

DIGITALES ARCHIV

ZBW – Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft
ZBW – Leibniz Information Centre for Economics

Balster, Andreas

Thesis

Modellierung dynamischer Güterflüsse zur Analyse von Risiken in der Lebensmittelversorgung

Reference: Balster, Andreas (2019). Modellierung dynamischer Güterflüsse zur Analyse von Risiken in der Lebensmittelversorgung. Darmstadt : Technische Universität Darmstadt, Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik.
urn:nbn:de:tuda-tuprints-83362.

This Version is available at:
<http://hdl.handle.net/11159/3120>

Kontakt/Contact

ZBW – Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft/Leibniz Information Centre for Economics
Düsternbrooker Weg 120
24105 Kiel (Germany)
E-Mail: [rights\[at\]zbw.eu](mailto:rights[at]zbw.eu)
<https://www.zbw.eu/econis-archiv/>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Dieses Dokument darf zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen. Sofern für das Dokument eine Open-Content-Lizenz verwendet wurde, so gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

<https://zbw.eu/econis-archiv/termsfuse>

Terms of use:

This document may be saved and copied for your personal and scholarly purposes. You are not to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public. If the document is made available under a Creative Commons Licence you may exercise further usage rights as specified in the licence.

Modellierung dynamischer Güterflüsse zur Analyse von Risiken in der Lebensmittelversorgung

Dipl.-Wi.-Ing. Andreas Balster
geboren in Blankenburg



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Institut für
Verkehrsplanung und
Verkehrstechnik

Institute for Transport
Planning and Traffic
Engineering

Prof. Dr.-Ing.
Manfred Boltze

Zur Erlangung des akademischen Grades Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)
vom Fachbereich Bau- und Umweltingenieurwissenschaften
der Technischen Universität Darmstadt genehmigte Dissertation.

Erstgutachter: Prof. Dr.-Ing. Manfred Boltze
Zweitgutachter: Prof. Dr. Hanno Friedrich (Kühne Logistics University, Hamburg)

Tag der Einreichung: 07. August 2018
Tag der mündlichen Prüfung: 24. September 2018

Darmstadt 2018

Balster, Andreas:

Modellierung dynamischer Güterflüsse zur Analyse von Risiken in der Lebensmittelversorgung

Herausgeber:

Technische Universität Darmstadt
Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik
Otto-Berndt-Straße 2
64287 Darmstadt

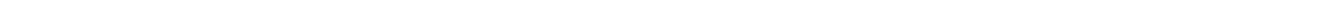
www.tu-darmstadt.de/verkehr
ivv@verkehr.tu-darmstadt.de

Schriftenreihe der Institute für Verkehr
Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik
Heft V 42

ISSN 1613-8317

Veröffentlicht über TUprints im Jahr 2019
<https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/id/eprint/8336>

Veröffentlicht unter CC BY-NC-ND 4.0 International
<https://creativecommons.org/licenses/>





Zusammenfassung

Die zuverlässige Versorgung mit Lebensmitteln ist ein wesentlicher Teil der Daseinsvorsorge. In Deutschland wird diese herausfordernde Aufgabe durch die Zusammenarbeit einer Vielzahl privatwirtschaftlicher Akteure bewältigt. Grundvoraussetzungen für eine zuverlässige Versorgung sind dabei die Funktionstüchtigkeit von Infrastrukturen sowie die Verfügbarkeit von Gütern und Dienstleistungen weiterer Sektoren. Extreme Ereignisse wie Stromausfälle, Hitzewellen oder Pandemien stellen Gefahren dar, deren Eintritt dieses komplexe und dynamische System der Lebensmittelversorgung signifikant beeinträchtigen kann, mit entsprechend schwerwiegenden Folgen für die Bevölkerung. Die bestehenden Notfallkonzepte staatlicher wie privatwirtschaftlicher Akteure sind derzeit nicht darauf ausgelegt, durch frühzeitige Eingriffe die Auswirkungen extremer Ereignisse auf die Lebensmittelversorgung abzumildern, um beispielsweise schwerwiegende Arbeitskräftemängel oder großflächige, anhaltende Ausfälle technischer Basisinfrastrukturen überbrücken zu können. Derartige Planungen erfordern quantitative Analysen, welche die wirtschaftliche Verflechtung, räumliche Struktur und zeitliche Dynamik des Lebensmittelversorgungssystems hinreichend berücksichtigen. Rein statische Analysen bestehender Statistiken genügen für solch eine integrierte Betrachtung nicht. Um mögliche Risiken aufzudecken, müssen aussagekräftige Indikatoren, wie zum Beispiel Bestandsentwicklungen und erforderliche Transportkapazitäten, bestimmt werden. Hierzu ist ein quantitatives Modell erforderlich, das die Lebensmittelversorgung simuliert und dabei die Abhängigkeiten, die sich aus dem wirtschaftlichen, räumlichen und zeitlichen Kontext von Produktion, Lagerung, Transport, Handel und Konsum ergeben, wirklichkeitsnah auf Basis von Realdaten abbildet.

Die bestehenden Forschungsarbeiten in diesem Bereich fokussieren auf qualitative Risikoanalysen oder beschränken die Betrachtung auf abgegrenzte Subsysteme, wie einzelne Unternehmen, spezifische Lieferketten oder ausgewählte Räume. Risiken, die aus der Dynamik und Komplexität des gesamten Lebensmittelversorgungssystems entstehen, können bisher nicht umfassend analysiert werden.

Die vorliegende Arbeit adressiert diesen Forschungsbedarf, indem ein makroskopisches und gleichzeitig detailliertes, dynamisches Güterverkehrsnachfragemodell der deutschen Lebensmittelversorgung entwickelt wird. Das Modell namens FOODFLOW unterscheidet 51 Gütergruppen in drei Temperaturbereichen. Die wirtschaftlichen Verflechtungen dieser Gütergruppen werden im Rahmen einer Input-Output-Analyse identifiziert. Das daraus entstehende sektorale, physische Input-Output-Modell wird mittels räumlichen Verflechtungen zu einem Multi-Skalen multi-regionalen Input-Output (MSMRIO)-Modell erweitert. Dafür werden zuerst Güteraufkommen und Nachfrage auf 402 Regionen innerhalb Deutschlands sowie die 50 wichtigsten internationalen Handelspartner verteilt. Dabei wird das gesamte Versorgungssystem inklusive Landwirtschaft, Lebensmittelverarbeitung, Großhandel, Lebensmitteleinzelhandel sowie Endkonsumenten abgedeckt. Durch Kalibrierung an Daten der Bundesverkehrswegeplanung (BVWP) werden realistische Ergebnisse gewährleistet. Das dafür entwickelte Kalibrierungsverfahren kombiniert Gravitations- und Optimierungsmodelle. Auf dieser Basis werden die Verläufe der Bestände und benötigten Transportkapazitäten aller Gütergruppen, Akteursgruppen und Regionen simuliert. Basisjahr für die Modellanwendung ist 2012 mit einer tagesgenauen Auflösung.

Die resultierenden Anwendungsmöglichkeiten werden an vier Beispielen verdeutlicht: Zuerst wird mit FOODFLOW die Vulnerabilität der deutschen Regionen anhand verschiedener Indikatoren veranschaulicht. Anschließend wird am Beispiel des EHEC-Ausbruchs von 2011 gezeigt, wie die kalibrierten räumlich-wirtschaftlichen Verflechtungen zur Verfolgung von lebensmittelbezogenen Krankheitsausbrüchen genutzt werden können. Neben diesen statischen

Anwendungen ist es mit FOODFLOW erstmals möglich, die Ausbreitung von Störungen in der Lebensmittelversorgung räumlich und zeitlich nachzuvollziehen und dadurch die Auswirkungen für die Endkonsumenten abzuschätzen. Diese Funktionalität wird anhand der Szenarien der Sperrung des Hamburger Hafens sowie einer extremen Steigerung der Getränkeachfrage im Großraum Berlin veranschaulicht.

Mit der Implementierung von FOODFLOW wird gezeigt, dass es möglich ist, ein dynamisches Güterflussmodell der Lebensmittelversorgung durch Kombination und Interpretation verfügbarer Daten zu entwickeln. Die hohe räumliche Auflösung sowie die aktorsgruppen- und tagesgenaue Abbildung der Systemdynamik erlauben es, auch unterjährige Entwicklungen und Abhängigkeiten zu identifizieren. Damit ermöglicht FOODFLOW erstmals eine umfassende Analyse der Vulnerabilität der deutschen Lebensmittelversorgung sowie der Störungsauswirkungen für die betroffene Bevölkerung. Außerdem kann der Umfang bestimmter reaktiver Maßnahmen, etwa die zusätzlich entstehende Güterverkehrsnachfrage, sowie der Einfluss bestimmter präventiver Maßnahmen prognostiziert werden.

Diese Ergebnisse erhöhen die Transparenz des Lebensmittelversorgungssystems und ermöglichen eine verbesserte Krisenprävention auf nationaler Ebene. Die vorliegende Arbeit leistet damit sowohl einen Beitrag zur Forschung als auch zur Sicherung der Lebensmittelversorgung.



Abstract

A reliable food supply is an essential part of the populations well-being. In Germany, this challenging task is being handled through the cooperation of a large number of private sector actors. The basic requirements for reliable supply are the operability of infrastructures and the availability of goods and services from other sectors. Extreme events, such as power outages, heat waves or pandemics, pose risks whose occurrence can significantly compromise this complex and dynamic food supply system, resulting in severe consequences for the population. The existing emergency plans of state and private sector actors are currently not designed to mitigate the effects of extreme events on food supply through early intervention, for example in order to cover major labour shortages or large-scale, prolonged disruptions of technical infrastructures. Better planning requires quantitative analyses that take into consideration the economic interdependence, spatial structure, and temporal dynamics of the food supply system. Purely static analyses of existing statistics are not adequate for such an integrated approach. In order to uncover possible risks, meaningful indicators such as stock developments and necessary transport capacities must be determined. For this purpose, a quantitative model is necessary that simulates the food supply and realistically maps the dependencies resulting from the economic, spatial and temporal context of production, storage, transport, trade, and consumption on the basis of real data.

Existing research in this area focuses on qualitative risk analyses or limits the scope to delimited subsystems, such as individual companies, specific supply chains, or selected areas. Risks arising from the dynamics and complexity of the entire food supply system cannot yet be analysed in detail.

This thesis addresses this research gap by developing a macroscopic and at the same time detailed, dynamic freight transport demand model of the German food supply system. The model called FOODFLOW differentiates 51 commodity groups in three temperature ranges. The economic interdependencies of these commodity groups are identified with an input-output analysis. The resulting sectoral, physical input-output model is extended to a multi-scale multi-regional input-output (MSMRIO) model by incorporating spatial interactions. To do so, commodity productions and demands are first allocated to 402 regions within Germany and the 50 most important international trading nations. Thereby, the entire supply system including agriculture, food processing, food retailing, wholesale, and the end consumer is covered. Realistic results are ensured by calibration on official data of the Federal Transport Infrastructure Plan. The calibration method developed for this purpose combines gravitational and optimisation models. On this basis, the course of inventories and required transport capacities of all groups of goods, groups of actors, and regions are simulated. The base year for the model application is 2012 with a day-accurate resolution.

Possible applications are illustrated by four examples: Initially, FOODFLOW visualises the vulnerability of the German regions using various indicators. Afterwards, the example of the EHEC outbreak of 2011 will show how the calibrated spatio-economic interactions can be used to track foodborne disease outbreaks. In addition to these static applications, FOODFLOW makes it possible to track the spatial and temporal propagation of disruption impacts in the food supply system and thus to estimate the effects for end consumers. This functionality is demonstrated by the scenarios of the closure of the Port of Hamburg and an extreme increase in demand for beverages in the greater Berlin area.

The implementation of FOODFLOW shows that it is possible to develop a dynamic commodity flow model of the German food supply system by combining and interpreting available data. The high spatial resolution as well as the actor group and day-accurate mapping of system dynamics make it possible to identify developments and dependencies even during the year. For the first time FOODFLOW enables a comprehensive analysis of the vulnerabilities of the German food supply system as well as the impact on the affected population. In addition, the extent of certain responsive measures, like the resulting additional freight transport demand, and the influence of certain preventive measures can be forecasted.

These results increase the transparency of the German food supply system and enable improved crisis prevention at a national level. The present work thus contributes both to research and to securing the food supply system.



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Zielstellung und Forschungsfrage	2
1.3	Aufbau der Arbeit	3
2	Risikobewertung im deutschen Lebensmittelversorgungssystem	5
2.1	Lebensmittelversorgung in Deutschland	5
2.1.1	Akteure und Systeme der Lebensmittelwirtschaft	5
2.1.2	Lebensmittelversorgung als kritische Infrastruktur	10
2.1.3	Grundlagen der technischen Basisinfrastruktur Transport und Verkehr	11
2.2	Risiken und Sicherung der Lebensmittelversorgung	13
2.2.1	Versorgungssicherheit und mögliche Störungen	13
2.2.2	Risiko und Risikomanagement	15
2.2.3	Supply-Chain-Risikomanagement	17
2.2.4	Betriebliches Kontinuitätsmanagement	21
2.2.5	Katastrophenschutz	22
2.2.6	Ernährungsnotfallvorsorge	23
2.2.7	Humanitäre Logistik	25
2.3	Defizite in Risikowahrnehmung, Risikomanagement und Gefahrenabwehr	26
2.3.1	Übersicht über Experteninterviews und Besichtigungen	26
2.3.2	Unternehmen	27
2.3.3	Staat	31
2.3.4	Bevölkerung	32
2.3.5	Gegensätzliche Ansichten und daraus resultierende Probleme	33
2.3.6	Forschungsbedarf	34
2.4	Konkretisierung der Zielstellung	35
2.4.1	Zielstellung und zentraler Indikator	35
2.4.2	Anforderungen an das zu entwickelnde Modell	36
2.5	Zwischenfazit	37
3	Stand der Risikoforschung in Logistik, Transport und Verkehr	39
3.1	Bestehende Forschungsarbeiten im Bereich Supply-Chain-Risikomanagement	39
3.2	Forschungsarbeiten zum Thema Humanitäre Logistik	41
3.3	Risikoanalyse für Verkehrsinfrastruktur und Transportnetzwerke	42
3.4	Abgeleiteter Modellbedarf	45
3.5	Zwischenfazit	48

4	Beschreibung geeigneter Methoden der Güterverkehrsmodellierung	49
4.1	Güterverkehrsmodellierung	49
4.2	Methoden und Modelle zur Verkehrserzeugung	52
4.2.1	Allgemeine Verkehrserzeugungsmodelle	52
4.2.2	System Dynamics	52
4.2.3	Input-Output-Modelle	54
4.3	Methoden und Modelle zur Modellierung der Verkehrsverteilung	57
4.3.1	Synthetische Quell-Ziel-Modelle	57
4.3.2	Gravitationsmodelle	57
4.4	Kombinierte Ansätze zur Modellierung der Verkehrserzeugung und Verkehrsverteilung	59
4.4.1	Land-Use/Transport-Interaction-Modelle	59
4.4.2	Spatial-Computable-General-Equilibrium-Modelle	60
4.4.3	Multi-regionale Input-Output-Modelle	62
4.5	Methoden und Modelle zur Modellierung logistischer Details	66
4.6	Auswahl geeigneter Modellierungsmethoden	68
4.7	Zwischenfazit	69
5	Datensammlung und Datenaufbereitung	71
5.1	Überblick über gesammelte, aufbereitete und modellierte Daten	71
5.2	Wirtschaftliche Abgrenzung, Strukturierung und Verflechtung	73
5.2.1	Klassifikation in Gütergruppen	73
5.2.2	Physische Input-Output-Tabelle	74
5.2.3	Aufteilung auf Verkaufskanäle	78
5.2.4	Aufteilung auf Lebensmitteleinzelhändler	80
5.3	Räumliche Abgrenzung, Strukturierung und Verflechtung	82
5.3.1	Räumliche Strukturierung des Untersuchungsraumes	82
5.3.2	Räumliche Verteilung der Produktion	82
5.3.3	Räumliche Verteilung des Verbrauchs	85
5.3.4	Einbindung des Außenhandels	87
5.3.5	Transportentfernungen	89
5.3.6	Spezifische regionale Absatzverteilung	92
5.3.7	Lager-Filial-Zuordnungen	95
5.4	Zeitliche Abgrenzung und Strukturierung	96
5.4.1	Zeitliche Verteilung der Produktion	96
5.4.2	Zeitliche Verteilung des Verbrauchs	98
5.4.3	Zeitliche Verteilung des Außenhandels	100
5.5	Ausgewählte wesentliche Erkenntnisse	102
5.6	Zwischenfazit	103
6	Modellentwicklung	105
6.1	Modellumfang	105
6.2	Modellaufbau	107
6.3	Modellierung der Güterflüsse	110
6.4	Kalibrierung der Güterflüsse	114
6.5	Simulation der dynamischen Güterflüsse	122
6.6	Zwischenfazit	130

7	Modellanwendung	131
7.1	Statische Vulnerabilitätsbewertung	131
7.2	Rückverfolgung kontaminierter Lebensmittel	135
7.3	Dynamische Risikobewertung des Verbrauchs und der Beschaffung	142
7.4	Dynamische Risikobewertung der Produktion und Distribution	147
7.5	Zwischenfazit	154
8	Fazit und Ausblick	155
8.1	Fazit	155
8.2	Einschränkungen	158
8.3	Ausblick	159
	Literaturverzeichnis	160
	Abbildungsverzeichnis	180
	Tabellenverzeichnis	181
	Abkürzungsverzeichnis	183
	Symbolverzeichnis	185
	Anhang A: Kernaussagen und Beobachtungen aus Experteninterviews und Besichtigungen	193
	Anhang B: Zusammensetzung der Gütergruppen	209
	Anhang C: Physische Input-Output-Tabelle der deutschen Lebensmittelversorgung	213
	Anhang D: Regionale Verteilung der Produktion	219
	Anhang E: Spannweite der mittleren Transportentfernungen modellierter Verflechtungen	231
	Anhang F: Ablagestruktur der digitalen Anhänge	233



1 Einleitung

Die Einleitung gibt einen kurzen Überblick über die vorliegende Arbeit und ihren Hintergrund. Dafür wird zuerst die zugrundeliegende Motivation erläutert und die bestehende Forschungslücke umrissen. Anschließend wird daraus die Zielstellung abgeleitet, deren Erfüllung sowohl einen wissenschaftlichen als auch gesellschaftlichen Beitrag darstellt. Um die Nachvollziehbarkeit der Arbeit zu erhöhen, wird deren Aufbau im abschließenden Abschnitt beschrieben. Dabei werden den einzelnen Kapiteln aus der Zielstellung abgeleitete Forschungsfragen zugeordnet.

1.1 Motivation

Die zuverlässige **Versorgung mit Lebensmitteln** ist ein wesentliches Grundbedürfnis der Bevölkerung. Verantwortlich für die Versorgung sind die zahlreichen Akteure der Lebensmittelwirtschaft. Zusammen bewältigen sie, unter Nutzung von Infrastrukturen sowie Waren und Dienstleistungen weiterer Sektoren, die Lebensmittelversorgung.

Bedrohungen wie Stromausfälle, Hitzewellen oder Pandemien gefährden das Funktionieren des Lebensmittelversorgungssystems. Der Ausfall oder eine umfangreiche Störung dieses Systems hätte schwerwiegende Konsequenzen für die Gesellschaft. Engpässe bei Babynahrung in Deutschland im Jahr 2013 oder bei Mineralwasser in New York City während des Hurrikans Sandy im Oktober 2012 (Bove 2013) zeigen, dass auch moderne und vielschichtige Lebensmittelversorgungssysteme ihre Schwächen haben. Trends wie Zentralisierung, Automatisierung und Lean Management, die aktuell auf das gesamte Versorgungssystem wirken, erhöhen die Vulnerabilität weiter. Unter solchen Bedingungen können auch Streiks, wie der von McKinnon (2006) beschriebene hypothetische Lkw-Fahrerstreik im Vereinigten Königreich, schwerwiegende Folgen haben, da der Lebensmitteleinzelhandel und damit die Bevölkerung in hohem Maße von einer konstanten Versorgung abhängig ist. Laut McKinnon würden sich die Auswirkungen schnell ausbreiten: Zuerst würde die Kraftstoffversorgung zum Erliegen kommen. Danach würde sich innerhalb eines Tages die Verfügbarkeit von Frischeprodukten wie Fleisch, Gemüse und Brot in Supermärkten verringern und innerhalb von zwei Tagen zusammenbrechen.

Ein effizientes **Risikomanagement** zur Vermeidung von Versorgungsengpässen und -krisen ist daher sowohl auf staatlicher als auch privatwirtschaftlicher Seite erforderlich. Der Staat hat die sozioökonomische Dienstleistungsstruktur Lebensmittelversorgung deshalb zur kritischen Infrastruktur erklärt (Bundesministerium des Inneren 2009), die wiederum vom Funktionieren der technischen Basisinfrastrukturen Energieversorgung, Informations- und Kommunikationstechnik, Verkehr und Transport sowie Wasserversorgung und Abwasserentsorgung abhängig ist. Sollte es durch eine Überlastung einer größeren Zahl von Unternehmen der Lebensmittelwirtschaft zu einem Marktversagen kommen, sind die Behörden deshalb durch mehrere Gesetze zum Eingreifen verpflichtet (Gizewski 2011). Deswegen schuf die Bundesregierung zum Schutz der Bevölkerung bereits zur Zeit des kalten Krieges eine Ernährungsnotfallvorsorge, die auch heute noch in dieser Form existiert (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz 2018). Kern dieser staatlichen Ernährungsnotfallvorsorge sind Bestandsreserven an Getreide, Reis, Hülsenfrüchten und Kondensmilch. Aber die Vulnerabilitäten des Lebensmittelversorgungssystems haben sich mit dessen Weiterentwicklung stark verändert. Heute würden die Bestandsreserven weder bei großflächigen Stromausfällen oder schwerwiegendem Arbeitskräftemangel noch beim Ausfall einer

technischen Basisinfrastruktur von Nutzen sein. Auch der Staat hat dieses Problem erkannt und mit dem neuen Ernährungssicherstellungs- und vorsorgegesetz (ESVG 2017) die gesetzliche Grundlage für eine Neustrukturierung geschaffen. Jedoch fehlt bislang die inhaltliche Ausgestaltung mit konkreten Vorsorgemaßnahmen.

Deshalb ist die Planung einer angemesseneren gesellschaftlichen Reaktion auf solche Großschadensereignisse notwendig, um das Ausmaß der Schäden zu verringern und Menschenleben zu retten. Bestandsreserven allein, ohne sorgfältige Systemplanung, reichen dafür nicht aus (Larson 2005). Stattdessen sind **Informationen** über das komplexe Lebensmittelversorgungssystem wichtiger denn je, insbesondere zu Beständen, Kapazitäten und Abhängigkeiten der beteiligten Akteure sowie daraus resultierenden Vulnerabilitäten. Mehrere Interviews mit Behörden- und Unternehmensvertretern in den Jahren 2013 bis 2015 haben gezeigt, dass sowohl bei lokalen als auch bei bundesweit agierenden Akteuren zusätzlicher Informationsbedarf besteht.

Allerdings reichen Statistiken und Datenerhebungen nicht aus, um diesen Bedarf zu decken. Laut Boin, Kelle und Whybark (2010, S. 4 f.) werden unter anderem **Werkzeuge** benötigt, die den Planungsprozess und die Entscheidungsfindung verbessern. Die Fähigkeit, Vulnerabilitäten identifizieren zu können, böte zusätzliche Unterstützung für Entscheidungsträger (Ponomarov und Holcomb 2009). Um Vulnerabilitäten aufzudecken, müssen kritische Pfade identifiziert werden, entlang derer die Kapazitäten so begrenzt sind, dass keine Ausweichreaktionen möglich sind (Christopher und Peck 2004). Dazu sind aussagekräftige Indikatoren wie die Bestandsentwicklungen und die zur Abwicklung aller Transporte benötigte Transportkapazität erforderlich. Diese können nicht durch einfache Datenerhebungen gewonnen werden, da sie sich aus dem wirtschaftlichen, räumlichen und zeitlichen Kontext von Produktion, Lagerung, Transport, Handel und Konsum ergeben. Sie müssen deshalb auf anderem Wege bestimmt werden. Notwendig ist daher ein Modell, das diese Kennzahlen auf Basis von Realdaten wirklichkeitsnah simuliert.

Aktuelle Forschungsarbeiten beschränken sich jedoch meist auf qualitative Risikoanalysen oder Subsysteme, wie einzelne Unternehmen, Supply-Chains oder Regionen. Risiken, die aus der Dynamik und Komplexität des gesamten Lebensmittelversorgungssystems entstehen, können bisher nicht umfassend analysiert werden. Auswirkungen von Großschadensereignissen und anderen Störungsszenarien können nur sehr begrenzt nachvollzogen werden. Um vulnerable Industrien und Regionen sowie kritische Szenarien und Zeitpfade identifizieren zu können, wird daher eine neue Art von Modell benötigt.

1.2 Zielstellung und Forschungsfrage

Die vorliegende Arbeit unterstützt das übergeordnete Ziel, die Sicherheit der Lebensmittelversorgung für Bürgerinnen und Bürger, durch die fokussierte Untersuchung möglicher Störungsauswirkungen, die sich über die Verkehrs- und Transportinfrastruktur in der Lebensmittelwirtschaft ausbreiten, zu erhöhen. Die Sicherheit der Lebensmittelversorgung hängt dabei von Bestandsverläufen bei den Akteuren der Lebensmittelwirtschaft sowie den Verflechtungen beziehungsweise Abhängigkeiten zwischen ihnen ab. Deren Gestalt wird durch Produkteigenschaften, Produktionsstandorte, Bestände, Produktions- und Konsumverläufe, Außenhandel sowie vorhandene Transportkapazitäten geprägt. All diese Faktoren müssen deshalb in der Untersuchung berücksichtigt werden. Auch die Dynamik und sektorübergreifende Verknüpfungen müssen beibehalten werden, um realistische Ergebnisse zu erhalten. Die Kernfrage, die dabei im Vordergrund steht, lautet:

Wie muss ein quantitatives, auf vorhandenen Daten basierendes Werkzeug gestaltet werden, um im dynamischen und komplexen System der Lebensmittelversorgung Vulnerabilitäten aufdecken und Risiken bewerten zu können?

Die Schaffung eines solchen Werkzeugs wäre ein großer wissenschaftlicher Fortschritt, da damit komplexe Risiken bewertet werden könnten, die sich aus wirtschaftlichen und raumzeitlichen Abhängigkeiten ergeben. Um die Transparenz des Lebensmittelversorgungssystems wesentlich erhöhen zu können, muss dabei die Nachvollziehbarkeit stets gewährleistet sein. Dieses Werkzeug kann dann Entscheidungsträger in Unternehmen und Behörden bei der Planung präventiver und reaktiver Maßnahmen zur Sicherung der Lebensmittelversorgung unterstützen.

1.3 Aufbau der Arbeit

Der Aufbau der Arbeit kann Abbildung 1.1 entnommen werden. Die Abbildung enthält darüber hinaus aus der Zielstellung abgeleitete Forschungsfragen, an denen sich der Inhalt der einzelnen Kapitel orientiert. Die Forschungsfragen werden am Ende eines jeden Kapitels im Abschnitt *Zwischenfazit* mit Kernaussagen beantwortet.

In **Kapitel 2** wird zuerst das System der Lebensmittelversorgung mit seinen wichtigsten Begrifflichkeiten, Subsystemen, Akteuren, Abhängigkeiten und Risiken beschrieben. Anschließend wird literaturbasiert aufgezeigt wie die Risiken von den Akteuren theoretisch gehandhabt werden könnten. Dem wird anhand von Experteninterviews, Besichtigungen und weiterer Studien gegenübergestellt, wie diese Risiken in der Praxis wahrgenommen und gehandhabt werden. Aufbauend auf den aufgezeigten Defiziten wird die Zielstellung der Arbeit konkretisiert.

Kapitel 3 gibt eine Übersicht über den aktuellen Stand der Risikoforschung. Es wird untersucht, ob bereits Werkzeuge oder Modelle existieren, die die in Kapitel 2 konkretisierte Zielstellung mit allen Anforderungen erfüllen. Aus dieser Untersuchung wird der Modellbedarf abgeleitet.

In **Kapitel 4** wird untersucht, welche Modellierungsmethoden am besten geeignet sind, um den Modellbedarf zu decken. Dazu werden zuerst die Grundlagen der Güterverkehrsmodellierung umrissen und das Potential der verschiedenen Methoden und Modelle zur Erreichung des Ziels dieser Arbeit aufgezeigt. Anschließend wird argumentiert, welche Modellierungsmethoden zur Erstellung des zu entwickelnden Modells ausgewählt, erweitert und kombiniert werden.

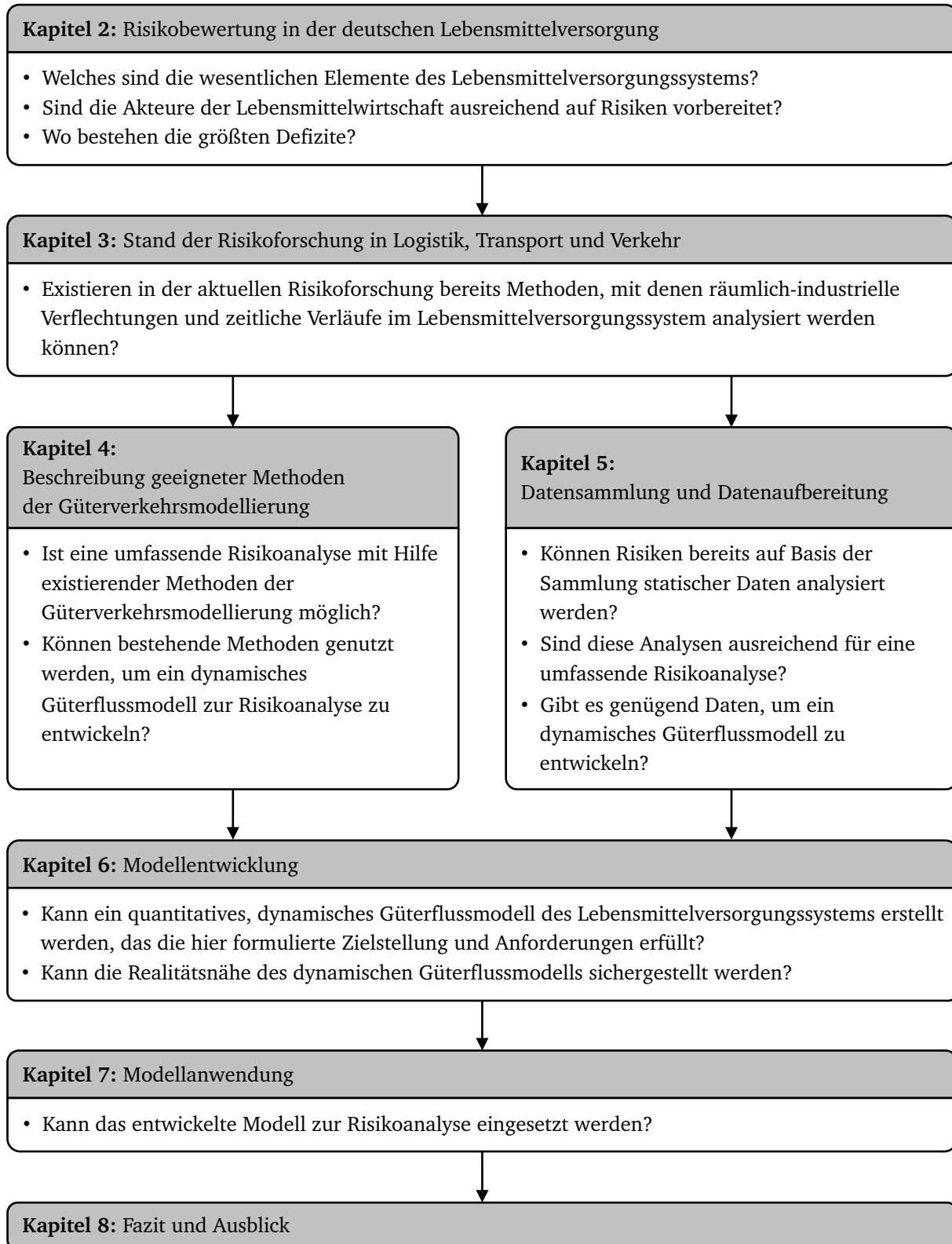
Kapitel 5 gibt einen Überblick über die gesammelten und aufbereiteten Daten, die zur Modellierung benötigt werden. Dabei wird detailliert auf die Herleitung und Qualität der Datensammlung und -aufbereitung eingegangen. An kurzen Beispielen wird die Breite und Vielfältigkeit des Lebensmittelversorgungssystems aufgezeigt. Das Kapitel umfasst außerdem erste Erkenntnisse bezüglich der Versorgungssicherheit, die bereits ohne Modellierung gewonnen werden können.

In **Kapitel 6** folgt die Beschreibung der eigentlichen Entwicklung des FOODFLOW-Modells. Dafür wird zuerst der Modellumfang abgegrenzt und der Modellaufbau inklusive seiner technischen Besonderheiten erläutert. Die detaillierte Modellbeschreibung setzt sich aus drei Teilen zusammen: der Bestimmung der Bandbreite der jährlichen Güterflüsse, der Kalibrierung dieser Güterflüsse und der anschließenden Dynamisierung.

Kapitel 7 beschreibt die Anwendungsmöglichkeiten des zuvor entwickelten FOODFLOW-Modells. Eine erste Anwendung befasst sich mit der Visualisierung verschiedener Vulnerabilitäten sowie der Identifikation besonders vulnerabler Regionen. Es folgt die Rückverfolgung von lebensmittelbezogenen Krankheitsausbrüchen zur ihrem Ursprung sowie die Analyse der Verteilung von belasteten Lebensmitteln. Anschließend wird gezeigt wie sich Störungen im zeitlichen Verlauf räumlich ausbreiten. Basierend auf diesen Erkenntnissen werden mit dem Modell die Auswirkungen ausgewählter staatlicher und privatwirtschaftlicher Maßnahmen quantifiziert.

Die Arbeit schließt mit **Kapitel 8**, welches das Fazit mit wesentlichen Ergebnissen dieser Arbeit enthält. Dazu werden die Antworten der einzelnen Kapitel auf die hier aufgestellten Forschungsfragen im Zusammenhang diskutiert. Abschließend werden die Einschränkungen sowie das weiterführende Potenzial von FOODFLOW aufgezeigt und der daraus resultierende Forschungsbedarf abgeleitet.

Abbildung 1.1: Aufbau der Arbeit



2 Risikobewertung im deutschen Lebensmittelversorgungssystem

Um ein Modell zur Risikoanalyse der deutschen Lebensmittelversorgung entwickeln zu können, müssen zunächst die wesentlichen Charakteristika dieses Systems identifiziert werden. Dafür wird in diesem Kapitel das System der Lebensmittelwirtschaft mit seinen wichtigsten Subsystemen, Akteuren und Abhängigkeiten beschrieben. Welche Risiken in diesem System auftreten können und wie sie von den identifizierten Akteuren theoretisch gehandhabt werden könnten, wird im zweiten Abschnitt aufgezeigt. Den theoretischen Möglichkeiten wird anhand von Erkenntnissen aus Experteninterviews, Besichtigungen und weiteren Studien gegenübergestellt, wie diese Risiken in der Praxis wahrgenommen und gehandhabt werden. Aus den Defiziten zwischen den praktisch umgesetzten Maßnahmen und der potentiellen Gefährdung, die durch den Abgleich von Theorie und Praxis erkennbar werden, wird schließlich der Forschungsbedarf abgeleitet und die Zielstellung der Arbeit konkretisiert.

2.1 Lebensmittelversorgung in Deutschland

Der folgende Abschnitt legt die Grundlagen für die weiteren Arbeiten. Zu diesem Zweck werden zuerst die Subsysteme und Akteure der Lebensmittelwirtschaft beschrieben. Anschließend wird die Systemumgebung untersucht und die Abhängigkeit von kritischen Infrastrukturen aufgezeigt. Auf die kritische Infrastruktur Transport und Verkehr wird dann genauer eingegangen, da dieser im Rahmen dieser Arbeit eine besondere Bedeutung zukommt. Abschließend werden Begriffsbezeichnungen und Kennzahlen, die im Zusammenhang mit Transport und Verkehr stehen, für die weitere Verwendung definiert.

2.1.1 Akteure und Systeme der Lebensmittelwirtschaft

Die Versorgung von Menschen mit ausreichend Lebensmitteln ist die Hauptaufgabe der **Lebensmittelwirtschaft**. Sie umfasst die Wirtschaftsbereiche, die sich mit der Urproduktion, der Verarbeitung und dem Handel von Lebensmitteln befassen. Dazu gehören die Landwirtschaft, der Agrargroßhandel, die Lebensmittelindustrie, das Lebensmittelhandwerk, der Lebensmittelgroß- und -einzelhandel sowie die Gastronomie. Abbildung 2.1 gibt einen Überblick über die Wirtschaftsbereiche und deren Handelsbeziehungen. Unterstützt wird dieses System zum einen durch staatliche Dienstleistungen, wie der Bereitstellung von Infrastrukturen, und zum anderen durch privatwirtschaftliche Dienstleistungen, wie beispielsweise der Vermittlung von Arbeitskräften oder der Abwicklung von Logistikaufgaben. Tabelle 2.1 listet die Bereiche mit deren wichtigsten Kennzahlen auf. Diese Bereiche stellen Subsysteme der Lebensmittelwirtschaft dar und werden im Folgenden beschrieben. Dabei wird der Lebensmittelhandel, aufgrund seiner besonderen Schnittstellenfunktion zwischen Lebensmittelproduktion und -konsum, ausführlicher behandelt. In der Beschreibung des Lebensmittelhandels wird auch auf die Handelslogistik eingegangen, da dieser Bereich für den räumlichen und zeitlichen Ausgleich von Angebot und Nachfrage verantwortlich ist. Abschließend wird die Verflechtung der Lebensmittelwirtschaft mit andern Wirtschaftssektoren kurz umrissen.

Abbildung 2.1: Handelsverflechtungen im System der Lebensmittelwirtschaft nach Gizewski (2011, S. 27) und Streck, Reichert und Pottebaum (1996)

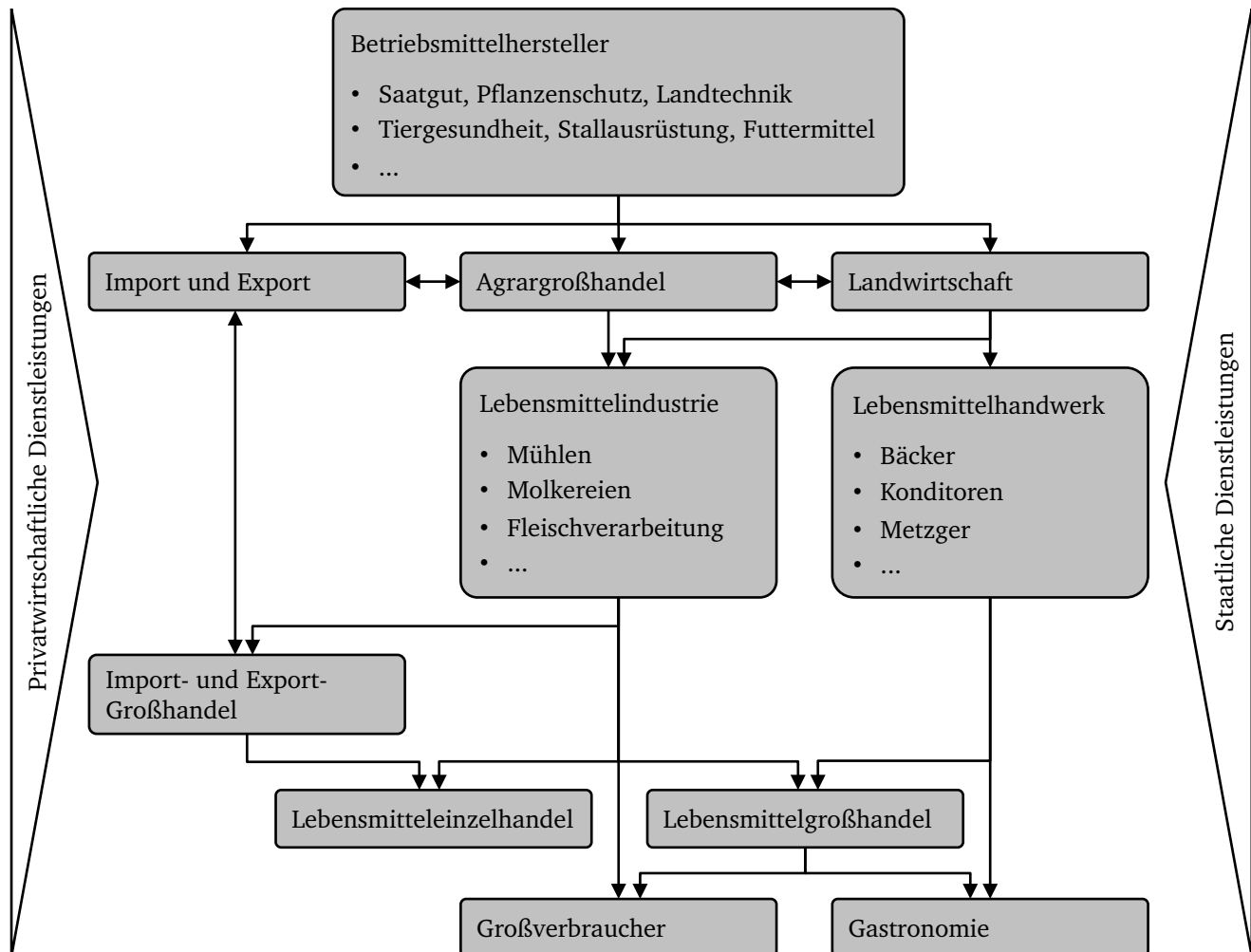


Tabelle 2.1: Kennzahlen der wirtschaftlichen Struktur der Lebensmittelwirtschaft 2015 (Bund für Lebensmittelrecht und Lebensmittelkunde e.V. 2016; Deutscher Hotel- und Gaststättenverband e.V. 2017)

Wirtschaftsbereich	Anzahl Betriebe in 1.000	Beschäftigte in 1.000	Bruttoumsatz in Milliarden €
Landwirtschaft	309	637	52
Agrar Großhandel	9	66	56
Lebensmittelhandwerk	35	543	40
Lebensmittelindustrie	6	569	169
Lebensmittel Großhandel	18	269	195
Lebensmitteleinzelhandel	110	1.281	219
Gastronomie	177	1.568	52
Gesamt	708	5.465	783

Die **Landwirtschaft** ist der Wirtschaftsbereich, in dem unverarbeitete tierische und pflanzliche Güter unter wirtschaftlicher Nutzung des Bodens erzeugt werden. Für diese Erzeugung werden Betriebsmittel wie Saatgut oder Futtermittel benötigt, die direkt oder über den Agrargroßhandel von den Betriebsmittelherstellern bezogen werden. Im erweiterten Sinn gehören zur Landwirtschaft neben Ackerbau und Viehzucht auch Gemüse- und Obstbau, Fischerei und Jagd, Nebengewerbe wie die Imkerei sowie die Forstwirtschaft (Polzin u. a. 2016).

Der **Agrargroßhandel** versorgt die landwirtschaftlichen Betriebe zum einen mit Betriebsmitteln wie beispielsweise Saatgut und Düngemitteln. Zum anderen ist er das Bindeglied zwischen der Landwirtschaft und den nachfolgenden Bereichen der Lebensmittelwirtschaft. Er nimmt dabei einen Qualitäts- und Mengenausgleich zwischen unterschiedlichen Regionen vor und überbrückt durch Lagerung zeitliche Angebots- und Nachfrageschwankungen. Eine Verarbeitung findet nicht statt. Die Wertschöpfung ergibt sich stattdessen aus der Sammlung, Sortierung, Aufbereitung, Kommissionierung und Lagerung landwirtschaftlicher Erzeugnisse sowie der Vermittlung und dem Transport an Verarbeitungsbetriebe und Handel (Gollisch und Theuvsen 2015, S. 3-5).

Die **Lebensmittelverarbeitung** wird, je nach Betriebsgröße, in Lebensmittelhandwerk und Lebensmittelindustrie getrennt. In ihnen wird der Großteil der landwirtschaftlichen Güter für die menschliche Ernährung verarbeitet. Die Lebensmittelindustrie ging aus dem Lebensmittelhandwerk hervor und unterscheidet sich durch gesteigerte Betriebsgrößen, den verstärkten Einsatz moderner Produktionsverfahren und einen höheren Grad der Automatisierung. Zur Lebensmittelverarbeitung gehören unter anderem die Schlachtung und Fleischverarbeitung, die Herstellung von Back- und Teigwaren sowie die Getränkeherstellung (Bundesvereinigung der Deutschen Ernährungsindustrie e.V. 2017, S. 17-21).

Die Versorgung der Bevölkerung mit Lebensmitteln aus Landwirtschaft und Verarbeitung erfolgt auf vielfältigen Wegen. Die Wege bei der Verteilung eines Produktes bis zum Endkonsumenten werden als **Verkaufskanäle** bezeichnet. In der Lebensmittelwirtschaft werden mehrere Verkaufskanäle unterschieden, über die die Lebensmittel direkt oder über Umwege über Lagerhäuser und Verkaufsstellen zum Endkonsumenten gelangen. Eine Übersicht, wie sich die Umsätze der Lebensmittelwirtschaft auf diese Verkaufskanäle verteilen, gibt Abbildung 2.2.

Nur ein kleiner Teil der Umsätze in Höhe von 12,3 % wird über den Direktabsatz von Landwirtschaft, Handwerk und Industrie erzielt. Der Großteil der Lebensmittel läuft über den **Lebensmittelhandel**. Dieser fungiert als Bindeglied zwischen den Erzeugern in Landwirtschaft und Lebensmittelverarbeitung auf der einen und den Endverbrauchern auf der anderen Seite. Er kann in Groß- und Einzelhandel unterschieden werden, wobei der Großhandel im Allgemeinen von kommerziellen Institutionen aus Lebensmittelverarbeitung und Gastronomie genutzt wird während der Einzelhandel die privaten Haushalte bedient. Wie beim Agrargroßhandel findet auch im Lebensmittelhandel keine Verarbeitung statt. Die Wertschöpfung ergibt sich aus der Überbrückung räumlicher Distanzen, dem Ausgleich zeitlicher Angebots- und Nachfrageschwankungen sowie der Nutzung von Skaleneffekten (Friedrich 2010, S. 36 f.).

Neben der Versorgung von Unternehmen des Lebensmittelhandwerks und der Lebensmittelindustrie mit verarbeiteten Gütern, beliefert der **Lebensmittelgroßhandel** hauptsächlich Kunden in der Gastronomie. Nur ein kleiner Anteil der Lebensmittel wird in Cash-&-Carry-Märkten an Endkonsumenten verkauft. Gastronomie bezeichnet die gewerbsmäßige Verpflegung von zahlenden Gästen. Sie bietet Mahlzeiten, Lebensmittel, Getränke und Genussmittel zum meist sofortigen Verzehr an. Dies findet in einer weiten Bandbreite von Betrieben statt, angefangen bei Restaurants und Kantinen über Schankwirtschaften, Bars und Vergnügungslokale bis hin zu Eisdielen und Cateringunternehmen (Statistisches Bundesamt 2017a).

Dem deutschen **Lebensmitteleinzelhandel (LEH)** kommt eine besondere Rolle zu. Er ist der Wirtschaftsbereich mit dem größten Umsatz und deckt über 60 % der Gesamtversorgung der Bevölkerung ab (Abbildung 2.2). Gleichzeitig ist hier die Marktkonzentration höher als in den anderen Bereichen der Lebensmittelwirtschaft, wo die kleinen und mittelständischen Unternehmen überwiegen (Bund für Lebensmittelrecht und Lebensmittelkunde e.V. 2016).

Abbildung 2.2: Umsatzverteilung auf Verkaufskanäle in Prozent des Gesamtumsatzes in Euro nach TradeDimensions (2007, S. II,3)

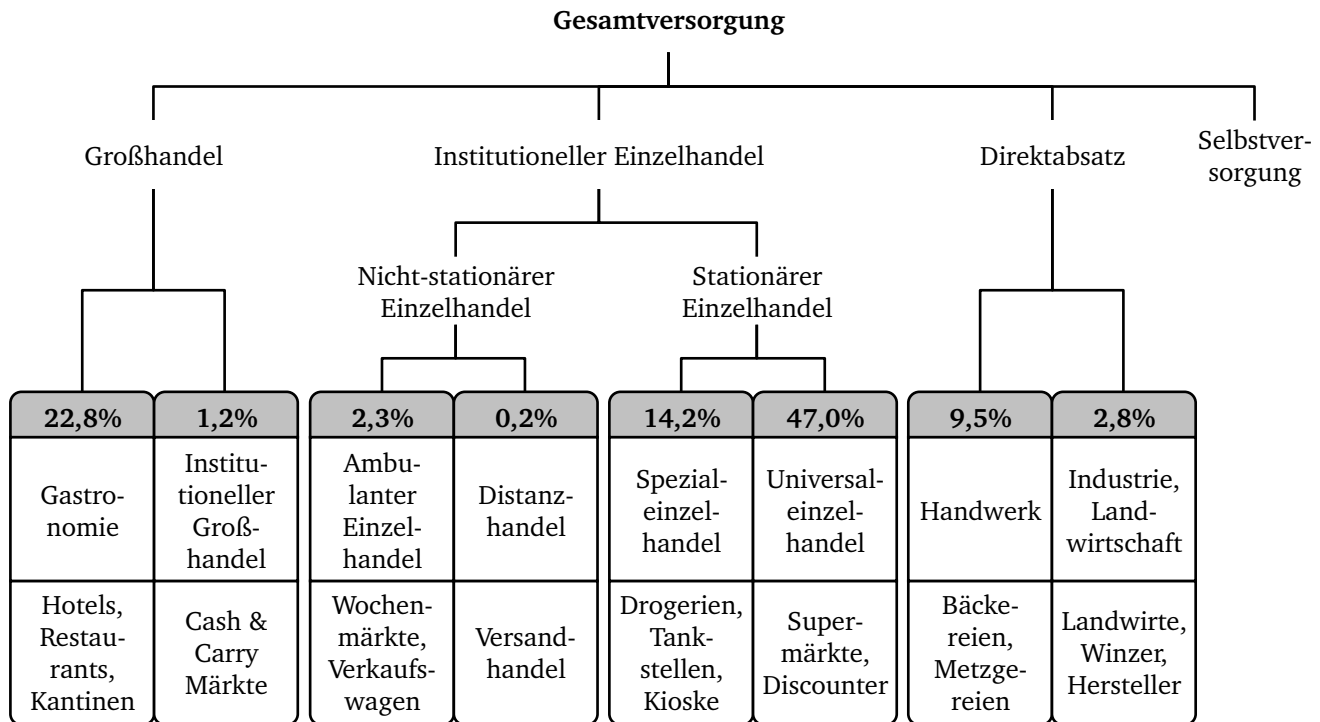


Tabelle 2.2 zeigt die Marktaufteilung im Lebensmittelhandel anhand der Gesamtbruttoumsätze des Jahres 2012. Darin ist abzulesen, dass die fünf größten Handelsunternehmen 72 % des Gesamtbruttoumsatzes erwirtschafteten. Den restlichen Umsatz teilt sich eine Vielzahl von relativ kleinen Unternehmen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass gerade die großen Unternehmensgruppen auch außerhalb des LEH agieren und ihr Marktanteil dadurch größer erscheint als er eigentlich ist. Der eigentliche Umsatz im direkten LEH betrug im Jahr 2012 circa 173 Milliarden Euro.

Aufgrund der zahlreichen Lieferbeziehungen und komplexen Abläufe in Groß- und Einzelhandel, ist der Lebensmittelhandel Kern vieler **Forschungsarbeiten**. Eine umfassende Abgrenzung und Erläuterung des Begriffs Handelsbetrieb erfolgt in einem gemeinsamen Arbeitspapier von Müller-Hagedorn und Toporowski (2006). Mit den Gegebenheiten und Herausforderungen des Handels beschäftigen sich Müller-Hagedorn, Toporowski und Zielke (2012) und gehen dabei insbesondere auf betriebswirtschaftliche Aspekte von Herstellern und Händlern ein. Aktuelle Entwicklungen im Einzelhandel in Kombination mit Konzepten und Strategien, um diesen zu begegnen, liefern Zentes, Swoboda u. a. (2012).

Da die zeitliche und räumliche Überbrückungsfunktion des Handels hauptsächlich durch die Logistikfunktionen Lagerung und Transport realisiert wird, erhält auch die Handelslogistik in der Forschung große Aufmerksamkeit. Eine Abgrenzung der Handelslogistik als wissenschaftliche Disziplin mit Bezug auf ihre Einflussfaktoren und Ziele findet sich bei Schnedlitz und Teller (1999). Eine systematische Analyse der Handelslogistik stellen Toporowski (1996) sowie Hertel, Zentes und Schramm-Klein (2011) bereit. Bretzke (2008) sowie Günther und Seiler (2009) geben einen Überblick über Prozesse und Organisationsstrukturen der Logistik zwischen Lebensmittelverarbeitung und -handel und zeigen Möglichkeiten der Effizienzsteigerung auf. Gleiches untersucht Grünblatt (2008) speziell für Markengüter. Die Abhängigkeit des Erfolgs von Handelsunternehmen vom Einsatz optimierter Logistiknetze betont Kotzab (2005). Empfehlungen zur Gestaltung der Filiallogistik zur Vermeidung von Out-of-Stocks gibt Hofer (2009).

Tabelle 2.2: Größte Unternehmen des Lebensmittelhandels nach Gesamtbruttoumsatz 2012 in Deutschland (Trade-Dimensions 2014c)

Rang	Unternehmen	Hauptsitz	Umsatz in Millionen €	Marktanteil in %
1	Edeka-Gruppe	Hamburg	48.597	20,12
2	Rewe-Gruppe	Köln	37.046	15,34
3	Schwarz-Gruppe	Neckarsulm	31.405	13,00
4	Metro-Gruppe	Düsseldorf	29.805	12,34
5	Aldi-Gruppe	Essen / Mülheim	26.060	10,79
6	Lekkerland	Frechen	8.265	3,42
7	Tengelmann-Gruppe	Mülheim	7.430	3,08
8	dm	Karlsruhe	5.112	2,12
9	Globus	St. Wendel	4.552	1,88
10	Rossmann	Burgwedel	4.480	1,86
11	Karstadt	Essen	3.746	1,55
12	Bartels-Langness-Gruppe	Kiel	3.603	1,49
13	Transgourmet Deutschland	Neu-Isenburg	3.004	1,24
14	Norma	Nürnberg	2.893	1,20
15	Müller	Ulm	2.600	1,08
16	Bünting	Leer	2.000	0,83
17	Dohle-Gruppe	Siegburg	1.356	0,56
18	Coop	Kiel	1.270	0,53
19	Netto Nord	Stavenhagen	1.186	0,49
20	Tegut	Fulda	1.155	0,48
21	Kaes	Mauerstetten	737	0,31
22	Handelshof	Köln	734	0,30
23	Klaas + Kock	Gronau	625	0,26
24	Dennree	Töpen	598	0,25
25	Alnatura	Bickenbach	572	0,24
26	Wasgau	Pirmasens	537	0,22
-	Übrige	-	12.136	5,03
Gesamt			241.504	100,00

Neben den vorgestellten, eher theoretischen Ansätzen existieren verschiedene wissenschaftliche Arbeiten mit stark empirischem Bezug. Dazu zählt vor allem die Studie von Kuhn und Sternbeck (2013). Sie analysieren anhand von Fallstudien die handelsinternen logistischen Strukturen der Lebensmittelhändler, mit Fokus auf die planerischen Abhängigkeiten zwischen den Prozessen in den Filialen, im Transport und in den Verteilzentren. Weitere Arbeiten dieser Kategorie stammen von Großpietsch (2003) und Magnus (2007). Gegenstand ihrer Untersuchungen ist vor allem die Optimierung der Zusammenarbeit in Lebensmittelwarenketten. Vahrenkamp und Kotzab (2012) sowie von Schlippenbach und Pavel (2011) betonen an dieser Stelle die zunehmende Dominanz der Handelsunternehmen gegenüber den Produzenten. Diese führt dazu, dass die Waren vermehrt über die Logistiksysteme der Handelsunternehmen umgeschlagen werden, wie Prümper (1979) bereits beschrieben hatte. Weitere aktuelle Entwicklungen sowie Strategien, diese erfolgreich zu nutzen, werden von Riekhof (2008) vorgestellt.

Aufgrund der Vielzahl heterogener Akteure, des breiten Sortiments unterschiedlichster Güter, der Ausdehnung des Systems über sämtliche Regionen sowie der zahlreichen **Interaktionen und Abhängigkeiten** ist die Lebensmittelwirtschaft ein strukturell und dynamisch komplexes System. Doch die beschriebenen Subsysteme der Lebensmittelwirtschaft sind nicht nur untereinander verflochten, sondern auch mit anderen Sektoren der Gesamtwirtschaft. So bezog die Landwirtschaft im Jahr 2012 vor allem Dienstleistungen aus der Arbeitskräfteüberlassung (2,5 Milliarden Euro) und dem Maschinenverleih (1,9 Milliarden Euro). Die Lebensmittelverarbeitung

nutzt hauptsächlich Dienstleistungen aus den Sektoren Lagerei und Transport (5,0 Milliarden Euro), Werbung und Marktforschung (3,5 Milliarden Euro), Rechts-, Steuer- und Unternehmensberatung (3,2 Milliarden) sowie Waren der Papier-, Gummi- und Kunststoffindustrie (zusammen 4,0 Milliarden Euro) (Statistisches Bundesamt 2017b). Die Lebensmittelversorgung ist aber nicht nur von der Lebensmittelwirtschaft und anderen Sektoren abhängig sondern auch vom Funktionieren verschiedener kritischer Infrastrukturen.

2.1.2 Lebensmittelversorgung als kritische Infrastruktur

Bei **Kritischen Infrastrukturen** handelt es sich um vom jeweiligen Staat definierte Infrastrukturen, die „für die Funktionsfähigkeit moderner Gesellschaften von wichtiger Bedeutung sind und [deren] Ausfall oder [deren] Beeinträchtigung nachhaltige Störungen im Gesamtsystem zur Folge hat“ (Bundesministerium des Inneren 2009, S. 5). Kritikalität wird dabei definiert als „relatives Maß für die Bedeutsamkeit einer Infrastruktur in Bezug auf die Konsequenzen, die eine Störung oder ein Funktionsausfall für die Versorgungssicherheit der Gesellschaft mit wichtigen Gütern und Dienstleistungen hat“ (ebenda). Nach dem Bundesministerium des Inneren (2009) unterscheidet man in Deutschland die kritischen Infrastrukturen in die technischen Basisinfrastrukturen

- Energieversorgung,
- Informations- und Kommunikationstechnologie,
- Transport und Verkehr,
- (Trink-)Wasserversorgung und Abwasserentsorgung

sowie die sozioökonomischen Dienstleistungsstrukturen

- Gesundheitswesen, Ernährung,
- Notfall- und Rettungswesen, Katastrophenschutz,
- Parlament, Regierung, öffentliche Verwaltung, Justizeinrichtungen,
- Finanz- und Versicherungswesen,
- Medien und Kulturgüter.

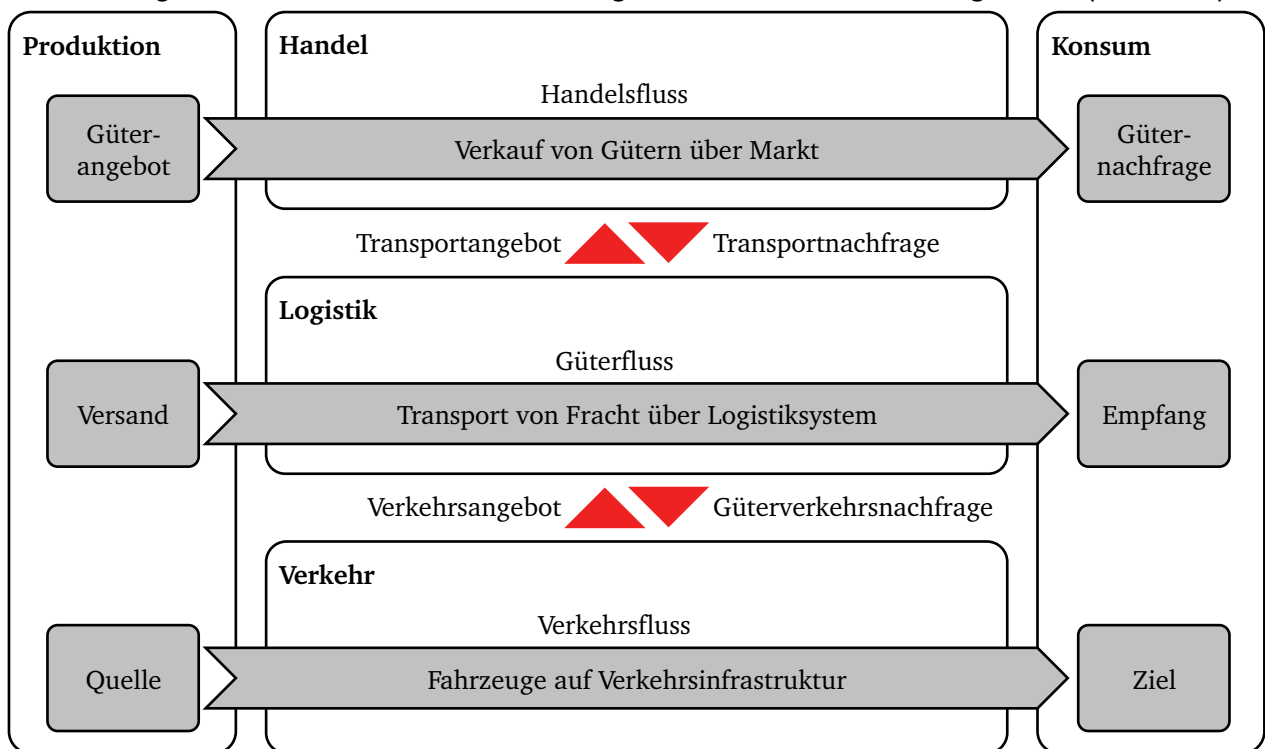
Die Ernährung, die dem hier beschriebenen System der Lebensmittelversorgung entspricht (Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe 2011), wird vom Staat bereits selbst als kritische Infrastruktur definiert. Doch die Lebensmittelversorgung ist auch vom Funktionieren der **technischen Basisinfrastrukturen** abhängig, da deren Ausfälle über Kaskadeneffekte auch zum Ausfall der Lebensmittelversorgung führen würden. So wird die Energieversorgung unter anderem für die Lebensmittelverarbeitung, die Intralogistik, die Kühlung und den Betrieb der IT-Systeme benötigt. Die Informations- und Kommunikationstechnologie ist unabdingbar für die Abwicklung von Bestell- und Liefervorgängen sowie für die Steuerung unternehmensinterner Abläufe. Die Trinkwasserversorgung ist selbst Teil der menschlichen Versorgung und wird darüber hinaus für den Anbau sowie die Verarbeitung von Lebensmitteln benötigt. Transport und Verkehr sind von großer Bedeutung, da Lebensmittelproduktion, -verarbeitung, -lagerung und Konsum nicht am gleichen Ort stattfinden und Lebensmittel sowie ihre Vorprodukte deswegen über die Verkehrsinfrastruktur transportiert werden müssen. Aufgrund dieser Abhängigkeiten müssen alle technischen Basisinfrastrukturen mit hoher Zuverlässigkeit funktionieren, um die Lebensmittelversorgung zu gewährleisten. Dies gilt insbesondere für verderbliche Lebensmittel, die wegen ihrer Verderblichkeit sowie der durch die notwendige Kühlung erhöhten Lager- und Transportkosten nur in sehr geringerem Maße in den Filialen gelagert werden.

Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der Lebensmittelversorgungssicherheit in Abhängigkeit von der Transport- und Verkehrsinfrastruktur. Die Grundbegriffe dieser kritischen Infrastruktur werden im folgenden Unterabschnitt definiert und deren Zusammenhänge aufgezeigt. Die Abhängigkeit von den weiteren technischen Basisinfrastrukturen wird in dieser Arbeit teilweise, im Rahmen möglicher Szenarien, untersucht.

2.1.3 Grundlagen der technischen Basisinfrastruktur Transport und Verkehr

Die Lebensmittelversorgung hängt vom Funktionieren der **technischen Basisinfrastruktur Transport und Verkehr** ab. Laut Definition des Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (2011) umfasst diese kritische Infrastruktur neben den verschiedenen Verkehrsarten, wie beispielsweise Straßen- und Schienenverkehr, auch die Logistikbranche. Die Schnittstellen zur Lebensmittelversorgung sind der Agrargroßhandel sowie der Lebensmittelgroß- und einzelhandel, die mit ihrer räumlichen Überbrückungsfunktion auf Logistik und Verkehr angewiesen sind. Wie das Verkehrs- und das Logistiksystem auch außerhalb der Lebensmittelwirtschaft mit dem Handel interagieren zeigt Abbildung 2.3. Diese Interaktionen werden in den folgenden Absätzen beschrieben. Danach wird eine kurze Übersicht über die wichtigsten Kennzahlen gegeben.

Abbildung 2.3: Zusammenwirken von Handel, Logistik und Verkehr in Anlehnung an Rühl (2017, S. 12)



Angetrieben wird das Gesamtsystem durch die **Güternachfrage** von Endkonsumenten und verarbeitenden Betrieben. Gedeckt wird diese Nachfrage durch produzierende Betriebe, die ihre Güter über Märkte verkaufen.

Da die Orte von Güternachfrage und -angebot im Allgemeinen räumlich getrennt sind, entsteht durch den Handel **Transportnachfrage**. Transport wird definiert als ein Prozess zur räumlichen Ortsveränderung von physischen Gütern, der mit Transportmitteln abgewickelt wird (Pfohl 2004, S. 162; Ammoser und Hoppe 2006, S. 21). Er ist, neben weiteren Prozessen wie Lagerung, Kommissionierung und Veredelung, eine der Hauptaufgaben der Logistik (Gudehus 2005, S. 25-28). Die im Handel entstehende Transportnachfrage kann durch Käufer oder Verkäufer bedient werden, wenn dort eigene Transportmittel zur Verfügung stehen. Häufig wird diese Aufgabe jedoch an Frachtführer beziehungsweise Spediteure vergeben (Gudehus 2005, S. 1005-1030).

Für diesen Transport muss die Verkehrsinfrastruktur genutzt werden. Es entsteht **Güterverkehrsnachfrage**. Der Begriff Verkehr beschreibt die Ortsveränderung von Objekten, wie Gütern, Personen oder Nachrichten, in einem definierten System (Ammoser und Hoppe 2006, S. 21). Güterverkehr ist die Bewegung von Gütern von einer Quelle zu einem Ziel auf der Verkehrsinfrastruktur (van de Riet, de Jong und Walker 2007, S. 73 f.). Güterverkehrsnachfrage ist das Bedürfnis der Akteure im Transportsystem, Güter zwischen zwei Orten zu bewegen. Dabei wird die Entscheidung über die Art des Transports von den Parametern Güterart, Menge, Ursprungs- und Zielort sowie Zeit und Kosten bestimmt (Gudehus 2005, S. 7 f.). Der Staat bedient diese Güterverkehrsnachfrage, indem er die Verkehrsinfrastruktur bereitstellt, Regeln für deren Nutzung festlegt und die Nutzbarkeit sicherstellt. Durch den physischen Transport entstehen so Fahrzeugbewegungen auf der Verkehrsinfrastruktur.

Zusammenfassend resultiert Güterverkehr demnach aus den Entscheidungen mehrerer Akteure: der Empfänger und Versender, die Güternachfrage und -angebot über Handel ausgleichen, der Transporteure, die die Logistikinfrastruktur betreiben und Ortsveränderungen zwischen Versender und Empfänger realisieren sowie des Staates, der die nötige Verkehrsinfrastruktur bereitstellt und versucht, die ökonomischen, ökologischen und sozialen Interessen der beteiligten sowie externer Akteure des Verkehrssystems auszubalancieren (Rühl 2017, S. 12).

Das beschriebene Güterverkehrssystem kann mit den verschiedensten **Kennzahlen** beschrieben werden. Die für die vorliegende Arbeit wichtigsten werden im Folgenden vorgestellt:

- **Güterverkehrsaufkommen (in Stück, Tonnen (t) oder Volumen (m³) pro Zeiteinheit)**

Das Güterverkehrs- oder auch Ladungsaufkommen beschreibt die tatsächlich transportierte Menge an Gütern in einem bestimmten räumlichen und zeitlichen Intervall (Gudehus 2005, S. 812; Ammoser und Hoppe 2006, S. 23). Messgrößen sind unter anderem die Stückzahl, das Gewicht oder das Volumen der transportierten Güter. Durchlaufen die Güter Transportketten, in denen die Fracht umgeschlagen wird, wird das Güterverkehrsaufkommen an diesen Umschlagpunkten erneut gezählt.

- **Transportentfernung (in Kilometern (km))**

Die Transportentfernung ist die Strecke, die ein Transportmittel zum Zweck der Ortsveränderung auf der Verkehrsinfrastruktur zurücklegt. Die Ortsveränderung kann dabei direkt zwischen Produktion und Konsum, aber auch auf Teilstrecken zwischen Standorten mit logistischen Funktionen stattfinden. In makroskopischen Untersuchungen wird meist das arithmetische Mittel mehrerer Transportentfernungen verwendet.

- **Güterverkehrsleistung (in Tonnenkilometer (tkm) pro Zeiteinheit)**

Die Kennzahl der Güterverkehrsleistung oder auch Beförderungsleistung wird zur quantitativen Beschreibung von Verkehrsprozessen genutzt. Sie berechnet sich aus dem Produkt des Gewichts der zu transportierenden Güter und der Transportentfernung. Bei der Verwendung der Güterverkehrsleistung muss beachtet werden, dass ihr Zahlenwert nicht eindeutig ist. So kann eine Güterverkehrsleistung in Höhe von 100 tkm von 1 t eines Gutes stammen, das über eine Entfernung von 100 km transportiert wurde oder aber von 10 t des Gutes, das über 10 km transportiert wurde (Ammoser und Hoppe 2006, S. 29).

- **Fahrleistung (in Fahrzeugkilometer (Fzkm) pro Zeiteinheit)**

Die Fahrleistung ist eine Kennzahl zur Ermittlung der tatsächlich zurückgelegten Entfernung eines Fahrzeuges unabhängig von seiner Auslastung. Die Fahrzeuggesteuerung gibt Auskunft über die Nutzungsintensität der Verkehrsinfrastruktur und den Umfang der produzierten Verkehrsdienstleistungen (Ammoser und Hoppe 2006, S. 2).

- **Auslastung (in Prozent (%))**

Die Auslastung, bei Transportfahrzeugen auch Ladefaktor genannt, ergibt sich aus dem Verhältnis von genutzter und verfügbarer Kapazität einer Ressource. Ressourcen können unter anderem Produktionsanlagen, Lager, Mitarbeiter oder auch Fahrzeuge sein.

- **Transportkapazität (in Stück, Tonnen (t) oder Volumen (m³))**

Die Transportkapazität bezeichnet die Summe der Fahrzeugkapazitäten beziehungsweise Nutzlasten der eingesetzten Transportmittel (Gudehus 2005, S. 864). Sie kann in Stückzahl, Gewicht oder Volumen gemessen werden. Multipliziert mit der möglichen Transportentfernung, die innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls zurückgelegt werden kann, ergibt sie das Transportangebot.

Tabelle 2.3 zeigt die Werte für das Güterverkehrsaufkommen und die Güterverkehrsleistung der mit der Lebensmittelwirtschaft verbundenen Gütergruppen. Darin wird deutlich, dass die Lebensmittelwirtschaft mit circa 15 % des gesamtdeutschen Güterverkehrsaufkommens und fast 20 % der Güterverkehrsleistung einer der bedeutendsten Sektoren in Deutschland ist. Die Transport- und Verkehrsinfrastruktur müssen diese Güterverkehrsnachfrage bedienen, um die Versorgung mit Lebensmitteln zu sichern. Was in diesem Zusammenhang Versorgungssicherheit bedeutet, wird im nächsten Abschnitt erörtert.

Tabelle 2.3: Güterverkehrsaufkommen und Güterverkehrsleistung in Deutschland im Jahr 2010 (Auszug, Schubert u. a. 2014, S. 292 und 294)

Gütergruppe	Güterverkehrsaufkommen		Güterverkehrsleistung	
	in Millionen t	in %	in Milliarden tkm	in %
Land- und Forstwirtschaft	208	5,6	45	7,4
Nahrungs- und Genussmittel	355	9,6	72	11,9
Gesamtaufkommen	3.705	100,0	607	100,0

2.2 Risiken und Sicherung der Lebensmittelversorgung

Nachdem im vorangegangenen Abschnitt die Grundlagen zum Verständnis der Lebensmittelversorgung gelegt wurden, wird in diesem Abschnitt untersucht, welche Störungen im System auftreten könnten und wie sich die verschiedenen Akteure darauf vorbereiten. Dafür werden zuerst potentielle Störungen und Gefahren klassifiziert. Wie die Bedrohung durch diese Gefahren quantifiziert und gehandhabt werden kann, wird im Rahmen des Risikomanagements beschrieben. Anschließend wird darauf eingegangen, wie Unternehmen mit diesen Störungen und Gefahren im Rahmen des Supply-Chain-Risikomanagements und, im Falle des Schadenseintrittes, des Betrieblichen Kontinuitätsmanagements umgehen können. Die Maßnahmen der staatlichen Akteure im Rahmen des Katastrophenschutzes und der Ernährungsnotfallvorsorge werden ebenfalls kurz dargestellt. Es folgt ein Überblick über den Bereich der Humanitären Logistik, der eng mit dem Supply-Chain-Risikomanagement und dem Katastrophenschutz verwandt ist.

2.2.1 Versorgungssicherheit und mögliche Störungen

Bezogen auf die Lebensmittelversorgung bedeutet **Versorgungssicherheit**, dass „alle Personen, zu allen Zeitpunkten physischen, sozialen und wirtschaftlichen Zugang zu ausreichenden, sicheren und nahrhaften Lebensmitteln haben, um ihren Ernährungsbedarf für ein aktives und gesundes Leben entsprechend ihrer Ernährungspräferenzen zu decken“ (eigene Übersetzung nach Food and Agriculture Organization of the United Nations 2009, S. 1). Die Konsequenzen eines Ausfalls der Lebensmittelversorgung wären gravierend, da nicht nur das Wohlbefinden der Bevölkerung, sondern auch deren Existenz gefährdet wäre. Zumal mangelnde Ernährung auch die Arbeitskraft der betroffenen Bevölkerung massiv einschränken würde, was wiederum negative Auswirkungen auf andere Branchen hätte.

Klar von der Versorgungssicherheit abzugrenzen, ist die **Lebensmittelsicherheit**. Dabei gelten Lebensmittel als sicher, wenn sie für Menschen nicht gesundheitsschädlich und für den Verzehr geeignet sind (Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union 2002). Durch mangelnde Lebensmittelsicherheit können große Mengen an Lebensmitteln ungenießbar und so Störungen der Lebensmittelversorgung ausgelöst werden. Wie sich Kontaminationen in Versorgungsnetzwerken ausbreiten, wurde unter anderem von Pinior (2013) untersucht. Sie erarbeitete ein Simulationsmodell der Warenströme in der deutschen Milchwirtschaft, mit dessen Hilfe ausbreitungsfördernde Akteure identifiziert werden können. Ihre Ergebnisse sollen Akteure aus Privatwirtschaft, Verbänden und Behörden im Ernstfall bei der Prävention, Früherkennung und Schadensbegrenzung unterstützen.

Doch nicht jede Störung führt zu einer Beeinträchtigung der Versorgung. Es können verschiedene Stufen der Beeinträchtigung unterschieden werden: Von stellenweise leeren Regalen in vereinzelt Lebensmittelhandelsfilialen, über Versorgungsengpässe bis hin zu Versorgungskrisen. Diese Störungstypen werden im Folgenden definiert. Zu **vereinzelt leeren Regalen** kann es, gerade bei Frischeprodukten, besonders vor und nach Feiertagen und verlängerten Wochenenden kommen. Das liegt daran, dass Händler die gesteigerte Kundennachfragen nicht exakt prognostizieren können. Solche Störungen betreffen aber nur einzelne Filialen. Die Regale sind meist nach ein bis zwei Werktagen wieder gefüllt. Die Versorgungssicherheit ist in diesen Fällen nicht gefährdet.

Bleiben Regale in mehreren Filialen länger leer, kann es zu einem **Versorgungsengpass** kommen. Dieser Begriff wird häufig verwendet, ist jedoch rechtlich nicht definiert. Deshalb soll er an dieser Stelle definiert werden: Ein Versorgungsengpass tritt ein, wenn eine gesamte Produktgruppe für eine bestimmte Zeit ausfällt, sodass sowohl die Bestände der Endverbraucher als auch die Bestände der Händler und Lebensmittelwirtschaft aufgebraucht sind. Dadurch kommt es zu einer Störung der Ernährungsgewohnheiten der Bevölkerung. Der Versorgungsengpass kann durch Hamsterkäufe verschärft werden und sich auch in eine Versorgungskrise auswachsen.

„Eine **Versorgungskrise** liegt vor, wenn die Deckung des Bedarfs an lebenswichtigen Erzeugnissen in wesentlichen Teilen des Bundesgebietes ernsthaft gefährdet ist und diese Gefährdung durch marktgerechte Maßnahmen nicht, nicht rechtzeitig oder nur mit unverhältnismäßigen Mitteln zu beheben ist.“ (EVG 1990, § 1 Art. 2) Zu einer Versorgungskrise kam es in Deutschland nach dem Ende des zweiten Weltkrieges nicht mehr. Jedoch gibt es zahlreiche Gefahren, welche die Lebensmittelversorgung bedrohen: direkt, in Form von Ernteaufschlägen oder der Kontamination von Lebensmitteln, oder indirekt über Kaskadeneffekte beim Ausfall beziehungsweise der Beeinträchtigung einer technischen Basisinfrastruktur.

Dass auch Industriestaaten nicht vor Versorgungsengpässen geschützt sind, zeigen **historische Ereignisse**. So traf Hurrikan Sandy am 29. Oktober 2012 auf die Küsten von New Jersey, New York und Connecticut und verursachte Schäden in Höhe von mehr als 65 Milliarden US-Dollar (Bove 2013). Obwohl der Sturm nicht der schwerste in der jüngeren Geschichte des amerikanischen Nordosten war, führten Hamsterkäufe im Vorfeld des Hurrikans zu Engpässen bei Grundnahrungsmitteln wie Wasser, Brot und Milch (Ries 2012). Und auch nach dem Sturm kam es in einigen Regionen zu Versorgungsengpässen bei Lebensmitteln. Dies lag vor allem an überschwemmten Straßen, einer fehlenden Stromversorgung und Engpässen bei der Benzinversorgung (DeAngelis 2012; Wilkie, Chun und Hines 2012). Auch in Deutschland gab es in der jüngeren Vergangenheit einen schweren Lebensmittelengpass. So brachen im November 2005 Stromleitungen im Münsterland und in Osnabrück unter großen Schneelasten zusammen. Hunderttausende Menschen mussten teilweise mehr als eine Woche ohne Strom auskommen. Viele Filialen des LEH mussten geschlossen bleiben, da dort ohne Strom weder Licht noch Kühl-, Bestell- oder Kassensysteme funktionierten. Nur wenige Filialen konnten einen Notbetrieb aufrecht erhalten. Dies zwang die Behörden dazu, öffentliche Versorgungsstellen einzurichten (Gizewski 2011, S. 55-58).

Dass solche Großschadensereignisse die Lebensmittelversorgung stören, ist nicht überraschend. Aber auch kleinere Störungen können große Auswirkungen haben. Zum Beispiel führte im Juli 2010 der Streik griechischer Tank- und Lastwagenfahrer gegen eine Liberalisierung in der Transportbranche bereits nach wenigen Tagen zu Engpässen bei der Benzinversorgung. Dadurch kam der Verkehr größtenteils zum Erliegen, wodurch in einigen Regionen kaum noch frisches Obst und Gemüse zu bekommen waren (Bartels 2010). Ein anderes Beispiel ist die sogenannte Butterkrise in Norwegen im Dezember 2011. Dort führten eine leicht schwächere Produktion von Butter und eine überraschend starke Nachfrage zu einem Versorgungsengpass. Dieser konnte aufgrund von Importbeschränkungen nicht durch Außenhandel ausgeglichen werden (Andersen 2011). Auch die zunehmende Automatisierung führte bereits zu Problemen in der Lebensmittelproduktion. So fielen im Winter 2010 Melkroboter in Deutschland für einen Tag aus (Bonsels und Schmitz 2010). Infolgedessen ging die Milchproduktion in den betroffenen Betrieben um circa 50 % zurück und erreichte erst nach vier Wochen wieder das ursprüngliche Niveau. Solche Störungen könnten auch automatisierte Futersysteme, Belüftungen sowie Heizungen betreffen und, durch die voranschreitende Vernetzung der Landwirtschaft im Internet der Dinge, auch gezielt herbeigeführt werden.

Wie man an den beschriebenen Fallbeispielen sieht, sind die **Gefahren** für die Lebensmittelversorgung sehr vielfältig. Gizewski (2011, S. 48) unterscheidet die Gefahren in fünf Klassen:

- Geologische Gefahren, wie Erdbeben und Vulkanausbrüche,
- Meteorologische und klimatische Gefahren, wie Hitzewellen und Hochwasser,
- Biogene Gefahren, wie Krankheitserreger, Toxine und Schädlinge,
- Technisches beziehungsweise menschliches Versagen, wie chemische und nukleare Unfälle, Stromausfälle und Versagen der Informationstechnik sowie
- Vorsätzliche Handlungen, wie Terrorismus, Sabotage und Krieg.

Diese Gefahren müssen abgewehrt werden. Dafür müssen die Akteure der Lebensmittelversorgung die bei ihnen aus den Gefahren entstehenden Risiken kennen und kontrollieren sowie Vorbereitungen für die Schadensbewältigung treffen. Wie Risikomanagement, Prävention und Bewältigung in Unternehmen und beim Staat funktionieren, wird in den folgenden Unterabschnitten kurz umrissen.

2.2.2 Risiko und Risikomanagement

Für den Begriff Risiko gibt es unterschiedliche Definitionen. Eine sehr allgemeine **Risikodefinition** findet sich bei Romeike und Hager (2009, S. 32): „Risiko quantifiziert das Ausmaß einer Unsicherheit und ermöglicht den kontrollierten Umgang damit.“ Um die Unsicherheit quantifizieren zu können, muss zuerst ein Zielwert festgelegt werden. Die tatsächliche Entwicklung kann dann durch zufällige Störungen vom Zielwert abweichen. Positive Abweichungen werden dabei als Chancen bezeichnet und negative als Gefahren. So kann beispielsweise eine vertraglich vereinbarte Liefertermintreue sowohl unter- als auch überschritten werden (Romeike und Huth 2016, S. 52). Da die Vernachlässigung von Risiken die erfolgreiche Weiterentwicklung von Unternehmen oder die Versorgung von Regionen gefährden kann, besteht die Aufgabe des generellen Risikomanagements darin, die Abweichung von diesen Zielwerten zu verhindern (Krystek und Fiege 2016). Diese Risikodefinition gilt jedoch nicht vollumfänglich für die Sicherung der Lebensmittelversorgung. Denn die Versorgung kann nicht übererfüllt werden. Werden zu wenig Lebensmittel bereitgestellt, wird die Versorgung der Kunden beeinträchtigt. Darüber hinaus verlieren Produzenten und Händler Umsätze. Werden jedoch mehr Lebensmittel als nötig bereitgestellt, verderben die überschüssigen Lebensmittel entweder oder müssen gelagert werden, wodurch Lagerkosten entstehen. Eine im Sinne der Lebensmittelversorgungssicherung treffendere Risikodefinition, die statt auf Chancen stärker auf die Gefahren eingeht, findet sich bei Weber, Kamps und Gillenkirch (2016). Sie definieren Risiko als Eventualität eines

hohen oder unbekanntem Schadens, der mit niedriger oder unbekannter Wahrscheinlichkeit eintritt. Dazu passt die Berechnung von Birkmann (2007), nach der Risiko aus der Multiplikation von Gefährdung, Vulnerabilität und den betroffenen Werten resultiert:

$$\text{Risiko} = \text{Gefährdung} \cdot \text{Vulnerabilität} \cdot \text{betroffene Werte} \quad (2.1)$$

Unter Gefährdung ist die Eintrittswahrscheinlichkeit einer Gefahr zu verstehen. Die Gefährdung kann dabei nicht nur direkt auf eine bestimmte Region oder einen Betrieb wirken, sondern auch indirekt über die Auswirkungen einer an anderer Stelle aufgetretenen Störung, die sich über räumlich-wirtschaftliche Verflechtungen ausbreiten. **Vulnerabilität** bezeichnet die Neigung eines Objektes, Schaden zu nehmen. Sie umfasst dabei die Konfiguration aller Objekteigenschaften, die sowohl die Wahrscheinlichkeit von einer eingetretenen Gefahr betroffen zu sein als auch das Schadensausmaß von Störungen beeinflussen (Wagner und Bode 2006, S. 304; Wagner und Bode 2009, S. 278; Wagner und Neshat 2010).

Dieser Definition von Risiko und Vulnerabilität folgend, ist es das Ziel des unternehmerischen und staatlichen **Risikomanagements**, diesen Schaden zu vermeiden. Laut Siebrandt (2010, S. 27) deckt es die Prävention ab und kann mit bestimmten Maßnahmen auch die Bewältigung von Schadensereignissen erleichtern. Dazu müssen Risiken systematisch erfasst, bewertet und gesteuert werden. Das Risikomanagement besteht aus vier Elementen:

- Risikoidentifikation
- Risikobewertung
- Risikominderung
- Risikotransfer

Siebrandt (2010, S. 27-33) beschreibt **Risikoidentifikation** als das Erkennen und Definieren von Risiken im Rahmen einer laufenden, systematischen Risikoanalyse der Geschäftsabläufe. Mit Hilfe von Kollektions- und Suchmethoden werden Störpotentiale möglichst vollständig identifiziert und deren Wirkungen und Wechselwirkungen bestimmt.

Die identifizierten Störungspotentiale werden im zweiten Schritt bewertet. Bei dieser **Risikobewertung** werden sie zuerst in Relevanzklassen von *unbedeutend* bis *bestandsgefährdend* eingeteilt. Danach wird mittels Expertenschätzungen und Statistiken die Gefährdung im Sinne von Eintrittswahrscheinlichkeiten der Störungen bestimmt und anschließend das mögliche Schadensausmaß als Produkt aus Vulnerabilität und betroffenen Werten geschätzt. Bildet man das Produkt aus Gefährdung und Schadensausmaß erhält man das im mathematischen Sinne quantifizierte Risiko (Bundesministerium des Inneren 2005, S. 53). Dabei wird deutlich, dass ein Risiko trotz geringer Eintrittswahrscheinlichkeit bestandsgefährdend sein kann, wenn das Schadensausmaß nur groß genug ist. Ist die Bewertung der Einzelrisiken abgeschlossen, erfolgt die Risikoaggregation. Dabei geht es darum, geteilte Abhängigkeiten oder sich gegenseitig verstärkende Wirkungen zu erkennen, um so zu einem Gesamtbild der Gefährdung zu gelangen. Auch durch die Risikoaggregation können Risiken aufgedeckt werden, die einzeln betrachtet ungefährlich wirken, aber Teil einer ernstzunehmenden Gefährdung sind.

Sind die Risiken erfasst und bewertet, kann versucht werden, die Risiken zu mindern. Zur **Risikominderung** stehen verschiedenste Maßnahmen zur Verfügung. Dazu gehören die Risikovermeidung, zum Beispiel durch den Verzicht auf den Aufbau eines Standortes in einem Hochwassergebiet, die Risikoreduzierung, zum Beispiel durch die Anschaffung eines Notstromaggregates oder die Bildung von Rücklagen, sowie die Risikostreuung, zum Beispiel durch die vertragliche Bindung mehrerer Lieferanten. Konkrete Empfehlungen zum Risikomanagement in Unternehmen gibt auch das Bundesministerium des Inneren (2005). Diese reichen von einfachen Maßnahmen, wie dem Schutz des Betriebsgeländes und der Sensibilisierung des Personals, bis hin zu Empfehlungen zur betrieblichen Ablauforganisation.

Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, das Risiko mittels **Risikotransfers** zu externalisieren. Auch für den Risikotransfer gibt es verschiedene Möglichkeiten, die einzeln oder auch kombiniert wirken können. Dazu zählen der Transfer des Risikos mittels Verträgen an Dienstleister und Lieferanten des Unternehmens, der Transfer des Risikos an eine Versicherungsgesellschaft sowie die Fremdvergabe von bisher selbst erbrachten, risikoreichen Leistungen.

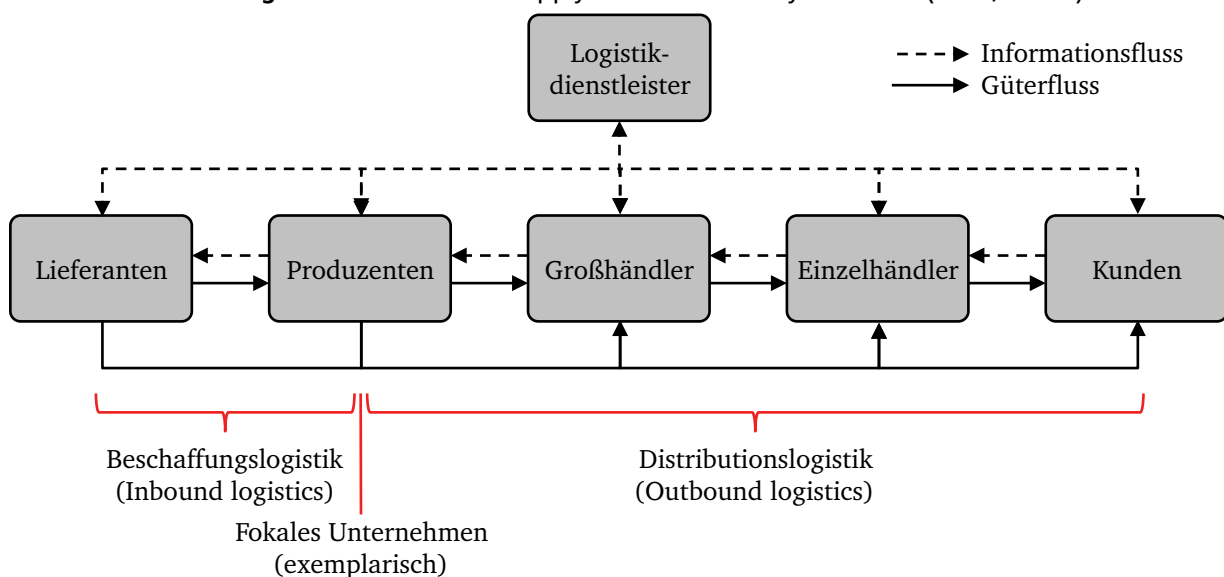
2.2.3 Supply-Chain-Risikomanagement

Eine **Supply-Chain** ist ein integriertes System von meist autonomen Akteuren, das eine Reihe von miteinander verknüpften Geschäftsprozessen synchronisiert, um

- Rohstoffe und Teile zu erwerben,
- diese Rohstoffe und Teile in fertige Produkte zu transformieren,
- den Wert dieser Produkte zu steigern,
- diese Produkte bei Händlern oder Kunden zu vermarkten und zu vertreiben sowie
- den Informationsaustausch zwischen den beteiligten Akteuren zu verbessern.

