410
 Hub-and-Spoke-Netz, 132, 154, 218, 243, 411, 416, 431
 Hub-Location-Problem, 412, 414, 418
 HubandSpoke-Netz, 152
 Hubkosten, 416
 Huckepackverkehr, 255, 265
 Humanressource, 90
- I**
 IATA (International Air Transport Association), 229
 ICAO (International Civil Aviation Organization), 229
 Implementierungsprozess, 111
 In-House-Logistik, 99, 107
 Industrieabfall, 285
 Industriestammgleis, 174
 Inländer-Prinzip, 47
 Innere-Punkte-Methode, 358
 Institut für Weltwirtschaft (IfW), 7
 Integer Programming (IP), 345
 Inter-Tour-Operator, 424
 Interchange-Operator, 424
 InterLOG, 390
 Internetplattform, 84
 Intra-Tour-Operator, 424
 Investitionsrisiko, 91
 ISO-Container, 207
 IT-Dienstleister, 61, 69
 IT-Schnittstelle, 100
- J**
 Joint-Venture, 76, 98
 Just in Sequence-Logistik (JIS-Logistik), 59
 Just-in-Time-Logistikkonzept, 97
- K**
 Kölner Palettentausch, 128
 Kürzeste-Wege-Algorithmus, 418

- Kantengewicht, negatives, 422
Kapazitätsrestriktion, 414
Kapitalbindungskosten, 149
Kapitalinvestition, 90
Kastenaufbau, 142
Kennzahlensystem, 438
Kernnetz, multimodales, 37
Kernprozess, 306
Key Performance Indicator (KPI), 112
Kippaufbau, 142
Klarierungsagent, 210
Klimaerwärmung, 23
Klimaschutz, 10
Knotenbahnhof, 171
Knotenpunktssystem, 171, 172
 flexibles, 172
Kofferaufbau, 142
Kofferdamm, 187
Kohlendioxid (CO₂), 25
Kombinierter Verkehr, 253
 Akteure, 260
 logistische Knoten, 262
 schiengebundener, 262
 Umschlagterminals, 440
Verkehrsmittel im Güterverkehr, 257
Verkehrsnetzbetreiber, 255
Verkehrswege, 255
Kombiverkehr, 256, 261
Kommissionierfehler, 309
Kommissionierung, 305
Komplettladung, 146
Komplexitätstheorie, 342
Konfektionierung, 57
Konsumgüterkontraktlogistik, 79, 96
Kontingentierung, 44
Kontraktlogistik, 86, 95
 Chancen und Risiken, 114
 Definition, 95
 industrielle, 79, 96
Kontraktlogistikdienstleister, 65, 66, 95, 97
Kontraktlogistikgeschäft, 103
 Ausprägungsformen, 97
 Implementierung, 110
 vertragsrechtliche Aspekte, 108
 Vertrieb, 104
Kontraktlogistikvertrag, 109
Kooperation von Unternehmen, 76
Koordinationskosten, 117
Kopfstation, 218
Kosten, externe, 34
Kosten-Nutzen-Analyse, 310
Kosten-Wirksamkeits-Analyse, 313
Kostenfunktion, 321
Kostentransparenz, 90
Kostentreiber, 316
Kräftedreieck, 73
Kraftfahrtbundesamt (KBA), 47
Kraftfahrzeugsteuer, 144
Krananlage, 441
Kranbahn, 272
Kranprozess, 270
Kranspiel, 271
Kundenkontakt, direkter, 87
Kundenstammdaten, 293
Kundenzufriedenheit, 87
Kurier-, Express- und Paketdienste (KEP), 81
 Dienstleister, 150
 Dienstleister), 287
Kurier-Express- und Paketdienste (KEP), 408
Kurierdienst, 81
Kyoto-Protokoll, 23, 25
- L**
- Lärmbelastung, 10
Ladeeinheit, 128, 268
 Umschlag, 264
Ladegleis, 266, 270
Ladeplanung, Luftfracht, 227
Ladeplatz, 268
Ladungsaufkommen, ausgeglichenes, 409
Ladungsträger, 128
Ladungsverkehr, 134
 allgemeiner, 79
 mit speziellem Equipment, 80
Lagergeschäft, 64
Lagerhalter, 64
Lagerhaltungskosten, 285
Lagerkapazität, 335
Lagerkosten, 322
Lagerstandort, 110, 322
Lagersystem
 selektives, 285
 zentrales, 285
Lagerunternehmen, 64
Lagrange-Relaxierung, 358, 419
Landesraumordnungsprogramm, 397
Landinfrastrukturen, 138
Landverkehr, 38

- Lastaufnahmemittel, 197
Lastkraftwagenfahrgestell, 141
Layoutplanung, 434
Leasing, 99
Leercontainer, 211
Leercontainertransport, 192
Leichter, 188
Less-Than-Truckload-Verkehr, 413
Letzte-Meile-Logistik, 283, 287
Lieferantenkonzept, 279
Lieferkette, 64, 68, 95
Lineares Problem (LP), 345, 348
Linienfluggesellschaft, 229
Linienreeder, 209
LKW-Fahrer, 19, 254
Loadsheet, 228
Local Sourcing, 279
Logistics Families, 390
Logistik, 4
 Beschäftigtzahlen, 19
 Branchenvergleich, 7
 gesellschaftliche Funktionen, 8, 13
 grüne, 22
 internationaler Wettbewerb, 11
Logistik-Controlling, 112
Logistikdaten, 292
 Bewegungsdaten, 295
 Stammdaten, 293
Logistikdienstleister, 63, 87
 Definition, 61
Logistikdienstleistung, 55
 Basisleistung, 58
 Definition, 56
 Mehrwertleistung, 58
Logistikeistung, 7
Logistikmanagement, 112
Logistikmarkt, 77, 102
Logistikoptimierung, 299
Logistikoutsourcing, 71, 86
 Definition, 72
Logistikouttasking, 72
Logistikplanung, 291
 Basisdaten, 291
Logistikstandort, luftfrachtspezifischer, 231
Logistiksystem, 147
Logistikunternehmen, 19
Logistikzentrum, 123
Lokale-Suche-Ansatz, 363
Lokomotive, 165
Lotse, 210
Luft- und Raumfahrt, 38
Luftfahrtabkommen, internationales, 228
Luftfracht, 82, 221, 239
 am Flughafen, 244
 Expressfracht, 240
 Güter, 240
 Gutstruktur, 242
 Informationssysteme, 247
 Ladeeinheit, 225
 Reservierungs- und Buchungssysteme, 247
Luftfrachtabfertigung, 246
Luftfrachtanlage, 245
Luftfrachtaufkommen, 241
Luftfrachtbrief, 243
Luftfrachtersatzverkehr, 243
Luftfrachtknoten, 234
Luftfrachtlogistik, 235
Luftfrachtmarkt, 230, 239
Luftfrachtprozess, 234
Luftfrachtsendung, 243
Luftfrachtspediteur, 243
Luftfrachtstrom, globaler, 231
Luftfrachterminal, 244
Luftfrachttransport, 231, 239
Luftfrachtdienstleister, 241
Luftfrachttransportkette, 230, 242, 249
Luftfrachttransportnetz, 235
Luftfrachtverkehr, 217
Luftpost, 239
Luftraumüberwachung, 229
Luftsicherheit, 249
Lufttransportnetz, 218
Luftverkehr, 217
 logistische Knoten, 231
 Rechtsgrundlagen, 220
 Sicherheit, 249
 Verkehrsrechte, 219
 Verkehrswegen, 219
Luftverkehrsabkommen, 37
Luftverkehrsabwicklung, 235
Luftverkehrsgesellschaft, 243
Luftverkehrsgesellschaft (LVG)
 Frachtabfertiger, 244
 Transportnetze, 244
Luftverkehrsgesetz, 220, 233
Luftverkehrsmanagement, 37
Luftverkehrsverwaltung, 228

M

- Make-or-Buy-Entscheidung, 71, 105
Many-to-many-Architektur, 150
Marco Polo II, 36
Markteintrittsbarriere, 80
Marktentwicklung, 77, 101
Marktplatz, elektronischer, 84
Massengut, 27
 diskontinuierlicher Umschlag, 199
 kontinuierlicher Umschlag, 199
Massengutfrachter, 207
Massengutlogistik, 79
Massengutschiff, 196
Massengutterminal, 213
Massengutumschlag, 196
Masterplan Güterverkehr und Logistik, 9, 44
Materialflusssimulation, ereignisgesteuerte, 340
Materialflusssimulation, ereignisgesteuerten,
 329
Materialflussteuerung, 291
Materialstrom, 294
Materialstrombündelung, 431
Mautsystem, 140
Maximierung von Nutzen, 334
Medialistik, 408
Meerenge, 205
Mehrgerüterfluss-Problem-Formulierung, 418
Mehrwertleistung, 57
Mehrzweckfrachter, 208
Mengenbündelung, 152
Merchant's Haulage, 192, 211
Meta-Modell, 307
Metaheuristik, 362
Milk-Run-Konzept, 278, 281, 283
Mitarbeitermotivation, 90
Mixed Integer Programming (MIP), 345
Mobilität, 11
Modal Split, 180, 387
Modellierung, mathematische, 328, 330, 335
Modellierungssprache, 357
Modellvalidierung, 379
Modellverifizierung, 378
Monitoring, 379, 396
Montagearbeiten, 58
Monte-Carlo-Simulation, 374, 390
Motorgüterschiff, 189
Multi-Hub-Netz, 132
Multi-Mandanten-Lager, 100
Multi-purpose ships, 208