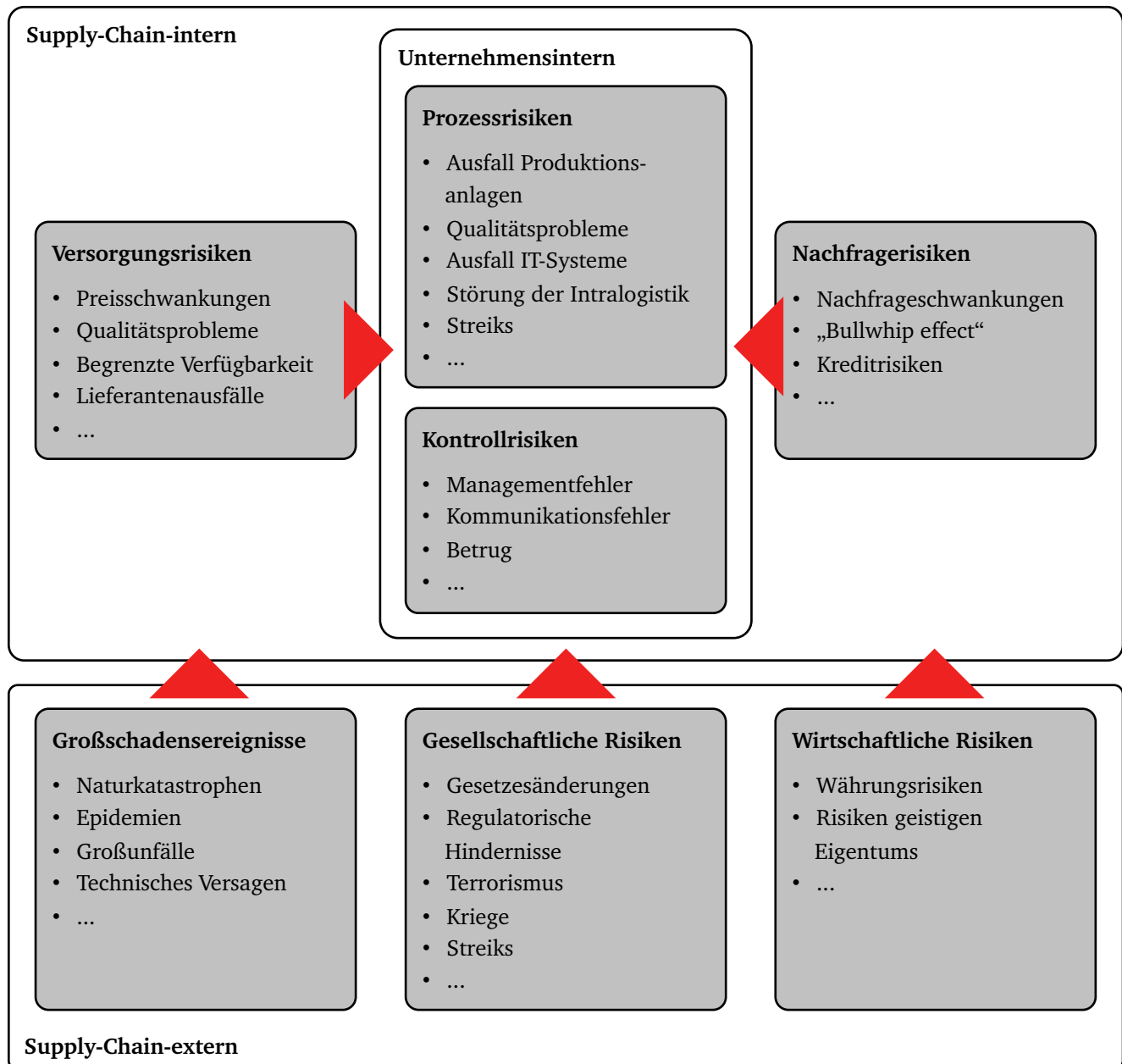
Bei den Akteuren handelt es sich um wechselseitig voneinander abhängige Organisationen, die sich durch eigenes Personal, Standorte, Ressourcen, Aktivitäten, Informationstechnologie und Management unterscheiden. Das Hauptziel der Supply-Chain ist die Verbesserung der betrieblichen Effizienz, Rentabilität und Wettbewerbsposition des Unternehmens und seiner Supply-Chain-Partner. Die Supply-Chain wird durch einen Güterfluss vom Lieferanten zum Kunden und einen Rückwärtsfluss von Informationen charakterisiert (Abbildung 2.4). Dabei werden, ausgehend vom Unternehmen im Betrachtungsfokus, zwei Hauptgeschäftsprozesse unterschieden: die Beschaffungslogistik (Inbound logistics) und die Distributionslogistik (Outbound logistics) (Kozlenkova u. a. 2015, S. 587; Hokey und Zhou 2002, S. 231 f.). Ein Supply-Netzwerk ist eine Menge von miteinander verbundenen Supply-Chains, bestehend aus Organisationen als Netzwerkknoten und Transportverbindungen als Netzwerkkanten (Shapiro 2006).

Abbildung 2.4: Prozesse in der Supply-Chain nach Hokey und Zhou (2002, S. 232)



Das **Supply-Chain-Risikomanagement** stellt eine Erweiterung des klassischen Risikomanagements dar, da es zusätzlich zu den unternehmensinternen Risiken auch die Risiken der vor- und nachgelagerten Partner in der Supply-Chain berücksichtigt. Wieland und Wallenburg (2012, S. 890 f.) definieren Supply-Chain-Risikomanagement als „Implementierung von Strategien zur Bewältigung alltäglicher und außergewöhnlicher Risiken entlang der Supply-Chain auf Grundlage einer kontinuierlichen Risikobewertung mit dem Ziel, die Vulnerabilität zu senken und Kontinuität zu gewährleisten.“

Abbildung 2.5: Risiken klassifiziert nach Ursprung (eigene Darstellung nach Christopher und Peck (2004, S. 9-12), Tang und Tomlin (2008, S. 13 f.) und Romeike und Huth (2016, S. 57))

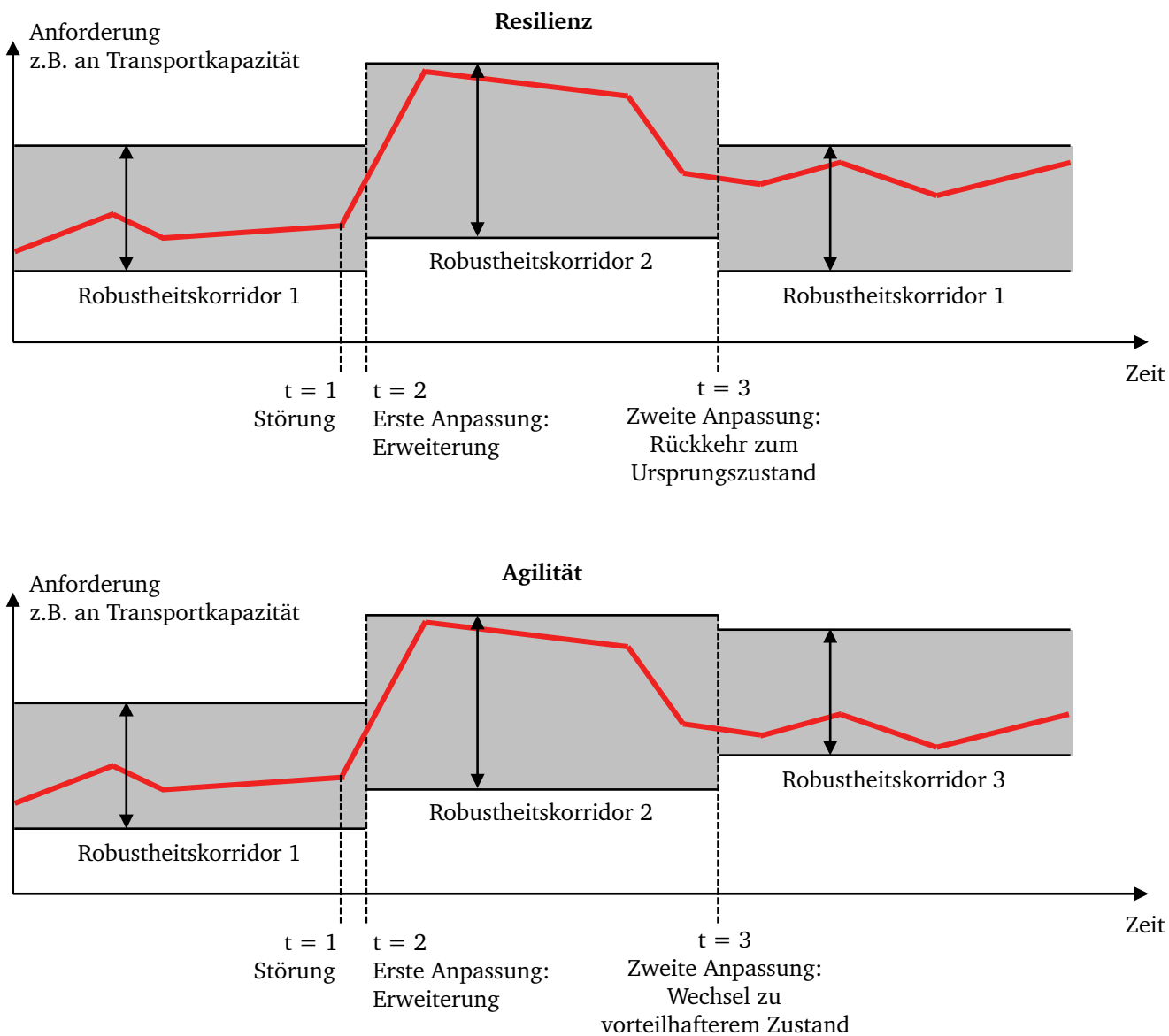


Entlang der Supply-Chain gibt es zahlreiche Risiken und ebenso viele Möglichkeiten der **Risikoklassifikation**. Einen Überblick über mögliche Differenzierungskriterien geben Götz und Mikus (2007, S. 34-40). Die Kriterien reichen dabei vom Wirkungsort der Risiken über das Ausmaß der Konsequenzen bis hin zur Versicherbarkeit. Eines der gängigsten Kriterien zur Risikoklassifikation ist der Entstehungsort der Risikoursache. Christopher und Peck (2004, S. 9-12) nutzen dieses Kriterium, um zwischen unternehmensinternen, Supply-Chain-internen und Supply-

Chain-externen Risiken zu differenzieren. Diese Kategorisierung wird durch die Einteilung in Funktionsbereiche verfeinert. Auch Tang und Tomlin (2008, S. 13 f.) sowie Romeike und Huth (2016, S. 57) folgen diesen Kriterien und kommen zu einer ähnlichen Klassifizierung. Einen Überblick über diese Risiken gibt Abbildung 2.5.

Diese Risiken können bei ihrer Realisierung zu einer Störung der Informations- und Güterflüsse entlang der Supply-Chain führen. Wie groß der Schaden ausfällt, hängt auch in der Supply-Chain von der Vulnerabilität ab. **Ziel des Supply-Chain-Risikomanagements** ist es deshalb, die Supply-Chain so zu gestalten, dass Störungen erfolgreich antizipiert und überwunden werden können (Friesz 2011, S. 1125). Dies ist gleichbedeutend mit den Bestrebungen, die Supply-Chain-Vulnerabilität zu senken. Dazu reicht die Anwendung von Maßnahmen des klassischen Risikomanagements in den einzelnen Unternehmen nicht aus. Die Zusammenarbeit zwischen Supply-Chain-Akteuren ist notwendig. Die Akteure können sich bei der gemeinsamen Ausgestaltung der Supply-Chain an den drei grundlegenden Zielen Robustheit, Resilienz und Agilität orientieren. Diese drei Begriffe werden in den folgenden Absätzen definiert und beschrieben. Deren Zusammenhang stellt Abbildung 2.6 dar.

Abbildung 2.6: Zusammenhang zwischen Robustheit, Resilienz und Agilität (eigene Darstellung nach Zäh, Möller und Vogl (2005, S. 4))



Wieland (2013, S. 654) hat verschiedene Definitionen zum Begriff **Robustheit** zusammengetragen. Ihm folgend ist eine Supply-Chain robust, wenn sie weiterhin funktioniert, auch wenn sie beschädigt oder gestört wird. Dabei bleibt sie im gleichen stabilen Zustand wie vor der Störung und damit in den Grenzen des bestehenden Systems; die wichtigen Kennzahlen bleiben im Soll-Bereich. Das heißt, eine robuste Supply-Chain widersteht Veränderungen ohne darauf zu reagieren.

Resilienz ist klar von der Robustheit abzugrenzen als „die Fähigkeit eines Systems, zu seinem ursprünglichen Zustand zurückzukehren [...] nachdem es gestört wurde“ (eigene Übersetzung nach Christopher und Peck 2004, S. 4). Demnach verlässt das System aufgrund einer Störung den ursprünglich stabilen Zustand und wechselt in einen anderen Zustand. Der Betrieb wird dabei ohne Unterbrechung weitergeführt. Nachdem die Störung und deren Auswirkungen behoben sind, kehrt das System in den Ursprungszustand oder einen ähnlichen Zustand zurück (Wieland 2013, S. 654 f.). Eine kurze Zusammenfassung der Entstehung der Resilienzforschung in Transportnetzwerken und eine ausführliche Diskussion der unterschiedlichen Definitionen und Herangehensweisen zur Steigerung der Resilienz finden sich bei Reggiani (2013). Wie wichtig Resilienz ist, macht Sheffi (2005) an zahlreichen Fallstudien und realen Beispielen deutlich. Darin beschreibt er die Auswirkungen von Störungen auf die Supply-Chains moderner Industrieunternehmen. Er zeigt außerdem, dass Vorbereitungen in Form von Investitionen in Resilienz nicht nur Risiken mindern, sondern darüber hinaus auch Wettbewerbsvorteile schaffen können. Dabei geht er besonders auf die Werkzeuge ein, die Robustheit und Resilienz steigern und so die Supply-Chain-Vulnerabilität senken.

Agilität geht über Resilienz hinaus, da es nicht darum geht, dass das Netzwerk nach einer temporären Unterbrechung zum Ursprungszustand zurückkehrt, sondern dass es jederzeit zu einem anderen Zustand wechseln kann. Diese Fähigkeit ist wichtig, um schnell und nachhaltig auf unerwartete, strukturelle Änderungen bei Beschaffung oder Kundennachfrage reagieren zu können. Kernelemente der Agilität sind Supply-Chain-Sichtbarkeit und -Geschwindigkeit. Dabei bedeutet Supply-Chain-Sichtbarkeit, einen detaillierten Überblick über Aktivitäten der Partnerunternehmen vorwärts und rückwärts in der Supply-Chain zu haben. Dieser Überblick kann zum Beispiel Informationen zu Produktionsplänen, Beständen und Lieferbedingungen beinhalten. Er ist wichtig um schnell die richtigen Entscheidungen treffen zu können. Ein quantitativer Nachweis der Wirtschaftlichkeit der Supply-Chain-Sichtbarkeit findet sich bei McKinney u. a. (2015). Supply-Chain-Geschwindigkeit bezieht sich auf die Durchlaufzeit eines Produktes vom Anfang der Supply-Chain bis an deren Ende. Ziel muss es sein, diese Durchlaufzeit zu verkürzen, damit sich die getroffenen Entscheidungen schnell in beide Richtungen der Supply-Chain ausbreiten können (Wieland 2013, S. 654 f.). Agilität wird benötigt, um trotz des vermehrt umgesetzten Lean-Managements hohe Verfügbarkeit zu gewährleisten. Wie eine solche Hybridstrategie aussehen kann, zeigen Christopher und Towill (2001) in ihrem Fertigungs- und Logistikleitfaden. Wie die Distributionszentren einer Supply-Chain aufgebaut und betrieben werden sollten, um agil auf Änderungen reagieren zu können, beschreibt Baker (2008). Nach der Studie von Prater, Biehl und Smith (2001) müssen gerade international aufgestellte Unternehmen jedoch auf das richtige Maß an Agilität achten, da sie zwar die Reaktionsgeschwindigkeit auf unerwartete Veränderungen erhöht, gleichzeitig aber auch Komplexität schafft und damit auch die Vulnerabilität steigert. Um die Kompromissfindung zu unterstützen, erarbeitet er das Konzept der Supply-Chain-Exposition, das Agilität und Vulnerabilität verbindet. Faktoren, welche die Exposition bestimmen, sind vor allem die räumliche Ausbreitung in verschiedene Länder und politische Systeme, die Zahl der genutzten Verkehrsträger, die technische Infrastruktur sowie Umweltbedingungen. Das Konzept basiert auf fünf Fallstudien und sollte, nach Meinung der Autoren, durch quantitative Modellierung untermauert werden.

2.2.4 Betriebliches Kontinuitätsmanagement

Mit dem Risikomanagement verwandt ist das **betriebliche Kontinuitätsmanagement**. Auch durch Maßnahmen des Kontinuitätsmanagements sollen Störungsauswirkungen gemindert werden. Im Gegensatz zum Risikomanagement liegt der Fokus der Maßnahmen des Kontinuitätsmanagements jedoch eher auf der Schadensbewältigung. Nach der International Organization for Standardization (2012b, Abs. 3.4) wird das betriebliche Kontinuitätsmanagement als ganzheitlicher Managementprozess definiert, der potentielle Gefahren sowie deren potentielle Auswirkungen auf Geschäftsprozesse identifiziert und den Rahmen zum Aufbau organisatorischer Resilienz bildet, um so die Interessen der Stakeholder, den Unternehmensruf sowie wertschöpfende Aktivitäten zu schützen.

Ziel des Kontinuitätsmanagements ist es, die Auswirkungen von Störungen auf das Unternehmen zu minimieren und so die Unternehmensprozesse ohne signifikante Unterbrechung auf einem vorher definierten Niveau weiterführen zu können (International Organization for Standardization 2012a, Abs. 2.1.10). Heute versteht man unter dem betrieblichen Kontinuitätsmanagement einen ganzheitlichen Ansatz, der Elemente des unternehmensbezogenen sowie des Supply-Chain-Risikomanagements einbezieht (Hiles 2007, S. XIX).

Dafür wird ein kosteneffizienter und funktionsfähiger Kontinuitäts- beziehungsweise Notfallplan benötigt, der es der Organisation ermöglicht, kritische Geschäftsprozesse im Falle einer erheblichen Störung weiterzuführen. Der **Kontinuitätsplan** ist dabei ein unternehmensintern vorbereitetes, dokumentiertes Verfahren, welches das Unternehmen nach einer Störung durch die Phasen der Reaktion, Erholung, Wiederaufnahme und Wiederherstellung des Betriebes leitet (International Organization for Standardization 2012b, Abs. 3.6). Diese Pläne müssen jedoch laufend aktualisiert werden, da sich kritische Geschäftsprozesse aufgrund von Anpassungen, zum Beispiel in Organisation, Technologie oder Lieferantenstruktur, ständig ändern. Deswegen muss ein Bewertungsrahmen für Geschäftsprozesse eingerichtet werden, der es ermöglicht, betriebliche Kontinuitätspläne mit Hilfe einer gut strukturierten und umfassenden Methodik zügig zu entwickeln (O’Hehir 2007, S. 29).

Ohne die Einrichtung eines betrieblichen Kontinuitätsmanagements beziehungsweise die Erstellung eines Kontinuitätsplanes kann es im Falle einer Störung zu schwerwiegenden Problemen kommen. Eine Unterbrechung der Geschäftstätigkeit würde dazu führen, dass Kunden nicht mehr bedient werden können, was die Kundenbasis und damit auch die Wettbewerbsfähigkeit zerstört. Gleichzeitig kommt es zu finanziellen Verlusten, da Umsatz verloren geht und Kosten durch verspätete Zahlungen steigen. Eventuell werden sogar Strafzahlungen fällig, da vertragliche Verpflichtungen nicht erfüllt werden können. Dies kann ein Unternehmen letztendlich in die Zahlungsunfähigkeit treiben (O’Hehir 2007, S. 28).

Ein Beispiel für betriebliches Kontinuitätsmanagement geben Bötel, Gelau und Groß (2013). Sie gehen davon aus, dass Supply-Chain-Netzwerke Gefahren weder völlig vermeiden noch sich auf jede Gefahr passend vorbereiten können und deswegen ein Kontinuitätsplan eingerichtet werden sollte, der effektive operative Reaktionen unterstützt. Über Interviews mit Praktikern identifizieren sie Freiheitsgrade des Netzwerks, die zur Ableitung von Handlungsoptionen notwendig sind. Um die Interviewergebnisse auf andere Supply-Chains übertragen zu können, sollten sie laut den Autoren durch quantitative Modellierung abgesichert werden.

2.2.5 Katastrophenschutz

Die im Unterabschnitt 2.2.1 genannten Gefahren können bei ihrer Realisierung nicht nur einzelne Kreise treffen, sondern könnten sich auf das ganze Bundesgebiet oder sogar darüber hinaus auswirken und damit viele Teile der Lebensmittelversorgung betreffen. Wenn dadurch eine Mehrheit der Versorgungsunternehmen ausfällt und der Markt versagt, kann und muss der Staat eingreifen. Als Teil der staatlichen Daseinsvorsorge ist der Staat verpflichtet, die Auswirkungen auf kritische Infrastrukturen wie die Lebensmittelversorgung möglichst gering zu halten. Dafür sind in Deutschland auf staatlicher Seite alle Ebenen verantwortlich; von den einzelnen Landkreisen über die Bundesländer bis hin zum Bund (Gizewski 2011, S. 151-157).

Kleine Schadensereignisse, die nur Auswirkungen in einzelnen Kreisen haben, werden von Rettungsdiensten, Feuerwehr und Polizei bekämpft (Heumüller 2015, S. 31-38). Solche Störungen würden weder zu einem Versorgungsengpass noch zu einer Versorgungskrise führen, da die Lebensmittelversorgung überregional organisiert ist. So könnten Endverbraucher bei einem Ausfall einzelner Lebensmitteleinzelhandelsfilialen alternativ bei anderen Lebensmitteleinzelhändlern im Kreis oder in benachbarten Kreisen einkaufen. Beim Ausfall von Produktionsbetrieben oder Lagern, könnten Betriebe und Lager aus anderen Kreisen einspringen, da die Auswirkungen des Ausfalls einzelner Kreise im Verhältnis zum Gesamtsystem nur sehr gering sind.

Erst wenn ein Großschadensereignis katastrophale Ausmaße annimmt, kann die Versorgungssicherheit gestört werden. Allgemein wird eine **Katastrophe** als „eine Situation oder ein Ereignis [definiert], welches lokale Kapazitäten übersteigt und damit eine Anfrage nach externer Unterstützung auf nationaler oder internationaler Ebene nötig macht; ein unvorhergesehenes und oft plötzliches Ereignis, das großen Schaden, Zerstörung und menschliches Leid verursacht“ (Christopher und Peck 2004, S. 18-21). Über Kaskadeneffekte können sie auch die Lebensmittelversorgung ernsthaft beeinträchtigen.

Der Schutz vor den Auswirkungen von Katastrophen ist deshalb wichtige Aufgabe des Staates. Der **Katastrophenschutz** liegt in der Verantwortung der einzelnen Bundesländer. Dementsprechend hat jedes Bundesland sein eigenes Katastrophenschutzgesetz und darin eine eigene Definition des Begriffs Katastrophe (zum Beispiel LKatSG 1999, § 1 Art. 2). Die verschiedenen Bundesländer teilen die allgemeine Definition inhaltlich, gehen bei den zu schützenden Gütern jedoch mehr ins Detail. So ist neben menschlichem Leben und Gesundheit häufig auch die lebensnotwendige Versorgung Teil der Definition; in einigen Bundesländern auch Tiere und Umwelt. Wichtiger Bestandteil der Katastrophendefinition in allen Bundesländern ist die Notwendigkeit des Zusammenwirkens aller zuständigen Behörden, Dienststellen, Organisationen und eingesetzten Kräfte unter der einheitlichen Gesamtleitung der Katastrophenschutzbehörde (eigene Übersetzung nach Guha-Sapir, Hoyois und Below 2014, S. 7). Sind die Kreise mit einem Großschadensereignis überfordert, können sie ihr Bundesland laut diesen Gesetzen um Hilfe bitten. Daraufhin wird die Landesregierung den Katastrophenfall ausrufen und einen Krisenstab einrichten. Darin arbeiten Mitarbeiter der betroffenen Landesministerien sowie des Innenministeriums zusammen, um die Katastrophe möglichst effektiv bekämpfen zu können. Zur Schadensbewältigung werden Einsatzkräfte der Feuerwehr und Polizei aus anderen Kreisen zusammengerufen. Eine genaue Beschreibung der Einsatzkräfte des Katastrophenschutzes im Freistaat Bayern und des Bundes liefert Heumüller (2015, S. 31-38). Zusätzlich kann punktuell auf Unternehmensressourcen zugegriffen werden (Bundesministerium des Inneren 2015).

Bei Großschadensereignissen, welche selbst die einzelnen Bundesländer überfordern, können **Bundesbehörden** unterstützen, indem sie Information und Ressourcen bereitstellen sowie koordinierend und beratend eingreifen. Zu den operativen Einsatzkräften des Bundes gehören neben der Bundespolizei auch das Technische Hilfswerk sowie in Einzelfällen die Bundeswehr. Dabei ist es von zentraler Bedeutung, die unterschiedlichen Führungs- und Kommunikationsstrukturen der Kreise, Länder und des Bundes zu einem gesamtstaatlichen Krisenmanagement zusammenzuführen. Die gesetzlichen Grundlagen für staatliche Eingriffe sowie die Regelung der Zusammenarbeit der staatlichen Akteure in Krisenstäben beschreibt das Bundesministerium des Inneren (2015).

Eine detaillierte Beschreibungen des Verlaufs **historischer Katastrophen** in Deutschland und der Reaktion des Staates finden sich für den Stromausfall im Münsterland im Herbst 2005 bei Menski und Gardemann (2008), das Hochwasser in Sachsen im Juni 2013 beim Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Sachsen (2014) und für mehrere weitere Katastrophenfälle, unter anderem den Brand in der Lüneburger Heide im Jahr 1975, bei Grün und Schenker-Wicki (2014).

2.2.6 Ernährungsnotfallvorsorge

Neben der Unterstützung der Bundesländer im Katastrophenfall kann der Bund Versorgungskrisen mit Hilfe der **Vorsorgegesetze** entgegenwirken. Zu den Vorsorgegesetzen gehören unter anderem das Verkehrsleistungsgesetz (VerkLG) sowie das Ernährungssicherstellungs- und vorsorgegesetz (ESVG), welches vor kurzem die Inhalte des Ernährungsvorsorgegesetzes (EVG), der Ernährungsbewirtschaftungsverordnung (EBewiV) sowie weiterer Gesetze zusammengefasst und aktualisiert hat. Diese Vorsorgegesetze erlauben ein systematisches Zugreifen auf Unternehmensressourcen in Friedenszeiten. Damit kann der Staat Verbrauch, Verarbeitung und Verkauf von Lebensmittel-erzeugnissen im Falle einer Versorgungskrise reglementieren und zum Beispiel Preise festsetzen. Dafür muss jedoch zunächst der Krisenfall, der auch unabhängig von einer Katastrophe auftreten kann, durch die Bundesregierung ausgerufen werden. Darüber hinaus kann der Staat im Spannungs-, Verteidigungs- beziehungsweise Bündnisfall unter Berufung auf das Verkehrssicherstellungsgesetz (VerkSiG) und das Ernährungssicherstellungsgesetz (ESG), welches ebenfalls durch das ESVG ersetzt wurde, massiv in die Lebensmittelversorgung eingreifen, um Bevölkerung und Streitkräfte mit Nahrungsmitteln zu versorgen (Gizewski 2011, S. 41-43; Dolle und Redlich 2015, S. 24 f.). Zusätzlich greift der Staat bereits im Normalfall mit dem Gesetz zur Erhöhung der Sicherheit informationstechnischer Systeme direkt in operative Abläufe der Versorgungsunternehmen ein (IT-Sicherheitsgesetz 2015). Dieses Gesetz hat zum Ziel, Hard- und Software in Versorgungsunternehmen besser gegen Störungen und Angriffe abzusichern und damit die kritischen Infrastrukturen zu schützen.

Zu den zuständigen **Bundesbehörden** zählt allen voran das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK). Dieses hat neben konzeptioneller Grundarbeit auch operative Aufgaben im Falle eines Störereignisses. Dazu gehören unter anderem das Vorhalten eines gemeinsamen Melde- und Lagezentrums von Bund und Ländern sowie der Betrieb eines Satelliten-gestützten Warnsystems. Das BBK organisiert außerdem nach Vorgaben des Bundesministerium des Inneren (BMI) die Länderübergreifende Krisenmanagementübung / Exercise (LÜKEX), die verschiedenste Akteure ressort- und hierarchieübergreifend zusammenbringt. Die Übungen tragen dazu bei, dass sich Bund und Länder besser auf außergewöhnliche Krisen- und Bedrohungslagen vorbereiten sowie bestehende Pläne und Bewältigungskonzepte testen können. Betrifft die Störung auch die Lebensmittelversorgung, ist zusätzlich das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) zuständig. Dazu kommen die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) und das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) als dessen nachgeordnete Behörden.

Während sich BVL und BfR eher auf die Lebensmittelsicherheit konzentrieren, ist die BLE unter anderem für die **Ernährungsnotfallvorsorge** und die zivile Notfallreserve sowie die Bundesreserve Getreide zuständig (Dolle und Redlich 2015, S. 25 f.). Die zivile Notfallreserve besteht aus Reis, Hülsenfrüchten und Kondensmilch. Sie werden in der Nähe von Ballungsräumen gelagert, um die Bevölkerung im Krisenfall direkt unterstützen zu können. Die Bundesreserve Getreide besteht aus Weizen, Roggen und Hafer. Diese werden in der Nähe von Mühlen gelagert, um im Krisenfall schnell zu Mehl und Brot verarbeitet und dann an die Bevölkerung verteilt werden zu können. Damit sorgt der Staat für großflächige, langfristige Schadenslagen vor. Kurzfristige Engpässe wie Extremwetterereignisse oder Pandemien bleiben dabei jedoch unberücksichtigt. Für solche Fälle muss die Bevölkerung im Rahmen des Selbstschutzes jederzeit Vorräte für 14 Tage bereithalten.

Neben den Behörden um das BMEL trägt auch das Bundesamt für Güterverkehr (BAG) im Krisenfall Verantwortung. Im Rahmen des VerklG ist es im Falle einer Katastrophe oder Krise dafür zuständig, eine ausreichende **Verkehrsleistung sicherzustellen**. Mit dem VerSiG kann das BAG zur Sicherung der Verkehrsleistung auf die Kapazitäten der Transportorganisation des Bundes (TOB) zugreifen, um die Versorgung der Bevölkerung sowie die Streitkräfte zu unterstützen. Die TOB ist ein Zusammenschluss von rund 600 Güterverkehrsunternehmen mit einer Transportkapazität von circa 190.000 t (Bundesamt für Güterverkehr 2016).

Um im Krisenfall richtig und schnell reagieren zu können sowie zur Bestimmung des optimalen Zeitpunktes des Krisenaufrufs, benötigt der Staat akteursübergreifende, detaillierte **Informationen** zu Lebensmitteltransporten, -beständen und -verbräuchen in allen Regionen. Denn der Staat darf nicht eingreifen, solange der Markt sich noch selbst regulieren kann. Ein zu frühes Eingreifen könnte einen Verstoß gegen europäisches Wettbewerbsrecht bedeuten. Können jedoch andere Marktteilnehmer nicht schnell genug reagieren oder besitzen nicht genügend Kapazitäten, kann sich ein Engpass zu einer Versorgungskrise ausweiten und Menschenleben gefährden. Ist ein Zugriff auf Unternehmensressourcen erforderlich, werden weitere Informationen benötigt: beispielsweise zur Verteilung der Lebensmittelbestände und Transportkapazitäten auf die einzelnen Unternehmen sowie zu deren Standorten. Darüber hinaus muss festgestellt werden, wann und in welchem Umfang am besten auf diese Ressourcen zugegriffen wird, ohne einzelne Unternehmen übermäßig zu schädigen oder zu bevorteilen.

Die **Informationsbeschaffung** stellt jedoch eine große Herausforderung dar. So gehört laut Heumüller (2015, S. 49 f.) die Unvorhersehbarkeit bezüglich Art, Ort und Ausmaß der Katastrophe sowie die Unsicherheit über die Situationsentwicklung aufgrund von Informationsdefiziten zu den größten Herausforderungen im Katastrophenschutz. Zu Informationsdefiziten kann es kommen, wenn Informationen fehlen, die Glaubwürdigkeit der Informationen ungewiss ist oder zu viele Informationen ungefiltert vorhanden sind. In solchen Fällen wird es für Entscheider extrem schwierig, gute Entscheidungen zu treffen. Ein Ziel der Prävention muss deshalb sein, verlässliche Informationen nachvollziehbar und übersichtlich darzustellen.

Aus diesem Grund erfasst die BLE auf Basis der Ernährungswirtschaftsmeldeverordnung (EWMV) beziehungsweise des ESVG Daten zu Produktions- und Lagerkapazitäten von Betrieben der Ernährungswirtschaft und des Lebensmittelhandels. Diese Daten werden erhoben, um einen Überblick über die aktuelle Versorgungslage zu bekommen und im Notfall eine schnelle und gezielte Reaktion des Staates zu ermöglichen. Diese Informationen können nur bedingt von den Kreisen und kreisfreien Städten selbst gesammelt werden, da der Lebensmittelhandel über Kreise und Bundesländer hinaus organisiert ist. Deshalb werden die vom Bund gesammelten Daten auch den Kreisen und Bundesländern zur Verfügung gestellt. Allerdings werden keine Daten zu wirtschaftlichen Verflechtungen und Lieferbeziehungen erhoben, da diese Daten zu komplex für eine Erhebung sind. Damit ist der Überblick über das Lebensmittelversorgungssystem unvollständig und ein rechtzeitiges staatliches Eingreifen wird erschwert.

Die realistische Modellierung solcher Verflechtungen würde die Abschätzung potentieller Entwicklungen ermöglichen. Das wäre besonders im Falle eines Versorgungsengpasses interessant, bei dem von einer Eskalation zu einer Versorgungskrise ausgegangen wird. Dieser Informationsbedarf unterstreicht die Zielstellung dieser Arbeit.

2.2.7 Humanitäre Logistik

Widera und Hellingrath (2011, S. 275 f.) definieren Humanitäre Logistik als „Gestaltung, Planung, Steuerung und Kontrolle effizienter und kosteneffektiver Waren-, Finanz- und Informationsflüsse vom Zeitpunkt ihrer Herstellung beziehungsweise Vorbereitung bis zum Verbrauch beziehungsweise der Nutzung mit dem Ziel der Bedürfnisbefriedigung der Hilfsempfänger in humanitären Einsätzen.“ Betrachtet man die Kostenverteilung von Hilfseinsätzen, wird die **Bedeutung der Humanitären Logistik** deutlich. So entfallen circa 40 bis 60 % der Ausgaben von Hilfsorganisationen auf die Logistik (Van Wassenhove 2006). Die restlichen Kosten verteilen sich auf das Personal sowie die Installation und den Betrieb weiterer Ausrüstung wie der mobilen Stromversorgung. Bei Einsätzen mit Fokus auf die Lebensmittelversorgung wird der Kostenanteil der Logistik sogar auf 80 % geschätzt (Long und Wood 1995). Trotz der hohen Bedeutung der Logistik bei Hilfseinsätzen ist der Grad der Professionalisierung, im Gegensatz zur kommerziellen Logistik, relativ gering. Darüber hinaus wird die Humanitäre Logistik mit ihren besonderen Anforderungen erst seit kurzem als eigener Anwendungsbereich in der Wissenschaft anerkannt. So wurde die erste Dissertation mit dem Schwerpunkt auf Humanitärer Logistik in Deutschland erst im Jahr 2006 veröffentlicht (Tufinkgi 2006).

Humanitäre Einsätze können in **Katastrophenhilfe** und Entwicklungshilfe unterschieden werden. Unter Katastrophenhilfe versteht man die schnelle humanitäre Hilfe im Falle von akuten Notfällen; unter Entwicklungshilfe ein längerfristiges Engagement mit Fokus auf Instandsetzung und Wiederaufbau nach Notlagen (Tomasini und Van Wassenhove 2009, S. 20-25). Der Schwerpunkt der meisten Untersuchungen mit Logistik-Fokus liegt auf Einsätzen in akuten Notfällen, da diese größere Herausforderungen für die Logistik bedeuten. Nach Blecken (2010, S. 8) werden drei Phasen der Katastrophenhilfe unterschieden: die Vorbereitung, die unmittelbare Reaktion sowie Instandsetzung und Wiederaufbau.

Größte **Herausforderung für die Logistik** ist dabei die sichere Verteilung des Hilfspersonals und der großen Menge an Hilfsgütern in den Krisenregionen. Dabei ist die Geschwindigkeit von zentraler Bedeutung. Deshalb müssen entsprechende Transport- und Lagerkapazitäten sehr kurzfristig organisiert werden (Widera und Hellingrath 2011). Charles, Lauras und Tomasini (2009, S. 2) zeigen weitere Unterschiede zwischen kommerziellen und humanitären Supply-Chains auf und verdeutlichen damit die Herausforderungen: Statt den bekannten Lieferanten und Kunden der kommerziellen Supply-Chains gibt es in humanitären Supply-Chains eine Vielzahl an Spendern, Lieferanten und Hilfsempfängern, die in den meisten Fällen unbekannt und unsicher sind. Dadurch lässt sich sowohl das Angebot als auch die Nachfrage sehr viel schwerer als im Normalfall abschätzen. Dies liegt vor allem an der hoch-volatilen und instabilen Umgebung in Krisengebieten. Dies führt auch zu größeren Personenbewegungen, was in ungestörten kommerziellen Supply-Chains eher nicht geschieht. Auch die Aufrechterhaltung des Informationsflusses ist in der Humanitären Logistik wesentlich komplizierter, da Kommunikationswege häufig nicht verfügbar sind.

Wegen dieser Schwierigkeiten wären auch hier Modelle hilfreich, die Informationen über die Produktion und den Verbrauch von Lebensmitteln auf einer überregionalen Ebene bereitstellen können. Diese Informationen könnten dann als Input für detaillierte Entscheidungsunterstützungssysteme dienen, die sich auf einzelne Krisenregionen fokussieren.

2.3 Defizite in Risikowahrnehmung, Risikomanagement und Gefahrenabwehr

In diesem Abschnitt werden die Defizite der verschiedenen Akteure der deutschen Lebensmittelversorgung in Bezug auf das Risikomanagement und die Gefahrenabwehr herausgearbeitet. Dafür werden zuerst die Risikowahrnehmung der Akteure sowie die Maßnahmen des Risikomanagements und der Gefahrenabwehr beschrieben. Dabei werden in jedem Unterabschnitt zunächst die Kernaussagen und -beobachtungen der durchgeführten Interviews und Besichtigungen dargelegt und anschließend mittels verschiedener Studien untermauert beziehungsweise relativiert. Danach werden die Positionen von Unternehmen, Behörden und der Bevölkerung gegenübergestellt, um damit kritische Zustände und Entwicklungen aufzuzeigen. Daraus wird der aktuelle Forschungsbedarf abgeleitet.

2.3.1 Übersicht über Experteninterviews und Besichtigungen

Nachdem in den vorangegangenen Abschnitten das System der Lebensmittelversorgung in Deutschland grob abgegrenzt, wichtige Grundbegriffe definiert und Sicherungsmaßnahmen sowohl von Unternehmen als auch des Staates beschrieben wurden, befasst sich dieser Abschnitt mit den Ergebnissen der durchgeführten Experteninterviews und Besichtigungen. Diese sind wichtig, um Fokus und Umfang der weiteren Untersuchung so zu setzen, dass wesentliche Systemelemente der Lebensmittelversorgung wirklichkeitsgetreu abgebildet werden. Dass für diesen Zweck Methoden wie Fallstudien und Interviews geeignet sind, bestätigt Bonoma (1985). Besonders geeignet sind diese, wenn der Einstieg in ein breites und komplexes System gefunden werden muss, das nur außerhalb seiner Systemumgebung untersucht werden kann und das vorhandene Wissen nicht ausreicht, um Kausalfragen stellen zu können Bonoma (1985, S. 207).

Es wurden insgesamt 10 Experteninterviews und 8 Besichtigungen an verschiedenen, wesentlichen Punkten des Lebensmittelversorgungssystems durchgeführt. Diese fanden in den Jahren 2013 bis 2015 im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Forschungsprojektes Simulationsbasierte Entscheidungsunterstützung für aktorsübergreifendes Krisenmanagement (SEAK) statt, in dem es um die Untersuchung von Engpässen in der Lebensmittelversorgung ging. Die Experteninterviews und Besichtigungen waren sowohl explorativer Art, um einen Einstieg in das komplexe System der deutschen Lebensmittelversorgung zu bekommen, als auch gezielt eingesetzt, um Wissenslücken zu füllen und Zwischenergebnisse zu bestätigen. Der Schwerpunkt lag dabei auf der Identifikation von Schwachstellen und potentiellen Gegenmaßnahmen. Interviewt beziehungsweise besichtigt wurden:

- (1) der Referatsleiter des Referats Grundsatz in der Bundesanstalt Technisches Hilfswerk (THW) am 12.04.2013 in Bonn,
- (2) der Logistikleiter eines Lebensmittel-Groß- und Einzelhändlers am 15.04.2013 in Kiel,
- (3) ein Referent aus dem Referat 321: Lebensmittelüberwachung, Krisenmanagement, Ernährungsvorsorge im Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz sowie die stellvertretende Referatsleiterin des Referats 423: Marktinformation, Kritische Infrastrukturen, Landwirtschaft in der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung am 21.06.2013 in Bonn,
- (4) der Niederlassungsleiter und der Leiter Anwendungstechnik eines Logistikdienstleister-Lagers mit Lebensmittelschwerpunkt am 10.07.2013 in Offenbach,
- (5) die Leiterin der Abteilung Präventives Gesundheitsmanagement an der Universität Bonn am 11.07.2013 in Darmstadt,
- (6) der Lagerleiter eines Tiefkühllogistik-Unternehmens am 23.10.2013 in Groß-Gerau,
- (7) der Logistikleiter einer Molkereigenossenschaft am 14.11.2013 in Nürnberg,

-
- (8) der Logistikleiter einer Fischmanufaktur am 25.11.2013 in Bremerhaven,
 - (9) ein Mitarbeiter des Referats I 5: Digitale Stadt, Risikovorsorge und Verkehr im Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung sowie der Referatsleiter des Referats Z34: Nationale und internationale Angelegenheiten der zivilen Notfallvorsorge, des Krisenmanagements, der Transportsicherheit im Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung und stellvertretender Vorsitzender des NATO-Transportplanungsausschusses für den Oberflächenverkehr mit seinen Mitarbeitern am 09.12.2013 in Bonn und
 - (10) der Betriebsleiter eines Lebensmitteleinzelhandels-Zentrallagers am 25.06.2015 in Berlin.

Besichtigt wurden:

- (11) das Fleischwerk eines Lebensmitteleinzelhändlers in Karlsruhe am 19.04.2013,
- (12) das Lager eines Online-Versandhändlers in Bad Hersfeld am 12.06.2013,
- (13) eine Molkerei in Münchehofe bei Berlin am 04.12.2013,
- (14) das Luftfrachtcenter für temperaturgeführte Produkte in Frankfurt am Main am 05.03.2014,
- (15) das Lager eines Kontraktlogistiklers in Heddesheim am 10.04.2014,
- (16) die Hauptfeuerwache in Karlsruhe am 23.04.2014,
- (17) ein Obst- und Gemüsegroßmarkt in Frankfurt am Main am 09.10.2014 und
- (18) das Lager eines Drogisten in Waghäusel am 26.02.2015.

Die folgenden Absätze fassen die Interviews und Besichtigungen, sortiert nach Akteursgruppen, zusammen. Ausführliche Zusammenfassungen zu den einzelnen Interviews und Besichtigungen finden sich im Anhang A.

2.3.2 Unternehmen

In diesem Unterabschnitt werden nacheinander die Kernerkenntnisse der Experteninterviews und Besichtigungen mit den produzierenden und verarbeitenden Unternehmen, den Logistikdienstleistern, den Großhändlern sowie den Einzelhändlern ausgeführt.

Produzierende und verarbeitende Unternehmen

Im Rahmen der Experteninterviews und Besichtigungen in zwei Molkereien (7, 13), einer Fischmanufaktur (8) sowie einem Fleischwerk (11) konnte ein Einblick in produzierende beziehungsweise verarbeitende Betriebe gewonnen werden.

Die von den Betrieben benötigten tierischen Rohwaren wie beispielsweise Rohmilch, Frischfisch und Schweinehälften sind sehr leicht verderblich. Um ein vorzeitiges Verderben der Ware zu verhindern, müssen Transporte, Lagerung und Verarbeitung in diesen Fällen gekühlt erfolgen. Dies setzt funktionierende Kühltechnik und eine ununterbrochene Stromversorgung voraus. Aufgrund der dadurch erhöhten Kosten und der Verderblichkeit der Rohwaren, werden keine (7, 13) oder nur sehr geringe **Bestände** (8, 11) gehalten. Zusätzlich müssen einige Produkte wie Fisch zum Großteil aus dem Ausland importiert werden, was die Transportentfernungen und Lieferzeiten verlängert.

In allen besuchten Produktionsbetrieben konnte außerdem ein Trend zur **Zentralisierung** der Produktion erkannt werden. Besonders deutlich wurde dies bei der Fleischverarbeitung, wo mehrere kleinere Betriebe durch ein großes Fleischwerk ersetzt wurden, das den gesamten Südwesten Deutschlands beliefert (11). Die großen Mengen, die

solch zentralisierte Betriebe durchlaufen, ermöglichen eine **Automatisierung** der Verarbeitung. Dies kann vor allem Personalkosten sparen. Meist sind dann nur noch Hilfsarbeiten zu verrichten, die auch von ungelernten Arbeitskräften erledigt werden können. Störungen, die durch Arbeitskräftemangel hervorgerufen werden, können dadurch leichter behoben werden. Andererseits werden zur Steuerung und Wartung der Anlagen hochqualifizierte Mitarbeiter benötigt. Die Abhängigkeit vom Personal sinkt also nicht, sondern verschiebt sich nur auf andere Mitarbeiter.

Ein weiterer Trend, der identifiziert werden konnte, ist die **Auslagerung von Logistikprozessen** an einen Dienstleister, wodurch sich die verarbeitenden Unternehmen auf ihre Kernkompetenzen konzentrieren können. Dies führte bei einem befragten Unternehmen dazu, dass im Unternehmen selbst weder ein Fuhrpark noch Lagerkapazitäten vorhanden sind (7). Der Logistikdienstleister übernimmt die Lagerung und Distribution in Deutschland sowie ins europäische Ausland. Das macht die Integration der IT-Systeme von Produzent und Dienstleister erforderlich und schafft an dieser Stelle mehr Komplexität. Neben der Auslagerung von Logistikprozessen verändern sich aber auch die Touren an sich. So berichtete ein Unternehmer (8) von immer weniger Direktlieferungen an die Filialen des Lebensmitteleinzelhandels, da die Händler versuchen den Wareneingang an der Filiale zu bündeln und viele Güter über ihre Lager zu leiten.

Zu den **kritischen Entwicklungen**, welche die Vulnerabilitäten gegenüber Extremereignissen erhöhen, befragten Zentes, Lehnert u. a. (2012, S. 22-34) Unternehmensleiter sowie Führungskräfte aus Risikomanagement, Strategieentwicklung, Beschaffung, Produktion, Logistik und Supply-Chain-Management von 168 Industrie- und Konsumgüterherstellern. Die kritischsten Entwicklungen für die Konsumgüterhersteller sind die Globalisierung der Supply-Chain (64 %), die Just-in-Time-Produktion (57 %), die sinkende Lieferantenzahl (51 %) sowie die Zentralisierung der Produktion (28 %). So steigt die Abhängigkeit von anderen kritischen Infrastrukturen, wie der Energieversorgung sowie der Informations- und Kommunikationstechnologie. Außerdem mangelt es an einer Transportkapazitätsreserve, speziell an Kühl- und Tiefkühlfahrzeugen. Laut einer umfangreichen Studie von Straube und Pfohl (2008, S. 82-91), in der über 1.000 deutsche und auch internationale Unternehmen aus den Bereichen Industrie, Handel und Logistikdienstleistung befragt wurden, gehen 40 % der Unternehmen davon aus, dass sie von diesen steigenden Sicherheitsanforderungen nur gering betroffen sind. Jedoch wird ein starker Anstieg für die Zukunft erwartet. Trotzdem fehlen fast zwei Dritteln der Unternehmen Tools für die Supply-Chain-weite Identifikation, Bewertung und Steuerung von Risiken. Größtes Hindernis zur Umsetzung weiterer Maßnahmen sind mit Abstand die steigenden Kosten: besonders für den Handel mit 80 %, aber auch für Industrie und Dienstleister mit 67 % und 64 %. Auch bei der Flexibilität werden bei knapp über einem Drittel der Unternehmen Konflikte mit den steigenden Risiko- und Sicherheitsanforderungen gesehen, da Bestände zur Wahrung der Flexibilität gering gehalten werden, um besser auf Produktänderungen reagieren zu können.

Die **Vorbereitungen** auf Störfälle sind je nach Problemfeld sehr unterschiedlich. Die Produktion kann laut den Unternehmensvertretern in der Regel gut angepasst werden, um Nachfragespitzen wie zu Weihnachten und Ostern oder güterspezifische Saisonalitäten auszugleichen, da bereits im Normalbetrieb Kapazitätsreserven vorhanden sind. Dies wird durch Schichtbetrieb, Überstunden oder Wochenendarbeit ermöglicht, was meist in den Arbeitsverträgen geregelt ist. Dagegen ist man auf Stromausfälle kaum vorbereitet. Für kürzere Stromausfälle sind in einigen Betrieben Notstromsysteme vorhanden, welche ein geregeltes Abschalten der IT-Systeme ermöglichen. In keinem der besuchten Betriebe waren Notstromaggregate für die Aufrechterhaltung der Produktion und Kühlung vorhanden. Nichtsdestotrotz ist das unternehmerische Engagement, Produktion und Logistik bei größeren Störfällen aufrecht zu erhalten, groß. Allerdings fiel den Unternehmern, die bereits von einer Großstörung betroffen waren, die Kontaktaufnahme mit verantwortlichen Behörden schwer, da Zuständigkeiten und Ansprechpartner unklar waren (8).

Laut der Online-Studie zu **Krisenmanagement und Krisenkommunikation** von Feller, Lendle und Zorn (2013), in der 300 Unternehmen der Ernährungsindustrie befragt wurden, ergibt sich ein ähnliches Bild. Zwar geben 87 % dieser Unternehmen an, über ein ausgearbeitetes Krisenmanagementsystem, und 60 %, über ein Kommunikationskonzept für Krisenfälle zu verfügen, jedoch hält dieses gute Ergebnis einer genaueren Befragung nicht stand. So hat der Großteil der Unternehmen einerseits Kontaktdaten der zuständigen Behörden und externen Dienstleister, Ablaufpläne, Handbücher und Kommunikationsleitfäden für den Krisenfall sowie einen Krisenstab mit klarer Aufgabenverteilung. Andererseits haben nur 50 % der Unternehmen einen konkreten Maßnahmenplan und nur 40 % ein Risiko-Frühwarnsystem. Außerdem führen 42 % der Unternehmen keine oder weniger als einmal im Jahr eine Krisenübung durch. Im Bezug auf die Supply-Chain setzen rund zwei Drittel der Unternehmen auf Qualitätsmanagement und Prüfung ihrer Lieferanten, jedoch nur 33 % analysieren Risiken im Zusammenhang mit ihrer eigenen Distribution.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass aufgrund der hohen Verderblichkeit von tierischen Rohwaren, diese kaum in den verarbeitenden Betrieben bevorratet werden. Es wird davon ausgegangen, dass dieses Vorgehen bei allen Betrieben, die tierische Rohwaren verarbeiten, gleich ist. Auch bei anderen, leicht verderblichen Gütern, wie beispielsweise Obst und Gemüse, wird eine ähnliche Bestandspolitik angenommen. Folglich sind diese Verarbeitungsbetriebe stark von Zulieferern sowie der kritischen Infrastruktur Transport und Verkehr abhängig. Zusätzlich ist die **Versorgung der Betriebe** mit einigen Rohwaren durch einen hohen Importanteil anfällig für Störungen. Auch durch die Zentralisierung steigen die Transportentfernungen. Gleichzeitig werden Transportkapazitäten oft von externen Dienstleistern eingekauft. Teilweise wird sogar die komplette Logistik einschließlich der Lagerung an Dienstleister vergeben. Dadurch könnte es zu Problemen kommen, wenn viele Unternehmen gleichzeitig auf die Transportkapazitäten von Logistikdienstleistern zugreifen wollen; beispielsweise vor Feiertagen oder nach Extremereignissen.

Gleichzeitig wird durch die **Konzentration der Verarbeitung** auf wenige Standorte die Ausfallsicherheit negativ beeinträchtigt. Darüber hinaus steigt die Abhängigkeit von der Stromversorgung, die zum Betrieb der komplexen Produktions-, Intralogistik und IT-Systeme benötigt wird. Das größte Störpotential haben dadurch Stromausfälle, welche die meisten Betriebe komplett zum Stillstand bringen würden, sowie IT-Ausfälle, die die Leistungsfähigkeit vieler Betriebe erheblich senken würde. Während sich die Betriebe auf IT-Ausfälle vorbereiten, fehlen Notstromaggregate zur Aufrechterhaltung von Produktion und Kühlung. Weniger kritisch sind dagegen Produktionskapazitäten, die in den meisten Betrieben über Mehrarbeit erhöht werden können, sofern die Produktionsanlagen noch nicht komplett ausgelastet sind.

Logistikdienstleister

Logistikdienstleister übernehmen in der Lebensmittelversorgung Teile der Lagerung und des Transportes nahezu aller Produkte sowie weitere Aufgaben für die verschiedensten Akteure. Mit den Lagern eines im Lebensmittelbereich sehr aktiven Logistikdienstleisters (4), eines Tiefkühllogistiklers (6) und eines Kontraktlogistiklers (15) sowie einem Luftfrachtcenter für temperaturgeführte Produkte (14) wurden sehr unterschiedliche Dienstleister besichtigt.

Da die Transport- und Lagerkapazitäten für die unterschiedlichen Lebensmittel mindestens in die drei Temperaturbereiche trocken / ungekühlt (tr), temperaturgeführt (tg) und tiefgekühlt (tk) getrennt sind, ist auch in der Untersuchung eine getrennte Betrachtung notwendig. An Trockenprodukten sind meist große **Bestände** vorhanden, da sie relativ unempfindlich sind und damit nur geringe Kosten verursachen (4). Auch bei Tiefkühlprodukten gibt es größere Bestände, da tiefgefrorene Lebensmittel sehr lang haltbar sind. So kann zum Beispiel Rindfleisch bis zu zwei Jahre und Schweinefleisch bis zu vier Jahre lang tiefgekühlt gelagert werden (6). Diese Lagerform wird, trotz hoher Kosten, gerne genutzt, um Nachfrageschwankungen auszugleichen und Überproduktionen abzufangen. Dagegen sind bei temperaturgeführten Frischeprodukten, wie bei den Produzenten, nur sehr geringe Bestände vorhanden. Dies liegt vor allem an der sehr geringen Haltbarkeit dieser Produkte (4, 14).

Die vorhandenen Notstromaggregate sind auch bei den besuchten Logistikdienstleistern nur zum kontrollierten Abschalten der IT gedacht, nicht zur Aufrechterhaltung des Betriebes. Durch einen **Stromausfall** würde so die Kühlung der Lebensmittel ausfallen. Während die Trockenprodukte davon nur in geringem Ausmaß betroffen wären, müssten die temperaturgeführten und tiefgekühlten Produkte vor der Wärme geschützt werden. Die temperaturgeführten Produkte könnten in Kühl-Lkw gebracht werden, da diese über eigene, dieselbetriebene Kühlaggregate verfügen (4, 14). Im Gegensatz dazu würden die Tiefkühlager im Falle eines Stromausfalles verschlossen und nicht mehr betreten werden. Denn durch die starke Wärmeschutzisolation sind die Tiefkühlager auch passiv gut vor Wärme geschützt, solange die Luft im Lager nicht ausgetauscht wird. Die Lebensmittel könnten so zwei bis sieben Tage lang gelagert werden, bevor sie nicht mehr verkaufsfähig wären (6).

Fallen die **IT-Systeme** der Logistikdienstleister aus, können die Prozesse nicht manuell abgewickelt werden, da dafür benötigte Materialien und Wissen nicht mehr vorhanden sind (4, 6, 15). Lediglich das Luftfrachtcenter für temperaturgeführte Produkte setzt noch auf manuelle Auftragsbearbeitung. Doch auch hier nimmt der Druck zur Digitalisierung zu (14). Die Abhängigkeit von IT-Systemen und der Stromversorgung stellt demnach das größte Gefährdungspotential dar. Damit ähneln die Vulnerabilitäten der Logistikdienstleister denen der Produzenten.

Einen Überblick über **weitere Risiken für Transport und Logistik** entlang der Supply-Chain findet sich in der Studie von Wittenbrink (2013). Darin wurden insgesamt 189 Logistikdienstleister sowie das Beschaffungswesen von Unternehmen verschiedener Branchen befragt. Für die Einkäufer ist die zunehmende internationale Vernetzung mit 82 % die größte Sorge, da dadurch sowohl die Abhängigkeit von Transporten steigt als auch die Gefahr, von weit entfernt stattfindenden Störungen betroffen zu sein. Diese Sorge teilen auch 60 % der Logistikdienstleister. Für diese sind die steigenden Öl- und Transportpreise (74 %) sowie Unterbrechungen der Supply-Chain durch Insolvenz eines Dienstleisters (65 %) die größten Risiken. Weitere Risiken sind die ruinöse Konkurrenz in der Transportbranche (86 %) und die zur Bewältigung des Verkehrswachstums nicht ausreichende Verkehrsinfrastruktur (81 %). Durch hohen Konkurrenzdruck wird das Geschäftsmodell der Logistikdienstleister und damit deren Transportangebot gefährdet. Weiterhin schränkt der Mangel an Kapazitäten auf den Verkehrsinfrastrukturen das Güterverkehrsangebot ein. Beides steigert die Vulnerabilität der Lebensmittelversorgung. Zur Risikominderung wird laut der Studie vor allem das Single-Sourcing vermieden (60 %) und die Supply-Chain-Sichtbarkeit erhöht (49 %). Schlecht für die Versorgungssicherheit ist jedoch, dass nur 28 % der befragten Unternehmen die Sicherheitsbestände erhöhen. 16 % haben keinerlei Maßnahmen als Antwort auf bestehende Risiken.

Großhändler

Die Gruppe der Großhändler ist sehr vielfältig. Mit den Interviews und Besichtigungen bei einem klassischen Großhändler (2) sowie in einem Obst- und Gemüsegroßmarkt (17) wurden sehr unterschiedliche Akteure untersucht. Beiden ist gemein, dass sie nur geringe **Bestände** bei Frischeprodukten vorhalten. Außerdem wurde berichtet, dass auch Großabnehmer wie Kantinen, Restaurants oder Krankenhäuser kaum über Bestände verfügen (2). Die Abnehmer sind dadurch auf eine zuverlässige, tägliche Versorgung angewiesen. Folgt man diesen Aussagen, müssen die Bestände an Frischeprodukten bei Großhändlern und Großkunden als kritisch angesehen werden.

Dabei sind auch die Großhändler nicht frei von Risiken. Wie schon die Produzenten haben auch die befragten Großhändler keine Notstromversorgung für die Kühlung oder den Betrieb ihrer Lager. Dies wurde damit begründet, dass man einen selten vorkommenden, kurzzeitigen **Stromausfall**, durch flexiblen Arbeitseinsatz überwinden kann (2, 17). Länger andauernde Stromausfälle wären dagegen sehr problematisch. Es wird aber davon ausgegangen, dass diese in Deutschland nicht auftreten (2, 17). Sollte es doch zu einem solchen Ausfall kommen, würde er alle Versorgungsunternehmen treffen, wodurch der Staat zum Eingreifen gezwungen wäre. Vorbereitungen einzelner Unternehmen auf solch unwahrscheinliche Ereignisse sind damit nach Ansicht des Großhändlers überflüssig (2). Wie schon bei den Produzenten, muss auch bei den Großhändlern angenommen werden, dass keine Vorsorgemaßnahmen in Bezug auf langanhaltende Stromausfälle getroffen werden.

Einzelhändler

Neben den klassischen Lebensmitteleinzelhändlern, die den Großteil der Lebensmittelverkäufe an den Endkunden abwickeln, werden Lebensmittel auch über Drogerien und seit einigen Jahren auch durch Online-Händler vertrieben. Im Rahmen dieser Arbeit wurden zwei klassische Einzelhändler (2, 10), ein Online-Versandhändler (12) sowie ein Drogist (18) interviewt und deren Lager besichtigt.

Die **Lager** des LEH sind, genau wie bei Produzenten und Großhändlern, stark von IT-Systemen und der Stromversorgung abhängig. So wird in einem Lager, das die Hälfte der circa 1.600 Filialen des Unternehmens versorgt, fast die gesamte Intralogistik computergesteuert über Regalbediengeräte, Rollenbahnen und Elektrohängebahnen abgewickelt (18). In einem anderen Lager werden zwar die Produkte noch größtenteils von Personal kommissioniert und bewegt, durch die chaotische Lagerhaltung muss der Kommissionierprozess jedoch durch IT-Systeme gesteuert werden (12). Aus diesen Aussagen lässt sich ableiten, dass auch bei den Einzelhändlern eine große Abhängigkeit von Stromversorgung und IT-Systemen besteht. In beiden Lagern können Störungen aber auch durch Personalmangel entstehen, da viele wichtige Prozesse, wie beispielsweise das Picken, nach wie vor ausschließlich von Mitarbeitern durchgeführt werden. Gerade im Lebensmittelbereich kann der Personalmangel kritisch werden, da im Umgang mit Lebensmitteln spezielle Weiterbildungen benötigt werden und fehlendes Personal damit nicht einfach ersetzt werden kann. Ab circa 20 % Abwesenheit kann es zu Störungen kommen (18).

Die Filialen der Lebensmitteleinzelhändler und des Drogisten werden mehrmals pro Woche, viele sogar täglich, aus den zugehörigen Lagern beliefert. Nur Spezialartikel, frisches Brot, Getränke und Volumenartikel sowie große Warenmengen für Marketingaktionen werden oft direkt von den Produzenten angeliefert (2, 10, 18). Zur Gewährleistung einer solch häufigen **Filialbelieferung** müssen enorme Transportkapazitäten zur Verfügung stehen. Sollte es zu Störungen im Lager oder beim Transport in die Filialen kommen, könnten einige Produkte in den Filialen schnell ausverkauft sein, da die Filialen nicht für die Bevorratung von Produkten ausgelegt sind. So sorgte beispielsweise im Jahr 2011 ein fünftägiger Streik der Lagerarbeiter in einem Teil der Lager eines Lebensmitteleinzelhändlers dafür, dass bestimmte Gütergruppen in den Filialen nicht mehr vorrätig waren. Eine Belieferung der betroffenen Filialen aus anderen Lagern des Unternehmens war dabei nur begrenzt möglich, da die verbliebenen Kommissionier- und Transportkapazitäten nicht schnell genug erweitert werden konnten (Fuhrmann und Bauer 2011). Eine Belieferung aus anderen Lagern der Unternehmensgruppe war nicht möglich, da unterschiedliche IT-Systeme eingesetzt werden.

2.3.3 Staat

Auf der staatlichen Seite wurden Interviews in der Bundesanstalt Technisches Hilfswerk (THW) (1), dem Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (3) und dem Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung (9) geführt sowie eine Hauptfeuerwache (16) besichtigt.

Laut den Behördenmitarbeitern ist der Ausfall der Stromversorgung das größte Bedrohungsszenario (3, 16). Aufgrund der Sicherstellungspflicht für Versorgungsunternehmen gehen einige Behördenvertreter jedoch davon aus, dass die Unternehmen organisatorische und technische Vorbereitungen treffen, um die Versorgung auch in Krisenzeiten aufrecht erhalten zu können (3). Außerdem gaben die Behördenvertreter an, dass sich der Staat mit regulatorischen Eingriffen so weit wie möglich zurückhalten möchte und stattdessen auf freiwillige Zusammenarbeit setzt. Das Zugehen des Staates auf einzelne Unternehmen ist jedoch wettbewerbsrechtlich nicht möglich. Auch das Zugehen der Unternehmen auf den Staat ist nicht wahrscheinlich, da die im Wettbewerb stehenden Unternehmen keine Informationen austauschen wollen und erhöhte Sicherheitsvorkehrungen mit Kostensteigerungen verbunden wären. Daher war es bisher nicht möglich, alle relevanten Unternehmen an einen Tisch zu bringen (3).

2.3.4 Bevölkerung

Bei Versorgungsengpässen ist das Konsumentenverhalten ein entscheidender Faktor, der zur Verschärfung oder Entspannung der kritischen Situation beitragen kann. So könnten eventuelle Panikkäufe überhaupt erst zu einem Versorgungsengpass innerhalb der Bevölkerung führen. Die empirische Untersuchung von Menski und Gardemann (2008, S. 29-31) verdeutlicht, dass großer Bedarf besteht, die Bevölkerung stärker zu individuellen Vorsorgemaßnahmen und Verhaltensänderungen anzuregen und hierbei zu unterstützen. Dies gilt insbesondere für vulnerable Bevölkerungsgruppen wie ältere Menschen sowie Familien mit Säuglingen oder Kleinkindern. Die mangelnde Vorbereitung der Bevölkerung wird durch die Ergebnisse der Fokusgruppenbefragungen bestätigt, die von der Dialogik gGmbH durchgeführt wurden:

- *Singles* mit 5 männlichen und 3 weiblichen Teilnehmern im Alter zwischen 28 und 63 Jahren am 04.11.2014 in Berlin,
- *Senioren* mit 4 männlichen und 4 weiblichen Teilnehmern im Alter zwischen 60 und 73 Jahren am 04.11.2014 in Berlin und
- *Mehrpersonenhaushalte* mit 4 männlichen und 3 weiblichen Teilnehmern im Alter zwischen 35 und 55 Jahren am 05.11.2014 in Berlin.

Ziel der Befragungen war es, Einblicke in mögliche Verhaltensänderungen während einer Hitzewelle zu erlangen. Es wurden die Veränderungen des Einkaufsverhaltens bezogen auf Lebensmittel sowie der Einfluss der Krisenkommunikation behandelt. Bezüglich der Ergebnisse ist zu beachten, dass die Fokusgruppenteilnehmer keine Katastrophenerfahrung im Sinne des geschilderten Szenarios hatten. Das Hineinversetzen in das Szenario und das Abrufen eigener möglicher Reaktionen sind dadurch erschwert. Dies kann zu einer Unterschätzung der persönlichen Risikowahrnehmung führen.

Um Erkenntnisse über potentielle Veränderungen des **Einkaufsverhaltens** zu erlangen, wurde innerhalb der Fokusgruppen versucht, die Risikowahrnehmung gezielt zu erhöhen. Dies geschah durch die Erläuterung möglicher Gefahren wie Hitzeschäden an Straßen, andauernde Stromausfälle und fehlende Möglichkeiten für den Supermarktbesuch. Laut Aussagen der Fokusgruppenteilnehmer würden sie bei einer Hitzewelle verstärkt frische Produkte, Getränke und Speiseeis nachfragen. Das Wissen um eine für mehrere Tage eingeschränkte Einkaufsmöglichkeit während einer Hitzewelle würde hauptsächlich zu einer verstärkten Nachfrage nach Getränken, Frischeprodukten, Tiefkühlprodukten und Konserven führen. Im Falle eines länger andauernden Stromausfalls würden die Teilnehmer vor allem Trockenprodukte und Campingkochartikel kaufen. Als Auslöser für das Tätigen von Panikkäufen sahen die Teilnehmer leere Regale in mehreren Supermärkten und Panikkäufe von Mitmenschen. Wahrgenommene Engpässe in einzelnen Supermärkten wären für die Teilnehmer kein Anlass zur Sorge oder zur Änderung ihres Einkaufsverhaltens.

Die vorhandenen **Kommunikationsmittel**, wie die Broschüren des BBK (Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe 2009; Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe 2013) sowie die Smartphone-Warnsysteme KATWARN (Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme FOKUS 2017) und NINA (Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe 2017), waren den Fokusgruppenteilnehmern nicht bekannt. Dadurch war auch ihr Wissen zur optimalen Bevorratung unzureichend. Von den Akteuren der Krisenkommunikation forderten die Teilnehmer in erster Linie Vertrauenswürdigkeit. Seriöse Medien und von der Lebensmittelindustrie unabhängige Akteure wie Verbraucherzentralen und Ministerien sollten für eine erfolgreiche Kommunikation gemeinsam agieren. Dies gilt sowohl für die Förderung der privaten Vorratshaltung als auch für die Kommunikation im Katastrophenfall.

Aus den Aussagen der Teilnehmer lassen sich folgende **Erkenntnisse** ableiten: Der Begriff *Versorgungsengpass* wird nicht mit der Gefährdung der eigenen Versorgung in Verbindung gebracht. Da das Ausmaß der Risikowahrnehmung in der Bevölkerung sehr gering ist, werden auch kaum Vorbereitungen getroffen. Die Wahrnehmung eines persönlichen Risikos wäre Grundvoraussetzung für entsprechendes Handeln. Das bedeutet, dass - der Logik des Panikkaufs folgend - Schneeballeffekte zu erwarten sind, sobald eine kritische Masse Panikkäufe tätigt. Der eigentliche Auslöser der Panikkäufe ist anscheinend zweitrangig, da dem Verhalten der restlichen Bevölkerung deutlich höhere Bedeutung beigemessen wird. Es besteht Forschungsbedarf zu den Auslösern, die zu ersten Panikkäufen und deren Wahrnehmung durch weitere Teile der Bevölkerung führen.

Der in den Fokusgruppenbefragungen gewonnene Eindruck, dass die Bevölkerung nicht für Versorgungsstörungen vorsorgt, wird durch die Studie von Menski, Wahl u. a. (2016) bestätigt. In zwei nach Alter, Geschlecht und Bundesländern repräsentativen **Online-Befragungen** wurden 3.000 private Haushalte **zu ihrem Einkaufsverhalten und ihren Vorsorgemaßnahmen** sowie 2.000 private Haushalte zum Thema Risikowahrnehmung, Krisenkommunikation und Verhalten in Krisensituationen am Beispiel eines fiktiven Pandemie-Szenarios befragt. In dem Pandemie-Szenario bleiben aufgrund von hohem Krankenstand und großer Ansteckungsgefahr Lebensmittelgeschäfte, Restaurants, Kantinen und Imbisse geschlossen. Auch Lieferdienste arbeiten nicht. In einem solchen Szenario glauben nur 38 % der Befragten, dass der Lebensmittelhandel, und nur 30 %, dass die Behörden das Problem schnell in den Griff bekommen würden. Auch kennen nur 37 % der Befragten andere Personen, von denen sie im Krisenfall Unterstützung erhalten würden. Trotzdem wird die von den Behörden empfohlene Bevorratungsreichweite von zwei Wochen von den wenigsten Umfrageteilnehmern erfüllt. So haben zwar fast 88 % der Haushalte zum Zeitpunkt der Befragung Vorräte für 3 Tage, aber nur 48 % für 7 Tage. Lediglich 17 % der Haushalte können mit ihren Vorräten die empfohlenen 14 Tage auskommen (Menski, Wahl u. a. 2016, S. 104 f.).

2.3.5 Gegensätzliche Ansichten und daraus resultierende Probleme

Die Interviews, Fokusgruppenbefragungen und Studien legen nahe, dass die deutsche **Bevölkerung** an das Funktionieren der Lebensmittelversorgung gewöhnt ist. Daraus resultiert eine geringe Risikowahrnehmung in weiten Teilen der Bevölkerung sowie eine Diskrepanz zwischen der privaten Bevorratung und den behördlichen Ansprüchen an diese. Darüber hinaus scheint der behördliche Einfluss auf die Risikowahrnehmung der Bevölkerung gering zu sein. Staatliche Versuche, das Verbraucherverhalten mit Empfehlungen und Informationen zu erhöhen, führten bisher zu keinen erkennbaren Erfolgen. All dies deutet auf ein gemindertes Selbstschutspotential der Bevölkerung und die Abhängigkeit von einer störungsfrei funktionierenden Lebensmittelversorgung hin.

Gleichzeitig besteht eine Lücke zwischen der Notfallvorsorge des Staates und den Möglichkeiten der **Unternehmen**. So werden Extremszenarien wie eine deutschlandweite Pandemie oder ein langanhaltender Stromausfall nicht von der staatlichen Vorsorge berücksichtigt. Unternehmen würden in solchen Szenarien staatliche Unterstützung erwarten, da sie sich mit ihrem Risikomanagement auf relativ häufige Störereignisse konzentrieren. Für häufige Ereignisse wird teilweise mit Notfallplänen und -einrichtungen vorgesorgt. Zum Teil werden aber lediglich Versicherungen abgeschlossen, um den finanziellen Schaden zu begrenzen. Dies sichert zwar das Unternehmen ab, nicht jedoch die Lebensmittelversorgung. Darüber hinaus werden regulatorische Eingriffe des Staates zum Schutz der Versorgungssicherheit, wie das IT-Sicherheitsgesetz, von Lebensmitteleinzelhändlern und deren Handelsverbänden abgelehnt, da sie mit Kostensteigerungen verbunden sind und auf veralteten Studien des Staates beruhen (Lebensmittel Zeitung 2015). Das zeugt auch bei den Unternehmen von einer Diskrepanz zwischen Risikowahrnehmung und tatsächlicher Bedrohung (Zentes, Lehnert u. a. 2012, S. 26). Dabei wäre das Zusammenwirken von Staat und Privatwirtschaft für eine praxistaugliche Ernährungsnotfallvorsorge unerlässlich. Die Unternehmen könnten aufgrund fortschreitender Marktkonzentration zum Beispiel über Sicherheitspartnerschaften einen großen Beitrag leisten. Allerdings bleibt dieses Unternehmenspotential bisher unberücksichtigt.

Zusätzlich muss die **Eintrittswahrscheinlichkeit eines Versorgungsengpasses** als steigend angesehen werden. Zwar konnte durch die durchgeführten Interviews und Besichtigungen festgestellt werden, dass in der Lebensmittelindustrie im Normalfall Reserven bei Produktions- und Lagerkapazitäten vorhanden sind, aber die fortschreitende Zentralisierung und Automatisierung von Betrieben führt zu einer steigenden Konzentration dieser Kapazitäten, was die Vulnerabilität der Lebensmittelproduktion erhöht. Im Lebensmittelhandel sind mehrere Unternehmen aktiv, die getrennte logistische Netzwerke betreiben (Abschnitt 2.1.1 ab Seite 5). Der Ausfall eines einzelnen, kleineren Unternehmens wäre für die Lebensmittelversorgung vermutlich unproblematisch, da die Robustheit des Lebensmittelhandels durch redundante Versorgungsstrukturen hoch ist. Doch die steigende Marktkonzentration führt zum Abbau dieser Redundanzen und gefährdet damit die vorhandene Robustheit. Gleichzeitig sind alle Handelsunternehmen von der selben Verkehrsinfrastruktur abhängig. Schon eine Störung dieser Infrastruktur über wenige Tage könnte zu großen Versorgungsproblemen führen, da die Reichweite von Lebensmittelbeständen in Filialen und bei Verbrauchern als eher gering einzuschätzen ist.

2.3.6 Forschungsbedarf

Wie die Experteninterviews, Besichtigungen und Studien gezeigt haben, gibt es Defizite in Risikowahrnehmung, Risikomanagement und Gefahrenabwehr. Es gibt Hinweise, dass die Bestände bei einigen Produkten nur sehr gering sind und Transportkapazitäten in bestimmten Szenarien nur noch begrenzt zur Verfügung stehen würden. Zusätzlich steigt aufgrund zunehmender Zentralisierung und Automatisierung der Produktion sowie der Digitalisierung der Geschäftsabläufe die Vulnerabilität des Lebensmittelversorgungssystems weiter an. Um in diesem Umfeld Krisen besser bewältigen zu können, müssen zum einen bessere Werkzeuge zur Risikoanalyse, Informationsaufbereitung und Entscheidungsunterstützung entwickelt werden. Zum anderen muss versucht werden, die Vulnerabilität durch verschiedene Maßnahmen zu senken.

Laut Boin, Kelle und Whybark (2010) werden unter anderem Werkzeuge benötigt, die den Planungsprozess und die Entscheidungsfindung verbessern. Dazu sollte ihrer Meinung nach die Rolle der technologischen Unterstützung zwar kritisch betrachtet, aber dennoch aufgrund der großen Vorteile in der Informationsaufbereitung ausgebaut werden. Als besonders vielversprechend sehen sie die Kombination aus Ansätzen des Krisenmanagements, der Humanitären Logistik und des Supply-Chain-Managements (Boin, Kelle und Whybark 2010, S. 4 f.). Wenn es darum geht, künftige Entwicklungen zu prognostizieren oder die Auswirkungen bestimmter Maßnahmen zu untersuchen, sehen Wiedmann, Wilting, Lutter u. a. (2009, S. 13) die Szenarioanalyse, die dynamische Modellierung oder eine Kombination von beiden als die besten Methoden an.

Vulnerabilität kann durch die Steigerung der Resilienz gesenkt werden (Wagner und Bode 2009, S. 278). Wesentliche Voraussetzung für den Aufbau von Resilienz ist die Identifikation kritischer Pfade, entlang derer die Kapazitäten so begrenzt sind, dass keine Ausweichreaktionen möglich sind (Christopher und Peck 2004). Die Fähigkeit, diese kritischen Pfade zu identifizieren und das Niveau der Resilienz zu bewerten, böte Unterstützung für Entscheidungsträger (Ponomarov und Holcomb 2009). Zur Analyse der kritischen Pfade im Lebensmittelversorgungssystem, und damit auch der Robustheit, Resilienz und Agilität, sind aussagekräftige Indikatoren wie die Bestandsentwicklungen und die zur Abwicklung aller Transporte benötigte Güterverkehrsleistung erforderlich. Diese können nicht durch einfache Datenerhebungen gewonnen werden, da sie sich aus dem wirtschaftlichen, räumlichen und zeitlichen Kontext von Produktion, Lagerung, Transport, Handel und Konsum ergeben.

Dies macht ein Modell erforderlich, welches das Lebensmittelversorgungssystem und dessen Verhalten realistisch abbilden kann. Für ein solches Modell hält Reggiani (2013) einen umfassenden Systemansatz aus Transportnetzwerkanalyse und -modellierung auf allen Größenebenen für notwendig, um Fortschritte bei der Bewertung und Verbesserung der Resilienz zu erreichen und das dynamische Verhalten in komplexen Transportnetzwerken zu verstehen (Reggiani 2013, S. 67).

2.4 Konkretisierung der Zielstellung

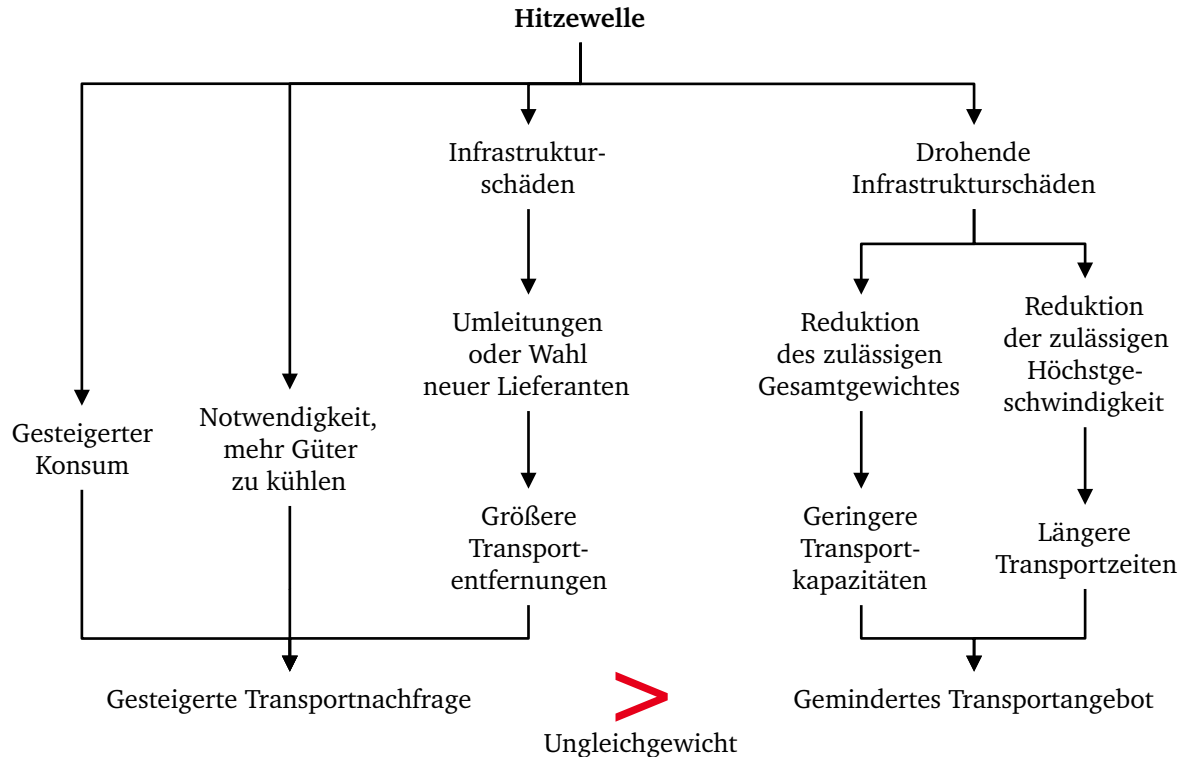
In diesem Abschnitt wird die Zielstellung der Einleitung mit dem dargelegten Forschungsbedarf konkretisiert und die Wahl eines zentralen Indikators begründet. Da Kern dieser Zielstellung die Entwicklung eines Modells ist, werden anschließend die Modellanforderungen aufgestellt, die zur Erreichung dieses Ziels erfüllt werden müssen.

2.4.1 Zielstellung und zentraler Indikator

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines realistischen Modells der deutschen Lebensmittelversorgung, das Störungsauswirkungen verschiedener Szenarien simulieren kann, um so kritische Szenarien sowie vulnerable Industrien und Regionen identifizieren zu können. Damit sollen Entscheider in Krisensituationen sowie der Prävention unterstützt werden.

Als **zentraler Indikator** eignen sich weder das Güterverkehrsaufkommen noch reine Transportkapazitäten, da für eine tiefgreifende Analyse auch Transportentfernungen und -zeiten berücksichtigt werden müssen. Zur Bewertung der Vulnerabilität des Lebensmittelversorgungssystems wird deshalb die Güterverkehrsleistung gewählt, die zur Aufrechterhaltung der Lebensmittelversorgung in den verschiedenen Szenarien notwendig ist. Diese hat auch praktische Relevanz, da das zur Realisierung der Güterverkehrsleistung benötigte Transportangebot in den Experteninterviews als kritische Ressource benannt wurde. Zusätzlich könnten das verfügbare Transportangebot und die gegenüberstehende Transportnachfrage in bestimmten Szenarien leicht ins Ungleichgewicht geraten. Abbildung 2.7 verdeutlicht dies am Beispiel einer Hitzewelle.

Abbildung 2.7: Ungleichgewicht zwischen Transportnachfrage und -angebot im Falle einer Hitzewelle



Im Szenario Hitzewelle steigt die Transportnachfrage, da die Güternachfrage, vor allem nach Getränken, an heißen Tagen steigt. Gleichzeitig könnten sich die Transportentfernungen aufgrund möglicher Infrastrukturschäden vergrößern, was die Transportnachfrage beziehungsweise die benötigte Güterverkehrsleistung weiter erhöht. Auf

der anderen Seite könnte das vorhandene Transportangebot sinken, da bei gleichbleibender Transportkapazität sowohl das zulässige Gesamtgewicht als auch die zulässige Höchstgeschwindigkeit gesenkt werden könnten, um vor Personen- und Infrastrukturschäden zu schützen. Allein dieses Ungleichgewicht kann zu Störungen in der Lebensmittelversorgung führen. Außerdem könnten bei einer Hitzewelle Tiertransporte verboten werden und Kühlsysteme unter Druck geraten, wodurch auch die Gefahr von Ausfällen steigen würde. Gleichzeitig müssten mehr Produkte, wie beispielsweise Schokolade, Obst oder Gemüse, gekühlt werden. Dies führt zwar zu keiner Erhöhung der Transportnachfrage, aber zu einem erhöhten Bedarf an besonders knappen Kühlfahrzeugen. Auch für den Fall, dass große Mengen Lebensmittel zusätzlich importiert werden müssten, muss geklärt werden, ob das vorhandene Transportangebot ausreicht, um die Lebensmittel über die größeren Entfernungen zu transportieren. Kann das vorhandene Transportangebot die Transportnachfrage nicht bedienen, könnte es zu Versorgungsstörungen kommen.

Aus Sicht der **Modellierung** ergibt sich die Transportnachfrage beziehungsweise die Güterverkehrsleistung aus Güterflüssen zwischen den unterschiedlichen Akteuren und Regionen. In dieser Arbeit wird ein Güterfluss definiert als das Gewicht eines bestimmten Gutes, das über einen bestimmten Zeitraum zwischen zwei Orten transportiert wird. Für die Vulnerabilitätsbewertung mittels Güterverkehrsleistung sowie die Simulation von Störungsauswirkungen ist ein Modell notwendig, das diese dynamischen Güterflüsse berechnen kann. Die tiefere Untersuchung der Lebensmittelversorgung mittels eines solchen Modells könnte die Transparenz des Lebensmittelversorgungssystems erhöhen und mögliche Engpässe nachvollziehbar identifizieren. Das könnte dazu beitragen, die Defizite in Risikowahrnehmung, Risikomanagement und Gefahrenabwehr abzubauen und damit die Notwendigkeit von vermeintlich teuren Vorsorgemaßnahmen in Unternehmen und Anpassungen der Gesetzgebung rechtfertigen.

2.4.2 Anforderungen an das zu entwickelnde Modell

Das Modell kann die Akteure jedoch nur in der Vulnerabilitätsanalyse und Entscheidungsfindung unterstützen, wenn es das Lebensmittelversorgungssystem mit dessen Verhalten und Charakteristika realistisch abbildet. Nur so können Störungsauswirkungen realitätsnah simuliert und die jeweils notwendige Güterverkehrsleistung geschätzt werden. Dafür muss das Modell die Standardanforderungen an Validität, Vollständigkeit, Konsistenz und Übertragbarkeit erfüllen. Zusätzlich dazu ergeben sich aus der Aufgabenstellung noch weitere spezifische Anforderungen:

- **Räumlicher Modellumfang**

Das Modell muss die Lebensmittelversorgung in ihrer Gesamtheit abbilden. Dazu ist es notwendig, neben den Aktivitäten im Bundesgebiet, auch den weltweiten Außenhandel zu berücksichtigen. Dies ist unabdingbar, da die Lebensmittelversorgung ein weltweit verflochtenes System ist. So importiert Deutschland rund 60 % des benötigten Gemüses, 70 % des Obstes und nahezu 80 % der Produkte aus Fisch. Andererseits werden durch den Export von Lebensmitteln wie Milchprodukten oder Wurstwaren große Umsätze erzielt. Diesen Außenhandel zu vernachlässigen, würde die Aussagen des Modells stark verfälschen.

Trotz des großen räumlichen Modellumfangs sollte das Modell mit einer feinen regionalen Auflösung arbeiten, um vor allem die inländischen Regionen mit ihren unterschiedlichen Charakteristika korrekt abbilden zu können. Unterschiede zwischen den Regionen gibt es beispielsweise bei der Einwohnerzahl, der Lebensmittelproduktion, den Marktanteilen der Einzelhändler und der Entfernung zu den nächsten Lagerhäusern. Daraus resultiert eine spezifische Vulnerabilität für jede Region sowie Abhängigkeiten zwischen den Regionen. Ohne die Abbildung regionaler Charakteristika könnten Handel und Transporte zwischen den Regionen nicht modelliert und damit die Güterverkehrsleistung nicht berechnet werden.

- **Sektorale Strukturierung**

Da die Versorgungssicherheit alle Lebensmittel umfasst, muss auch die gesamte Bandbreite der Lebensmittel modelliert werden. Aufgrund der vermutlich niedrigen Bestände am Ende der Supply-Chains ergibt sich die Notwendigkeit, Lebensmittel aller Verarbeitungsstufen zu modellieren: von Roh- über Zwischenprodukte bis hin zu konsumfertigen Produkten. Die Charakteristika der verschiedenen Lebensmittel, wie benötigte Vorprodukte, Erntezeiten und Verderblichkeiten, bestimmen deren Produktionsverläufe, Lager- und Transportanforderungen. Damit sind Vulnerabilitäten für alle Lebensmittel unterschiedlich. Die Lebensmittel sollten deshalb in möglichst detaillierte Gütergruppen eingeteilt werden.

Die Wirtschaftsbereiche der Lebensmittelversorgung müssen aufgrund ihrer Unterschiedlichen Funktion im Versorgungsprozess ebenfalls getrennt modelliert werden. Doch auch innerhalb der Wirtschaftsbereiche sollte zwischen Akteursgruppen unterschieden werden, da sie anders räumlich aufgestellt sind und verschiedene Lebensmittel produzieren oder handeln.

- **Zeitliche Dimension**

Für Modelle, die Auswirkungen von Versorgungsstörungen untersuchen sollen, ist die Berücksichtigung der zeitlichen Dimension entscheidend. Denn nicht nur die Lebensmittelproduktion und die Absatzmengen unterscheiden sich von Tag zu Tag, sondern auch die verfügbaren Bestände, Bestandsreichweiten und freien Transportkapazitäten. Erst die Einbindung des Zeitaspektes ermöglicht die Analyse von Risiken, die aus zeitlichen Abhängigkeiten entstehen. Um den Zustand des Lebensmittelversorgungssystems zu einem bestimmten Zeitpunkt möglichst exakt ermitteln zu können, muss das Modell mindestens tagesgenau rechnen.

- **Möglichkeit der Szenarioanalyse**

Störungen und Maßnahmen können vielfältige Auswirkungen auf unterschiedliche Subsysteme haben und sich so wechselseitig beeinflussen. Das Modell muss deshalb den Test von Szenarien und Maßnahmen ermöglichen.

2.5 Zwischenfazit

Welches sind die wesentlichen Elemente des Lebensmittelversorgungssystems?

Das System der Lebensmittelversorgung wird durch die verschiedenen Akteure der Lebensmittelwirtschaft und des Staates geprägt und ist abhängig von den technischen Basisinfrastrukturen.

Die größte Bedeutung für die Lebensmittelversorgung haben die in Unterabschnitt 2.1.1 vorgestellten Akteure der Lebensmittelwirtschaft, die die Lebensmittel produzieren und vom Anbau bis zu den Endkonsumenten verteilen. Dabei handelt es sich um die Betriebe der Landwirtschaft, der Lebensmittelverarbeitung sowie des Groß- und Einzelhandels. Sie müssen bei der Untersuchung des Lebensmittelversorgungssystems berücksichtigt und ihr Verhalten modelliert werden. Um produzieren und verteilen zu können, sind sie auf das Funktionieren aller technischen Basisinfrastrukturen aus Unterabschnitt 2.1.2 angewiesen. Den privaten Unternehmen der Lebensmittelwirtschaft stehen die staatlichen Akteure gegenüber, die die Lebensmittelwirtschaft regulieren und die Versorgungssicherheit in Krisensituationen gewährleisten sollen. Ihr Eingreifen sollte für eine gründliche Untersuchung ebenfalls berücksichtigt werden.

Sind die Akteure der Lebensmittelwirtschaft ausreichend auf Risiken vorbereitet?

Trotz verschiedenster theoretischer Risikomanagementansätze gibt es sowohl bei privatwirtschaftlichen als auch staatlichen Akteuren des Lebensmittelversorgungssystems Defizite in der Vorbereitung auf aktuelle Gefahren.