M

- Multi-Purpose Terminal, 209
Multi-User-Kontraktlogistikgeschäft, 98, 100
Multi-User-Lager, 100
Multiple Allocation, 415
Multiple Sourcing, 280

N

- Nabe-Speiche-Netzwerk, 411
Nachbarschaftsfunktion, 365
Nachfragedynamik, 284
Nachfrageschwankung, 88
Nachhaltigkeit, 11, 21, 34
 ökologische, 21, 30
Nahverkehr, 132, 140
Nebenanschluss, 173
Netzflussoptimierung, 428
Netzplanung, strategische, 410
Netzwerktransport, spezialisierter, 81
Nicht-Polynomialzeit, 343
Niederflurwagen, 258
Nord-Ostsee-Kanal (NOK), 205
Nutzen-Kosten-Differenz, 311
Nutzlast, 141
Nutzwertanalyse, 314

O

- Öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV), 40,
 124
Objektkonzept, 280
One-Stop-Shopping, 68
Online-Handel, 287
Open-Sky-Abkommen, 221
Operations Research (OR), 328, 329
 mathematische Modellbildung, 331
Opportunitätskosten, 90
Optimierung, 320
 dynamische, 340
 ganzzahlige, 339
 mathematische, 328, 340
Optimierungsberechnung, 317
Optimierungsmodell
 Anwendungsfelder, 405
 lineares, 337
 nichtlineares, 337
Optimierungsproblem, 337
 binäres, 339
 stochastisches, 340
Optimierungssoftware, 337

- Optimierungsverfahren, 330
Outbound-Transport, 82
Outsourcing, 71, 90
 Chancen und Risiken für Dienstleister, 91
 Definition, 71
 Geschäftsmodelle, 74
 internes, 76
Outsourcingpotenzial, 102
Outsourcingrate, 102
Outtasking, 72
- P**
- Paketdienst, 81
Paketdienstleister, 153, 154
Paketzusteller, 19
Palettentransporter, 237
Panamakanal, 205
Partikulier, 191
Passagierflugzeug, 222
Passagierterminal, 239
Perishables, 242
Personalmanagement, 90
Personenluftverkehr, 412
Personensicherheit, 11
Personenverkehrsmodell, 389
Personenwirtschaftsverkehr, 48
Pick-up-Point, 288
Piggy-Back, 265
Plattformaufbau, 142
Polynomialzeit, 343
Portalkran, 198, 263
Postnetzwerke, 412
Preprocessing, 359
Pritschenaufbau, 142
Privatschiffer, 191
Problem des Handlungsreisenden, 342
Produktionsanlage, 288
Produktionslandschaft, 391
Produktionsverfahren, 145, 169
Profit-Center, 75
Projektmanagement, 110
Prozesskette, 115
 ereignisgesteuerte, 307
Prozesskostenrechnung, 316
Prozessplanung, 305
 Modellierung, 307
Prozesspolitik, 43
- Public-Private-Partnerships (PPP), 43
Punktentsorgung, 286
- Q**
- Qualifizierungsmaßnahmen, 10
Qualitätskontrolle, 100
Quelle-Ziel-Relation, 125, 393
- R**
- Rail-Mounted-Gantry-Crane (RMG), 264
Rangieranlage, 171, 175
Rangierbahnhof, 171, 176
 zweiseitiger, 176
Raumordnung, 38
Raumordnungsgesetz, 17
Raumstruktur, 16
Reach-Stacker, 263, 265
Reeder, 209
Regelverkehr, 283
Relaxierung, lineare, 339
Relocate-Operator, 424
Richtungsgruppe, 175
Risikoanalyse, 315
Road-Feeder-Service (RFS), 243
Roll-on Roll-off-Schiff, 258
Rollende Landstraße, 254
Root-Knoten, 354
RoRo-Schiff, 188
RoRo-Terminal, 213
RoRo-Transport, 196
RoRo-Umschlag, 199
Routingrestriktion, 414, 415
Rubber-Tyred-Gantry-Crane (RTG), 264
Rundlauf, 281
- S**
- Südasienroute, 206
Sammelgutverkehr, 170
Sammeltour, 131
Sammelverkehr, 147
Satellitenbahnhof, 171
 mit Rangiermitteln, 171
Sattelauflieger, 143, 257
Savings-Algorithmus, 393, 423
Schattenpreis, 312
Schienengüterverkehr, 161, 162, 167
 logistische Knoten, 173
Produkte, 169