Wie in Abschnitt 2.2 gezeigt wurde, gibt es mehrere Managementansätze und Zivilschutzeinrichtungen, die sich mit den Risiken der Lebensmittelversorgung auseinandersetzen. Die durchgeführten Interviews und recherchierten Studien zeigen jedoch, dass die Prävention in der Praxis nicht ausreichend stattfindet. In der Privatwirtschaft werden präventive Maßnahmen aufgrund hoher Kosten und der geringen Eintrittswahrscheinlichkeit einer Großstörung weitgehend abgelehnt. Auch die aktuellen staatlichen Maßnahmen laufen, aufgrund veralteter Gesetze und fehlender Konzepte für eine moderne Ernährungsnotfallvorsorge, ins Leere.

Wo bestehen die größten Defizite?

Maßnahmen werden nicht ausreichend vorbereitet, da es an Transparenz bezüglich der Verflechtungen, Bestände und Abhängigkeiten innerhalb des Lebensmittelversorgungssystems mangelt.

Konkrete, praktikable und zielgerichtete Maßnahmen sind aktuell kaum vorhanden, da diese, aufgrund der aus der Komplexität und Dynamik des Lebensmittelversorgungssystems resultierenden Intransparenz, nur schwer zu entwickeln sind. Vulnerabilitäten und resultierende Risiken müssen deshalb transparenter werden, um Prävention gezielter planen und dadurch Präventionskosten senken zu können. Dafür müssen Untersuchungsmethoden entwickelt werden, die Störungsauswirkungen verschiedener Szenarien simulieren und so kritische Szenarien sowie vulnerable Industrien und Regionen identifizieren können. Diese Methodik muss dabei das System der Lebensmittelversorgung in seiner Gesamtheit, inklusive verschiedener Charakteristika, korrekt abbilden, zeitliche Entwicklungen berücksichtigen, Szenarien simulieren können und vor allem nachvollziehbar sein.

3 Stand der Risikoforschung in Logistik, Transport und Verkehr

Nachdem der Forschungsbedarf im System der Lebensmittelversorgung aufgedeckt und die Zielstellung dieser Arbeit daraus abgeleitet wurde, wird in diesem Kapitel untersucht, ob diese Zielstellung und damit der Forschungsbedarf bereits durch bestehende Arbeiten erfüllt wird. Dazu werden Forschungsarbeiten, die sich mit Gefahren, Störungsauswirkungen, Vulnerabilitäten und Risiken in den Bereichen Transport, Logistik und Verkehr befassen, nach existierenden Modellen und Analysewerkzeugen durchsucht. Mit der Recherche wird im Supply-Chain-Risikomanagement begonnen, gefolgt vom verwandten Bereich der Humanitären Logistik. Anschließend werden Arbeiten vorgestellt, die sich mit Risikoanalysen in Verkehrsinfrastrukturen und Transportnetzwerken auseinandersetzen. Abschließend wird der aus diesen Recherchen resultierende Überblick über den aktuellen Stand der Risikoforschung mit der Zielsetzung dieser Arbeit abgeglichen und daraus der Modellbedarf abgeleitet. Dessen Erfüllung würde die Transparenz der Lebensmittelversorgung erhöhen sowie Risikomanagement und Gefahrenabwehr stärken.

3.1 Bestehende Forschungsarbeiten im Bereich Supply-Chain-Risikomanagement

In diesem Abschnitt werden Studien aus dem Bereich Supply-Chain-Risikomanagement präsentiert, welche die Vulnerabilitäts- und Risikobewertung anhand statischer Kennzahlen vornehmen, da diese die Grundlage für die Modellierung legen können. Anschließend werden Forschungsarbeiten vorgestellt, in denen die Ausbreitung von Störungen in Supply-Chains mit Modellen analysiert wird. Abschließend werden die Forschungsarbeiten anhand der Nutzbarkeit zur Erreichung des in dieser Arbeit gesetzten Zieles bewertet.

Kennzahlenbasierte Forschungsarbeiten

In der aktuellen Forschung beschäftigen sich Bode und Wagner (2015) mit der Frage, welche Eigenschaften einer Supply-Chain deren **Vulnerabilität** erhöhen. Mittels einer systematisch-empirischen Studie analysieren sie die Häufigkeit von Supply-Chain-Störungen in Abhängigkeit von Firmengröße, Firmenalter, Wettbewerbsintensität sowie horizontaler, vertikaler und räumlicher Supply-Chain-Komplexität. Ergebnis ist eine Quantifizierung der Wechselwirkungen zwischen den Einflussfaktoren und der Vulnerabilität, mit der horizontalen Supply-Chain-Komplexität als stärkstem Faktor.

Speziell um die Lebensmittelversorgung geht es bei der Arbeit von Vlajic, van der Vorst und Haijema (2012). Sie präsentieren ein integriertes Konzept für die Analyse und Gestaltung **robuster** Lebensmittel-Supply-Chains. Das Konzept besteht aus der Beschreibung des Ist-Zustandes sowie der Identifikation der wichtigsten Kennzahlen, der Sammlung möglicher Störereignisse, der Beurteilung der Leistungsrobustheit, der Identifikation von Schwachstellen und der Erarbeitung geeigneter Umgestaltungsstrategien.

Einen aktuellen Blick auf die Instrumente, die ein Unternehmen **resilient** machen, werfen Ambulkar, Blackhurst und Grawe (2015). Dabei sehen sie das Störfallmanagement als Teil des Risikomanagements als nicht ausreichend an, da dieses zwar bei kleinen Störfällen nützlich ist, für Großschadensereignisse jedoch keine passenden Maßnahmen bereithält und so falsche Sicherheit suggeriert. Stattdessen muss ein Unternehmen eine

Risikomanagementinfrastruktur besitzen, zu der auch ein Informationssystem zu kritischen Prozesskennzahlen gehört, sowie die Fähigkeit, Unternehmensressourcen neu zu konfigurieren. Für diese Instrumente entwickeln und operationalisieren sie in ihrer Studie ein Resilienz-Bewertungssystem. Das maximal mögliche Resilienz-niveau eines intermodalen Containernetzwerkes messen Miller-Hooks, Zhang und Faturechi (2012). Gleichzeitig bestimmen sie unter Berücksichtigung der Budget- und Servicebeschränkungen die optimale Zusammenstellung an Vorbereitungs- und Wiederherstellungsmaßnahmen, die zum Erreichen dieses Niveaus notwendig sind, indem sie das Problem als zweistufiges stochastisches Programm formulieren. Aufgrund der Rechenkomplexität ist dieses Vorgehen jedoch nur auf sehr kleine Netzwerke anwendbar.

Diese Arbeiten bilden mit der Identifikation von Vulnerabilitätstreibern sowie Maßnahmen zur Robustheits- und Resilienzerhöhung eine wichtige Grundlage. Allerdings werden einige Komplexitätsfaktoren wie Dynamik, Umwelt und Produktkomplexität nicht berücksichtigt. Da nur statische Indikatoren berücksichtigt werden, können kritische Kapazitäten und Pfade nicht umfassend identifiziert werden. Gerade die identifizierten Störszenarien und Vulnerabilitätstreiber zeigen, dass eine Quantifizierung von Störungsauswirkungen und Gegenmaßnahmen mittels Modellen notwendig ist. So sehen beispielsweise Vlajic, van der Vorst und Haijema (2012, S. 188) die Notwendigkeit, die qualitativen Zusammenhänge ihrer Studie mittels Modellierung zu quantifizieren.

Modellbasierte Forschungsarbeiten

Ein solches Modell präsentieren Carvalho u. a. (2012) mit ihrer Simulationsstudie, in der sie verschiedene Szenarien und Risikominderungsstrategien anhand einer realen portugiesischen Automobil-Supply-Chain evaluieren. Sie verwenden dafür Methoden der **ereignisorientierten Simulation**. Den Einfluss der Störungen messen sie anhand von Durchlaufzeit und Gesamtkosten.

Wilson (2007) untersucht den Einfluss von Transportunterbrechungen auf die Leistungsfähigkeit einer Supply-Chain mittels eines **System-Dynamics-Modelles** (vergleiche Unterabschnitt 4.2.2 ab Seite 52). Basierend auf dem Vergleich zwischen dem klassischen Supply-Chain-Management und einem Vendor-Managed-Inventory-System schlägt sie Maßnahmen zur Risikominderung vor, mit denen die Robustheit erhöht und damit die Auswirkungen einer Störung reduziert werden können. Mit dem Aufbau eines System-Dynamics-Modelles wählen Bueno-Solano und Cedillo-Campos (2014) einen ähnlichen Ansatz wie Wilson (2007), quantifizieren jedoch ihre Untersuchung. Sie analysieren und bewerten dynamisch, wie sich Störungen, die sich in Folge von Terrorismus ausbreiten, auf die Leistungsfähigkeit von grenzüberschreitenden Supply-Chains auswirken. Dadurch können Szenarien sowie risikomindernde und reaktive Maßnahmen wesentlich besser als in einer rein qualitativen Untersuchung bewertet werden. Darüber hinaus lassen sich mit dem Modell auch Effekte wie der Bullwhip-Effekt untersuchen, die aus dem Zusammenspiel von Lagerbestandsentwicklungen und Bestellmengen resultieren.

Nutzbarkeit für vorliegende Zielstellung

Wie im Supply-Chain-Risikomanagement zu erwarten war, beziehen sich die vorgestellten Modelle nur auf einzelne Supply-Chains. Damit können sie die Anforderung an die im gewünschten Modell abzubildende räumlich-wirtschaftliche Struktur nicht erfüllen. Die Modelle zeigen aber, dass die Szenario-Technik in Kombination mit verschiedenen Simulationsmethoden wie der ereignisgesteuerten Simulation oder System Dynamics zumindest auf Supply-Chain-Ebene sehr gut geeignet ist, um zeitliche Entwicklungen abzubilden. In der Analyse von Störungsauswirkungen von Großschadensereignissen auf Supply-Chain-übergreifende Netzwerke wird jedoch noch großer Forschungsbedarf gesehen (Bueno-Solano und Cedillo-Campos 2014, S. 11).

3.2 Forschungsarbeiten zum Thema Humanitäre Logistik

Wie schon im Supply-Chain-Risikomanagement existieren auch in der Forschung zum Thema Humanitäre Logistik zahlreiche Studien, in welchen die erfolgskritischen Faktoren realer Ereignisse zusammengetragen werden. Im folgenden Absatz wird ein Überblick über diese Studien gegeben. Anschließend werden Arbeiten genannt, in denen Modelle humanitärer Logistik vorgestellt werden. Abschließend wird auf den Forschungsbedarf eingegangen und diskutiert, inwieweit das hier entwickelte Modell die beschriebene Forschungslücke füllen kann.

Forschungsarbeiten zu kritischen Faktoren

Der größte Teil der Forschungsarbeiten umfasst Studien, welche die Besonderheiten der Humanitären Logistik herausstellen und die Faktoren qualitativ beschreiben, die die effektive akute Notfallreaktion erschweren oder bei richtiger Handhabung zum Erfolg führen können. Holguín-Veras, Pérez u. a. (2007) tun dies am Beispiel des Hurrikan Katrina, der im August 2005 New Orleans verwüstete. Thévenaz und Resodihardjo (2010) untersuchen ebenfalls die Reaktionen auf den Hurrikan Katrina sowie die auf den Tsunami, der Ende 2004 auf Indonesien traf. Gatignon, Van Wassenhove und Charles (2010) analysieren das Yogyakarta-Erdbeben, das 2006 Indonesien erschütterte. Oloruntoba (2010) nutzt für seine Analyse die Ereignisse um den Zyklon Larry, der im März 2006 Queensland bedrohte. Holguín-Veras, Taniguchi u. a. (2014) untersuchen die Faktoren am Beispiel des Tohoku-Erdbeben mit anschließendem Tsunami und daraus resultierender Nuklearkatastrophe in Fukushima im März 2011.

Verallgemeinerte Charakterisierungen der kritischen Faktoren finden sich bei Balcik, Beamon u. a. (2010) und Holguín-Veras, Jaller, Van Wassenhove u. a. (2012). Eine Typologie und einen Leistungsvergleich unterschiedlicher logistischer Strukturen entwickeln Holguín-Veras, Jaller und Wachtendorf (2012) anhand des Erdbebens in Port-au-Prince im Januar 2010.

Modellbasierte Forschungsarbeiten

Tufinkgi (2006, S. 3) merkt an, dass die bisherige Forschung zum Thema Katastrophenmanagement einen starken soziologischen Fokus hat und ökonomisch-technische Sichtweisen vernachlässigt. Darüber hinaus vermisst er Studien, welche die Logistikprozesse in Hilfeinsätzen mittels ökonomischer Ansätze zu optimieren versuchen. Um Katastrophenmanager bei ihrer Arbeit zu unterstützen, erstellt Tufinkgi (2006) ein Ablaufmodell, in dem alle logistischen Aufgaben und Aktivitäten veranschaulicht werden. Damit entsteht ein strukturierter Leitfaden zur besseren Planung von Bedarfserfassung, Transport, Feindistribution und weiteren Aufgaben, der beim Aufbau einer effektiven und effizienten Logistik helfen kann.

Quantitative Modelle finden sich dagegen nur selten. Rennemo u. a. (2014) entwickeln ein gemischt-ganzzahliges stochastisches Optimierungsmodell, welches in der Lage ist, die Probleme der Standort- und Tourenplanung simultan für verschiedene Szenarien zu lösen. Außerdem geben sie eine Übersicht über aktuelle Modelle, die sich mit der Distribution von Hilfsgütern, einschließlich der Standortwahl von Verteilzentren sowie der Tourenplanung, befassen. Jedoch weisen sie darauf hin, dass weitere Forschungsarbeiten benötigt werden, um die Humanitäre Logistik in Zukunft zu verbessern. Einen dynamischen Ansatz präsentieren Rawls und Turnquist (2012) mit ihrem stochastisch-dynamischen Allokationsmodell. Darin entwickelt sich die Nachfrage nach Hilfsgütern aufgrund von Bevölkerungsbewegungen in den ersten drei Tagen nach einem Großschadensereignis dynamisch. Um dem zu begegnen, müssen die Kapazitäten der Katastrophenhilfe präventiv angepasst werden, wofür das Allokationsmodell optimale Lösungen bestimmt.

Forschungsbedarf

Informationen über verfügbare Ressourcen sind in allen Phasen des Katastrophenmanagements von großer Bedeutung. Laut Starr und Van Wassenhove (2014), Gupta u. a. (2016) und Balcik, Bozkir und Kundakcioglu (2016) mangelt es den Forschungsarbeiten in diesem Bereich jedoch an zuverlässigen, umfassenden Daten. So halten Day u. a. (2012) die Verbesserung der Bedarfsschätzungen für eines der wichtigsten Themen im Supply-Chain-Management für Katastrophenhilfe. Weiteren Forschungsbedarf sehen Holguín-Veras, Jaller, Van Wassenhove u. a. (2012, S. 503 f.) bei der Entwicklung einer angemessenen Zielfunktion, den Bedarfsanforderungen, der Güterzusammenführung, der Berücksichtigung sozialer Aspekte, den Grundsätzen und Maßnahmen der öffentlichen Hand, den Entscheidungsstrukturen sowie bei den Instrumenten der Entscheidungsunterstützung. Mit Instrumenten der Entscheidungsunterstützung meinen sie dabei analytische Werkzeuge, die die Komplexität der unmittelbaren Reaktion auf Großschadensereignisse erfassen können. Dazu gehören neue Tourenplanungs- und Bestandszuteilungsmodelle, die Nichtversorgungskosten berücksichtigen können, sowie Werkzeuge zur gezielteren Bevorratung, besseren Planung der Verteilungspunkte, dynamischen Zuweisung von Ressourcen zur Güterzusammenführung und Einrichtung einer Entsorgungslogistik. Das Unwissen über die zeitliche Entwicklung des unmittelbaren Bedarfs sowie über die Versorgungsmöglichkeiten vor Ort und bald eintreffende Güter bezeichnen sie als ärgerlich. Um diese Wissenslücken zu schließen, fordern sie Forschung bezüglich Schätzungen des unmittelbaren Bedarfs der Bevölkerung nach einem Großschadensereignis, bezüglich kurzfristigen Prognosen des unmittelbaren Bedarfs zur Konfiguration der Bestellpolitiken sowie Forschung bezüglich der Nutzung von Fernerkundungstechnologien zur Lokalisierung der Hilfsbedürftigen und Bewertung des Zustandes des Verkehrsnetzes.

Nutzbarkeit für vorliegende Zielstellung

In der Forschung zum Thema Humanitären Logistik wird oft vom Vorhandensein entscheidender Informationen ausgegangen. Modelle und Konzepte werden entsprechend gestaltet. Wie aber bereits festgestellt wurde, mangelt es an zuverlässigen, umfassenden Daten (Starr und Van Wassenhove 2014; Gupta u. a. 2016; Balcik, Bozkir und Kundakcioglu 2016). Da grundlegende Informationen, beispielsweise zum Lebensmittelbedarf, nicht oder nur teilweise verfügbar sind, können viele der entwickelten Modelle nicht angewendet werden.

Stattdessen kann das Modell dieser Arbeit einen Teil dieses Informations- beziehungsweise Forschungsbedarfs decken, da es den Lebensmittelbedarf der Bevölkerung, Bestände und benötigte Transportkapazitäten zu jedem Zeitpunkt bestimmen kann. Es liefert damit wichtige Inputs für spezialisierte Modelle Humanitärer Logistik und leistet einen Beitrag zur Sicherung der Lebensmittelversorgung. Besonders interessant ist dabei die Berücksichtigung der privaten Einzelhandelsunternehmen, die einen großen Teil des gesamten Lebensmittelbestandes lagern. Zu deren Beständen sind bisher noch keine Informationen vorhanden, obwohl diese für die Bewertung regionaler Vulnerabilitäten unerlässlich sind. Dass sich die Berücksichtigung von in einer Region vorhandenen Beständen im Falle eines Großschadensereignisses positiv auf die Kosten und Reaktionszeiten auswirken würde, zeigen Acimovic und Goentzel (2016).

3.3 Risikoanalyse für Verkehrsinfrastruktur und Transportnetzwerke

Gibt es Störungen im Netzwerk der Verkehrsinfrastruktur, sind nicht nur einzelne Unternehmen betroffen, sondern alle Unternehmen und Verkehrsteilnehmer. Auch wenn Transportnetzwerke gestört werden, betrifft dies nicht nur das Transportunternehmen selbst, sondern auch dessen Kunden. Störungen könnten so massive Auswirkungen in diesen Netzwerken haben. Untersuchungen der Störungsauswirkungen und der Netzwerkvulnerabilität sind deswegen sehr wichtig. Dieser Abschnitt beleuchtet zuerst mikroskopische und anschließend makroskopische Modelle, die sich mit diesem Thema befassen.

Mikroskopische Modelle

Auf lokaler Ebene ist die Risikoanalyse mit Hilfe mikroskopischer Verkehrssimulationen schon weit fortgeschritten. So überprüfen Helbing u. a. (2005) mittels Experimenten und Videoaufnahmen bestehende Modelle, die sich mit der Dynamik von Fußgängerströmen in öffentlichen Bereichen wie Flughäfen, Brücken oder bei der Evakuierung von Schiffen beschäftigen. Einige Softwareprodukte, wie SUMO (Krajzewicz u. a. 2012) oder dessen Weiterentwicklung VABENE++ (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt 2013), werden sogar operativ bei Großereignissen und nach Katastrophen eingesetzt. Mit ihnen lassen sich in kleineren Untersuchungsgebieten intermodale Verkehrssysteme inklusive öffentlichen Verkehrsmitteln und Fußgängern modellieren, um unter anderem die Auswirkungen von neuen Umweltzonen, geänderten Lichtsignalanlagensteuerungen oder Störungen zu simulieren.

Mit mikroskopischen Verkehrssimulationen ist es möglich, die Ausbreitung von Störungsauswirkungen zeitlich abzubilden, solange der Untersuchungsraum nicht zu groß wird. Entscheidungen bezüglich Tourenbildung und Routenwahl können analysiert werden (Liedtke 2009, S. 808). So untersuchen Brock u. a. (2012) in ihrer Machbarkeitsstudie die Auswirkungen von Infrastrukturstörungen auf ein einzelnes Distributionsnetzwerk, indem sie dessen Tourenplanungssoftware mit einem Verkehrssimulationsmodell kombinieren. Damit messen sie die Leistung von Tourenplänen in unterschiedlichen Stör-Szenarien als auch im ungestörten Netzwerk anhand verschiedener Kriterien, wie Fahrzeit, Transportentfernung und durchschnittlicher Auslastung pro Fahrzeug. Änderungen in Lieferanten- und Kundenbeziehungen sowie Geschäftsabläufen werden dabei nicht berücksichtigt, da der Betrachtungszeitraum meist nur einige Stunden umfasst. Auch mittels Methoden der ereignisgesteuerten Simulation und System-Dynamics können Auswirkungen von Störungen in ihrer zeitlichen Abfolge simuliert werden. Allerdings ist auch hier die Anzahl der individuell abbildbaren Akteure begrenzt, weswegen diese Methoden zwar häufig für Analysen von Supply-Chains und in Netzwerken genutzt werden, sich jedoch in dieser Form nicht auf die gesamte Lebensmittelversorgung in Deutschland ausdehnen lassen.

Makroskopische Modelle

Um große Untersuchungsräume analysieren zu können, müssen makroskopische Modelle verwendet werden. Dabei sind bestimmte Beschränkungen zu beachten. So muss bei diesen Modellen berücksichtigt werden, dass Daten nicht einfach verfügbar sind und Genauigkeit durch Vereinfachungen, Annahmen und Datenaggregation verloren geht. Die folgenden Absätze geben einen Überblick über die Bandbreite aktueller Forschung.

Ein Beispiel für die makroskopische Vulnerabilitätsbewertung ist die Arbeit von Jenelius, Petersen und Mattsson (2006). Sie haben verschiedene Kennzahlen zur Standortgefährdung und Kritikalität von Verbindungen erarbeitet, um die Zuverlässigkeit beziehungsweise Vulnerabilität beliebig großer, kritischer Verkehrsinfrastrukturen quantitativ zu bewerten. Sie basieren auf dem Anstieg der Gesamtreisekosten beim Ausfall einzelner Verbindungen. Die Kennzahlen können beispielsweise zur Priorisierung der Wiederherstellung nach Störungen sowie als Orientierung bei der Baustellenplanung genutzt werden. Das dynamische Verhalten komplexer Netzwerke kann mit einzelnen Kennzahlen allein aber nicht erfasst werden. Dafür werden andere Modelle benötigt.

Murray-Tuite und Mahmassani (2004) formulieren ein Modell, in dem sich zwei Akteure in der „Gestaltung“ des Transportnetzes gegenüberstehen. Das Verkehrsmanagement als erster Akteur legt Fahrzeuge optimal auf das Transportnetz um. Gegenspieler ist eine „böse Macht“, die ausgestattet mit einem festen Budget bewusst versucht den größtmöglichen Schaden im Netz anzurichten. Dazu bestimmt sie einen Vulnerabilitätsindex für alle Verbindungen des Netzes, der sich aus verfügbaren Alternativpfaden, Überkapazitäten sowie Fahrzeiten berechnet und greift die Verbindungen an, auf die potentiell die meisten Fahrzeuge umgelegt werden.

Über die Untersuchung des Verhältnisses zwischen Aufkommen und Kapazität gehen Scott u. a. (2006) mit ihrer Analyse hinaus, da sie davon ausgehen, dass diese Methode nur zu lokalen Lösungen führt. Sie entwickeln stattdessen einen Netzwerk-Robustheits-Index, der sich aus Netzwerkströmen, Verbindungskapazitäten und der

Netzwerkstruktur berechnet. Damit können die anfälligsten Netzwerkverbindungen identifiziert werden, was Entscheider in die Lage versetzt, Planungen speziell für den Ausfall dieser Verbindungen vorzubereiten oder diese Abschnitte besser überwachen zu lassen.

Störungen und Vulnerabilitäten in Netzwerken können auch mit Methoden des Operations Research untersucht werden. Baghalian, Rezapour und Farahani (2013) geben dazu eine Übersicht und entwickeln selbst ein stochastisch-mathematisches Modell, das kapazitive Produktionsanlagen, Distributionszentren und Einzelhändler umfasst. Die Akteure agieren auf einem Markt, der Unsicherheiten sowohl auf der Angebots- als auch der Nachfrageseite abbildet. Das Modell wird als gemischt-ganzzahliges nichtlineares Problem formuliert und optimiert. Weitere Quellen von Unsicherheiten, wie zum Beispiel Wechselkurse, Reisezeiten, Transportkosten und Rücknahmelogistik, werden allerdings bisher noch nicht berücksichtigt (Baghalian, Rezapour und Farahani 2013, S. 213).

Erath (2011) entwickelt eine Methodik, mit der er die Kosten abschätzen kann, die Straßennutzern aufgrund von Störungen im Straßennetz entstehen. Die Berechnung erfolgt dabei unter anderem in Abhängigkeit von Straßentyp, Netzdichte und der Verkehrsnachfrage im Normalfall. Eine ähnliche Arbeit präsentiert Schulz (2011). Der Fokus der Arbeit liegt jedoch nicht auf den direkten Mehrkosten der Verkehrsteilnehmer, sondern auf den indirekten Kosten, die aus der verschlechterten Nutzbarkeit der Straße sowie den wirtschaftlichen Konsequenzen für die betroffenen Verkehrsteilnehmer entstehen. Je höher die indirekten Kosten beim Ausfall eines Straßenabschnittes sind, desto höher ist auch dessen Kritikalität. Zur Bestimmung der Kosten entwirft sie ein Transportmodell, das bei der Verkehrsmittel- und Zielwahl auch die Dauer der Störung berücksichtigt.

Die Veröffentlichung von Burgholzer u. a. (2012) beschreibt ein ereignisgesteuertes, agentenbasiertes, intermodales Verkehrsmodell, welches die Auswirkungen von Störungen auf den aktuellen Verkehr mikroskopisch simuliert. Mit diesem Modell identifizieren sie kritische Verbindungen im österreichischen Transportnetzwerk und bestimmen die Kritikalität des Gesamtnetzes. Die Bestimmung kritischer Verbindungen erfolgt dabei über die Wahl von Alternativrouten, welche die simulierten Verkehrsteilnehmer im Falle einer Störung aufgrund der Transportzeitverzögerungen wählen.

Speziell auf Lebensmittel bezieht sich die Arbeit von Higgins u. a. (2015). Sie untersuchen die Vulnerabilität des Transportsystems der australischen Rindfleischindustrie, die durch besonders lange Transportwege gekennzeichnet ist. Dafür entwickeln sie TRANSIT (Transport Network Strategic Investment Tool), das auf Basis von Eigenschaften des Straßenverkehrsnetzes, geltender Regularien, Fahrzeugtypen und Quell-Ziel-Verkehren mit Funktionen eines Geoinformationssystems die optimalen Transportkosten für verschiedene Szenarien berechnet. Sie wollen damit die Auswirkungen von Investitionen in Infrastruktur und Lagerhaltung sowie von Änderung von Verkehrspolitiken abschätzen. Eine besondere Stärke von TRANSIT ist die feine räumliche Auflösung, die es trotz des großen Untersuchungsraumes ermöglicht, Zugangsbeschränkungen für alle Standorte zu berücksichtigen.

Nutzbarkeit für vorliegende Zielstellung

Indem die vorgestellten Modelle die Auswirkungen von Störungen für Netzwerke aufzeigen, motivieren sie Entscheidungsträger, Vulnerabilität beim Ausbau der Transportnetzwerke und Verkehrsinfrastruktur zu berücksichtigen. Außerdem können sie bei der Priorisierung von Maßnahmen als Entscheidungsunterstützung genutzt werden (Murray-Tuite und Mahmassani 2004, S. 95; Burgholzer u. a. 2012, S. 6; Higgins u. a. 2015, S. 41). Jedoch decken sie nur die letzten beiden Stufen des klassischen 4-Stufen-Ansatzes der Verkehrsnachfragemodellierung ab: die Verkehrsträgerwahl und die Verkehrsumlegung (siehe Abschnitt 4.1 ab Seite 49). Die ersten beiden Schritte, Verkehrserzeugung und Verkehrsverteilung, bleiben unberücksichtigt. Dies ist für Ausweichverkehre sinnvoll, solange sich die Quell-Ziel-Paare nicht ändern. Bei Störungen der Nahrungsmittelversorgung kommt es aber auch zu Veränderungen in der Verkehrsverteilung sowie in Produktion und Verbrauch. Eine Erweiterung der makroökonomischen Methoden um logistische Details ist notwendig. Außerdem wurde die Entwicklung von Netzwerken im zeitlichen Verlauf bisher nur selten analysiert (Gudehus 2005, S. 576).

So ist auch das TRANSIT-Modell, welches den hier aufgestellten Zielen am nächsten kommt, nicht ausreichend. Es erfüllt zwar die räumlichen Anforderungen, kann verschiedene Szenarien abbilden und soll in Zukunft noch erweitert werden, um die gesamte Lebensmittelversorgung abbilden zu können (Higgins u. a. 2015, S. 41). Jedoch bleiben die wirtschaftlichen Verflechtungen innerhalb der Lebensmittelwirtschaft unberücksichtigt. Außerdem ist die Inklusion eines zeitlichen Verlaufs, welcher die Untersuchung der Zusammenhänge von saisonalen Ereignissen wie Ernten und Überflutungen ermöglichen würde, ebenfalls nicht geplant.

3.4 Abgeleiteter Modellbedarf

Aus der zusammengetragenen Literatur wird deutlich, dass viele Ansätze zur qualitativen Analyse von Risiken existieren sowie Modelle, die zur quantitativen Analyse genutzt werden können, solange sich Dynamik und Komplexität des betrachteten Systems in Grenzen halten (Abbildung 3.1). Der Überblick zeigt, dass in der aktuellen Risikoforschung noch Bedarf nach einem Modell besteht, welches den Anforderungen dieser Arbeit entspricht. Damit bleibt der in Abschnitt 2.3 (ab Seite 26) festgestellte Forschungsbedarf bestehen.

Tabelle 3.1: Modellüberblick Risikoforschung

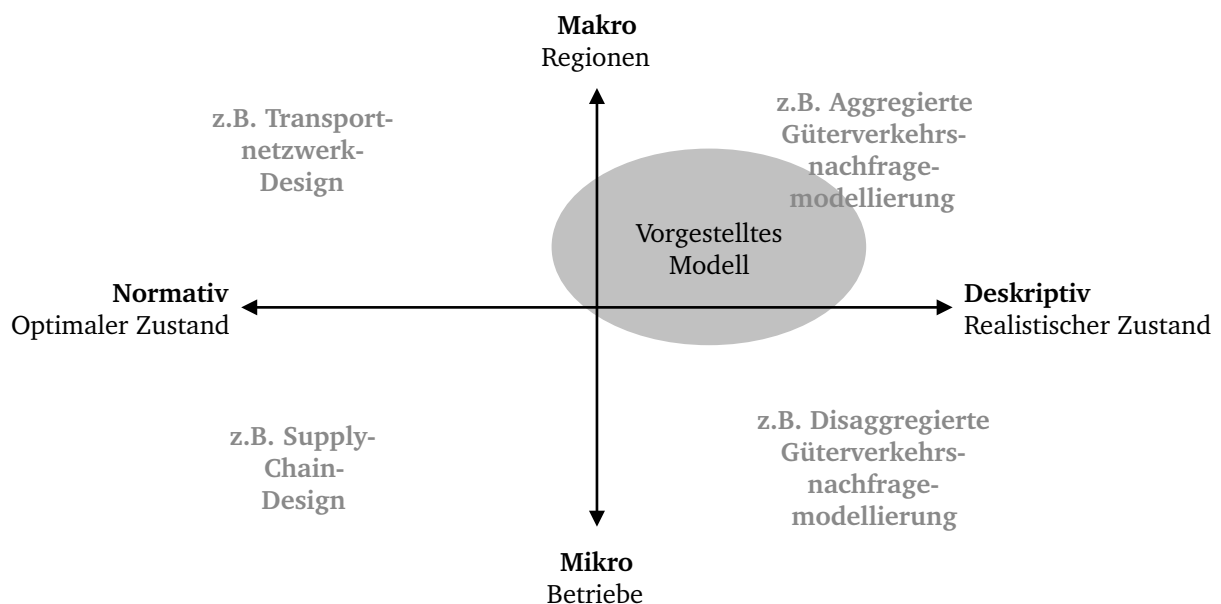
	Veröffent- lichung	Ansatz	Anforderungen			
			Räumlicher Modellumfang	Wirtschaftliche Strukturierung	Zeitliche Dimension	Möglichkeit der Szenarioanalyse
Supply-Chain- Risikomanagement	Carvalho u. a. (2012)	Ereignis- gesteuerte Simulation	Einzelne Supply-Chain	Automobil- industrie	Durchlauf- zeiten	Szenarien und Risikominderungs- strategien
	Wilson (2007)	System Dynamics	Einzelne Supply-Chain	Hypothetische dreistufige Supply-Chain	Bestands- entwick- lungen	Szenarien und Risikominderungs- strategien
	Bueno- Solano und Cedillo- Campos (2014)	System Dynamics	Einzelne grenzüber- schreitende Supply-Chain	Automobil- industrie	Bestands- entwick- lungen	Szenarien und Risikominderungs- strategien
Humanitäre Logistik	Rawls und Turnquist (2012)	Stochastisches dynamisches Allokations- modell	Einzelne humanitäre Supply-Chain in North Carolina	Ein Hilfsgut	Nachfrage- entwicklung über drei Tage	Optimierte Kapazitäts- und Bestandsplanung in verschiedenen Szenarien
	Rennemo u. a. (2014)	Gemischt- ganzzahliges stochastisches Optimierungs- modell	Einzelne humanitäre Supply-Chain in hypothe- tischem Gebiet der Größe Haitis	Ein Hilfsgut	-	Optimierung eines Distribu- tionsnetzwerks in verschiedenen Szenarien

	Veröffent- lichung	Ansatz	Anforderungen			
			Räumlicher Modellumfang	Wirtschaftliche Strukturierung	Zeitliche Dimension	Möglichkeit der Szenarioanalyse
Transportnetzwerke und Verkehrsinfrastruktur	Brock u. a. (2012)	Verkehrssimulation	Einzelnes Distributions- netzwerk	-	Dynamische Fahrzeiten	Einzelne Infrastruktur- störungen
	Jenius u. a. (2006)	Kürzeste Pfade eines Netzwerkes nach Dijkstra	Subnationale Verkehrs- infrastruktur Nordschweden	-	-	Einzelne Infrastruktur- störungen
	Murray-Tuite und Mahmassani (2004)	Optimale Verkehrs- umlegung vs. maximale Netzwerk- unterbrechung	Hypothetische Verkehrs- infrastruktur	-	Feste Fahrzeiten	Einzelne Infrastruktur- störungen
	Scott u. a. (2006)	Verkehrs- umlegung nach Benutzer- gleichgewicht	Hypothetische Verkehrs- infrastruktur	-	-	Einzelne Infrastruktur- störungen
	Baghalian u. a. (2013)	Gemischt- ganzzahlige nichtlineare Optimierung	Hypothetische Verkehrs- infrastruktur	-	Feste Fahrzeiten	Einzelne Infrastruktur- störungen
	Erath (2011)	Statistische Strecken- typologisierung	Nationale Verkehrs- infrastruktur Schweiz	-	-	Einzelne Infrastruktur- störungen
	Schulz (2011)	Logit-basiertes Transport- modell	Subnationale Verkehrs- infrastruktur Baden- Württemberg	-	Feste Fahrzeiten	Einzelne Infrastruktur- störungen
	Burgholzer u. a. (2012)	Ereignis- gesteuerte, agenten- basierte, intermodale Verkehrs- simulation	Nationale Verkehrs- infrastruktur Österreich	-	Dynamische Fahrzeiten	Einzelne Infrastruktur- störungen
	Higgins u. a. (2015)	Optimale Verkehrs- umlegung	Subnationale Verkehrs- infrastruktur Nordaustralien	Rindfleisch- verarbeitung	-	Szenarien und Risikominderungs- strategien

Um Auswirkungen von Szenarien und Maßnahmen in Bezug auf den Gütertransport analysieren zu können und damit den Forschungsbedarf zu decken, sind laut Liedtke und Friedrich (2012, S. 1336) Güterverkehrsmodelle erforderlich. Um die Ziele dieser Arbeit zu erfüllen, muss demnach ein neues Güterverkehrsmodell entwickelt werden. Zur Einordnung dieses angestrebten Modells muss zuerst der Unterschied zwischen normativer und deskriptiver Modellbildung sowie zwischen mikroskopischer und makroskopischer Modellierung herausgestellt werden.

Mit der **normativen Modellbildung** wird ein optimaler Zustand beschrieben, der als Ziel einer Planung dient. Mit der **deskriptiven Modellbildung** wird dagegen Realität abgebildet. Die daraus entstehenden deskriptiven Modelle beschreiben bestehende und darüber hinaus auch zukünftige, nicht gestaltbare Zustände (Marxer und Wittmann 2009). Sie werden vor allem für Prognosezwecke eingesetzt. Da die Lebensmittelversorgung nicht optimiert, sondern möglichst realitätsnah abgebildet werden soll, muss das in dieser Arbeit beschriebene Modell ein deskriptives Modell sein (Abbildung 3.1). Es enthält aber auch normative Elemente, da bei der Auswirkungsanalyse von Szenarien, das mittels Optimierung bestimmte, bestmögliche Auskommen als normatives Ziel für die Prävention angesehen werden kann.

Abbildung 3.1: Einordnung des vorgestellten Modells nach (Davydenko 2015, S. 2)



Da die Logistiksysteme der Lebensmittelhändler, wie in Unterabschnitt 2.1.1 (ab Seite 5) beschrieben, einen wesentlichen Teil der Lebensmittelversorgung ausmachen, sollte das Modell diese explizit abbilden. Dies ist in einem dynamischen Güterverkehrsmodell, das die tägliche Entwicklung von Beständen, Produktion, Konsum und Lieferantenbeziehungen in einzelnen Regionen eines nationalen Untersuchungsraumes simulieren soll, weder mit reiner **Mikro-** noch **Makromodellierung** möglich. In Mikro-Modellen werden Akteure und deren Entscheidungen einzeln abgebildet. Das ist für ein Modell, das die gesamte deutsche Lebensmittelversorgung mit mehr als 700.000 Betrieben abbilden soll, aus Gründen der Komplexität und Datenverfügbarkeit jedoch nicht möglich. Wird die gesamte Wirtschaft eines Untersuchungsraumes mit all ihren Handels- und Verkehrsflüssen zwischen Akteursgruppen, Regionen und Sektoren abgebildet, spricht man von Makro-Modellen. Das Verhalten einer Akteursgruppe wird dabei aus der Summe der Geschäftsaktivitäten aller Akteure in dieser Gruppe abgeleitet. Die Akteursgruppen und Regionen sind durch Mengen von Güterflüssen verbunden (Friedrich 2010, S. 14-19). In einem solchen Makro-Modell können jedoch wesentliche Charakteristika der Lebensmittelversorgung, wie die Logistikstrukturen der Handelszentralen, nicht abgebildet werden.

Es muss deshalb ein Modell entwickelt werden, welches ausgehend von der nationalen Makro-Perspektive so weit ins Detail geht, dass die einzelnen Logistikstrukturen mit mehreren Lagern und einer Vielzahl an Filialen gerade noch abgebildet werden können. Liedtke und Friedrich (2012) bezeichnen Modelle, die logistische Strukturen beinhalten und damit zwischen der Mikro- und Makro-Ebene liegen, als **Meso-Modelle**. Sie bestätigen, dass in der sogenannten Mikro-Makro-Lücke noch ein Mangel an Forschungsarbeiten besteht.

Die Detaillierung des Lebensmittelversorgungsmodells erfolgt in dieser Arbeit durch die Sammlung disaggregierter Informationen zu den Logistiksystemen der Handelszentralen und der Bestimmung der Güterflüsse zwischen Lagern und Filialen mittels Optimierung. Daraus entsteht ein Modell, das zwischen der klassischen Mikro- und Makro-Perspektive einzuordnen ist und den Einfluss von Logistikstrukturen auf die Versorgungssicherheit abschätzen kann (Abbildung 3.1).

Neben einem Mangel an Details weisen existierende makroskopische Modelle aber noch eine weitere Schwäche auf: In den meisten Güterverkehrsnachfrage-Modellen werden die Güterflüsse aus Komplexitätsgründen als konstant angenommen (Liedtke 2006; Ben-Akiva und de Jong 2008). Das ist für die Risikoanalyse, bei der Bestands- und Kapazitätsentwicklungen tagesgenau bestimmt werden sollen, nicht angebracht. Ein neues Vorgehen wird benötigt. Deswegen werden im folgenden Kapitel 4 die verschiedenen Methoden der Güterverkehrsmodellierung vorgestellt, um deren Potential zur Modellierung dynamischer, mesoskopischer Güterflüsse zu ermitteln.

3.5 Zwischenfazit

Existieren in der aktuellen Risikoforschung bereits Methoden, mit denen räumlich-wirtschaftliche Verflechtungen und zeitliche Verläufe im Lebensmittelversorgungssystem analysiert werden können?

Sowohl in der allgemeinen als auch in der speziell auf die Lebensmittelversorgung ausgerichteten Risikoforschung existieren Arbeiten, welche Analysen der Verflechtungen und zeitlichen Verläufe erlauben, jedoch beschränkt auf qualitative Analysen oder einzelne Subsysteme.

In der aktuellen Literatur existieren zahlreiche Arbeiten, die sich mit Risiken im System der Lebensmittelversorgung auseinandersetzen oder deren Vorgehen auf die Lebensmittelversorgung übertragbar ist. Die Arbeiten beschränken sich jedoch auf qualitative Analysen oder Subsysteme, wie einzelne Unternehmen, Supply-Chains oder Regionen. Risiken, die aus der Dynamik und Komplexität des gesamten Lebensmittelversorgungssystems entstehen, können bisher nicht umfassend analysiert werden. Auswirkungen von Großschadensereignissen und anderen Störungsszenarien können nur sehr begrenzt nachvollzogen werden. Um vulnerable Industrien und Regionen sowie kritische Szenarien und Zeitpfade identifizieren zu können, ist ein quantitatives, dynamisches Güterverkehrsmodell notwendig.

4 Beschreibung geeigneter Methoden der Güterverkehrsmodellierung

In diesem Kapitel wird die Güterverkehrsmodellierung mit ihren Ausgestaltungsmöglichkeiten behandelt. Ziel des Kapitels ist es, die Grundlagen der Güterverkehrsmodellierung kurz zu umreißen und das Potential der verschiedenen Methoden und Modelle zur Erreichung des Ziels dieser Arbeit aufzuzeigen. Dabei werden auch Methoden und Modelle berücksichtigt, die zwar für andere Zwecke, wie Marktanalysen oder Prognosen, entwickelt wurden, aber für die Risikoanalyse in der Lebensmittelversorgung eingesetzt werden könnten. Das Kapitel beginnt mit der Darstellung des allgemeinen Aufbaus der klassischen Güterverkehrsmodellierung. Es folgt die Beschreibung von Methoden und Modellen für die ersten zwei Modellierungsschritte: Verkehrserzeugung und Verkehrsverteilung. Dies wird ergänzt um kombinierte Ansätze sowie Methoden zur Modellierung logistischer Details. Abschließend wird begründet, welche Modellierungsmethoden zur Erstellung des in dieser Arbeit zu entwickelnden dynamischen Güterflussmodells ausgewählt, erweitert und kombiniert werden.

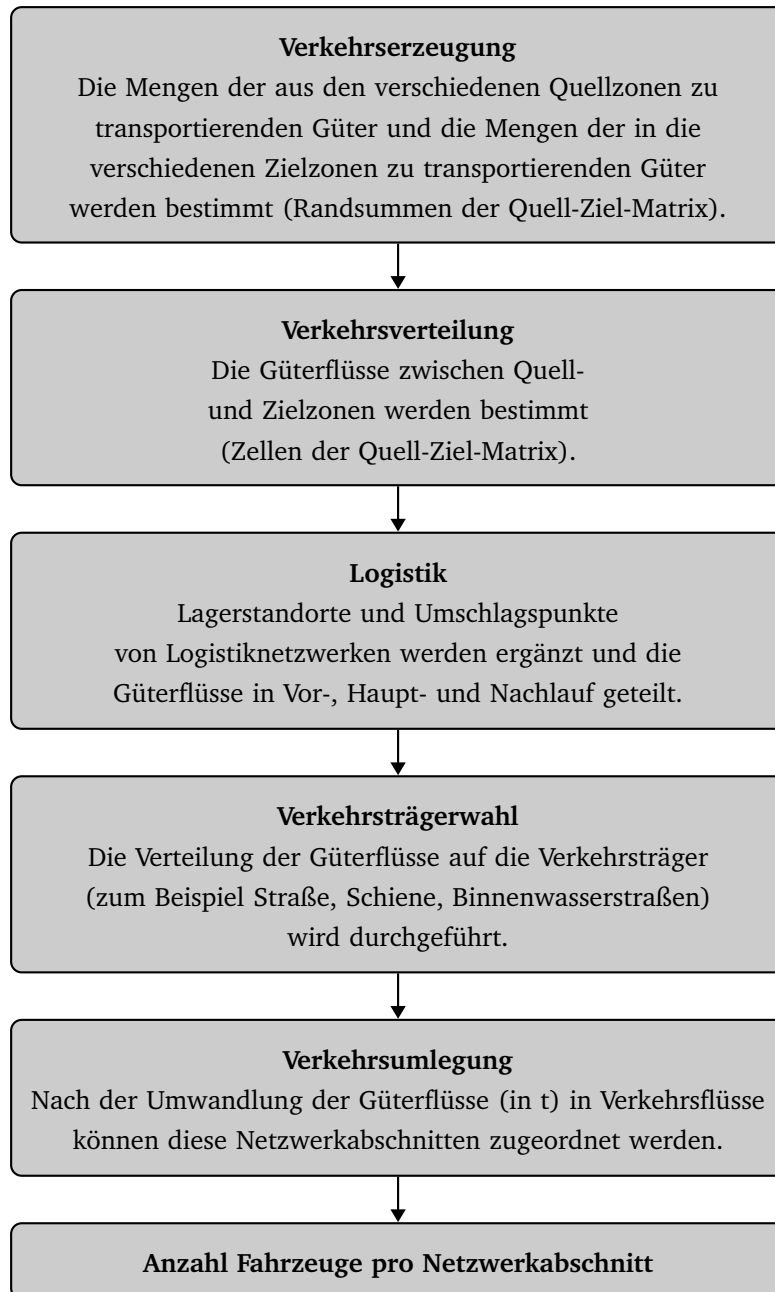
4.1 Güterverkehrsmodellierung

Basis für die meisten Güterverkehrsmodelle ist der **klassische 4-Stufen-Ansatz**, der für die Modellierung von Personenverkehr entwickelt wurde (Martin, Memmott und Bone 1961; Manheim 1979). Er umfasst die Stufen Verkehrserzeugung, Verkehrsverteilung, Verkehrsmittelwahl und Verkehrswegewahl. In der Stufe der Verkehrserzeugung wird das Quell- und Zielaufkommen für alle betrachteten Verkehrszellen bestimmt. Ergebnis der ersten Stufe sind somit die Randsummen der Verflechtungsmatrix, die in der zweiten Stufe gefüllt wird. Zum Befüllen der Matrix muss bestimmt werden, wie sich der Verkehr verteilt. Dabei müssen die Randsummen der erarbeiteten Verflechtung den Quell- und Zielaufkommen der einzelnen Regionen entsprechen. Die Berechnung erfolgt mittels eines Verteilungsmodells, wie beispielsweise dem Gravitationsmodell. Welche Verkehrsträger die verschiedenen Personen nutzen, wird im dritten Schritt modelliert. Hier wird die Gesamtverflechtungsmatrix auf die Verflechtungsmatrizen für die einzelnen Verkehrsträger aufgeteilt, wobei die Entscheidung für einen bestimmten Verkehrsträger von den anfallenden Kosten, der Entfernung und der Erreichbarkeit abhängt. Letzte Stufe des klassischen 4-Stufen-Ansatzes ist die Verkehrswegewahl, in der die Verkehrsverflechtungen auf die Infrastrukturnetze der einzelnen Verkehrsträger umgelegt werden.

Eine **Übertragung des 4-Stufen-Ansatzes auf den Güterverkehr** zeigen de Jong, Gunn und Walker (2004, S. 104-106). Trotz der Änderung der Stufen-Bezeichnungen bleibt das Vorgehen im Prinzip gleich. Dieses Vorgehen ist jedoch für die Modellierung des Güterverkehrs eher ungeeignet. Denn im Unterschied zum Personenverkehr sind beim Güterverkehr in der Regel mehrere Akteure, wie Versender, Spediteure, Transporteure, Fahrer und Empfänger, an einer Transportentscheidung beteiligt (Gudehus 2005, S. 7 f.). Die Entscheidungen dieser Logistik-Akteure werden im klassischen 4-Stufen-Ansatz nicht berücksichtigt. Darüber hinaus können Wechselwirkungen zwischen den Modellierungsschritten, wie beispielsweise Routenänderungen aufgrund von Staus auf den ursprünglich geplanten Routen, im sequenziellen Ansatz nicht abgebildet werden (Ottemöller und Friedrich 2016, S. 10). Um

logistische Entscheidungen abbilden zu können, ergänzen Tavasszy, Ruijgrok und Davydenko (2012) den 4-Stufen-Ansatz um eine Logistik-Stufe (Abbildung 4.1). Dies ermöglicht eine genauere Modellierung von Verkehrsflüssen sowie die Beschreibung von Verkehrsflussänderungen, die aus Veränderungen im Logistiksystemen resultieren.



Abbildung 4.1: Erweiterter 5-Stufen-Ansatz der Güterverkehrsmodellierung in Anlehnung an de Jong, Gunn und Walker (2004, S. 105) und Tavasszy, Ruijgrok und Davydenko (2012)



Der erweiterte 5-Stufen-Ansatz kann mit Hilfe unterschiedlicher Methoden und Modelle ausgestaltet werden (Abbildung 4.2). Sie decken dabei unterschiedlich viele Stufen der Güterverkehrsmodellierung ab und besitzen je nach Typ und Anwendung bestimmte Vor- und Nachteile. Mit einigen dieser Modelle ist es möglich, die Probleme des sequentiellen Vorgehens zu überwinden, da sie mehrere Stufen gleichzeitig behandeln.

Abbildung 4.2: Übersicht über Herausforderungen und Methoden in der Güterverkehrsmodellierung nach Tavasszy (2008, S. 49) ergänzt um de Jong, Gunn und Walker (2004, S. 106-115)

Ebene	Typische Herausforderungen der Modellierung	Häufig genutzte Methoden und Modelle der Güterverkehrsmodellierung			
Verkehrserzeugung	<ul style="list-style-type: none"> • Verkehrserzeugung und Standorte • Verknüpfung von Wirtschaftsleistung und Frachtaufkommen • Konsumverhalten 	<ul style="list-style-type: none"> • LUTI-Modelle • SCGE-Modelle • MRIO-Modelle 	<ul style="list-style-type: none"> • Allgemeine Verkehrserzeugungsmodelle • System-Dynamics-Modelle • Input-Output-Modelle 		<ul style="list-style-type: none"> • Agentenbasierte Simulationsmodelle
Verkehrsverteilung	<ul style="list-style-type: none"> • Internationaler Handel • Umrechnung von monetären Werten in Massen und Mengen 		<ul style="list-style-type: none"> • Synthetische Quell-Ziel-Modelle • Gravitationsmodelle 		
Logistik	<ul style="list-style-type: none"> • Lagerstandorte • Aspekte des Supply-Chain-Management 	<ul style="list-style-type: none"> • Logistics-Choice-Modelle 	<ul style="list-style-type: none"> • Hyper-Netzwerke 		
Verkehrsträgerwahl	<ul style="list-style-type: none"> • Wahl des Verkehrsträgers • Internationale Transporte • Volumentransporte 	<ul style="list-style-type: none"> • Faktorenbasierte Fahrtenumrechnung • Discrete Choice-Modelle 	<ul style="list-style-type: none"> • Multimodale Netzwerke • Super-Netzwerke 		
Verkehrsumlegung	<ul style="list-style-type: none"> • Wegewahl und Verkehrsüberlastungen • Tourenplanung • Zufahrtsbeschränkungen in Städten 	<ul style="list-style-type: none"> • Verkehrsumlegung • Simulation 			

	Berücksichtigung in dieser Arbeit
	Teilweise Berücksichtigung in dieser Arbeit

In dieser Arbeit stehen die dynamischen Güterflüsse zwischen den Regionen im Fokus. Zur Bestimmung dieser Güterflüsse müssen nur die ersten drei Stufen bearbeitet werden. Deswegen wird im folgenden Abschnitt nur auf die in diesen Stufen eingesetzten Methoden und Modelle eingegangen. Methoden und Modelle, die bei der dynamischen Modellierung von Güterflüssen zur Analyse von Risiken von Nutzen sein können, werden dabei genauer beschrieben. Auf Verkehrsträgerwahl und -umlegung wird verzichtet.

4.2 Methoden und Modelle zur Verkehrserzeugung

In diesem Abschnitt werden die verschiedenen Methoden und Modelle vorgestellt, die in der Güterverkehrsmodellierung zur Erzeugung des Verkehrs beziehungsweise des Güterverkehrsaufkommens und Konsums eingesetzt werden. Begonnen wird mit Verkehrserzeugungsmodellen, gefolgt von System-Dynamics-basierten Modellen und Input-Output-Modellen.

4.2.1 Allgemeine Verkehrserzeugungsmodelle

Verkehrserzeugungsmodelle schätzen das Güterverkehrsaufkommen und den Konsum über sektorübergreifende Daten, die Einfluss auf das Güterverkehrsaufkommen haben. Zu diesen sektorübergreifenden Daten gehören beispielsweise sozioökonomische Werte wie die Größe der Bevölkerung, die Zahl der Arbeitsplätze, der Anteil der landwirtschaftlich genutzten Fläche oder die Anzahl an Fahrzeugen in einer Zone (de Jong, Gunn und Walker 2004, S. 106 f.; Beagan, Fischer und Kuppam 2007, S. 4-2 f.).

Eine aktuelle Übersicht über Verkehrserzeugungsmodelle findet sich bei Holguín-Veras, Jaller, Sánchez-Díaz u. a. (2014, S. 44-47). Ein Beispiel für eine Forschungsarbeit mit Lebensmittelbezug liefern Márquez, Cantillo und Paternina (2017). Sie entwerfen ein elastisches Güterverkehrsaufkommensmodell für landwirtschaftliche Produkte in Kolumbien, um Infrastrukturprojekte bewerten zu können. Sie kalibrieren ihr Modell mit Hilfe neu eingeführter Zugänglichkeitsvariablen, die sie unter anderem aus Lage, Bevölkerungsgröße und Absatzpotential der Anbauregionen ableiten, und erhöhen so die Genauigkeit und die Elastizität des Modells. Dadurch können sie die Auswirkungen der neuen Verkehrsinfrastruktur auf die Entwicklung der landwirtschaftlichen Anbauregionen analysieren und so die Bewertung der Infrastrukturprojekte in Vergleich zu bisher verwendeten Modellen verbessern.

Verkehrserzeugungsmodelle haben nur geringe Datenanforderungen, aber auch nur eine begrenzte Aussagekraft (de Jong, Gunn und Walker 2004, S. 109). Trotzdem können sie eingesetzt werden, um Produktion und Konsum der Lebensmittel in den einzelnen Regionen Deutschlands abzuschätzen.

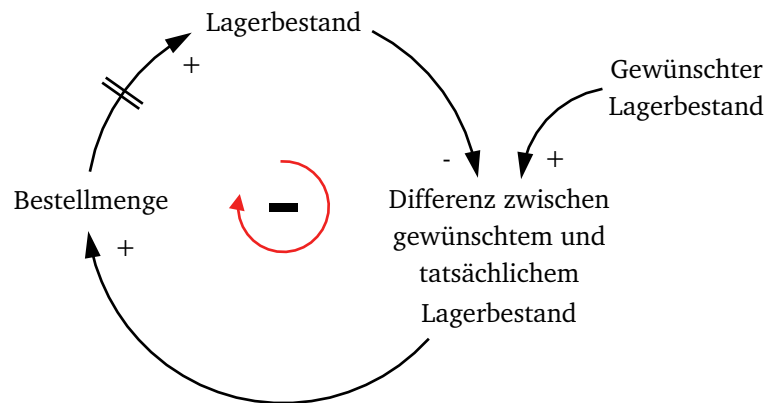
4.2.2 System Dynamics

System Dynamics wurde Ende der 1950er Jahre von Forrester (1961) zum Verständnis des nichtlinearen Verhaltens komplexer Probleme entwickelt. Ziel ist es, die grundlegende Struktur eines Systems offenzulegen und damit dessen mögliches Verhalten abschätzen zu können.

Grundlagen

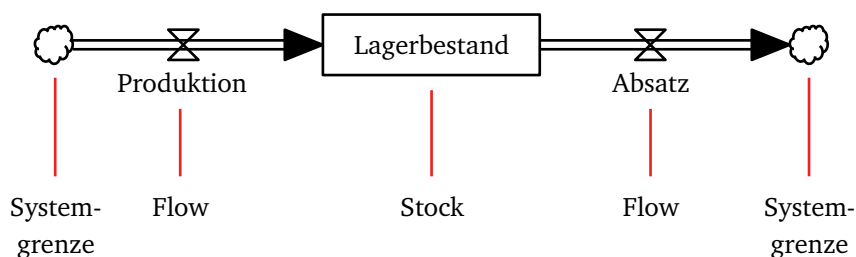
Kern der Methodik ist das Nachempfinden der Interaktion zwischen den einzelnen Systemelementen. Besonderes Charakteristikum sind dabei die geschlossenen Wirkungsketten, die auch als Rückkopplungsschleifen (Causal loops) bezeichnet werden. Innerhalb dieser Rückkopplungsschleifen interagieren die Systemelemente so, dass Änderungen an einer Variablen im Laufe der Zeit andere Variablen beeinflussen und die Ausgangsvariable so auf sich selbst zurückwirkt. Unterschieden werden dabei Rückkopplungen mit positiven (Reinforcing loops) und negativen (Balancing loops) Polaritäten (Schade 2005a, S. 29-31). Die Dynamik des Systems entsteht aus dieser Rückkopplungsstruktur. Häufig werden kleine, zufällige Störungen durch die Rückkopplungen verstärkt und erzeugen so Muster in Raum und Zeit (Sterman 2001, S. 12). Ein Beispiel für eine Rückkopplungsschleife mit negativer Polarität gibt Abbildung 4.3. Darin sorgt eine steigende Differenz zwischen dem gewünschten und dem tatsächlichen Lagerbestand dafür, dass auch die Bestellmenge steigt. Dadurch steigt nach kurzer Zeit der Lagerbestand, was die Differenz zwischen gewünschtem und tatsächlichem Lagerbestand wieder senkt.

Abbildung 4.3: Beispiel eines Causal-Loop-Diagramms zum Lagerbestand nach Schade (2005a, S. 29)



Diese Rückkopplungen werden während des qualitativen Modellentwurfs identifiziert, nachdem zuvor das Problem spezifiziert und die Basisannahmen festgelegt wurden. Danach kann das quantitative System-Dynamics-Modell ausgearbeitet werden. In diesem quantitativen Modell werden die Systemelemente mit Hilfe von Bestandsvariablen (Stocks), Flussvariablen (Flows) und Hilfsgrößen abgebildet. Abbildung 4.4 zeigt ein kleines Beispiel zur quantitativen Entwicklung des Lagerbestandes. Es stellt dar, wie sich der Lagerbestand in Abhängigkeit von den Flussvariablen Produktion und Absatz über die Zeit entwickelt. Ist die Produktion größer als der Absatz, steigt der Lagerbestand. Ist der Absatz größer, sinkt der Lagerbestand. Nach der quantitativen Modellierung muss das Modell noch validiert werden. Erst dann können Maßnahmen und Politiken getestet und bewertet werden. Eine detaillierte Anleitung zur Erstellung von System-Dynamics-Modellen findet sich bei Schade (2005a, S. 26-35). Eine Beschreibung der allgemeinen Vorgehensweise zur Entwicklung von Simulationsmodellen findet sich bei Bossel (1992, S. 40-46).

Abbildung 4.4: Beispiel eines Stock-und-Flow-Diagramms zum Lagerbestand



Aktuelle Forschungsarbeiten

Im Unterabschnitt Supply-Chain-Risikomanagement (Unterabschnitt 2.2.3) wurden bereits kurz die System-Dynamics-Modelle von Wilson (2007) und Bueno-Solano und Cedillo-Campos (2014) vorgestellt, die zur Risikoanalyse eingesetzt werden. Darüber hinaus gibt es zahlreiche weitere System-Dynamics-Modelle, die sich mit dem Transportsystem im Allgemeinen befassen.

Ein sehr umfassendes System-Dynamics-Modell ist das multi-nationale, multi-sektorale ASTRA-Modell (ASTRA-Konsortium 2000). Es wurde von Schade, Martino und Roda (1999) entwickelt, um die langfristigen Auswirkungen unterschiedlicher Transportstrategien auf europäischer Ebene zu bewerten. Da es die Verknüpfungen zwischen Transportbedarf, Wirtschaft, Fahrzeugflotte und Umweltauswirkungen simuliert, ermöglicht es eine integrierte,

multidimensionale Bewertung. Es kann auf eine Vielzahl von politischen Maßnahmen, wie Investitionen, und Szenarien, wie Energieknappheit und steigende Ölpreise, angewandt werden. Im Sinne eines klassischen Güterverkehrsmodells ist es jedoch räumlich wenig detailliert (Schade 2005b; Fiorello, Fermi und Bielanska 2010).

Eine Übersicht über System-Dynamics-Modelle, die speziell im Zusammenhang mit der Güterverkehrsmodellierung stehen, geben Thaller, Clausen und Kamppmann (2016, S. 57-60). Sie kommen zu dem Schluss, dass die System-Dynamics-Methodik bisher nur rudimentär für die Güterverkehrsmodellierung oder die Analyse der räumlichen Verflechtungen wirtschaftlicher Aktivitäten eingesetzt wird. Die existierenden Modelle konzentrieren sich meist auf den Personenverkehr (Thaller, Clausen und Kamppmann 2016, S. 60).

Einige System-Dynamics-Modelle beschäftigen sich auch direkt mit der Lebensmittelversorgung. Georgiadis, Vlachos und Iakovou (2005) präsentieren einen System-Dynamics-Ansatz mit dem sie mehrstufige Versorgungsketten der Lebensmittelindustrie analysieren können. Dafür werden modulare, einstufige Modelle miteinander verknüpft. Das Modell ermöglicht es, die Supply-Chain-Konfiguration für unterschiedlichste Entscheidungsprobleme zu optimieren. Es wurde auf eine griechische Fast-Food-Kette angewandt.

Kumar und Nigmatullin (2011) verwenden den System-Dynamics-Ansatz, um die Verflechtungen innerhalb einer Supply-Chain zu untersuchen und kritische Komponenten zu identifizieren. Sie konzentrieren sich bei ihrer Untersuchung auf den Einfluss von Nachfrageschwankungen und Durchlaufzeiten auf Versorgungsketten nicht-verderblicher Lebensmittel. Sie stellen damit ein Werkzeug zur Verfügung, mit dem Entscheidungen für effektive und nachhaltige Supply-Chains getroffen werden können.

Die zwei zuletzt vorgestellten Arbeiten zeigen interessante Ansätze zur Erreichung der Ziele der vorliegenden Arbeit, konzentrieren sich aber auf einzelne Supply-Chains. Ihr Vorgehen lässt sich nicht auf das gesamte Lebensmittelversorgungssystem übertragen. Der System-Dynamics-Ansatz kann deshalb hier nur in Kombination mit anderen Methoden verwendet werden.

4.2.3 Input-Output-Modelle

Entwickelt wurde die Input-Output-Rechnung von Leontief, der eine Volkswirtschaft als geschlossenen Wirtschaftskreislauf in mathematischer Form beschreiben wollte (Leontief 1966). Sie werden meist auf die nationale Ebene angewendet und umfassen neben den jährlichen, innerstaatlichen Flüssen auch die Jahreswerte für Im- und Exporte. Im Fokus stehen dabei insbesondere die Flüsse zwischen den verschiedenen Produktionsbereichen. Kernaufgabe ist die nachvollziehbare Darstellung von monetären Verflechtungen im Untersuchungszeitraum und damit die Erhöhung der Transparenz des Untersuchungsgegenstandes.

Grundlagen

Input-Output-Modelle sind quantitative volkswirtschaftliche Analysewerkzeuge, welche die produktions- und güterbezogenen Verflechtungen zwischen verschiedenen Wirtschaftssektoren monetär beschreiben. Im Prinzip handelt es sich bei ihnen um wirtschaftsweite Produktionsfunktionen, die sich aus technischen Koeffizienten zusammensetzen (Toyomane 1988, S. 1). Abbildung 4.5 zeigt das vereinfachte Grundschema einer Input-Output-Tabelle. Die Tabelle fasst Aufkommen und Verwendung der Güter zusammen. Die Inputs bezeichnen zum einen Vorleistungen, also Waren und Dienstleistungen, die im Zuge der Produktion verbraucht oder verarbeitet werden. Diese Verflechtungen werden in der Vorleistungsmatrix abgebildet, in der die Produktionsbereiche in den primären (Land- und Forstwirtschaft sowie Fischerei), sekundären (Produzierendes Gewerbe) und tertiären Bereich (Dienstleistungen) geteilt sind. Zum anderen wird darunter der Einsatz der Produktionsfaktoren Arbeit und Kapital verstanden, der in der Matrix der Primärinputs dargestellt wird. In den Spalten der Vorleistungsmatrix kann abgelesen werden, wie viele

Vorleistungsgüter von einem Produktionsbereich verbraucht werden. Folgt man dieser Spalte weiter nach unten, kann man in der Primärinputmatrix ablesen, wie viel Arbeit und Kapital in diesen Produktionsbereich geflossen sind. Als Output wird der Wert der produzierten Waren beziehungsweise Dienstleistungen bezeichnet.

Abbildung 4.5: Schematische Darstellung einer Input-Output-Tabelle (Statistisches Bundesamt 2010, S. 6)

Verwendung (Input)		Input der Produktionsbereiche			Letzte Verwendung			
		Primärer Bereich	Sekundärer Bereich	Tertiärer Bereich	Konsum	Investitionen	Exporte	
Gütergruppen	Primärer Bereich	Vorleistungsmatrix			Endnachfragematrix			Gesamte Verwendung
	Sekundärer Bereich							
	Tertiärer Bereich							
		Gesamte Vorleistungen			Gesamte Endnachfrage			
Komponenten der Wertschöpfung	...	Matrix der Primärinputs			Gesamtes Aufkommen = Gesamte Verwendung			
	...							
	...							
Importe								
		Gesamtes Aufkommen						

Mit Input-Output-Tabellen lassen sich verschiedene Analysen durchführen. So bilden sie die Grundlage für Strukturuntersuchungen der Wirtschaft, ermöglichen die Modellierung von Auswirkungen von Nachfrage-, Preis- und Lohnänderungen auf die Gesamtwirtschaft, helfen beim Abschätzen von politischen Maßnahmen und werden zur Prognose der wirtschaftlichen Entwicklung eingesetzt (Statistisches Bundesamt 2010, S. 5-8; Winkler 2010, S. 103). Die aktuelle Input-Output-Tabelle der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung in Deutschland umfasst 71 Gütergruppen (Statistisches Bundesamt 2010, S. 5).

Input-Output-Tabellen haben aber auch Schwächen. Diese entstehen aus den Unsicherheiten in den Umfragebeziehungsweise Originaldaten, der Abschätzung fehlender Sektordaten, der Allokation bei mehreren Absatzgütern eines Sektors, der Annahme von Proportionalität, dem Ignorieren des Lebenszyklus einzelner Güter, Technologie- und Produktmixänderungen während der langwierigen Bearbeitung, Unsicherheit bei der Wahl exogener Modell-Inputs, der Aggregation von Akteuren unterschiedlicher Größe sowie der Annahme, dass die Produktionstechnologie der importierten Güter mit der zu untersuchenden Wirtschaft identisch ist (Hawkins, Hendrickson und Matthews 2007, S. 27).

Möchte man Input-Output-Tabellen in der Verkehrsnachfragemodellierung anwenden, treten weitere Probleme auf. Das größte Problem ist die Umrechnung von monetären Flüssen in physische Güterflüsse. So müssen Inputs und Outputs in Produktion und Konsum umgerechnet werden. Darüber hinaus verlaufen die physischen Güterflüsse nicht parallel zu den monetären Flüssen, wodurch ein erheblicher Modellierungsaufwand entsteht.

Aktuelle Forschungsarbeiten

Für Analyse Zwecke, bei denen die physischen Verflechtungen im Vordergrund stehen, werden deshalb direkt physische Input-Output-Tabellen erstellt. An einer solchen physischen Input-Output-Tabelle arbeitete das Statistische Bundesamt (Statistisches Bundesamt 2001; Statistisches Bundesamt 2003a; Statistisches Bundesamt 2003b). Das Ziel dieser physischen Input-Output-Analyse besteht darin, den wirtschaftlichen Stoffwechsel inklusive der Auswirkungen wirtschaftlicher Aktivitäten auf die Umwelt abzubilden, um die übermäßige Nutzung monetär nicht bewerteter Ressourcen aufzuzeigen und so einen Beitrag zum Erhalt der natürlichen Lebensgrundlagen zu leisten.

Aber auch konventionelle, monetäre Input-Output-Analysen werden zur Untersuchung des Güterverkehrs eingesetzt. In Kombination mit Güterverkehrsnachfragedaten untersuchen Alises und Vassallo (2015) damit den Zusammenhang von Wirtschaftswachstum und Güterverkehrswachstum in neun europäischen Ländern. Ziel ihrer Forschung ist es, Entkopplungsfaktoren zu identifizieren, um die wirtschaftliche Entwicklung nachhaltiger gestalten zu können. Dafür werden die konventionellen Input-Output-Tabellen um einen Vektor ergänzt, der für jeden Sektor einen Faktor für die Intensität des Straßengüterverkehrs enthält.

Auch in der Auswirkungsanalyse von Katastrophen können Input-Output-Analysen eingesetzt werden. So benutzt Okuyama (2014) eine Reihe von regionalen Input-Output-Tabellen, die seit 1985 alle fünf Jahre für große japanische Städte erstellt werden, um die Auswirkungen des großen Erdbebens von 1995 in der Region Kobe zu untersuchen. Dadurch ist er in der Lage, die durch Instandsetzung und Wiederaufbau verursachten Struktur- und Verflechtungsänderungen der Wirtschaftssektoren zu identifizieren sowie die dadurch geänderte langfristige Entwicklung der regionalen Wirtschaft zu beschreiben.

Eine Untergruppe von Input-Output-Modellen bilden die Inoperability Input-Output Models (IIM). Sie wurden von Santos und Haines (2004) entwickelt, um die Ausbreitung von durch Terrorismus verursachte Störungen auf andere Sektoren oder Infrastrukturen untersuchen zu können. Dabei steht die Funktionsunfähigkeit (Inoperability) im Mittelpunkt der Untersuchung, welche die durch die Störung verursachte Fehlkapazität in Prozent der geplanten Kapazität angibt. Eine Übersicht über IIM geben Dietzenbacher und Miller (2015) und schließen eine Bewertung der Methodik an.

Yu u. a. (2014) benutzen IIM, um Sektoren mittels eines Vulnerabilitätsindex zu priorisieren. Dadurch soll vor allem die effektive Ressourcenverteilung auf die Sektoren im Falle einer Störung unterstützt werden. Der Vulnerabilitätsindex berechnet sich dabei aus dem Umfang der ökonomischen Auswirkungen, der Ausbreitungsreichweite sowie der Größe des Sektors.

In IIM besteht jedoch nicht die Möglichkeit, Auswirkungen von Maßnahmen abzubilden. Deswegen wurden sie von Haines, Horowitz, Lambert, Santos, Lian u. a. (2005) zu Dynamic Inoperability Input-Output Models (DIIM) erweitert. Durch diese Erweiterung kann auch die Geschwindigkeit der Erholung eines Systems modelliert werden. In einer zweiten Veröffentlichung demonstrieren Haines, Horowitz, Lambert, Santos, Crowther u. a. (2005) die Anwendung der DIIM anhand von Reaktionen auf fiktive Angriffe auf Energieversorgung und Telekommunikation mittels elektromagnetischer Pulse.

Santos, Yu u. a. (2014) nutzen DIIM zusammen mit Ereignisbaumanalysen. Das daraus entstehende Modell kann den Funktionsunfähigkeitsvektor im Verlauf der Katastrophe anpassen und so Ereignisse abbilden, die verstärkend oder mildernd auf den Katastrophenverlauf einwirken. Untersuchungsraum ist dabei Nashville, USA, das regelmäßig von Tornados und extremen Hochwassern bedroht wird.

Barker und Santos (2010) ergänzen die DIIM zusätzlich um Bestände und Lagerhaltungspolitiken. Dadurch ist das entwickelte Modell in der Lage, Verzögerungen bei der Ausbreitung einer Störung abzubilden. Dies gibt Entscheidern die Möglichkeit, Bestände als Vorbereitung auf Störungen neu zu bewerten und erhöhte Lagerhaltungskosten zu rechtfertigen.

Jonkeren und Giannopoulos (2014) entwickeln in ihrem Modell diesen Begriff der Bestände weiter zur Fähigkeit eines Systems, seine Funktion aufrecht zu erhalten, auch wenn es gestört ist. Außerdem unterscheiden sie für verschiedene Störungstypen unterschiedliche Erholungsphasen. Angewendet wird das Modell auf das Szenario eines schweren Wintersturms in Nordeuropa und dessen Auswirkungen auf die kritischen Infrastrukturen.

Nutzbarkeit für vorliegende Zielstellung

Dieser Abschnitt und die darin aufgeführten Beispiele zeigen, dass die Input-Output-Analyse für die Darstellung von wirtschaftlichen Verflechtungen und teilweise auch von Störungsauswirkungen genutzt werden kann. Folglich ließen sich damit die Verflechtungen innerhalb der Lebensmittelwirtschaft abbilden. Räumliche Verflechtungen können dagegen nicht abgebildet werden. Dies ermöglichen Multi-regionale Input-Output (MRIO)-Modelle, die eine Erweiterung der Input-Output-Analyse darstellen. Diese werden in Unterabschnitt 4.4.3 ab Seite 62 beschrieben.

4.3 Methoden und Modelle zur Modellierung der Verkehrsverteilung

Dieser Abschnitt beschreibt mit den Synthetischen Quell-Ziel-Modellen und den Gravitationsmodellen zwei Modellarten, die zur Modellierung der Verkehrsverteilung beziehungsweise der Transportströme zwischen den Regionen eines Untersuchungsraumes genutzt werden können.

4.3.1 Synthetische Quell-Ziel-Modelle

Bei synthetischen Quell-Ziel-Modellen (Synthetic Origin-Destination Models) handelt es sich um eine Klasse von Modellen, welche die Verkehrsverteilung auf Basis einer Referenz-Quell-Ziel-Matrix mittels verschiedenster mathematischer Methoden oder Heuristiken schätzt. Die Referenz-Matrix kann dabei aus den bereits vorgestellten Methoden und Modellen zur Erzeugung von Produktion und Konsum oder direkt aus Umfragen, Verkehrszählungen oder Verkehrsmessungen abgeleitet werden.

Bei Umfragen wird eine Stichprobe der Verkehrsteilnehmer direkt über Start und Ziel ihrer Fahrten befragt. Bei Verkehrszählungen werden Kennzeichen an mehreren, strategisch verteilten Stellen eines Untersuchungsraumes erfasst und im Nachhinein abgeglichen. Aus diesem Abgleich können dann die Start-Ziel-Verkehre berechnet werden. Eine moderne Variante der Verkehrsmessung erfolgt mittels Sammlung von Telekommunikationsdaten, beispielsweise von Navigationssystemen in Fahrzeugen. Dies macht die Echtzeiterfassung von Verkehrsflüssen möglich (Hellinga 1994, S. 4 f.).

Die Ergebnisse dieser Beobachtungen müssen dann auf das Gesamtverkehrsaufkommen hochgerechnet werden. Dabei berechnet das synthetische Quell-Ziel-Modell eine Quell-Ziel-Matrix, welche die Messergebnisse möglichst genau reproduziert. Die gängigsten mathematischen Ansätze dafür sind die Methode der kleinsten Quadrate, die Maximum-Likelihood-Methode, das Bayes-Verfahren, die Kalman-Filterung und der Furness-Algorithmus. Auch das Gravitationsmodell kann als eine Unterart des allgemeinen synthetischen Quell-Ziel-Modells angesehen werden (Hellinga 1994, S. 14-19).

4.3.2 Gravitationsmodelle

Der Ursprung des Gravitationsmodells liegt in der Physik. Es besagt, dass die Anziehungskraft zwischen zwei Massen umso größer ist, je größer die Massen sind und je näher die Massen beieinanderliegen. Umgekehrt ist die Kraft geringer, wenn die Massen kleiner oder weiter voneinander entfernt sind. Parallelen zwischen

diesen von Newton entdeckten physikalischen Eigenschaften von Massen und dem Wanderungsverhalten von Menschen stellte Ravenstein (1885) fest. Dies lässt sich auch auf die Güterverkehrsmodellierung übertragen, wo aus der physischen Anziehungskraft Attraktivität zwischen den Regionen wird. Nach Wilson (1970) wird es folgendermaßen formuliert:

$$flow_{ij} = a_i \cdot o_i \cdot b_j \cdot d_j \cdot f(c_{ij}) \quad (4.1)$$

mit:

a_i, b_j = Normalisierungsfaktoren

c_{ij} = Fahrt- beziehungsweise Transportkosten zwischen i und j

d_j = Güternachfrage in der Zielregion j

$flow_{ij}$ = Güterfluss zwischen Region i und j

o_i = Güterangebot in der Quellregion i

Die Formel berechnet die Größe der Flüsse an Fahrzeugen, Personen, Gütern oder anderen Werten $flow_{ij}$ zwischen den Regionen i und j , die in Abhängigkeit vom Angebot an der Quelle o_i (Origin), der Nachfrage am Ziel d_j (Destination) und den Kosten c_{ij} (Costs), die bei Fahrten beziehungsweise Transporten zwischen den Regionen anfallen, stattfinden. Die Kosten werden mit der Widerstandsfunktion $f(c_{ij})$ bewertet. Die Funktion bestimmt, wie groß der Güterfluss zwischen i und j bei gegebenem Widerstand c_{ij} ist. Die Widerstandsfunktion ist allgemein so formuliert, dass mit zunehmendem Widerstand eine Interaktion kleiner ausfällt. Sie kann je nach Untersuchungsraum und -zweck unterschiedlich gestaltet werden. Eine Übersicht über verschiedene Widerstandsfunktionen geben Lohse u. a. (1997, S. 79-96) sowie Schnabel und Lohse (2011, S. 183-204). In der Güterverkehrsmodellierung wird meist $f(c_{ij}) = e^{-\beta \cdot c_{ij}}$ genutzt. Der Parameter β reflektiert dabei, wie sensibel die Verkehrsflüsse auf die Fahrtbeziehungsweise Transportkosten reagieren. a_i und b_j stellen Normalisierungsfaktoren für jede Region dar. Sie werden benötigt, um die Verkehrsverteilung an die Randsummen des Angebotes und der Nachfrage anzupassen. Problematisch bei der Berechnung der Verkehrsverteilung mit dem Gravitationsmodell ist, dass die Parameter a_i , b_j und β unbekannt und voneinander abhängig sind.

Die Normalisierungsfaktoren a_i und b_j können im Gravitationsmodell mit Hilfe verschiedener Algorithmen angenähert werden (Lohse u. a. 1997, S. 97-114), sodass die Verkehrsverteilung den vorher bestimmten Quell- und Zielaufkommen entspricht. Der bekannteste dieser Algorithmen ist der iterative Furness-Algorithmus (Furness 1965). Dabei werden die Zeilen- und Spaltensummen einer beobachteten Verkehrsverteilung oder einer vorgegebenen Widerstandsmatrix immer wieder abwechselnd an das Angebot in den Quellregionen und an die Nachfrage in den Zielregionen angepasst. Dadurch entsteht eine zulässige Lösung, welche die vorhandenen räumlichen Verflechtungsmuster der Kostenmatrix C_{ij} beibehält.

Die daraus entstehende Transportverflechtung ist von der Wahl des Widerstands-Parameters β abhängig. Wird β anders gewählt, und damit der Widerstand zwischen den Regionen gesenkt oder erhöht, entstehen andere Verteilungen. β muss deshalb kalibriert werden, um die modellierte Verteilung möglichst gut an die beobachtete Verkehrsverteilung beziehungsweise an vorgegebene Werte anzunähern. Dazu stehen verschiedene Kalibrierungsverfahren zur Verfügung. Man unterscheidet deterministische Verfahren, wie die Lineare Regression (Sen und Sööt 1981), und annähernde Verfahren, wie das Maximum-Likelihood-Verfahren (Kirby 1974) oder den Hymans Algorithmus (Hyman 1969). Mit dem Maximum-Likelihood-Verfahren kann die wahrscheinlichste Belegung der Parameter in einem Algorithmus geschätzt werden. Allerdings ist das Verfahren sehr zeitaufwendig (Sen 1986, S. 473) und ohne Referenzmatrix ist die resultierende Verteilung nicht überzeugend (Spiess 1987, S. 396). Dieses und weitere wichtige Verfahren wurden von Williams (1976) verglichen. Ergebnis seiner Analyse ist, dass der

Hymans-Algorithmus das beste Verfahren darstellt, da es robust ist und am effizientesten arbeitet. Durch den Algorithmus lassen sich modellierte Verkehrsverteilungen über durchschnittliche Transportkosten beziehungsweise Transportentfernungen an beobachtete Verkehrsverteilungen kalibrieren.

Da die räumlichen Handelsverflechtung der Lebensmittelwirtschaft unbekannt sind, werden diese in der vorliegenden Arbeit mit einem Gravitationsmodell modelliert (Abschnitt 6.3 ab Seite 110) und anhand eines unabhängigen Datensatzes mittels Hymans-Algorithmus kalibriert (Abschnitt 6.4 ab Seite 114).

4.4 Kombinierte Ansätze zur Modellierung der Verkehrserzeugung und Verkehrsverteilung

In diesem Abschnitt werden integrierte Modellierungsansätze vorgestellt, welche die Verkehrserzeugung in den Regionen abdecken und gleichzeitig die Verkehrsverteilung zwischen den Regionen ableiten können. Dadurch sind diese Modelle in der Lage, einige Probleme des sequentiellen Vorgehens der Güterverkehrsmodellierung zu lösen. Bei der Vorstellung wird berücksichtigt inwieweit die Modelle in der Lage sind, die Orte der Aktivitäten, die räumliche Verflechtung, die wirtschaftliche Verflechtung und die Intensität der Wirtschaftsaktivitäten abzubilden. Zu den vorgestellten Modellen gehören Land-Use/Transport-Interaction-Modelle, Spatial-Computable-General-Equilibrium-Modelle und Multi-regionale Input-Output-Modelle.

4.4.1 Land-Use/Transport-Interaction-Modelle

Mit Hilfe von Land-Use/Transport-Interaction (LUTI)-Modellen lässt sich die räumliche Verflechtung von Angebot und Nachfrage auf Basis der Aktivitäten in den verschiedenen Zonen des Untersuchungsgebietes erklären.

Grundlagen

Bei der Erstellung eines LUTI-Modells werden zuerst die Regionen im Land-Use-Teil des Modells detailliert charakterisiert: Zum einen wird die Flächenverteilung mit unterschiedlichen Angebotsformen wie Wohnungen, Industrie und Gewerbe beschrieben. Zum anderen wird die Nachfrageverteilung nach Aktivitäten wie beispielsweise Wohnen, Arbeiten und Einkaufen beschrieben. Da sich Angebot und Nachfrage nicht hundertprozentig innerhalb einer Regionen ausgleichen können, führt der Ausgleich zur Verkehrsnachfrage zwischen den Regionen. Wie sich die Verkehrsflüsse zwischen den Regionen entwickeln, hängt dabei stark von der vorhandenen Infrastruktur ab. Dadurch sind LUTI-Modelle in der Lage, Wechselwirkungen zwischen Aktivitäten und Verkehr zu simulieren (Geurs und van Wee 2004).

Aktuelle Forschungsarbeiten

Geurs und van Wee (2004) geben einen Überblick über verschiedene einsatzfähige LUTI-Modelle und bewerten diese in Bezug auf die Nutzbarkeit innerhalb der Nachhaltigkeitsprüfung. Sie untersuchen LUTI-Modelle, da diese laut ihnen den einzigen Modelltyp bilden, der die umfangreichen Auswirkungen von Planungsentscheidungen auf Landnutzung und Transport abbilden kann. Sie kommen zu dem Schluss, dass die Nachhaltigkeitsprüfung erhöhte Anforderungen an LUTI-Modelle stellt, die bisher nur zum Teil von existierenden Modellen erfüllt werden können.

Echenique (2011) entwirft ein LUTI-Modell, um damit Maßnahmen der Verkehrsplanung und des Verkehrsmanagements wirtschaftlich zu bewerten. Er zeigt, dass in LUTI-Modellen neben sich ändernden Reisekosten auch Preisänderungen am Start- und Zielort, wie zum Beispiel die Lebenshaltungskosten und die Produktionskosten, abgebildet werden können.

Anstatt der Flächennutzung können mittels Agenten-basierter Modellierung auch die Entscheidungen einzelner Individuen oder kleiner Gruppen in Land-Use-Modellen abgebildet werden. Dadurch lassen sich zusätzlich nicht-monetäre Einflüsse in die Untersuchung einbeziehen (Matthews u. a. 2007).

Eine andere Möglichkeit um LUTI-Modelle zu erweitern, ist die Integration von System-Dynamics-Methoden. Dies hilft, Wechselwirkungen zwischen der Landnutzung und dem Transportsystem besser und verständlicher zu modellieren. Ein Beispiel ist das von Pfaffenbichler, Emberger und Shepherd (2010) entwickelte MARS-Modell (Metropolitan Activity Relocation Simulation), in dem unter anderem Autos, Straßen und Bevölkerung als Stocks und Änderungen beim Autobesitz, Straßenbau und Bevölkerungswachstum als Flows interpretiert werden. So kann das gesamte Untersuchungsgebiet mit allen quantitativen und qualitativen Elementen sowie deren Wechselwirkungen dargestellt werden.

Nutzbarkeit für vorliegende Zielstellung

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines realistischen Modells der deutschen Lebensmittelversorgung, das Störungsauswirkungen verschiedener Szenarien simulieren kann, um so kritische Szenarien sowie vulnerable Industrien und Regionen identifizieren zu können. Die Vulnerabilität wird dabei anhand der zur Versorgung benötigten Güterverkehrsleistung bewertet, die sich aus den Güterflüssen zwischen den unterschiedlichen Akteuren, Sektoren und Regionen ergibt. Mit Hilfe von LUTI-Modellen können zwar die räumlichen Verflechtungen von Angebot und Nachfrage auf Basis der Aktivitäten in den verschiedenen Zonen des Untersuchungsgebietes modelliert werden, LUTI-Modelle wurden jedoch nicht dafür entwickelt, wirtschaftliche Verflechtungen abzubilden. Deswegen sind sie nicht geeignet, die vielstufige Lebensmittelversorgung mit ihren Vor- und Zwischenprodukten detailliert zu modellieren.

4.4.2 Spatial-Computable-General-Equilibrium-Modelle

Bei Spatial-Computable-General-Equilibrium (SCGE)-Modellen handelt es sich um räumliche, berechenbare, allgemeine Gleichgewichtsmodelle. Mit ihnen ist es möglich, die ersten beiden Stufen der Verkehrsmodellierung, Verkehrserzeugung und Verkehrsverteilung, in einem Schritt konsistent zu modellieren.

Grundlagen

Sie basieren auf allgemeinen Gleichgewichtsmodellen (General Equilibrium (GE)-Models), die gesamtwirtschaftliche Aktivitäten eines Untersuchungsgebietes über Gleichgewichtszustände abbilden. Der abgebildete Markt besitzt dabei sowohl auf der Angebots- als auch auf Nachfrageseite Substitutionsmöglichkeiten, die über ein endogenes Preissystem gewählt werden, indem Anbieter ihren Profit und Verbraucher ihren Nutzen maximieren. Im Gegensatz zu einfachen beziehungsweise partiellen Gleichgewichtsmodellen werden auch sektorübergreifende Verflechtungen, das heißt mehrere Märkte und Güter, abgebildet. Um als berechenbares, allgemeines Gleichgewichtsmodell (Computable-General-Equilibrium (CGE)-Modell) zu gelten, müssen die Modelle mit Zahlenwerten und Funktionen gefüllt werden. Wenn auch interregionale Beziehungen einschließlich der anfallenden Transportkosten abgebildet werden, gilt das Modell als SCGE-Modell. Sie können dann zu Transportanalysen und zum Test von Verkehrspolitikern genutzt werden (Tavasszy 2008, S. 50; Bröcker 2015).

SCGE-Modelle sind den MRIO-Modellen in einigen Punkten überlegen. So sind SCGE-Modelle flexibler, da sie nicht auf fixen Koeffizienten beruhen. Dies ist gerade bei der Modellierung des Handels von großer Bedeutung. Weiterhin sind sie in der Lage, die Wechselwirkungen zwischen Einnahmen und Ausgaben zu berücksichtigen. Im Gegensatz zu MRIO-Modellen sind SCGE-Modelle außerdem nicht einseitig vom Bedarf bestimmt. Dadurch ist es möglich, unter anderem Kosten- und Kapazitätsschwankungen auf der Angebotsseite zu modellieren (Bröcker 1998, S. 367). Damit stellen SCGE-Modelle ein mächtiges Werkzeug dar, mit denen die Orte der Aktivitäten, die räumliche sowie

die sektorale Verflechtung und die Intensität der Wirtschaftsaktivitäten in gegenseitiger Abhängigkeit analysiert werden können. Andererseits werden für den Aufbau eines SCGE-Modells sehr viele Daten benötigt, der Modell-durchlauf verlangt hohe Rechenleistung und das Modell ist aufgrund der hohen Komplexität nur schwer nachzu-vollziehen (Bröcker 1998, S. 368; Oosterhaven 1981, S. 147).

Aktuelle Forschungsarbeiten

Übersichten über SCGE-Modelle finden sich bei Koopmans und Oosterhaven (2011) und Ivanova (2014). Zu den ausgereiften Modellen gehören das RAEM-Modell und das RHOMOLO-Modell: RAEM ist ein SCGE-Modell für die Niederlande, das auch für Belgien, die Benelux-Union, Norwegen, Russland und die Europäische Union umgesetzt wurde. Es bildet das Verhalten verschiedener Produktionssektoren, eines aggregierten Investment-Agenten, des Staates und des Außenhandels mikroökonomisch ab. Kapitalakkumulation, technologischer Fortschritt, Fluss- und Bestandsgrößenrelationen werden rekursiv-dynamisch, das heißt durch eine Folge von mehreren temporären Gleichgewichten, modelliert (Ivanova u. a. 2007, S. 5; Ivanova 2014, S. 36). RHOMOLO modelliert die Interaktionen zwischen mittelgroßen Regionen und Millionenstädten eines Landes in ökonomischer, ökologischer, energetischer und sozialer Dimension und geht damit über die Möglichkeiten von RAEM hinaus. So wird der Staat nicht als einzelner Akteur, sondern als zweistufiges System aus zentraler und regionaler Regierung modelliert. Das RHOMOLO-Modell wurde für verschiedene Länder der Europäischen Union umgesetzt (Mercenier u. a. 2016, S. 4; Ivanova 2014, S. 36 f.).

Auch zur Auswirkungsanalyse von Infrastrukturprojekten und Verkehrsmaßnahmen können SCGE-Modelle eingesetzt werden, indem sie mit Transportmodellen kombiniert werden. Nach Tavasszy, Thissen und Oosterhaven (2011) eignen sie sich besonders zur Analyse indirekter Auswirkungen von Transportprojekten durch Verknüpfungen zwischen dem Verkehrssektor und der Gesamtwirtschaft, die bis zu 80 % der direkten Kosten betragen können. Koopmans und Oosterhaven (2011) beschreiben die Vorteile eines SCGE-Modells bei der Kosten-Nutzen-Analyse von Infrastrukturprojekten. In beiden Veröffentlichungen wird aber gleichzeitig festgestellt, dass der Aufbau eines operativ einsatzfähigen SCGE-Modells eine anspruchsvolle Aufgabe ist und es auch bei diesem Modelltyp, wie auch bei allen anderen Modelltypen, zu Ungenauigkeiten kommt. Die größte Unsicherheit entsteht aus den Transportkosten, die als Schnittstelle zwischen dem SCGE-Modell und dem Transportmodell dienen. So liegen den Transportkosten in beiden Modelltypen unterschiedliche Definitionen zugrunde. Zusätzlich sind nur wenige empirische Daten für die Transportkosten in den verschiedenen Sektoren verfügbar. Dass die verschiedenen Sektoren auch unterschiedlich auf Transportkostenänderungen reagieren, stellt eine weitere Herausforderung der Modellierung dar. Bevor die SCGE-Modellierung das Verständnis der Interaktion von Wirtschaftsräumen sowie die Qualität der Bewertung von Infrastrukturinvestitionen und Verkehrsmaßnahmen verbessern kann, muss diese Schnittstelle zuerst weiter erforscht werden (Tavasszy, Thissen und Oosterhaven 2011, S. 17).

Nutzbarkeit für vorliegende Zielstellung

Die Vulnerabilitätsbewertung in dieser Arbeit erfolgt anhand der zur Lebensmittelversorgung benötigten Güterverkehrsleistung, die sich aus den Güterflüssen zwischen den unterschiedlichen Akteuren, Sektoren und Regionen ergibt. Mit SCGE-Modellen ist es möglich, diese Güterflüsse zu simulieren. Allerdings müssten für die Realisierung eines solchen Modells unter anderem umfassende Informationen bezüglich Substitutionsmöglichkeiten, Kosten, Preisen, Preiselastizitäten und Nachfrageeffekten in verschiedenen Märkten zusammengetragen und die einzelnen Märkte anschließend modelliert werden. Da sich einige dieser Parameter im Falle eines Versorgungsengpasses oder einer Versorgungskrise ändern würden, müssten sie zusätzlich für verschiedene Szenarien geschätzt werden. Daraus resultieren ein sehr hoher Modellierungsaufwand, eine sehr hohe Komplexität sowie eine geminderte Nachvollziehbarkeit. Dadurch sind SCGE-Modelle trotz ihrer Mächtigkeit nicht gut geeignet, um Vulnerabilitäten im deutschen Lebensmittelversorgungssystem nachvollziehbar zu bewerten oder die beteiligten Akteure bei Entscheidungen zu unterstützen.

4.4.3 Multi-regionale Input-Output-Modelle

Die Multi-regionale Input-Output (MRIO)-Analyse wurde von Isard (1951) für Regionen innerhalb eines Landes entwickelt. In einer Welt, die von einer immer stärkeren Trennung von Produktion und Konsum geprägt ist, gewinnt sie aber auch für länderübergreifende bis hin zu globalen Analysen an Bedeutung (Wiedmann, Wilting, Lenzen u. a. 2011, S. 1937). Auf MRIO-Modelle wird an dieser Stelle genauer eingegangen, da sie das größte Potential für die Implementierung des angestrebten dynamischen Güterflussmodells aufweisen. Aus diesem Grund wird auch die vorhandene Forschungslücke ausführlicher beschrieben.

Grundlagen

Bei der MRIO-Analyse handelt es sich um eine räumliche Erweiterung der Input-Output-Analyse. Dabei wird das Wirtschaftssystem nicht nur in den verflochtenen Produktionsbereichen, sondern auch in Bezug auf mehrere miteinander verknüpfte Regionen beschrieben. Der Output einer Region ergibt sich aus der Kombination der Outputs der Wirtschaftsaktivitäten der einzelnen Produktionsbereiche, die innerhalb der geografischen Grenzen der Region stattfinden. Ihre Inputs setzen sich zusammen aus den direkten Inputs, die in die verschiedenen Produktionsbereiche einfließen, sowie den Waren und Dienstleistungen, die von den Endverbrauchern in der Region letztmalig verwendet werden (Leontief und Strout 1963). Eine Einführung in den Aufbau von MRIO-Modellen gibt Cascetta (2001, S. 232-243).

Die MRIO-Analyse erlaubt es dem Anwender, die Wechselwirkungen in geografisch großen, heterogenen Wirtschaftssystemen zu untersuchen, ohne dabei die individuellen Eigenschaften der verschiedenen Regionen zu vernachlässigen. Dadurch können Effekte modelliert werden, die in der einfachen Input-Output-Analyse durch Aggregation verloren gehen, wenn positive Effekte in einer Region durch negative Effekte einer anderen Region ausgeglichen werden (Park und Gordon 2005). Da in MRIO-Modellen zusätzlich zu den Flüssen zwischen den Produktionsbereichen auch die Flüsse zwischen den Regionen untersucht werden, kann damit die zukünftige Verkehrsnachfrage unter Berücksichtigung von Wechselwirkungen zwischen Wirtschaft und Verkehr prognostiziert werden (Cascetta, Marzano und Papola 2008). Einen Überblick über Anwendungsmöglichkeiten und existierende Modelle geben Miller und Blair (2009).

Allerdings werden für solche Analysen wesentlich mehr Daten benötigt als für die klassische Input-Output-Analyse. Nach Lenzen, Kanemoto u. a. (2012, S. 8374) wird die Verbreitung von MRIO-Modellen durch den hohen Arbeitsaufwand zur Erstellung der MRIO-Datenbanken, die schwierige Handhabung widersprüchlicher Daten, den hohen Rechenaufwand sowie den Zeitversatz zwischen Analysejahr und Fertigstellung der Analyse behindert. Darüber hinaus haben MRIO-Modelle weitere Schwachstellen. So entstehen nach Weber (2008, S. 11-19) Ungenauigkeiten aus Abweichungen bei der Handhabung der nicht explizit modellierten Umgebung des Untersuchungsraumes, der Sektoraggregation unterschiedlicher Länder und Wechselkursen zwischen Statistiken unterschiedlicher Währungsräume. Weitere Probleme bereiten die Zeitverzögerungen, die zwischen Versand der Ausfuhren und Erhalt der Einfuhren liegen, sowie Güter-Wiederausfuhren (Lenzen, Pade und Munksgaard 2004, S. 402). Trotz dieser Schwächen sind die MRIO-Modelle bedeutsam, da sie in der Lage sind, zusätzlich zu den sektoralen Verflechtungen auch räumliche Verflechtungen zwischen mehreren Regionen abzubilden. Dieser Vorteil gegenüber Input-Output-Modellen kann als Rechtfertigung angesehen werden, die Weiterentwicklung von MRIO-Modellen zur Verbesserung von Zuverlässigkeit und Genauigkeit voranzutreiben (Wiedmann 2009, S. 219). In der Literatur finden sich zahlreiche Beispiele für solch klassische MRIO-Analysen.

Aktuelle Forschungsarbeiten zu MRIO-Modellen

Yamada (2015) gibt eine Übersicht über die zahlreichen MRIO-Modelle in Japan und stellt ein eigenes Modell für die Metropolregion Nagoya vor. Er modelliert 186 Sektoren in 14 Regionen der Präfektur Aichi, um den Grad der räumlichen Verknüpfung zwischen den Gebieten zu messen und mit den administrativen Grenzen zu vergleichen.

Um Umweltdaten erweitert, ist die MRIO-Analyse der vielversprechendste Ansatz für die Analyse der Umweltauswirkungen von gehandelten Gütern. Zu diesem Schluss kommen Wiedmann, Wilting, Lutter u. a. (2009, S. 34) in dem europäischen Projekt EIPOT (Environmental Impacts of Trade). Dessen Hauptziel bestand darin, bestehende Umweltbilanzierungsmethoden, die zur Veranschaulichung der transnationalen Auswirkungen des internationalen Güterhandels genutzt werden können, zu überprüfen und zu bewerten. Dabei wurden die verschiedenen Methoden nach Relevanz für die zu erreichenden Ziele, Akzeptanz durch Mitarbeiter und externe Partner, Nachvollziehbarkeit, Einfachheit der Nutzung und Aktualisierung sowie Robustheit gegen Manipulationen bewertet (Wiedmann, Wilting, Lutter u. a. 2009, S. 8, S. 14 f.). Eine umfangreiche Sammlung von Input-Output- sowie MRIO-Modellen zur verbrauchsbezogenen Emissions- und Ressourcenrechnung hat Wiedmann (2009) zusammengetragen.

Um das Störpotential von Angriffen auf wichtige Teile der Infrastruktur abschätzen zu können, erweitern Park, Cho u. a. (2011) das 47 Sektoren und 52 Regionen umfassende MRIO-Modell NIEMO (National Interstate Economic Model) um ein Güterverkehrsnetz zum Modell TransNIEMO. Durch die endogene Modellierung der Transporte gelingt es ihnen, regionen- und sektorspezifische ökonomische Auswirkungen von Änderungen im Güterverkehrsfluss aufzuzeigen. Angewendet wurde TransNIEMO auf die grenzüberschreitenden Güterflüsse Kaliforniens.

Simulationsmodelle, die den zeitlichen Aspekt über die Zeitreihenanalyse hinaus simulieren, finden sich nur sehr selten. Ein Beispiel ist das MRIO-Modell von Toyomane (1988), das er zur langfristigen Simulation der indonesischen Wirtschaft einsetzt. Er bildet den zeitlichen Aspekt ab, indem er die üblicherweise fixen Handelskoeffizienten über ein Preismodell von Jahr zu Jahr endogen neu bestimmt. Dadurch ist er in der Lage, zukünftige Handelskoeffizienten oder Endnachfragen abzuschätzen.

Aktuelle Forschungsarbeiten zu Globalen multi-regionalen Input-Output (GMRIO)-Modellen

Neben den klassischen MRIO-Modellen entstehen immer mehr MRIO-Modelle, welche die Verflechtungen der Weltwirtschaft abbilden: sogenannte Globale multi-regionale Input-Output (GMRIO)-Modelle. Eine Übersicht über aktuelle Globale multi-regionale Input-Output (GMRIO)-Modelle findet sich bei Tukker und Dietzenbacher (2013). Dabei wird der Datengrundlage besondere Aufmerksamkeit geschenkt, da die nötige Integration und Harmonisierung verschiedener Datenquellen eine große Herausforderung darstellt. Besonders umfangreich und gleichzeitig detailliert sind unter anderem EORA (Lenzen, Kanemoto u. a. 2012), EXIOBASE (Tukker, de Koning u. a. 2013; Tukker, Bulavskaya u. a. 2014) und WIOD (Dietzenbacher, Los u. a. 2013). Bei allen drei Modellen handelt es sich um ökologisch erweiterte MRIO-Modelle. Das bedeutet, dass sie zusätzlich zu den monetären oder physischen Verflechtungen verschiedener Sektoren auch ökologische Größen, wie Kohlendioxidausstoß und Wasserverbrauch, abbilden. Dies ist in einer immer stärker von Arbeitsteilung geprägten Welt von großer Bedeutung, da trotz der räumlichen Trennung von Produktion und Konsum ökologische Größen verursachungsgerecht bilanziert werden müssen.

Im EXIPOL-Projekt (Externality Data and Input-Output Tools for Policy Analysis) wurde die multi-regionale, ökonomisch erweiterte Aufkommens- und Verwendungstabelle EXIOBASE für 43 Länder plus dem Aggregat der übrigen Länder, 129 Sektoren, 80 Ressourcen und 40 Emissionen erstellt, um den Fußabdruck des Endkonsums in der Europäischen Union zu berechnen. Dabei geht die Untersuchung über Energie und Kohlenstoffdioxid hinaus auch auf Land-, Wasser- und Rohstoffverbrauch in anderen Ländern ein. Diese zusätzlichen Größen sind weit relevanter als bisher angenommen und sollten bei der europäischen Umwelt- und Handelspolitik beachtet werden (Tukker, de Koning u. a. 2013). Im Folgeprojekt CREEA (Compiling and Refining Environmental and Economic Accounts) wird die EXIOBASE verbessert und um eine physische Ebene erweitert (Tukker, Bulavskaya u. a. 2014).

Die WIOD (World Input-Output Database) umfasst 35 Industrien in 40 Ländern zuzüglich dem Rest der Welt und fällt damit etwas kleiner aus als die EXIPOL-Datenbank. Die Stärke der WIOD liegt in der zeitlichen Dimension der Untersuchung. So wurde die GMRIO-Tabelle in einer Zeitreihe für alle Jahre von 1995 bis 2009 erarbeitet und bietet damit zahlreiche neue Analysenmöglichkeiten (Dietzenbacher, Los u. a. 2013).

Die Eora-Datenbank umfasst die bisher detailliertesten GMRIO-Tabellen. Es werden 187 Länder individuell mit jeweils zwischen 26 und 400 Sektoren pro Land erfasst. Auch diese Verflechtungstabelle existiert in einer Reihe für die Jahre von 1990 bis 2009. Zu den weiteren Errungenschaften gehört die große Transparenz der Datenbank. Diese wird durch die Angabe der Standardabweichung für alle Werte erreicht (Lenzen, Kanemoto u. a. 2012).

Wie man an den vorgestellten GMRIO-Modellen erkennt, werden zu deren Aufbau und Aktualisierung umfangreiche Datenmengen benötigt, die aufwendig zusammengefügt werden müssen. Große Projekte mit vielen Personenmonaten wurden zur Erstellung der GMRIO-Modelle aufgewendet. Berechnungen erfolgen meist auf Großrechnern. Zwischen Basisjahr der Daten und der Veröffentlichung entstehen dadurch große zeitliche Verzögerungen. Darüber hinaus ist die Schätzung von GMRIO- und auch großer MRIO-Tabellen ein unterbestimmtes Problem. Das bedeutet, dass die Menge der vorhandenen Originaldaten, die als Unterstützungspunkte für die MRIO-Tabellen dienen können, viel kleiner ist als die Menge der Matrixelemente (Lenzen, Moran u. a. 2013, S. 31). Dadurch ist die Zuverlässigkeit der GMRIO-Modelle nicht sehr groß. All diese Punkte müssen in Zukunft verbessert werden.

Aktuelle Forschungsarbeiten zu Multi-Skalen multi-regionalen Input-Output (MSMRIO)-Modellen

Ebenfalls problematisch ist, dass in GMRIO-Modellen Eigenheiten besonders großer oder sehr heterogener Länder verlorengehen. Diese Lücke füllen Multi-Skalen multi-regionale Input-Output (MSMRIO)-Modelle. Auch mit MSMRIO-Modellen können globale Verflechtungen abgebildet werden. Gleichzeitig ermöglichen sie die Erfassung regionaler Unterschiede, da für verschiedene Länder beziehungsweise Regionen verschieden feine Aufteilungen gewählt werden können. Dabei wird das fokale Land für eine differenziertere Analyse feiner aufgeteilt (Bachmann, Roorda und Kennedy 2015, S. 173). Gegenüber MRIO- sind mit MSMRIO-Modellen umfassendere Analysen möglich, da sie Im- und Exporte einbeziehen. Da die Außenhandelsdaten jedoch häufig aus GMRIO-Modellen stammen, ist der in MSMRIO-Modellen enthaltene Fehler größer als in MRIO-Modellen (Bachmann, Roorda und Kennedy 2015, S. 190).

Bachmann, Roorda und Kennedy (2015) wenden diese Methodik auf Kanada an, indem sie zwei bestehende MRIO-Datenbanken verbinden. Das MSMRIO-Modell teilt Kanada in 13 Regionen und beinhaltet den Außenhandel mit 47 Nationen. Dabei wird Kanada nicht nur räumlich feiner aufgeteilt, sondern auch die Klassifikation der Sektoren geändert. Dadurch können Daten aus sehr unterschiedlichen Quellen zusammengebracht werden, ohne deren Klassifikationen übermäßig anpassen zu müssen, wodurch weniger Genauigkeit verlorengeht.

Minx u. a. (2013) starten mit einem GMRIO-Modell und disaggregieren mit Hilfe zusätzlicher Daten die Verflechtungen innerhalb des Vereinten Königreichs auf 434 Regionen. Damit sind sie in der Lage, die Kohlenstoffdioxidbilanz für den Konsum einzelner Regionen inklusive der dahinter stehenden Supply-Chains aufzustellen.

Einen ähnlichen Weg gehen Meng, Zhang und Inomata (2013). Sie analysieren die Verflechtungen zwischen den drei großen Regionen Ostasien, ASEAN-5 (Association of South East Asian Nations: Indonesien, Malaysia, Philippinen, Singapur und Thailand) und den USA. Die Input-Output-Tabellen der im Fokus liegenden Länder China und Japan werden auch hier mittels Disaggregation auf 7 beziehungsweise 8 Regionen verfeinert, wodurch eine transnationale, interregionale Input-Output-Tabelle zwischen Japan und China entsteht.

Einen anderen Ansatz wählen Lenzen, Geschke u. a. (2014). Sie erarbeiteten für Australien eine sehr feingliedrige Verteilung ökonomischer Aktivitäten, die ja nach Analysezweck immer wieder neu aggregiert werden können. Dadurch soll in Zukunft die Erstellung unterschiedlichster MSMRIO-Modelle vereinfacht werden.

Forschungsbedarf

Den zukünftigen Entwicklungsbedarf fassen Wiedmann, Wilting, Lenzen u. a. (2011, S. 1939-1941) folgendermaßen zusammen:

- **Sektorale Details**

MRIO-Modelle sollten bestehende Daten zu Gütern und Sektoren statistischer Institutionen nutzen und diese mit spezifischen Informationen weiter disaggregieren, solange dabei Einschränkungen beschrieben und Unsicherheiten definiert werden. Dadurch kann der MRIO-Ansatz zum Beispiel um prozessbasierte Ansätze erweitert werden, um Analysen auf Mikro-Ebene durchzuführen. Selbst wenn die Disaggregation von Input-Output-Daten nur auf wenigen realen Datenpunkten basiert, ist sie der Aggregation von Mikrodaten vorzuziehen (Lenzen 2011).

- **Ursprünglichkeit der Informationen**

Die ursprüngliche Anzahl von Gütern und Sektoren sowie das Format der Input-Output-Tabellen einzelner Länder sollte, wenn möglich, aufrecht erhalten werden. Dies vermeidet unnötigen Informationsverlust und vereinfacht die Datenaktualisierung.

- **Länderdeckung und internationaler Transport**

Eine möglichst große Anzahl an Ländern sollte im Modell unterschieden und Importe sowie Exporte aus den Verkehrssektoren getrennt werden.

- **Aktualität**

Um in Zukunft relevant für Entscheider zu sein, müssen MRIO-Modelle aktuell sein. Dafür müssen Mechanismen eingerichtet werden, die eine effiziente, schnelle und kontinuierliche Aktualisierung ermöglichen.

- **Vollständigkeit der Zeitreihen**

MRIO-Zeitreihen-Daten sind nur begrenzt verfügbar: entweder mit Lücken zwischen einzelnen Jahreswerten oder nur für kurze Zeitspannen. Um MRIO-Modelle zu Prognosezwecken einsetzen zu können, müssen sie mittels Szenario-Techniken oder dynamischer Modellierung erweitert werden. Dadurch ließen sich die sich wechselseitig beeinflussenden Auswirkungen von Wirtschafts-, Sozial- und Umweltpolitiken antizipieren.

- **Kosten**

Die hohen Kosten und Personalaufwände zur Erstellung und Aktualisierung von MRIO-Modellen sollten unter anderem durch Automatisierung und geschicktes Datenbankdesign verringert werden.

- **Unsicherheit**

Die bereits beschriebenen Unsicherheiten in der MRIO-Modellierung sollten durch Standardabweichungsschätzungen für alle MRIO-Elemente routinemäßig beschrieben werden, um vergleichende Beurteilungen, Hypothesentests und Entscheidungsfindungen zu unterstützen. Dies gilt insbesondere für die modellierten Handelsmatrizen.

- **Transparenz, Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit**

Modellierungsannahmen müssen offengelegt und deren Gültigkeitsbereiche beschrieben werden. Auch Diskrepanzen zwischen modellierten MRIO-Tabellen und Rohdaten sollten minimiert und offen beschrieben werden, um Modellierer und Entscheider über unvermeidbare Abweichungen zu den ursprünglichen Daten zu informieren. Ergebnisse aus verschiedenen MRIO-Modellen sollten standardmäßig getestet und regelmäßig verglichen werden.

- **Verfügbarkeit und Verbreitung**

Zur Erhöhung von Vergleichbarkeit und Transparenz von MRIO-Modellen müssen sie einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden. Dazu würden sich beispielsweise Internetplattformen eignen, auf denen Modellierer und Datenanbieter an einer Datenbank zusammenarbeiten und sich austauschen können.

- **Bewertung und Überbrückungsmatrizen**

Um physikalische Ströme mit MRIO-Modellen hinreichend beschreiben zu können, werden Überbrückungsmatrizen benötigt, um die monetären Werte umrechnen zu können. Problematisch dabei ist die Bewertung unterschiedlichster Preise auf verschiedenen Verarbeitungsstufen einschließlich der Steuern, Handels- und Gewinnmargen sowie die Einschätzung der Transportmargen für unterschiedliche Verkehrsträger. Derzeit sind jedoch kaum detaillierte sektorale Daten zu Margen verfügbar, wodurch eine Reihe von Annahmen notwendig wird.

- **Separierung von Handel und Logistikdienstleistungen**

Da die Sektoren Handel und Logistikdienstleistungen in Input-Output-Tabellen im Allgemeinen ebenfalls aggregiert sind, können Störungen in der Güterdistribution nur schwer analysiert werden. Matrizen, die Handel und Logistikdienstleistungen separat ausweisen, werden in der Regel nicht erstellt, würden aber zahlreiche neue Analysemöglichkeiten eröffnen (Wiedmann, Wilting, Lenzen u. a. 2011, S. 1938 f.).

Nutzbarkeit für vorliegende Zielstellung

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines realistischen Modells der deutschen Lebensmittelversorgung, das Störungsauswirkungen verschiedener Szenarien simulieren kann, um so kritische Szenarien sowie vulnerable Industrien und Regionen identifizieren zu können. Die Vulnerabilität wird dabei anhand der zur Versorgung benötigten Güterverkehrsleistung bewertet, die sich aus den dynamischen Güterflüssen zwischen den unterschiedlichen Akteuren, Sektoren und Regionen ergibt. MRIO-Modelle sind speziell für die Analyse sektoraler und räumlicher Wechselwirkungen entwickelt worden und sind damit gut geeignet, die Güterflüsse zwischen Sektoren und Regionen zu modellieren. Sie werden aber weder zur Modellierung täglicher Veränderungen eingesetzt noch werden einzelne Akteursgruppen in der Analyse berücksichtigt. Dass MRIO-Modelle dennoch eine gute Basis für die Modellentwicklung in dieser Arbeit bilden, wird im Unterabschnitt 4.6 ab Seite 68 genauer erläutert.

Im Zuge der Modellentwicklung in Kapitel 6 (ab Seite 105) wird ein Teil des vorgestellten Forschungsbedarfs der MRIO-Methodik beantwortet; insbesondere bei der Verfeinerung sektoraler Details, der Berücksichtigung internationaler Handelspartner und Transporte sowie der Separierung von Handel und Logistikdienstleistungen. Darüber hinaus wird das Problem der Überbrückungsmatrizen zwischen Preisen und Mengen umgangen und die Unsicherheit der Modellergebnisse durch Kalibrierung gemindert.

4.5 Methoden und Modelle zur Modellierung logistischer Details

Um Entscheidungen von Logistik-Akteuren berücksichtigen sowie Wechselwirkungen zwischen den Modellierungsstufen abbilden zu können, gibt es verschiedene Ansätze. So können zur Abbildung logistischer Details mathematische Optimierungsmethoden verwendet werden, die auch in Unternehmen häufig eingesetzt werden, um beispielsweise Standorte von Lagerhäusern, Bestellmengen oder Touren kostenoptimal zu planen. Darüber hinaus gibt es einige Ansätze, die unterschiedlichste mikro- und makroskopische Methoden kombinieren, um bessere Modelle zu entwickeln.

Ein Beispiel für die Nutzung mathematischer Optimierungsmethoden gibt Friedrich (2010) mit seinem mesoskopischen, um logistische Aspekte erweiterten Güterverkehrsmodell SYNTRADE. Es handelt sich dabei um ein sektorales Modell der deutschen Lebensmittelversorgung, das die Entstehung der Distributionssysteme der

größten deutschen Lebensmitteleinzelhändler nachvollzieht. Durch die Konzentration auf einen Sektor ist er in der Lage, mehr Details in das Modell aufzunehmen. Gerade in der Lebensmittelversorgung stehen dafür mehr Daten als in anderen Sektoren zur Verfügung. Diese nutzt er zur Verkehrserzeugung und -verteilung sowie zur Aufteilung der Güterflüsse auf die verschiedenen Lebensmitteleinzelhändler. Das daraus resultierende realitätsnahe Ergebnis beweist, dass es möglich ist, mit öffentlich zugänglichen Daten, Distributionssysteme durch Modellierung zu generieren.

Davydenko (2015) entwickelte ein logistikkostenorientiertes, deskriptives Makromodell für den Güterverkehr der Niederlande, das trotz der Modellierung auf Makroebene in der Lage ist, Handelsströme in Transportströme zu übersetzen. Die modellierten Transportströme kalibriert er an beobachteten Transportströmen. Mit dem Modell ist er in der Lage, ähnlich wie zuvor Friedrich, die Standorte und den Durchsatz der Lager und Distributionzentren einzelner Unternehmen mit hoher Genauigkeit abzuschätzen. Er beweist damit, dass es möglich ist, mikroskopische Strukturen auf nationaler Ebene realistisch zu generieren, ohne dass eine akteurspezifische Modellierung erforderlich ist. Mit der Inklusion der logistischen Details in das nationale Makromodell überbrückt er ebenfalls die Mikro-Makro-Lücke.

Ein deskriptives, mesoskopisches Modell für Deutschland erarbeitete Reiche (2018). Das Modell deckt alle Schritte der Güterverkehrsmodellierung ab und umfasst die logistischen Details von 88 Branchen. Damit können die deutschen Güterflüsse gütergruppenspezifisch und firmenindividuell für die Verkehrsträger Straße, Schiene und Schiff bestimmt sowie teilweise kalibriert werden.

Outwater u. a. (2013) stellen ein Modell für die Güterverkehrsprognose vor, in dem sie Supply-Chain-Methoden auf nationaler Ebene mit tourbasierten Methoden auf regionaler Ebene verbinden. Das Modell ist dadurch empfindlicher gegenüber Verkehrspolitik, regulatorischen Eingriffen und Investitionen als klassische Supply-Chain-, Touren- oder 4-Stufen-Modelle. Es ermöglicht damit eine konsistentere und umfassendere Darstellung von Güterbewegungen in einem urbanen Gebiet. Das Modell wurde im Großraum Chicago getestet. Es ist weder mit realen Daten gefüllt noch kalibriert. Einen sehr ähnlichen Ansatz verfolgen Moeckel und Donnelly (2016) mit ihrem ebenfalls zweiteiligen Güterverkehrsmodell für den Großraum Chicago. Darin werden Langstreckentransporte von überregionalen Warenströmen getrieben und Kurzstreckentransporte mit unterschiedlichen Parametern geschätzt. Validiert wird das Modell durch Verkehrszählungen. Die dritte Forschungsarbeit, die sich auf den Raum Chicago konzentriert, stammt von Pourabdollahi u. a. (2017). Ihr Modell identifiziert Handelsbeziehungen zwischen Unternehmen und ermittelt die Warenströme zwischen Produktions- und Verbrauchsstellen mit Hilfe eines hybriden, agentenbasierten, rechnergestützten Ansatzes für die Lieferantenauswahl. Eine weitere Kombination aus mikroskopischen und makroskopischen Methoden stellt Mahmoudifard (2016) vor. Er erweitert das FAME-Rahmenwerk (Freight Activity Microsimulation Estimator) in Bezug auf die Getreideproduktion um detaillierte Daten, ein Modell zur Firmensynthese sowie eine Saisonalitätsanalyse.

Diese kombinierten Ansätze sind sehr interessant für das in dieser Arbeit aufgeworfene Problem. Jedoch funktionieren sie nur in Bezug auf einzelne Schwerpunktregionen, mit sehr aggregierten Güter- und Akteursgruppen oder können zeitliche Entwicklungen nicht abbilden. Um ein realistisches Modell der deutschen Lebensmittelversorgung zu entwickeln und Störungsauswirkungen sowie Vulnerabilitäten auf nationaler Ebene analysieren zu können, darf der Modellfokus nicht derart begrenzt sein und sektorale Wechselwirkungen sollten einbezogen werden.

4.6 Auswahl geeigneter Modellierungsmethoden

Wie im Stand der Risikoforschung und dem daraus abgeleiteten Modellbedarf (Kapitel 3 ab Seite 39) gezeigt wurde, gibt es noch kein Modell, welches die Zielstellung und Anforderungen aus Abschnitt 2.4 (ab Seite 35) erfüllt. Auch bestehende Modellierungsmethoden können die dynamischen Güterflüsse mehrerer Industrien nicht auf nationaler und gleichzeitig detaillierter Ebene darstellen (Abbildung 4.6). Input-Output-Modelle sind in der Lage, wirtschaftliche Interaktionen abzubilden. Mit DIIM als deren Weiterentwicklung können auch Auswirkungen von Störungen im Zeitablauf nachvollzogen werden. Beide vernachlässigen aber räumliche Interaktionen. MRIO-Modelle sind speziell für die Analyse wirtschaftlicher und räumlicher Wechselwirkungen entwickelt worden, werden aber nicht zur Modellierung täglicher Veränderungen verwendet. SCGE-Modelle wären prinzipiell mächtig genug, um die hier aufgestellte Zielstellung zu erfüllen. Jedoch sind sie laut Tavasszy, Thissen und Oosterhaven (2011, S. 17) zu komplex, um im großen Maßstab nachvollziehbar zu bleiben. Darüber hinaus sind für die Modellierung benötigte Preiselastizitäten für Versorgungsstörungen nicht abbildbar.

Abbildung 4.6: Umfang unterschiedlicher Modellierungsmethoden

Ort der Aktivitäten	Verflechtung der Aktivitäten		Zeitliche Entwicklung der Aktivitäten
	Räumliche Verflechtung	Wirtschaftliche Verflechtung	
Flächennutzungsmodelle	Gravitationsmodelle	Input-Output (IO)-Modelle (inkl. IIM)	General Equilibrium (GE)-Modelle
Land-Use/Transport-Interaction (LUTI)-Modelle		Dynamic Inoperability Input-Output Models (DIIM)	
	Multi-Regionale Input-Output (MRIO)-Modelle (inkl. GMRIO- und MSMRIO-Modellen)		
		Computable General Equilibrium (CGE)-Modelle	
Spatial Computable General Equilibrium (SCGE)-Modelle			

Die zur Erarbeitung eines dynamischen Güterflussmodells notwendigen Methoden sind aber bereits vorhanden. Diese Methoden müssen erweitert und kombiniert werden, um die gestellten Ziele zu erreichen. Wie Bachmann, Roorda und Kennedy (2015, S. 173) angeben, sind MSMRIO-Modelle besonders für die Analyse der nationalen und internationalen Verflechtungen großer Länder sowie kleiner Länder mit großen regionalen Unterschieden vorteilhaft. Deutschland ist zwar kein flächenmäßig großes Land, die deutsche Lebensmittelversorgung ist aber, gerade in Bezug auf die Agrarwirtschaft, sehr heterogen über das Bundesgebiet verteilt. Verkehrserzeugung und Verkehrsverteilung werden im hier vorgestellten dynamischen Güterflussmodell deshalb über ein MSMRIO-Modell realisiert, bei dem jeder Außenhandelspartner als ganze Nation und Deutschland als fokale Nation sehr viel feiner modelliert wird. Darüber hinaus muss die MSMRIO-Methodik erweitert werden, um die Handelszentralen als entscheidende Akteure der Lebensmittelversorgung mit einbeziehen zu können. Für die Kalibrierung der

modlierten räumlich-wirtschaftlichen Verflechtungen kann in Teilen die Methodik von Davydenko (2015) genutzt werden. Da Friedrich (2010) ebenfalls die deutsche Lebensmittelversorgung als Anwendungsbeispiel nutzt, werden in Bezug auf die Verteilung der Güterflüsse auf die Lebensmitteleinzelhändler ähnliche Datenquellen verwendet.

Allerdings gibt es noch keinen Ansatz mit dem die meist jährlichen Werte solcher MSMRIO- oder MRIO-Modelle zeitlich verteilt werden können. Es existiert lediglich der Wunsch, Zeitreihen über mehrere Jahre fortschreiben beziehungsweise das Basisjahr eines MRIO-Modells anpassen zu können, um so verschiedene MRIO-Modelle besser vergleichen oder verknüpfen zu können (Bachmann, Roorda und Kennedy 2015, S. 191). Auch in den zugrundeliegenden Input-Output-Modellen wurde bisher kein zeitlicher Verlauf umgesetzt. Dort zeigen sich mit der Entwicklung der DIIM-Modelle, die über die Berücksichtigung von Beständen und Bestellpolitiken zumindest Wechselwirkungen zwischen den Sektoren abschätzen können, erste Ansätze dafür. Die Erweiterung der DIIM-Modelle zu multi-regionalen Modellen erachten Jonkeren und Giannopoulos (2014, S. 57) als sinnvolles Ziel für die weitere Forschung. Zum gleichen Schluss kommen Barker und Santos (2010, S. 141), die darin die Chance erkennen, Zusammenhänge zwischen regionalen und nationalen Beständen besser verstehen zu können. Weiterhin kritisieren sie die Annahme von konstanten Jahreswerten in DIIM-Modellen und sehen darin großen Entwicklungsbedarf.

Dieser Bedarf wird durch das hier vorgestellte Modell abgedeckt, indem die aus dem physischen MSMRIO-Modell stammenden Güterflüsse mittels Ernte-, Produktions- und Konsumzeiten auf die Tage eines Jahres verteilt und im Sinne der Bestands- und Flussvariablen der System-Dynamics-Methodik dynamisch simuliert werden. Damit wird auch das von Lenzen, Pade und Munksgaard (2004, S. 402) adressierte Problem der Zeitverzögerungen zwischen Versand der Ausfuhren und Erhalt der Einfuhren gelöst. Um den Modellumfang festzulegen, zentrale Indikatoren auszuwählen und das Modell zu entwerfen, wurden Experteninterviews durchgeführt und Studien ausgewertet. Quantitative Daten aus Erhebungen und Studien werden dagegen benötigt, um das Modell zu füllen und zu kalibrieren. Diese Daten werden im folgenden Kapitel beschrieben.

4.7 Zwischenfazit

Ist eine umfassende Risikoanalyse mit Hilfe existierender Methoden der Güterverkehrsmodellierung möglich?

Die vorhandenen Methoden der Güterverkehrsmodellierung sind nicht mächtig genug, um Risiken, die aus der Dynamik und Komplexität des Lebensmittelversorgungssystems entstehen, zu analysieren.

Auf Basis der in diesem Kapitel beschriebenen Modellierungsmethoden ist eine Risikoanalyse nur eingeschränkt möglich. Input-Output-Modelle sind zwar in der Lage, wirtschaftliche Interaktionen und die Entwicklung von Störungsauswirkungen abzubilden, vernachlässigen aber räumliche Interaktionen. MRIO-Modelle sind speziell für die Analyse wirtschaftlicher und räumlicher Wechselwirkungen entwickelt worden, werden aber nicht zur Modellierung täglicher Entwicklungen verwendet. SCGE-Modelle wären prinzipiell mächtig genug, um die hier aufgestellte Zielstellung zu erfüllen. Jedoch sind sie zu komplex, um im großen Maßstab nachvollziehbar zu bleiben. Demnach ist es mit keiner bestehenden Modellierungsmethodik möglich, dynamische Güterflüsse mehrerer Industrien auf nationaler und gleichzeitig detaillierter Ebene nachvollziehbar darzustellen. Deshalb ist eine umfassende Risikoanalyse nach der Zielstellung und den Anforderungen dieser Arbeit bisher nicht möglich.

Können bestehende Methoden genutzt werden, um ein dynamisches Güterflussmodell zur Risikoanalyse zu entwickeln?

Es gibt Modellierungsmethoden, die als Basis für die Entwicklung eines dynamischen Güterflussmodells genutzt werden können.

Wie die Literaturrecherche zeigt, sind die zur Entwicklung eines dynamischen Güterflussmodells notwendigen Methoden weitestgehend vorhanden. Die Methoden müssen jedoch erweitert und kombiniert werden, um die hier gestellten Ziele zu erreichen. Die MSMRIO-Methodik kann als Grundlage für die Verkehrserzeugung und -verteilung im hier vorgestellten dynamischen Güterflussmodell genutzt werden, wobei Deutschland als fokale Nation feiner modelliert wird als die Außenhandelspartner. Um die Handelszentralen als entscheidende Akteure der Lebensmittelversorgung mit einbeziehen zu können, muss die MSMRIO-Methodik allerdings erweitert werden. Eine völlig neue Methodik muss für die zeitliche Verteilung der Jahreswerte und die Modellierung der sich im Jahresverlauf ändernden Wechselwirkungen entwickelt werden. Dies geschieht auf Grundlage der Bestands- und Flussvariablen der System-Dynamics-Methodik.

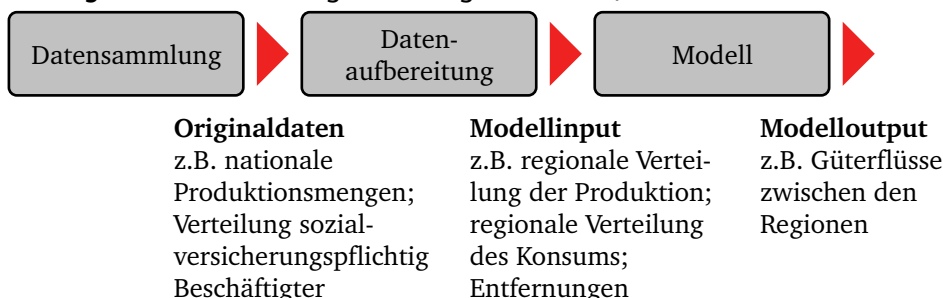
5 Datensammlung und Datenaufbereitung

Nachdem in den vorangegangenen Kapiteln der Modellzweck, die Anforderungen und zentrale Indikatoren sowie der Modelltyp festgelegt wurden, wird in diesem Kapitel die Datengrundlage für die Modellierung zusammengetragen. Im ersten Abschnitt wird ein Überblick über die gesammelten, aufbereiteten und modellierten Daten gegeben, die zur Modellierung der dynamischen Güterflüsse notwendig sind. In den darauf folgenden Abschnitten wird detailliert auf die Herleitung und Qualität der Daten eingegangen. Dabei wird an verschiedenen Beispielen die Breite und Vielfältigkeit der abgebildeten Gütergruppen, Akteure und Regionen aufgezeigt. Der letzte Abschnitt fasst einige ausgewählte Erkenntnisse und Schlussfolgerungen zusammen, die bereits auf Grundlage der gesammelten Daten gezogen werden können.

5.1 Überblick über gesammelte, aufbereitete und modellierte Daten

Um den in Abschnitt 3.4 (ab Seite 45) aufgestellten Anforderungen gerecht zu werden und eine solide Datenbasis für die Modellierung zu erlangen, wurden zahlreiche Datenquellen und Statistiken genutzt. Um zeitlich veränderliche und damit dynamische Güterflüsse zwischen Regionen und Akteuren bestimmen zu können, muss diese Datenbasis in den Dimensionen Industrie, Raum und Zeit in der gleichen Granularität fein aufgelöst und vollständig sein. Die verschiedenen Originaldaten wurden dafür meist mittels Top-Down-Ansatz disaggregiert beziehungsweise mit Hilfe weiterer Daten aufbereitet, um als Modellinput genutzt werden zu können (Abbildung 5.1). Diese Vorgehensweise entspricht der Empfehlung von Wiedmann, Wilting, Lutter u. a. (2009, S. 34) zum Aufbau von MRIO-Modellen. Zum Beispiel werden nationale Jahresproduktionsmengen mit Hilfe von Arbeitskräfteverteilungen auf Regionen und mittels Produktionsstatistiken auf einzelne Tage verteilt. Größte Herausforderung dabei ist es, die Konsistenz der angestrebten Datenbasis zu erreichen, ohne von den Gesamtzahlen und Verteilungen abzuweichen, um damit ein möglichst realistisches Bild der deutschen Lebensmittelversorgung zu erhalten.

Abbildung 5.1: Zusammenhang zwischen gesammelten, aufbereiteten und modellierten Daten



Die umfangreiche Datenbasis wurde im Rahmen des BMBF-Forschungsprojektes SEAK in den Jahren 2013 bis 2015 aufgebaut. Als Basisjahr wurde das Jahr 2012 gewählt, da die benötigten Daten verschiedenster Quellen zum Zeitpunkt der Zusammenstellung bereits vorliegen mussten, um die Konsistenz der Datenbasis sicherstellen zu können. Dieser Zeitversatz zwischen Analysejahr und Fertigstellung der Analyse ist problematisch, aber nach Lenzen, Kanemoto u. a. (2012, S. 8374) für datenintensive MRIO-Modelle üblich. Es ist aber davon auszugehen,

dass der Aufwand für die Aktualisierung der Datenbasis wesentlich geringer ist, als der, der zur Entwicklung der Methodik nötig war. Der Zeitversatz zwischen Analysejahr und Fertigstellung der Analyse wird dadurch bei zukünftigen Anwendungen deutlich kleiner sein.

Tabelle 5.1: Überblick über gesammelte, aufbereitete und modellierte Daten

Abgrenzung	Strukturierung	Verflechtung
Wirtschaftlich <ul style="list-style-type: none"> • Lebensmittelproduktion und -verbrauch • Ohne Verpackungen, Zusatzstoffe und Tierzucht 	<ul style="list-style-type: none"> • 51 Gütergruppen mit drei Temperaturbereichen sowie lebenden Tieren • Vier Absatzkanäle • 29 umsatzstärkste Handelszentralen des LEH 	<ul style="list-style-type: none"> • Disaggregierte physische Input-Output-Tabelle
Räumlich <ul style="list-style-type: none"> • Deutschland • Außenhandelspartner 	<ul style="list-style-type: none"> • 402 Kreise und kreisfreie Städte • 50 wichtigste im- und exportierende Nationen • Transportentfernungen zwischen allen Kreisen und Nationen 	<ul style="list-style-type: none"> • Spezifische Absatzverteilung für alle Kreise • Lager-Filial-Zuordnung • Beschaffung der Handelszentralen • Verflechtung zwischen Produktionsstufen
Zeitlich <ul style="list-style-type: none"> • Basisjahr 2012 (Schaltjahr) 	<ul style="list-style-type: none"> • 366 einzelne Tage • Tagesgenaue Ernte- und Produktionszeiten • Tagesgenaue Verteilung des Verbrauchs • Monatsgenaue Verteilung der Im- und Exporte 	<ul style="list-style-type: none"> • Dynamische Güterflüsse • Benötigte Transportkapazitäten • Bestandsveränderungen

Tabelle 5.1 zeigt einen Überblick über die Daten, die für die Risikoanalyse benötigt werden. Bei der Zusammenstellung der Daten werden die drei Dimensionen Raum, Zeit und Industrie zuerst abgegrenzt und dann strukturiert. Anschließend werden die Daten mit Hilfe verschiedener Methoden miteinander verflochten. Die Verflechtung beginnt im wirtschaftlichen Teil, wo zuerst die Gütergruppen mittels offizieller Daten miteinander in Verbindung gesetzt werden. Danach werden für den LEH in allen Kreisen spezifische Absatzverteilungen auf Basis von Umsätzen und Filialverteilungen berechnet. Außerdem werden die LEH-Filialen mittels eines Optimierungsverfahrens den LEH-Lagerhäusern zugeordnet.

Aufbauend auf dieser Datenbasis werden im zu entwickelnden Güterflussmodell (Kapitel 6 ab Seite 105) die Beschaffung der LEH-Lager und der weiterverarbeitenden Lebensmittelindustrie bestimmt. Anschließend werden simultan die sich täglich ändernden Güterflüsse, die benötigten Transportkapazitäten sowie die Bestandsveränderungen bei allen Akteuren simuliert.

5.2 Wirtschaftliche Abgrenzung, Strukturierung und Verflechtung

Dieser Abschnitt befasst sich zuerst mit der Klassifikation der verschiedenen Lebensmittel und deren Vorprodukten in Gütergruppen. Damit wird der eigentliche Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit in der wirtschaftlichen Dimension sowohl abgegrenzt als auch strukturiert. Aufbauend darauf wird die Entwicklung der physischen Input-Output-Tabelle vorgestellt, in der sowohl Aufkommen als auch Verwendung dieser Gütergruppen in Zahlen festgehalten und in Verbindung gesetzt werden. Sie stellt damit die wichtigste Grundlage für die weiteren empirischen Arbeiten dar. Dann werden die von den Endverbrauchern konsumierten Gütermengen, zuerst auf die Absatzkanäle und anschließend weiter auf die Lebensmitteleinzelhändler aufgeteilt.

5.2.1 Klassifikation in Gütergruppen

Um die Logistikstrukturen des Lebensmittelhandels angemessen abbilden zu können, müssen mindestens die Sortimente Tiefkühl-, Kühl- und Frischware sowie Trockenprodukte und Konserven unterschieden werden (Platz 2005, S. 29). Da keine bestehende Güterklassifikation auf einer hohen Aggregationsebene verschiedene Temperaturbereiche berücksichtigt und damit nicht auf die Verderblichkeit von Lebensmitteln eingeht, musste eine neue, kompakte Klassifikation erstellt werden. Von der Klassifikation und Untersuchung ausgenommen sind lediglich Genussmittel, chemische Zusätze, Verpackungsmaterialien und Tiere in Aufzucht. Bei den Tieren in Aufzucht handelt es sich um Jungtiere, die aus der kontrollierten Vermehrung in Zuchtbetrieben stammen. Sobald sie ein gewisses Alter oder Gewicht erreicht haben, werden sie zu Mastbetrieben transportiert, wo sie bis zur Schlachtreife gemästet werden. Im Gegensatz zu den Tieren in Mastbetrieben sind die Tiere in Aufzucht nicht Teil der Untersuchung, da sie im Falle einer Versorgungsstörung nicht schnell genug zur Schlachtreife gemästet werden könnten und damit nicht Teil eines Notfallplanes sein können. Eine genauere Übersicht über die Zusammensetzung der einzelnen Gütergruppen findet sich in Anhang B.

Tabelle 5.2: Klassifikation in Gütergruppen

	Gruppen landwirtschaftlicher Güter	Gruppen verarbeiteter Güter
Tiertransport	Schweine; Rinder; Geflügel	-
trocken / ungekühlt (tr)	Getreide; Reis; Ölsaaten; Zuckerrüben; Wein; Eier	Getreideerzeugnisse; Backwaren; Teigwaren; Bier; Pflanzliche Öle; Zucker; Süßwaren; Gemüsezubereitungen; Kartoffelerzeugnisse; Obstzubereitungen; Obst- und Gemüsesäfte; Milch; Milchprodukte; Fischerzeugnisse; Fertiggerichte; Mineralwasser und Erfrischungsgetränke
temperaturgeführt (tg)	Gemüse; Kartoffeln; Obst; Rohmilch	Backwaren; Pflanzliche Fette; Süßwaren; Kartoffelerzeugnisse; Schlachterzeugnisse Schwein; Schlachterzeugnisse Rind; Rind-, Schweinefleisch und -wurst; Milch; Milchprodukte; Käse; Schlachterzeugnisse Geflügel und -wurst; Fischerzeugnisse
tiefgekühlt (tk)	Fisch, Krebs- und Weichtiere	Backwaren; Gemüsezubereitungen; Kartoffelerzeugnisse; Obstzubereitungen; Rind-, Schweinefleisch und -wurst; Milchprodukte; Schlachterzeugnisse Geflügel und -wurst; Fischerzeugnisse; Fertigprodukte

Die berücksichtigten Lebensmittel sind in 51 Gütergruppen eingeteilt. Dabei werden die drei Temperaturbereiche trocken / ungekühlt (tr), temperaturgeführt (tg) und tiefgekühlt (tk) sowie lebende Tiere in Mastbetrieben unterschieden. Sie repräsentieren fast die gesamte Lebensmittelversorgungskette von landwirtschaftlichen Produkten, wie Getreide oder Rohmilch, bis hin zu verzehrfertigen Produkten, wie Backwaren, Käse oder Fertiggerichten. Um die Anschlussfähigkeit an andere Daten und Modelle zu gewährleisten, wurde ein Umrechnungsschlüssel für bestehende Klassifikationen zusammengestellt. Dies schließt neben dem Einheitlichen Güterverzeichnis für die Verkehrsstatistik - 2007 (vom französischen Nomenclature uniforme des marchandises pour les statistiques de transport) (NST-2007) auch das Güterverzeichnis für Produktionsstatistiken - 2009 (GP 2009) sowie die Klassifikation der Wirtschaftszweige - 2008 (WZ 2008) ein. Eine Übersicht über die Gütergruppen findet sich in Tabelle 5.2.

5.2.2 Physische Input-Output-Tabelle

Für jede Gütergruppe com (Commodity) wurde das Aufkommen an jährlich in Deutschland produzierten und importierten Gütern in Tonnen bestimmt. Gleichzeitig wurde ermittelt, für welche Verwendungszwecke das Aufkommen genutzt wird. Bei den Verwendungszwecken wird unterschieden zwischen der Produktion anderer Lebensmittel UP^{com,com_b} (Usage for production), dem Konsum durch den Endverbraucher UC^{com} (Usage for consumption), der Verwendung in anderen Wirtschaftssektoren UO^{com} (Usage in other sectors) und dem Export EX^{com} . Die Summe dieser Verwendungen entspricht dabei der Summe aus der gesamtdeutschen Produktion P^{com} und allen Importen IM^{com} . Abbildung 5.2 zeigt die Struktur dieser Tabelle.

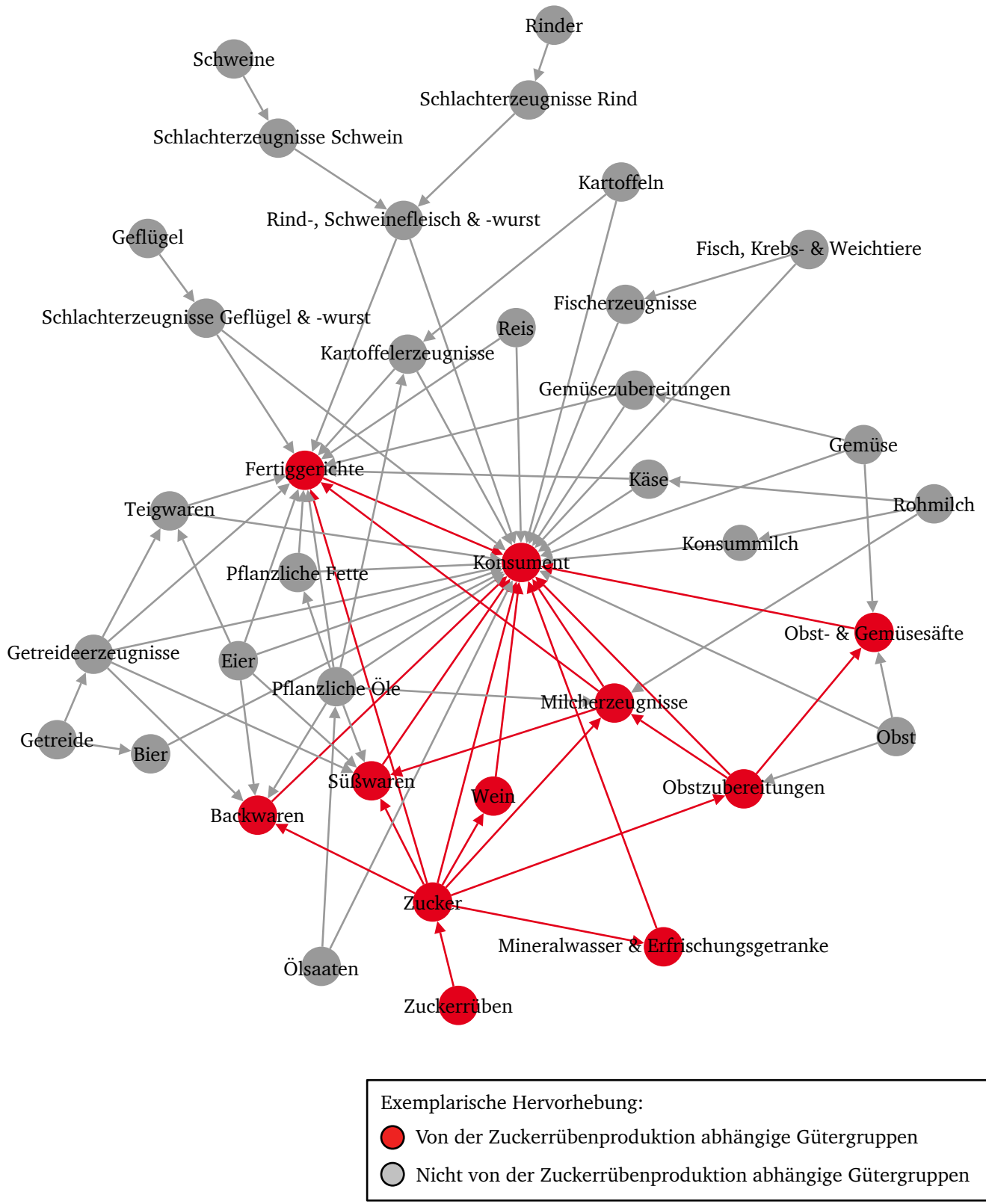
Abbildung 5.2: Schema der detaillierten, physischen Input-Output-Tabelle

Verwendung (Input)			Inputs für Gütergruppen		Letzte Verwendung		
			Landwirtschaftliche Güter	Verarbeitete Güter	Endverbraucher	Andere Sektoren	Exporte
Landwirtschaftliche Güter	P^{com_1}	IM^{com_1}	UP^{com_1,com_1} $UP^{com_1,com_{51}}$	UC^{com_1}	UO^{com_1}	EX^{com_1}	
	
Verarbeitete Güter	Innerdeutsche Produktion	Importe	... Vorleistungsmatrix ...	Endnachfragematrix			
	
	
	
	$P^{com_{51}}$	$IM^{com_{51}}$	UP^{com_{51},com_1} $UP^{com_{51},com_{51}}$	$UC^{com_{51}}$	$UO^{com_{51}}$	$EX^{com_{51}}$	

mit:

- EX^{com} = Jährlicher nationaler Export von Gütergruppe com zu allen Handelspartnern
- IM^{com} = Jährlicher nationaler Import von Gütergruppe com von allen Handelspartnern
- P^{com} = Jährliches nationales Produktionsaufkommen von Gütergruppe com
- UC^{com} = Jährlicher nationaler Konsum von Gütergruppe com durch Endverbraucher
- UO^{com} = Jährlicher nationaler Verbrauch von Gütergruppe com außerhalb der Lebensmittelindustrie
- UP^{com,com_b} = Jährlicher nationaler Verbrauch von Gütergruppe com zur Produktion von Gütergruppe com_b

Abbildung 5.3: Verflechtung der Gütergruppen (eigene Darstellung basierend auf Daten von Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (2013), Lebensmittel Zeitung (2011), Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2013), Noleppa und Carlsburg (2016) und Verband deutscher Mühlen (2012))

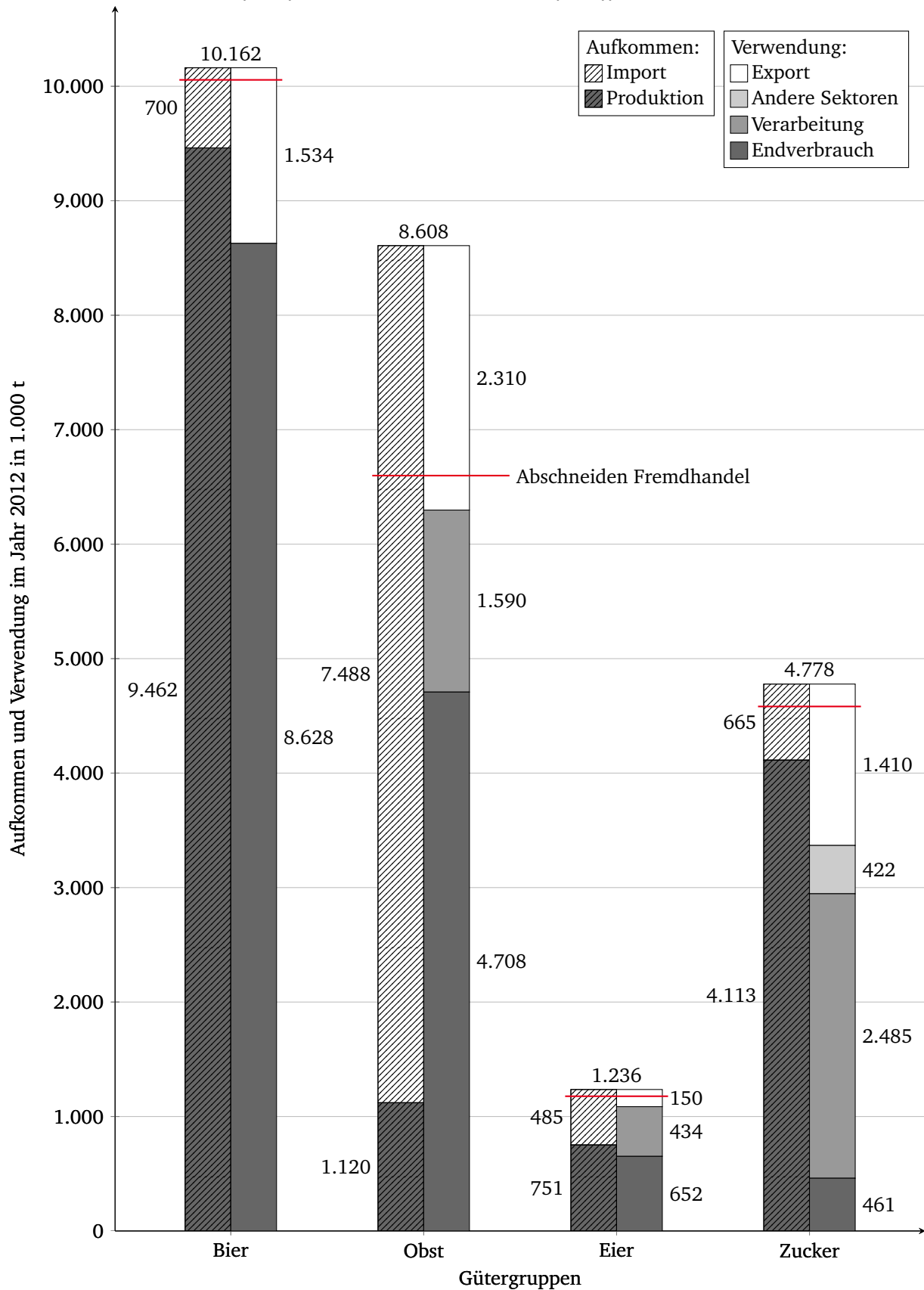


Die Daten basieren auf zahlreichen Quellen, hauptsächlich auf Veröffentlichungen der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (2013), dem LZ-Report der Lebensmittel Zeitung (2011), der vierteljährlichen Produktionserhebung (Statistisches Bundesamt 2014b), der Außenhandelsstatistik (Statistisches Bundesamt 2013) sowie einzelnen Veröffentlichungen von verschiedenen Verbänden und Informationsdiensten (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz 2013; Deutscher Brauer-Bund e.V. 2013; Noleppa und Carlsburg 2016; Verband der deutschen Fruchtsaft-Industrie e.V. 2012; Verband deutscher Mühlen 2012; Wirtschaftsvereinigung Alkoholfreie Getränke e.V. 2012). Um in der Produktionserhebung und der Außenhandelsstatistik zwischen den Temperaturbereichen unterscheiden zu können, mussten die besonders fein aufgegliederten und damit umfangreichen 9- beziehungsweise 6-stelligen Versionen dieser Statistiken verwendet werden. Ausgehend von den darin enthaltenen circa 500 beziehungsweise 1.000 Lebensmittelkategorien wurde passend zur eigenen Klassifikation neu aggregiert. Das Ergebnis dieser umfassenden Datensammlung ist eine detaillierte, physische Input-Output-Tabelle für den deutschen Lebensmittelsektor. Die vollständige, mit Zahlen gefüllte Tabelle findet sich im Anhang C. Die Verflechtung der Gütergruppen zeigt Abbildung 5.3. Um die Bedeutung einzelner Gütergruppen für die Versorgungssicherheit exemplarisch zu verdeutlichen, sind in dieser Abbildung die von der Zuckerrübenproduktion abhängigen Gütergruppen hervorgehoben.

Eine übersichtliche Zusammenstellung der Zahlen für ausgewählte Gütergruppen findet sich in Abbildung 5.4. Hier wird deutlich, dass Gesamtaufkommen und -verwendung aufgrund der Input-Output-Methodik bei allen Gütergruppen gleich sind. Interessant ist der Vergleich der Zusammensetzung von Aufkommen und Verwendung. So sind die Produktions- und Handelsmengen bei Bier relativ ausgeglichen. Die inländische Produktion ist ausreichend, um den Endverbrauch zu decken. Anders ist das bei Obst und Eiern. Hier reicht die innerdeutsche Produktion nicht aus, um den Endverbrauch und die verarbeitende Lebensmittelindustrie zu bedienen. 82 % des in Deutschland verbrauchten Obstes und 31 % der Eier müssen importiert werden. Bedenkt man dabei, dass 74 % der importierten Eier aus den Niederlanden und 31 % des importierten Obstes aus Spanien stammen, wird deutlich, wie stark die deutsche Lebensmittelversorgung auf Importe einzelner Länder angewiesen ist. Zucker wird hingegen in großen Mengen in Deutschland produziert, sodass ein Teil in andere Sektoren fließt und ein großer Anteil von 34 % exportiert werden kann.

Bei der Gütergruppe Obst fällt außerdem auf, dass die Exporte über der deutschen Produktion liegen. Dies liegt an Großhändlern, die Waren nach Deutschland einführen und anschließend wieder exportieren. So beziehen beispielsweise einige osteuropäische Länder wie Tschechien einen Teil ihrer Überseeimporte über den Hamburger Hafen. Da dies nicht im Modell abgebildet wird, wird der Fremdhandel bei allen Gütergruppen abgeschnitten. Dafür werden die Exporte auf den Anteil der deutschen Produktion an der Gesamtverfügbarkeit gekürzt und die Importe entsprechend angepasst. Da lediglich die Im- und Exportwerte angepasst werden, bleibt die für diese Untersuchung wichtige wirtschaftliche Verflechtung innerhalb Deutschlands davon unberührt.

Abbildung 5.4: Vergleich der Zusammensetzung von Aufkommen und Verwendung ausgewählter Gütergruppen (eigene Darstellung basierend auf Daten von Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (2013), Statistisches Bundesamt (2014b), Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2013) und Statistisches Bundesamt (2013))



5.2.3 Aufteilung auf Verkaufskanäle

Die unterschiedlichen Wege, die ein Produkt bei der Distribution bis zum Endkonsumenten nehmen kann, werden als Verkaufskanäle bezeichnet. Bei der Verteilung auf die verschiedenen Verkaufskanäle ist der Unterschied zwischen der monetären Verteilung in Prozent des Gesamtumsatzes in Euro und der physischen Verteilung in Prozent des Gesamtumsatzes in Tonnen (t) zu beachten. Im Gegensatz zur Verteilung des Gesamtumsatzes auf die Verkaufskanäle, die in Abbildung 2.2 auf Seite 8 dargestellt ist, wird für die Modellierung der physischen Güterflüsse die Verteilung des Absatzes benötigt.

Im Modell werden die vier Verkaufskanäle Direktabsatz, Vollsortiment-Einzelhandel, Discount-Einzelhandel sowie Großhandel & Sonstiges unterschieden. Der Direktabsatz, bestehend aus Direktverkäufen von Handwerkern, Industrie und Landwirtschaft, wird unverändert ins Modell übernommen. Der Universaleinzelhandel wird aufgrund seiner großen Bedeutung für die Lebensmittelversorgung näher betrachtet. Dieser Verkaufskanal ist nicht nur für den größten Umsatz- beziehungsweise Absatzanteil verantwortlich, sondern setzt sich zusätzlich aus relativ wenigen Unternehmen zusammen. Eine Störung in diesem Verkaufskanal hätte demnach größere Auswirkungen, da diese relativ kleine Anzahl von LEH-Unternehmen einen Großteil der Versorgung für die Bevölkerung abwickelt. Da sich die Universaleinzelhändler in zwei Gruppen teilen, die sehr unterschiedlich agieren, wird dieser Verkaufskanal in die zwei Teile Vollsortiment-Einzelhandel und Discount-Einzelhandel getrennt. Diese werden im folgenden Abschnitt weiter detailliert. Die übrigen Kanäle Spezialeinzelhandel, Nicht-stationärer Einzelhandel sowie der Großhandel werden zum Kanal Großhandel & Sonstiges zusammengefasst.

Die Absatzverteilung über die vier Verkaufskanäle kann nicht einfach aus der Umsatzverteilung berechnet werden, da sich die Unternehmen in den unterschiedlichen Verkaufskanälen stark durch ihre Sortiment- und Preisgestaltung unterscheiden. Außerdem ist die Absatzverteilung für viele Gütergruppen sehr unterschiedlich. Deshalb werden die Absatzanteile für alle 51 Gütergruppen aus verschiedenen Quellen zusammengetragen (Dünnebacke 2012; GfK Panel Services Deutschland 2013; Hoffmann und Szolnoki 2011; Lebensmittel Praxis 2012; Lebensmittel Zeitung 2011). Die Anteile sind in Tabelle 5.3 dargestellt. Einige Gütergruppen, wie zum Beispiel Getreide, fehlen in der Übersicht, da diese im Normalfall nicht an den Endkunden verkauft, sondern nur weiterverarbeitet werden. Für die Gütergruppen, die in der Tabelle ohne Fußnote aufgeführt sind, konnte die Absatzverteilung direkt identifiziert werden. Da für die Gütergruppen Backwaren, Süßwaren und Kartoffelerzeugnisse lediglich Angaben zur Umsatzverteilung zwischen Vollsortimentern und Discountern gefunden wurden, wird ein Preisunterschied von 20 % zwischen diesen Verkaufskanälen angenommen. Im Modell wird diese Aufteilung genutzt, um die jährlich abgesetzten Mengen in allen Regionen proportional zu dieser Verteilung herunterzubrechen.

Für die Teilkanäle Gastronomie und Institutioneller Großhandel konnten nur wenige Daten recherchiert werden. Deswegen erfolgt die Berechnung dieser Anteile auf Basis der Umsatzverteilung aus Abbildung 2.2. Dabei ist zu beachten, dass der Absatzanteil der Gastronomie, aufgrund eines Wareneinsatzes von circa 28 % des Umsatzes (Bundesministerium der Finanzen 2017), viel niedriger liegt als der Umsatzanteil in Höhe von 22,8 % (Abbildung 5.5).

Tabelle 5.3: Absatzaufteilung auf Verkaufskanäle in Prozent des Gesamtabsatzes in t (basierend auf Daten von Dünnebacke (2012), GfK Panel Services Deutschland (2013), Hoffmann und Szolnoki (2011), Lebensmittel Praxis (2012) und Lebensmittel Zeitung (2011))

Gütergruppe	Vollsortimenter in %	Discounter in %	Großhandel & Sonstiges in %	Direktabsatz in %
Reis tr ¹	43	49	8	0
Ölsaaten tr ²	32	50	17	2
Gemüse tg	32	50	17	2
Kartoffeln tg ²	32	50	17	2
Obst tg	31	50	17	2
Wein tr	29	26	23	23
Eier tr ²	32	50	17	2
Fisch und Krebs-, Weichtiere tk ³	42	50	8	0
Getreideerzeugnisse tr ¹	43	49	8	0
Backwaren tr ⁴	18	20	12	50
Backwaren tg ⁴	18	20	12	50
Backwaren tk ³	42	50	8	0
Teigwaren tr	43	49	8	0
Bier tr	36	19	45	0
Pflanzliche Öle tr ¹	43	49	8	0
Pflanzliche Fette tg ¹	43	49	8	0
Zucker tr ¹	43	49	8	0
Süßwaren tr ⁴	37	45	18	0
Süßwaren tg ⁴	37	45	18	0
Gemüsezubereitungen tr ¹	43	49	8	0
Gemüsezubereitungen tk ³	42	50	8	0
Kartoffelerzeugnisse tr ⁵	37	45	18	0
Kartoffelerzeugnisse tg ¹	43	49	8	0
Kartoffelerzeugnisse tk ³	42	50	8	0
Obstzubereitungen tr ¹	43	49	8	0
Obstzubereitungen tk ³	42	50	8	0
Obst- und Gemüsesäfte tr ¹	43	49	8	0
Rind-, Schweinefleisch & -wurst tg	33	44	12	12
Rind-, Schweinefleisch & -wurst tk ³	42	50	8	0
Konsummilch tr	45	47	8	0
Konsummilch tg	45	47	8	0
Milcherzeugnisse tg	45	47	8	0
Milcherzeugnisse tk	38	55	8	0
Käse tg	49	43	8	0
Schlachterzeugnisse Geflügel & -wurst tg	33	44	12	12
Schlachterzeugnisse Geflügel & -wurst tk ³	42	50	8	0
Fischerzeugnisse tr ¹	43	49	8	0
Fischerzeugnisse tg ¹	43	49	8	0
Fischerzeugnisse tk ³	42	50	8	0
Fertiggerichte tr ¹	43	49	8	0
Fertiggerichte tk ³	42	50	8	0
Mineralwasser & Erfrischungsgetränke tr	13	46	41	0

¹ Absatzverteilung wie Teigwaren tr

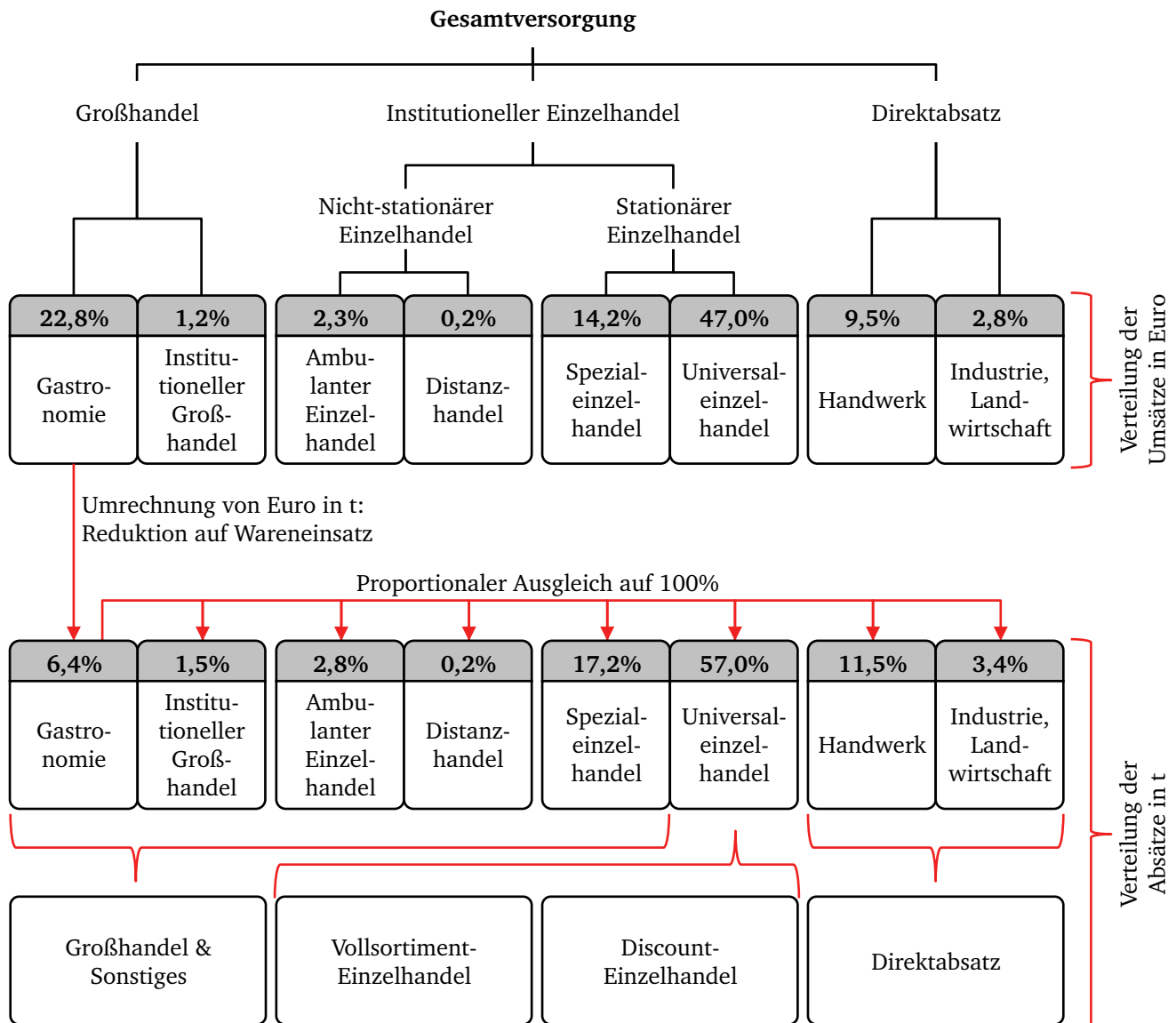
² Absatzverteilung wie Gemüse tg

³ Absatzverteilung wie Tiefkühlwaren

⁴ Absatzverteilung aus Umsatzverteilung berechnet

⁵ Absatzverteilung wie Süßwaren tr

Abbildung 5.5: Anpassung der Umsatzverteilung der Verkaufskanäle in Prozent des Gesamtumsatzes (eigene Darstellung auf Basis von TradeDimensions (2007, S. II,3))



5.2.4 Aufteilung auf Lebensmitteleinzelhändler

Die meisten der in Unterabschnitt 2.1.1 (ab Seite 5) vorgestellten Unternehmensgruppen bestehen aus mehreren Handelszentralen, die nicht nur eigene Filialen betreiben, sondern auch eigene Lagerhäuser und Logistiksysteme. Der LEH ist demnach vielfältiger als es auf den ersten Blick scheint. Die größten Handelszentralen sind in Tabelle 5.4 aufgeführt. Diese Liste umfasst alle LEH-Zentralen mit einem Bruttoumsatz von über 500 Millionen Euro und deckt damit 93 % des LEH ab. Aus dieser Tabelle wird deutlich, dass die Marktkonzentration aus technisch-logistischer Sicht nicht so hoch ist, wie aus der rechtlichen Perspektive (Tabelle 2.2 auf Seite 9). So haben die fünf größten Handelszentralen nur einen Umsatzanteil von 45 %. Die 29 Handelszentralen aus Tabelle 5.4 werden in der weiteren Untersuchung nicht aggregiert, sondern mit ihren logistischen Details im dynamischen Güterflussmodell abgebildet. Die Umrechnung der Umsatzverteilungen in Absatzverteilungen basiert neben diesen Daten auch auf dem regionalen Konsum der einzelnen Regionen und erfolgt deshalb erst nach der Beschreibung der räumlichen Strukturierung in Unterabschnitt 5.3.6 ab Seite 92.

Tabelle 5.4: Größte LEH-Zentralen nach Bruttoumsatz 2012 in Deutschland (TradeDimensions 2014c)

Rang	LEH-Zentrale	Hauptsitz	Umsatz in Millionen €	Marktanteil in %
1	Rewe	Köln	19.835	11,43
2	Lidl	Neckarsulm	17.905	10,32
3	Aldi Süd	Mülheim	14.900	8,59
4	Kaufland	Neckarsulm	13.500	7,78
5	Netto	Maxhütte-Haidhof	12.425	7,16
6	Aldi Nord	Essen	11.160	6,43
7	Real	Mönchengladbach	9.265	5,34
8	Edeka Minden-Hannover	Minden	9.209	5,31
9	Edeka Südwest	Offenburg	7.823	4,51
10	Penny	Köln	7.446	4,29
11	Edeka Rhein-Ruhr	Moers	5.724	3,30
12	Edeka Nordbayern	Rottendorf	3.612	2,08
13	Edeka Südbayern	Gaimersheim	3.450	1,99
14	Edeka Nord	Neumünster	3.356	1,93
15	Norma	Nürnberg	2.893	1,67
16	Edeka Hessenring	Melsungen	2.865	1,65
17	Kaiser's Tengelmann	Mülheim	2.148	1,24
18	Bartels-Langness	Kiel	2.125	1,22
19	Bünting	Leer	2.000	1,15
20	Globus	St. Wendel	1.892	1,09
21	Coop	Kiel	1.270	0,73
22	Netto Nord	Stavenhagen	1.186	0,68
23	Tegut	Fulda	1.155	0,67
24	Hit*	Siegburg	1.128	0,65
25	Kaes	Mauerstetten	737	0,42
26	Klaas + Kock	Gronau	625	0,36
27	Dennree	Töpen	598	0,34
28	Alnatura	Bickenbach	572	0,33
29	Wasgau	Pirmasens	537	0,31
-	Übrige	-	12.136	7,00
	Gesamt		173.477	100,00

* Die HIT-Marktanteile werden im Modell Rewe zugerechnet, da die Rewe-Gruppe die logistischen Aufgaben der kleineren HIT-Handelskette übernimmt.

5.3 Räumliche Abgrenzung, Strukturierung und Verflechtung

Dieser Abschnitt beschreibt die räumliche Abgrenzung, Strukturierung und Verflechtung des Untersuchungsraumes. Nach der einleitenden Abgrenzung des Untersuchungsraums wird die Feinheit der regionalen Auflösung festgelegt. Dann werden die deutsche Produktion und der Verbrauch auf die festgelegten Regionen verteilt. Anschließend wird die Einbindung des Außenhandels beschrieben. Nachdem Aufkommen und Verwendung komplett verteilt sind, werden die Transportentfernungen innerhalb und zwischen den Regionen bestimmt. Dies ist unter anderem für die folgende Lager-Filial-Zuordnung notwendig. Außerdem werden die spezifischen Absatzverteilungen der Handelszentralen in den einzelnen Regionen ermittelt, indem räumliche Informationen zum Verbrauch mit sektoralen Informationen zu Absatzkanälen und Lebensmitteleinzelhändlern verflochten werden.

5.3.1 Räumliche Strukturierung des Untersuchungsraumes

Zur räumlichen Strukturierung des deutschen Bundesgebietes wird die europäische Klassifikation der Gebiets-einheiten für die Statistik (vom französischen Nomenclature des unités territoriales statistiques) (NUTS 2010) verwendet (Eurostat 2015), die ausgehend von den Nationalstaaten auf NUTS-0-Ebene die Regionen in immer kleinere Teile bis hin zu einzelnen Gemeinden auf LAU-2-Ebene aufgliedert (Eurostat 2014). Dabei bezeichnet die Gliederung der Örtlichen Verwaltungseinheiten (vom englischen Local administrative unit) (LAU) die früheren NUTS-Ebenen 4 und 5. Tabelle 5.5 zeigt eine Übersicht über die verschiedenen Ebenen der NUTS-Klassifikation.

Tabelle 5.5: Klassifikation der Gebietseinheiten nach NUTS (basierend auf Eurostat (2015) und Eurostat (2014))

Ebene	Beschreibung	Gliederung in Deutschland
NUTS 0	Nationalstaaten	Bundesrepublik Deutschland
NUTS 1	größere Regionen oder Landesteile	16 Bundesländer
NUTS 2	mittelgroße Regionen oder Millionenstädte	39 Regierungsbezirke
NUTS 3	kleinere Regionen oder Großstädte	402 Landkreise und kreisfreie Städte
LAU 1	kommunale Verwaltungsgemeinschaften oder Gemeinden	circa 1.300 Verwaltungsgemeinschaften
LAU 2	Gemeinden oder Gemeindegliederungen	circa 11.000 Gemeinden

Um die Vielfalt des Lebensmittelsektors in Deutschland möglichst gut abbilden zu können, wird die NUTS-3-Ebene zur Gliederung des deutschen Bundesgebietes in 402 Kreise und kreisfreie Städte gewählt (Liste aller Regionen in Anhang D). Für diese Ebene sind, im Gegensatz zu den LAU-Ebenen, noch offizielle Statistiken, unter anderem zur Lebensmittelproduktion, zu Beschäftigten und zur Filialanzahlen, verfügbar. Mit dieser feinstmöglichen Aufteilung bleiben die wesentlichen Charakteristika der unterschiedlichen Regionen in Deutschland erhalten ohne den Umfang der Untersuchung unnötig zu vergrößern. Aus den gleichen Gründen werden die Daten bezüglich des Handels mit anderen Nationen nicht weiter unterteilt, sondern auf der NUTS-0-Ebene belassen.

5.3.2 Räumliche Verteilung der Produktion

Zur Analyse der Güterflüsse und Bestände innerhalb Deutschlands müssen die nationalen Daten zuerst auf die 402 Regionen r aufgeteilt werden. Diese Aufteilung entspricht dem NUTS-3-Level und umfasst alle deutschen Landkreise und kreisfreien Städte. Zur Aufteilung der jährlichen, gesamtdeutschen Produktion P^{com} werden je nach Gütergruppe com (Commodity) verschiedene Vorgehen genutzt.

Für die Disaggregation der Produktion der meisten Gütergruppen werden Daten zu sozialversicherungspflichtig Beschäftigten der Bundesagentur für Arbeit (2014) verwendet. Diese Daten enthalten eine detaillierte Aufstellung über die Anzahl der Beschäftigten in allen deutschen Regionen nach Wirtschaftszweigen (WZ 2008). Die

gesamtddeutsche Produktion einer Gütergruppe wird proportional zur Beschäftigtenverteilung des dazugehörigen Wirtschaftszweiges auf die Regionen umgelegt (Formel 5.1). Die Daten zu den sozialversicherungspflichtig Beschäftigten decken alle wesentlichen Wirtschaftszweige der Lebensmittelproduktion ab und könnten für die Verteilung aller 51 Gütergruppen verwendet werden. Jedoch wird bei der Aufteilung mittels Beschäftigtendaten angenommen, dass die Produktivität in allen deutschen Regionen gleich ist. Diese Annahme ist für die verarbeitende Lebensmittelindustrie akzeptabel, da sie weniger von äußeren Einflüssen abhängig ist als die Landwirtschaft. Zusätzlich ist der Wettbewerb in der verarbeitenden Industrie sehr groß, was zu vergleichbaren Produktivitäten führt. Bei landwirtschaftlichen Gütergruppen ist diese Annahme dagegen problematisch, da unter anderem die Bodenqualität, Betriebsgrößen oder regulatorische Eingriffe zu Produktivitätsunterschieden führen können. Zum Beispiel führt die Milchquotenregelung zu großen Produktivitätsunterschieden zwischen den verschiedenen Milchhöfen in Deutschland. Deshalb werden für die landwirtschaftlichen Gütergruppen, soweit es die verfügbaren Daten zulassen, andere Vorgehen zur Aufteilung der gesamtddeutschen Produktion gewählt.

Für die landwirtschaftlichen Gütergruppen Getreide, Zuckerrüben, Kartoffeln und Ölsaaten werden mit der regionalen Anbaufläche sowie den regionalen Hektarerträgen sehr detaillierte Daten erhoben (Statistische Ämter des Bundes und der Länder 2014). Diese Daten werden genutzt, um die regionale Produktion zu berechnen, indem der Hektarertrag y_r^{com} (Yield) mit der Anbaufläche ar_r^{com} (Area) multipliziert wird. Da die Summe dieser berechneten regionalen Produktionen aber nicht exakt der bereits festgestellten gesamtddeutschen Produktion entspricht, werden die einzelnen Ergebnisse genutzt, um die gesamtddeutsche Produktion proportional herunter zu brechen (Formel 5.2). So bleibt die Datenbank konsistent, ohne die Verteilung der Produktion zu verändern (Formel 5.4). Die statistischen Ämter des Bundes und der Länder stellen auch Daten zur Anzahl von Tieren pro Region na_r^{com} (Number of animals) zur Verfügung. Mit dieser Statistik wird die gesamtddeutsche Produktion von Rindern, Rohmilch, Schweinen und Eiern auf die Regionen verteilt (Formel 5.3). Zwei vollständige Beispiele für die regionale Produktion von Rohmilch und Gemüse sind in Anhang D aufgeführt.

$$p_r^{com} = \frac{ne_r^{com}}{\sum_r ne_r^{com}} \cdot p^{com}, \quad \forall com \quad (5.1)$$

$$p_r^{com} = \frac{y_r^{com} \cdot ar_r^{com}}{\sum_r (y_r^{com} \cdot ar_r^{com})} \cdot p^{com}, \quad com \in \{\text{Getreide, Zuckerrüben, Kartoffeln, Ölsaaten}\} \quad (5.2)$$

$$p_r^{com} = \frac{na_r^{com}}{\sum_r na_r^{com}} \cdot p^{com}, \quad com \in \{\text{Rinder, Rohmilch, Schweine, Eier}\} \quad (5.3)$$

$$p^{com} = \sum_r p_r^{com}, \quad \forall com \quad (5.4)$$

mit:

ar_r^{com} = Anbaufläche für Gütergruppe com in Region r

na_r^{com} = Anzahl Tiere der Gütergruppe com in Region r

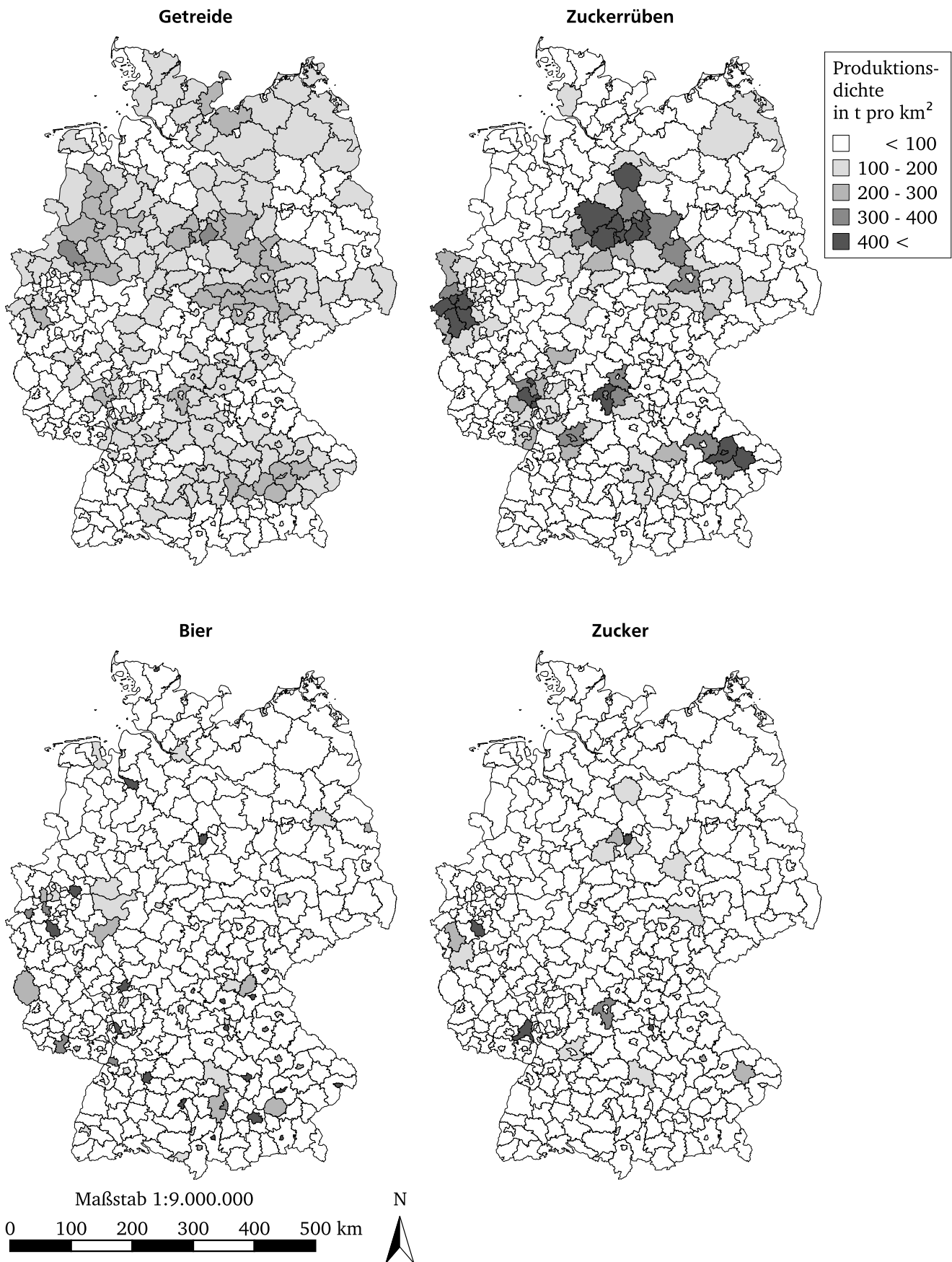
ne_r^{com} = Anzahl Beschäftigte in Gütergruppen com in Region r

p^{com} = Jährliches nationales Produktionsaufkommen in Gütergruppe com

p_r^{com} = Jährliches Produktionsaufkommen in Gütergruppe com in Region r

y_r^{com} = Jährlicher Hektarertrag der Gütergruppe com in Region r

Abbildung 5.6: Produktionsdichte ausgewählter Gütergruppen im Jahr 2012 (basierend auf Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (2013) und Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2014))



Der Anbau des landwirtschaftlichen Produktes Getreide verteilt sich auf die ländlichen Kreise des gesamten Bundesgebietes (Abbildung 5.6, oben links). Im Gegensatz dazu findet die Bierproduktion (ebenda, unten links) hauptsächlich in den kreisfreien Städten statt. Jedoch ist auch hier, mit Ausnahme des bevölkerungsarmen Nordostens, die relativ gleichmäßige Produktionsverteilung über Deutschland erkennbar. Dagegen ist die Zuckerrübenproduktion (ebenda, oben rechts) wesentlich stärker konzentriert. Es lassen sich deutliche Zentren mit stark erhöhtem Produktionsaufkommen erkennen. Die Zuckerproduktion (ebenda, unten rechts) orientiert sich räumlich an diesen Zentren. Diese Ergebnisse überraschen nicht, zeigen aber, dass die Produktionen der einzelnen Gütergruppen sehr unterschiedlich über Deutschland verteilt sind und dass die Standortwahl der weiterverarbeitenden Lebensmittelindustrie im Bezug zum Ursprung der Vorprodukte verschieden ausfällt. Die Karten zeigen darüber hinaus auch, dass die Erhebung der Produktionsverteilung mittels der Anzahl sozialversicherungspflichtig Beschäftigter sinnvolle Ergebnisse produziert.

5.3.3 Räumliche Verteilung des Verbrauchs

Die Input-Output-Tabelle aus Abbildung 5.2 (Seite 74) beschreibt neben dem Produktionsaufkommen der einzelnen Gütergruppen auch wie diese Produktion auf nationaler Ebene verwendet wird. Die Verwendung innerhalb Deutschlands teilt sich auf den Endverbraucherkonsum, die Weiterverarbeitung und die Verwendung in anderen Sektoren auf.