- typische Systeme, 171
Verkehrswege, 161
Schienennetz, 8
 deutsches, 163
Schienentransport, grenzüberschreitender, 82
Schienenweg, 176
Schifffahrt, 38
Schiffsausrüster, 211
Schiffsbelader, 196, 199
Schiffsentladegerät, 196
Schiffsgroßenklassifizierung, 182
Schiffshubwerk, 181
Schiffsliegeplatz, 200
Schiffsmakler, 210
Schiffsräum, 190
Schiffsumschlag, 198
Schiffsverband, 188
Schiffsvorger, 211
Schleppboot, 188
Schlepper, 210
Schleppkettenförderer, 439
Schleppreederei, 210
Schleuse, 208
Schnittebenenverfahren, 355
Schubboot, 188
Schwerguttransport, 79
Schwerverkehr, 47
Schwungverfahren, 266, 270
Seefracht, 82
Seefrachtvertrag, 210
Seehafen, 196
Seehafencontainerterminal, 198
Seehafenhinterlandverkehr, 261
Seehafenspediteur, 209
Seehafenterminal, 209
Seeschifffahrt, 203
 logistische Knoten, 212
 Verkehrsmittel im Güterverkehr, 206
Seeschifffahrtskanal, 204
Seeschifffahrtswege, 203
Seeschiffsgüterverkehr, 203
 Ferntransport, 208
Seeverkehr, 47
Seeverkehrswege, 205
Sendungsdaten, 296
Sendungsstrukturanalyse, 302
Sensitivitätsanalyse, 379
Service Level Agreements (SLAs), 67
Shared user network, 281
Short-Sea-Bereich, 189
Shortest Path Problem (SPP), 343, 421
Sicherheitsanforderungen, 11
Siedlungsabfall, 285
Siedlungsentwicklung, 16
Siedlungsstrukturplanung, 17
Simplex-Verfahren, 339, 345, 354
Simulated Annealing, 364, 365, 368
Simulation, 320, 329, 340, 372
 dynamische, 371
 logistischer Anlagen, 433
 logistischer Systeme, 370
Simulationsmethode
 diskrete, 375
Simulationsmodell, 371
 grundlegende Strukturen, 373
Simulationssoftware, 437
Simulationssprache, 375
Simulationsstudie, 377
Simulationssuite, 442
Simulationsumgebung, 435
Simulationswerkzeug, 375, 376
Simulator, 375
Simulatorentwicklungsumgebungen, 376
Single Allocation, 415, 418
Single Source Shortest Path Problem (SSSP), 421
Single Sourcing, 280
Single-User-Kontraktlogistikgeschäft, 98
Single-User-Warehouse, 99
Skaleneffekt, 92
Soll-Prozess, 309
Solofahrzeug, 141
Sonderfracht, 241
Sondernutzungserlaubnis, 144
Sortiersystem, 154
Source Target Shortest Path Problem (STSP),
 421
Source-Code-Segment, 292
Sourcing Strategie, 279
Spediteur, 101, 126, 145, 209, 260
 Selbstesteintritt, 65
Spedition, 64
Splittingrestriktion, 415
Spurweite, 166
Stückgut, 134
Stückgutdepot, 406
Stückgutfrachter, 208
Stückgutspediteur, 150, 153, 154
Stückgutspeditionsanlage, 155

- Stückguttransport, 115
Stückgutverkehr, 80, 134, 170
Stückkostenpreis, 428
Stadt-Umland-Wanderungen, 18
Stadtentwicklung, 38
Stammdaten, 293
Standardfrachtkette, 132
Standortdaten, 294
Standortoptimierung, 318
Stapelkran, schienengebundener, 265
Straddle Carrier, 214
Strafterm, 358
Strategic Model for Integrative Logistics Evaluations (SMILE), 389
Straßengüterverkehr, 137
Simulation von Umschlaganlagen, 433
Straßengüterverkehr
Transportformen, 146
Straßentransport, grenzüberschreitender, 82
Straße von Gibraltar, 205
Straße von Hormus, 205
Straßendaten, hierarchische, 298
Straßengüternahverkehr, 47
Straßengüterverkehr, 10, 48, 138–140, 259
Straßeninfrastrukturpolitik, 144
Straßennetz, 8, 138
Straßennetzdaten, 297
Straßennutzungsgebühr, 37
Straßenverkehr, 38
Straßenverkehrsgesetz (StVG), 140
Streckengleis, 266, 270
Streckenlok, 270
Strukturpolitik im Verkehrsbereich, 42
Subunternehmen, 118
Suez-Indik-Route, 206
Suezkanal, 204
Supply Chain, 396
Management, 96
Sweep-Verfahren, 423
Switch-Tour-Operator, 424
Synergieeffekt, 92
Systembeschreibung, formalen, 329
Szenariotechnik, 317
- T**
Tabu-Suche, 365
Tank- und Siloauflaufbau, 142
Tank- und Silotransport, 80
- Tank-To-Wheel (TTW), 26, 27
Tanker, 187
Tankschiff, 188
Tankschiffflotte, 186
Tarifdaten, 295
Teilladungsverkehr, 146, 170
Telekommunikation, 412
Terminalbetreiber, 209
Terminaldienst, 81
Terminallayout, 439
Termintreue, 117
TFG Transfracht Internationale Gesellschaft, 255
Third-Party-Logistics-Provider, 65
Tochtergesellschaft, 75
Tourenplanung, 147, 419
Verfahren, 423
Tourenplanungsalgorithmus, 423
Trampreeder, 209
Trampschifffahrt, 209
Trance-Analyse, 379
Transaktionskosten, 89
Transatlantische Verkehrsroute, 206
Transeuropäisches Netz (TEN), 37, 124
Transfracht, 260
Transitverkehr, 47
Transpazifische Verkehrsroute, 206
Transport, 3
Mesostruktur, 390
Transport Carbon Footprint, 26, 28
Transport-, Umschlag- und Lager-Funktion, 57
Transportabwicklung, 278
Transportausschreibung, 84
Transportbündelung, 428
Transportdienstleistung, 27, 126
Transportkapazität, 162
Transportkette, 28, 154, 169, 192, 390
ausgewählte, 145
Transportkonzept, 281
Transportkosten, 146, 321, 416, 428
Transportlogistik
ökologisch nachhaltige, 21
Akteure, 135
Aufgaben, 5
gesetzlicher Rahmen, 135
Ziele, 4
Transportnetz, 277, 431
geschlossenes, 147