Die Verteilung des Konsums durch den Endverbraucher uc_r^{com} (Usage for consumption) folgt der Bevölkerungsverteilung pop_r^{com} (Population) in Deutschland (Statistisches Bundesamt 2014a) (Formel 5.5). Bei diesem Vorgehen wird davon ausgegangen, dass jeder Einwohner in Deutschland den gleichen Warenkorb konsumiert und damit im Schnitt die gleichen Mengen der unterschiedlichen Gütergruppen verbraucht. Durch die große Bevölkerungszahl in den Regionen, die eventuelle Schwankungen im Konsumverhalten ausgleichen kann, ist diese Annahme vertretbar. Die erste Karte in Abbildung 5.7 zeigt beispielhaft den Kartoffelverbrauch durch Endverbraucher. Auf diese entfällt rund die Hälfte der Inlandsverwendung von 9 Millionen t, was einem jährlichen Pro-Kopf-Verbrauch von 57 kg entspricht.

$$uc_r^{com} = \frac{pop_r}{\sum_r pop_r} \cdot UC^{com} \quad (5.5)$$

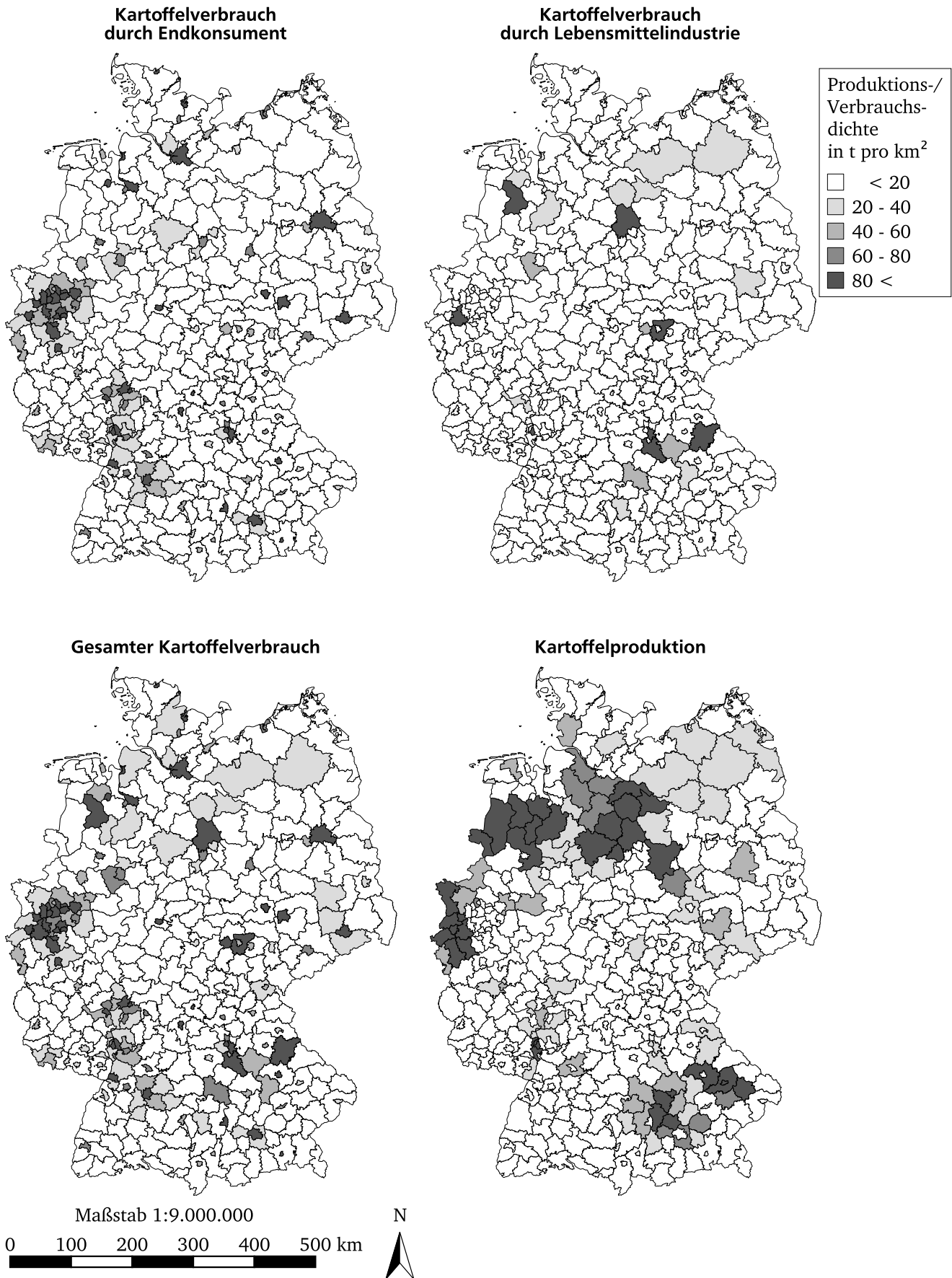
$$up_r^{com} = \sum_{com_b} \left(\frac{p_r^{com_b}}{p^{com_b}} \cdot UP^{com,com_b} \right) \quad (5.6)$$

$$\sum_r p_r^{com} + IM^{com} = \sum_r (up_r^{com} + uc_r^{com}) + UO^{com} + EX^{com} \quad (5.7)$$

mit:

- EX^{com} = Jährlicher nationaler Export von Gütergruppe com zu allen Handelspartnern
- IM^{com} = Jährlicher nationaler Import von Gütergruppe com von allen Handelspartnern
- pop_r = Bevölkerung in Region r
- UC^{com} = Jährlicher nationaler Konsum von Gütergruppe com durch Endverbraucher
- uc_r^{com} = Jährlicher Konsum von Gütergruppe com durch Endverbraucher in Region r
- UO^{com} = Jährlicher nationaler Verbrauch von Gütergruppe com außerhalb der Lebensmittelindustrie
- UP^{com,com_b} = Jährlicher nationaler Verbrauch von Gütergruppe com zur Produktion von Gütergruppe com_b
- up_r^{com} = Jährlicher Verbrauch von Gütergruppe com in Region r

Abbildung 5.7: Dichte von Kartoffelverbrauch und -produktion im Jahr 2012 (basierend auf Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (2013) und Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2014))



Ein Viertel der Inlandsverwendung von Kartoffeln fließt in die Weiterverarbeitung. Die dafür benötigten Gütermengen UP^{com,com_b} ergeben sich aus den Angaben zur wirtschaftlichen Verflechtung in den Zeilen der physischen Input-Output-Tabelle und der Produktionsverteilung der jeweiligen Folgeproduktion. Zur Bestimmung der regionalen Nachfrage up_r^{com} (Usage for production) wird dieser nationale Jahresverbrauch proportional zur Produktionsverteilung der Zielgütergruppe com_b verteilt (Formel 5.6). Kartoffeln werden lediglich zur Gütergruppe Kartoffelerzeugnisse verarbeitet. Dabei werden zur Herstellung einer Tonne Kartoffelerzeugnisse 1,3 t Kartoffeln benötigt. Den regionalen Kartoffelverbrauch zur Herstellung von Kartoffelerzeugnissen zeigt die obere rechte Karte in Abbildung 5.7, den gesamten innerdeutschen Verbrauch die untere linke Karte. Dem gegenübergestellt ist die deutsche Kartoffelproduktion (ebenda, unten rechts). Wie die Güterflüsse zwischen produzierenden und verbrauchenden Regionen modelliert werden, beschreibt Kapitel 6.3 ab Seite 110.

Die Güter, die in anderen Sektoren zum Beispiel als Futtermittel oder Brennstoff verwendet werden, werden für die realistische Modellierung der Lebensmittelversorgung nicht weiter betrachtet und damit auch nicht auf Regionen verteilt. Die Mengen der in anderen Wirtschaftssektoren verwendeten Güter werden aber, wie bereits beschrieben, in der Spalte UO^{com} der physischen Input-Output-Tabelle mitgeführt, da sie in bestimmten Notfallszenarien als Reserve dienen könnten. Bei der Verwendung dieser Mengen für die Lebensmittelversorgung müssten allerdings Beschränkungen bei der Produktqualität beachtet, rechtliche Rahmenbedingungen eingehalten und entstehende Probleme in den anderen Sektoren (zum Beispiel Engpässe bei der Versorgung von Tiere und bei der Energieerzeugung) berücksichtigt werden. Bei der Gütergruppe Kartoffeln beläuft sich diese Menge auf 2,2 Millionen t, was wiederum einem Viertel der Inlandsverwendung entspricht. Zusammen mit dem Export, der bei Kartoffeln 4,3 Millionen t ausmacht, ergibt die Summe der Verwendungszwecke den Gesamtverbrauch, welcher der Summe von deutscher Produktion und Import entspricht (Formel 5.7). Da zur Verteilung des Gesamtverbrauchs aus Weiterverarbeitung und Endkonsum stets prozentuale Anteile verwendet werden, ist auch hier die Konsistenz der Datenbasis gewährleistet.

5.3.4 Einbindung des Außenhandels

Neben Produktion und Verwendung in Deutschland ist auch der Außenhandel eine wichtige Lebensmittelquelle sowie wichtiger Absatzkanal. Um den Außenhandel in der Untersuchung zu berücksichtigen, werden Daten der 50 wichtigsten Außenhandelspartner berücksichtigt. Diese umfassen neben den 21 großen EU-Mitgliedern auch 29 Nicht-EU-Mitglieder, was der Empfehlung von Wiedmann, Wilting, Lutter u. a. (2009, S. 34) entspricht. Die Daten zu im- und exportierten Massen stammen vom Statistisches Bundesamt (2013). Diese monatsgenauen Statistiken unterscheiden einzelne Güter nach dem Warenverzeichnis für die Außenhandelsstatistik (WA) und können für alle Nationen tn (Trading nations) einzeln abgerufen werden. Um eine möglichst genaue Aufteilung auf die in dieser Arbeit verwendete Klassifikation von 51 Gütergruppen zu erreichen, werden die besonders detaillierten 6-stelligen Auswertungen gewählt, die zwischen circa 700 Gütergruppen unterscheiden. Tabelle 5.6 zeigt eine Übersicht über die für Deutschland wichtigsten Handelspartner, zusammen mit ihren summierten Im- und Exportwerten für das Jahr 2012. Damit werden 99 % der Lebensmittelimporte nach Deutschland und 96 % der deutschen Lebensmittelexporte abgedeckt.

Da die Im- und Exportwerte imi_{tn}^{com} (Initial import) und exi_{tn}^{com} (Initial export) mit einer anderen Klassifizierung erfasst wurden als die Produktions- und Konsumdaten, kommt es hier zu kleinen Abweichungen im Vergleich zu den bisher vorgestellten Daten. Deshalb müssen Im- und Export mit den Formeln 5.8 und 5.9 an die Datenbasis angepasst werden. Diese Anpassung wird auf die einzelnen Monate übertragen (Formeln 5.10 und 5.11).

Tabelle 5.6: Wichtigste Außenhandelspartner im Lebensmittelsektor (basierend auf Statistisches Bundesamt (2013))

Außenhandelspartner	Deutsche Importe in t	Importanteil in %	Deutsche Exporte in t	Exportanteil in %
Niederlande	9.405.948	19	12.317.920	29
Frankreich	6.494.590	13	3.636.916	9
Italien	3.951.861	8	3.867.437	9
Polen	3.399.106	7	1.568.089	4
Spanien	3.297.595	7	997.261	2
Tschechien	2.724.216	6	704.564	2
Belgien	2.529.174	5	3.168.663	7
Dänemark	2.179.878	4	1.426.833	3
Österreich	1.976.518	4	1.886.274	4
Ungarn	1.393.213	3	353.714	1
Vereinigtes Königreich	987.169	2	2.048.067	5
Indonesien	632.463	1	36.486	0
Australien	630.997	1	59.563	0
Brasilien	605.132	1	29.948	0
Ecuador	577.921	1	900	0
China	486.467	1	398.353	1
Costa Rica	465.165	1	1.707	0
Türkei	452.344	1	52.369	0
Litauen	411.236	1	105.771	0
Griechenland	366.924	1	444.253	1
USA	345.180	1	450.347	1
Kolumbien	324.836	1	3.550	0
Slowakei	323.718	1	171.559	0
Argentinien	296.471	1	6.527	0
Thailand	272.584	1	82.684	0
Schweiz	261.880	1	765.145	2
Finnland	261.856	1	345.509	1
Luxemburg	244.194	1	99.035	0
Südafrika	232.241	0	219.711	1
Lettland	230.982	0	49.825	0
Russland	225.465	0	647.381	2
Schweden	217.312	0	694.075	2
Papua-Neuguinea	200.535	0	156	0
Malaysia	199.409	0	53.499	0
Ukraine	199.086	0	112.293	0
Kanada	194.903	0	86.003	0
Rumänien	184.140	0	265.852	1
Irland	169.608	0	225.854	1
Chile	157.271	0	15.597	0
Bulgarien	143.129	0	110.731	0
Israel	137.047	0	75.098	0
Norwegen	117.204	0	358.119	1
Ägypten	102.666	0	139.110	0
Portugal	102.051	0	267.208	1
Marokko	90.413	0	124.276	0
Iran	12.794	0	1.168.395	3
Nigeria	2.935	0	156.578	0
Algerien	1.349	0	333.583	1
Saudi-Arabien	425	0	779.168	2
Hongkong	347	0	185.012	0
Gesamt	48.219.943	99	41.096.964	96

$$im_{tn}^{com} = \frac{imi_{tn}^{com}}{\sum_{tn} imi_{tn}^{com}} \cdot IM^{com} \quad (5.8)$$

$$ex_{tn}^{com} = \frac{exi_{tn}^{com}}{\sum_{tn} exi_{tn}^{com}} \cdot EX^{com} \quad (5.9)$$

$$mim_{tn,m}^{com} = \frac{im_{tn}^{com}}{imi_{tn}^{com}} \cdot mimi_{tn,m}^{com} \quad (5.10)$$

$$mex_{tn,m}^{com} = \frac{ex_{tn}^{com}}{exi_{tn}^{com}} \cdot mexi_{tn,m}^{com} \quad (5.11)$$

mit:

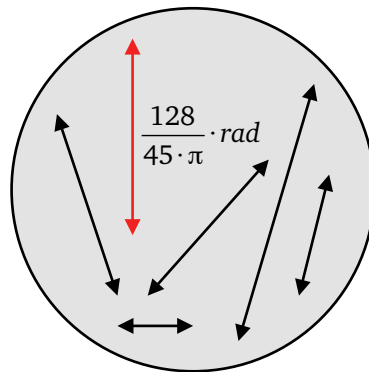
- EX^{com} = Jährlicher nationaler Export von Gütergruppe com zu allen Handelspartnern
 ex_{tn}^{com} = Jährlicher Export von Gütergruppe com zu Handelspartner tn
 exi_{tn}^{com} = Initialer jährlicher Export von Gütergruppe com zu Handelspartner tn laut Originaldaten
 IM^{com} = Jährlicher nationaler Import von Gütergruppe com von allen Handelspartnern
 im_{tn}^{com} = Jährlicher Import von Gütergruppe com von Handelspartner tn
 imi_{tn}^{com} = Initialer jährlicher Import von Gütergruppe com von Handelspartner tn laut Originaldaten
 $mex_{tn,m}^{com}$ = Export von Gütergruppe com zu Handelspartner tn im Monat m
 $mexi_{tn,m}^{com}$ = Initialer Export von Gütergruppe com zu Handelspartner tn im Monat m laut Originaldaten
 $mim_{tn,m}^{com}$ = Import von Gütergruppe com von Handelspartner tn im Monat m
 $mimi_{tn,m}^{com}$ = Initialer Import von Gütergruppe com von Handelspartner tn im Monat m laut Originaldaten

5.3.5 Transportentfernungen

Um die Handelsbeziehungen zwischen den verschiedenen Regionen bestimmen sowie die benötigten Transportkapazitäten berechnen zu können, werden die Transportentfernungen zwischen Quell- und Zielregionen bestimmt. Zusätzlich zu den räumlichen Transportentfernungen müssen auch die Transportzeiten berücksichtigt werden, um Bestellungen im Modell richtig verarbeiten zu können. Um alle Quell-Ziel-Kombinationen abzudecken, werden die Transportentfernungen innerhalb einer Region, zwischen den deutschen Regionen sowie die Transportentfernungen zu den Außenhandelspartnern in Europa und Übersee bestimmt.

Die durchschnittliche Transportentfernung $dist_r$ (Distance) **innerhalb einer Region r** ist eine theoretische Größe. Sie wird, der Methodik von Friedrich (2010, S. 68) folgend, mit dem Abstand zwischen zwei Punkten eines geometrischen Kreises geschätzt (Formel 5.12). Da die Regionen keine geometrisch runden Kreise mit einem messbaren Radius sind, wird der Radius rad_r in der Formel durch die Fläche ar_r (Area) der Region r bestimmt. Dabei muss angemerkt werden, dass durch die unregelmäßige Form der deutschen Regionen im Unterschied zum geometrischen Kreis, diese Schätzung für die Bestimmung einzelner Abstände nicht zulässig wäre. Im Durchschnitt gleichen sich die über- und unterschätzten Abstände jedoch näherungsweise aus, sodass diese Methode hier verwendet werden kann. Um vom durchschnittlichen Abstand auf die Transportentfernung auf der Straßeninfrastruktur zu kommen, wird ein Umwegfaktor DET (Detour) eingerechnet, der unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Größe deutscher Regionen 1,23 beträgt.

Abbildung 5.8: Durchschnittlicher Abstand zweier Punkte in einem geometrischen Kreis nach Friedrich (2010, S. 68)



$$dist_r \approx DET \cdot \frac{128}{45 \cdot \pi} \cdot rad_r = 1,23 \cdot \frac{128}{45 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{ar_r}{\pi}} = 0,63 \cdot \sqrt{ar_r} \quad (5.12)$$

mit:

ar_r = Gesamte Fläche der Region r

DET = Umwegfaktor

$dist_r$ = Mittlere Transportentfernung innerhalb der Region r

rad_r = Radius des Kreises mit der Fläche der Region r

Die Transportentfernungen zwischen den **europäischen NUTS-3-Regionen** werden vom Statistischen Amt der Europäischen Union zur Verfügung gestellt (Statistisches Amt der Europäischen Union 2012). Bei den Daten handelt es sich um Transportentfernungen auf der Straßeninfrastruktur zwischen den politischen Zentren. Diese können direkt zur Berechnung der innerdeutschen Güterflüsse verwendet werden.

Da die **Außenhandelspartner** im Gegensatz dazu nicht auf der detaillierten NUTS-3-Ebene, sondern als ganze Nation modelliert werden, müssen die Daten noch angepasst werden. Für das europäische Ausland werden dafür die Hauptstadtregionen identifiziert und die jeweiligen Transportentfernungen zwischen den einzelnen deutschen Kreisen und der ausländischen Hauptstadt für das gesamte Gebiet des Außenhandelspartners übernommen. Dieses Vorgehen kann nicht für die Außenhandelspartner in Übersee angewendet werden, da die Im- und Exporte in diesem Fall fast ausschließlich über Schiffe abgewickelt werden. Deshalb werden Daten zu den größten Seehäfen der Außenhandelspartner genutzt, um die Schiffstransporte möglichst genau abzubilden. Tabelle 5.7 zeigt eine Übersicht über die jeweils größten Seehäfen der Außenhandelspartner sowie die Transportentfernungen zwischen diesen Häfen und dem größten deutschen Seehafen, dem Hafen Hamburg. Dabei ist zu beachten, dass sich der größte Seehafen der USA nicht in New York befindet. Die größeren Seehäfen Los Angeles und Long Beach befinden sich jedoch beide in Kalifornien an der Pazifikküste, welche für Transporte nach Europa ungeeignet sind. Die Daten stammen vom Containerspediteur SeaRates LP (2016).

Der Hamburger Hafen wird zur Bestimmung der Transportentfernungen im Überseehandel herangezogen, da er der mit Abstand größte deutsche Seehafen ist. Laut Daten, die von Schubert u. a. (2014) zur Erstellung der Verkehrsverflechtungsprognose 2030 genutzt wurden, schlagen in Deutschland 18 **Seehäfen** insgesamt über 16 Millionen t an landwirtschaftlichen und verarbeiteten Lebensmitteln um. Die größten sieben, die zusammen 96 % des Umschlages abdecken, sind in Tabelle 5.8 dargestellt. Diese sieben Seehäfen werden im Modell abgebildet. Bei Importen über den Seeweg, werden die täglichen Importe mittels der Umschlagsanteile psi^{port} (Port share import) auf diese Seehäfen $port$ umgelegt. Zur Bestimmung der Güterflüsse werden zu den Seewegen noch die innerdeutschen Transportentfernungen zwischen den Seehäfen und den im- beziehungsweise exportierenden Regionen addiert.

Tabelle 5.7: Transportentfernungen zu Außenhandelspartnern in Übersee (basierend auf SeaRates LP (2016))

Außenhandelspartner	Größter Hafen	Transportentfernung in km	Transportzeit in Tagen
Iran	Bandar Abbas	11.874	19
China	Ningbo	19.704	32
Saudi-Arabien	Jeddah	7.875	13
USA	New York	6.409	10
Australien	Melbourne	21.118	34
Indonesien	Tanjung Priok	16.317	26
Brasilien	Santos	10.573	17
Ecuador	Guayaquil	10.921	18
Südafrika	Durban	13.344	21
Costa Rica	Caldera	10.322	17
Algerien	Alger	3.774	6
Thailand	Laem Chabang	17.266	28
Kolumbien	Cartagena	8.962	14
Argentinien	Buenos Aires	12.254	20
Kanada	Montreal	6.088	10
Ägypten	Alexandria	6.367	10
Malaysia	Tanjung Pelepas	15.817	25
Marokko	Tangier	2.945	5
Israel	Haifa	6.715	11
Hongkong	Hong Kong	18.546	30
Papua-Neuguinea	Port Moresby	20.791	33
Nigeria	Lagos	8.200	13
Chile	Valparaiso	14.318	23

Tabelle 5.8: Deutsche Seehäfen mit dem größten Lebensmittelumschlag (basierend auf Schubert u. a. (2014))

Seehafen	Import				Export			
	Landwirtschaftliche Güter		Verarbeitete Güter		Landwirtschaftliche Güter		Verarbeitete Güter	
	in t	in %	in t	in %	in t	in %	in t	in %
Hamburg	1.165.759	41	3.628.538	51	1.605.319	75	1.963.050	42
Bremerhaven	223.826	8	1.068.753	15	154.709	7	1.201.473	26
Brake	604.229	21	1.408.605	20	51.420	2	260.953	6
Bremen	161.641	6	621.539	9	41.282	2	633.966	14
Lübeck-Travemünde	224.269	8	121.250	2	83.890	4	50.856	1
Wismar	65.763	2	8.576	0	6.054	0	360.607	8
Sassnitz-Mukran	128.457	5	34.392	0	78.094	4	73.234	2
Gesamt	2.817.226	91	7.090.306	97	2.139.963	94	4.643.035	98

Die **Transportzeiten** für den Überseehandel stammen wie die Transportentfernungen in Kilometern von SeaRates LP (2016). Sie finden sich ebenfalls in Tabelle 5.7. Die innereuropäischen Transportzeiten gehen auf Laufzeitkarten von UPS (2016) zurück. Sie liegen zwischen zwei Tagen für die meisten direkten Nachbarländer Deutschlands und sieben Tagen für Ziele in der Türkei, der Ukraine und Russland. Für die innerdeutschen Transporte wird eine Transportzeit von einem Tag angenommen.

Der Außenhandel per **Luftweg** wird in dieser Arbeit vernachlässigt, da er nur eine untergeordnete Rolle spielt. So betrug das Warenaufkommen des Perishable Centers Frankfurt, dem größten deutschen Umschlagpunkt für verderbliche Luftfracht, im Jahr 2013 lediglich knapp über 80.000 t.

5.3.6 Spezifische regionale Absatzverteilung

Zur Modellierung der dynamischen Güterflüsse zwischen Lebensmittelproduktion, Lebensmittelhandel und Endkonsumenten müssen die Absatzzahlen pro Handelszentrale und Region in Tonnen bestimmt werden. Die bereits mit Hilfe der Bevölkerungsverteilung ermittelten regionalen Absätze werden dafür auf die einzelnen Handelszentralen umgelegt. Dazu werden die monetären Umsätze der Handelszentralen zuerst auf die Regionen verteilt und anschließend in Absätze in Tonnen umgerechnet.

Zur Aufteilung der nationalen Umsätze REV^{ret} (Revenues) aus Tabelle 5.4 auf die einzelnen deutschen Regionen werden Daten bezüglich der Anzahl an **Filialen** pro Kreis und Handelszentrale ns_r^{ret} (Number of stores) des kommerziellen Datenanbieters TradeDimensions (2014a) verwendet. Diese Daten umfassen alle 31.152 Filialen der 29 untersuchten Handelszentralen *ret* (Retailer). Die Filialanzahl allein reicht aber nicht aus, um eine Aussage über die Marktanteile in einem Kreis zu treffen, da die Filialen unterschiedliche Größen haben und damit auch unterschiedliche Umsätze erzeugen. Deswegen werden zusätzlich Kennzahlen unterschiedlicher Filialtypen *st* (Store type) mittels Daten von TradeDimensions (2014a) und der Lebensmittel Zeitung (2011, S. 367) bestimmt (Tabelle 5.9).

Tabelle 5.9: Kennzahlen der Filialtypen (basierend auf Daten von TradeDimensions (2014a) und Lebensmittel Zeitung (2011, S. 367))

Filialtyp	Anzahl Filialen	Verkaufsfläche pro Filiale	Umsatz pro Filiale	Gesamtumsatz pro Filialtyp	Gesamtumsatzanteile der Filialtypen
	Stand 2012	in m^2	in Millionen €	in Millionen €	in %
Selbstbedienungs-Warenhaus	690	> 5.000	21,62	14.918	8,58
Verbrauchermarkt	3.803	1.500 - 4.900	7,63	29.010	16,68
Großer Supermarkt	4.465	800 - 1.499	3,97	17.712	10,19
Supermarkt	3.305	400 - 799	2,71	8.957	5,15
Kleiner Supermarkt	5.882	< 400	0,63	3.699	2,13
Discount Geschäft	16.167	-	3,34	53.935	31,02
Cash&Carry-Markt	381	-	28,82	10.980	6,32
Getränkemarkt	10.632	-	0,65	6.962	4,00
Angeschlossener Getränkeabholmarkt	1.996	-	0,65	1.307	0,75
Tankstelle	15.215	-	0,91	13.868	7,98
Drogeriemarkt	4.108	-	3,05	12.529	7,21

Mit diesen Kennzahlen und Formel 5.13 lässt sich für jeden Kreis eine individuelle und realitätsnahe **Umsatzaufteilung** rev_r^{ret} berechnen. Zugrunde liegende Annahme dabei ist, dass jeder Filialtyp einer Handelszentrale den gleichen Umsatz erzeugt. Tabelle 5.10 zeigt beispielhaft die Umsatzaufteilung für ausgewählte urbane und ländliche Regionen.

$$rev_r^{ret} = \frac{ns_r^{ret,st} \cdot rev^{st}}{\sum_r (ns_r^{ret,st} \cdot rev^{st})} \cdot REV^{ret} \quad (5.13)$$

ret = Handelszentrale mit $fr \cup dr = ret, fr \cap dr = \emptyset$

$ns_r^{ret,st}$ = Anzahl Filialen der Handelszentrale ret vom Typ st in Region r

REV^{ret} = Jährlicher nationaler Umsatz von Handelszentrale ret

rev_r^{ret} = Jährlicher Umsatz von Handelszentrale ret in Region r

rev^{st} = Jahresumsatz pro Filiale vom Typ st laut Tabelle 5.9

Tabelle 5.10: Umsatzaufteilung ausgewählter Kreise (Auszug, eigene Berechnung basierend auf Daten von TradeDimensions (2014c), TradeDimensions (2014a) und Lebensmittel Zeitung (2011, S. 367))

Kreis	Berlin	Hamburg	Darmstadt	Darmstadt-Dieburg	Harz
	in %	in %	in %	in %	in %
Alnatura	2	2	8	1	-
Bartels-Langness	-	2	-	-	-
Coop	-	2	-	-	-
Dennree	1	1	-	1	-
Edeka Minden-Hannover	13	-	-	-	40
Edeka Nord	-	23	-	-	-
Edeka Südwest	-	-	8	14	-
Kaiser's Tengelmann	13	-	-	-	-
Kaufland	13	8	-	8	9
Real	4	4	13	10	11
Rewe	9	14	23	18	5
Tegut	-	-	4	4	-
Wasgau	-	-	-	1	-
Summe Vollsortimenter	55	56	56	57	65
Aldi Nord	13	16	-	-	13
Aldi Süd	-	-	23	19	-
Lidl	15	13	9	10	7
Netto	9	4	7	7	10
Netto Nord	3	-	-	-	1
Norma	1	-	-	1	2
Penny	4	11	5	6	2
Summe Discounter	45	44	44	43	35

Bevor mit der Absatzverteilung auf die 22 Vollsortimenter und 7 Discounter begonnen wird, wird das regionale **Umsatzverhältnis zwischen den beiden Verkaufskanälen** bestimmt, da dies in jeder Region unterschiedlich ist und vom Bundesdurchschnitt abweicht. So kann man in Tabelle 5.10 beispielsweise ablesen, dass der Umsatzanteil der Discounter in Berlin mit 45 % wesentlich höher liegt als in der Harz-Region, wo er nur 35 % beträgt. Mit Formel 5.14 wird der Mehrumsatz sur_r (Surplus) der Vollsortimenter für alle Regionen bestimmt.

$$sur_r = \frac{\sum_{fr} rev_r^{fr}}{\sum_{ret} rev_r^{ret}} - \frac{\sum_{fr} REV^{fr}}{\sum_{ret} REV^{ret}} \quad (5.14)$$

- fr = Vollsortiment-Handelszentrale
 ret = Handelszentrale mit $fr \cup dr = ret, fr \cap dr = \emptyset$
 REV^{ret} = Jährlicher nationaler Umsatz von Handelszentrale ret
 rev_r^{ret} = Jährlicher Umsatz von Handelszentrale ret in Region r
 sur_r = Mehrumsatz aller Vollsortimenter in Region r im Gegensatz zum nationalen Durchschnitt

Mit der umsatzbezogenen, regionalen Marktaufteilung können die regionalen Absätze uc_r^{com} (Usage for consumption) der Verkaufskanäle Vollsortimenter $SCFR^{com}$ (Sales channel full-range retail) und Discounter $SCDR^{com}$ (Sales channel discount retail) weiter auf die 29 Handelszentralen verteilt werden. Dabei wird davon ausgegangen, dass es zwar Preisunterschiede zwischen den Gruppen der Vollsortimenter fr (Full-range retailer) und Discounter dr (Discount retailer) gibt, aber keine Preisunterschiede innerhalb dieser Gruppen. Setzt man den regionalen Mehrumsatz sur_r und die bereits berechneten Umsatz- und Absatzanteile in die Formel 5.15 beziehungsweise 5.16 ein, erhält man die **detaillierten Absatzverteilungen** $sal_r^{ret,com}$ (Sales) für alle Regionen, Handelszentralen und Gütergruppen.

$$sal_r^{fr,com} = (1 + sur_r) \cdot SCFR^{com} \cdot \frac{rev_r^{fr}}{\sum_{fr} rev_r^{fr}} \cdot uc_r^{com} \quad (5.15)$$

$$sal_r^{dr,com} = (1 - sur_r) \cdot SCDR^{com} \cdot \frac{rev_r^{dr}}{\sum_{dr} rev_r^{dr}} \cdot uc_r^{com} \quad (5.16)$$

mit:

- dr = Discount-Handelszentrale
 fr = Vollsortiment-Handelszentrale
 REV^{ret} = Jährlicher nationaler Umsatz von Handelszentrale ret
 rev_r^{ret} = Jährlicher Umsatz von Handelszentrale ret in Region r
 $sal_r^{ret,com}$ = Jahresumsatz der Gütergruppe com durch die Handelszentrale ret in Region r
 $SCDR^{com}$ = Absatzanteil der Discounter an Gütergruppe com
 $SCFR^{com}$ = Absatzanteil der Vollsortimenter an Gütergruppe com
 sur_r = Mehrumsatz aller Vollsortimenter in Region r im Gegensatz zum nationalen Durchschnitt
 uc_r^{com} = Jährlicher Konsum von Gütergruppe com durch Endverbraucher in Region r

Da die **Absätze der Verkaufskanäle Großhandel & Sonstiges** $sal_r^{wso,com}$ sowie **Direktabsatz** $sal_r^{ds,com}$ nicht weiter aufgeteilt werden und sich zwischen den Regionen nicht unterscheiden, werden deren Absätze einfach mit den Absatzanteilen $SCWSO^{com}$ (Sales channel wholesale) beziehungsweise $SCDS^{com}$ (Sales channel direct sales) und den regionalen Absätzen uc_r^{com} berechnet (Formeln 5.17 und 5.18).

$$sal_r^{wso,com} = SCWSO^{com} \cdot uc_r^{com} \quad (5.17)$$

$$sal_r^{ds,com} = SCDS^{com} \cdot uc_r^{com} \quad (5.18)$$

- $sal_r^{ds,com}$ = Jährlicher Direktabsatz der Gütergruppe com in Region r
 $sal_r^{wso,com}$ = Jahresumsatz der Gütergruppe com durch Großhändler und sonstige Verkaufskanäle in Region r
 $SCDS^{com}$ = Anteil Direktabsatz an Gütergruppe com
 $SCWSO^{com}$ = Absatzanteil des Großhandels und sonstiger Verkaufskanäle an Gütergruppe com
 uc_r^{com} = Jährlicher Konsum von Gütergruppe com durch Endverbraucher in Region r

5.3.7 Lager-Filial-Zuordnungen

Um die Güterflüsse des LEH korrekt abzubilden, werden sowohl die aus den produzierenden Regionen in die Lagerhäuser eingehenden Transporte als auch die aus den Lagerhäusern ausgehenden Transporte zu den Filialen bestimmt. Die Transporte zwischen produzierenden Regionen und Lagerhäusern können nicht mit empirischen Daten errechnet werden. Wie sie modelliert werden, wird in der Modellentwicklung in Abschnitt 6.3 ab Seite 110 beschrieben. Die ausgehenden Transporte können dagegen in zwei Schritten berechnet werden: Zuerst werden die Filialen den Lagerhäusern zugeordnet. Danach werden die Gütermengen bestimmt, die über diese Verbindungen transportiert werden.

Für die Zuordnung von Filialen zu Lagerhäusern werden die Standorte der Lagerhäuser sowie die Anzahl an Filialen pro Kreis vom kommerziellen Datenanbieter TradeDimensions genutzt. Diese Datensätze umfassen die Verteilung der knapp über 30.000 Filialen auf die deutschen Kreise (TradeDimensions 2014a) sowie alle 225 Lagerstandorte der 29 untersuchten Handelszentralen inklusive der Anzahlen an belieferten Filialen je Lagerhaus (TradeDimensions 2014b). So betreibt beispielsweise Aldi Süd 1.832 Filialen, die sich auf 227 Kreise verteilen. Dabei liegt die Filialanzahl pro Kreis zwischen maximal 50 in Köln und 1 in Sonneberg, im Süden von Thüringen. Die Filialen werden von 31 Aldi-Süd-Lagerhäusern versorgt. Dabei schwankt die Zahl der zu versorgenden Filialen zwischen 37 und 78. Mit diesen Informationen kann die Zuordnung als Standard Transportproblem mit Kapazitätsbeschränkungen nach Hitchcock (1941) formuliert werden. Dieses Transportproblem wird mit dem kommerziellen Optimierungs-Solver Gurobi (2016) gelöst, welcher die Transportentfernungen zwischen Lagerhäusern und zugeordneten Filialen minimiert. Dieses Vorgehen liefert eine sehr gute Annäherung an die realen Verhältnisse, da die kommerziell handelnden Unternehmen des LEH ebenfalls Kosten minimieren und ähnliche Optimierungsansätze zur Standortplanung von Lagerhäusern nutzen.

Die Gütermengen, die auf diesen Lager-Filial-Verbindungen transportiert werden, ergeben sich aus der spezifischen Absatzverteilung auf Kreise (Unterabschnitt 5.3.6 ab Seite 92) und dem absoluten Konsum der regionalen Bevölkerung (Unterabschnitt 5.3.3 ab Seite 85).

5.4 Zeitliche Abgrenzung und Strukturierung

In diesem Abschnitt wird das Vorgehen zur Verteilung der gesammelten und aufbereiteten Daten auf die einzelnen Tage des Jahres 2012 erläutert. Die folgenden Unterabschnitte beschreiben die zeitliche Verteilung der Produktion, des Verbrauches und des Außenhandels. Die zeitliche Verflechtung ist nicht Teil der Datenaufbereitung, sondern findet im Simulationsmodell statt, welches in Kapitel 6 ab Seite 105 beschrieben wird.

5.4.1 Zeitliche Verteilung der Produktion

Durch zahlreiche Statistiken wird die jährliche Produktion auf die 366 Tage des Jahres 2012 (Schaltjahr) verteilt. Besonders berücksichtigt werden die Sonntage sowie die bundesweite Feiertage Karfreitag (06.04.2012), Ostermontag (09.04.2012), Tag der Arbeit (01.05.2012), Pfingstmontag (28.05.2012), Tag der deutschen Einheit (03.10.2012) und die Weihnachtsfeiertage (25. und 26.12.2012). An diesen Tagen wird nicht produziert, nicht transportiert und nur wenig konsumiert.

Erntekalender bilden die Grundlage für die zeitliche Verteilung der Produktion der landwirtschaftlichen Gütergruppen Getreide, Ölsaaten, Zuckerrüben, Gemüse, Kartoffeln und Obst (CLAAS KGaA mbH 2014; Hassenstein und Stadie 2014). Die jährliche gesamtdeutsche Produktion P^{com} wird gleichmäßig über die Arbeitstage nwd_T (Number of workdays) der identifizierten Erntezeit HT^{com} (Harvest time) verteilt (Formel 5.19). Die zeitliche Verteilung ist dabei für alle deutschen Regionen identisch. Dabei wird davon ausgegangen, dass die klimatischen Bedingungen in ganz Deutschland sehr ähnlich sind und die Landwirte zur gleichen Zeit auf diese Bedingungen reagieren. Die Produktionsverläufe für ausgewählte landwirtschaftlichen Gütergruppen sind in Abbildung 5.9 dargestellt. Hier wird deutlich, dass sich die einzelnen Gütergruppen nicht nur in den Erntezeiten sondern auch in den täglich produzierten Mengen stark unterscheiden. So werden über viereinhalb Monate hinweg täglich 95.000 t Kartoffeln geerntet. Die Erntezeit von Getreide ist mit zweieinhalb Monaten wesentlich kürzer. In diesem Zeitraum werden täglich 635.000 t Getreide geerntet.

$$dP_d^{com} = \frac{1}{nwd_{HT^{com}}} \cdot P^{com} \quad (5.19)$$

$$dP_d^{com} = \frac{qP_q^{com}}{\sum_q qP_q^{com}} \cdot \frac{1}{nwd_q} \cdot P^{com}, \quad d \in q \quad (5.20)$$

mit:

HT^{com} = Erntezeit der Gütergruppe com

dP_d^{com} = Nationale Tagesproduktion von Gütergruppe com am Tag d

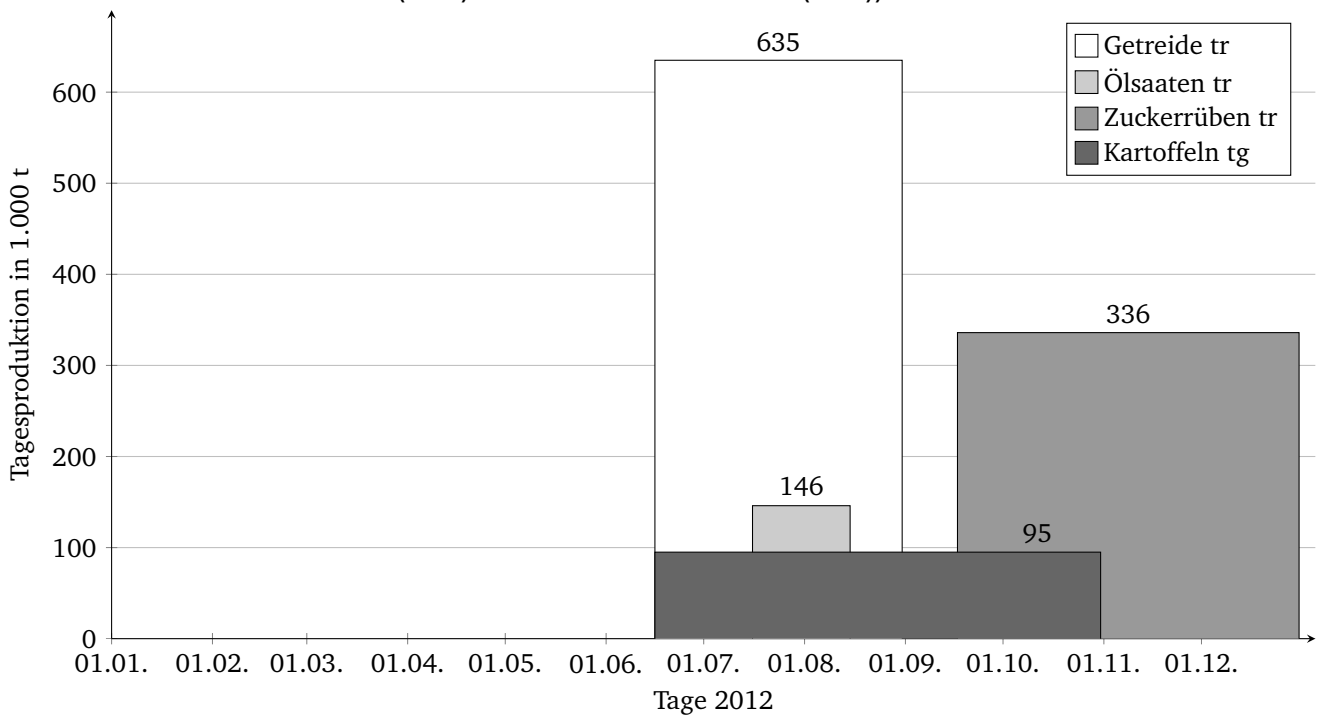
nwd_T = Anzahl der Arbeitstage im Zeitraum T

P^{com} = Jährliches nationales Produktionsaufkommen von Gütergruppe com

qP_q^{com} = Vierteljährliches nationales Produktionsaufkommen von Gütergruppe com in Quartal q

Die Gütergruppen, die nicht angebaut, sondern durch Verarbeitungsprozesse hergestellt werden, werden mit Hilfe der vierteljährlichen Produktionsstatistik (Statistisches Bundesamt 2014b) auf das Jahr 2012 verteilt. Innerhalb der Quartale q wird die vierteljährliche Produktion qP_q^{com} gleichmäßig auf die Arbeitstage im Quartal nwd_q verteilt (Formel 5.20). Abbildung 5.10 zeigt die Produktionsverläufe für einige der größten Gruppen verarbeiteter Güter.

Abbildung 5.9: Produktionsverteilung ausgewählter landwirtschaftlicher Gütergruppen auf das Jahr 2012 (eigene Darstellung basierend auf Daten von Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (2013), CLAAS KGaA mbH (2014) und Hassenstein und Stadie (2014))

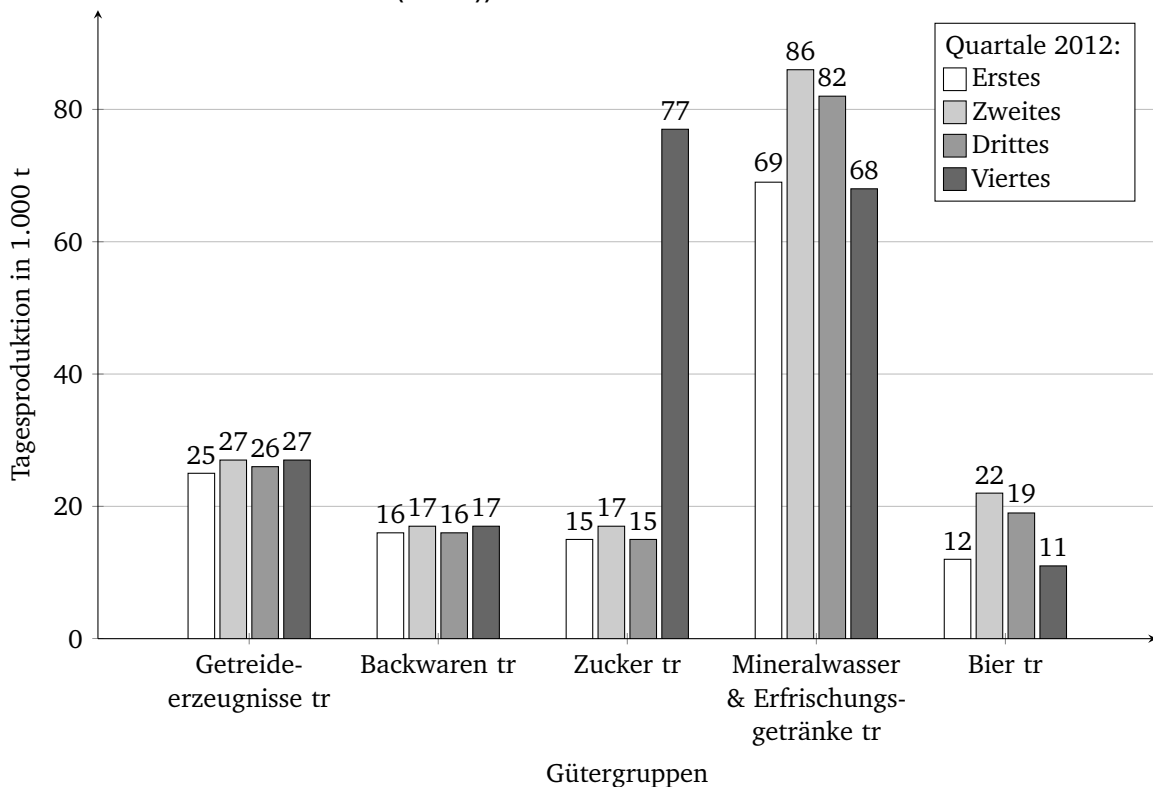


Während die Produktion der landwirtschaftlichen Gütergruppen im Verlauf des Jahres stark schwankt, ist sie bei den meisten verarbeiteten Produkten relativ konstant. So ist die tägliche Produktion von Getreideerzeugnissen und Backwaren über die Quartale hinweg mit rund 26.000 t beziehungsweise rund 16.000 t pro Tag sehr stabil. Bei den Gruppen Bier und Mineralwasser & Erfrischungsgetränke erkennt man einen Produktionsanstieg in den Sommermonaten. Dies liegt am erhöhten Getränkekonsum an heißeren Tagen, dem die Getränkeproduzenten direkt folgen. Die stärkste Schwankung gibt es bei der Zuckerproduktion. Diese ist im vierten Quartal mit 77.000 t täglicher Produktion circa viermal so hoch wie in den übrigen Quartalen. Dieser Produktionsanstieg entsteht, da Zuckerrüben im Gegensatz zu Getreide nicht gut gelagert werden können und deshalb kurz nach der Ernte direkt verarbeitet werden. Auch bei den Gruppen der verarbeiteten Güter ist die zeitliche Verteilung für alle Regionen gleich.

Für die Gütergruppen der lebenden Tiere sowie die Gütergruppe Rohmilch liegen keine Daten zur zeitlichen Produktionsverteilung vor. Es müssen demnach Verteilungen anderer Gütergruppen übernommen werden. Aufgrund der sehr hohen Verderblichkeit von Rohmilch werden von dieser Gütergruppe keine nennenswerten Bestände gehalten. Deswegen werden zur zeitlichen Verteilung der Rohmilchproduktion die Produktionsverteilungen der nachfolgenden Gütergruppen Käse, Konsummilch und Milcherzeugnisse übernommen. Dadurch wird die anfallende Rohmilchproduktion im Normaldurchlauf des Modells sofort verarbeitet und es entstehen auch im Modell keine Bestände. Auch für die Gütergruppen, die lebende Rinder, Schweine, Geflügel sowie Fisch, Krebs- & Weichtiere umfassen, wird die Produktionsverteilung der jeweils nachfolgenden Gütergruppen übernommen.

Die großen Unterschiede in den täglichen Produktionswerten der einzelnen Gütergruppen zeigen, wie wichtig die Unterscheidung mehrerer Gütergruppen im Modell ist. Die Schwankungen der täglichen Produktionen, besonders bei landwirtschaftlichen Gütergruppen wie zum Beispiel Getreide, macht deutlich, dass sich die benötigten Transportkapazitäten nicht gleichmäßig auf das Jahr verteilen, sondern auf kleinere Zeiträume konzentrieren. Genau deshalb ist eine detaillierte Analyse der sich täglich ändernden Güterflüsse und benötigten Kapazitäten notwendig.

Abbildung 5.10: Verteilung der Produktion ausgewählter verarbeiteter Gütergruppen auf das Jahr 2012 (eigene Darstellung basierend auf Daten von Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (2013) und Statistisches Bundesamt (2014b))



5.4.2 Zeitliche Verteilung des Verbrauchs

Der Verbrauch von Gütern in Deutschland teilt sich in den Verbrauch durch andere Sektoren UO^{com} (Usage in other sectors), durch Endkonsumenten UC^{com} (Usage for consumption) und durch die weiterverarbeitende Industrie $UP^{com,com}$ (Usage for production). Da die Güter, die in andere Sektoren außerhalb der Lebensmittelversorgung fließen, nicht weiter betrachtet werden, werden sie auch nicht zeitlich verteilt.

Um den gesamten Verbrauch durch den Endkonsumenten auf die Tage des Jahres 2012 zu verteilen, werden zwei Statistiken herangezogen, da die deutschen Endverbraucher nicht jeden Tag gleich einkaufen. Die Umsätze des LEH variieren nicht nur innerhalb einer Woche, sondern auch über den Verlauf des Jahres hinweg. Tabelle 5.11 zeigt das Verhältnis der Monatsumsätze in Verkaufsräumen des LEH (Statistisches Bundesamt 2016). Die deutlichste Abweichung zeigt sich im Dezember 2012, in dem der Umsatz circa 13 % über dem durchschnittlichen Monatsumsatz des Gesamtjahres liegt. Dafür liegen der Januar mit etwa -13 % und der Februar mit -10 % deutlich unter dem Jahresdurchschnitt.

Die Verteilung der LEH-Umsätze auf die verschiedenen Wochentage zeigt Tabelle 5.12 (Handelsverband Deutschland 2013). Hier bringen der Freitag und der Samstag mit jeweils annähernd 20 % die größten Umsätze. An den übrigen Werktagen Montag bis Donnerstag wird ein Umsatz von ungefähr 15 % erzielt. Auch der eigentlich verkaufsfreie Sonntag kann aufgrund von Tankstellen und Geschäften in Bahnhöfen immerhin noch 1,4 % des Wochenumsatzes verzeichnen.

Tabelle 5.11: Verteilung der LEH-Umsätze 2012 auf Monate nach (Statistisches Bundesamt 2016)

Monat	Anteil am Jahresumsatz in %
Januar	7,2
Februar	7,5
März	8,5
April	8,2
Mai	8,7
Juni	8,8
Juli	8,4
August	8,6
September	8,0
Oktober	8,4
November	8,4
Dezember	9,5

Tabelle 5.12: Verteilung der LEH-Umsätze auf Wochentage (Handelsverband Deutschland 2013)

Wochentag	Anteil am Wochenumsatz in %
Montag	15.0
Dienstag	13.8
Mittwoch	14.0
Donnerstag	16.0
Freitag	19.7
Samstag	20.1
Sonntag	1.4

Diese beiden Statistiken werden mit Formel 5.21 kombiniert und ergeben die tägliche Verteilung des Endkonsums. Diese ist in Abbildung 5.11 grafisch dargestellt.

$$dUC_d^{com} = \frac{dREV_d}{\sum_{d \in m} dREV_d} \cdot \frac{mREV_m}{\sum_m mREV_m} \cdot UC^{com} \quad (5.21)$$

mit:

$dREV_d$ = Umsatzanteil des Tages d am LEH-Wochenumsatz laut Tabelle 5.12

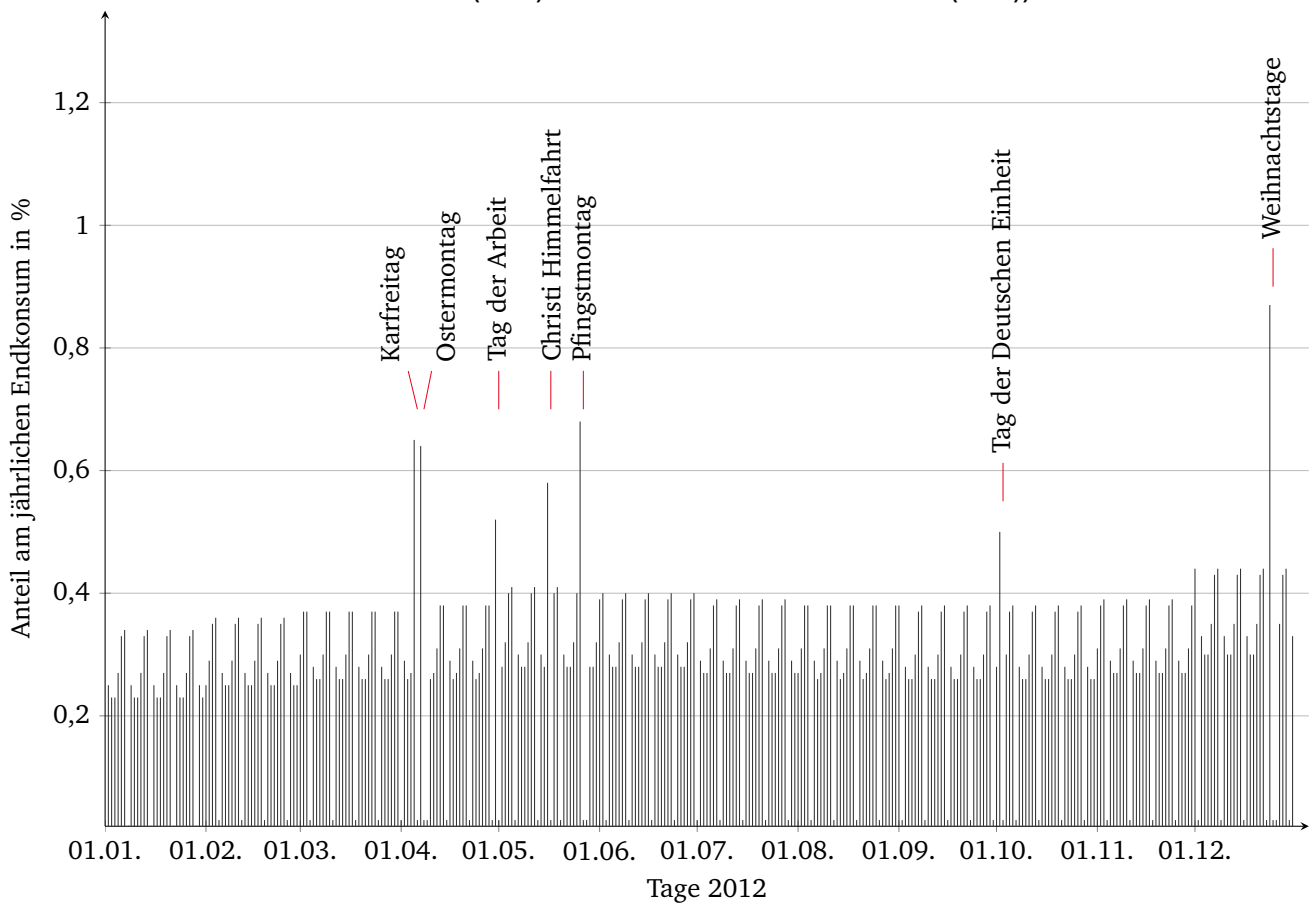
dUC_d^{com} = Gesamtdeutscher Tagesabsatz von Gütergruppe com an Endverbraucher am Tag d

$mREV_m$ = Monatliche LEH-Umsatzrelation im Monat m laut Tabelle 5.11

UC^{com} = Jährlicher nationaler Konsum von Gütergruppe com durch Endverbraucher

Auch bei dieser Verteilung werden die bundesweiten Feiertage berücksichtigt. Feiertage, die auf Sonntage fallen, sowie regionale Feiertage werden nicht zusätzlich berücksichtigt. Für die berücksichtigten Feiertage wird der eigentliche, nach den Statistiken zu erwartende Umsatz auf den Sonntagswert 1,4 % reduziert. Die Differenz wird dem letzten verkaufsoffenen Tag vor dem Feiertag hinzugerechnet. Die dadurch entstehenden Belastungen des Versorgungssystems vor den Feiertagen sind deutlich an den Spitzen in Abbildung 5.11 zu erkennen. Diese Belastungsspitzen wurden in den Experteninterviews als große Herausforderungen benannt. Die zeitliche Verteilung gilt gleichermaßen für alle vier im Modell abgebildeten Verkaufskanäle, die in Unterabschnitt 5.2.3 (ab Seite 78) vorgestellt wurden.

Abbildung 5.11: Verteilung des jährlichen Endkonsums nach Kalendertagen 2012 (eigene Darstellung basierend auf Statistisches Bundesamt (2016) und Handelsverband Deutschland (2013))



Der Verbrauch an Input-Gütern durch die verarbeitende Industrie wird nicht explizit auf Tage verteilt, sondern folgt stattdessen direkt der Produktion der lebensmittelverarbeitenden Betriebe. Es wird angenommen, dass alle benötigten Input-Güter so bestellt werden, wie sie in den Regionen der Verarbeitung verbraucht werden. Die Nachfrage und die daraus resultierenden Bestellungen folgen demnach dem Pull-Prinzip, während der Produktionsverlauf mit Hilfe von Statistiken erzeugt wird und damit dem Push-Prinzip zuzuordnen ist. Die größten Bestandschwankungen finden demnach in den Wareneingangslagern der Landwirtschaft und Lebensmittelverarbeitung statt.

5.4.3 Zeitliche Verteilung des Außenhandels

Die Außenhandelsstatistiken des Statistischen Bundesamtes sind bereits nach Monaten getrennt. Für das Modell werden die monatlichen Im- und Exportwerte $mim_{tn,m}^{com}$ und $mex_{tn,m}^{com}$ innerhalb der Monate gleichmäßig auf die einzelnen Werkzeuge nwd_m (Number of workdays) verteilt. Die aus dieser Aufteilung resultierenden täglichen Importe $dim_{tn,d}^{com}$ (Daily imports) und Exporte $dex_{tn,d}^{com}$ (Daily exports) sind in Abbildung 5.12 beispielhaft für den Getreide-Außenhandel mit den Niederlanden dargestellt. Dort kann man erkennen, dass der Handel mit Getreide keinem bestimmten Muster folgt. Jedoch ist der Getreideimport am Ende der deutschen Erntezeit im September am geringsten, während der Export direkt nach der Ernte im Oktober am höchsten ist.

$$dim_{tn,d}^{com} = \frac{mim_{tn,m}^{com}}{nwd_m}, \quad d \in m \quad (5.22)$$

$$dex_{tn,d}^{com} = \frac{mex_{tn,m}^{com}}{nwd_m}, \quad d \in m \quad (5.23)$$

mit:

$dex_{tn,d}^{com}$ = Täglicher Export von Gütergruppe com zu Handelspartner tn am Tag d

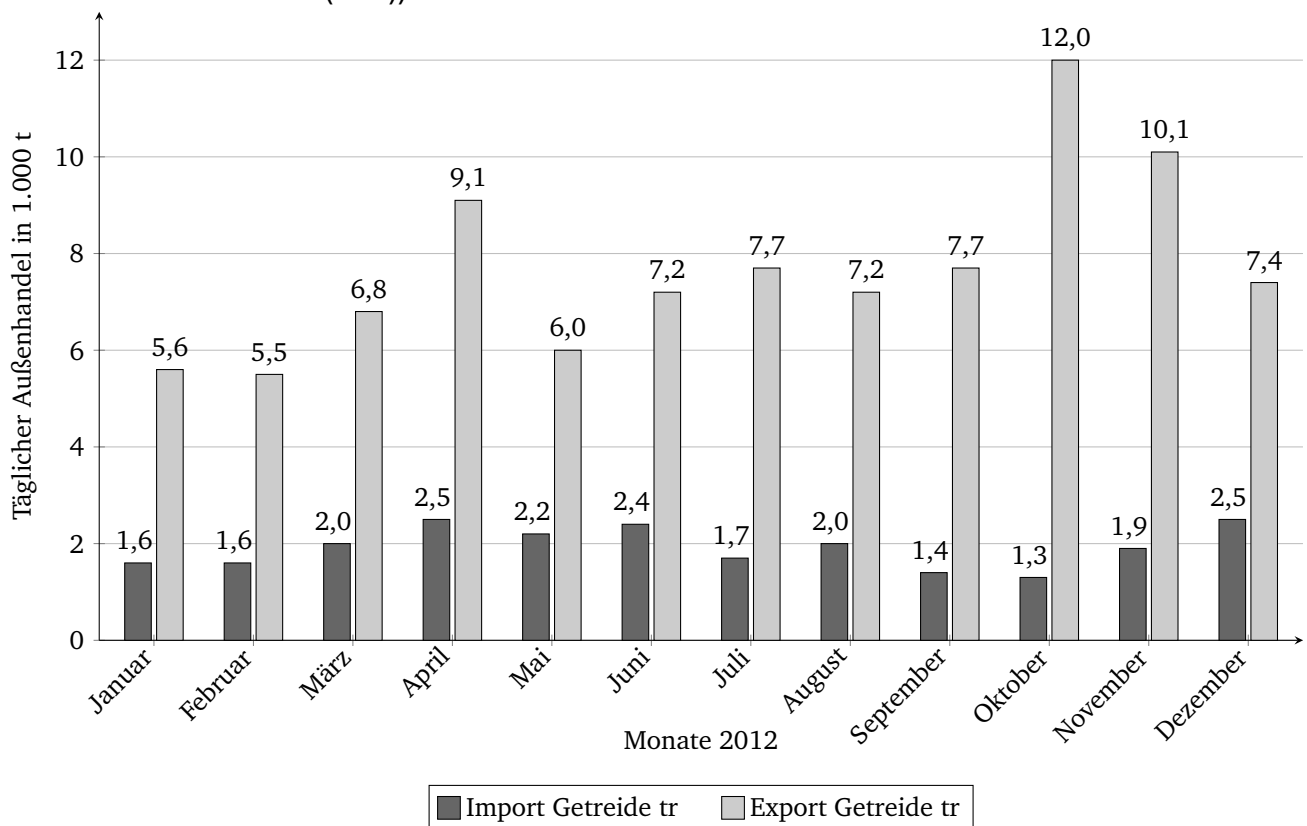
$dim_{tn,d}^{com}$ = Täglicher Import von Gütergruppe com von Handelspartner tn am Tag d

$mex_{tn,m}^{com}$ = Export von Gütergruppe com zu Handelspartner tn im Monat m

$mim_{tn,m}^{com}$ = Import von Gütergruppe com von Handelspartner tn im Monat m

nwd_m = Anzahl der Arbeitstage im Monat m

Abbildung 5.12: Verteilung des Getreide-Außenhandels mit den Niederlanden auf das Jahr 2012 (eigene Darstellung basierend auf Daten von Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (2013) und Statistisches Bundesamt (2013))



5.5 Ausgewählte wesentliche Erkenntnisse

Das deutsche Lebensmittelversorgungssystem ist sehr heterogen. Einige Gütergruppen sind vulnerabler als andere, da sie nur in wenigen Regionen produziert oder größtenteils importiert werden müssen. Auch in den Logistiksystemen der Lebensmitteleinzelhändler gibt es Unterschiede.

So ist beispielsweise die Produktion einzelner Gütergruppen teilweise weit über Deutschland verstreut und teilweise auf wenige Regionen beschränkt. Die **Konzentration der Produktion** kann mit dem Herfindahl-Hirschman-Index (HHI) gemessen werden, der ein allgemein anerkanntes Konzentrationsmaß ist. Der HHI als absolutes Konzentrationsmaß wird genutzt, da er, im Gegensatz zu relativen Konzentrationsmaßen wie zum Beispiel dem Krugman-Index, die Verteilung der Produktion mit Bezug auf die Anzahl der Regionen und nicht auf den regionalen Anteil bemisst (Farhauer und Kröll 2013, S. 299-370). Damit werden auch Regionen ohne Produktion berücksichtigt, was für die Vulnerabilitätsbewertung durchaus sinnvoll ist. Der normalisierte HHI^{com} wird mittels Formel 5.24 aus den jährlichen Produktionsaufkommen p_r^{com} der Regionen berechnet.

$$HHI^{com} = \frac{\sum_r (p_r^{com})^2}{\left(\sum_r p_r^{com}\right)^2} \quad (5.24)$$

mit:

HHI^{com} = Kennzahl zur Messung der Produktionskonzentration der Gütergruppe com über die 402 deutschen Kreise und kreisfreien Städte mit $HHI^{com} \in \left[\frac{1}{402}; 1\right]$

p_r^{com} = Jährliches Produktionsaufkommen in Gütergruppe com in Region r

Je größer der HHI^{com} ist, umso stärker ist die Produktion auf wenige Regionen konzentriert. Die Gütergruppen mit der höchsten Konzentration sind pflanzliche Fette (0,195), Fischerzeugnisse (0,105) und Tiefkühl-Milchprodukte (0,092); die mit der geringsten sind Backwaren (0,004), Getreide (0,006) sowie Rind-, Schweinefleisch und Wurst (0,006). Damit sind beispielsweise Fischerzeugnisse vulnerabler als Backwaren, da der Ausfall einer einzelnen Region mit fischverarbeitender Industrie einen größeren Einfluss auf die Gesamtversorgung hätte als der Ausfall einer Backwaren-produzierenden Region. Insgesamt kann aber festgestellt werden, dass das Lebensmittelversorgungssystem keine hohe Produktionskonzentration aufweist, da Werte unter 0,01 auf eine niedrige Konzentration hinweisen (Farhauer und Kröll 2013, S. 329). Lediglich bei Fischerzeugnissen kann eine mittlere und bei pflanzlichen Fetten eine starke Produktionskonzentration identifiziert werden.

Doch nicht nur eine konzentrierte Inlandsproduktion erhöht die Vulnerabilität. Produkte mancher Gütergruppen werden in Deutschland kaum hergestellt und müssen deshalb importiert werden. Die größte **Importabhängigkeit** besteht bei Fisch, Krebs- und Weichtieren (der Import beträgt 85 % der Inlandsverwendung), Obst (84 %) und Reis (82 %). Bei diesen und weiteren Gütergruppen kann es zu Versorgungsengpässen kommen, wenn Lieferungen aus dem Ausland gestört werden. Dabei kommen die meisten Importe aus den Niederlanden (19 %), gefolgt von Frankreich (13 %) und Italien (8 %). Im Gegensatz dazu wird ein großer Teil der Inlandsproduktion von gefrorenem Rind- und Schweinefleisch sowie Wurstwaren (84 %), Süßwaren (71 %) und haltbarer Milch (64 %) exportiert. Im Falle einer Versorgungskrise könnten diese Exporte unter Umständen zur Versorgung der inländischen Bevölkerung eingesetzt werden. Weitere Quellen zur Sicherstellung der Versorgung sind die Tierfutter- und die Energiebranche. Diese Branchen verbrauchten im Jahr 2012 unter anderem 30 Millionen t Getreide, 3,6 Millionen t pflanzliche Öle und 2,2 Millionen t Kartoffeln. Bei Nutzung dieser Ressourcen zur Versorgung der Bevölkerung müssten allerdings das Tierwohl, die Lebensmittelqualität und Wettbewerbsregeln beachtet werden.

Aus den zusammengetragenen Daten wird außerdem deutlich, dass Engpässe bei einzelnen Gütergruppen **unterschiedlich starke Auswirkungen** hätten. Starke Auswirkungen hätte der Ausfall der Produktion pflanzlicher Öle und Zucker, da diese beiden Gütergruppen jeweils für die Produktion 14 weiterer Gütergruppen benötigt werden. Auch Getreideprodukte und Eier finden sich in je 8 Gütergruppen verarbeiteter Produkte. Zusätzliches Gefährdungspotential ergibt sich dabei daraus, dass die Gütergruppen pflanzliche Öle und Eier zu großen Teilen importiert werden (zu 40 % und 39 %).

Die Datensammlung zeigt auch, dass die **Logistiksysteme** der verschiedenen Lebensmitteleinzelhändler sehr unterschiedlich aufgestellt sind. So weist die mittlere Transportentfernung zwischen den Filialen einer Handelszentrale und dem jeweiligen Lager eine Spannweite von 37 bis 365 km auf. Besonders die jüngeren, auf Bio-Produkte spezialisierten Lebensmitteleinzelhändler wie Alnatura und Denree haben große Entfernungen zu ihren Filialen zu überwinden (280 und 365 km). Dies liegt an dem vergleichsweise geringen Absatz, der Distribution über ein einzelnes Lager und der weiten Streuung der wenigen Filialen über kaufkräftige Ballungszentren in ganz Deutschland. Bei Störungen der Transportinfrastruktur hätten diese Lebensmitteleinzelhändler größere Probleme als die Discounter, deren Lager näher an den Filialen liegen. Die kürzeste Entfernung trennt die Lager und Filialen von Aldi Süd mit 37 km und Aldi Nord mit 38 km.

5.6 Zwischenfazit

Können Risiken bereits auf Basis der Sammlung statischer Daten analysiert werden?

Die Risiken des Lebensmittelversorgungssystems können auf Basis der Sammlung statischer Daten nur teilweise analysiert werden.

Wie Unterabschnitt 5.5 zeigt, lassen sich bereits mit einer einfachen, statischen Datenanalyse einige Gefährdungspotentiale im System der deutschen Lebensmittelversorgung identifizieren. So können erste Aussagen zur Bedeutung einzelner Gütergruppen getroffen werden. Außerdem kann bei einigen Gütergruppen die Abhängigkeiten vom Import oder wenigen produzierenden Regionen in Deutschland festgestellt werden. Auch bei der Vulnerabilität der Lebensmitteleinzelhandelslogistik zeigen sich erste größere Unterschiede.

Sind diese Analysen ausreichend für eine umfassende Risikoanalyse?

Die Risikoanalyse auf Basis statischer Daten ist nicht ausreichend.

Auf Basis der in diesem Kapitel beschriebenen statischen Daten ist eine Risikoanalyse nur sehr eingeschränkt möglich. Beispielsweise ist bei der Versorgung über den LEH nicht nur die Distributionslogistik der Lager von Bedeutung, sondern auch deren Beschaffungslogistik, da auch die Lager auf tägliche Belieferungen angewiesen sind. Dies gilt insbesondere für die Discounter, die zwar nur kurze Entfernungen zwischen ihren Lagern und Filialen zu überbrücken haben, dafür aber nur sehr geringe Bestände im Lager vorhalten. Für die Untersuchung dieser Beschaffungslogistik sowie weiterer interregionaler Verflechtungen ist ein Güterflussmodell notwendig. Sollen auch Bestandsentwicklungen, Belastungsspitzen und kritische Zeitpfade analysiert werden, muss dieses Güterflussmodell dynamisch sein.

Gibt es genügend Daten, um ein dynamisches Güterflussmodell zu entwickeln?

Daten zur Entwicklung eines dynamischen Güterflussmodells sind im Sektor der Lebensmittelwirtschaft ausreichend vorhanden.

Dieses Kapitel macht deutlich, dass im Lebensmittelsektor genügend Daten vorhanden sind, um ein dynamisches Güterflussmodell zu entwickeln, welches den Anforderungen aus Abschnitt 3.4 (ab Seite 45) gerecht wird. Die zusammengetragene Datenbasis besteht aus wirtschaftlich, räumlich und zeitlich fein verteilten Daten. Sie ist konsistent und entspricht den Gesamtzahlen beziehungsweise Verteilungen der offiziellen Quellen. Nur wenige Lücken, wie die Transportentfernungen innerhalb der Regionen, müssen über Modelle geschätzt werden. Dabei muss angemerkt werden, dass die Datenverfügbarkeit in der Lebensmittelwirtschaft im Vergleich zu anderen Sektoren relativ gut ist, da sowohl in der Bevölkerung als auch beim Staat ein gesteigertes Interesse am Funktionieren der Lebensmittelversorgung besteht.

6 Modellentwicklung

Nachdem in den ersten Kapiteln die Notwendigkeit eines dynamischen Güterflussmodells aufgezeigt wurde, wurden mit der anschließenden Identifikation geeigneter Modellierungsmethoden sowie der Datensammlung die Grundlagen für die Modellierung gelegt. In diesem Kapitel werden der Gesamtaufbau, die angewandten Modellierungsansätze sowie die implementierten Methoden des entwickelten Modells erläutert. Begonnen wird der Beschreibung des Modellumfangs. Danach wird zuerst der grobe Modellaufbau inklusive der wichtigsten technischen Details vorgestellt, bevor genauer auf die einzelnen Schritte eingegangen wird. Dazu gehören vor allem die Berechnung der möglichen Verflechtungen, die Auswahl der geeignetsten Verflechtungen sowie die Simulation des zeitlichen Jahresverlaufs.

6.1 Modellumfang

FOODFLOW ist ein sektorales, dynamisches Multi-Skalen multi-regionales Input-Output-MSMRIO-Modell, welches die Produktion, den Verbrauch, den Endkonsum und vor allem die dynamischen Güterflüsse von Lebensmitteln zwischen deutschen Regionen und Handelspartnern im Jahresverlauf simulieren kann. Es umfasst die ersten drei Stufen des um die Logistik erweiterten 5-Stufen-Ansatzes der Güterverkehrsmodellierung. Dieser wurde zur Abbildung des Zeitaspektes erweitert, sodass nicht nur modelliert wird, wie viel Fracht generiert und wohin diese transportiert wird, sondern auch wann beides geschieht. Abbildung 6.1 zeigt die um den zeitlichen Aspekt erweiterten Schritte des 5-Stufen-Ansatzes, die durch FOODFLOW abgedeckt werden (vergleiche Abbildung 4.1 auf Seite 50). Aufgrund der Berücksichtigung logistischer Prozesse kann die Güterverkehrsmodellierung nicht mehr in der klassischen Reihenfolge vorgenommen werden, da sowohl die Beschaffungs- als auch die Distributionslogistik der Lebensmitteleinzelhändler einen großen Einfluss auf die ein- und ausgehenden Güterflüsse und damit auf die Verkehrserzeugung in einer Region haben. Dies führt zu einer veränderten Verkehrsverteilung.

FOODFLOW deckt mit der Landwirtschaft, der Verarbeitung sowie dem Lebensmittelgroß- und -einzelhandel die wesentlichen Teile der Lebensmittelwirtschaft ab. Agrargroßhandel und Gastronomie werden aus Komplexitätsgründen nicht explizit modelliert. Dies beeinflusst die Modellaussage nur geringfügig, da der Agrargroßhandel meist keine Lager- und Lieferfunktion hat, wodurch er die zu untersuchende Bestandsentwicklung und Güterverkehrsnachfrage nicht beeinflusst. Die Handelsverflechtungen und damit auch die Güterflüsse, die aus der Tätigkeit des Agrargroßhandels entstehen, werden im Modell über Gravitationsmodelle geschätzt. Die Gastronomie ist über den Lebensmittelgroßhandel beziehungsweise den Anteil der Außer-Haus-Versorgung implizit im Modell enthalten. Die Online-Lebensmitteleinzelhändler werden die Bestandsentwicklung in Zukunft ebenfalls beeinflussen. Der wachsende Online-Handel wird vermutlich zu weniger Filialen, aber auch zu mehr regionalen Lagern führen. Allerdings steckt der Online-Lebensmitteleinzelhandel in Deutschland mit einem Bruttoumsatz in Höhe von 736 Millionen Euro und damit weniger als 1 % Marktanteil noch in den Kinderschuhen (Bundesverband E-Commerce und Versandhandel e.V. 2016, S. 11). Er wird deshalb nicht explizit berücksichtigt. Abbildung 6.2 zeigt die modellierten Ebenen der Lebensmittelwirtschaft.

Abbildung 6.1: Bearbeitete und erweiterte Schritte der Güterverkehrsmodellierung

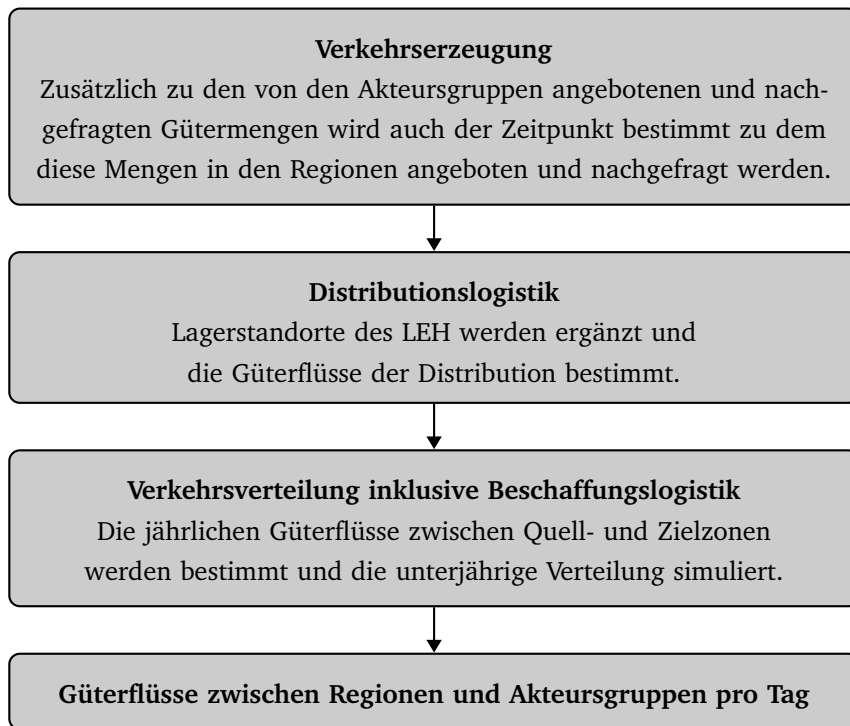
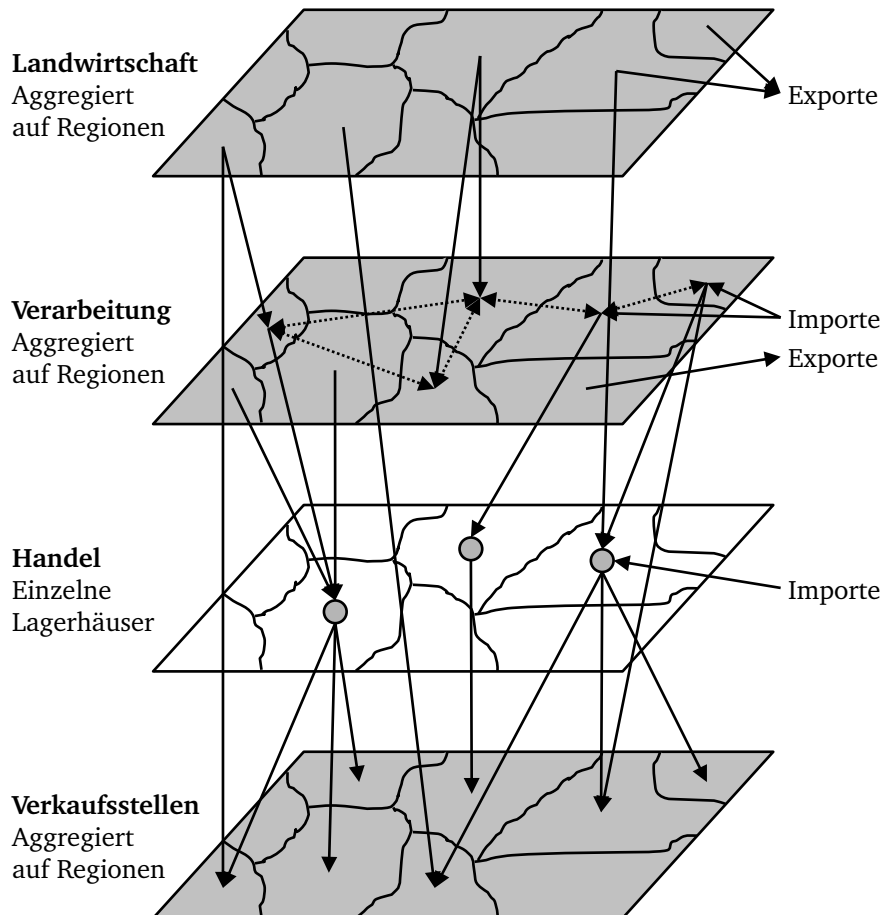


Abbildung 6.2: Ebenen des vorgestellten dynamischen Güterflussmodells



Die Daten für Produktion und Konsum sind in FOODFLOW auf Regionen aggregiert, die Daten für Im- und Exporte auf Nationen. Lediglich die Lebensmitteleinzelhändler werden, aufgrund der wichtigen Rolle für die Lebensmittelversorgung, separat modelliert und deren Lagerstandorte nicht aggregiert. Durch die Berücksichtigung der logistischen Abläufe der Einzelhändler werden dem makroskopischen Modell mikroskopische Elemente hinzugefügt. Ergebnis ist ein Modell, das Güterflüsse auf dem makroskopischen Level detailliert simulieren kann. Dies stellt auch eine Neuerung für MSMRIO-Modelle dar, da die unterschiedliche Skalierung in der aktuellen Forschung nur zur räumlichen Fokussierung dient und einzelne Akteure bisher nicht einbezogen werden.

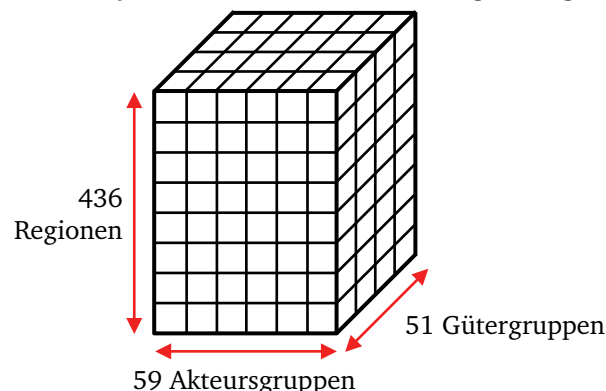
Der zeitliche Aspekt wird dabei nicht über diskrete Ereignisse, sondern über Produktions- und Konsumraten abgebildet, der Idee der System-Dynamics-Methodik folgend. Der zeitliche Ablauf wird tageweise abgebildet und kann je nach Untersuchungszweck beliebige Zeiträume umfassen. Dies macht zahlreiche Anwendungen möglich. Im folgenden Abschnitt wird der Modellaufbau grob beschrieben. In den sich anschließenden Abschnitten werden die wesentlichen Berechnungsschritte einzeln, detailliert erläutert.

6.2 Modellaufbau

Aufgrund der großen Datenmenge und der Komplexität des Vorhabens wird kein Standard-Softwareprodukt verwendet. Stattdessen erfolgt die **Implementierung** von FOODFLOW in Java (Oracle 2014). Dies ist von Vorteil, da durch die eigenhändige Programmierung keine Blackboxen entstehen und der Programmablauf ohne Unterbrechungen nachvollzogen werden kann. Die große Datenmenge entsteht direkt aus dem Modellumfang und wird durch die Nutzung des Datenobjektes *BigDecimal* anstelle des einfachen Gleitkommazahlen-Datentyps *double* weiter vergrößert. *BigDecimal* muss verwendet werden, da Gleitkommazahlen Fehler verursachen, wenn sehr kleine Werte mit sehr großen multipliziert werden. Dies ist insbesondere bei der Implementierung des Furness- und des Hymans-Algorithmus von großer Bedeutung. Zur Festlegung der Genauigkeit kann die Anzahl der korrekt zu berechnenden Stellen der *BigDecimal*-Objekte vor Programmstart festgelegt werden.

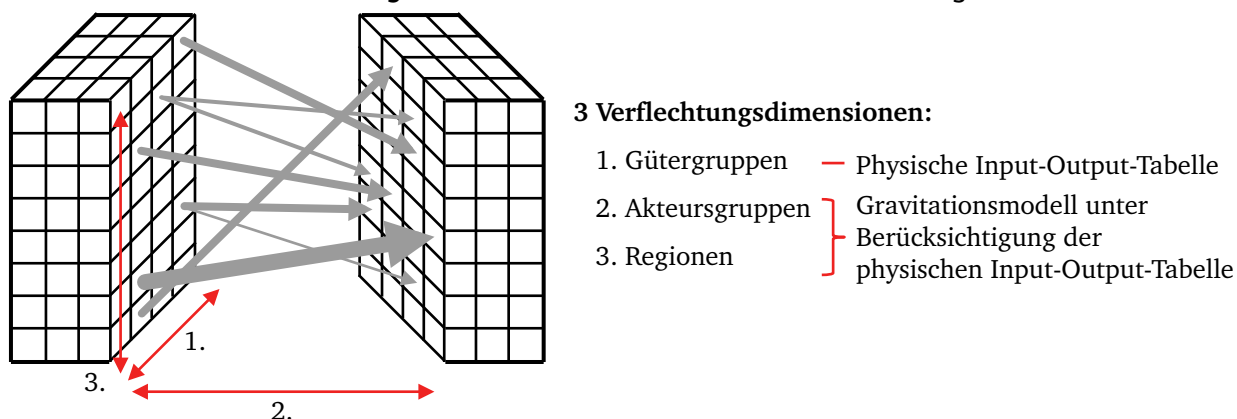
Die hohe Genauigkeit verlangsamt den Programmablauf jedoch, was eine **effiziente Programmgestaltung** nötig macht. Deshalb werden alle Daten in Arrays gespeichert und bearbeitet, da diese die Handhabung der Datenbasis vereinfachen. Abbildung 6.3 zeigt die dynamische Bestandstabelle als Beispiel für ein dreidimensionales Array, in dem die täglichen Bestände aller Akteursgruppen in den verschiedenen Regionen gespeichert werden. Die 59 Akteursgruppen setzen sich dabei aus den Produzenten, Endverbrauchern und Großhändlern sowie den Lager- und Filial-Ebenen der 28 Handelszentralen zusammen. Die Anzahl der Regionen ergibt sich aus den 402 deutschen Regionen, den 27 europäischen Handelspartnern, von denen Güter über den Landweg transportiert werden, sowie den 7 deutschen Seehäfen, über die die Güter der 23 Übersee-Handelspartner importiert und exportiert werden.

Abbildung 6.3: Dreidimensionale, dynamische Bestandstabelle als grundlegendes Modellierungselement



Vor dem **Programmstart** werden die Speicher-Pfade der Dateninputs und Zielpfade der Datenoutputs ausgewählt. Außerdem werden Genauigkeiten und Grenzwerte der verschiedenen Algorithmen festgelegt. Nach dem Einlesen und der Konsistenzprüfung der Input-Daten werden die Güterflüsse berechnet. Dabei müssen alle drei Dimensionen: die 51 Gütergruppen, die 59 Akteursgruppen sowie die 436 Regionen miteinander wirtschaftlich und räumlich verflochten werden (Abbildung 6.4).

Abbildung 6.4: Dimensionen der modellierten Verflechtungen

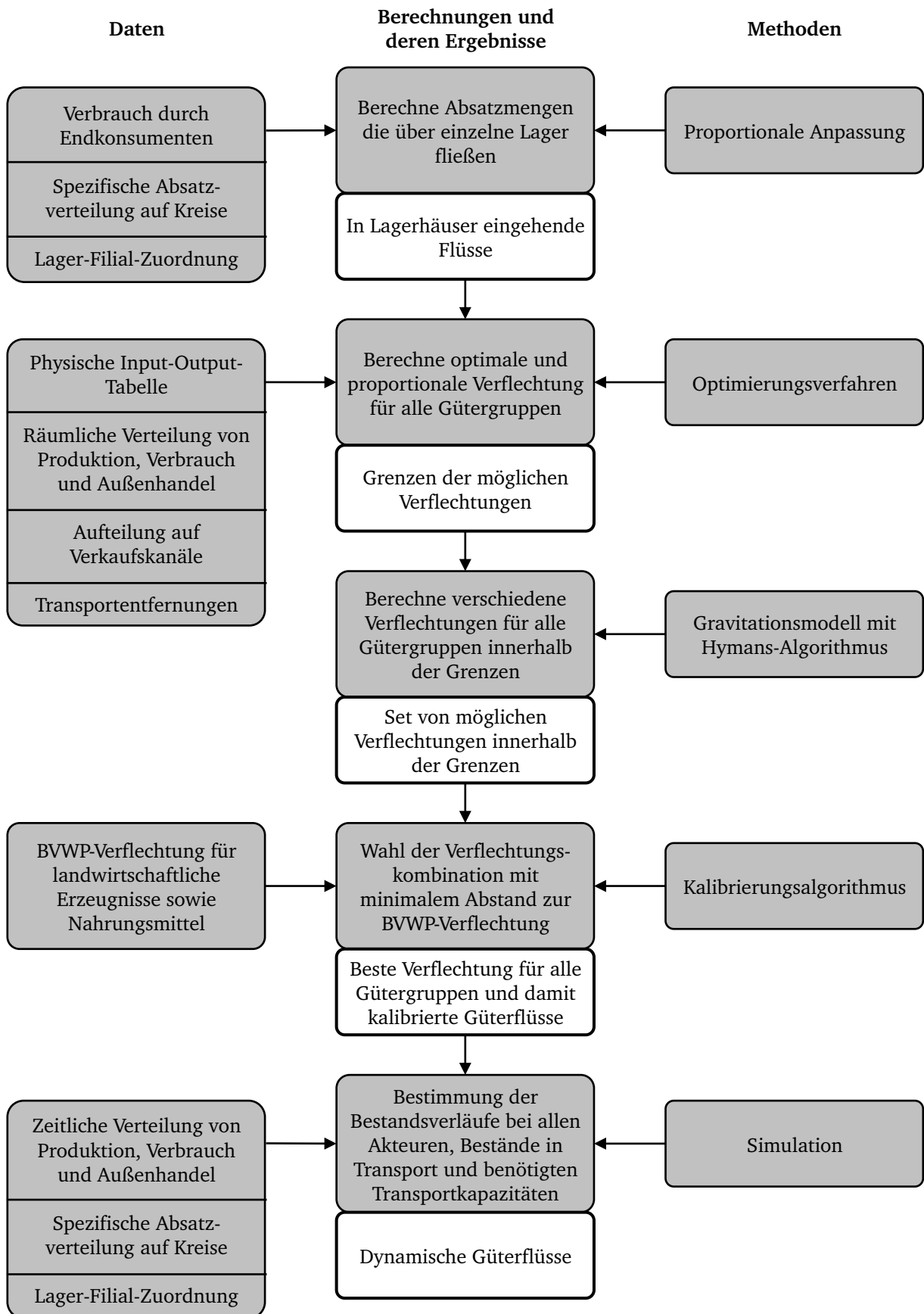


Die **wirtschaftliche Verflechtung** der Gütergruppen ergibt sich aus der bereits in Unterabschnitt 5.2.2 (ab Seite 74) vorgestellten physischen Input-Output-Tabelle für den Lebensmittelsektor. Aus dieser Tabelle wird die Referenzstruktur der wirtschaftlichen Verflechtung erzeugt. Sie enthält für jeden der 219 Einträge der physischen Input-Output-Tabelle eine weitere Tabelle, in der die einzelne räumliche Verflechtung der jeweiligen wirtschaftlichen Interaktion gespeichert wird. Die Input-Output-Tabelle wird dadurch, mit Hilfe der Daten zur regionalen Aufteilung (siehe Unterabschnitt 5.3 ab Seite 82), zu einem MSMRIO-Modell erweitert.

Die **räumlich-wirtschaftliche Verflechtung** der Akteursgruppen und Regionen erfolgt in einem Schritt, da die Akteure entlang der Supply-Chain über die Regionen verteilt sind. Bei der Berechnung der Güterflüsse über die Absatzkanäle zum Endkonsumenten müssen die Lagerhäuser des LEH berücksichtigt werden, da der Großteil der Lebensmittel nicht direkt in die LEH-Filialen transportiert wird. Die Lager-Filial-Zuordnung wird, wie in Unterabschnitt 5.3.7 (ab Seite 95) beschrieben, außerhalb des Java-Programmes über den Gurobi-Solver vorgenommen. Die Berechnung der Absatzmengen, die durch die einzelnen Lager fließen, erfolgt im Java-Programm. Daraus ergeben sich die Zielmengen für Regionen mit LEH-Lagerhäusern. Nachdem diese Verflechtungsrandsummen bestimmt sind, berechnet das Java-Programm zunächst die güterverkehrsminimalen sowie die proportionalen Verflechtungen für alle Gütergruppen. Diese zwei Verflechtungen bilden die untere und obere Grenze der sinnvoll möglichen Verflechtungen. Anschließend werden intermediäre Gravitationsverflechtungen erzeugt. Die Anzahl der zu erzeugenden Gravitationsverflechtungen kann vor Programmstart beliebig festgelegt werden. Wenn pro Gütergruppe mehrere Gravitationsverflechtungen berechnet sind, wird pro Gütergruppe eine Gravitationsverflechtung ausgewählt, sodass die Kombination all dieser Verflechtungen sowie der Güterflüsse zwischen den LEH-Lagerhäusern und den zugeordneten Filialen der Güterverkehrsmatrix der BVWP (Schubert u. a. 2014) möglichst nahe kommt.

Ist die bestmögliche Kombination von Verflechtungen ermittelt, können die **Bestandsverläufe** bei allen Akteuren sowie die benötigten Transportkapazitäten bestimmt werden. Produktion, Verbrauch und Außenhandel folgen dabei den aus den Statistiken herausgearbeiteten zeitlichen Verteilungen (siehe Abschnitt 5.4 ab Seite 96). Eine zusammenfassende Darstellung über die wesentlichen Berechnungsschritte mit den jeweiligen Daten-Inputs und Outputs sowie den verwendeten Methoden gibt Abbildung 6.5.

Abbildung 6.5: Übersicht über den Modellablauf mit entsprechenden Daten-Inputs, Outputs und Methoden



6.3 Modellierung der Güterflüsse

Zur Modellierung der Güterflüsse zwischen den 402 deutschen Kreisen und kreisfreien Städten sowie den 50 wichtigsten Handelspartnern sind je nach Gütergruppe verschiedene Kombinationen von Folgeproduktionen und Verkaufskanälen zu betrachten, da nicht jede Gütergruppe weiterverarbeitet oder über die Filialen des LEH an den Endkonsumenten verkauft wird. Ein Blick auf Abbildung 5.3 (Seite 75) beziehungsweise in die Input-Output-Tabelle (Anhang C ab Seite 213) zeigt, dass beispielsweise Zuckerrüben nur schwach wirtschaftlich verflochten sind: sie werden zu Zucker verarbeitet oder exportiert. Stark verflochten ist dagegen Zucker: Er wird zur Produktion von Wein, Backwaren, Süßwaren, Obstzubereitungen, Milchprodukten, Fertiggerichten sowie Mineralwasser und Erfrischungsgetränken benötigt, über drei der vier Verkaufskanäle an die Endverbraucher abgesetzt und ins Ausland exportiert.

Aufstellen des Problems

Abbildung 6.6 zeigt die schematische Darstellung der in dieser Arbeit entwickelten Verflechtungstabelle für eine einzelne Gütergruppe; mit der Produktion und dem Import auf der Aufkommensseite sowie den weiteren Gütergruppen, den Verkaufskanälen und dem Export auf der Verwendungsseite. Die gleichzeitige Bestimmung der Verflechtung mit allen Folgeproduktionen, Verkaufskanälen und dem Export ist notwendig, da angenommen wird, dass sämtliche Verbraucher unter gleichen Bedingungen auf einem Markt konkurrieren.

Bevor die räumlich-wirtschaftlichen Verflechtungen jeder Gütergruppe mittels Gravitationsmodellen berechnet werden können, müssen zuerst die Randsummen der vorgestellten Verflechtungstabelle bestimmt werden. Die Randsummen der Produktion p_r^{com} (Unterabschnitt 5.3.2 ab Seite 82), der Weiterverarbeitung up_r^{com} (Unterabschnitt 5.3.3 ab Seite 85) sowie der Importe im_{tn}^{com} und Exporte ex_{tn}^{com} (Unterabschnitt 5.3.4 ab Seite 87) können direkt aus den erhobenen Daten entnommen werden. Bei der Berechnung der Randsummen für die vier Verkaufskanäle sind jeweils unterschiedliche Besonderheiten zu beachten.

$$wh_r^{ret,com} = \sum_{r \in WH_r^{ret}} sal_r^{ret,com} \quad (6.1)$$

$$\sum_r p_r^{com} + \sum_{tn} im_{tn}^{com} = \sum_r \left(\sum_{com_b} up_r^{com,com_b} + wh_r^{ret,com} + sal_r^{ds,com} + sal_r^{wso,com} \right) + \sum_{tn} ex_{tn}^{com} \quad (6.2)$$

mit:

- ex_{tn}^{com} = Jährlicher Export von Gütergruppe com zu Handelspartner tn
- im_{tn}^{com} = Jährlicher Import von Gütergruppe com von Handelspartner tn
- p_r^{com} = Jährliches Produktionsaufkommen in Gütergruppe com in Region r
- $sal_r^{ds,com}$ = Jährlicher Direktabsatz der Gütergruppe com in Region r
- $sal_r^{ret,com}$ = Jahresabsatz der Gütergruppe com durch die Handelszentrale ret in Region r
- $sal_r^{wso,com}$ = Jährlicher Absatz der Gütergruppe com durch Großhändler und sonstige Verkaufskanäle in Region r
- up_r^{com,com_b} = Jährlicher Verbrauch der Gütergruppe com zur Produktion der Gütergruppe com_b in Region r
- WH_r^{ret} = Menge der Regionen, die aus dem Lagerhaus der Handelszentrale ret in Region r beliefert werden
- $wh_r^{ret,com}$ = Jährlicher Güterfluss der Gruppe com , der durch das Lagerhaus der Handelszentrale ret in Region r fließt

Der Direktabsatz ist relativ einfach zu bestimmen. Da es keine Mittler zwischen Produktion und Endkonsument gibt, werden die Güterflüsse ohne Umwege modelliert. Die Randsummen $sal_r^{ds,com}$ können aus Unterabschnitt 5.2.3 (ab Seite 78) übernommen werden.

Da für den sehr heterogenen Verkaufskanal Großhandel & Sonstiges kaum Daten, beispielsweise zu Lagerstrukturen, vorliegen, wird dieser vereinfacht modelliert. Es wird angenommen, dass in jeder der 402 deutschen Regionen mindestens ein Großhandelslager existiert und dieses Lager alle Großhändler und Gastronomiebetriebe der Region versorgt. Dieses Lager wird im Modell mit direkten Güterflüssen aus der Produktion versorgt. In der Realität können diese Großhandelslager aber auch außerhalb der Quell- oder Zielregion liegen. Außerdem kann der Transport größerer Mengen auch direkt, ohne Umweg über das Lager, erfolgen. Wie groß der durch diese vereinfachte Modellierung entstehende Fehler ist, wird in Abschnitt 6.5 (ab Seite 122) diskutiert. Da keine Lager außerhalb der Quell- oder Zielregion modelliert werden, können die Randsummen des Großhandelsabsatzes $sal_r^{wso,com}$ ebenfalls aus Unterabschnitt 5.2.3 übernommen werden.

Die Güterflüsse, die die Verkaufskanäle der Vollsortimenter und Discounter passieren, werden mit zwei Transporten modelliert: den Beschaffungstransporten von den Produzenten in die Handelslager und den Distributionstransporten von den Handelslagern zu den Regionen mit entsprechenden Filialen. Die Lager-Filial-Zuordnung erfolgt außerhalb des Programmablaufs und wurde bereits in Unterabschnitt 5.3.7 (ab Seite 95) beschrieben. Wie die Produzenten und Lagerstandorte miteinander verflochten sind, ist dagegen unklar. Diese Beschaffungstransporte werden deshalb ebenfalls im Zuge der räumlich-wirtschaftlichen Verflechtung mittels des Gravitationsmodells bestimmt. Die Absätze der verschiedenen Einzelhändler (Unterabschnitt 5.3.6 ab Seite 92) werden dafür auf die entsprechenden Lagerstandorte umgelegt. Die Randsummen $wh_r^{ret,com}$ ergeben sich dann aus den Mengen, die durch die Lagerhäuser fließen. Diese werden berechnet, indem die Absätze der dem Lagerhaus zugeordneten Filialen aufaddiert werden (Formel 6.1). Auf diese Weise kann auch die Kapazität der Lager abgeschätzt werden.

Sind alle Randsummen bestimmt, muss sichergestellt sein, dass die Summe der Produktions- und Importwerte mit der Summe der Verarbeitungsinputs, aller Absatzwerte und der Exporte übereinstimmt (Formel 6.2). Nur dann kann das Gravitationsmodell die Güterflüsse verteilen.

Abbildung 6.6: Schema der räumlich-wirtschaftlichen Verflechtungstabelle für eine Gütergruppe

Gütergruppe com_a		Inputs für Gütergruppen com_b bis com_z		Lagerhäuser der Lebensmittel- einzelhändler	Direktabsätze	Lager der Großhändler & Sonstigen	Exporte
		$up_1^{com_b} \dots up_{402}^{com_b}$	$up_1^{com_z} \dots up_{402}^{com_z}$	$wh_1^{ret} \dots wh_{402}^{ret}$	$sal_1^{ds} \dots sal_{402}^{ds}$	$sal_1^{wso} \dots sal_{402}^{wso}$	$ex_1 \dots ex_{50}$
Produktion	p_1	1.		2.	3.		
	p_{402}						
Importe	im_1						
	im_{50}						

Jährlicher Fluss der Gütergruppe com_a von ...

1. ... Produktionsregion p_{100} nach Region up_{200} zur Verarbeitung zu com_z
2. ... Handelspartner im_{12} ins Lagerhaus des Einzelhändlers ret in Region wh_{300}
3. ... Produktionsregion p_{300} zum Handelspartner ex_{20}

Einsatz des Gravitationsmodells

Die Funktionsweise des Standard-Gravitationsmodells wurde bereits in Unterabschnitt 4.3.2 (ab Seite 57) erläutert. Angepasst auf die vorliegende Arbeit ergeben sich die Formeln 6.3 bis 6.9. Die klassische Widerstandsfunktion $f(c_{ij}) = c_{ij}^{-\alpha}$ wird nicht genutzt, da sie Widerstände unabhängig von absoluten Entfernungen bewertet und damit die Güterflüsse mit kurzen Transportentfernungen überbewerten würde. Die von Lohse u. a. (1997) entwickelte EVA-Funktion bietet gewisse Vorteile, da sie die Verkehrsverteilung und die Verkehrsträgerwahl simultan behandelt. Das bedeutet, dass bei unterschiedlichen Entfernungsklassen auch unterschiedliche Verkehrsträger mit jeweils eigenen Widerständen berücksichtigt werden (Köhler, Zöllner und Wermuth 2001). Da die Verkehrsträgerwahl aber nicht Teil dieser Arbeit ist, wird auch diese Widerstandsfunktion nicht eingesetzt. Stattdessen wird die aus der klassischen Widerstandsfunktion von Wilson (1970) weiterentwickelte Funktion $f(c_{ij}) = e^{-\beta \cdot c_{ij}}$ gewählt. Mit der Konfiguration des Gravitationsmodells nach Wilson wird die wahrscheinlichste Verteilung der Flüsse erzeugt. Dies ist die Verflechtung mit maximaler Entropie unter Berücksichtigung der Transportkosten beziehungsweise -distanzen.

$$flow_{ij}^{com} = a_i \cdot o_i \cdot b_j \cdot d_j \cdot e^{-\beta^{com} \cdot dist_{ij}} \quad (6.3)$$

$$o_i \in p_r^{com} \cup im_{tn}^{com} \quad (6.4)$$

$$d_j \in up_r^{com,com_b} \cup wh_r^{ret,com} \cup sal_r^{ds,com} \cup sal_r^{wso,com} \cup ex_{tn}^{com} \quad (6.5)$$

$$o_i = \sum_j flow_{ij}^{com} \quad (6.6)$$

$$d_i = \sum_i flow_{ij}^{com} \quad (6.7)$$

$$a_i = \frac{1}{\sum_j (b_j \cdot d_j \cdot e^{-\beta^{com} \cdot dist_{ij}})} \quad (6.8)$$

$$b_j = \frac{1}{\sum_i (a_i \cdot o_i \cdot e^{-\beta^{com} \cdot dist_{ij}})} \quad (6.9)$$

mit:

- a_i, b_j = Normalisierungsfaktoren
- β^{com} = Widerstandsfaktor für Gütergruppe com
- d_j = Güternachfrage in der Zielregion j
- $dist_{ij}$ = Transportentfernung zwischen den Regionen i und j
- ex_{tn}^{com} = Jährlicher Export von Gütergruppe com zu Handelspartner tn
- $flow_{ij}^{com}$ = Jährlicher Güterfluss der Gruppe com zwischen Region i und j
- im_{tn}^{com} = Jährlicher Import von Gütergruppe com von Handelspartner tn
- o_i = Güterangebot in der Quellregion i
- p_r^{com} = Jährliches Produktionsaufkommen in Gütergruppe com in Region r
- $sal_r^{ds,com}$ = Jährlicher Direktabsatz der Gütergruppe com in Region r
- $sal_r^{wso,com}$ = Jährlicher Absatz der Gütergruppe com durch Großhändler und sonstige Verkaufskanäle in Region r
- up_r^{com,com_b} = Jährlicher Verbrauch der Gütergruppe com zur Produktion der Gütergruppe com_b in Region r
- $wh_r^{ret,com}$ = Jährlicher Güterfluss der Gruppe com , der durch das Lagerhaus der Handelszentrale ret in Region r fließt

Da keine Transportkostenmatrix C (Costs) für die Lebensmittelwirtschaft im Untersuchungsraum existiert, wird stattdessen die Transportentfernungsmatrix $DIST$ (Distance) aus Unterabschnitt 5.3.5 (ab Seite 89) als Grundlage zur Berechnung der Widerstände verwendet. Diese führt ebenfalls zu guten Ergebnissen, da mit steigender Transportentfernung auch Transportkosten steigen und umgekehrt. Allerdings entwickeln sich Transportentfernung- und kosten in der Realität nicht proportional, was eine Einschränkung des Modells darstellt.

Bei der Modellierung von Güterflüssen beziehungsweise Handelsbeziehungen zwischen deutschen und ausländischen Regionen im Gravitationsmodell mit Transportentfernungen muss außerdem beachtet werden, dass die Nutzung der kompletten Transportentfernungen kein realistisches Abbild ergeben würde. Dies liegt daran, dass die, aufgrund anderer klimatischer, geologischer und wirtschaftlicher Bedingungen, niedrigeren Produktionskosten im Ausland höhere Transportkosten und damit längere Transportwege zulassen. Da das Gravitationsmodell jedoch ausschließlich mit Massen und Transportentfernungen rechnet, können diese Kostenunterschiede nicht abgebildet werden. Dabei handelt es sich um ein bekanntes Problem der MRIO-Modelle, das von (Wiedmann 2009, S. 218) erkannt und bereits in Unterabschnitt 4.4.3 (ab Seite 62) angesprochen wurde. Um dieses Problem zu beheben, werden in FOODFLOW die Transportwege außerhalb Deutschlands nicht mit in die Berechnung der Verflechtungen einbezogen. Das Außenhandelsaufkommen wird stattdessen auf die deutschen Grenzregionen umgelegt, in denen die Im- und Exporte die deutsche Grenze überqueren. Zur Identifikation dieser Regionen wird die Routenplanung des Online-Kartendienstes Google Maps verwendet. Dabei wird die Grenzregion gewählt, die auf der schnellsten Route zwischen der jeweiligen Hauptstadt und Berlin liegt. Für den Außenhandel mit Frankreich, Spanien und Portugal erfolgt der Grenzübertritt beispielsweise über die Autobahn A44 / E40 in der Städteregion Aachen; für Polen, Russland und die baltischen Staaten über die Autobahn A12 / E30 im Kreis Frankfurt an der Oder.

Aber auch die innerdeutschen Transporte reichen, aufgrund der anderen Produktionsbedingungen im Ausland, nicht als alleiniges Verteilungskriterium für Importe aus. Es wird davon ausgegangen, dass einige Gütergruppen Güter enthalten, die gewisse Alleinstellungsmerkmale aufweisen und deswegen die gesamte Bandbreite der Gütergruppe in allen Regionen nachgefragt wird. Demzufolge werden die Importmengen von Gütergruppen, deren Güter nicht in Deutschland hergestellt werden können, wie beispielsweise Südfrüchte, oder die viele Markenprodukte enthalten, wie Wein und Süßwaren, proportional auf alle deutschen Regionen verteilt. Bei Gütergruppen wie Zucker, deren Güter sich kaum voneinander unterscheiden, spielt die Herkunftsregion dagegen keine entscheidende Rolle. Sie können dadurch mit möglichst geringem Aufwand aus den umliegenden Regionen beschafft werden, was die Verteilung mittels des Gravitationsmodells zulässt.

Nachdem die Transportentfernungen festgelegt und die Randsummen bestimmt sind, muss noch der Widerstandsfaktor β^{com} gewählt werden. Dann können die Matrixwerte beziehungsweise Güterflüsse $flow_{ij}$ berechnet werden. Dazu wird zuerst die Widerstandsmatrix berechnet, indem alle Elemente der Transportentfernungsmatrix $DIST$ mittels der Bewertungsfunktion $f(dist_{ij}) = e^{-\beta \cdot dist_{ij}}$ bewertet werden. Anschließend wird die Widerstandsmatrix so angepasst, dass ihre Zeilen- und Spaltensummen den o_i und d_j entsprechen. Dies geschieht mit dem iterativen Furness-Algorithmus, der abwechselnd für alle Zeilen und Spalten die Normalisierungsfaktoren a_i und b_j bestimmt (Formeln 6.8 und 6.9) und die Widerstandsmatrix wieder mit diesen Werten multipliziert. So nähern sich die resultierenden Zeilen- und Spaltensummen der Widerstandsmatrix den Werten o_i und d_j an, bis sie nach mehreren Iterationen die Nebenbedingungen 6.6 und 6.7 nahezu erfüllen. Zur Erfüllung der Nebenbedingungen muss die Summe der Abstände zwischen o_i und der Zeilensumme i beziehungsweise zwischen d_j und der Spaltensumme j einen gewissen Grenzwert unterschreiten. Dieser Grenzwert kann vor dem Start des Java-Programms festgelegt werden und entspricht bei den Berechnungen dieser Arbeit 0,1 km.

Je nach Belegung des Widerstandsparameters β^{com} , können mit dem Gravitationsmodell verschiedene Verflechtungen berechnet werden. Da es das Ziel dieser Arbeit ist, ein möglichst realitätsnahes Abbild der Verflechtungen der deutschen Lebensmittelwirtschaft zu modellieren, wird im folgenden Unterabschnitt erläutert, wie Verflechtungen berechnet werden können, die den Güterverkehrsmatrizen der BVWP möglichst entsprechen.

6.4 Kalibrierung der Güterflüsse

Die größte Herausforderung bei der Güterverkehrsmodellierung ist, wie auch bei der Modellbildung im Allgemeinen, die Sicherstellung der Kongruenz zwischen dem modellierten System und der realen Welt.

Beschreibung des Problems

Wie das Kapitel 5 zur Datensammlung und -aufbereitung deutlich zeigt, gibt es gerade im Sektor der Lebensmittelwirtschaft zahlreiche Datenquellen für Produktionsmengen, Verbrauchswerte, Betriebsgrößen und -standorte, den Außenhandel sowie weitere Werte. Detaillierte Daten zur räumlichen Verflechtung, wie sie zum Beispiel in den Vereinigten Staaten von Amerika existieren (Bureau of Transportation Statistics 2013), gibt es für Deutschland jedoch nicht. Als Quelle für die tatsächliche räumliche Verflechtung dient stattdessen die Güterverkehrsmatrix, die im Rahmen der BVWP von Schubert u. a. (2014) auf beobachteten Daten aufgebaut wurde. Problematisch an der BVWP ist, dass sie auf der NST-2007-Klassifikation basiert und damit, im Gegensatz zu den 51 Gütergruppen dieser Arbeit, nur zwei lebensmittelbezogene Gütergruppen unterscheidet. So fallen die 14 landwirtschaftlichen Gütergruppen aus Tabelle 5.2 (Seite 73) in die NST-2007-Gütergruppe 10: *Erzeugnisse der Landwirtschaft, Jagd und Forstwirtschaft; Fische und Fischereierzeugnisse*. Die übrigen 37 Gütergruppen sind in der NST-2007-Gütergruppe 40: *Nahrungs- und Genussmittel* aggregiert. Da die BVWP-Güterverkehrsmatrizen aber auch Güter enthalten, die in diesem Modell nicht berücksichtigt werden, müssen die zwei BVWP-Güterverkehrsmatrizen angepasst werden. In der landwirtschaftlichen Gütergruppe sind dies die Erzeugnisse der Forstwirtschaft, in der Gütergruppe der verarbeiteten Lebensmittel vor allem Genussmittel wie Kaffee, Tee und Kakao. Um diese Abweichung auszugleichen, wird das Gesamtgüterverkehrsaufkommen der BVWP-Matrizen mittels Furness-Algorithmus an die zusammengetragenen Aufkommens- und Verbrauchswerte angepasst.

Die feine Differenzierung von 51 Gütergruppen in dieser Arbeit ist jedoch nicht nur aus Sicht der Versorgungssicherheit von hoher Bedeutung, sondern auch für logistische Prozesse wichtig: So erzeugen die unterschiedlichen Eigenschaften der Gütergruppen auch anderes Konsumentenverhalten und damit wiederum individuelle Transportparameter. Zum Beispiel spielen bei Zucker, als eher homogenem Gut mit geringer Wertdichte, die Transportkosten eine größere Rolle als bei Süßwaren, die eine höhere Wertdichte aufweisen und deren Sortiment stark durch Marken geprägt ist. Es ist deshalb davon auszugehen, dass Süßwaren auch über größere Entfernungen als Zucker transportiert werden. Die Eigenschaften können sich aber auch direkt auf Transportkosten und damit Transportentfernungen auswirken. So gelten für Tiertransporte, die ohnehin sehr aufwendig sind, bei Transporten von mehr als 50 km spezielle Vorschriften (Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union 2005), welche die Transporte weiter verteuern und für eher kurze Transportwege sorgen. Im Gegensatz dazu werden Produkte der ebenfalls landwirtschaftlichen Gütergruppe Getreide in großen Mengen transportiert, unter anderem bis in den Iran. Aus diesen Gründen werden die 51 Gütergruppen im Gravitationsmodell mit individuellen β versehen, auch wenn sie in den BVWP-Daten nur aggregiert erfasst wurden. Zur Kalibrierung der detaillierten Gütergruppen an den zwei aggregierteren offiziellen Verflechtungsmatrizen des BVWP wird deshalb eine spezielle Methodik benötigt.

Bestimmung der Spannweiten realistischer Verflechtungen

Um realistische Verflechtungen zu erhalten, wird zunächst die Spannweite der möglichen Verflechtungen für alle Gütergruppen ermittelt. Dazu werden für alle Gütergruppen die güterverkehrsminimale Verflechtung als untere Grenze sowie die proportionale Verflechtung als Obergrenze ermittelt. Über die proportionale Verflechtung hinaus gibt es theoretisch weitere Verflechtungen, die größere Transportentfernungen aufweisen. Allerdings müssten Verbraucher, um solche Verflechtungen zu erhalten, bewusst weit entfernte Lieferanten auswählen. Dieses Verhalten wird hier als unwirtschaftlich ausgeschlossen.

Die Ermittlung der optimalen Verflechtungen erfolgt, wie schon die Lager-Filial-Zuordnung, über die Formulierung als Standard Transportproblem mit Kapazitätsbeschränkungen nach Hitchcock (1941) und Transportminimierung mit Hilfe des in das Java-Programm integrierten kommerziellen Optimierungs-Solvers Gurobi (2016) (Formel 6.10 und Abbildung 6.7, links).

$$\min \sum_i \sum_j (flow_{ij} \cdot dist_{ij}) \quad (6.10)$$

unter den Nebenbedingungen:

$$\sum_i flow_{ij} = d_j \quad (6.11)$$

$$\sum_j flow_{ij} = o_i \quad (6.12)$$

$$flow_{ij} \geq 0 \quad (6.13)$$

mit:

d_j = Güternachfrage in der Zielregion j

$dist_{ij}$ = Transportentfernung zwischen den Regionen i und j

$flow_{ij}^{com}$ = Jährlicher Güterfluss der Gruppe com zwischen Region i und j

o_i = Güterangebot in der Quellregion i

Bei der oberen Grenze der möglichen Verflechtungen wird davon ausgegangen, dass Transportentfernungen keine Rolle bei der Lieferantenwahl spielen und die Lieferanten aus räumlicher Sicht zufällig ausgewählt werden. Daraus ergibt sich eine proportionale Verteilung (Formel 6.14 sowie Abbildung 6.7, rechts).

$$flow_{ij} = \frac{o_i \cdot d_j}{\sum_i o_i} = \frac{o_i \cdot d_j}{\sum_j d_j} \quad (6.14)$$

mit:

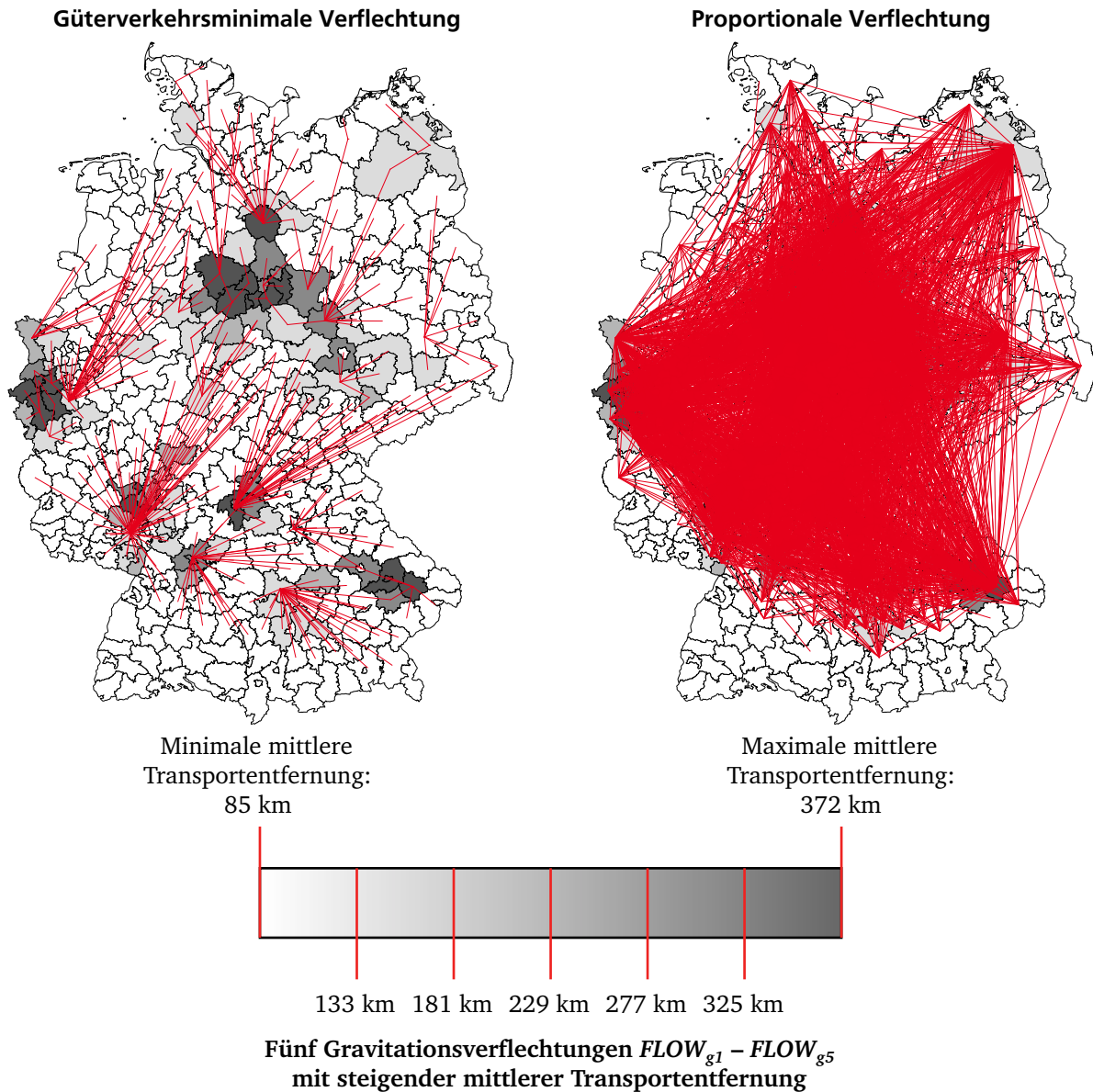
d_j = Güternachfrage in der Zielregion j

$flow_{ij}^{com}$ = Jährlicher Güterfluss der Gruppe com zwischen Region i und j

o_i = Güterangebot in der Quellregion i

Anschließend werden sowohl für die güterverkehrsminimale als auch für die proportionale Verflechtung die mittleren Transportentfernungen berechnet. Beispiele für ausgewählte Gütergruppen zeigt Tabelle 6.1. Die komplette Tabelle findet sich in Anhang E (ab Seite 231). Während die proportionalen Verflechtungen aller Gütergruppen relativ nahe beieinander liegen, sind die güterverkehrsminimalen Verflechtungen weit gestreut. Diese große Streuung ergibt sich aus der unterschiedlichen Produktionsallokation der verschiedenen Gütergruppen. So produziert die Backwarenindustrie mit Ausnahme einiger großer Industriebäckereien nahe am Endverbraucher, was zu einer geringen mittleren Transportdistanz von 42 km führt. Im Gegensatz dazu haben die güterverkehrsminimal verteilten Güterflüsse der Gütergruppe Wein eine mittlere Länge von 439 km, was nahe an der berechneten

Abbildung 6.7: Mögliche räumliche Verflechtungen zwischen dem Zuckerrübenanbau und der Zuckerherstellung



Obergrenze von 484 km liegt. Dies liegt daran, dass die Weinproduktion nicht in der Nähe des Verbrauchers stattfindet, sondern in direkter Nähe des Weinanbaus. Regionen, welche die notwendigen klimatischen Bedingungen dieses Anbaus erfüllen, liegen größtenteils im Südwesten Deutschlands.

Berechnung möglicher Verflechtungen innerhalb der Spannweiten

Die reale Verflechtung einer Gütergruppe muss zwischen der güterverkehrsminimalen und der proportionalen Verflechtung liegen. Wo genau sie liegt, ist jedoch unklar. Um sie zu bestimmen, werden zuerst innerhalb der Spannweite zwischen den mittleren Transportentfernungen der minimalen und proportionalen Güterflussverteilungen eine bestimmte Anzahl von äquidistanten Werten ausgewählt, die als mittlere Zielentfernung für mögliche Verflechtungen dienen. Abbildung 6.7 zeigt dies im unteren Teil am Beispiel der räumlich-wirtschaftlichen Verflechtung zwischen dem Zuckerrübenanbau und der Zuckerherstellung. Die Anzahl der Zielwerte kann in FOODFLOW beliebig festgelegt werden. Mit deren Anzahl steigt die Genauigkeit des Kalibrierungsalgorithmus, aber auch der Rechenaufwand. In der vorliegenden Arbeit werden fünf mittlere Zielentfernungen betrachtet.

Tabelle 6.1: Spannweite der mittleren Transportentfernungen der möglichen Verflechtungen ausgewählter Gütergruppen in km mit Hervorhebung der passendsten Verflechtung (Auszug)

Gütergruppe	Minimal	Gravitationsverflechtungen					Proportional
		$FLOW_{g_1}^{com}$	$FLOW_{g_2}^{com}$	$FLOW_{g_3}^{com}$	$FLOW_{g_4}^{com}$	$FLOW_{g_5}^{com}$	
Getreide tr	148	198	247	297	347	396	446
Zuckerrüben tr	85	133	181	229	276	324	372
Gemüse tg	290	315	339	365	390	416	441
Obst tg	410	417	424	431	438	445	452
Wein tr	439	446	454	461	469	477	484
Rinder le	140	189	239	290	341	393	444
Rohmilch tg	105	168	230	293	356	419	482
Fisch, Krebs- & Weichtiere tk	401	406	412	417	423	429	434
Getreideerzeugnisse tr	78	135	193	252	312	373	433
Backwaren tr	42	103	165	228	292	356	420
Zucker tr	144	190	236	283	330	377	424
Süßwaren tg	231	266	300	336	372	408	444
Gemüsezubereitungen tk	368	379	391	405	418	433	446
Obstzubereitungen tr	279	306	333	360	388	416	443
Schlachterzeugnisse Rind tg	117	163	210	258	310	364	417
Rind-, Schweinefl. & -wurst tg	190	232	275	319	364	411	457
Konsummilch tr	160	213	267	321	375	429	483
Käse tg	236	276	316	357	398	439	480
Fischerzeugnisse tk	412	421	431	440	449	459	469

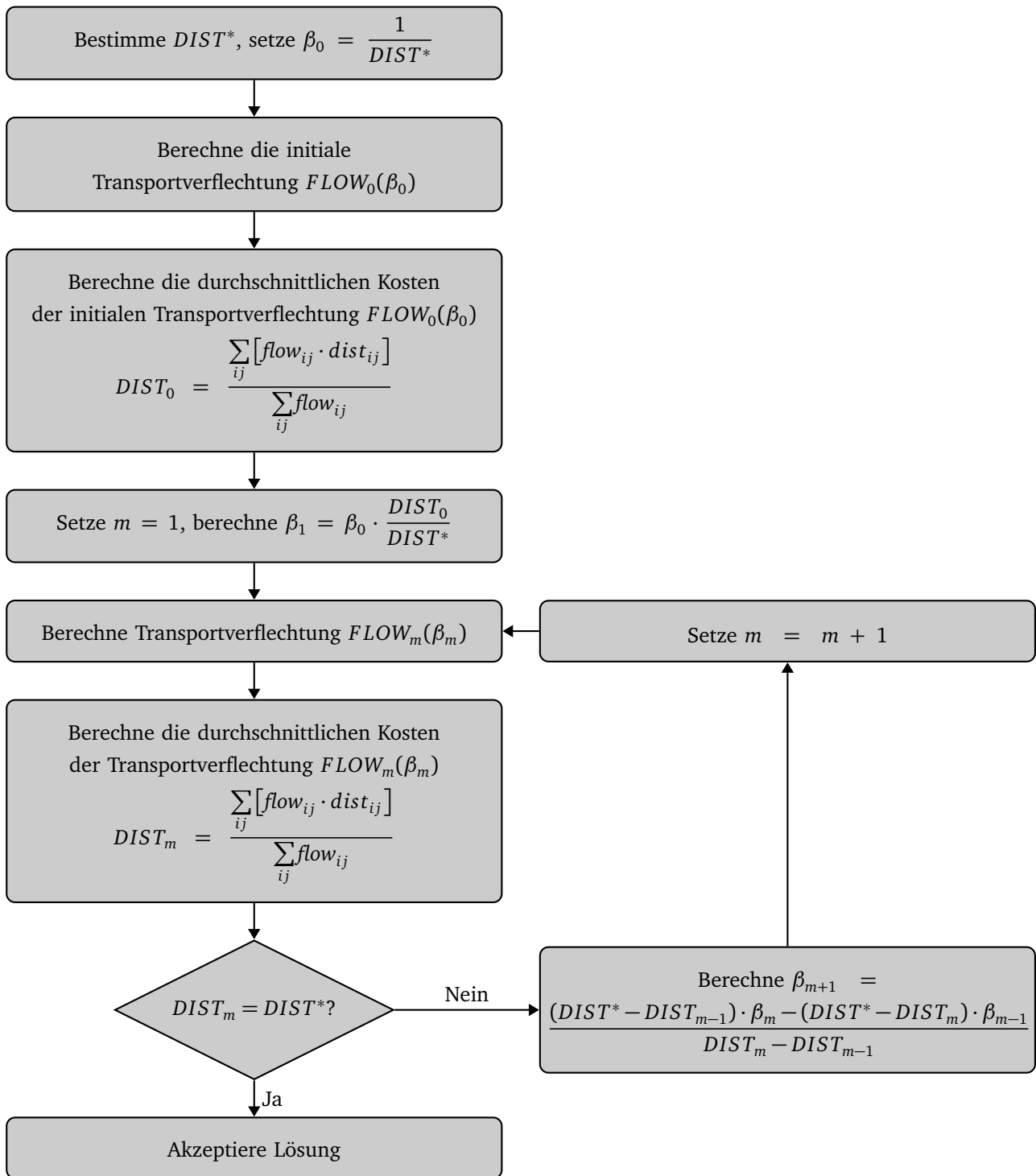
Für jede dieser Zielentfernungen $DIST_1^{com*}$ bis $DIST_5^{com*}$ (Distance) werden mittels des Gravitationsmodells Verflechtungen berechnet. Damit die resultierenden Gravitationsverflechtungen $FLOW_{g_1}^{com}$ bis $FLOW_{g_5}^{com}$ auch die entsprechenden mittleren Transportentfernungen aufweisen, wird der von Hyman (1969) entwickelte Algorithmus eingesetzt (Abbildung 6.8). Dieser Algorithmus passt den Widerstandsfaktor β^{com} inkrementell so an, dass die mittlere Entfernung in der resultierenden Transportmatrix mit der Zielentfernung übereinstimmt.

Da das Gravitationsmodell nach Wilson (1970), wie im Unterabschnitt 6.3 beschrieben, Verflechtungen mit maximaler Entropie unter Berücksichtigung der Transportentfernungen erzeugt, entstehen sehr viele kleine Güterflüsse mit hohen relativen Standardabweichungen. Dies ist jedoch von geringer Bedeutung, da die Gesamtverflechtung durch eine kleine Zahl an relativ genauen großen Güterflüssen bestimmt wird (Jensen 1980). Um darüber hinaus nicht mit zu vielen, unrealistisch kleinen Güterflüssen weiterzuarbeiten, werden Güterflüsse unterhalb eines bestimmten Grenzwertes auf Null gesetzt. Auch dieser Parameter kann in FOODFLOW festgelegt werden. In dieser Arbeit wurde er auf eine Tonne pro Jahr festgesetzt. Da durch dieses Abschneiden von Güterflüssen die Randsummen der Verflechtung nicht mehr mit den Aufkommens- und Verbrauchswerten übereinstimmen, erfolgt im Anschluss ein weiterer Durchlauf des Furness-Algorithmus. Dieser passt die Matrizenelemente der Verflechtung wieder an die Randsummen an, ohne das ermittelte Verflechtungsmuster zu verändern. Für die 51 Gütergruppen werden so insgesamt 255 Gravitationsverflechtungen berechnet. Die güterverkehrsminimale und die proportionale Verflechtung selbst werden nicht weiter berücksichtigt, da es unwahrscheinlich ist, dass der Markt diese Extreme erreicht.

Auswahl der passendsten Verflechtungen

Wählt man für jede Gütergruppe eine Gravitationsverflechtung aus, erhält man aus deren Summe sowie den bereits bestimmten Güterflüssen zwischen den Lagerhäusern und Filialen des LEH eine Gesamtverflechtung (Formel 6.15), die mit den zwei aggregierteren BVWP-Güterverkehrsmatrizen vergleichbar ist. Aufgabe des nun folgenden Kalibrierungsalgorithmus ist die Auswahl der passendsten Verflechtung pro Gütergruppe, sodass deren Kombination

Abbildung 6.8: Angepasster Hymans-Algorithmus nach Williams (1976)



mit:

β = Widerstandsfaktor

$DIST^*$ = Angestrebte, durchschnittliche, gewichtete Transportentfernung der gesamten räumlich-wirtschaftlichen Verflechtung

$dist_{ij}$ = Transportentfernung zwischen den Regionen i und j

$FLOW(\beta)$ = Transportverflechtung in Abhängigkeit von β die alle Güterflüsse $flow_{ij}$ enthält

$flow_{ij}$ = Jährlicher Fluss an Gütern zwischen Region i und j

der BVWP-Güterverkehrsmatrix möglichst entspricht. Die passendste Gesamtverflechtung ist dabei diejenige, deren Abweichung von der BVWP-Güterverkehrsmatrix minimal ist (Formel 6.16). Diese Abweichung wird bestimmt, indem alle einzelnen Güterflüsse paarweise mit ihrem jeweiligen Pendant verglichen werden.

$$FLOW_G^{Modell} = \sum_{com} (FLOW_g^{com} + FLOW_{WH}^{com}), g \in \{g_1, g_2, g_3, g_4, g_5\} \quad (6.15)$$

$$\min \sum_i \sum_j (flow_{ij}^{Modell} - flow_{ij}^{BVWP})^2 \quad (6.16)$$

mit:

$FLOW_{WH}^{com}$ = Transportverflechtungsmatrix zwischen Lagerhäusern und Filialen der Gütergruppe com

$FLOW_g^{com}$ = Transportverflechtungsmatrix der Gravitationsverflechtung g der Gütergruppe com

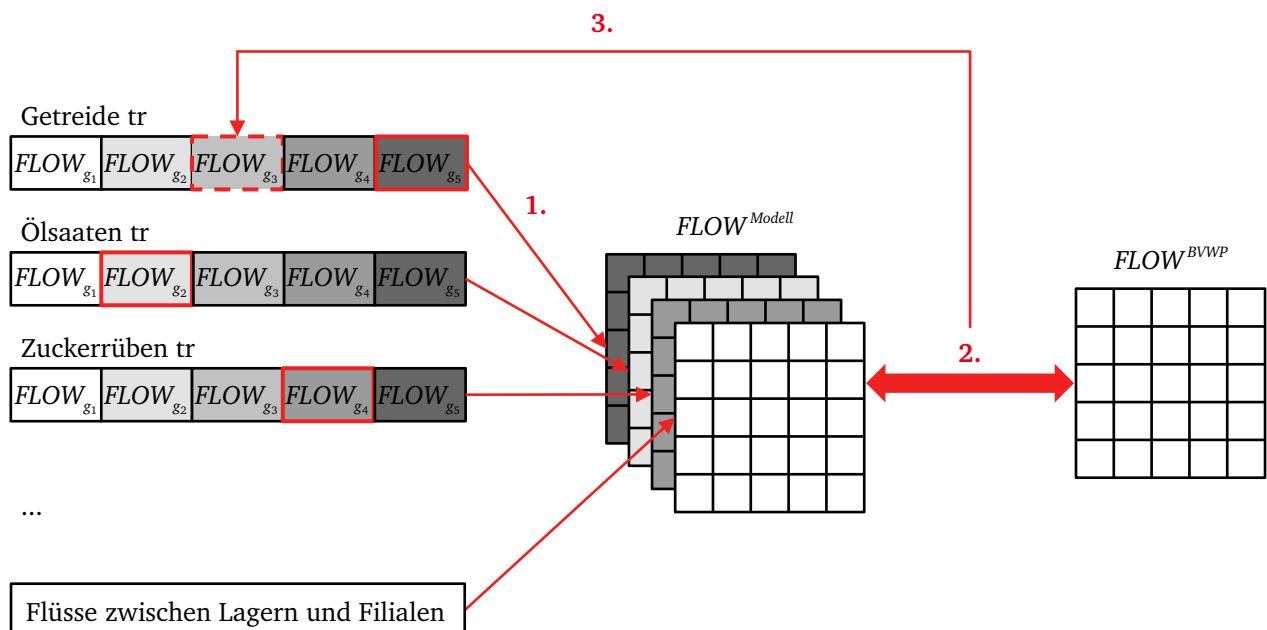
$FLOW_G^{Modell}$ = Gesamte modellierte Transportverflechtungsmatrix aller Gütergruppen auf Basis von Verflechtungskombination G

$flow_{ij}^{BVWP}$ = Jährlicher Güterfluss zwischen Region i und j laut BVWP

$flow_{ij}^{Modell}$ = Jährlicher Güterfluss zwischen den Regionen i und j laut Modellierung

Da für jede der 14 landwirtschaftlichen Gütergruppen 5 Gravitationsverflechtungen berechnet werden, ergeben sich 5^{14} Kombinationsmöglichkeiten. Für die 37 Gütergruppen verarbeiteter Produkte ergeben sich 5^{37} Kombinationsmöglichkeiten. Daraus resultieren insgesamt $7 \cdot 10^{15}$ mögliche Kombinationen der modellierten Gravitationsverflechtungen. Diese Anzahl ist zu groß, um sie vollständig mit den BVWP-Güterverkehrsmatrizen abgleichen zu können. Aus diesem Grund wird ein iterativer Algorithmus entwickelt, der in Abbildung 6.9 schematisch und dessen Ablauf in Abbildung 6.10 dargestellt ist.

Abbildung 6.9: Funktionsweise des Kalibrierungsalgorithmus



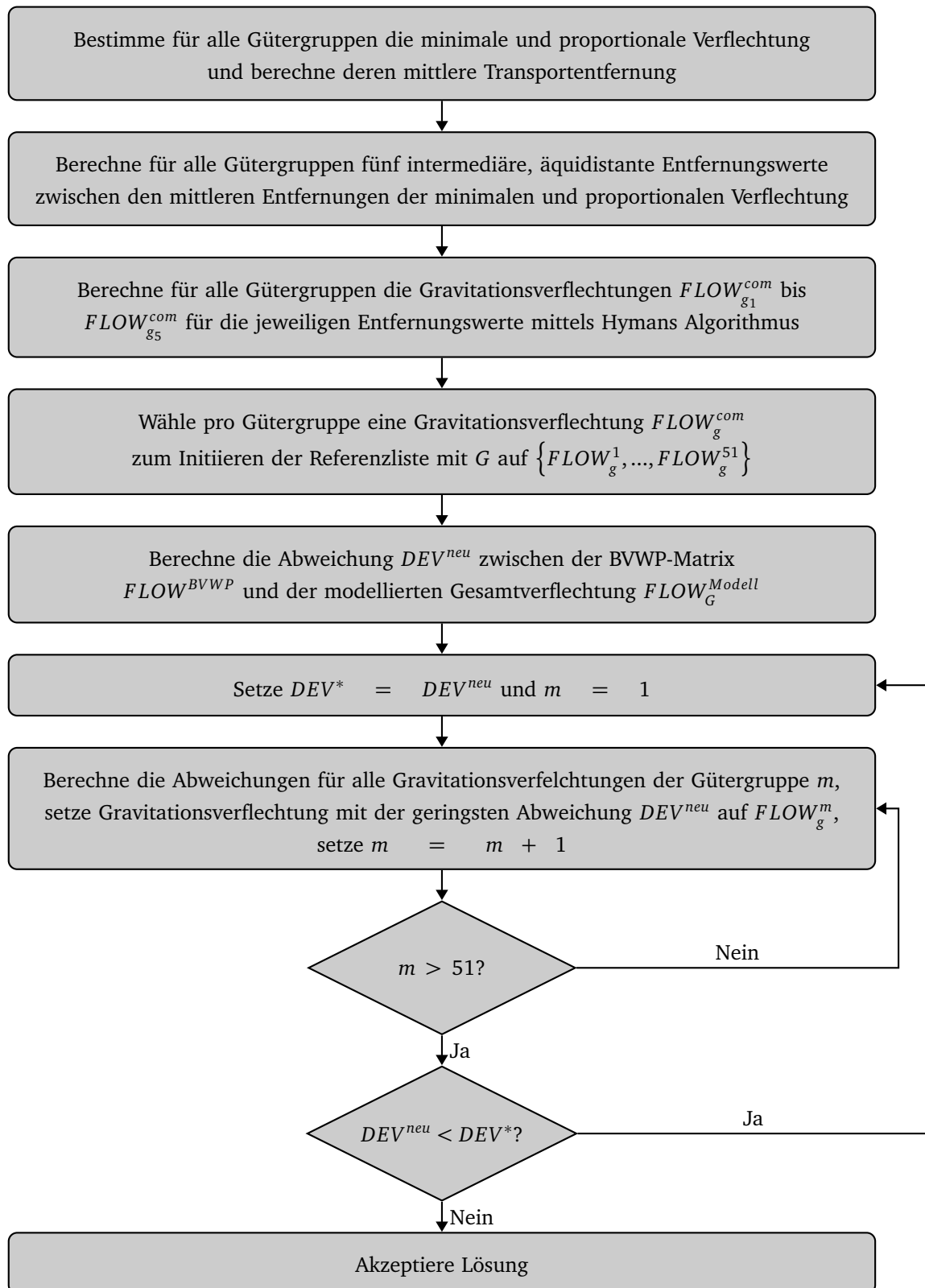
Kern dieses Algorithmus ist eine Liste, die die aktuell beste Zusammenstellung der Verflechtungskombination G speichert. Zu Beginn des Algorithmus wird diese Referenzliste mit Startwerten gefüllt und die Abweichung DEV (Deviation) von der BVWP-Güterverkehrsmatrix berechnet. Mit jedem Schritt des Algorithmus wird eine neue Verflechtungskombination gewählt und die Abweichung erneut berechnet. Ist die Abweichung der neuen Verflechtungskombination geringer als diejenige der in der Referenzliste gespeicherten, wird die neue Verflechtungskombination in die Liste geschrieben. Die Referenzliste wird so lang inkrementell geändert, bis keine bessere Verflechtungskombination mehr gefunden werden kann. Dann endet der Algorithmus und die Referenzliste enthält die Verflechtungskombination, die aufaddiert die kleinste Abweichung zur BVWP-Güterverkehrsmatrix bildet.

Mit dieser Methodik müssen in dieser Arbeit nicht alle $7 \cdot 10^{15}$ möglichen Kombinationen mit der BVWP-Güterverkehrsmatrix verglichen werden. Stattdessen werden nur 4 bis 5 Durchläufe mit jeweils $5 \cdot 14 + 5 \cdot 37 = 255$ Vergleichen benötigt, um zum Kalibrierungsergebnis zu kommen. Dabei besteht jedoch die Möglichkeit, nur ein lokales Minimum zu erreichen. Um dies zu vermeiden, ist es wichtig, die Belegung der initialen Referenzliste zu variieren. Kommt der Algorithmus trotz unterschiedlichster Startkombinationen zum gleichen Ergebnis, ist die Wahrscheinlichkeit, kein lokales Minimum gefunden zu haben, hinreichend groß.

Konkret auf die vorliegende Anwendung übertragen, steht im ersten Schritt des Kalibrierungsalgorithmus Gütergruppe 1, *Getreide* im Fokus. Für jede der fünf Gravitationsverflechtungen dieser Gütergruppe wird die Abweichung von der BVWP-Güterverkehrsmatrix berechnet, wobei für die anderen Gütergruppen die in der Referenzliste angegebenen Verflechtungen verwendet werden. Daraus ergeben sich fünf verschiedene Abweichungen. Nun wird die Verflechtungen mit der kleinsten Abweichung ausgewählt und als neue beste Annäherung unter Gütergruppe 1 in die Referenzliste eingetragen. Der Algorithmus wechselt anschließend zur Gütergruppe 2, *Reis*. Auch hier berechnet er die fünf Abweichungen für die fünf verschiedenen Gravitationsverflechtungen, wählt die Verflechtung mit der kleinsten Abweichung als neue beste Annäherung aus und schreibt sie unter Gütergruppe 2 in die Referenzliste. Dies geschieht für alle Gütergruppen. Nach dem ersten Durchlauf durch alle Gütergruppen ist der Algorithmus jedoch noch nicht beendet. Der gütergruppenweise Vergleich der Verflechtungen wird für alle Gütergruppen mit der nun verbesserten Referenzliste der Verflechtungskombination wiederholt. Dabei ist es wichtig, nicht nur die Abweichungen miteinander zu vergleichen, die sich aus den unterschiedlichen Verflechtungen einer Gütergruppe ergeben, sondern auch zu prüfen, ob die Gesamtabweichung kleiner wird als im vorangegangenen Durchlauf durch die Gütergruppen. Die Gütergruppen werden immer wieder durchlaufen, bis die Gesamtabweichung von der BVWP-Güterverkehrsmatrix nicht mehr kleiner wird und die Referenzliste der besten Verflechtungskombination unverändert bleibt. Sie enthält dann die passendste Kombination von Verflechtungen.

Um ein lokales Minimum auszuschließen, werden vier Kalibrierungsdurchläufe mit unterschiedlichen Belegungen der initialen Referenzliste durchgeführt: In je einem Durchlauf werden für alle Gütergruppen die Gravitationsverflechtungen mit den kleinsten ($FLOW_{g_1}^{com}$), den mittleren ($FLOW_{g_3}^{com}$) und den größten Transportentfernungen ($FLOW_{g_5}^{com}$) als Startkombination gewählt. In einem zusätzlichen Kalibrierungsdurchlauf wird die initiale Referenzliste zufällig befüllt. Für die vorliegende Anwendung kommt der Kalibrierungsalgorithmus stets zum gleichen Ergebnis, unabhängig davon wie die Startkombination gewählt wird. Die gefundene Lösung kann demnach als robust angesehen werden. Die fettgedruckten Werte in Tabelle 6.1 zeigen die mittleren Transportentfernungen der Verflechtungen, die der BVWP-Güterverkehrsmatrix am nächsten kommen.

Abbildung 6.10: Ablauf des Kalibrierungsalgorithmus



mit:

DEV = Abweichung zwischen der BVWP-Güterverkehrsmatrix $FLOW^{BVWP}$ und der modellierten Gesamtverflechtung $FLOW_G^{Modell}$ auf Basis von Verflechtungskombination G

$FLOW_g^{com}$ = Transportverflechtungsmatrix der Gravitationsverflechtung g der Gütergruppe com

6.5 Simulation der dynamischen Güterflüsse

Nachdem die Input-Daten verarbeitet und die jährlichen Güterflüsse zwischen den Regionen ermittelt wurden, kann die Simulation der dynamischen Güterflüsse beginnen. Da das Ziel dieser Arbeit darin besteht, durch die Analyse der täglichen Transportnachfrage einen Beitrag zur Sicherung der Lebensmittelversorgung zu leisten, werden zwei Dinge überwacht: der unterjährige Verlauf der Bestände bei allen Akteursgruppen in allen Regionen sowie die aus dem Handel entstehende Güterverkehrsnachfrage. Der zeitliche Verlauf der Bestände wird mit der bereits vorgestellten dynamischen Bestandstabelle erfasst (Abbildung 6.3 auf Seite 107).

Tagesproduktion und -verbrauch

Um die Bestände $stock_{r,t+1}^{com_a}$ der Gütergruppe com_a (Commodity) in der Region r für den Folgetag $t + 1$ zu bestimmen, wird je nach Akteursgruppe ein anderes Vorgehen gewählt. Die Gruppe der Produzenten und Importeure folgt dabei den zeitlichen Produktions- und Importverläufen, die in den Unterabschnitten 5.4.1 und 5.4.3 (ab Seite 96 beziehungsweise 100) vorgestellt wurden. Zuerst werden die in den deutschen Regionen produzierten Güter $dp_{r,d}^{com_a}$ (Daily production) zu den Vortagesbeständen addiert. Die für diese Produktion notwendigen Inputs $dup_{r,d}^{com_a,com_b}$ (Daily usage for production) werden direkt innerhalb der Region subtrahiert (Formel 6.17). Sind nicht genügend Bestände eines Inputs vorhanden, wird der Produktionsausstoß entsprechend gesenkt. Welche Gütergruppen com_b als Inputs benötigt werden, kann den Spalten UP^{com} (Usage for production) der Input-Output-Tabelle (Abbildung 5.2 auf Seite 74) entnommen werden. Diese Inputs müssen täglich von den Produzenten nachbestellt werden und erzeugen so in die Produktionsregionen eingehende Güterflüsse $dflow_{ij,d}^{com_a}$ (Daily flow).

Importe über Landweg entsprechen den bereits bestimmten täglichen Importwerten $dim_{tn,d}^{com}$ (Daily import). Da die Importgüter nicht sofort vollumfänglich verbraucht werden, bilden sich Bestände bei den Importeuren in den Grenzregionen, in denen die Importe die deutsche Grenze überquert haben (Formel 6.18). Bei Importen über den Seeweg werden die täglichen Importe mittels der Umschlagsanteile psi^{port} (Port share import) auf die wichtigsten deutschen Seehäfen $port$ (Unterabschnitt 5.3.5 ab Seite 89) umgelegt (Formel 6.19).

Der Anteil des Verbrauchs durch andere Sektoren uo^{com_a} (Usage in other sectors) wird direkt bei den Produzenten und Importeuren aller Regionen subtrahiert. Für die Produktion dieser anderweitig genutzten Güter benötigte Inputs werden trotzdem verbraucht. Außerdem werden zur Berechnung der neuen Bestände die ausgehenden täglichen Güterflüsse $dflow_{ij,d}^{com_a}$ subtrahiert.

$$stock_{r,t+1}^{com_a} = stock_{r,t}^{com_a} + dp_{r,t+1}^{com_a} \cdot (1 - uo^{com_a}) - \sum_{com_b} dup_{r,t+1}^{com_a,com_b} + \sum_{i \in \text{Quellen}} dflow_{ir,t+1}^{com_a} - \sum_{j \in \text{Ziele}} dflow_{rj,t+1}^{com_a} \quad (6.17)$$

$$stock_{tn,t+1}^{com_a} = stock_{tn,t}^{com_a} + dim_{tn,t}^{com} \cdot (1 - uo^{com_a}) - \sum_{j \in \text{Ziele}} dflow_{tnj,t+1}^{com_a} \quad (6.18)$$

$$stock_{port,t+1}^{com_a} = stock_{port,t}^{com_a} + \left(\sum_{tn} dim_{tn,t}^{com} \right) \cdot psi^{port} \cdot (1 - uo^{com_a}) - \sum_{j \in \text{Ziele}} dflow_{portj,t+1}^{com_a} \quad (6.19)$$

mit:

- $dflow_{ij,d}^{com_a}$ = Täglicher Güterfluss der Gruppe com_a zwischen Region i und j am Tag d
 $dim_{tn,d}^{com}$ = Täglicher Import von Gütergruppe com von Handelspartner tn am Tag d
 $dp_{r,d}^{com_a}$ = Tägliches Produktionsaufkommen von Gütergruppe com_a in Region r an Tag d
 $dup_{r,d}^{com_a,com_b}$ = Täglicher Verbrauch von Gütergruppe com_a zur Produktion von Gütergruppe com_b in Region r an Tag d
 psi^{port} = Anteil der über den Seehafen $port$ umgeschlagenen Übersee-Importe
 $stock_{r,d}^{com_a}$ = Bestand von Gütergruppe com_a in Region r an Tag d
 uo^{com_a} = Anteil des Verbrauchs von Gütergruppe com_a durch andere Sektoren

Tageskonsum

Wie bei den Produzenten und Importeuren wird auch die Güternachfrage durch Endkonsumenten und Exporteure über die Verbrauchs- und Exportverläufe aus den Unterabschnitten 5.4.2 und 5.4.3 (ab Seite 98 beziehungsweise 100) verteilt. Zuerst werden die in den deutschen Regionen durch Endkonsumenten verbrauchten Güter $duc_{r,d}^{com_a}$ (Daily usage for consumption) von den Beständen abgezogen. Addiert wird die Summe der täglichen Güterflüsse $dflow_{r,d}^{com_a,ret}$ zwischen allen regionalen Filialen der unterschiedlichen Handelszentralen ret (Retailer) und den Endkonsumenten in der selben Region (Formel 6.20).

Exporte über Landweg entsprechen den bereits bestimmten täglichen Exportwerten $dex_{tn,d}^{com}$ (Daily export). Sie werden von den Beständen abgezogen. Im Gegensatz zu den Importen bilden sich bei den Exporten jedoch keine Bestände, da das Volumen der täglichen Güterflüsse $dflow_{ij,d}^{com_a}$ von den deutschen Regionen zu den Handelspartnern direkt aus den täglichen Exportwerten berechnet wird (Formel 6.21). Bei Exporten über den Seeweg werden, genau wie bei den Überseeimporten, die täglichen Exportmengen mittels der Umschlagsanteile pse^{port} (Port share export) auf die wichtigsten deutschen Seehäfen $port$ umgelegt (Formel 6.22).

$$stock_{r,t+1}^{com_a} = stock_{r,t}^{com_a} - duc_{r,t+1}^{com_a} + \sum_{ret} dflow_{r,t+1}^{com_a,ret} \quad (6.20)$$

$$stock_{tn,t+1}^{com_a} = stock_{tn,t}^{com_a} - dex_{tn,t}^{com} + \sum_{i \in \text{Quellen}} dflow_{itn,t+1}^{com_a} \quad (6.21)$$

$$stock_{port,t+1}^{com_a} = stock_{port,t}^{com_a} - \left(\sum_{tn} dex_{tn,t}^{com} \right) \cdot pse^{port} + \sum_{i \in \text{Quellen}} dflow_{iport,t+1}^{com_a} \quad (6.22)$$

mit:

- $dex_{tn,d}^{com}$ = Täglicher Export von Gütergruppe com zum Handelspartner tn am Tag d
 $dflow_{ij,d}^{com_a}$ = Täglicher Güterfluss der Gruppe com_a zwischen Region i und j am Tag d
 $dflow_{r,d}^{com_a,ret}$ = Täglicher Güterfluss der Gruppe com_a von allen Filialen der Handelszentrale ret zu den Endkunden innerhalb der Region r am Tag d
 $duc_{r,d}^{com_a}$ = Tagesabsatz von Gütergruppe com_a an Endverbraucher in Region r an Tag d
 pse^{port} = Anteil der über den Seehafen $port$ umgeschlagenen Übersee-Exporte
 $stock_{r,d}^{com_a}$ = Bestand von Gütergruppe com_a in Region r an Tag d

Verflechtung zwischen den Akteursgruppen und Regionen

Die jährliche Nachfrage nach Gütern durch die Akteursgruppen der Endkonsumenten und Exporteure wird mit den beschriebenen Statistiken des Jahres 2012 auf einzelne Tage verteilt. Dadurch entsteht ein Nachfrage-Pull. Da die täglichen Produktionen und Importe ebenfalls den Statistiken folgen, entsteht eine Push-Produktion, die unabhängig von der modellierten Nachfrage Güter erzeugt. Die zwischen der Produktion und der Konsumenten-nachfrage entstehenden Ungleichgewichte werden durch die verschiedenen Händler und deren Logistiksysteme ausgeglichen. Diese Händler orientieren sich in ihren Nachbestellungen an der Kundennachfrage und füllen so die Bestände in den Filialen und Lagerhäusern auf festgelegte Zielbestände auf. Bei ihnen entstehen dadurch keine größeren Bestände. Die größten Bestände finden sich stattdessen bei den Lebensmittelproduzenten am Anfang der Supply-Chain. Dies entspricht den Aussagen aus den Experteninterviews (ab Seite 26).

Für die Verteilung der Bestellungen auf die unterschiedlichen, anbietenden Akteursgruppen und Quellregionen werden die Ergebnisse der kalibrierten Gravitationsverflechtungen sowie weiterer Zuordnungen herangezogen. Einen Überblick gibt Abbildung 6.11. Die Zuordnungen werden dabei außerhalb des Java-Programms bestimmt. Die Lager-Filial-Zuordnung der Handelszentralen wurde in Unterabschnitt 5.3.7 (ab Seite 95) beschrieben. Bei welchen Handelszentralen die Bevölkerung der deutschen Regionen einkaufen, ergibt sich aus der spezifischen regionalen Absatzverteilung aus Unterabschnitt 5.3.6 (ab Seite 92). Bei Im- und Export sowie beim Einkauf der Endkonsumenten bei den Großhändlern findet eine Eins-zu-Eins-Zuordnung beziehungsweise proportionale Verteilung der Mengen statt.

Tägliche Nachbestellungen

Um die Jahreswerte der Gravitationsverflechtungen für die täglichen Bestellungen und Transporte nutzen zu können, werden die absoluten Werte spaltenweise in relative Werte umgerechnet. Damit ist für jede bestellende Akteursgruppe in allen Zielregion klar, zu wie viel Prozent sie aus den verschiedenen Quellregionen versorgt wird. Die tägliche Nachfrage einer regionalen Akteursgruppe nach einer bestimmten Gütergruppe wird dann mit diesen relativen Verflechtungswerten multipliziert, was zu einer Menge von Bestellungen führt. Die Bestellungen werden in der dynamischen Bestandstabelle direkt von den Beständen der Quellregion abgezogen, aber nicht sofort in der Zielregion addiert. Stattdessen werden sie, bei einer eintägigen Lieferzeit, in der Transporttabelle für $t + 1$ auf den Transportbestand der Zielregion hinzugefügt. Diese Transporttabelle hat die gleiche Struktur wie die dynamische Bestandstabelle. Für jeden Tag an dem Bestellungen eintreffen können, existiert eine solche Tabelle (Abbildung 6.12). Ist die Lieferzeit bei Im- oder Exporten länger als ein Tag werden die bestellten Massen in der jeweiligen Transporttabelle addiert. Eine Bestellung aus den Niederlanden wird beispielsweise in der Transporttabelle $t + 2$ addiert. Eine längere Lieferzeit kann auftreten, wenn zwischen Bestell- und Lieferzeitpunkt ein Sonn- oder Feiertag liegt, da an diesen Tagen nicht produziert, importiert, exportiert, bestellt oder geliefert und nur sehr wenig konsumiert wird. Während die dynamische Bestandstabelle sämtliche eingelagerten Bestände umfasst, enthalten die Transporttabellen die Gesamtheit aller zum aktuellen Zeitpunkt t im Transport befindlichen Bestände.

Nachdem Produktion, Verbrauch, Endkonsum, Außenhandel und alle Nachbestellungen des Tages t für alle Akteursgruppen und Regionen bearbeitet wurden, geht die Simulation zum nächsten Tag $t + 1$ über. Zu Beginn des neuen Tages werden zuerst die ankommenden Transporte verarbeitet. Dazu werden alle Werte der Transporttabelle $t + 1$ auf die Bestände der dynamischen Bestandstabelle aufaddiert. Die Transporttabelle $t + 1$ wird dann nicht mehr benötigt und der Speicherplatz freigegeben. Danach wird erneut mit den neuen Tageswerten von $t + 1$ produziert, verbraucht, konsumiert sowie im- und exportiert. Bestellungen werden in die eventuell bereits bestehenden Transporttabellen $t + 2$, $t + 3$ et cetera eingetragen. Durch diese Methodik können die täglichen Bestandsentwicklungen detailliert und dennoch mit handhabbarem Speicherbedarf auch über längere Zeiträume hinweg simuliert werden.

Abbildung 6.11: Darstellung der regional aggregierten Akteursverflechtung

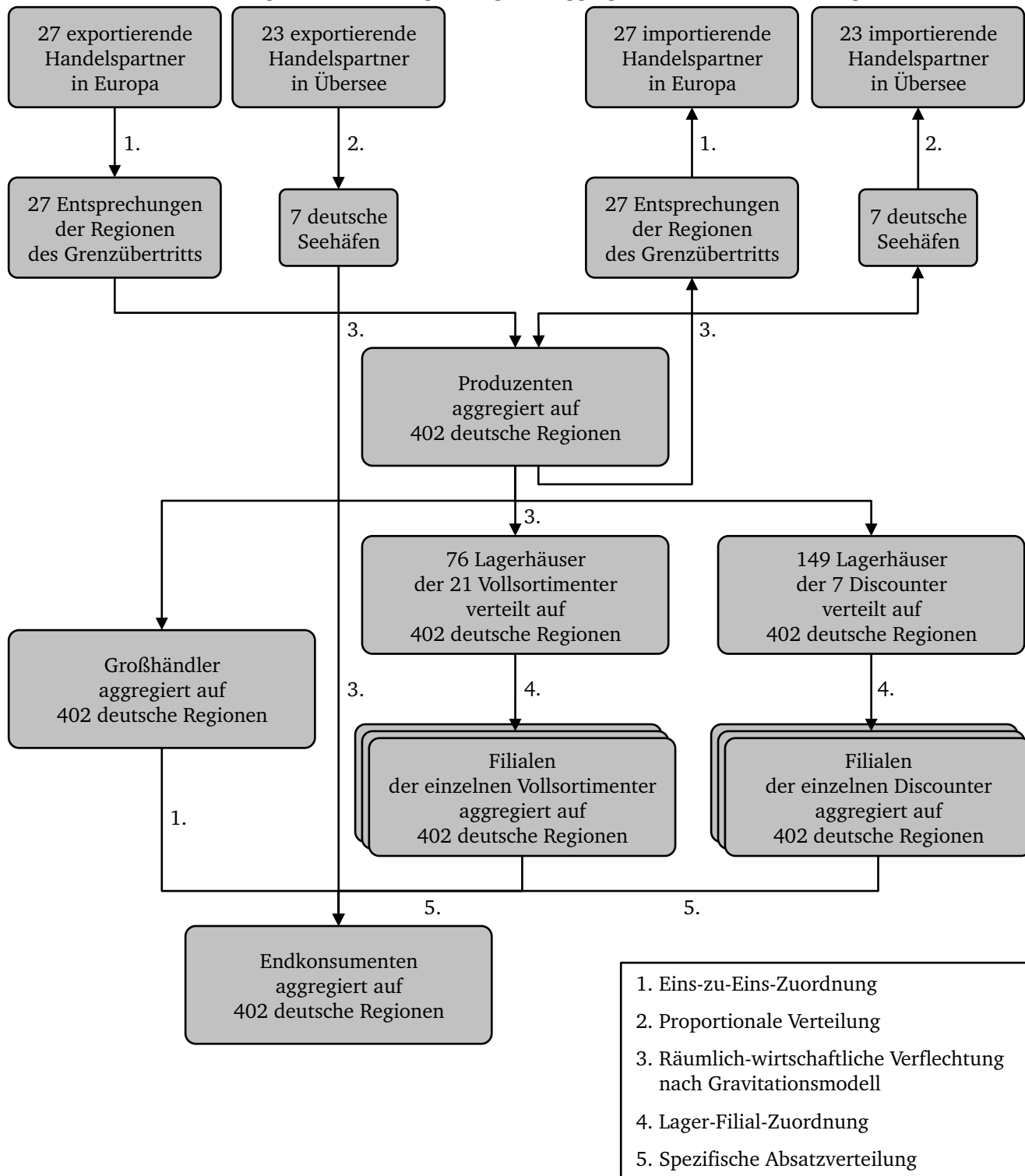
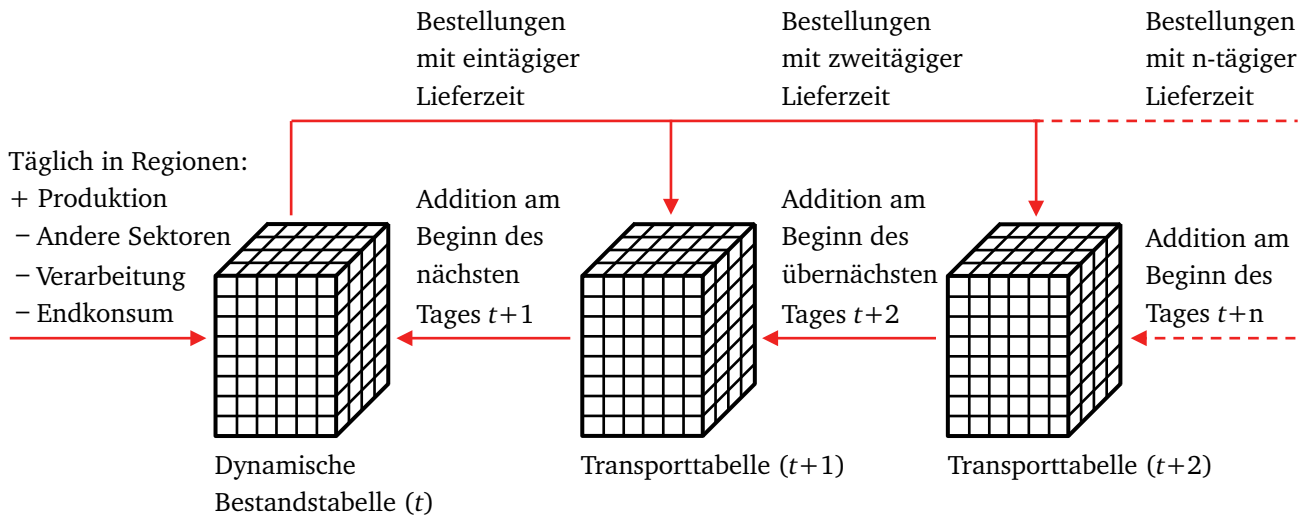


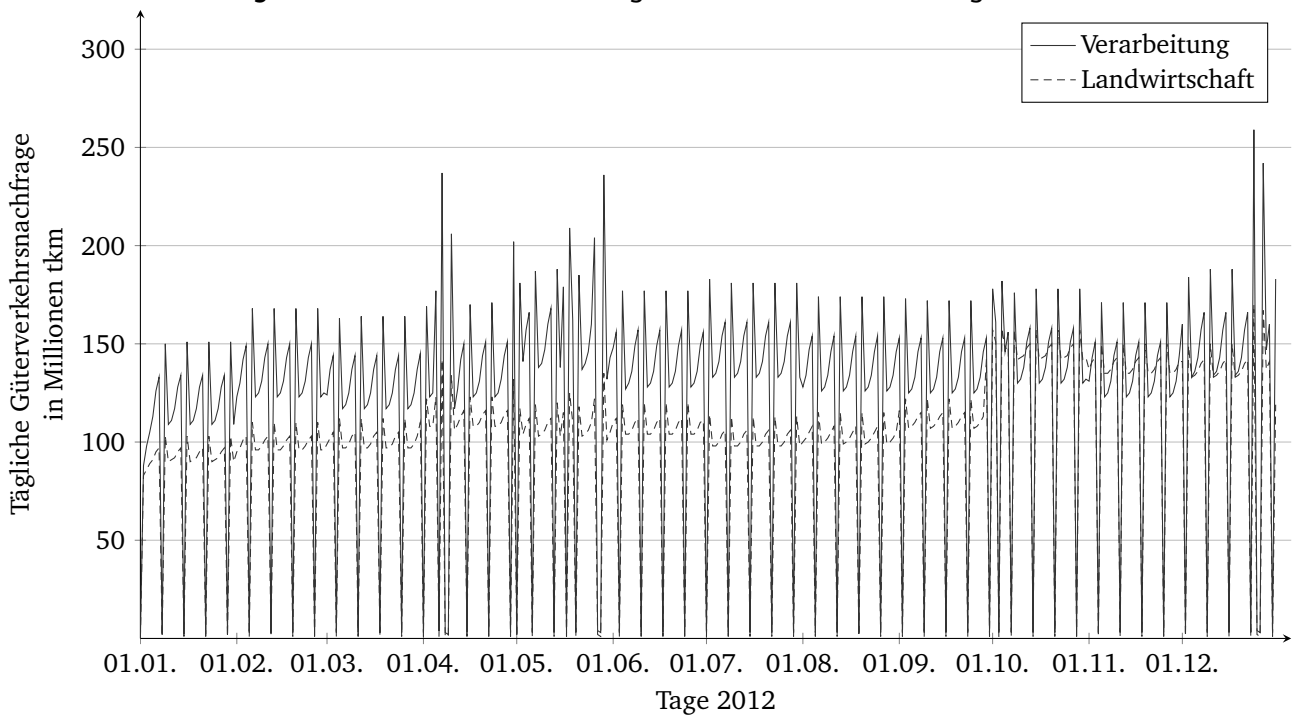
Abbildung 6.12: Implementierung von Beständen, Bestellungen und Transporten



Berechnung der Güterverkehrsnachfrage

Die Berechnung der resultierenden Güterverkehrsnachfrage erfolgt im Programmablauf, wenn die Bestellmengen in die Transporttabellen geschrieben werden, indem die bestellte Masse an Gütern mit der Transportentfernung multipliziert wird. Das Ergebnis kann je nach gewünschter Analyse in unterschiedlichen Aggregationen gespeichert werden. Eine Auswertung der durch FOODFLOW simulierten täglichen Güterverkehrsnachfrage zeigt Abbildung 6.13.

Abbildung 6.13: Simulierter Verlauf der täglichen Güterverkehrsnachfrage im Jahr 2012



An dieser Abbildung zeigt sich, dass eine Verteilung der jährlichen Güterverkehrsnachfrage durchaus sinnvoll ist, da sie im Verlaufe des Jahres schwankt. Auch entwickelt sich die Güterverkehrsnachfrage, die aus Transporten landwirtschaftlicher Gütergruppen entsteht, anders als die der verarbeiteten Gütergruppen: So ist die Güterver-

kehrsnachfrage verarbeiteter Gütergruppen im Jahresverlauf konstanter. Die aus der Landwirtschaft resultierende Güterverkehrsnachfrage liegt im vierten Quartal, in dem aufkommensstarke Gütergruppen geerntet werden, höher. Beide Nachfragen schwanken im wöchentlichen Rhythmus. Stärkere Ausschläge entstehen zu Sonn- und besonders zu Feiertagen. Die größten Nachfragespitzen entstehen zu Weihnachten, Ostern und Pfingsten, da hier mehrere Feiertage aufeinander folgen. Der Tag der Arbeit und der Tag der deutschen Einheit, die im Jahr 2012 auf einen Dienstag beziehungsweise Mittwoch fielen, hatten keine solch extremen Auswirkungen. Die Güterverkehrsnachfrage landwirtschaftlicher Gütergruppen weist zu Sonn- und Feiertagen geringe Ausschläge auf, da sie nur zu einem kleinen Teil direkt durch Endverbraucher konsumiert werden.

Diskussion der Abweichung zwischen hier modellierten Güterverkehrsnachfrage und anderen Angaben

Insgesamt entsteht aus den modellierten Transporten der landwirtschaftlichen Gütergruppen eine Güterverkehrsnachfrage von über 34 Milliarden tkm (Schubert u. a. (2014, S. 294): 45 Milliarden tkm); aus denen der Gruppen verarbeiteter Güter eine Nachfrage von 44 Milliarden tkm (Schubert u. a. (2014, S. 294): 72 Milliarden tkm). Verglichen mit diesen Angaben nach Schubert u. a. (Tabelle 2.3 auf Seite 13) ist die hier modellierte Güterverkehrsnachfrage niedriger.

Dies liegt zum einen am berücksichtigten Güterverkehrsaufkommen: So ist die Forstwirtschaft, im Gegensatz zur Analyse von Schubert u. a., nicht Teil der landwirtschaftlichen Gütergruppen dieser Arbeit. Die Differenz bei den verarbeiteten Gütergruppen entsteht hauptsächlich aus der Vernachlässigung des Verpackungsgewichtes.

Zum anderen verursacht auch die vereinfachte Modellierung der Transporte Abweichungen: Die erste Abweichung entsteht durch die Vernachlässigung des Agrargroßhandels, der Teile der landwirtschaftlichen Güter aus den umliegenden Anbauregion verpackt, kennzeichnet und zwischenlagert. Die Transporte zwischen den Betrieben und den Standorten der Agrargroßhändler werden somit nicht in FOODFLOW abgebildet. Die Abweichung fällt, aufgrund der geringen Distanz zwischen Anbauregion und Agrargroßhändler, allerdings nur gering aus. Von der Analyse nach Schubert u. a. entsteht in diesem Fall jedoch keine Abweichung, da die Sammeltransporte meist mit landwirtschaftlichen Nutzfahrzeugen erfolgen und deshalb nicht Teil der BVWP-Güterverkehrsmatrix sind.

Die größte Abweichung entsteht durch die vereinfachte Modellierung des Verkaufskanals Großhandel & Sonstiges. Transporte dieses Kanals verlaufen in FOODFLOW direkt aus der Produktionsregion in das Großhandelslager in der Zielregion, von wo aus sie in einem zweiten Transportschritt zu den regionalen Verkaufsstellen gelangen. Zu diesen Verkaufsstellen gehören unter anderem Cash-&-Carry-Märkte, Tankstellen, Marktstände und Restaurants (vergleiche Abbildungen 2.2 auf Seite 8 und 5.5 auf Seite 80). Im Unterschied zur Modellierung würden große Gütermengen in der Realität aber eher direkt zwischen den Produzenten und den Verkaufsstellen transportiert werden. Hier überschätzt FOODFLOW die Güterverkehrsnachfrage. Außerdem müssen die realen Großhandelslager nicht in der Zielregion liegen. In diesem Fall wird die Güterverkehrsnachfrage im Modell unterschätzt. An dieser Stelle besteht Forschungsbedarf. Für eine bessere Modellierung dieses Verkaufskanals müssen in zukünftigen Arbeiten mehr Daten erhoben beziehungsweise modelliert und detailliertere Modelle entwickelt werden.

Die wesentlich wichtigeren Verkaufskanäle des LEH, die circa 57 % des Absatzes ausmachen (Abbildung 5.5 auf Seite 80), liegen im Fokus dieser Arbeit und sind dementsprechend detaillierter modelliert. Deswegen kommt es hier nur zu einer kleinen Abweichung. Diese entsteht dadurch, dass einige Handelszentralen für spezielle Gütergruppen nicht nur eine Lagerstufe, sondern ein zweistufiges System aus einem Zentral- und mehreren Regionallagern nutzen. Die Modellierung dieses zweistufigen Systems hätte jedoch die Komplexität des Modells stark erhöht und dadurch die Nachvollziehbarkeit gesenkt. Die Auswirkungen auf die Modellergebnisse sind jedoch gering, da von dieser zweistufigen Lagerung eher spezielle Genussmittel wie Spirituosen oder Tabak betroffen sind, die in FOODFLOW ohnehin nicht abgebildet werden. Zusätzlich nimmt die Bedeutung der zweistufigen Lagerung aufgrund höherer Kosten weiter ab (Platz 2005, S. 23). Ein speziell auf den Lebensmittelhandel fokussiertes Modell, welches diese Lagerstufen genauer abbildet, findet sich bei Friedrich (2010, S. 52-57).

Darüber hinaus werden von den Akteuren der Lebensmittelversorgung auch Logistikdienstleister eingesetzt (Kille und Schwemmer 2012, S. 82-86). Diese werden ebenfalls nicht modelliert, da detaillierte Daten bezüglich des umfangreichen Logistikdienstleistungsmarktes nicht zur Verfügung stehen. Außerdem ist aus der Makro-Perspektive unklar, wie die verschiedenen Akteure einzelne Logistikdienstleister auswählen. Doch auch hier sollten die Auswirkungen auf die Modellergebnisse gering ausfallen, da die Logistikdienstleister bestehende Touren übernehmen oder bestimmte Gütergruppen transportieren. Eine Verschiebung der Güterflüsse findet dadurch nicht statt. Nur wenn die Logistikdienstleister, ähnlich wie der Agrargroßhandel, eine Sammelfunktion für kleinere Produzenten übernehmen, kommt es durch die Umwege über die Lager der Logistikdienstleister zu geringen Abweichungen zwischen modellierter und realer Güterverkehrsnachfrage.

Bestimmung der absoluten Bestände

Unabhängig von der Güterverkehrsnachfrage werden zur Analyse einzelner Szenarien zusätzlichen zu den Bestandsverläufen auch tatsächliche Bestände benötigt. Diese sind jedoch nicht für die detaillierten Gütergruppen, Akteursgruppen und Regionen verfügbar. Deshalb müssen die theoretisch minimal notwendigen Bestände in einem ersten Simulationsdurchlauf ermittelt werden. In diesem Simulationsdurchlauf, der ein komplettes Jahr abdeckt, sind Güterangebot und Güternachfrage ausgeglichen. Jedes produzierte Gut wird verarbeitet, vom Endverbraucher konsumiert oder exportiert und die Nachfrage wird komplett durch Produktion oder Import bedient. Die Anfangsbestände aller Gütergruppen sind bei allen Akteursgruppen und in allen Regionen Null. Durch die Ausgeglichenheit von Angebot und Nachfrage liegen die Bestände am Ende des Jahres ebenfalls wieder bei Null. Im Verlauf des simulierten Jahres sind negative Bestände erlaubt. Die kleinsten, negativen Bestände werden dokumentiert. Die absoluten Werte dieser kleinsten, negativen Bestände werden dann als Anfangsbestände für den zweiten Durchlauf angenommen, sodass dort im Normalfall keine negativen Bestände mehr auftreten. Abbildung 6.14 zeigt beide Bestandsverläufe für die Zuckerproduzenten in Hamburg.

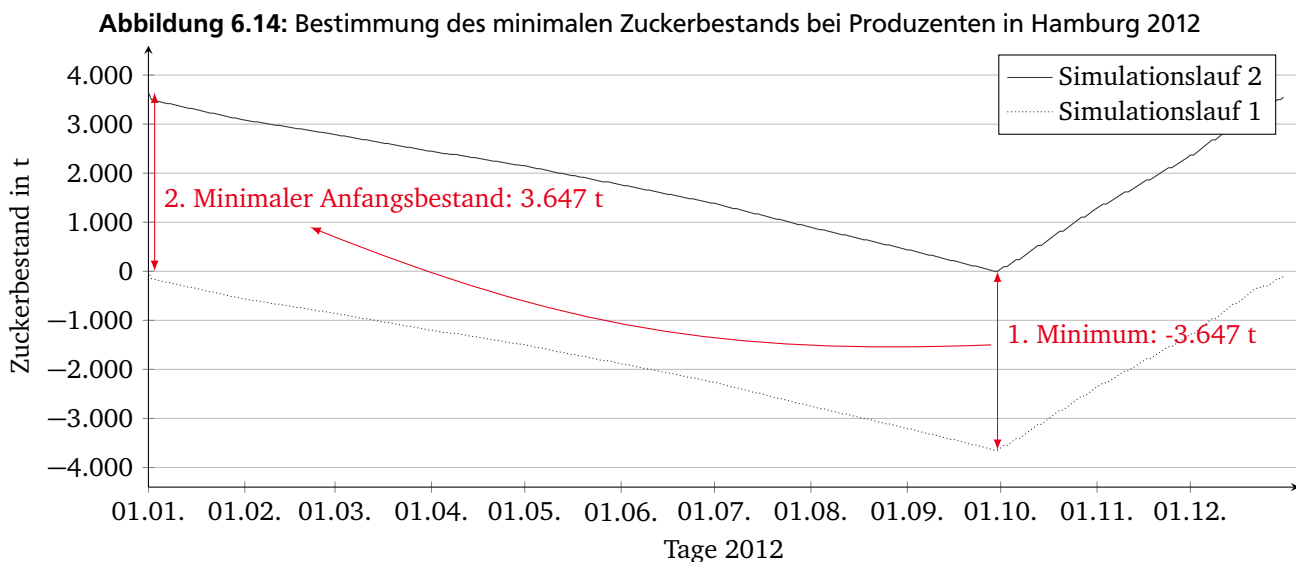


Abbildung 6.14 zeigt für die Zuckerproduzenten ein konstantes Abfallen der Bestände bis die Zuckerproduktion nach der Zuckerrübenernte Anfang Oktober stark ansteigt. Die Bestandsveränderungen der weiteren Akteursgruppen zeigen einen anderen Verlauf. Abbildung 6.15 gibt eine Übersicht über die gesamten Zuckerbestände in den Hamburger LEH-Filialen, bei den Endkonsumenten sowie bei den Großhändlern. Die Bestände der Endkonsumenten erreichen ihr Minimum zum Montag, den 24. Dezember, die Filialen des Einzelhandels und die Großhändler zum 26. Dezember, da auch an Sonn- und Feiertagen noch leicht konsumiert wird. Die Lagerhäuser erreichen das Bestandsminimum am 27. Dezember, nachdem sie die LEH-Filialen nach den konsumintensiven Tagen

vor Weihnachten wieder aufgefüllt haben. In der Praxis würden die Händler ihre Bestände bereits vor den Feiertagen über Normal aufstocken, anstatt kurz vor oder kurz nach dem Feiertag keine Bestände mehr zu haben. Die Modellierung solcher Bestelllogiken stellt jedoch ein eigene Forschungsaufgabe dar und wird in dieser Arbeit nicht umgesetzt.

Abbildung 6.15: Zuckerbestände der Akteursgruppen in Hamburg 2012

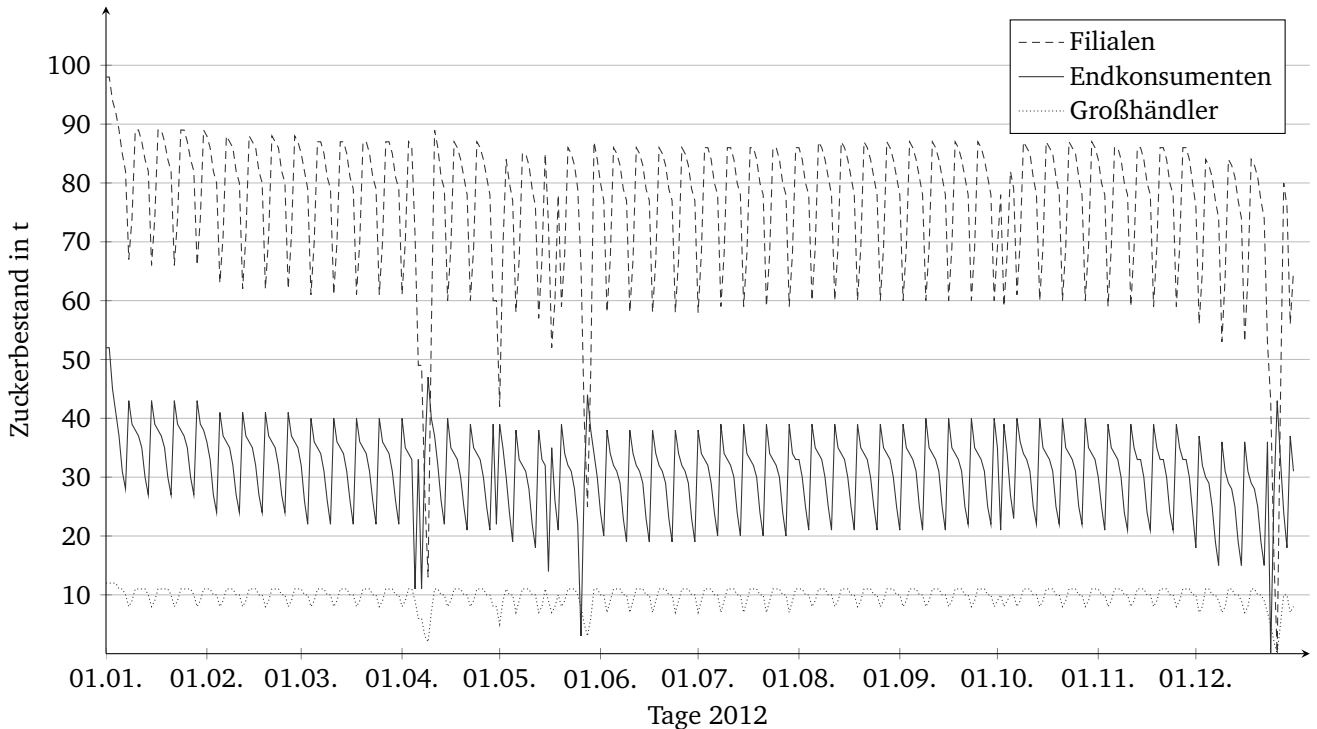


Abbildung von Szenarien

In weiteren Simulationsdurchläufen können verschiedene Szenarien durchgespielt und analysiert werden. Mögliche Störungen sind unter anderem der Ausfall von Produzenten, Handelspartnern, Häfen, Lagerhäusern oder Filialen sowie der Anstieg von Transportdauern oder der Nachfrage. Auch Kombinationen verschiedener Störungen können analysiert werden.