- logistischer Knoten, 152
offenes, 150
- Transportpapiere, 267
- Transportplanung, 277
Sendungsgröße, 285
- Transportpreis, 125
- Transportprozess, 115
- Transportrecht, 135
- Transportsicherheit, 162
- Transportsimulationswerkzeug, 437
- Transportunternehmen, 63, 209
- TransSim Node, 435, 436
- Transtainer, 264
- Traveling-Salesman-Problem, 364
- Travelling Salesman Problem, 369, 419
- Travelling Salesperson Problem (TSP), 342
- Treibhauseffekt, 22, 25
- Treibhausgas, 22, 24, 27
- Treibhausgasbilanzierung, 25
- Treibhausgasemission, 23, 24, 28
Cradle-To-Gate, 25
Cradle-To-Grave, 25
- Trockenfrachtschiff, 187
- Trolley, 236
- Trucking, 243
- Twistlock, 257
- U**
- Übergabegleis, 174
- Übergabestelle, 174
- Übergabezug, 172
- Überholgleis, 162
- Überladebrücke, 153
- Umleersystem, 286
- Umsatzstruktur, 101
- Umschlaganlage, 288, 341
für flüssige Massengüter, 196
für rollende Stückgüter, 197
für Stückgut, 197
für trockene Massengüter, 196
- Umschlagbahnhof, 176, 254, 261
- Umschlaggesellschaft, 260
- Umschlaggleis, 176
- Umschlagterminal, 255
bimodales, 267
des Kombinierten Verkehrs, 441
- Umstellungskosten, 89
- Umweltbilanz, 125
- Umweltschutz, 10
- Unbegleiteter Kombinierter Verkehr, 254
- uno-actu-Prinzip, 56
- Unterflur-Schleppkettenförderer, 439
- Unternehmensklimabilanz, 26
- Unternehmenskooperation, 76
- V**
- Verbrauchsgüter, 96
- Verfrachter, 210
- Verkehr, 3
Energieverbrauch, 10
grenzüberschreitender, 166
in Produktions- und Umschlagsanlagen, 288
wirtschaftliche Aspekte, 7
- Verkehrsangebot, 381
- Verkehrsdaten, statistische, 46
- Verkehrsentwicklung, 34, 46
- Verkehrserhebung, 48
- Verkehrsflughafen, 233
- Verkehrsfreigabe, 260
- Verkehrsinfrastruktur, 3, 8, 15, 16, 37, 43, 144
bedarfsgerechte, 38
- Verkehrsinfrastrukturpolitik, 44
- Verkehrsknoten, 138, 264
- Verkehrslogistik, 4
Akteure, 126
Konsumverhalten, 18
- Verkehrsmanagementsystem, 44
- Verkehrsmittelwahl, 383
- Verkehrsmittelwechsel, 253
- Verkehrsmodell, 381, 382
disaggregiertes, 385
- Verkehrs nachfrage, 382, 383, 386, 389
- Verkehrs nachfragermodellierung, 383
- Verkehrsnetz, 123
europäisches, 139
internationaler, 206
Optimierung, 37
transeuropäisches, 37
- Verkehrsnetzdaten, digitale, 297
- Verkehrsordnungspolitik, 42
- Verkehrsplanung, 34
Verkehrsmodellierung, 396
- Verkehrspolitik, 11, 33, 139
des Bundes, 37
Entscheidungsträger, 42
Europäische Union, 35
Handlungsfelder, 42

- Verkehrsprognose, 46, 124
Verkehrsrecht, 135
Verkehrssicherheit, 11, 36
Verkehrssimulation, 437
Verkehrsstatistik, 47
Verkehrsteilnehmer, Grundbedürfnisse, 33
Verkehrswachstum, 9
Verkehrswege, 138, 161
Verlader, 62, 63, 66, 86, 116, 126
Verpackungsstammdaten, 294, 295
Versender, 126, 145
Verteilager, 149
Vertikaltransport, 213
Vertragsbeziehung, 113
Vertragsgestaltung, 109
Vertriebsprozess, 105
Volkswirtschaft, 34
Vollcontainerschiff, 207
Vorfeldlogistik, 239
Vorratsbeschaffung, 280
Vorstauprinzip, 156
Vorverpacer, 285
- W**
Wärmestrahlung, 22
Wandel, demografischer, 10
Warehouse-Location-Problem (WLP), 334, 409
Warehousing, 81
Warenstrom, 134
Warenumschlag, 153
Warenverteilsystemen, 282
Warenwirtschaftssystem, 148
Warteschlangentheorie, 371
Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV), 189
Wasserfahrzeug, 257
Wasserschifffahrtsdirektion, 190
Wasserstraße, 180
Wasserstraßen, 38
Wasserstraßennetz, 183, 190
Wechselaufbau, 142
Wechselbarriere, 66
Wechselbehälter, 143
- Wechselkosten, 66
Well-To-Tank (WTT), 26
Well-To-Wheel (WTW), 26
Werkverkehr, 126, 133
Wertdichte, 79
Wertschöpfung, 86
Wertschöpfungskette, 7
Westpazifische Süd-Nord Route, 206
Wettbewerbsdruck, 101
Wippdrehkran, 197, 199
Wirtschaftlichkeit, 311
Wirtschaftsverkehr, 46, 48, 387
 Kenngrößen, 49
 Messgrößen, 387
Wirtschaftsverkehrsmodell, 381
 Aggregationsniveau, 385
 Analysemaßstab, 386
 internationale, 389
 Klassifizierung, 385
 kleinräumiges, 393
 logistische Aspekte, 394
Wirtschaftsverkehrsnachfragemodellierung, 388
WiVSim, 392
- Y**
Yard Management, 435, 436, 438
- Z**
Zeitkonzept, 280
Zeitrestriktionen, 414
Zentrale-Orte-Konzept, 16
Zentrallager, 148, 282
Zerlegeliste, 175
Zieldepot, 151
Zielknotenpunktbahnhof, 172
Zoll, 211
Zug-Prozess, 269
Zugbildungsanlage, 170, 174
Zugsicherungssystem, 163, 166
Zustellungskosten, 287