Unabhängig von der Art oder dem Ausmaß der Störungen bleiben die Orte der Produktion, der Lagerhäuser und der Filialen unverändert. Dem liegt die Annahme zugrunde, dass die Störung des Versorgungsnetzwerkes eher von kurzer Dauer ist und in dieser relativ kurzen Zeit die Struktur des Netzes nicht geändert wird. Stattdessen wird davon ausgegangen, dass sich die räumliche und zeitliche Verteilung der Gütern innerhalb der bestehenden Struktur ändert. Dafür können beispielsweise Lager-Filial-Zuordnungen oder Lieferbeziehungen geändert, freie Produktionskapazitäten genutzt oder Sicherheitsbestände aufgebraucht werden. Um in diesen Fällen negative Bestände zu vermeiden, werden Bestellungen, die nicht erfüllt werden können, in speziellen Auftragstabellen abgelegt. Diese Auftragstabellen sind ebenfalls wie die dynamische Bestandstabelle und die Transporttabellen aufgebaut. Für jeden Tag, an dem Bestellungen nicht vollständig ausgeführt werden konnten, wird eine neue Auftragstabelle erstellt, um sicherzustellen, dass die Reihenfolge der Aufträge eingehalten wird. Aus diesem Grund werden die Auftragstabellen auch vor den Neubestellung des aktuellen Tages bearbeitet. Werden auch die Nachbestellungen der verarbeitenden Industrie nicht mehr vollständig erfüllt, beginnen die Bestände an Inputgütern in den Produktionsregionen zu sinken. Werden die Bestände zu klein, können auch die verarbeiteten Güter entsprechend nur noch anteilig oder überhaupt nicht mehr produziert werden. Dadurch kann sich das Fehlen von Gütern durch das gesamte Supply-Netzwerk bis hin zum Endkonsumenten ausbreiten.

Durch die gesamte hier vorgestellte Methodik können Bestandsveränderungen und Güterverkehrsnachfrageentwicklungen im Falle von Störungen simuliert und analysiert werden. Beispiele für Anwendungsmöglichkeiten des dynamischen Güterflussmodells FOODFLOW finden sich in Kapitel 7 (ab Seite 131), wobei die Abschnitte 7.1 und 7.2 auf den Jahreswerten der kalibrierten Güterflüsse aufbauen und die Abschnitte 7.3 und 7.4 auf den dynamischen Güterflüssen.

6.6 Zwischenfazit

Kann ein quantitatives, dynamisches Güterflussmodell des Lebensmittelversorgungssystems erstellt werden, das die hier formulierte Zielstellung und Anforderungen erfüllt?

Die dynamischen Güterflüsse des Lebensmittelversorgungssystems können zufriedenstellend modelliert werden.

Dieses Kapitel zeigt, dass es möglich ist, ein dynamisches Güterflussmodell der deutschen Lebensmittelversorgung zu entwickeln: FOODFLOW. Kern des Modells ist die detaillierte physische Input-Output-Tabelle, die zusammen mit den kalibrierten räumlich-wirtschaftlichen Verflechtungen der deutschen Regionen, Handelszentralen und internationalen Handelspartnern das MSMRIO-Modell bildet. Dieses wird mit Hilfe der dynamischen Bestands-, den Transport- und Auftragstabellen dynamisiert. Schlüsselindikatoren sind die entstehende Güterverkehrsnachfrage, die minimalen Bestände und vor allem die Bestandsverläufe, neben weiteren Indikatoren wie beispielsweise den Bestellrückständen oder verringerten Produktionsoutputs. FOODFLOW wird den Anforderungen aus Unterabschnitt 2.4.2 (ab Seite 36) an den räumlichen Modellumfang, die sektorale Strukturierung, die Inklusion der zeitlichen Dimension sowie der Möglichkeit der Szenarioanalyse gerecht. Damit kann das Ziel dieser Arbeit, die Entwicklung eines dynamischen Modells der deutschen Lebensmittelversorgung zur Analyse von Störungsauswirkungen verschiedener Szenarien, als erfüllt angesehen werden.

Kann die Realitätsnähe des dynamischen Güterflussmodells sichergestellt werden?

Die Realitätsnähe des dynamischen Güterflussmodells ist zu großen Teilen gewährleistet.

Die in Kapitel 5 beschriebenen Daten, welche die Basis für das dynamische Güterflussmodell bilden, stammen aus offiziellen Quellen, weswegen von einer hohen Datenqualität ausgegangen wird. Einige absolute Werte dieser offiziellen Daten werden leicht angepasst, um die Konsistenz der Datenbasis zu gewährleisten, ohne dabei das Verhältnis zwischen den einzelnen Werten zu verschieben. Die aus diesen Daten berechneten räumlich-wirtschaftlichen Verflechtungen werden an den Güterverkehrsmatrizen der BVWP kalibriert. Eine Einschränkung ergibt sich aus der Qualität der BVWP-Matrizen selbst, da es sich bei diesen Matrizen nicht um reale Werte handelt, sondern um aus Erhebungen modellierte und fortgeschriebene. Nichtsdestotrotz stellt die BVWP die beste verfügbare Quelle für Verflechtungsdaten dar, die momentan in Deutschland existiert. Für die Simulation der täglichen Interaktionen zwischen den Akteuren und Regionen, die ebenfalls auf realen historischen Werten und nur wenigen Annahmen beruht, existieren dagegen keinerlei Vergleichsdaten. Die Realitätsnähe der zeitlichen Verteilung kann demnach nicht nachgewiesen werden. Da sie logisch aufgebaut sind, können sie jedoch Hinweise auf Vulnerabilitäten liefern.

7 Modellanwendung

Dieses Kapitel enthält vier Beispielanwendungen des in den vorangegangenen Kapiteln entwickelten FOODFLOW-Modells. Begonnen wird mit der Erstellung von Heatmaps, die einige einfache, kennzahlenbasierte Modellergebnisse veranschaulichen. Danach wird beschrieben, wie die mit FOODFLOW bestimmten räumlich-wirtschaftlichen Verflechtungen in Kombination mit anderen Methoden zur Verfolgung kontaminierter Lebensmittel eingesetzt werden können. In den zwei weiteren Anwendungsbeispielen wird das Potential von FOODFLOW anhand von unterschiedlichen Szenarien stärker ausgeschöpft. Zum einen wird untersucht, wie sich ein starker Anstieg der Getränkenachfrage in Berlin auf die Beschaffung des Handels auswirken könnte und wie groß die zusätzliche Güterverkehrsnachfrage ausfällt. Zum anderen wird analysiert, wie sich ausbleibende Importe im Falle einer Sperrung des Hamburger Hafens räumlich und zeitlich auf die Versorgung der deutschen Bevölkerung auswirken könnten und wie viel Transportkapazität eine Umleitung der Importe benötigen würde.

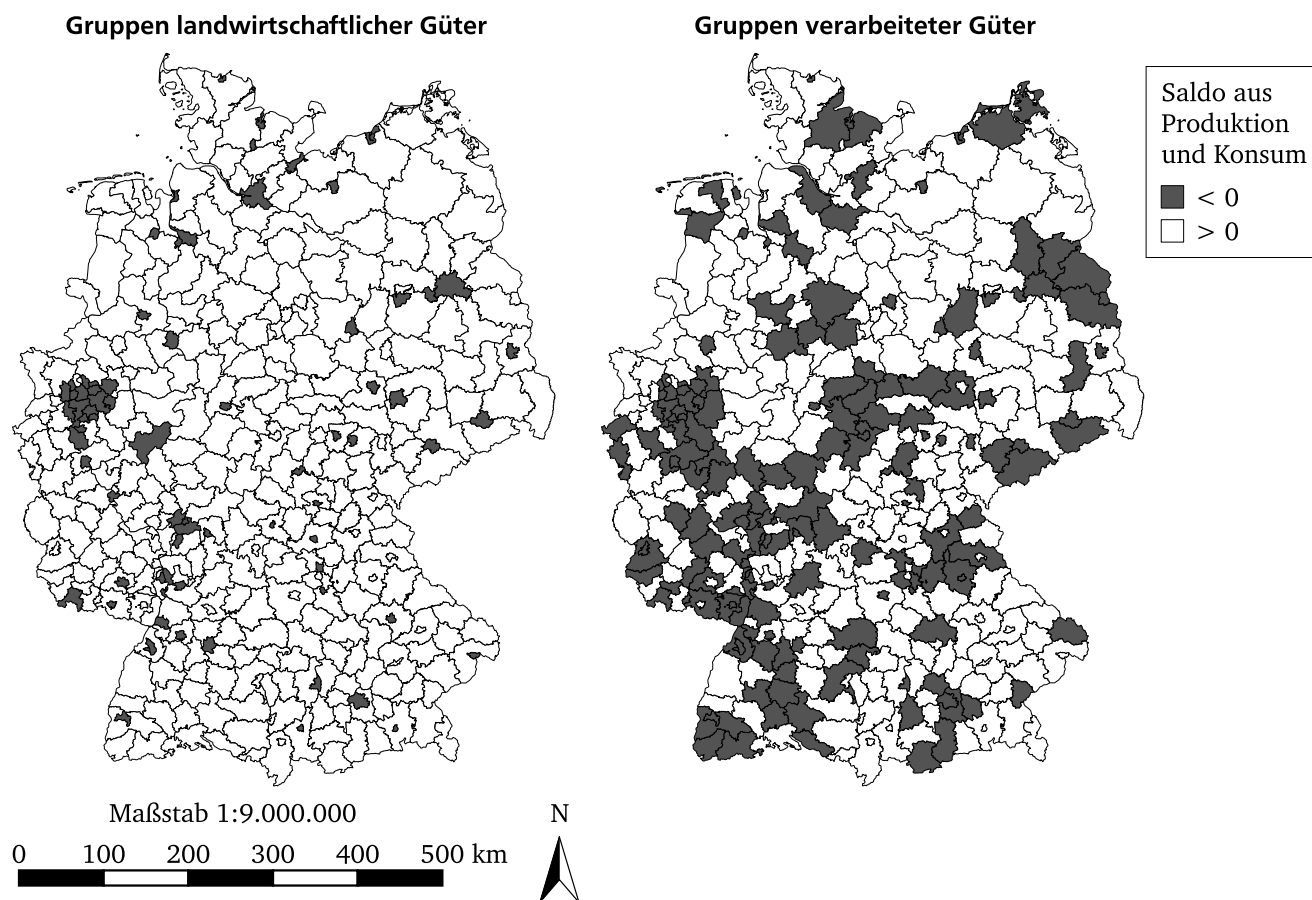
7.1 Statische Vulnerabilitätsbewertung

Wenn eine Region einen Großteil der benötigten Lebensmittel aus anderen Regionen beschaffen muss, ist sie abhängig vom Transport- und Verkehrssystem und damit anfällig gegenüber Störungen dieser kritischen Infrastruktur. Wie sehr eine Region von anderen abhängig ist, lässt sich unter anderem anhand der benötigten Güterverkehrsleistung quantifizieren. Da die Transportnachfrage und das -angebot, wie Abbildung 2.7 (Seite 35) verdeutlicht hat, aufgrund verschiedener Einflussfaktoren einfach aus dem Gleichgewicht geraten können, sollten regional angepasste Gegenmaßnahmen vorbereitet werden. Eine Analyse der unterschiedlichen Vulnerabilitäten würde Entscheidungsträger bei der Vorbereitung solcher Maßnahmen unterstützen und damit einen Beitrag zur Aufrechterhaltung der Lebensmittelversorgung leisten.

Deshalb werden in der ersten Anwendung von FOODFLOW **Heatmaps** verschiedener Kennzahlen erstellt, die einen guten Überblick über die Vulnerabilität der Regionen geben. Bei Heatmaps handelt es sich um Karten, die anhand einer Kennzahl abgestuft eingefärbt werden. Sie ermöglichen es, große Datenmengen und auffällige Extremwerte schnell zu erfassen.

Zwei erste, sehr einfache Heatmaps finden sich in den zwei Karten der Abbildung 7.1. Die linke Karte zeigt die **Differenz aus der Herstellung und dem Konsum** von landwirtschaftlichen Gütern. Wie zu erwarten war, ist diese Differenz in fast allen kreisfreien Städten negativ. Das heißt, die Bevölkerung dieser Regionen konsumiert mehr landwirtschaftliche Güter als die Produzenten der Region herstellen. In den eher ländlichen Regionen wird mehr produziert als konsumiert. Sie sind damit für bestimmte Gefahren weniger vulnerabel als die Städte. Die rechte Karte zeigt die Differenz bezüglich der verarbeiteten Güter. Hier ist die Lage nicht mehr so eindeutig. In einigen Städten, wie beispielsweise Hamburg, werden mehr verarbeitete Güter produziert als konsumiert. Gleichzeitig ist das Saldo bei diesen Gütern auch in vielen ländlicheren Regionen negativ. Diese noch sehr einfache Auswertung hat noch keine große Aussagekraft. Sie zeigt aber, dass es je nach betrachteten Gütern durchaus große Unterschiede in der Vulnerabilität der Regionen geben kann.

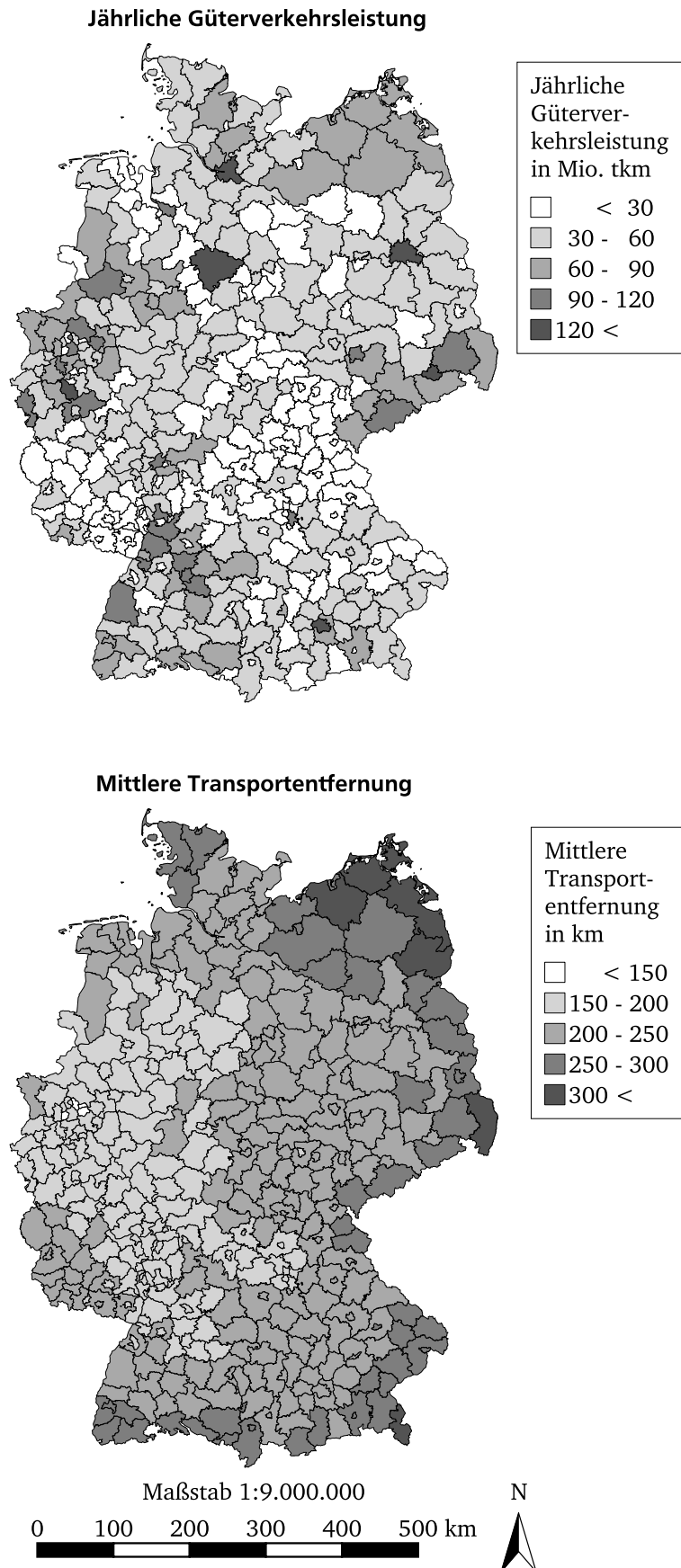
Abbildung 7.1: Heatmaps mit Differenz aus Lebensmittelproduktion und -konsum



Aussagekräftiger und für mehr Szenarien relevant ist die aus dem Lebensmitteltransport entstehende **Güterverkehrsnachfrage**. Abbildung 7.2 zeigt in der oberen Karte die Güterverkehrsleistung, die im Jahr 2012 benötigt wurde, um die einzelnen Regionen mit den benötigten Lebensmitteln zu versorgen. Die weiß dargestellten Regionen benötigten keine hohe Güterverkehrsleistung für die Lebensmittelversorgung. Sie sind daher relativ robust gegenüber Störungen des Transport- und Verkehrssystems. Die dunkler gefärbten Regionen sind dagegen anfälliger, da sie zur Versorgung größere Transportkapazitäten benötigten. Besonders Städte mit hoher Einwohnerzahl wie Berlin, München oder Hamburg stechen hier heraus. Müsste ihre Versorgung aufgrund einer Störung über Umwege gesichert werden, würde dies zu einem extremen Anstieg der benötigten Transportkapazitäten führen.

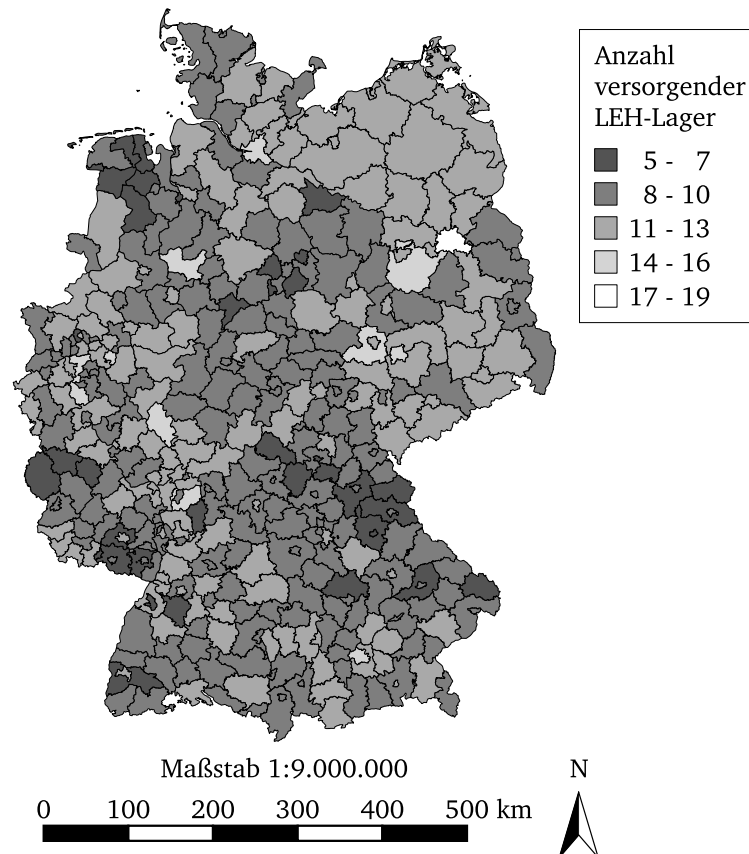
Aber auch einige ländliche Regionen haben trotz ihrer geringeren Bevölkerungszahl einen erhöhten Transportbedarf, wie zum Beispiel die Regionen im Nordosten. Dies liegt daran, dass diese Regionen über größere Entfernungen versorgt werden. Gründe dafür sind die Randlagen in Deutschland, die Topologie und die geringe Anzahl von Zulieferbetrieben in diesen Regionen selbst. Die mittlere **Transportentfernung**, die überwunden werden muss, um die Regionen mit Lebensmitteln zu versorgen, ist im unteren Teil der Abbildung 7.2 dargestellt. Diese mittlere Transportentfernung bildet jedoch nur die direkten Transporte ab. Das bedeutet, dass neben den Direkttransporten und den Versorgungslieferungen des Großhandels nur die Güterflüsse zwischen den LEH-Filialen der fokalen Region und den zugehörigen Lagern berücksichtigt werden. Für eine genauere Untersuchung müssen auch die Bestandsreichweiten und die Beschaffung der Lager einbezogen werden. Dies wird in Abschnitt 7.3 (ab Seite 142) am Beispiel der Versorgung Berlins mit Mineralwasser und Erfrischungsgetränken beschrieben.

Abbildung 7.2: Heatmaps mit Transportkennzahlen der Versorgung



Doch allein schon die **Anzahl der Lager**, von denen eine Region versorgt wird, hat Einfluss auf deren Vulnerabilität. So hat der Ausfall eines einzelnen Lagers größere Auswirkungen auf die Versorgung einer Region, wenn diese nur von wenigen Lagern beliefert wird. Die Anzahl der Versorgungslager pro Region wird in der Heatmap in Abbildung 7.3 dargestellt. Hier haben städtische Regionen einen Vorteil, da sie von mehr LEH-Lagern versorgt werden und somit weniger anfällig für einzelne Lagerausfälle sind.

Abbildung 7.3: Heatmap mit Darstellung der Anzahl der versorgenden LEH-Lager



Über die hier gezeigten Heatmaps hinaus ist die Veranschaulichung zahlreicher weiterer Kennzahlen möglich. Diese können sich auch auf einzelne Güter- oder Akteursgruppen beziehen. Die einfache, statische Anwendung von FOODFLOW zur Erstellung der Heatmaps hilft dabei, vulnerable Regionen zu identifizieren. Dieses Wissen eröffnet Akteuren auf Bundesebene die Möglichkeit, sich auf bestimmte Gefahren besser vorzubereiten und so eventuell Versorgungsstörungen zu vermeiden. FOODFLOW stellt damit einen Beitrag zur Bewertung der Versorgungssicherheit dar. Die statische Analyse der Vulnerabilität auf Basis von aggregierten Jahreswerten ist jedoch nur ein erster Schritt. Um Störungsszenarien analysieren zu können, ist es wichtig, die Entwicklungen im Laufe des Jahres zu kennen. Auch dies ist mit FOODFLOW möglich und wird in zwei Anwendungsbeispielen in den Abschnitten 7.3 und 7.4 (ab Seite 142 beziehungsweise 147) ausführlich beschrieben. Zuvor wird jedoch noch auf eine weitere Anwendungsmöglichkeit der statischen Ergebnisse von FOODFLOW eingegangen.

7.2 Rückverfolgung kontaminierter Lebensmittel

Mit den Jahreswerten der räumlich-wirtschaftlichen Verflechtung lässt sich nicht nur die Versorgungssicherheit, sondern auch die **Lebensmittelsicherheit** untersuchen. Auch dies ist von großer Bedeutung, da sich die Lebensmittelwirtschaft, angetrieben durch die Konzentration von Produktionskapazitäten und die Distribution über immer größere Entfernungen, immer stärker vernetzt. Dadurch nehmen sowohl die Häufigkeit als auch die Schwere von lebensmittelbedingten Krankheitsausbrüchen weiter zu. Im Falle eines großflächigen Ausbruchs ist eine schnelle Identifizierung des Kontaminationsursprungs unerlässlich, um die Auswirkungen auf die öffentliche Gesundheit und die Industrie zu minimieren. Die Identifikation des Ursprungs bezieht sich dabei sowohl auf die Art des kontaminierten Lebensmittels als auch auf die räumliche Verortung des Betriebes, in dem die Lebensmittel kontaminiert wurden. Die Lokalisierung des Ursprungs eines Ausbruchs ist aufgrund der Komplexität, der Dynamik und des enormen Umfangs des Lebensmittelversorgungssystems sowie des Fehlens integrierter Kennzeichnungssysteme und Distributionsprotokolle ein komplexes Problem. Untersuchungen von Behörden mit bisher verfügbaren Methoden sind dadurch in vielen Fällen erst abgeschlossen, nachdem die Kontamination das gesamte Versorgungssystem durchdrungen hat und der Krankheitsausbruch beendet ist. Krankheitsfälle können so nicht abgewendet werden. Außerdem bleibt die Mehrzahl der Ausbrüche ungeklärt (Wilkins u. a. 2015, S. 105; McEntire und Bhatt 2013, S. 51-55). Die verursachenden Qualitätsprobleme in den Betrieben bleiben bestehen.

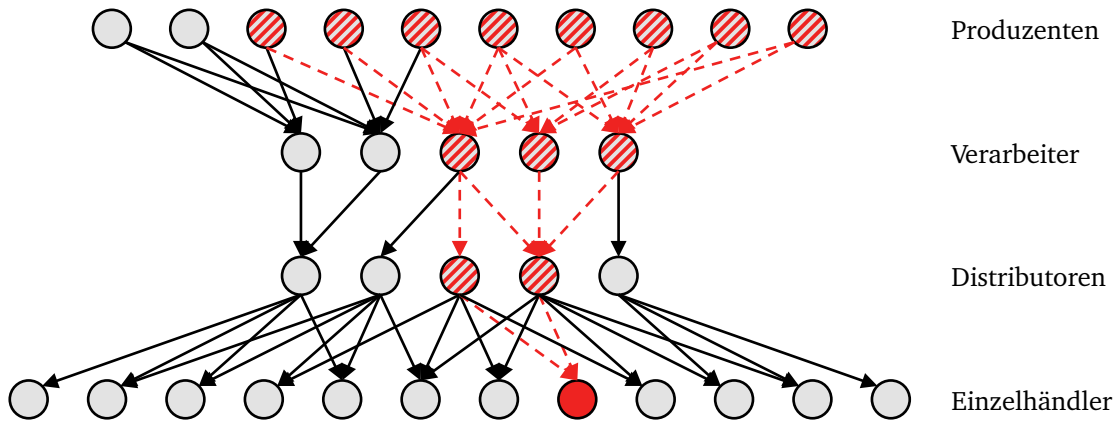
Um großflächige Ausbrüche schnell und sicher identifizieren zu können, entwickelte Horn (2016) ein neuartiges **probabilistisches Modell der Transmission kontaminierter Lebensmittel**. Um dieses Modell im Falle eines realen Ausbruchs einsetzen zu können, werden neben aktuellen Daten zu Krankheitsfällen vor allem Daten zu den Verflechtungen des Lebensmittelversorgungssystems benötigt. Das in dieser Arbeit entwickelte FOODFLOW-Modell liefert diese Datengrundlage. Aus dieser Kooperation entstanden, zusammen mit dem Bundesinstitut für Risikobewertung, mehrere Anwendungen, die an historischen Daten realer Ausbrüche getestet wurden.

Die erste **Anwendung** besteht in der Rückverfolgung von lebensmittelbedingten Krankheitsausbrüchen zu deren Ursprungsort. Diese wurde am Enterohämorrhagische Escherichia coli (EHEC)-Ausbruch 2011 in Deutschland getestet. Die zweite Anwendung liegt in der Vorwärtsverfolgung von kontaminierten Lebensmitteln. Dafür werden, ausgehend von einem bereits identifizierten Ausbruchsursprung, die Distributionsstrukturen der kontaminierten Lebensmittel analysiert, um diese schnell und gezielt aus dem Versorgungssystem zu entfernen, bevor sie an Endkonsumenten verkauft oder weiterverarbeitet werden. Dies wurde vom BfR an Fipronil-belasteten Eiern getestet, die 2017 aus den Niederlanden nach Deutschland importiert wurden. Die dritte Anwendung besteht in der Identifikation des für einen Ausbruch verantwortlichen Lebensmittels. Dazu wird das Modell von Horn auf die gegebenen Krankheitsfälle sowie alle Gütergruppen von FOODFLOW angewendet und die Gütergruppe als wahrscheinlichster Ursprung identifiziert, die am stärksten auf das Modell reagiert. Im Folgenden wird die Methodik von Horn kurz erläutert. Anschließend wird ein Einblick in die Ergebnisse der Rückverfolgung des EHEC-Ausbruchs gegeben.

Probabilistisches Modell der Transmission kontaminierter Lebensmittel von Horn (2016)

Horn modelliert die Lebensmittelversorgung als Netzwerk mit den Stufen Produktion, Verteilung, Lagerung und Konsum (Abbildung 7.4). Die auf diese vier Stufen verteilten Versorgungsknoten sind durch gerichtete Kanten verbunden, über die die Lebensmittel von der Entstehung bis zum Verkaufspunkt transportiert werden. Die Versorgungsknoten sind eine Kombination aus Akteursgruppen und Regionen. Ihr Netzwerk besitzt damit große Ähnlichkeit zu den modellierten Ebenen dieser Arbeit (vergleiche Abbildung 6.2 auf Seite 106). Unterschiede zwischen den modellierten Netzwerken, wie beispielsweise die Berücksichtigung weiterer Verkaufskanäle über den LEH hinaus und die Möglichkeit von Direktverbindungen zwischen Produktion und Handel, wurden zu Gunsten von FOODFLOW angepasst, um das gesamte Lebensmittelversorgungssystem mit mehr Details analysieren zu können.

Abbildung 7.4: Darstellung eines Lebensmitteldistributionsnetzwerkes mit einem Krankheitsfall und möglichen Ursprüngen nach Horn und Friedrich (2018, S. 3)



Tritt ein Krankheitsfall nach dem Verzehr eines kontaminierten Lebensmittels auf, kann der Versorgungsknoten an dem es gekauft wurde als infiziert betrachtet werden. Abbildung 7.4 stellt ein Versorgungsnetz dar, in dem sich eine Kontamination ausgebreitet hat, was zu Krankheitsmeldungen bei einem Einzelhändler geführt hat. Mit der abgebildeten Struktur ist es einfach, die Menge der möglichen Kontaminationsursprünge zu identifizieren. Netzwerkstrukturinformationen, wie sie in FOODFLOW bestimmt werden, bieten somit einen ersten Einblick in das Ursprungsidentifikationsproblem.

Um zwischen den möglichen Ursprüngen zu unterscheiden, wird die Größe der Güterflüsse zwischen den Regionen $flow_{ij}^{com}$ zur Berechnung der relativen Übertragungswahrscheinlichkeit $prob_{ij}$ (Probability) herangezogen (Formel 7.1). Mit diesen Wahrscheinlichkeiten als Kantengewichte formuliert Horn den Transportprozess von kontaminierten Lebensmitteln durch das Versorgungsnetz als diskrete Markov-Kette. Dabei sind folgende zentrale Annahmen zu beachten: Die kontaminierte Menge an Lebensmitteln ist konstant und setzt sich aus einzelnen kontaminierten Einheiten zusammen, die auf ihrem Weg durch das Versorgungsnetz weder andere Einheiten kontaminieren noch sich selbst erholen. Außerdem bewegt sich jede kontaminierte Einheit unabhängig von anderen Einheiten durch das Versorgungsnetz. Dies entspricht einem natürlichen Übertragungsmodell für die nicht ansteckende Diffusion in einem gewichteten, gerichteten Netzwerk.

Um den tatsächlichen Ursprungsort σ (Source) abzuschätzen, verwendet Horn einen Maximum-Likelihood-Ansatz. Dieser bestimmt den Versorgungsknoten s (Supply) mit der höchsten Ursprungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Menge der beobachteten Krankheitsfälle K (Cases). Die Ursprungswahrscheinlichkeiten der einzelnen Versorgungsknoten $prob(K|\sigma = s)$ können mit Hilfe der Übertragungswahrscheinlichkeiten $prob_{ij}$ mit Formel 7.3 ermittelt werden. Diese summieren die Wahrscheinlichkeiten $prob(\chi_s|s)$ aller möglichen Pfade $\pi_{s\kappa}$ (Paths) über alle möglichen Versorgungsketten $\chi_s \in X_s$ (Chains) zwischen den möglichen Ursprungsknoten und den beobachteten Krankheitsfällen $\kappa \in K$ (Formel 7.2). Abbildung 7.5 verdeutlicht die Berechnung anhand eines Minimalbeispiels.

$$prob_{ij} = \frac{flow_{ij}^{com}}{\sum_j flow_{ij}^{com}} \in [0, 1] \quad (7.1)$$

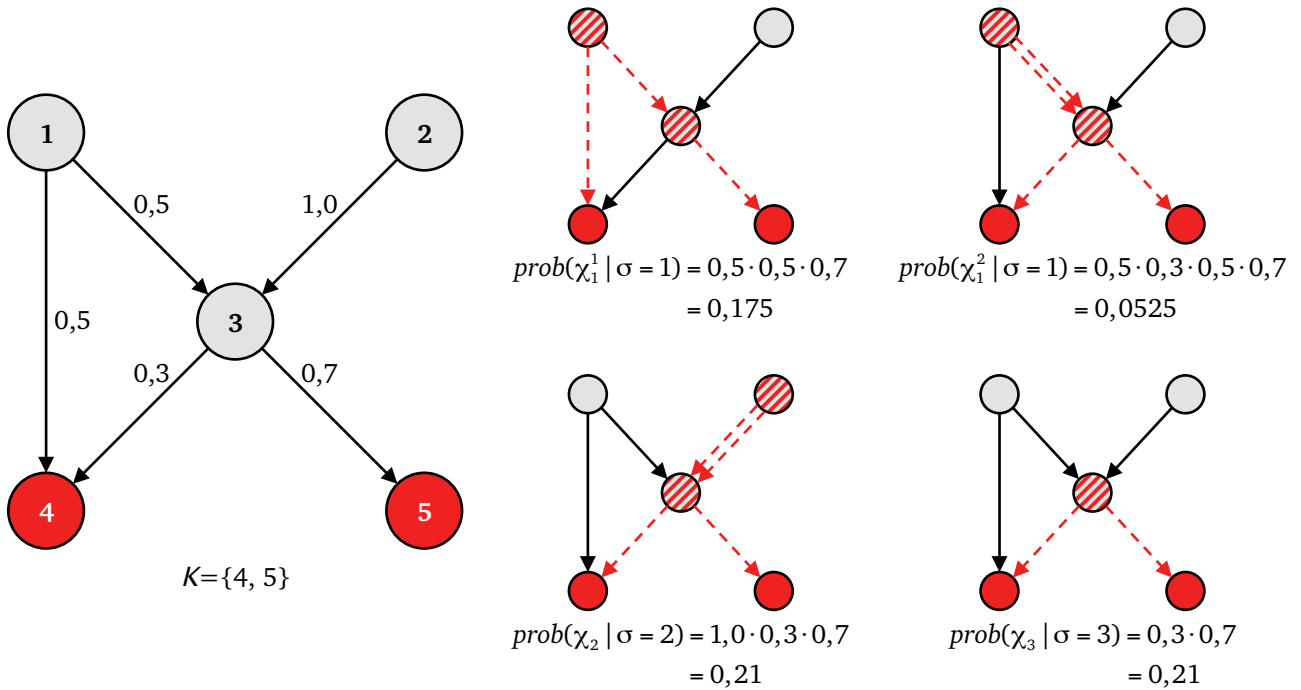
$$prob(\chi_s|s) = \prod_{\pi_{s\kappa} \in \chi_s} prob(\pi_{s\kappa}|s) = \prod_{\pi_{s\kappa} \in \chi_s} \prod_{(i,j) \in \pi_{s\kappa}} prob_{ij} \quad (7.2)$$

$$prob(K|\sigma = s) = \sum_{\chi_s \in X_s} \prod_{\pi_{s\kappa} \in \chi_s} \prod_{(i,j) \in \pi_{s\kappa}} prob_{ij} \quad (7.3)$$

mit:

- $flow_{ij}^{com}$ = Jährlicher Güterfluss der Gruppe com zwischen Region i und j
- $\pi_{s\kappa}$ = Pfad zwischen dem Versorgungsknoten s und einem beobachteten Krankheitsfall $\kappa \in K$
- $prob(\chi_s | s)$ = Wahrscheinlichkeit der Kontamination über alle Pfade $\pi_{s\kappa}$ der Versorgungskette χ_s
- $prob(K | \sigma = s)$ = Wahrscheinlichkeit, dass Versorgungsknoten s der tatsächliche Kontaminationsursprung σ für die Menge der Krankheitsfälle K ist
- $prob_{ij}$ = Übertragungswahrscheinlichkeit zwischen den Regionen i und j
- X_s = Menge der möglichen Ketten zwischen Versorgungsknoten s und den beobachteten Krankheitsfällen K
- χ_s = Einzelne Kette von Versorgungsknoten zwischen Versorgungsknoten s und den beobachteten Krankheitsfällen K

Abbildung 7.5: Veranschaulichung der Berechnung der Ursprungswahrscheinlichkeiten möglicher Versorgungsketten in einem Beispielnetzwerk nach Horn und Friedrich (2018, S. 10)



Mit Formel 7.3 ergeben sich für die einzelnen Versorgungsknoten daraus folgende Ursprungswahrscheinlichkeiten:

$$\begin{aligned}
 prob(K | \sigma = 1) &= 0.175 + 0.0525 = 0.2275 \\
 prob(K | \sigma = 2) &= 0.21 \\
 prob(K | \sigma = 3) &= 0.21
 \end{aligned}$$

Damit ist in diesem kleinen Beispielnetzwerk Versorgungsknoten 1 der wahrscheinlichste Ursprung.

Beschreibung des EHEC-Ausbruchs 2011 in Deutschland

Bewertet und diskutiert wird die Kombination aus Horns Modell und FOODFLOW am realen Fall des EHEC-Ausbruchs in Deutschland. Dieser Ausbruch begann Anfang Mai und erreichte seinen Höhepunkt am 22. Mai 2011. Die Erkrankungen betrafen Bürger aller Bundesländer, aber vor allem Norddeutschland. Die zeitliche Entwicklung der räumlichen Verteilung der E.-coli-Krankheitsfälle, welche die EHEC-Fälle umfassen, ist in Abbildung 7.6 dargestellt.

Durch die Auswertung von Orten mit Erkrankungshäufungen sowie durch verfügbare Lieferlisten und Daten zu Vertriebswegen von Lebensmitteln war es den Behörden möglich, den Krankheitsausbruch auf Sprossen zurückzuführen, die aus einem Gartenbaubetrieb im Landkreis Uelzen stammten (Appel u. a. 2011, S. 7). Nachdem kontaminierte Sprossen als Ursache identifiziert wurden und ihre Verbreitung am 10. Juni gestoppt wurde, gab es kaum noch Krankheitsfälle, die auf deren Verzehr zurückzuführen waren. Seit Mitte Juni traten nur noch sporadische Erkrankungen durch sekundäre Übertragung infizierter Personen auf. Die letzte Erkrankung, die eindeutig mit dem Ausbruch zusammenhing, wurde am 4. Juli gemeldet. Am 26. Juli erklärte das Robert Koch Institut den Ausbruch für beendet. In diesen 9 Wochen führte er zu fast 4.000 Erkrankungs- und 53 Todesfällen (Robert Koch Institut 2011, S. 2-6; Frank u. a. 2011).

Umso früher die Ursache eines Ausbruches erkannt wird, desto mehr Krankheitsfälle können vermieden und Menschenleben gerettet werden. Im Falle des beschriebenen EHEC-Ausbruchs entwickelten Weiser u. a. (2013) eine relationale Datenbank mit integrierten Konsistenz- und Plausibilitätsprüfungen, die sie mit gesammelten Daten zu Verbindungen zwischen Lieferanten, Distributoren und Produzenten füllten. Daraus erstellten sie Netzwerkdiagramme, um Verbindungen zwischen den verschiedenen Erkrankungshäufungen herzustellen. Dieses Vorgehen führte schließlich zur Identifikation der Ausbruchsursache.

Allerdings gibt es bei diesem Vorgehen auch Probleme: Die Befragung der betroffenen Personen sowie die Datenerfassung in Betrieben nimmt viel Zeit in Anspruch. Für die allgemeine Anwendbarkeit stellt sich deshalb die Frage, ob das Vorgehen auch ohne derart umfangreiche Datenerhebungen erfolgreich wäre. Zusätzlich ist die Verfolgung mancher Chargen schwierig, da sich Chargennummern oder Produktnamen entlang der Lieferkette ändern können oder sie weiterverarbeitet werden. Darüber hinaus wurde in der Datenbank nicht zwischen Akteuren, wie beispielsweise Herstellern, Endverbrauchern, Einzelhandel und Großhandel unterschieden, was die Identifikation der Verflechtungen zusätzlich erschwerte (Weiser u. a. 2013, S. 267 f.).

Diese Probleme haben auch Manitz u. a. (2014) erkannt und entwickelten eine netzwerktheoretische Methode, um den räumlichen Ursprung von lebensmittelbedingten Krankheitsausbrüchen ohne große Datenerhebungen zu identifizieren. Ihre Methodik erfordert lediglich räumliche Informationen über Krankheitsfälle und ein Modell für das zugrunde liegende Lebensmittelversorgungssystem. Dabei ersetzen sie die herkömmliche geographische Distanz durch eine sogenannte tatsächliche Distanz, die sich aus der topologischen Struktur des zugrunde liegenden Lebensmittelversorgungssystems ergibt. Basierend auf plausiblen Annahmen über die Struktur des nationalen Lebensmittelversorgungssystems können sie den Ursprung des EHEC-Ausbruchs annähern.

Anwendung von Horns Modell und FOODFLOW auf den EHEC-Ausbruch

Auch das kombinierte Vorgehen aus Horns Maximum-Likelihood-Methodik und den hier bestimmten räumlich-wirtschaftlichen Verflechtungen des Lebensmittelversorgungssystems werden auf den EHEC-Ausbruch angewendet. Abbildung 7.7 zeigt die daraus resultierenden Ursprungswahrscheinlichkeiten. Diese nähern sich mit zunehmender Zahl der Krankheitsfälle im Verlauf des Ausbruchs schnell dem tatsächlichen Ursprungsort an, einem Hof in Bienenbüttel im Landkreis Uelzen (in den Abbildungen 7.6 und 7.7 markiert).

Tabelle 7.1 stellt die Ergebnisse von Manitz u. a. (2014) und dem kombinierten Vorgehen aus Horns Modell und den Ergebnissen dieser Arbeit für jede Woche des EHEC-Ausbruchs gegenüber. Die Ergebnisse zeigen, dass das hier vorgestellte Vorgehen den tatsächlichen Ursprungsort mit deutlich höherer Geschwindigkeit und Genauigkeit identifizieren kann. Diese Anwendung stellt damit zu einem gewissen Grad eine Validierung der räumlich-wirtschaftlichen Verflechtungen dieser Arbeit dar.

Tabelle 7.1: Vergleich der Leistung der hier vorgestellten Methode mit der nach Manitz u. a. bei der Ursprungsidentifikation beim EHEC-Ausbruch

Woche ab Aus- bruch	Rang der tatsächlichen Ursprungsregion		Entfernung der Top-3 von tatsächlichem Ursprungsort		
	Horn (2018) und diese Arbeit	Manitz u. a. (2014)	Horn (2018) und diese Arbeit in km	Manitz u. a. (2014) in km	
1	38	-	180	-	
2	3	-	149	-	
3	2	1	84	71	
4	2	> 10	41	98	
5	1	3	29	44	
6	1	1	29	30	
7	1	1	29	30	
8	1	5	29	135	
9	1	2	29	65	

Die Ursprungsregion wird bereits in der zweiten Woche des Ausbruchs, und damit noch vor dem Höhepunkt der Erkrankungen am Beginn der vierten Woche, konsistent angenähert. Diese Informationen hätten in der kritischen Anfangsphase der realen Untersuchung verwendet werden können, um die Liste möglicher Quellenstandorte auf Betriebe in den dunkelgrau gefärbten Regionen in Abbildung 7.7 zu kürzen. Dadurch wäre der Ursprungsort wahrscheinlich früher identifiziert worden, was die rechtzeitige Einleitung von Gegenmaßnahmen ermöglicht hätte. Dadurch hätte die Ausbreitung der Kontamination eingegrenzt und damit die Zahl potenzieller Krankheitsfälle sowie wirtschaftlicher Schäden für die Lebensmittelindustrie verringert werden können.

Abbildung 7.6: Räumliche Verteilung der E.-coli-Krankheitsfälle im EHEC-Ausbruch 2011 in Deutschland (eigene Darstellung der Daten des Robert Koch Institut (2016))

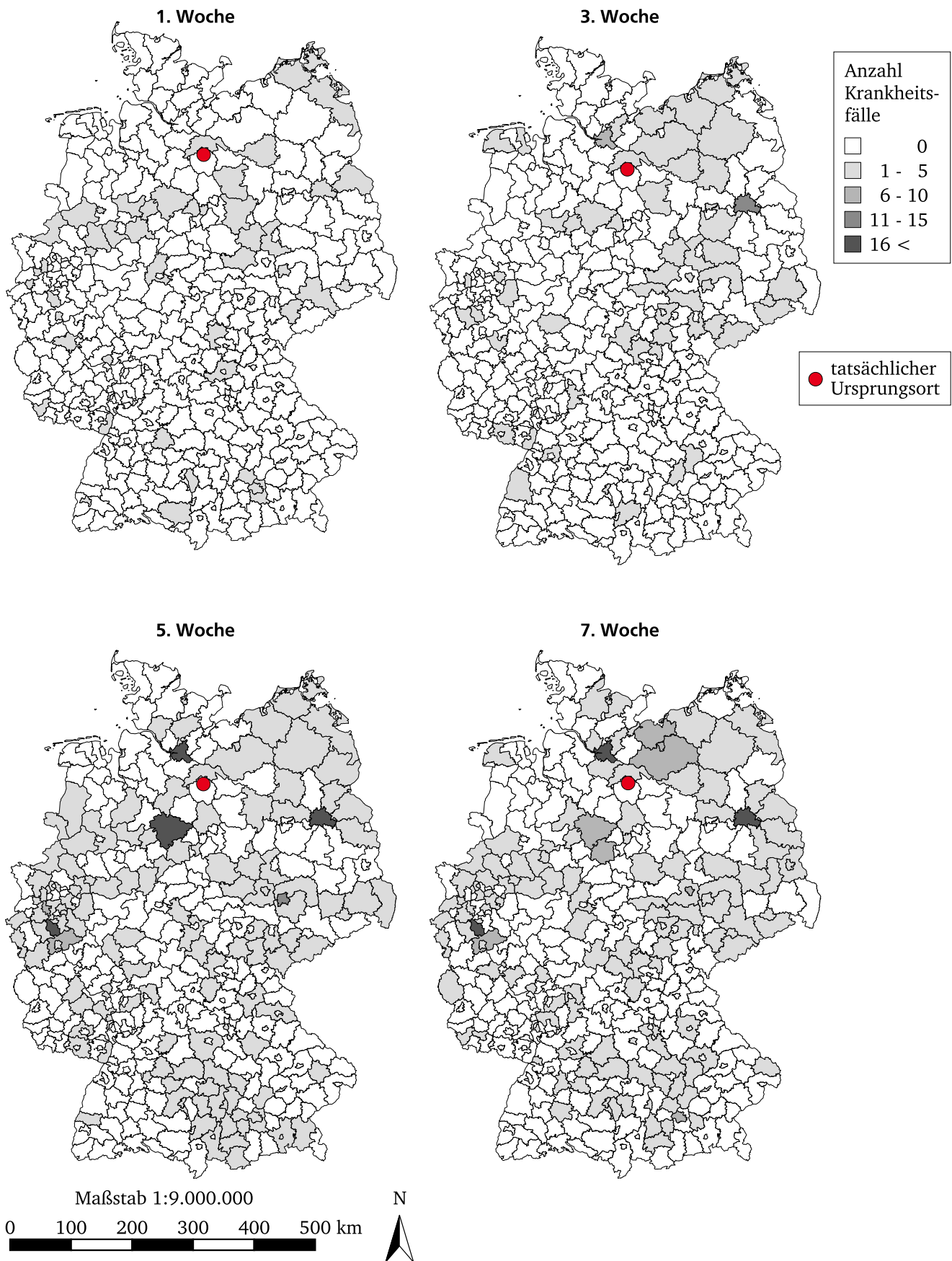
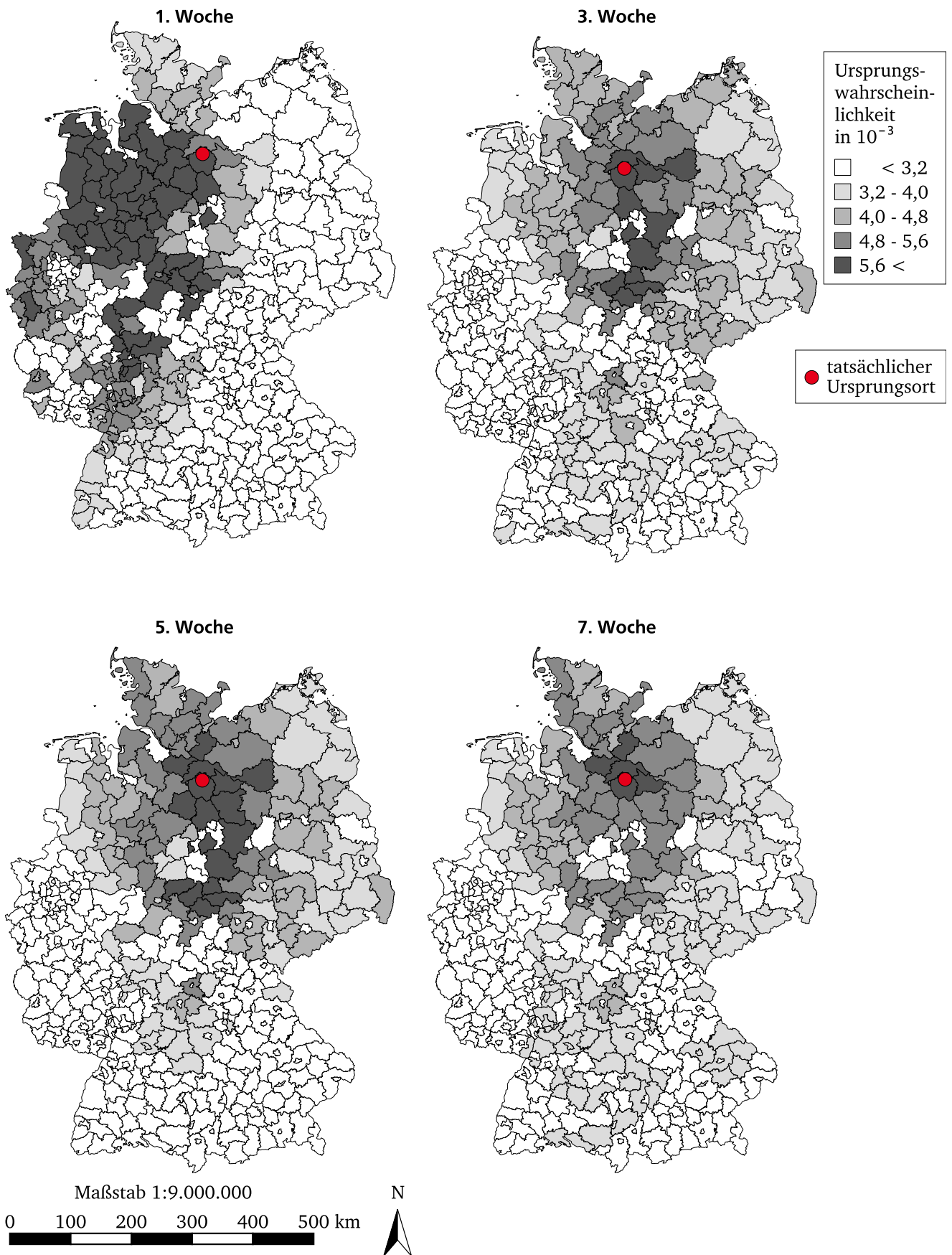


Abbildung 7.7: Räumliche Verteilung der Ursprungswahrscheinlichkeiten beim EHEC-Ausbruch 2011 in Deutschland (eigene Darstellung der Daten von Horn und Friedrich (2018))



7.3 Dynamische Risikobewertung des Verbrauchs und der Beschaffung

Nachdem das Potential der statischen Analyse auf Jahreswerten aufgezeigt wurde, wird in diesem Abschnitt ein Beispiel für eine dynamische Analyse vorgestellt. Dabei wird untersucht, wie die Mineralwasserversorgung Berlins organisiert ist und wie sich die Güterverkehrsnachfrage ändert, wenn die Nachfrage sprunghaft ansteigt. Dafür wird zuerst die Versorgung im normalen Verlauf des Jahr 2012 dargestellt.

Basisfall der Mineralwasser- und Erfrischungsgetränkeversorgung Berlins

Abbildung 7.8 zeigt in der oberen Karte die Güterverkehrsleistung, die im Jahr 2012 benötigt wurde, um die einzelnen Regionen mit Mineralwasser und Erfrischungsgetränken zu versorgen, in Form einer in Abschnitt 7.1 vorgestellten Heatmap. Die mittlere Transportentfernung, die notwendig ist, um die jeweilige Region mit Mineralwasser und Erfrischungsgetränken zu versorgen, ist im unteren Teil der Abbildung dargestellt. Diese mittlere Transportentfernung bildet jedoch nur die letzten Transporte der Supply-Chains ab. Das bedeutet, dass in den Verkaufskanälen Vollsortiment- und Discount-Einzelhandel, über die 59 % der Mineralwasser- und Erfrischungsgetränkeversorgung abgewickelt werden, nur die Güterflüsse zwischen den Lagern und den jeweils belieferten LEH-Filialen berücksichtigt werden. Doch gerade bei Schnelldreher wie Mineralwasser haben die LEH-Lager keine großen Bestandsreichweiten. Zur Vulnerabilitätsbewertung muss deshalb auch die Beschaffungslogistik der Lager berücksichtigt werden. Mit FOODFLOW ist auch dieser detailliertere Blick in die Supply-Chain möglich und wird im Folgenden am Beispiel Berlins aufgezeigt.

Wie aus den offiziellen Statistiken (Unterabschnitt 5.3.3 ab Seite 85) einfach berechnet werden kann, wurden im Jahr 2012 circa 880 Millionen l Mineralwasser und Erfrischungsgetränke von den 3,4 Millionen Einwohnern Berlins konsumiert. Dies entspricht einem Pro-Kopf-Tagesverbrauch von 0,7 l. Der Konsum in den Filialen des LEH sowie im Großhandel verteilt sich jedoch nicht gleichmäßig über das Jahr, sondern verläuft laut verschiedenen Statistiken (Unterabschnitt 5.4.2 ab Seite 98) wie in Abbildung 7.9 dargestellt. Dem gegenüber steht die Jahresproduktion aller Berliner Mineralwasser- und Erfrischungsgetränkehersteller in Höhe von 325 Millionen l. Diese Produktion ist, von produktionsfreien Sonn- und Feiertagen abgesehen, über das Jahr hinweg relativ konstant. Nur in den Sommermonaten, in denen auch der Konsum etwas höher ausfällt, ist sie circa 20 % größer als im Rest des Jahres. Doch die in Berlin produzierten Mengen verbleiben nur zum Teil in der Stadt. Wohin die Getränke transportiert werden, wird mit FOODFLOW auf Basis der offiziellen Statistiken modelliert. Ein kleiner Teil wird ins Ausland exportiert. Der Exportverlauf ist ebenfalls in Abbildung 7.9 veranschaulicht. Ein weiterer Teil wird innerhalb Deutschlands verteilt: entweder um direkt in der Zielregion konsumiert oder zwischengelagert zu werden. So wird der Großteil der Berliner Produktion in LEH-Lager in der Stadt oder angrenzenden Regionen transportiert, von wo aus die Getränke an Filialen in Berlin und dessen Umland distribuiert werden.

Die 19 LEH-Lager der 14 Handelszentralen, die laut FOODFLOW Berlin versorgen, werden in Tabelle 7.2 in Zahlen beschrieben. Dort werden die Güterverkehrsaufkommen beziehungsweise die Masse der Güter, die durch das jeweilige Lager fließen, sowie die mittleren Transportentfernungen und die Güterverkehrsleistungen der Lagerbeschaffung aufgeführt.

Abbildung 7.10 verortet die Lager geografisch und zeigt die modellierten Güterflüsse der Distribution nach Berlin (dickere Linien) sowie die zehn größten Güterflüsse der Beschaffung (dünnere Linien). Man erkennt, dass die großen LEH-Lager direkt in Berlin oder dessen Nachbarregionen liegen. Ausnahmen sind die Lager der kleineren Einzelhändler, die nur über ein bis zwei Lager verfügen. Die Güterflüsse zwischen den Lagern und den Berliner Filialen sind im Schnitt 49 km lang, was in einer Güterverkehrsleistung von circa 25 Millionen tkm pro Jahr resultiert. Zusammen mit dem Verkaufskanal Großhandel & Sonstiges (mittlere Transportentfernung 499 km) ergibt sich eine mittlere Transportentfernung von 232 km und eine Güterverkehrsleistung von 204 Millionen tkm pro Jahr. Diese Werte können auch aus Abbildung 7.8 abgelesen werden.

Abbildung 7.8: Vulnerabilitätsbewertung für die Versorgung mit Mineralwasser und Erfrischungsgetränken

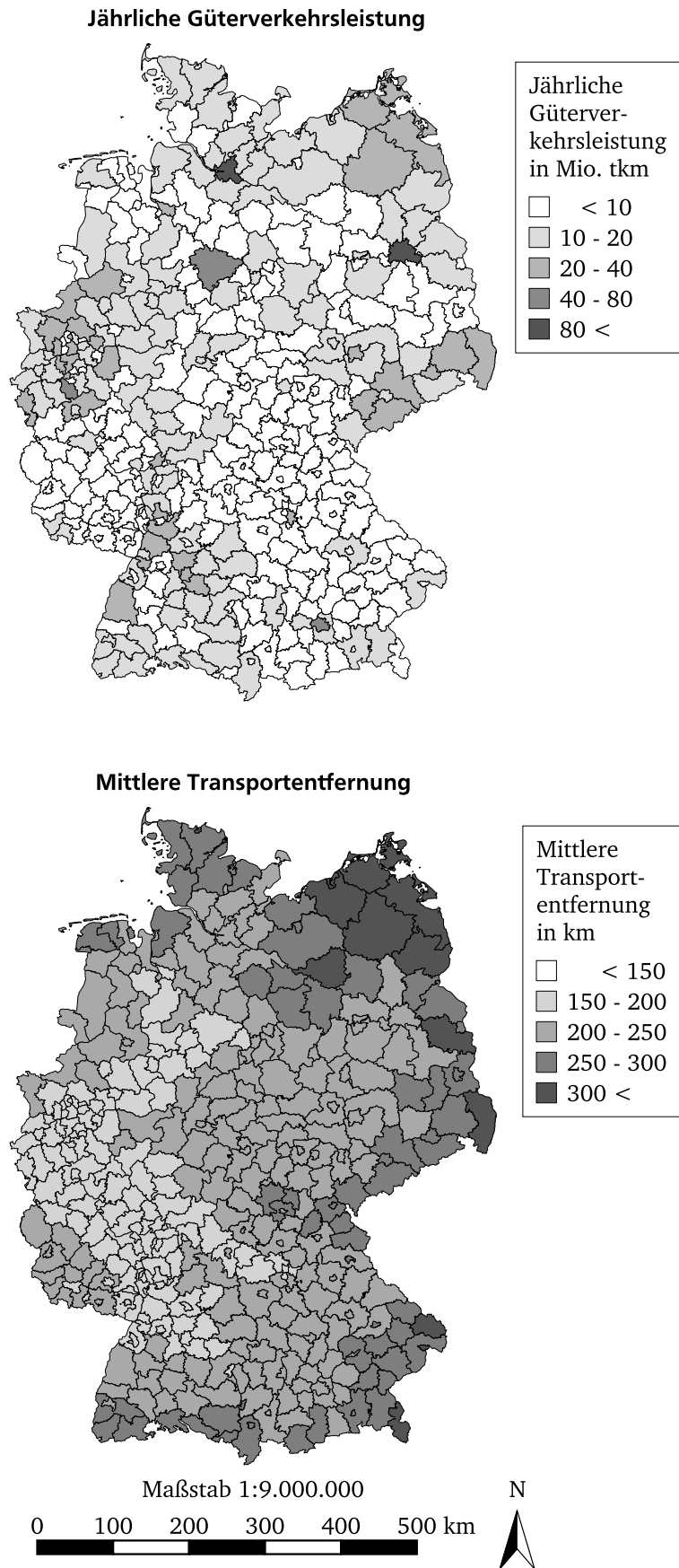


Abbildung 7.9: Berliner Mineralwasser- und Erfrischungsgetränkeproduktion, -export und -konsum im zeitlichen Verlauf

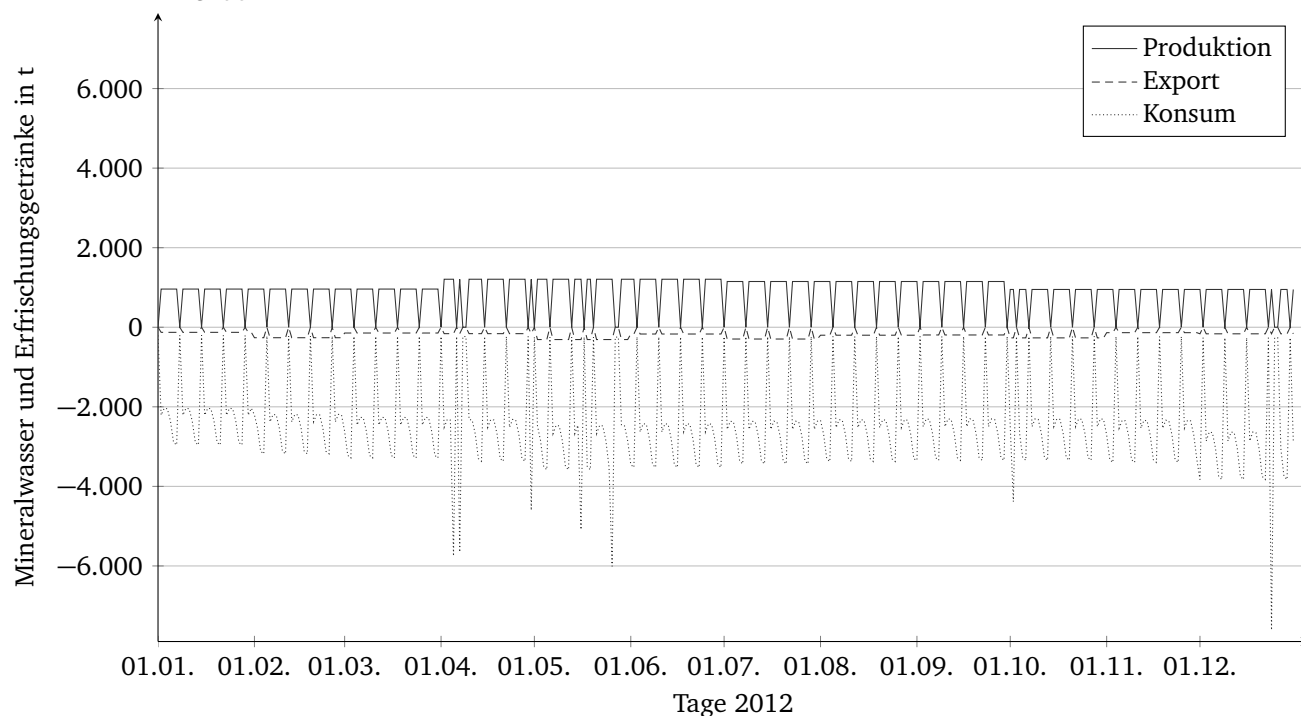
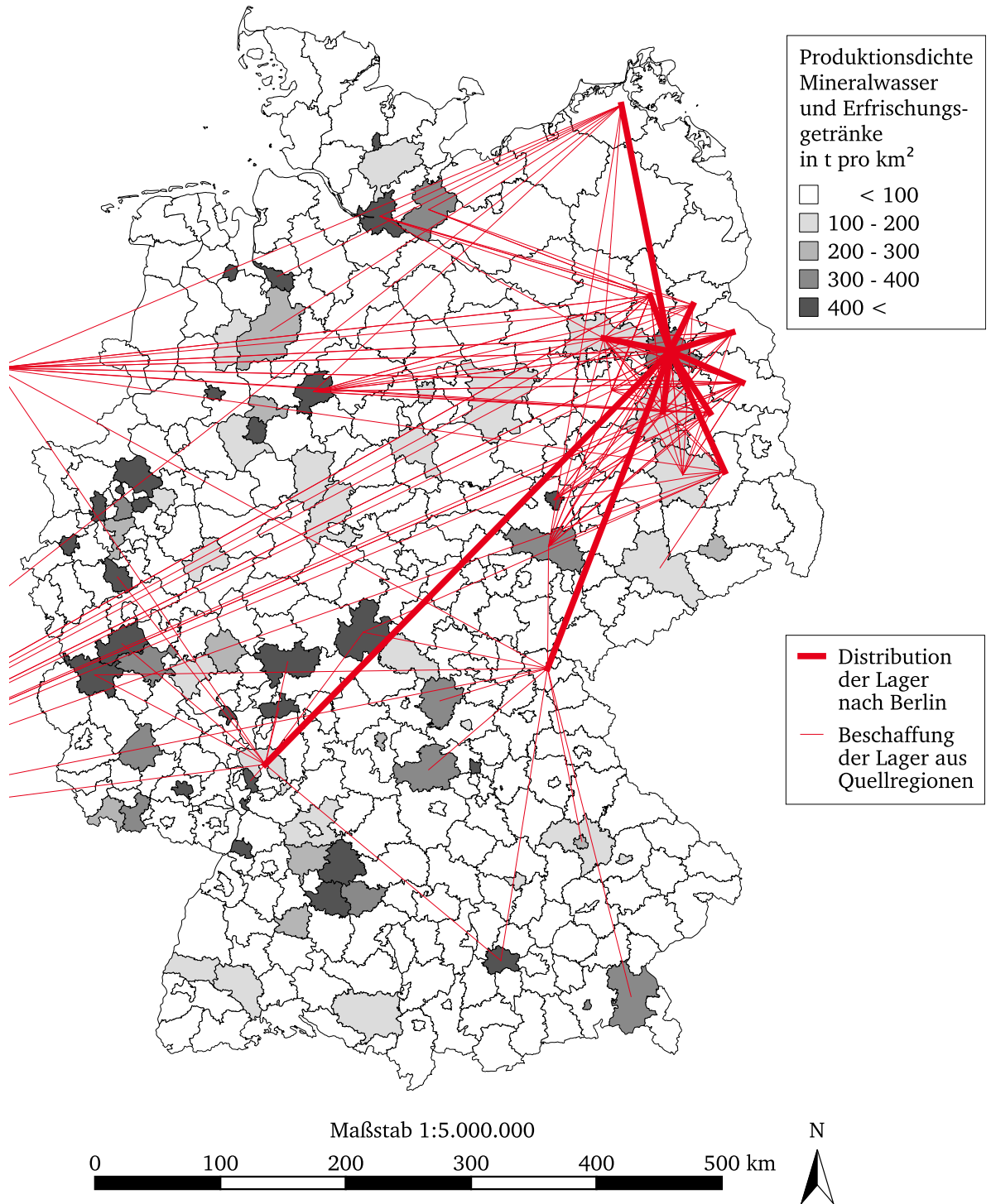


Tabelle 7.2: LEH-Lager zur Versorgung Berlins mit Mineralwasser und Erfrischungsgetränken mit zugehörigen Jahreswerten (Lagerstandorte von TradeDimensions (2014b))

Handelszentrale	Lagerstandort	Güterverkehrs-	Entfernung	Mittlere	Güterverkehrs-
		aufkommen	Distribution	Entfernung	leistung
		<i>in 1.000 t</i>	<i>in km</i>	<i>in km</i>	<i>in Mio. tkm</i>
Netto	Berlin-Pankow	81,5	19	427	36,4
Lidl	Großbeeren	60,9	32	421	27,5
Lidl	Kremmen	50,6	38	443	24,3
Aldi Nord	Berlin	46,2	19	427	20,6
Penny	Großbeeren	36,8	32	421	16,6
Netto Nord	Wustermark	29,4	24	425	13,2
Edeka Minden-Hann.	Grünheide	27,1	129	513	17,4
Kaufland	Lübbenau	26,7	144	461	16,2
Kaiser's Tengemann	Berlin	26,5	19	426	11,8
Aldi Nord	Mittenwalde	25,1	34	432	11,7
Aldi Nord	Großbeeren	22,7	32	421	10,3
Lidl	Freienbrink	22,5	129	513	14,4
Aldi Nord	Werneuchen	20,4	51	481	10,8
Rewe Ost	Oranienburg	19,1	38	443	9,2
Norma	Ahrensfelde	11,8	51	481	6,3
Real	Altlandsberg	9,1	39	466	4,6
Alnatura	Lorsch	2,9	613	301	2,7
Dennree	Töpen	1,5	330	389	1,1
Bartels-Langness	Wittenhagen	0,1	247	578	0,1
	Gesamt	520,6	49	441	255,1

Abbildung 7.10: LEH-Transportverbindungen für die Versorgung von Berlin mit Mineralwasser und Erfrischungsgetränken (eigene Darstellung basierend auf Daten von Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (2013), Bundesagentur für Arbeit (2014) und TradeDimensions (2014b))



Die Quellen der Versorgung mit Mineralwasser und Erfrischungsgetränken sind fast im ganzen Bundesgebiet verteilt und liegen auch im Ausland. Die resultierenden, in die LEH-Lager eingehenden Güterflüsse sind mit 441 km deutlich länger als die von dort nach Berlin ausgehenden. Damit ist auch die Güterverkehrsleistung der Beschaffung mit 230 Millionen tkm pro Jahr wesentlich höher. Rechnet man wieder alle Verkaufskanäle zusammen, ergibt sich für die Versorgung Berlins mit Mineralwasser und Erfrischungsgetränken eine mittlere Transportentfernung von insgesamt 492 km und eine Güterverkehrsleistung von über 430 Millionen tkm pro Jahr.

Szenariobetrachtung der Mineralwasser- und Erfrischungsgetränkeversorgung Berlins

Steigt die Nachfrage in Berlin auf das Doppelte an, beispielsweise aufgrund einer Hitzewelle oder mehreren Großveranstaltungen, müssten Händler und Produzenten schnell reagieren. Zur genaueren Untersuchung wird Samstag, der 7. Juli 2012 als Referenztag gewählt. Es handelt sich dabei um einen normalen Werktag ohne angrenzende Feiertage, wobei Samstage die Wochentage mit der höchsten Nachfrage darstellen (Abbildung 7.9). An diesem Tag werden in Berlin im Basisfall 3,4 Millionen l Mineralwasser und Erfrischungsgetränke konsumiert. Steigt der Konsum in diesem Szenario nun auf 6,8 Millionen l, wären die Bestände in den Filialen bereits nach einem Tag nahezu aufgebraucht. Auch die Lagerbestände der Lebensmitteleinzelhändler würden keinen Tag, die Bestände der Produzenten (in Berlin 5,2 Millionen l) keine zwei Tage ausreichen. Deswegen müsste die Produktion in Berlin theoretisch um 270 % gesteigert werden, um Angebot und Nachfrage wieder auszugleichen. Die Umsetzung einer solchen Produktionssteigerung ist jedoch eher unrealistisch. Alternativ müsste der Produktionsoutput aller Hersteller bundesweit um knapp 4 % gesteigert werden. Diese Steigerung des Produktionsoutputs erscheint durchaus möglich. Allerdings könnte die benötigte Transportkapazität der bundesweiten Beschaffung problematisch sein. Da unklar ist, wie Händler und Produzenten im Falle einer solchen Nachfragesteigerung reagieren, zeigt Tabelle 7.3 die mit FOODFLOW bestimmten Kennzahlen für den zusätzlich entstehenden Transport für verschiedene Beschaffungskonfigurationen, um die Bandbreite der Optionen aufzuzeigen.

Tabelle 7.3: Kennzahlen des Mineralwasser- und Erfrischungsgetränketransports zur Versorgung Berlins im Falle einer Nachfragesteigerung um 100 % - Modellergebnisse für Samstag, den 7. Juli 2012

Verteilung	Zusätzliches bundesweites Angebot in %	Zusätzliche Güterverkehrsnachfrage in Millionen tkm	Mittlere Transportentfernung in km	Geschätzte benötigte Transportkapazität in Lkw
proportional	4	1,8	533	196
güterverkehrsminimal	4	1,7	516	189
	25	0,5	178	60
	50	0,3	113	36
	100	0,2	79	23

Aus den Werten der Tabelle 7.3 wird deutlich, dass es im Falle einer minimalen Produktionserhöhung um 4 % unerheblich ist, ob proportional oder güterverkehrsminimal beschafft würde. In beiden Fällen läge die mittlere Transportentfernung deutlich über 500 km und es würden knapp 200 Lkw für Beschaffung und Distribution benötigt (bei einer angenommenen Netto-Nutzlast von 15 t pro Lkw, einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 60 km pro Stunde und 10 Stunden täglicher Fahrzeit). Die Getränkehersteller können ihre Produktionskapazitäten jedoch wahrscheinlich stärker erhöhen. Würden die Händler dann güterverkehrsminimal zukaufen, würde die Steigerung der Güterverkehrsnachfrage sehr viel geringer ausfallen. Könnten die Produzenten ihren Output kurzfristig verdoppeln, würden für die güterverkehrsminimale Beschaffung und anschließende Distribution der zusätzlichen Mengen theoretisch nur 23 Lkw benötigt. Aus Sicht der Gesamtversorgung ist die Effektivität des Einkaufs beziehungsweise der Zuliefererauswahl in Engpassszenarien deshalb deutlich wichtiger als die Effizienz

des Transportes. Wie gut eine solche Situation beherrscht werden kann, ist damit hauptsächlich von der Prävention der Händler abhängig. Eine Steigerung der Getränkenachfrage um 100 % sollte im schlimmsten Fall jedoch trotzdem nur kurzfristig zu Engpässen führen.

Ein extremeres Szenario wäre die Beeinträchtigung der Trinkwasserversorgung Berlins. Der Pro-Kopf-Verbrauch an in Flaschen abgefüllten Mineralwassern und Erfrischungsgetränken würde dann vermutlich auf mindestens 3 l pro Person steigen. Dies entspräche einem Nachfrageanstieg von circa 300 %. Außerdem wird angenommen, dass auch die Berliner Getränkeproduktion ausfallen würde. Das Angebot aller deutschen Hersteller müsste dann zum Ausgleich um 13 % gesteigert werden. Die entsprechenden Kennzahlen zeigt Tabelle 7.4. Selbst im besten Falle müssten zur Versorgung täglich 181 Lkw zusätzlich zur Verfügung stehen. Ob die neuen Lieferanten und weiteren Lkw kurzfristig organisiert werden könnten, scheint unwahrscheinlich. Ein Eingreifen des Staates zur Vermeidung einer Versorgungskrise könnte notwendig werden.

Tabelle 7.4: Kennzahlen des Mineralwasser- und Erfrischungsgetränketransports zur Versorgung Berlins im Falle einer Nachfragesteigerung um 300 % und dem Ausfall der Produktion - Modellergebnisse für Samstag, den 7. Juli 2012

Verteilung	Zusätzliches bundesweites Angebot in %	Zusätzliche Güterverkehrsnachfrage in Millionen tkm	Mittlere Transportentfernung in km	Geschätzte benötigte Transportkapazität in Lkw
proportional	13	5,9	596	659
	13	5,8	583	644
güterverkehrs-	25	3,6	367	398
minimal	50	2,4	257	271
	100	1,6	178	181

Diese Anwendung von FOODFLOW zeigt, dass die Beschaffungslogistik der LEH-Lager bei einer Vulnerabilitätsbewertung berücksichtigt werden muss. Bei Gütergruppen, die verarbeitete Lebensmittel umfassen, ließe sich diese Analyse über alle Verarbeitungsstufen bis hin zum Ursprung der landwirtschaftlichen Vorprodukte fortsetzen.

7.4 Dynamische Risikobewertung der Produktion und Distribution

Nachdem im vorangegangenen Abschnitt aufgezeigt wurde, was geschieht, wenn die Güternachfrage in einer Region stark ansteigt, werden in diesem Abschnitt die Auswirkungen einer Infrastrukturstörung an einem Beispiel verdeutlicht. Dabei wird untersucht, wie sich die Bestände bei den Akteursgruppen in den verschiedenen Regionen entwickeln, wenn wichtige Produktionsregionen oder Transportinfrastrukturen ausfallen. Im hier diskutierten Beispielszenario fällt der Hamburger Hafen als Außenhandelsschnittstelle aus, da die Elbzufahrt aufgrund eines Unfalls eines großen Containerschiffs nicht mehr befahrbar ist. Als Tag der Sperrung wurde zufällig Donnerstag, der 3. Mai 2012 ausgewählt.

Betroffene Gütergruppen

Am stärksten vom Ausfall des Hamburger Hafens betroffen wären die Gütergruppen Obst mit fast einer Millionen t, Pflanzliche Öle mit 0,8 Millionen t sowie Ölsaaten mit 0,5 Millionen t pro Jahr. Für die Risikobewertung interessant ist auch der prozentuale Anteil der Hamburger Importe an der Gesamtverfügbarkeit in Deutschland. So gesehen haben neben den genannten Gütergruppen besonders tiefgekühlte Fischerzeugnisse mit 18,4 % und tiefgekühlte Obstzubereitungen mit 11 % einen großen Einfluss auf die Versorgungssicherheit (Tabelle 7.5).

Tabelle 7.5: Von einer potentiellen Sperrung des Hamburger Hafens betroffene Gütergruppen (Auszug)

Gütergruppe	Jahresimport über Hamburg in 1.000 t	Anteil an Gesamt- verfügbarkeit in %	Fehlmengen ab 03. Mai 2012 in 1.000 t	Anteil am Jahresimport in %
Obst tg	989	13,7	631	63,8
Pflanzliche Öle tr	786	10,6	480	61,1
Ölsaaten tr	478	4,1	223	46,6
Obst- & Gemüsesäfte tr (1,000 l)	197	4,1	130	66,1
Getreide tr	170	0,3	113	66,1
Obstzubereitungen tr	124	8,7	76	60,9
Fischerzeugnisse tk	118	18,4	79	67,0
Gemüse tg	116	1,4	59	50,5
Wein tr (1,000 l)	107	4,2	71	66,6
Gemüsezubereitungen tr	91	3,4	59	65,3
Schlachterz. Geflügel & -wurst tg	87	4,8	60	68,7
Kartoffeln tg	76	0,6	52	68,1
Fisch, Krebs- & Weichtiere tk	58	3,9	41	71,0
Obstzubereitungen tk	51	11,0	36	70,3
Zucker tr	39	0,8	8	21,6
Reis tr	37	5,9	21	56,8
Fischerzeugnisse tr	26	8,6	18	69,8
Fertiggerichte tr	21	0,8	14	67,0

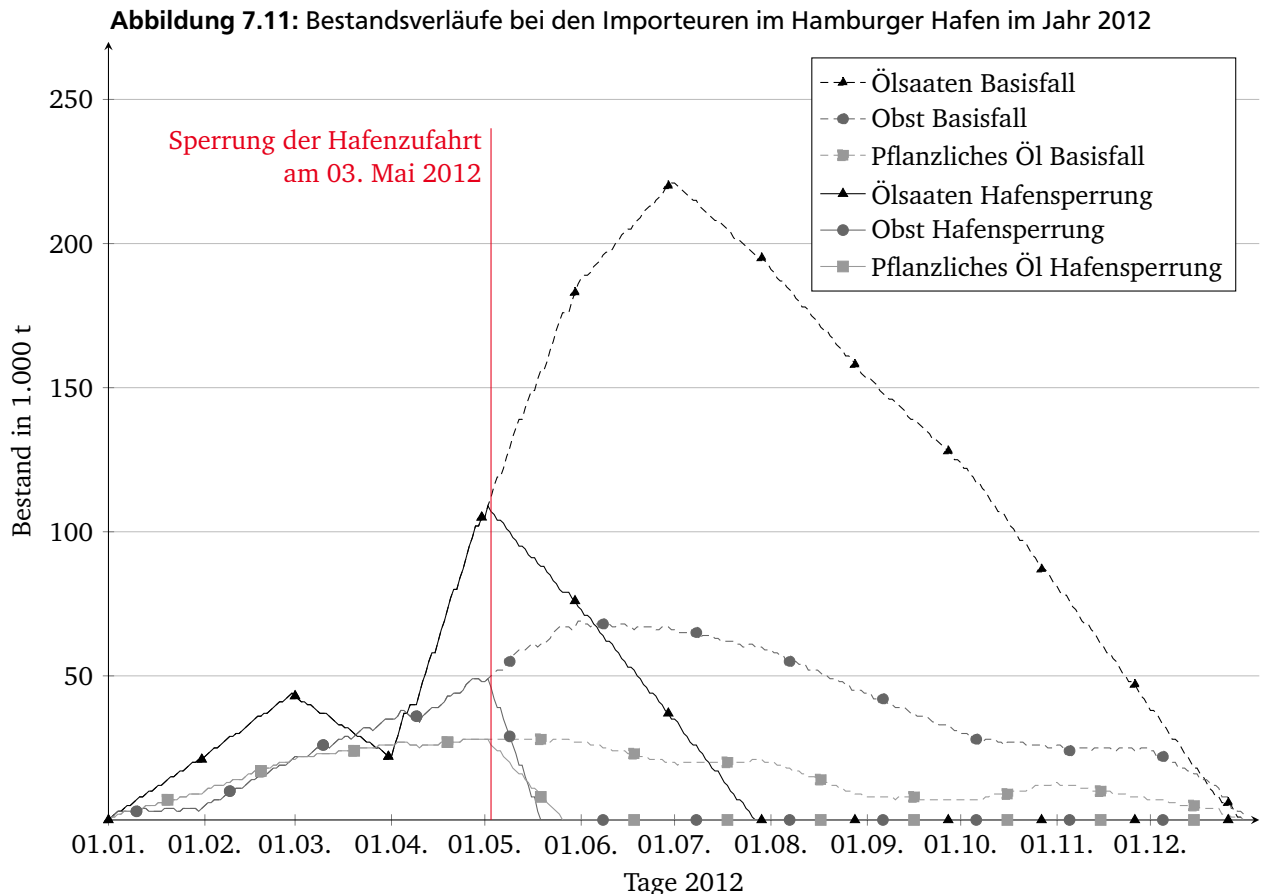
Da sich die täglichen Importmengen monatlich ändern und auch die Bestände der Importeure unterschiedlich hoch sind, ist für die Risikobewertung besonders interessant, wann die Bestände der betroffenen Gütergruppen aufgebraucht sind. Um dies im dynamischen Güterflussmodell abzubilden, werden die Importanteile des Hamburger Hafens, die als Modellinput dienen (Tabelle 5.8 auf Seite 91), auf Null gesetzt, sobald der Szenario-Simulationslauf den 3. Mai 2012 beziehungsweise Tag 124 erreicht.

Bei einer Gleichverteilung der Importe auf das Jahr müssten bis zu diesem Tag circa ein Drittel der Güter importiert worden sein. Zwei Drittel der Güter, die über den Hamburger Hafen importiert werden, würden der deutschen Lebensmittelversorgung fehlen. Wie die zwei rechten Spalten der Tabelle 7.5 zeigen, trifft dies für die meisten Gütergruppen auch zu. Die Importe einiger Gütergruppen sind jedoch sehr ungleichmäßig verteilt. Dadurch ergeben sich unterschiedliche Vulnerabilitäten. So hat die Sperrung der Elbzufahrt nur geringe Auswirkungen auf die Zuckerimporte, da bereits fast 80 % der Importe in den ersten vier Monaten des Jahres 2012 abgewickelt wurden. Dagegen wurden zu diesem Zeitpunkt weniger als 30 % der Fisch-, Krebs- und Weichtiere importiert, weswegen sich die Störung der Importe zum 3. Mai stärker auf die Versorgung mit dieser Gütergruppe auswirkt.

Bestandsentwicklungen

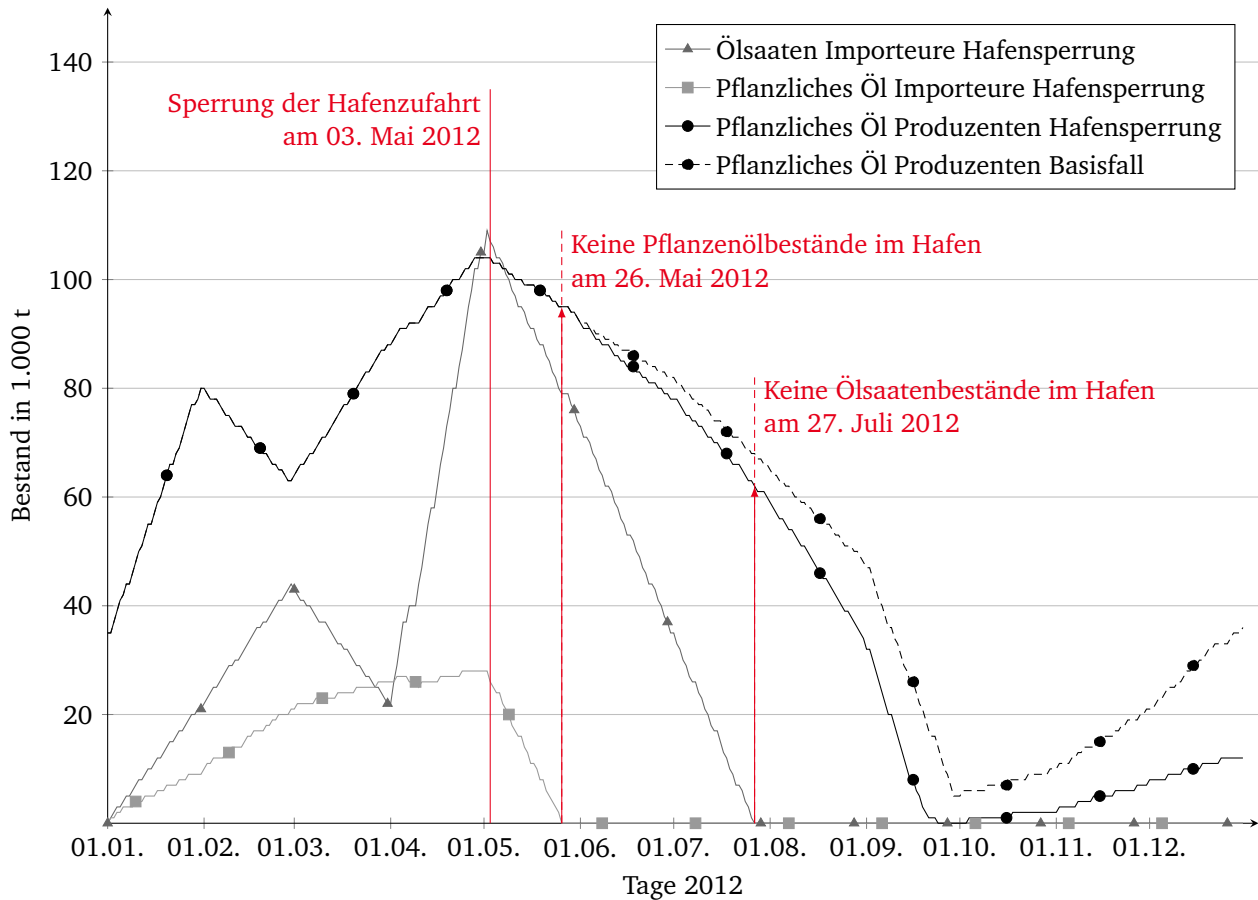
Weiteren Einfluss auf die Ausbreitung der Störung haben die vorhandenen Bestände. Um untersuchen zu können, wie schnell die Bestände bei den Akteursgruppen in den Regionen aufgebraucht sind, wird das Bestellverhalten der Akteursgruppen in diesem Szenario nicht angepasst. Abbildung 7.11 zeigt, wie groß die Bestände der drei importstärksten Gütergruppen im Jahresverlauf sind und wie schnell sie im Falle der beschriebenen Störung bei normalem Verbrauch aufgebraucht wären. Die größten Bestände zum Zeitpunkt der Elbsperrung haben die Importeure bei Ölsaaten mit 109.000 t. Damit hatten sie zum 03. Mai 2012 eine Bestandsreichweite von 85 Tagen. Dass sich Ölsaaten-Bestände bei den Importeuren aufbauen, liegt an den umfangreichen Importen aus Australien (11 % des Gesamt-Ölsaaten-Imports und 8 % der Gesamtverfügbarkeit), die vor allem in der ersten Jahreshälfte in Deutschland ankamen. Würde die Elbsperrung früher eintreten, wären die Beständen noch nicht so hoch und

die Störung damit kritischer. Ab Juli hätte die Elbsperrung in Bezug auf Ölsaaten kaum noch Einfluss auf die deutsche Lebensmittelversorgung gehabt. Wesentlich kleinere Mengen wurden im Jahr 2012 theoretisch bei Obst (49.000 t) und pflanzlichen Ölen (28.000 t) zwischengelagert. Ab dem Tag der Störung hätten die Bestände an pflanzlichem Öl die Versorgung für 26 Tage gesichert und die an Obst, trotz der wesentlich größeren Menge, für nur 18 Tage. Dies ergibt sich aus dem höheren Obstverbrauch durch Industrie sowie Endkonsumenten. Die geringe Bestandsreichweite passt zur geringeren Lagerbarkeit von Obst.



Wie Abbildung 7.11 zeigt, beginnen die Ölsaaten- und Pflanzenölbestände der Importeure in Hamburg nach der Sperrung der Hafenzufahrt am 03. Mai zu fallen. Im Vergleich dazu zeigt Abbildung 7.12, dass die Pflanzenölbestände bei den Pflanzenölproduzenten zuerst nicht von denen im Basisfall abweichen. Erst wenn die Bestände der Importeure am 26. Mai aufgebraucht sind, können an sie gerichtete Bestellungen nicht mehr erfüllt werden. Die Fehlmengen werden in FOODFLOW in die Auftragsstabelle geschrieben. Da die verarbeitende Industrie kein pflanzliches Öl mehr aus dem Hamburger Hafen bekommt und sich die relative Verteilung der Bestellungen in diesem Szenario nicht ändert, beginnen auch die Bestände der verarbeitenden Industrie zu sinken. Durch die sinkenden Bestände steigen die absoluten Bestellmengen der verarbeitenden Industrie, da diese nach wie vor die aus der Berechnung der minimalen Bestände stammenden Zielbestände erreichen wollen. Dadurch sinken die Bestände an pflanzlichen Ölen bei den deutschen Produzenten bereits kurz nach dem 26. Mai stärker als im Basisfall. Diese negative Abweichung vergrößert sich sobald am 27. Juli auch die Ölsaatenbestände der Hamburger Importeure aufgebraucht sind, da die verarbeitenden Betriebe selbst über keine großen Ölsaatenbestände verfügen und infolgedessen der Produktionsoutput an Pflanzenöl proportional zu den Fehlmengen der benötigten Ölsaaten abnimmt. Ein eindeutiger Zeitpunkt lässt sich dabei jedoch nicht feststellen, da die Ölsaatenbestände in den Regionen der Pflanzenölproduktion unterschiedlich hoch sind und dementsprechend zu unterschiedlichen Zeitpunkten aufgebraucht sind.

Abbildung 7.12: Auswirkungen der fehlenden Importe über den Hamburger Hafen auf die Pflanzenölbestände der Produzenten im zeitlichen Verlauf



Betroffene Regionen

Doch nicht alle deutschen Pflanzenölproduzenten sind von den Importausfällen gleichermaßen betroffen, da die importierten Ölsaaten aufgrund ihrer geringen Wertdichte eher regional als national verteilt werden. Dadurch entstehen vor allem bei den norddeutschen Produzenten, aber auch bei den Großproduzenten im Westen, Fehlmengen, wie die obere Karte in Abbildung 7.13 zeigt. Andere Produzenten in Süd- und Ostdeutschland sind von der Sperrung der Hafenzufahrt in Hamburg nicht betroffen, da sie die benötigten Ölsaaten aus deutschem Anbau oder über Landimporte beziehen.

Die geminderte Pflanzenölproduktion sowie die fehlenden Pflanzenölimporte führen selbst auch wieder zu offenen Bestellungen bei der Herstellung weiterverarbeiteter Güter, wie beispielsweise Backwaren, Süßwaren und Fertigerichten, aber auch direkt im Lebensmittelhandel. So schaffen es die Einzelhändler ab dem 29. Mai nicht mehr, ihre Lagerhäuser auf die angestrebten Pflanzenölbestände aufzufüllen. Abbildung 7.14 zeigt die nicht-erfüllten Bestellungen für die Lagerhäuser eines bestimmten Discounters (links) und eines Vollsortimenters (rechts). Obwohl vorwiegend die norddeutsche Pflanzenölproduktion von der Störung betroffen ist, liegen die absoluten Fehlmengen in den 38 bundesweit verteilten Lagerhäusern der Discount-Handelszentrale in der gleichen Größenordnung. Dies liegt zum einen an der laut Kalibrierung nahezu proportionalen Verteilung der pflanzlichen Öle, die zu nur sehr langsam mit der Entfernung steigenden relativen Fehlmengen führt, und zum anderen an der ähnlichen Lagergröße (zwischen 44 und 119 belieferte Filialen, Mittelwert: 85, Standardabweichung: 16). Die größeren Unterschiede in den 16 Lagerhäusern des betrachteten Vollsortimenters resultieren aus den unterschiedlichen Lagergrößen (zwischen 26 und 428 belieferte Filialen, Mittelwert: 261, Standardabweichung: 109).

Abbildung 7.13: Auswirkungen der fehlenden Ölsaatenimporte auf die deutsche Pflanzenölproduktion (eigene Darstellung basierend auf Daten von Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (2013))

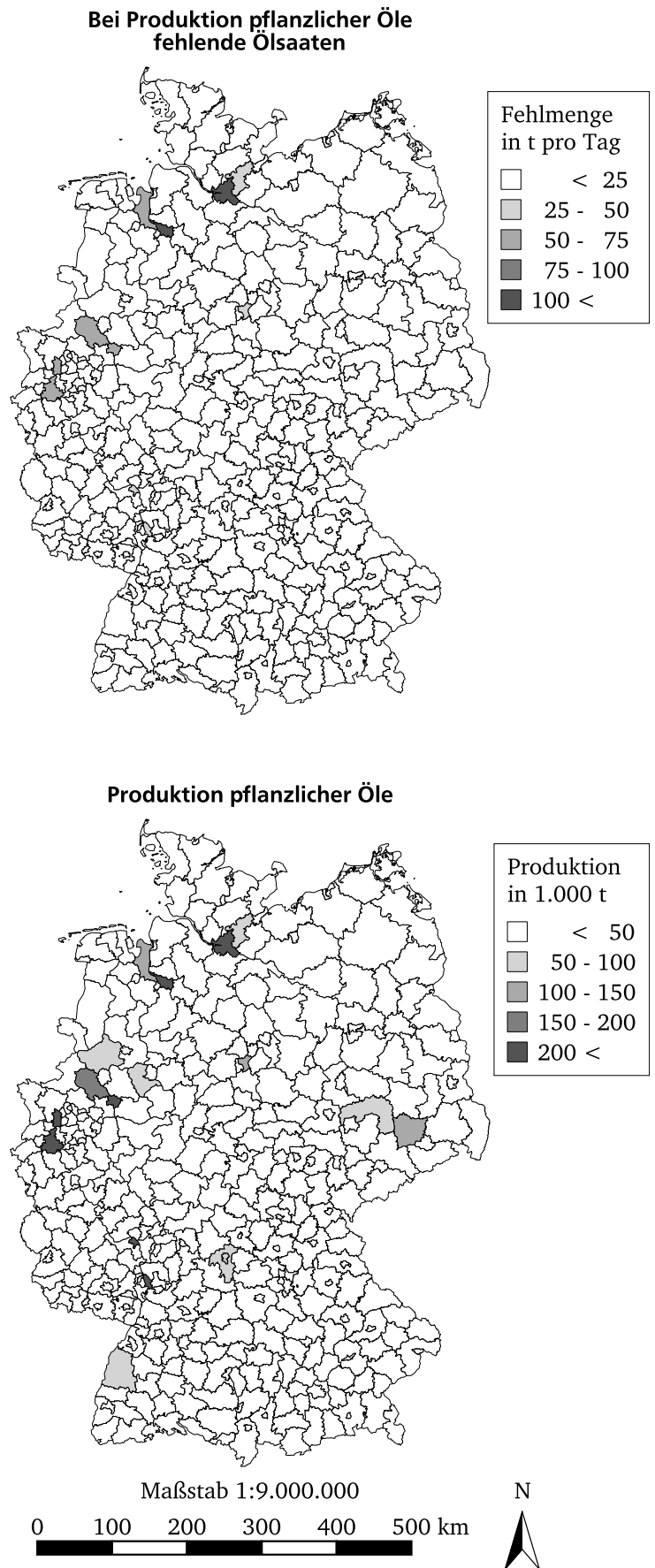
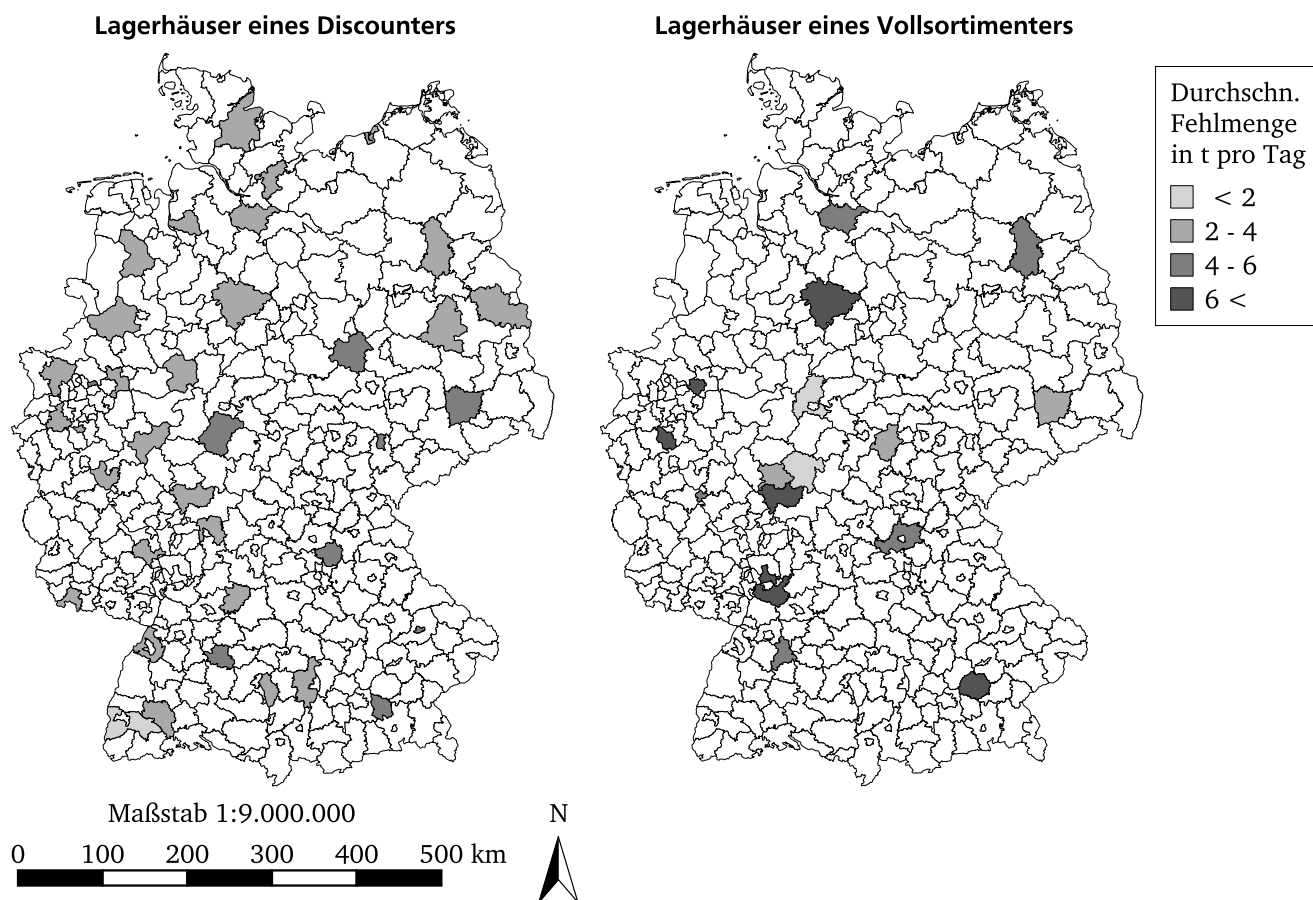


Abbildung 7.14: Fehlmengen pflanzlicher Öle in den Lagerhäusern des LEH

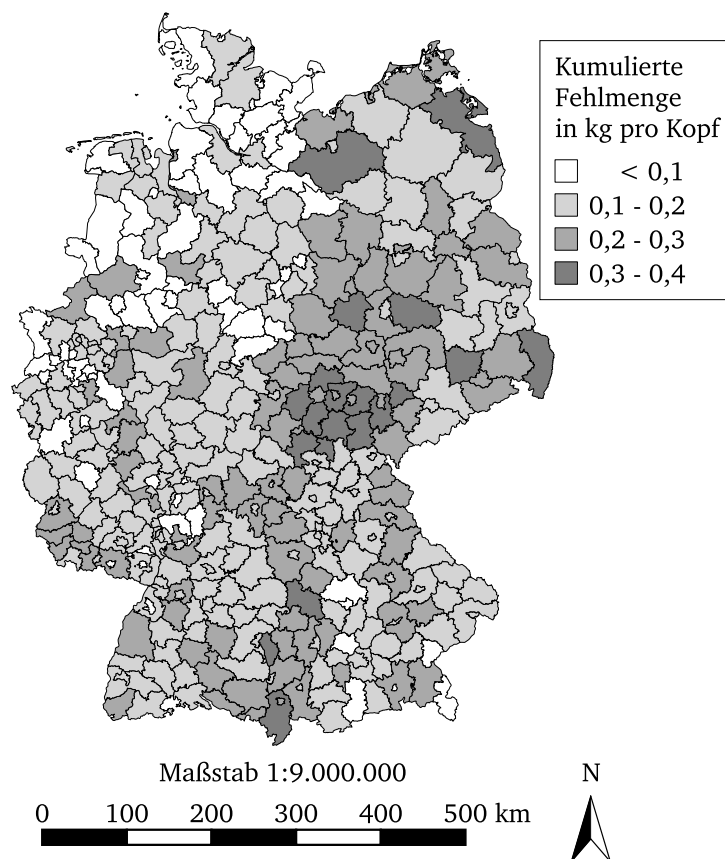


Auf den Endkonsumenten wirken sich diese Fehlmengen erst im Vorweihnachtsgeschäft ab Mitte Dezember aus. Dabei ergibt sich für jede Region, je nach Händleraufteilung, Filialanzahl und Bevölkerung, eine individuelle Vulnerabilität (Abbildung 7.15). Bei einer auf das Jahr kumulierten Fehlmenge von etwas mehr als 220 Gramm Pflanzenöl pro Person kann allerdings nicht von einer Versorgungskrise gesprochen werden. Dies liegt auch daran, dass ab dem 03. Mai kein Pflanzenöl über den Hamburger Hafen exportiert werden kann und die Exportmengen stattdessen für den innerdeutschen Konsum zur Verfügung stehen. Nichtsdestotrotz stellt das Fehlen von 18.000 t Pflanzenöl beim Endkonsumenten einen Versorgungsengpass dar, da dieser nicht durch pflanzliche Fette ausgeglichen werden kann. Denn auch bei der Herstellung pflanzlicher Fette kommt es durch das Ausbleiben einiger Pflanzenölimporte zu Produktionsrückgängen. Ein Ausgleich durch tierische Fette ist, unter anderem aufgrund von Ernährungsgewohnheiten oder Nahrungsmittelunverträglichkeiten, nicht bei allen Endverbrauchern möglich.

Gegenmaßnahmen

Um einen solchen Engpass zu vermeiden, gibt es verschiedene Möglichkeiten. Die resultierenden Güterverkehrsnachfragen ausgewählter Maßnahmen zeigt Tabelle 7.6. Vermutlich würden Importeure die Importgüter in den Häfen Rotterdam oder Antwerpen, welche die Schiffe in der Regel vor Hamburg anlaufen, entladen lassen. Werden die Supply-Chains nicht angepasst und die Importgüter zuerst nach Hamburg transportiert, von wo aus sie auf den gewohnten Routen verteilt werden, steigt die über den Jahresverlauf kumulierte Güterverkehrsnachfrage um 692 Millionen tkm (Tabelle 7.6). Betrachtet man die tägliche Verteilung, ist die zusätzliche Güterverkehrsnachfrage an Montagen mit rund 4 Millionen tkm besonders hoch. Um diese Güterverkehrsnachfragesteigerung bedienen zu

Abbildung 7.15: Versorgungsengpässe pflanzlicher Öle beim Endverbraucher zum 31. Dezember 2012



können, wären bei einer angenommenen Durchschnittsgeschwindigkeit von 60 km pro Stunde und einer Netto-Nutzlast von 15 t pro Lkw 4.444 Lkw-Stunden notwendig. Nimmt man eine tägliche Fahrzeit von 10 Stunden an, werden an Spitzentagen 444 Lkw benötigt, um die Importgüter aus Rotterdam und Antwerpen nach Hamburg zu transportieren; um die Weihnachtsfeiertage herum bis zu 667 Lkw.

Tabelle 7.6: Aus verschiedenen Maßnahmen resultierende Güterverkehrsnachfrage im Falle einer potentiellen Sperrung des Hamburger Hafens

Maßnahme	Güterverkehrs- nachfrage in Mio. tkm	Absolute Abweichung in Mio. tkm	Prozentuale Abweichung in %
Basisfall	78.843	-	-
Keine Gegenmaßnahmen	72.694	-6.150	-8,5
Import in anderen deutschen Seehäfen über Hamburg	79.173	330	0,4
Import in Rotterdam und Antwerpen über Hamburg	79.536	692	0,9
Direktlieferung aus anderen deutschen Seehäfen	77.745	-1.098	-1,4
Direktlieferung aus Rotterdam und Antwerpen	76.346	-2.497	-3,3

Die Seehäfen in Rotterdam und Antwerpen sind jedoch oft stark ausgelastet, sodass Entladekapazitäten eventuell nicht spontan zur Verfügung stehen. Der Import könnte dann über die anderen deutschen Seehäfen abgewickelt werden. Verteilt man die Hamburger Importmengen proportional zu den Werten aus Tabelle 5.8 (Seite 91) auf diese und wickelt die Transporte wieder über Hamburg ab, stiege die Güterverkehrsnachfrage um 330 Millionen tkm. Diese Alternative wäre demnach vorteilhaft, da zum einen die zusätzlich benötigte Güterverkehrsnachfrage

geringer wäre und zum anderen der deutsche Staat im Krisenfall und unter bestimmten rechtlichen Voraussetzungen auch Zugriff auf diese Häfen hätte. Aber auch die deutschen Seehäfen müssten dafür über Kapazitätsreserven verfügen. Als präventive Maßnahme könnte der Staat die deutschen Seehäfen daraufhin prüfen, ob der Ausfall eines Hafens jederzeit durch die verbliebenen Häfen kompensiert werden könnte. Eine Subventionierung von Investitionen zur Mängelbeseitigung könnte mit dem Schutz kritischer Infrastrukturen begründet werden.

Anstatt alle importierten Güter von den Ausweichhäfen über Hamburg zu transportieren, könnten die Güter, bei entsprechender Organisation, auch direkt vom Hafen zu den Verbrauchern und in die Lager des LEH transportiert werden. Dies wäre nicht nur im Vergleich zum Import über Ausweichhäfen und Transport über Hamburg vorteilhaft, sondern auch gegenüber dem Basisfall. So könnten durch die Direktbelieferung aus den deutschen Seehäfen ohne Hamburg gut eine Milliarde tkm pro Jahr gegenüber dem Basisfall eingespart werden. Bei einer Direktbelieferung aus den Häfen in Rotterdam und Antwerpen würde die Güterverkehrsnachfrage sogar um fast 2,5 Milliarden tkm zurückgehen. Dies liegt an der größeren Nähe dieser Häfen zu dicht besiedelten Regionen in Nordrhein-Westfalen und im Südwesten Deutschlands. Solche Direktlieferungen erzeugen aber gerade kurzfristig wesentlich mehr Koordinationsaufwand und erfordern eine erhöhte Agilität der involvierten Supply-Chain-Akteure.

7.5 Zwischenfazit

Kann das entwickelte Modell zur Risikoanalyse eingesetzt werden?

Das in dieser Arbeit entwickelte FOODFLOW-Modell kann in vielfältiger Weise zur Vulnerabilitätsbewertung und Auswirkungsanalyse eingesetzt werden.

Dieses Kapitel macht deutlich, wie mit dem in dieser Arbeit entwickelten dynamischen MSMRIO-Modell des deutschen Lebensmittelversorgungssystems, FOODFLOW, Regionen und Gütergruppen anhand verschiedener Kennzahlen auf ihre Vulnerabilität hin untersucht, durch Lebensmittel verursachte Krankheitsausbrüche zum Ursprung zurückverfolgt, die Ausbreitung von Störungen über Regionen und Zeit hinweg nachvollzogen und dadurch die Auswirkungen für die Endkonsumenten abgeschätzt werden können. FOODFLOW ermöglicht damit eine umfassende Analyse der Vulnerabilität der deutschen Lebensmittelversorgung sowie der Auswirkungen bestimmter Störszenarien für die betroffene Bevölkerung. Mit Hilfe von Szenarien können einzelne Gefährdungspotentiale untersucht und Risiken quantifiziert werden. Außerdem kann der Umfang bestimmter reaktiver Maßnahmen sowie der Einfluss bestimmter präventiver Maßnahmen prognostiziert werden. Werden als Reaktion auf eine Störung Güterflüsse umgelenkt oder benötigte Güter aus anderen Regionen beschafft, kann mittels FOODFLOW die resultierende erhöhte Güterverkehrsnachfrage berechnet werden. Auch der Einfluss der von den verschiedenen Akteursgruppen in den Regionen gehaltenen Bestände auf die raumzeitliche Ausbreitung der Störungsauswirkungen kann simuliert werden.

8 Fazit und Ausblick

In diesem Kapitel wird das Fazit aus der vorliegenden Arbeit gezogen. Dazu werden die Kernaussagen der einzelnen Kapitel verdichtet diskutiert, um so die zentrale Fragestellung beantworten zu können. Des Weiteren wird erläutert, wo die Grenzen von FOODFLOW liegen. Die Arbeit schließt mit einem Ausblick auf die weiteren Forschungs- und Anwendungspotentiale von FOODFLOW sowie einer Darstellung des identifizierten Forschungsbedarfs.

8.1 Fazit

Die vorliegende Arbeit identifiziert und analysiert Risiken des deutschen Lebensmittelversorgungssystem. Dafür wird das quantitative Modell FOODFLOW entwickelt, das Vulnerabilitäten im dynamischen und komplexen System der deutschen Lebensmittelversorgung aufdecken und Störungsauswirkungen bewerten kann. Damit wird ein wesentlicher Beitrag zur Sicherung der Lebensmittelversorgung für Bürgerinnen und Bürger geleistet. Besonders hervorzuheben sind dabei folgende Fortschritte:

Der empirisch explorative Teil der Arbeit dokumentiert, dass bei Unternehmen der Lebensmittelwirtschaft und zuständigen Behörden Defizite bei der Vulnerabilitätsanalyse und Risikobewertung auf makroskopischer Ebene existieren, welche weder durch die aktuelle Forschung im Bereich des Risikomanagements noch im Bereich der Güterverkehrsmodellierung abgedeckt werden.

Wie die in Kapitel 2 vorgestellten Experteninterviews, Besichtigungen und Studien zeigen, gibt es, trotz verschiedenster theoretischer Risikomanagementansätze, sowohl bei privatwirtschaftlichen als auch staatlichen Akteuren des Lebensmittelversorgungssystems Defizite in der Vorbereitung auf aktuelle Gefahren. Umfassende Vorbereitungen finden nicht statt, da die Gefährdungslage aufgrund der Komplexität und Dynamik des Systems unklar ist. Intransparenz hinsichtlich Vulnerabilitäten und resultierenden Risiken auf Ebene des Gesamtsystems müssen deshalb aufgelöst werden, um präventive sowie reaktive Maßnahmen gezielter planen und dadurch Präventionskosten senken zu können.

Die Literaturanalyse in Kapitel 3 zeigt, dass weder in der allgemeinen noch in der speziell auf die Lebensmittelversorgung ausgerichteten Risikoforschung Arbeiten existieren, welche eine quantitative Analyse räumlich-wirtschaftlicher Verflechtungen oder zeitlicher Verläufe auf Ebene des Gesamtversorgungssystems erlauben. Bestehende Arbeiten beschränken sich auf qualitative Analysen oder Subsysteme, wie einzelne Unternehmen, Supply-Chains oder Regionen. Aussagen zu Auswirkungen von Großschadensereignissen und anderen Störszenarien auf das gesamte Lebensmittelversorgungssystem können somit bisher kaum getroffen werden.

Inwiefern bestehende Ansätze der Güterverkehrsmodellierung als Werkzeug für die Vulnerabilitätsanalyse von Gütergruppen, Akteuren und Regionen sowie zur Auswirkungsanalyse kritischer Szenarien genutzt werden können, zeigt Kapitel 4. Dort wird deutlich, dass existierende Ansätze zwar grundsätzlich angewendet werden können, aufgrund der aufgezeigten Einschränkungen jedoch nicht zur Beantwortung der vorliegenden Fragestellung geeignet sind. Deshalb werden in dieser Arbeit existierende Methoden der Güterverkehrsmodellierung erweitert und kombiniert, um die dynamischen Güterflüsse des Lebensmittelsektors auf nationaler und gleichzeitig detaillierter Ebene in einem quantitativen Modell abzubilden.

Mit der vorgelegten Datenbasis wird erstmals eine ganzheitliche, konsistente empirische Beschreibung der deutschen Lebensmittelversorgung von der Landwirtschaft bis zur Einzelhandelsfiliale mit einem hohen Detailgrad zur Verfügung gestellt.

Grundlage für die Entwicklung des quantitativen, dynamischen Güterverkehrsmodells ist der Aufbau der erforderlichen Datenbasis. Die dazugehörige Datenrecherche unterschiedlichster Quellen sowie deren Aufbereitung und Synthese beschreibt Kapitel 5. Das Ergebnis ist eine wirtschaftlich, räumlich und zeitlich fein aufgelöste Datenbasis für den Lebensmittelsektor. Sie ist in sich und mit den verfügbaren Statistiken konsistent. Zur Schließung vereinzelt bestehender Datenlücken, wie etwa den Transportentfernungen innerhalb der Regionen, werden spezifische Modellierungen im Rahmen der Datenaufbereitung eingesetzt.

Mit den aufbereiteten Daten lassen sich innerhalb einer einfachen, statischen Analyse bereits erste Gefährdungspotentiale und Vulnerabilitäten im System der deutschen Lebensmittelversorgung identifizieren. So sind Bevölkerung und verarbeitende Industrie bei einigen Gütergruppen, wie beispielsweise Obst, von Importen oder, wie bei Pflanzenöl, von wenigen produzierenden Regionen abhängig. Auch bei der Vulnerabilität der Lebensmitteleinzelhandelslogistik, wie beispielsweise bei den Entfernungen zwischen Lagern und Filialen, zeigen sich erste größere Unterschiede zwischen den Handelszentralen.

Das rein empirische Ergebnis dieser Arbeit leistet damit bereits einen ersten Beitrag zur Risikobewertung, auch wenn eine Risikoanalyse auf diesen statischen Daten nur sehr eingeschränkt möglich ist. Daher wird im nächsten Schritt das dynamische Güterflussmodell FOODFLOW entwickelt, das diese Einschränkungen überwindet. Wie in Kapitel 5 deutlich wird, sind im Lebensmittelsektor ausreichend Daten zur Entwicklung eines solchen dynamischen Güterflussmodells vorhanden. Damit nimmt die Lebensmittelwirtschaft im Vergleich zu anderen Sektoren eine gewisse Sonderrolle ein, da sowohl in der Bevölkerung als auch beim Staat ein gesteigertes Interesse an Nachvollziehbarkeit und gesicherter Funktion der Lebensmittelversorgung besteht.

Durch die Kombination und Erweiterung bestehender Modellierungsansätze ist das entwickelte Modell FOODFLOW geeignet, die makroskopischen, jährlichen Güterflüsse des Lebensmittelsektors detailliert herzuleiten und an bestehenden Referenzdaten zu kalibrierten.

Für Untersuchungen, die über die Analyse der in Kapitel 5 vorgestellten, statischen Daten hinausgehen, ist ein Güterflussmodell erforderlich, das vor allem die interregionalen Güterflüsse des Lebensmittelsektors berücksichtigt. Unter Verwendung vorhandener Methoden erfolgt die Entwicklung eines solchen Güterflussmodells unter dem Namen FOODFLOW in Kapitel 6. Die MSMRIO-Methodik dient dabei als Grundlage für die Verkehrserzeugung und -verteilung. Dabei wird Deutschland als fokaler Raum feiner modelliert. Der Detailgrad der Außenhandelspartner ist reduziert. Um die Handelszentralen des LEH als entscheidende Akteure der Lebensmittelversorgung miteinbeziehen zu können, wird die MSMRIO-Methodik um akteursbezogene Aspekte erweitert. Dies ist erforderlich, da die unterschiedliche Skalierung in den aktuellen MSMRIO-Modellen lediglich der räumlichen Differenzierung dient, die Unterscheidung einzelner Akteure jedoch nicht berücksichtigt wird.

Um die Realitätsnähe des noch statischen Güterflussmodells zu gewährleisten, werden die modellierten räumlich-wirtschaftlichen Verflechtungen an den Güterverkehrsmatrizen der BVWP kalibriert. Das hierfür entwickelte Verfahren, welches die Spannweite der möglichen räumlich-wirtschaftlichen Verflechtungen berücksichtigt und anschließend iterativ die beste Lösung bestimmt, stellt eine substantielle methodische Neuerungen dar.

Basierend auf Statistiken zum zeitlichen Verlauf von Lebensmittelproduktion, -handel und -konsum ist es mit FOODFLOW möglich, makroskopische, interregionale Güterflüsse zeitlich fein aufgelöst nachzuvollziehen.

Neben der räumlichen Verflechtung ist auch deren zeitliche Entwicklung entscheidend für die Analyse von Risiken des Lebensmittelsektors. Zentrale Untersuchungen zu Bestandsentwicklungen, Belastungsspitzen und kritischen Zeitpfaden erfordern somit nicht nur ein räumliches, sondern ein dynamisches, das heißt zeitlich aufgelöstes, Güterflussmodell.

Aus diesem Grund wird in dieser Arbeit, ausgehend von der Logik der Bestands- und Flussvariablen der System-Dynamics-Methodik, eine vollständig neue Erweiterung der MSMRIO-Methodik zur Abbildung der zeitlichen Dimension entwickelt. Dazu werden die kalibrierten räumlich-wirtschaftlichen Verflechtungen der deutschen Regionen, Handelszentralen und internationalen Handelspartner, die das MSMRIO-Modell in FOODFLOW bilden, mit Hilfe von realen Werten bestehender Statistiken zu Ernte-, Produktions- und Konsumzeiten sowie dynamischen Bestands-, Transport- und Auftragstabellen auf einzelne Tage verteilt. Damit wird der von Bachmann, Roorda und Kennedy (2015, S. 191), Jonkeren und Giannopoulos (2014, S. 57), Barker und Santos (2010, S. 141) und Lenzen, Pade und Munksgaard (2004, S. 402) aufgezeigte Bedarf nach Erweiterung der MRIO-Modelle um einen zeitlichen Aspekt beantwortet - eine Forderung, die Liedtke (2006) sowie Ben-Akiva und de Jong (2008) hinsichtlich der Abbildung von dynamischen Güterflüssen ebenfalls für die Güterverkehrsmodellierung aufgestellt haben. Damit wird auch das für den Lebensmittelsektor höchst relevante Problem der Zeitverzögerungen zwischen Versand der Ausfuhren und Erhalt der Einfuhren, formuliert etwa von Lenzen, Pade und Munksgaard (2004, S. 402), gelöst.

Die neu entwickelte Methodik zur dynamischen Modellierung der Güterflüsse ermöglicht umfangreiche Analysen, die, wie die vorgestellten Anwendungen zeigen, unter anderem zur Vulnerabilitäts- und Risikobewertung eingesetzt werden können.

Die in FOODFLOW simulierten dynamischen Güterflüsse eröffnen vielfältige neue Analysemöglichkeiten. Schlüsselindikatoren für die Vulnerabilitäts-, Szenario- und Risikoanalyse sind die entstehende Güterverkehrsnachfrage, die minimalen Bestände und vor allem die Bestandsverläufe, neben weiteren Indikatoren wie beispielsweise den Bestellrückständen oder verringerten Produktionsoutputs. Diese Indikatoren werden von FOODFLOW berechnet und zur Auswertung bereitgestellt. Kapitel 7 stellt einige exemplarische Anwendungsmöglichkeiten vor: Vulnerabilitäten von Regionen und Gütergruppen werden anhand verschiedener Indikatoren mit Hilfe von Heatmaps visualisiert, durch Lebensmittel verursachte Krankheitsausbrüche werden zum Ursprung zurückverfolgt und die Ausbreitung von Störungen in Raum und Zeit wird nachvollzogen.

Somit ist es mit FOODFLOW erstmals möglich, auf Basis eines räumlich und zeitlich fein aufgelösten, quantitativen Modells unter Berücksichtigung 51 unterschiedlicher Gütergruppen, Vulnerabilitäten und Störungsauswirkungen für die Bevölkerung abzuschätzen. Mit Hilfe von Szenarien können einzelne Gefährdungspotentiale untersucht und Risiken quantifiziert werden. Außerdem kann der Umfang bestimmter reaktiver Maßnahmen sowie der Einfluss bestimmter präventiver Maßnahmen prognostiziert werden. Werden als Reaktion auf eine Störung Güterflüsse umgelenkt oder benötigte Güter aus anderen Regionen beschafft, kann mittels FOODFLOW die resultierende erhöhte Güterverkehrsnachfrage berechnet werden. Auch der Einfluss der von den verschiedenen Akteursgruppen in den Regionen gehaltenen Bestände auf die raumzeitliche Ausbreitung der Störungsauswirkungen kann simuliert werden.

FOODFLOW leistet sowohl einen Beitrag zur Weiterentwicklung der Güterverkehrsmodellierung als auch zur Sicherung der Lebensmittelversorgung.

Aus wissenschaftlicher Sicht liefert FOODFLOW wichtige Beiträge zu Fragen der Herleitung und dynamischen Modellierung detaillierter, makroskopischer Güterflüsse. Diese Fortschritte werden zu einer wesentlichen Verbesserung der Leistungsfähigkeit von Anwendungen führen, die auf MRIO-Tabellen basieren. Die Abbildung der Systemdynamik ermöglicht es, wichtige unterjährige Entwicklungen und Wechselwirkungen zu identifizieren. Die detaillierte Berücksichtigung inländischer Regionen und des Außenhandels verbessert die Aussagekraft von nationalen Risikoanalysen drastisch. Damit wird das entwickelte FOODFLOW-Modell den hier aufgestellten Anforderungen an den räumlichen Modellumfang, die sektorale Strukturierung, die Inklusion der zeitlichen Dimension sowie der Möglichkeit der Szenarioanalyse gerecht. Folglich kann das Ziel dieser Arbeit, die Entwicklung eines dynamischen Modells der deutschen Lebensmittelversorgung zur Analyse von Störungsauswirkungen verschiedener Szenarien, als erfüllt angesehen werden.

Selbst wenn die Modellierung dynamischer Güterflüsse nur ein erster Schritt zur Sicherung der Lebensmittelversorgung ist, zeigt FOODFLOW, dass auf Basis vorhandener Daten Vulnerabilitäten aufgedeckt und Risiken analysiert werden können. Die konsistente und gesamthafte Verknüpfung von Daten auf regionaler, nationaler und internationaler Ebene schafft die Grundlage, um das Vertrauen von Akteuren in Informationsaufbereitungs- und Unterstützungssysteme im Bereich der Lebensmittelversorgung signifikant zu erhöhen. Bereits jetzt nutzt das Bundesinstitut für Risikobewertung die mit FOODFLOW erzeugten Güterflüsse zum Schutz der Bevölkerung vor kontaminierten Lebensmitteln. Somit leistet die vorliegende Arbeit nicht nur einen substantiellen Beitrag zur methodischen Weiterentwicklung der Güterverkehrsmodellierung, sondern stellt auch einen wertvollen Beitrag zur verbesserten Sicherung der Lebensmittelversorgung dar.

8.2 Einschränkungen

Modelle sind per Definition vereinfachte Abbildungen der Wirklichkeit. Sie konzentrieren sich auf einen abgegrenzten Analysezweck. Um nachvollziehbar, kosteneffizient und damit nutzbar zu bleiben, werden die zu untersuchenden Systeme und im Besonderen die Systemumgebung vereinfacht abgebildet. Daraus entstehen Einschränkungen, vor allem für andere Analysezwecke. Der eigentliche Analysezweck darf durch diese Vereinfachungen jedoch nicht eingeschränkt werden. Die wichtigsten Einschränkungen von FOODFLOW werden im Folgenden beschrieben.

Eine erste Einschränkung ergibt sich aus der **Kalibrierung an den BVWP-Güterverkehrsmatrizen**, da es sich bei diesen Matrizen nicht um reale, sondern um aus Erhebungen modellierte und fortgeschriebene Werte handelt. Nichtsdestotrotz stellt die BVWP die beste verfügbare Quelle für Verflechtungsdaten dar, die momentan in Deutschland existiert. Weiterhin wird angemerkt, dass die erfolgreiche Anwendung von FOODFLOW zur Verfolgung kontaminierter Lebensmittel in Abschnitt 7.2 (ab Seite 135) die hohe Qualität der modellierten räumlichen Verflechtung unterstreicht.

Darüber hinaus kann die von Wiedmann, Wilting, Lenzen u. a. (2011, S. 1938-1941) geforderte **Modellierung der Handelslogistik** nur teilweise umgesetzt werden. So erfolgt die Modellierung des Verkaufskanals Großhandel & Sonstiges aufgrund von Komplexität und geringer Datenverfügbarkeit nur stark vereinfacht. An dieser Stelle besteht Forschungsbedarf. Für eine bessere Modellierung dieses Verkaufskanals müssen in zukünftigen Arbeiten mehr Daten erhoben beziehungsweise modelliert und detailliertere Modelle entwickelt werden. Die wesentlich wichtigeren Verkaufskanäle des LEH sind in dieser Arbeit hingegen detaillierter modelliert, weswegen es an dieser Stelle nur zu kleineren Abweichungen kommt. Diese entsteht dadurch, dass einige Handelszentralen für spezielle Gütergruppen nicht nur eine Lagerstufe, sondern ein zweistufiges System aus einem Zentral- und

mehreren Regionallagern nutzen. Die Auswirkungen auf die Modellergebnisse sind jedoch gering, da von dieser zweistufigen Lagerung eher Genussmittel betroffen sind und die Bedeutung der zweistufigen Lagerung ohnehin weiter abnimmt (Platz 2005, S. 23). Weitere kleine Abweichungen zwischen den realen Transporten und den in FOODFLOW modellierten entstehen durch die Vernachlässigung der Sammelfunktion des Agrargroßhandels und der Logistikdienstleister.

Für die zeitliche Simulation der Interaktionen, die, genau wie die räumlich-wirtschaftlichen Verflechtungen, auf realen historischen Werten und nur wenigen Annahmen beruhen, existieren keine Vergleichsdaten. Die **Realitätsnähe der zeitlichen Verteilung** kann demnach nicht nachgewiesen werden. Da sie Plausibilitätsprüfungen bestehen, können sie jedoch Hinweise auf Vulnerabilitäten liefern.

Auch die aus dem zeitlichen Verlauf resultierenden **minimalen Bestände** haben nur eine sehr begrenzte Aussagekraft. Sie sollten daher eher als Annahmen betrachtet werden, die notwendig sind, um die Möglichkeiten der Vulnerabilitätsanalysen aufzuzeigen. Hier werden bessere Daten benötigt. Dazu muss vor allem das Kaufverhalten der Bevölkerung in Engpasssituationen, aber auch die Bestelllogiken und Sicherheitsbestände der Lebensmitteleinzelhändler, weiter erforscht werden. Dabei muss angemerkt werden, dass die Behörden auf Landes- und Bundesebene, welche die wahrscheinlichsten Anwender von FOODFLOW darstellen, durch verpflichtende Erhebungen in der Lage sind, sich einen guten Überblick über Bestände und Kapazitäten der einzelnen Akteure zu verschaffen und damit diese Wissenslücke zu schließen. Ihnen fehlt vor allem Wissen bezüglich der Verflechtungen der Akteure. Für Berechnung dieser räumlich-wirtschaftlichen Verflechtungen im Rahmen von FOODFLOW stellt das Fehlen der Bestandsinformationen jedoch keine Einschränkungen. Auch für die Berechnung der Güterverkehrsnachfragen sind sie eher nachrangig.

FOODFLOW ist so implementiert, dass es ohne Codeanpassungen erweitert oder auf andere Sektoren übertragen werden kann. Dabei ist das Funktionieren von FOODFLOW **von qualitativ hochwertigen Inputdaten abhängig**. Nach heutigem Stand verwendet es bestmögliche, durch Synthese aufgewertete Daten. In anderen Sektoren sind solche Daten nicht ohne Weiteres verfügbar, was die Übertragbarkeit des Modells einschränkt. Der hohe Datenbedarf erzeugt zudem einen erhöhten Aktualisierungsaufwand, der, aufgrund von immer wieder stattfindenden Klassifikationsänderungen, nicht vollständig automatisiert werden kann.

8.3 Ausblick

In dieser Arbeit wird die Entwicklung von FOODFLOW vorgestellt, ein dynamisches Modell der deutschen Lebensmittelversorgung zur Analyse von Störungsauswirkungen verschiedener Szenarien auf nationaler Ebene. Es adressiert sowohl den Forschungsbedarf nach mehr Details in makroskopischen Güterverkehrsmodellen als auch die Forschungslücke zwischen statischen MSMRIO- und System-Dynamics-Modellen. Damit eröffnet es über die ersten vorgestellten Anwendungen hinaus zahlreiche weitere Entwicklungsmöglichkeiten.

Durch die **Erweiterung um zusätzliche Regionen, Akteure oder Gütergruppen** könnten weitere Analysen durchgeführt werden. Würde FOODFLOW beispielsweise um die Gütergruppe Futtermittel ergänzt, könnten die Auswirkungen von Futtermittelengpässen auf die Tierzucht oder Krankheitsübertragungen durch kontaminierte Futtermittel nachvollzogen werden. FOODFLOW ist so implementiert, dass es ohne Codeanpassungen erweitert oder auf andere Sektoren übertragen werden kann. Dazu müsste lediglich die entsprechende Datenbasis aufgebaut werden, deren Konsistenz zum Programmstart automatisch überprüft wird. Da die Daten nicht aggregiert sein müssen, kann es auch auf Unternehmensnetzwerke mit einzelnen Gütern und disaggregierten Standorten angewendet werden.

Der **Einfluss von sozialen Faktoren** auf die Versorgungssicherheit könnte durch die Kopplung mit einem speziellen System-Dynamics-Modell abgebildet werden, welches auf die Flussvariablen in FOODFLOW, wie beispielsweise Produktions-, Verbrauchs- oder Außenhandelsraten, einwirkt.

Weiteres Potential ergibt sich aus der Modellerweiterung um die **Verkehrsträgerwahl und Verkehrsumlegung**. Für die Verkehrsträgerwahl ist eine spezifische Transportkostenmatrix für jeden Verkehrsträger notwendig. Dies wäre ein Fortschritt gegenüber den hier für alle Güterflüsse gleichsam verwendeten Transportentfernungen. Diese Transportkostenmatrizen sind jedoch nur sehr schwer zu ermitteln, insbesondere für sektorale Untersuchungen. Dieses erweiterte Modell hätte direkten Nutzen beispielsweise als ein Baustein der Umweltbilanzierung von Lebensmitteln, da sich daraus der Energieverbrauch und die Schadstoffemissionen der logistischen Prozesse zuverlässig abschätzen ließen.

Wie bereits erwähnt, wäre insbesondere eine **Weiterentwicklungen der zeitlichen Verteilung** der Jahreswerte hilfreich. Hier könnten die beschriebenen Akteursgruppen als Agenten mit individuellem Konsum- und Bestellverhalten modelliert werden. Auch eine weitere Aufteilung der dynamischen Güterflüsse mit Tagesganglinien wäre vorstellbar. Priorität sollte aber auf der Erhebung von Daten liegen, mit denen die dynamischen Güterflüsse kalibriert werden können. Mit den kalibrierten dynamischen Güterflüssen und besseren Informationen bezüglich Beständen und Bestelllogiken, könnten Verweildauern von Lebensmitteln bestimmt werden. Damit ließen sich Lebensmittelkontaminationen nicht nur räumlich, sondern auch zeitlich verfolgen. Außerdem könnte die Lebensmittelverderblichkeit stärker berücksichtigt werden, wodurch unter anderem Analysen der Lebensmittelverschwendung entlang den Supply-Chains möglich würden.

Auch wenn das hier entwickelte FOODFLOW-Modell zur Verbesserung von Güterverkehrsmodellen und zur Sicherung der Lebensmittelversorgung beiträgt, muss noch viel in diese Forschung investiert werden, bis Risiken in dynamischen komplexen Versorgungssystemen umfassend bewertet und Entscheidungen direkt unterstützt werden können.

Literaturverzeichnis

- Acimovic, Jason und Jarrod Goentzel (2016). "Models and Metrics to Assess Humanitarian Response Capacity". In: *Journal of Operations Management* 45, S. 11–29. DOI: 10.1016/j.jom.2016.05.003.
- Alises, Ana und José Manuel Vassallo (2015). "Comparison of Road Freight Transport Trends in Europe. Coupling and Decoupling Factors from an Input–Output Structural Decomposition Analysis". In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 82, S. 141–157. DOI: 10.1016/j.tra.2015.09.013.
- Ambulkar, Saurabh, Jennifer Blackhurst und Scott Grawe (2015). "Firm's Resilience to Supply Chain Disruptions: Scale Development and Empirical Examination". In: *Journal of Operations Management* 33-34, S. 111–122. DOI: 10.1016/j.jom.2014.11.002.
- Ammoser, Hendrik und Mirko Hoppe (2006). "Glossar Verkehrswesen und Verkehrswissenschaften - Definitionen und Erläuterungen zu Begriffen des Transport- und Nachrichtenwesens". In: *Diskussionsbeiträge aus dem Institut für Wirtschaft und Verkehr* 2. ISSN: 1433-626X.
- Andersen, Audrey (2011). "Butter Shortage Puts the Knife Into Norwegian Christmas Plans". In: *The Guardian* 14.12.2011. URL: <https://www.theguardian.com/world/2011/dec/14/norwegian-butter-crisis-shortage-christmas> (besucht am 27.09.2016).
- Appel, Bernd, Gaby-Fleur Böhl, Matthias Greiner, Monika Lahrssen-Wiederholt und Andreas Hensel (2011). "EHEC-Ausbruch 2011 - Aufklärung des Ausbruchs entlang der Lebensmittelkette". In: *BfR Wissenschaft* 2011.4. ISSN: 1614-3841.
- ASTRA-Konsortium (2000). *Assessment of Transport Strategies - Final Report*. Karlsruhe: Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung (IWW), Universität Karlsruhe. URL: http://www.astra-model.eu/doc/ASTRA-Final_Report.pdf (besucht am 27.02.2014).
- Bachmann, Chris, Matthew J. Roorda und Chris Kennedy (2015). "Developing a Multi-Scale Multi-Region Input-Output Model". In: *Economic Systems Research* 27.2, S. 172–193. DOI: 10.1080/09535314.2014.987730.
- Baghalian, Atefeh, Shabnam Rezapour und Reza Zanjirani Farahani (2013). "Robust Supply Chain Network Design with Service Level against Disruptions and Demand Uncertainties: A Real-Life Case". In: *European Journal of Operational Research* 227, S. 199–215. DOI: 10.1016/j.ejor.2012.12.017.
- Baker, Peter (2008). "The Design and Operation of Distribution Centres within Agile Supply Chains". In: *International Journal of Production Economics* 111, S. 27–41. DOI: 10.1016/j.ijpe.2006.09.019.
- Balcik, Burcu, Benita M. Beamon, Caroline C. Krejci, Kyle M. Muramatsu und Magaly Ramirez (2010). "Coordination in Humanitarian Relief Chains: Practices, Challenges and Opportunities". In: *International Journal of Production Economics* 126, S. 22–34. DOI: 10.1016/j.ijpe.2009.09.008.
- Balcik, Burcu, Cem Deniz Caglar Bozkir und O. Erhun Kundakcioglu (2016). "A Literature Review on Inventory Management in Humanitarian Supply Chains". In: *Surveys in Operations Research and Management Science* 21.2, S. 101–116. DOI: 10.1016/j.sorms.2016.10.002.
- Barker, Kash und Joost R. Santos (2010). "Measuring the Efficacy of Inventory with a Dynamic Input-Output Model". In: *International Journal of Production Economics* 126.1, S. 130–143.

-
- Bartels, Till (2010). "Streiks, Benzinmangel, Lebensmittelknappheit - Urlaubsfrust in Griechenland". In: *Stern.de* 30.07.2010. URL: <http://www.stern.de/reise/europa/streiks--benzinmangel--lebensmittelknappheit--urlaubsfrust-in-griechenland-3540112.html> (besucht am 27.09.2016).
- Beagan, Daniel, Michael Fischer und Arun Kuppam (2007). *Quick Response Freight Manual II*. Washington: U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration.
- Ben-Akiva, Moshe und Gerard de Jong (2008). "The Aggregate-Disaggregate-Aggregate (ADA) Freight Model System". In: *Recent Developments in Transport Modelling*. Hrsg. von Moshe Ben-Akiva, Hilde Meersman und Eddy van de Voorde. Emerald, S. 69–90. ISBN: 978-0080451190.
- Birkmann, Joern (2007). "Risk and Vulnerability Indicators at Different Scales: Applicability, Usefulness and Policy Implications". In: *Environmental Hazards* 7.1, S. 20–31. DOI: 10.1016/j.envhaz.2007.04.002.
- Blecken, Alexander (2010). *Humanitarian Logistics - Modelling Supply Chain Processes of Humanitarian Organizations*. Kuehne Foundation Book Series. Bern: Haupt Verlag.
- Bode, Christoph und Stephan M. Wagner (2015). "Structural Drivers of Upstream Supply Chain Complexity and the Frequency of Supply Chain Disruptions". In: *Journal of Operations Management* 36, S. 215–228. DOI: 10.1016/j.jom.2014.12.004.
- Boin, Arjen, Peter Kelle und David Clay Whybark (2010). "Resilient Supply Chains for Extreme Situations: Outlining a New Field of Study". In: *International Journal of Production Economics* 126, S. 1–6. DOI: 10.1016/j.ijpe.2010.01.020.
- Bonoma, Thomas V. (1985). "Case Research in Marketing: Opportunities, Problems, and a Process". In: *Journal of Marketing Research* 22.2, S. 199–208.
- Bonsels, Thomas und Heino Schmitz (2010). "Frost legt viele Melkroboter lahm". In: *top agrar* 2010.4, S. 30–31.
- Bossel, Hartmut (1992). *Modellbildung und Simulation: Konzepte, Verfahren und Modelle zum Verhalten dynamischer Systeme*. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg. ISBN: 978-3-528052423. DOI: 10.1007/978-3-322-83658-8.
- Bötel, Marco, Tobias Gelau und Wendelin Groß (2013). "Continuity Planning in Supply Chain Networks: Degrees of Freedom and Application in the Risk Management Process". In: *International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering* 7.3, S. 662–667. DOI: scholar.waset.org/1999.10/4884.
- Bove, Mark (2013). "Hurrikan Sandy an der Ostküste der USA". In: *Munich Re Topics Geo 2012* Ausgabe 2013, S. 30–37.
- Bretzke, Wolf-Rüdiger (2008). "Versorgungssysteme des Handels". In: *Logistische Netzwerke*. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 187–211. ISBN: 978-3540779292. DOI: 10.1007/978-3-540-77930-8.
- Brock, Maximilian, Li Zhang, Cristina Hayden, Tilman Matteis und Wendelin Groß (2012). "A Comparison of Regular and Disrupted Operations for Route Planning in Freight Transportation". In: *Proceedings of the International Disaster and Risk Conference*. Hrsg. von Marc Stal, Manuela Stiffler und Walter Ammann. Davos, Schweiz: Global Risk Forum GRF Davos, S. 94–98.
- Bröcker, Johannes (1998). "Operational Spatial Computable General Equilibrium Modeling". In: *The Annals of Regional Science* 32.3, S. 367–387. DOI: 10.1007/s001680050079.
- Bröcker, Johannes (2015). "Spatial Computable General Equilibrium Analysis". In: *Handbook of Research Methods and Applications in Economic Geography*. Hrsg. von Charlie Karlsson, Martin Andersson und Therese Norman, S. 41–66. ISBN: 978 0857932662. DOI: 10.4337/9780857932679.00008.

-
- Bueno-Solano, Alfredo und Miguel Gastón Cedillo-Campos (2014). "Dynamic Impact on Global Supply Chains Performance of Disruptions Propagation Produced by Terrorist Acts". In: *Transportation Research Part E* 61, S. 1–12. DOI: 10.1016/j.tre.2013.09.005.
- Bund für Lebensmittelrecht und Lebensmittelkunde e.V. (2016). *Unsere Lebensmittelwirtschaft - eine starke Kraft für Deutschland*. Berlin.
- Bundesagentur für Arbeit (2014). *Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte nach ausgewählten Wirtschaftszweigen 2012*. Nürnberg: Bundesagentur für Arbeit.
- Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (2009). *Für den Notfall vorgesorgt - Vorsorge und Eigenhilfe in Notsituationen*. 11. Auflage. Bonn.
- Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (2011). *Sektoren- und Brancheneinteilung Kritischer Infrastrukturen*. Bonn. URL: http://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Downloads/Kritis/neue_Sektoreneinteilung.pdf?__blob=publicationFile (besucht am 19.09.2016).
- Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (2013). *Katastrophenalarm - Ratgeber für Notfallvorsorge und richtiges Handeln in Notsituationen*. 1. Auflage. Bonn. ISBN: 978-3939347545.
- Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (2017). *NINA*. Bonn.
- Bundesamt für Güterverkehr (2016). *Zivile Notfallvorsorge im Straßenverkehr - Vorsorgemaßnahmen des Bundes auf der Grundlage des Verkehrsleistungsgesetzes und des Verkehrssicherstellungsgesetzes*. Köln.
- Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (2013). *Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland 2013*. Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag GmbH.
- Bundesministerium der Finanzen (2017). *Richtsatzsammlung für das Kalenderjahr 2016 - Pauschalbeträge für unentgeltliche Wertangaben*. Berlin. URL: http://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Downloads/BMF_Schreiben/Weitere_Steuerthemen/Betriebspruefung/Richtsatzsammlung/001_2.pdf?__blob=publicationFile (besucht am 03.07.2017).
- Bundesministerium des Inneren (2005). *Schutz Kritischer Infrastrukturen - Basisschutzkonzept - Empfehlungen für Unternehmen*. Berlin.
- Bundesministerium des Inneren (2009). *Nationale Strategie zum Schutz Kritischer Infrastrukturen (KRITIS-Strategie)*. Berlin.
- Bundesministerium des Inneren (2015). *System des Krisenmanagements in Deutschland*. Berlin.
- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2013). *Kennzahlen des deutschen Eiermarktes*. (Besucht am 10.02.2014).
- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2018). *Internetportal Ernährungsnotfallvorsorge*. URL: <https://www.ernaehrungsvorsorge.de> (besucht am 06.03.2018).
- Bundesverband E-Commerce und Versandhandel e.V. (2016). *Interaktiver Handel in Deutschland - Ergebnisse 2016*. URL: https://www.bevh.org/uploads/media/Auszug_aus_der_bevh-Studie_Interaktiver_Handel_in_Deutschland_2016.pdf (besucht am 14.03.2017).
- Bundesvereinigung der Deutschen Ernährungsindustrie e.V. (2017). *Jahresbericht 2016 2017*. Berlin.
- Bureau of Transportation Statistics (2013). *Shipment Characteristics by Two-Digit Commodity for the United States: 2012*. Washington, D.C. URL: https://www.rita.dot.gov/bts/sites/rita.dot.gov/bts/files/publications/commodity_flow_survey/2012/united_states/table6.html (besucht am 22.02.2018).
- Burgholzer, Wolfgang, Gerhard Bauer, Martin Posset und Werner Jammernegg (2012). "Analysing the Impact of Disruptions in Intermodal Transport Networks: A Micro Simulation-Based Model". In: *Decision Support Systems* 54.4, S. 1580–1586. DOI: 10.1016/j.dss.2012.05.060.

-
- Carvalho, Helena, Ana P. Barroso, Virgínia H. Machado, Susana Azevedo und Virgílio Cruz-Machado (2012). "Supply Chain Redesign for Resilience Using Simulation". In: *Computers & Industrial Engineering* 62, S. 329–341. DOI: 10.1016/j.cie.2011.10.003.
- Cascetta, Ennio (2001). *Transportation Systems Engineering: Theory and Methods*. Bd. 49. Applied Optimization. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publisher. ISBN: 0792367928. DOI: 10.1007/978-1-4757-6873-2.
- Cascetta, Ennio, Vittorio Marzano und Andrea Papola (2008). "Multi-Regional Input-Output Models for Freight Demand Simulation at a National Level". In: *Recent Developments in Transport Modelling: Lessons for the Freight Sector*. Hrsg. von Moshe Ben-Akiva, Hilde Meersman und Eddy van de Voorde. Emerald, S. 93–116. ISBN: 978-0080451190.
- Charles, Aurélie, Matthieu Lauras und Rolando Tomasini (2009). "Learning from Previous Humanitarian Operations, a Business Process Reengineering Approach". In: *Proceedings of the 6th International ISCRAM Conference*.
- Christopher, Martin und Helen Peck (2004). "Building the Resilient Supply Chain". In: *International Journal of Logistics Management* 15.2, S. 1–13.
- Christopher, Martin und Denis Towill (2001). "An Integrated Model for the Design of Agile Supply Chains". In: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 31.4, S. 235–246.
- CLAAS KGaA mbH (2014). *Erntekalender für Europa*. Harsewinkel. URL: <http://www.claas.de/blueprint/servlet/blob/321710/35d360d9240c0cea22a9bddf2ba09733/eu-de-data.pdf> (besucht am 05.06.2014).
- Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union (2002). "Verordnung (EG) 178/2002". In: *Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften* L31.1.
- Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union (2005). "Verordnung (EG) 1/2005". In: *Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften* L3.1.
- Davydenko, Igor Y. (2015). "Logistics Chains in Freight Transport Modelling". Thesis. DOI: 10.4233/uuid:f16a0094-e269-4ded-86d0-8f2695bd2538.
- Day, Jamison M., Steven A. Melnyk, Paul D. Larson, Edward W. Davis und David Clay Whybark (2012). "Humanitarian and Disaster Relief Supply Chains: A Matter of Life and Death". In: *Journal of Supply Chain Management* 48.2, S. 21–36. DOI: 10.1111/j.1745-493X.2012.03267.x.
- de Jong, Gerard, Hugh Gunn und Warren Walker (2004). "National and International Freight Transport Models: Overview and Ideas for Future Development". In: *Transport Reviews* 24.1, S. 103–124.
- DeAngelis, Jackie (2012). "Forget About Gasoline, Is There a Food Shortage?" In: *CNBC* 05.11.2012. URL: <http://www.cnn.com/id/49664735> (besucht am 26.09.2016).
- Deutscher Brauer-Bund e.V. (2013). *Deutsche Brauwirtschaft in Zahlen*. Berlin. URL: <http://www.brauer-bund.de/download/Archiv/PDF/statistiken/130909%20Taschenkarte%20Statistik%20Brauwirtschaft%20in%20Zahlen%202004-2012.pdf> (besucht am 17.02.2014).
- Deutscher Hotel- und Gaststättenverband e.V. (2017). *Zahlen & Fakten*. Berlin. URL: <https://www.dehoga-bundesverband.de/zahlen-fakten/> (besucht am 08.07.2017).
- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (2013). *VABENE++ - Verkehrsmanagement bei Großereignissen und Katastrophen*. Berlin, Braunschweig: Institut für Verkehrssystemtechnik. URL: http://verkehrsforschung.dlr.de/public/documents/2016/AU_TS_VABENE_Handout_akt.pdf (besucht am 20.06.2017).
- Dietzenbacher, Erik, Bart Los, Robert Stehrer, Marcel Timmer und Gaaitzen de Vries (2013). "The Construction of World Input-Output Tables in the WIOD Project". In: *Economic Systems Research* 25.1, S. 71–98. DOI: 10.1080/09535314.2012.761180. URL: <http://www.wiod.org>.

-
- Dietzenbacher, Erik und Ronald E. Miller (2015). "Reflections on the Inoperability Input-Output Model". In: *Economic Systems Research* 27.4, S. 478–486. DOI: 10.1080/09535314.2015.1052375.
- Dolle, Wilhelm und Torsten Redlich (2015). *KRITIS-Sektorstudie - Ernährung und Wasser*. Bonn: Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik.
- Dünnebacke, Tobias (2012). "Mineralwasser - Erfolgreiche Gegenwehr". In: *Lebensmittel Praxis* 26.01.2012. URL: <http://lebensmittelpraxis.de/sortiment/4870--erfolgreiche-gegenwehr.html> (besucht am 08.01.2016).
- Echenique, Marcial (2011). "Land Use/Transport Models and Economic Assessment". In: *Research in Transportation Economics* 31, S. 45–54. DOI: 10.1016/j.retrec.2010.11.007.
- Erath, Alexander Lucas (2011). "Vulnerability Assessment of Road Transport Infrastructure". Thesis.
- ESVG (2017). "Ernährungssicherstellungs- und vorsorgegesetz". In: *Bundesgesetzblatt Teil I* 2017 Nr. 19, S. 772–777.
- Eurostat (2014). *Lokale Verwaltungseinheiten (LAU)*. URL: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/nuts/local-administrative-units> (besucht am 14.05.2014).
- Eurostat (2015). *Regions of the European Union - Nomenclature of Territorial Units for Statistics NUTS 2013/EU-28*. Eurostat Manuals and Guidelines. Luxembourg: Publications Office of the European Union. ISBN: 978-9279386572.
- EVG (1990). "Ernährungsvorsorgegesetz". In: *Bundesgesetzblatt Teil I* 1990, S. 1766 ff.
- Farhauer, Oliver und Alexandra Kröll (2013). *Standorttheorien - Regional- und Stadtökonomik in Theorie und Praxis*. Wiesbaden: Springer Gabler. ISBN: 978-3658015732.
- Feller, Peter, Michael Lendle und Sybille Zorn (2013). *Ergebnisbericht der BVE-AFC-Online-Studie Krisenmanagement und Krisenkommunikation 2013*. URL: <http://www.bve-online.de/presse/pressemitteilungen/pm-20131001> (besucht am 09.01.2014).
- Fiorello, Davide, Francesca Fermi und Dorota Bielanska (2010). "The ASTRA Model for Strategic Assessment of Transport Policies". In: *System Dynamics Review* 26.3, S. 283–290. DOI: 10.1002/sdr.452.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2009). *Declaration of the World Summit on Food Security*. Rom.
- Forrester, Jay Wright (1961). *Industrial Dynamics*. Bd. Cambridge, Massachusetts. The MIT Press.
- Frank, Christina, Dirk Werber, Jakob P. Cramer, Mona Askar, Mirko Faber, Matthias an der Heiden, Helen Bernard, Angelika Fruth, Rita Prager, Anke Spode, Maria Wadl, Alexander Zoufaly, Sabine Jordan, Klaus Stark und Gérard Krause (2011). "Epidemic Profile of Shiga-Toxin-Producing Escherichia coli O104:H4 Outbreak in Germany". In: *New England Journal of Medicine* 365.19, S. 1771–1780. DOI: 10.1056/NEJMoa1106483.
- Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme FOKUS (2017). *KATWARN*. Berlin.
- Friedrich, Hanno (2010). "Simulation of Logistics in Food Retailing for Freight Transportation Analysis". Thesis.
- Friesz, Terry L. (2011). "Supply Chain Disruption and Risk Management". In: *Transportation Research Part B* 45.8, S. 1125–1127. DOI: 10.1016/j.trb.2011.05.020.
- Fuhrmann, Sandra und Alexander Bauer (2011). "Streik bei Edeka-Zulieferern dauert an, Ende ungewiss". In: *Nordbayerischer Kurier* 20.05.2011. URL: http://www.nordbayerischer-kurier.de/nachrichten/streik-bei-edeka-zulieferern-dauert-ende-ungewiss_25972 (besucht am 09.08.2017).
- Furness, K. P. (1965). "Time Function Iteration". In: *Traffic Engineering and Control* 7.7, S. 458–460.

-
- Gatignon, Aline, Luk N. Van Wassenhove und Aurélie Charles (2010). "The Yogyakarta Earthquake: Humanitarian Relief through IFRC's Decentralized Supply Chain". In: *International Journal of Production Economics* 126, S. 102–110. DOI: 10.1016/j.ijpe.2010.01.003.
- Georgiadis, Patroklos, Dimitrios Vlachos und Eleftherios Iakovou (2005). "A System Dynamics Modeling Framework for the Strategic Supply Chain Management of Food Chains". In: *Journal of Food Engineering* 70, S. 351–364. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2004.06.030.
- Geurs, Karst T. und Bert van Wee (2004). "Land-Use/Transport Interaction Models as Tools for Sustainability Impact Assessment of Transport Investments: Review and Research Perspectives". In: *European Journal of Transport and Infrastructure Research* 4.3, S. 333–355.
- GfK Panel Services Deutschland (2013). *Prozentuale Verteilung der Ausgaben für Eier im Lebensmittelhandel in den Jahren 2007 bis 2012 nach Betriebsformen*. URL: handelsdaten.de (besucht am 19. 05. 2014).
- Gizewski, Vera-Tatjana (2011). *Schutz Kritischer Infrastrukturen - Studie zur Versorgungssicherheit mit Lebensmitteln*. Bd. Band 9. Bonn: Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe.
- Gollisch, Simon und Ludwig Theuvsen (2015). "Risikomanagement im Landhandel: Charakteristika, Herausforderungen, Implikationen". In: *Berichte über Landwirtschaft - Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft* 93.1. DOI: 10.12767/buel.v93i1.72.g154.
- Götz, Uwe und Barbara Mikus (2007). "Der Prozess des Risikomanagements in Supply Chains". In: *Risikomanagement in Supply Chains - Gefahren abwehren, Chancen nutzen, Erfolg generieren*. Hrsg. von Richard Vahrenkamp und Christoph Siepermann. Berlin: Erich Schmidt Verlag, S. 29–58. ISBN: 978-3503100415.
- Großpietsch, Jochen (2003). *Supply Chain Management in der Konsumgüterindustrie*. Planung, Organisation und Unternehmensführung. Eul. ISBN: 978-3899361452.
- Grün, Oskar und Andreas Schenker-Wicki (2014). *Katastrophenmanagement - Grundlagen, Fallbeispiele und Gestaltungsoptionen aus betriebswirtschaftlicher Sicht*. Wiesbaden: Springer Gabler. ISBN: 978-3658061722. DOI: 10.1007/978-3-658-06173-9.
- Grünblatt, Martin (2008). "Kooperationen zwischen Markenartikelindustrie und Lebensmitteleinzelhandel zur Optimierung der Wertschöpfungskette - Konzepte, Status-quo und Perspektiven". In: *Sales & Service - Management, Marketing, Promotion und Performance*. Hrsg. von Frank Keuper und Bernhard Hogenschurz. Wiesbaden: Gabler, S. 361–402. ISBN: 978-3834902863. DOI: 10.1007/978-3-8349-9591-9_16.
- Gudehus, Timm (2005). *Logistik - Grundlagen, Strategien, Anwendungen*. 3., neu bearbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer. ISBN: 978-3540241133.
- Guha-Sapir, Debarati, Philippe Hoyois und Regina Below (2014). *Annual Disaster Statistical Review 2014 - The Numbers and Trends*. Brüssel: Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED).
- Günther, Hans-Otto und Thorben Seiler (2009). "Operative Transportation Planning in Consumer Goods Supply Chains". In: *Flexible Services and Manufacturing Journal* 21.1-2, S. 51–74. DOI: 10.1007/s10696-010-9060-5.
- Gupta, Sushil, Martin K. Starr, Reza Zanjirani Farahani und Niki Matinrad (2016). "Disaster Management from a POM Perspective: Mapping a New Domain". In: *Production and Operations Management* 25.10, S. 1611–1637. ISSN: 1059-1478. DOI: 10.1111/poms.12591.
- Gurobi (2016). *Gurobi Optimizer, Version 6.5.0*. URL: <http://www.gurobi.com> (besucht am 25. 01. 2016).
- Haimes, Yacov Y., Barry M. Horowitz, James H. Lambert, Joost R. Santos, Kenneth G. Crowther und Chenyang Lian (2005). "Inoperability Input-Output Model for Interdependent Infrastructure Sectors. II: Case Studies". In: *Journal of Infrastructure Systems* 11.2, S. 80–92. DOI: 10.1061/(ASCE)1076-0342(2005)11:2(80).

-
- Haimes, Yacov Y., Barry M. Horowitz, James H. Lambert, Joost R. Santos, Chenyang Lian und Kenneth G. Crowther (2005). "Inoperability Input-Output Model for Interdependent Infrastructure Sectors. I: Theory and Methodology". In: *Journal of Infrastructure Systems* 11.2, S. 67–79. DOI: 10.1061/(ASCE)1076-0342(2005)11:2(67).
- Handelsverband Deutschland (2013). *Verteilung der Umsätze im deutschen Einzelhandel auf die Wochentage in den Jahren 2008 und 2012*. URL: <https://www.handelsdaten.de/einkaufsverhalten/verteilung-der-umsaetze-im-deutschen-einzelhandel-auf-die-wochentage>.
- Hassenstein, Wolfgang und Vera Stadie (2014). "Der Ernte-Kalender". In: *greenpeace magazin*. URL: http://gruppen.greenpeace.de/wuppertal/themen_files/gentechnik_files/erntekalender.pdf (besucht am 05.06.2014).
- Hawkins, Troy, Chris T. Hendrickson und H. Scott Matthews (2007). *Uncertainty in the Mixed-Unit Input-Output Life Cycle Assessment Model of the US Economy*. Istanbul, Türkei: International Input-Output Meeting 2007.
- Helbing, Dirk, Lubos Buzna, Anders Johansson und Torsten Werner (2005). "Self-Organized Pedestrian Crowd Dynamics: Experiments, Simulations, and Design Solutions". In: *Transport Science* 39.1, S. 1–24. DOI: 10.1287/trsc.1040.0108.
- Hellinga, Bruce R. (1994). "Estimating Dynamic Origin-Destination Demands from Link and Probe Counts". Thesis.
- Hertel, Joachim, Joachim Zentes und Hanna Schramm-Klein (2011). *Supply-Chain-Management und Warenwirtschaftssysteme im Handel*. Zweite, erweiterte und aktualisierte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer. ISBN: 978-3642191787. DOI: 10.1007/978-3-642-19179-4.
- Heumüller, Erich (2015). "ÜBIT - Referenzmodell zur Anlage ziel- und auswertungsorientierter, szenarienbasierter Übungen". Thesis.
- Higgins, Andrew, Stephen McFallan, Luis Laredo, Di Prestwidge und Peter Stone (2015). "TRANSIT – A Model for Simulating Infrastructure and Policy Interventions in Agriculture Logistics: Application to the Northern Australia Beef Industry". In: *Computers and Electronics in Agriculture* 114, S. 32–42. DOI: 10.1016/j.compag.2015.03.018.
- Hiles, Andrew (2007). *The Definitive Handbook of Business Continuity Management*. Zweite Ausgabe. West Sussex, Vereinigtes Königreich: John Wiley & Sons. ISBN: 978-0470516386.
- Hitchcock, Frank L. (1941). "The Distribution of a Product from Several Sources to Numerous Localities". In: *Studies in Applied Mathematics* 20.1-4, S. 224–230.
- Hofer, Florian (2009). *Management der Filiallogistik im Lebensmittelhandel - Gestaltungsempfehlungen zur Vermeidung von Out-of-Stocks*. Supply Chain Management - Beiträge zur Beschaffung und Logistik. Wiesbaden: Gabler. ISBN: 978-3834915238.
- Hoffmann, Dieter und Gergely Szolnoki (2011). *Der Premiummarkt für Weine in Deutschland - Profil von Einkaufsstätten für Premiumweine*. Mainz: Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten Rheinland-Pfalz. (Besucht am 07.01.2016).
- Hokey, Min und Gengui Zhou (2002). "Supply Chain Modeling: Past, Present and Future". In: *Computers & Industrial Engineering* 43.1-2, S. 231–249. DOI: 10.1016/S0360-8352(02)00066-9.
- Holguín-Veras, José, Miguel Jaller, Ivan Sánchez-Díaz, Shama Campbell und Catherine T. Lawson (2014). "Freight Generation and Freight Trip Generation Models". In: *Modelling Freight Transport*. Hrsg. von Lorant A. Tavasszy und Gerard de Jong. London: Elsevier, S. 43–64. ISBN: 978-0124104006.
- Holguín-Veras, José, Miguel Jaller, Luk N. Van Wassenhove, Noel Pérez und Tricia Wachtendorf (2012). "On the Unique Features of Post-Disaster Humanitarian Logistics". In: *Journal of Operations Management* 30, S. 494–506. DOI: 10.1016/j.jom.2012.08.003.

-
- Holguín-Veras, José, Miguel Jaller und Tricia Wachtendorf (2012). “Comparative Performance of Alternative Humanitarian Logistic Structures after the Port-au-Prince Earthquake: ACEs, PIEs, and CANs”. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 46, S. 1623–1640. DOI: 10.1016/j.tra.2012.08.002.
- Holguín-Veras, José, Noel Pérez, Satish Ukkusuri, Tricia Wachtendorf und Bethany Brown (2007). “Emergency Logistics Issues Affecting the Response to Katrina - A Synthesis and Preliminary Suggestions for Improvement”. In: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2022, S. 76–82.
- Holguín-Veras, José, Eiichi Taniguchi, Frederico Ferreira, Miguel Jaller, Felipe Aros-Vera und Russell G. Thompson (2014). “The Tohoku Disasters: Chief Lessons Concerning the Post Disaster Humanitarian Logistics Response and Policy Implications”. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 69, S. 86–104. DOI: 10.1016/j.tra.2014.08.003.
- Horn, Abigail Lauren (2016). “Locating the Source of Large Scale Outbreaks of Foodborne Disease”. Thesis.
- Horn, Abigail Lauren und Hanno Friedrich (2018). “Locating the Source of Large-scale Diffusion of Foodborne Contamination”. In: *arXiv preprint Physics and Society*.arXiv:1805.03137.
- Hyman, Geoffrey Maurice (1969). “The Calibration of Trip Distribution Models”. In: *Environment and Planning A* 1.1, S. 105–112.
- International Organization for Standardization (2012a). *ISO 22300:2012(en): Societal Security - Terminology*. Genf. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:22300:ed-1:v1:en> (besucht am 13. 01. 2017).
- International Organization for Standardization (2012b). *ISO 22301:2012(en): Societal Security - Business Continuity Management Systems - Guidance*. Genf. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:22301:ed-1:v2:en> (besucht am 13. 01. 2017).
- Isard, Walter (1951). “Interregional and Regional Input-Output Analysis: A Model of a Space-Economy”. In: *The Review of Economics and Statistics* 33.4, S. 318–328. DOI: 10.2307/1926459.
- Ivanova, Olga (2014). “Modelling Inter-Regional Freight Demand with Input Output, Gravity and SCGE Methodologies”. In: *Modelling Freight Transport*. Hrsg. von Lorant A. Tavasszy und Gerard de Jong. London: Elsevier, S. 13–42. ISBN: 978-0124104006.
- Ivanova, Olga, Christophe Heyndrickx, Karel Spitaels, Lorant A. Tavasszy, Walter Manshanden, Maaïke Snelder und Olaf Koops (2007). *RAEM: version 3.0 - First Report*.
- Jenelius, Erik, Tom Petersen und Lars-Göran Mattsson (2006). “Importance and Exposure in Road Network Vulnerability Analysis”. In: *Transportation Research Part A* 40, S. 537–560. DOI: 10.1016/j.tra.2005.11.003.
- Jensen, Rodney C. (1980). “The Concept of Accuracy in Regional Input-Output Models”. In: *International Regional Science Review* 5.2, S. 139–154.
- Jonkeren, Olaf und Georgios Giannopoulos (2014). “Analysing Critical Infrastructure Failure with a Resilience Inoperability Input-Output Model”. In: *Economic Systems Research* 26.1, S. 39–59. DOI: 10.1080/09535314.2013.872604.
- Kille, Christian und Martin Schwemmer (2012). *Die Top 100 der Logistik 2012/2013: Marktgrößen, Marktsegmente und Marktführer*. DVV Media Group. ISBN: 978-3871544637.
- Kirby, Howard R. (1974). “Theoretical Requirements for Calibrating Gravity Models”. In: *Transportation Research* 8.2, S. 97–104. DOI: 10.1016/0041-1647(74)90036-7.
- Köhler, Uwe, Ralf Zöllner und Manfred Wermuth (2001). *Analyse der Anwendung von Verkehrsnachfragemodellen*. Bd. 804. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik. Bonn: Bundesministerium für Verkehrs und digitale Infrastruktur. ISBN: 3934458378.

-
- Koopmans, Carl und Jan Oosterhaven (2011). "SCGE Modelling in Cost-Benefit Analysis: The Dutch Experience". In: *Research in Transportation Economics* 31, S. 29–36. DOI: 10.1016/j.retrec.2010.11.005.
- Kotzab, Herbert (2005). "Handel im Spannungsfeld von Marketing, Distribution und Kooperation". In: *Innovationen im sektoralen Marketing*. Hrsg. von Hartmut H. Holzmüller und Arnold Schuh. Heidelberg, S. 53–69. ISBN: 978-3790816389.
- Kozlenkova, Irina Valeriyevna, Tomas M. Hult, Donald J. Lund, Jeannette A. Mena und Pinar Kecec (2015). "The Role of Marketing Channels in Supply Chain Management". In: *Journal of Retailing* 91.4, S. 586–609. DOI: 10.1016/j.jretai.2015.03.003.
- Krajzewicz, Daniel, Jakob Erdmann, Michael Behrisch und Laura Bieker (2012). "Recent Development and Applications of SUMO – Simulation of Urban MObility". In: *International Journal on Advances in Systems and Measurements* 5.3-4, S. 128–138.
- Krystek, Ulrich und Stefanie Fiege (2016). "Ausführliche Erklärung Risikomanagement". In: *Gabler Wirtschaftslexikon*. URL: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/7669/risikomanagement-v10.html> (besucht am 07. 11. 2016).
- Kuhn, Heinrich und Michael G. Sternbeck (2013). "Integrative Retail Logistics: An Exploratory Study". In: *Operations Management Research* 6.1-2, S. 2–18. DOI: 10.1007/s12063-012-0075-9.
- Kumar, Sameer und Anvar Nigmatullin (2011). "A System Dynamics Analysis of Food Supply Chains – Case Study with Non-Perishable Products". In: *Simulation Modelling Practice and Theory* 19, S. 2151–2168. DOI: 10.1016/j.simpat.2011.06.006.
- Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Sachsen (2014). *Ereignisanalyse zum Hochwasser im Juni 2013 in Sachsen*. Dresden. URL: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/15180> (besucht am 31. 08. 2015).
- Larson, Richard C. (2005). "Decision Models for Emergency Response Planning". In: *The McGraw-Hill Handbook of Homeland Security*. Hrsg. von David G. Kamien. New York: McGraw Hill, S. 911–927. ISBN: 0071446656.
- Lebensmittel Praxis (2012). "Teigwaren-Absatzmenge im deutschen Lebensmittelhandel im Jahr 2011/2012". In: 2012.20, S. 51. URL: handelsdaten.de (besucht am 14. 05. 2014).
- Lebensmittel Zeitung (2011). *LZ-Report 2011/2012 - Markt- und Strukturzahlen der Nahrungs- und Genussmittelbranche*. Frankfurt am Main: Lebensmittel Zeitung.
- Lebensmittel Zeitung (2015). "IT-Sicherheitsgesetz wird den LEH Geld kosten". In: *Lebensmittel Zeitung* 16.04.2015.
- Lenzen, Manfred (2011). "Aggregation versus Disaggregation in Input–Output Analysis of the Environment". In: *Economic Systems Research* 23.1, S. 73–89. DOI: 10.1080/09535314.2010.548793.
- Lenzen, Manfred, Arne Geschke, Thomas Wiedmann, Joe Lane, Neal Anderson, Timothy Baynes, John Boland, Peter Daniels, Christopher Dey, Jacob Fry, Michalis Hadjikakou, Steven Kenway, Arunima Malik, Daniel Moran, Joy Murray, Stuart Nettleton, Lavinia Poruschi, Christian Reynolds, Hazel Rowley, Julien Ugon, Dean Webb und James West (2014). "Compiling and Using Input–Output Frameworks through Collaborative Virtual Laboratories". In: *Science of the Total Environment*, S. 241–251. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.03.062.
- Lenzen, Manfred, Keiichiro Kanemoto, Daniel Moran und Arne Geschke (2012). "Mapping the Structure of the World Economy". In: *Environmental Science and Technology* 46, S. 8374–8381. DOI: 10.1021/es300171x. URL: <http://worldmrio.com>.
- Lenzen, Manfred, Daniel Moran, Keiichiro Kanemoto und Arne Geschke (2013). "Building Eora: A Global Multi-Region Input-Output Database at High Country and Sector Resolution". In: *Economic Systems Research* 25, S. 20–49. DOI: 10.1080/09535314.2013.769938.

-
- Lenzen, Manfred, Lise-Lotte Pade und Jesper Munksgaard (2004). "CO2 Multipliers in Multi-Region Input-Output Models". In: *Economic Systems Research* 16.4, S. 391–412. DOI: 10.1080/0953531042000304272.
- Leontief, Wassily W. (1966). *Input-Output Economics*. New York: Oxford University Press.
- Leontief, Wassily W. und Alan Strout (1963). "Multiregional Input-Output Analysis". In: *Structural Interdependence and Economic Development - Proceedings of an International Conference on Input-Output Techniques, Geneva, September 1961*. Hrsg. von Tibor Barna. London: Macmillan, S. 119–150. ISBN: 978-1349816361.
- Liedtke, Gernot (2006). "An Actor-Based Approach to Commodity Transport Modelling". Thesis.
- Liedtke, Gernot (2009). "Principles of Micro-Behavior Commodity Transport Modeling". In: *Transportation Research Part E* 45, S. 795–809. DOI: 10.1016/j.tre.2008.07.002.
- Liedtke, Gernot und Hanno Friedrich (2012). "Generation of Logistics Networks in Freight Transportation Models". In: *Transportation* 39.6, S. 1335–1351. DOI: 10.1007/s11116-012-9386-9.
- LKatSG (1999). "Gesetz über den Katastrophenschutz (Landeskatastrophenschutzgesetz)". In: *Gesetzblatt Baden-Württemberg*, S. 625 ff.
- Lohse, Dieter, Gerald Bachner, Birgit Dugge und Heidrun Teichert (1997). *Ermittlung von Verkehrsströmen mit n-linearen Gleichungssystemen unter Beachtung von Nebenbedingungen einschließlich Parameterschätzung*. Bd. Heft 5 / 1997. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Straßenverkehr. Dresden: Technische Universität Dresden.
- Long, Douglas C. und Donald F. Wood (1995). "The Logistics of Famine Relief". In: *Journal of Business Logistics* 16.1, S. 213–230.
- Magnus, Karl-Hendrik (2007). *Erfolgreiche Supply-Chain-Kooperation zwischen Einzelhandel und Konsumgüterherstellern - Eine empirische Untersuchung der Händlerperspektive*. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag. ISBN: 978-3835094871. DOI: 10.1007/978-3-8350-9487-1.
- Mahmoudifard, Seyed Mehdi (2016). "Travel Behavior Analysis of Agricultural Commodities in a Freight Activity Microsimulation Framework". Thesis.
- Manheim, Marvin L. (1979). *Fundamentals of Transportation Systems Analysis, Volume 1 - Basic Concepts*. Cambridge, Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology Press. ISBN: 978-0262131292.
- Manitz, Juliane, Thomas Kneib, Martin Schalather, Dirk Helbing und Dirk Brockmann (2014). "Origin Detection During Food-borne Disease Outbreaks - A Case Study of the 2011 EHEC/HUS Outbreak in Germany". In: *PLoS Currents: Outbreaks* 6. DOI: 10.1371/currents.outbreaks.f3fdeb08c5b9de7c09ed9cbcef5f01f2.
- Márquez, Luis, Víctor Cantillo und Carlos Paternina (2017). *Accessibility Variables in Freight Generation Models for Agricultural Products: A Proposal of Indicators Based on Spatial Analysis*. Shanghai, China: World Conference on Transport Research - WCTR 2016.
- Martin, Brian V., Frederick W. Memmott und Alexander J. Bone (1961). *Principles and Techniques of Predicting Future Demand for Urban Area Transportation*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Marxer, Michael und Gerald Wittmann (2009). "Normative Modellierungen - Mit Mathematik Realität(en) gestalten". In: *Mathematik lehren* April 2009.153.
- Matthews, Robin B., Nigel G. Gilbert, Alan Roach, J. Gary Polhill und Nick M. Gotts (2007). "Agent-Based Land-Use Models: A Review of Applications". In: *Landscape Ecology* 22.10, S. 1447–1459. DOI: 10.1007/s10980-007-9135-1.
- McEntire, Jennifer und Tejas Bhatt (2013). *Pilot Projects for Improving Product Tracing along the Food Supply System - Final Report*. Chicago, Illinois: Institute of Food Technologists.

-
- McKinney, Joseph H., Arthur Radford, Alexander Stathacopoulos, Georgia Aifadopoulou und George Giannopoulos (2015). "The Business Value of Supply Chain Visibility and Monitoring". In: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2479, S. 86–92. DOI: 10.3141/2479-11.
- McKinnon, Alan (2006). "Life Without Trucks: The Impact of a Temporary Disruption of Road Freight Transport on a National Economy". In: *Journal of Business Logistics* 27.2, S. 227–250.
- Meng, Bo, Yaxiong Zhang und Satoshi Inomata (2013). "Compilation and Applications of IDE-JETRO's International Input-Output Tables". In: *Economic Systems Research* 25.1, S. 122–142. DOI: 10.1080/09535314.2012.761597.
- Menski, Ute und Joachim Gardemann (2008). *Auswirkungen des Ausfalls Kritischer Infrastrukturen auf den Ernährungssektor am Beispiel des Stromausfalls im Münsterland im Herbst 2005 - Empirische Untersuchung im Auftrag der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE)*. Münster.
- Menski, Ute, Stefanie Wahl, Hagen Tischer, Lars Gerhold und Janina Braun (2016). "Solange der Vorrat reicht ... Ergebnisse zweier Befragungen von privaten Haushalten zur Bevorratung mit Lebensmitteln im Falle einer Versorgungskrise". In: *Neue Strategien der Ernährungsnotfallvorsorge - Ergebnisse aus dem Forschungsverbund NeuENV*. Hrsg. von Ute Menski. Berlin, S. 95–118. ISBN: 978-3944675367.
- Mercenier, Jean, María Teresa Álvarez-Martínez, Andries Brandsma, Francesco Di Comite, Olga Diukanova, d'Artis Kancs, Patrizio Lecca, Montserrat López-Cobo, Philippe Monfort, Damiaan Persyn, Alexandra Rillaers, Mark J. P. M. Thissen und Wouter Torfs (2016). *RHOMOLO-v2 Model Description - A Spatial Computable General Equilibrium Model for EU Regions and Sectors*. Luxembourg: Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union. ISBN: 978-9279515385. DOI: 10.2791/18446.
- Miller, Ronald E. und Peter D. Blair (2009). *Input-Output Analysis - Foundations and Extensions*. Zweite Ausgabe. Cambridge, Vereinigtes Königreich: Cambridge University Press. ISBN: 978-0521517133.
- Miller-Hooks, Elise, Xiaodong Zhang und Reza Faturechi (2012). "Measuring and Maximizing Resilience of Freight Transportation Networks". In: *Computers & Operations Research* 39, S. 1633–1643. DOI: 10.1016/j.cor.2011.09.017.
- Minx, Jan, Giovanni Baiocchi, Thomas Wiedmann, John Barrett, Felix Creutzig, Kuishuang Feng, Michael Förster, Peter-Paul Pichler, Helga Weisz und Klaus Hubacek (2013). "Carbon Footprints of Cities and other Human Settlements in the UK". In: *Environmental Research Letters* 8.3. DOI: 10.1088/1748-9326/8/3/035039.
- Moeckel, Rolf und Rick Donnelly (2016). "A Model for National Freight Flows, Distribution Centers, Empty Trucks and Urban Truck Movements". In: *Transportation Planning and Technology* 39.7, S. 693–711. DOI: 10.1080/03081060.2016.1204091.
- Müller-Hagedorn, Lothar und Waldemar Toporowski (2006). "Handelsbetriebe - Arbeitspapier". In: *Arbeitspapiere des Seminars für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Handel und Distribution der Universität zu Köln* 2006.19. ISSN: 0941-9004.
- Müller-Hagedorn, Lothar, Waldemar Toporowski und Stephan Zielke (2012). *Der Handel: Grundlagen - Management - Strategien*. 2. vollständig überarbeitete Auflage. Kohlhammer. ISBN: 978-3170192829.
- Murray-Tuite, Pamela und Hani Mahmassani (2004). "Methodology for Determining Vulnerable Links in a Transportation Network". In: *Journal of the Transportation Research Board* 1882, S. 88–96. DOI: 10.3141/1882-11.
- Noleppa, Steffen und Matti Carlsburg (2016). *Auf der Ölspur - Berechnungen zu einer palmölfreien Welt*. Berlin: WWF Deutschland. ISBN: 978-3946211051.
- O'Hehir, Michael (2007). "What Is a Business Continuity Planning Strategy?" In: *The Definitive Handbook of Business Continuity Management*. Hrsg. von Andrew Hiles. Second Edition. West Sussex, Vereinigtes Königreich: John Wiley & Sons, S. 27–45. ISBN: 978-0470516386.
-

-
- Okuyama, Yasuhide (2014). "Disaster and Economic Structural Change: Case Study on the 1995 Kobe Earthquake". In: *Economic Systems Research* 26.1, S. 98–117. DOI: 10.1080/09535314.2013.871506.
- Oloruntoba, Richard (2010). "An Analysis of the Cyclone Larry Emergency Relief Chain: Some Key Success Factors". In: *International Journal of Production Economics* 126, S. 85–101. DOI: 10.1016/j.ijpe.2009.10.013.
- Oosterhaven, Jan (1981). *Interregional Input-Output Analysis and Dutch Regional Policy Problems*. Aldershot, Vereinigtes Königreich: Gower. ISBN: 978-0566005213.
- Oracle (2014). *Java, Version 1.8*. URL: <http://www.java.com> (besucht am 05. 05. 2014).
- Ottmöller, Ole und Hanno Friedrich (2016). "Opportunities of Sectoral Freight Transport Demand Modelling". In: *Case Studies on Transport Policy* 4.1, S. 9–12. ISSN: 2213624X. DOI: 10.1016/j.cstp.2015.08.003.
- Outwater, Maren, Colin A. Smith, Kermit Wies, Supin Yoder, Bhargava Sana und Jason Chen (2013). "Tour Based and Supply Chain Modeling for Freight: Integrated Model Demonstration in Chicago". In: *Transportation Letters: The International Journal of Transportation Research* 5.2, S. 55–66. DOI: 10.1179/1942786713Z.0000000009.
- Park, JiYoung, JoongKoo Cho, Peter Gordon, James E. Moore II, Harry W. Richardson und SungSu Yoon (2011). "Adding a Freight Network to a National Interstate Input-Output Model: A TransNIEMO Application for California". In: *Journal of Transport Geography* 19, S. 1410–1422.
- Park, JiYoung und Peter Gordon (2005). "An Evaluation of Input-Output Aggregation Error Using a New MRIO Model". In: Paper presented at North American Meetings of the Regional Science Association, International 52nd Annual Conference, 10-12 November, Las Vegas, USA.
- Pfaffenbichler, Paul, Günter Emberger und Simon Shepherd (2010). "A System Dynamics Approach to Land Use Transport Interaction Modelling: The Strategic Model MARS and its Application". In: *System Dynamics Review* 26.3, S. 262–282. DOI: 10.1002/sdr.451.
- Pfohl, Hans-Christian (2004). *Logistiksysteme - Betriebswirtschaftliche Grundlagen*. 7. korrigierte und aktualisierte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer. ISBN: 978-3662084137. DOI: 10.1007/978-3-662-08413-7.
- Piniör, Beate (2013). "Application of Models for Safeguarding the Milk Supply Chain". Thesis.
- Platz, Uwe (2005). *Vulnerabilität von Logistikstrukturen im Lebensmittelhandel: eine Studie zu den Logistikstrukturen des Lebensmittelhandels, möglichen Gefahrenquellen und den Auswirkungen verschiedener Gefahren bei einem Ereigniseintritt*. Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz - Reihe A: Angewandte Wissenschaft - Heft 512. Bonn: Landwirtschaftsverlag. ISBN: 3784305121.
- Polzin, Javier Morato, Bernd Kirchner, Achim Pollert und Marc Constantin Pollert (2016). *Duden Wirtschaft von A bis Z: Grundlagenwissen für Schule und Studium, Beruf und Alltag*. Bd. 6. Auflage. Mannheim: Duden. ISBN: 978-3411709663.
- Ponomarov, Serhiy Y. und Mary C. Holcomb (2009). "Understanding the Concept of Supply Chain Resilience". In: *The International Journal of Logistics Management* 20.1, S. 124–143. DOI: 10.1108/09574090910954873.
- Pourabdollahi, Zahra, Behzad Karimi, Kouros Mohammadian und Kazuya Kawamura (2017). "A Hybrid Agent-Based Computational Economics and Optimization Approach for Supplier Selection Problem". In: *International Journal of Transportation Science and Technology* 6.4, S. 344–355. DOI: 10.1016/j.ijtst.2017.09.004.
- Prater, Edmund, Markus Biehl und Michael Alan Smith (2001). "International Supply Chain Agility - Tradeoffs between Flexibility and Uncertainty". In: *International Journal of Operations & Production Management* 21.5/6, S. 823–839.
- Prümper, Wolfgang (1979). *Logistiksysteme im Handel: die Organisation der Warenprozesse in Grossbetrieben des Einzelhandels*. Frankfurt am Main: Verlag Harri Deutsch. ISBN: 978-3871445248.

-
- Ravenstein, Ernst Georg (1885). "The Laws of Migration". In: *Journal of the Statistical Society of London* 48.2, S. 167–235. DOI: 10.2307/2979181.
- Rawls, Carmen G. und Mark A. Turnquist (2012). "Pre-Positioning and Dynamic Delivery Planning for Short-Term Response Following a Natural Disaster". In: *Socio-Economic Planning Sciences* 46, S. 46–54. DOI: 10.1016/j.seps.2011.10.002.
- Reggiani, Aura (2013). "Network Resilience for Transport Security: Some Methodological Considerations". In: *Transport Policy* 28, S. 63–68. DOI: 10.1016/j.tranpol.2012.09.007.
- Reiche, Sascha (2018). *A Disaggregate Freight Transport Model for Germany*. Springer Vieweg. ISBN: 978-3658191528. DOI: 10.1007/978-3-658-19153-5.
- Rennemo, Sigrid Johansen, Kristina Fougner Rø, Lars Magnus Hvattum und Gregorio Tirado (2014). "A Three-Stage Stochastic Facility Routing Model for Disaster Response Planning". In: *Transportation Research Part E* 62, S. 116–135. DOI: 10.1016/j.tre.2013.12.006.
- Riekhof, Hans-Christian (2008). *Retail Business in Deutschland - Perspektiven, Strategien, Erfolgsmuster*. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden: Gabler. ISBN: 978-3834904492.
- Ries, Brian (2012). "Hurricane Sandy: Grocery Stores' Empty Shelves". In: *The Daily Beast* 29.10.2012. URL: <http://www.thedailybeast.com/articles/2012/10/29/hurricane-sandy-grocery-stores-empty-shelves.html> (besucht am 26.09.2016).
- Robert Koch Institut (2011). *Final Presentation and Evaluation of Epidemiological Findings in the EHEC O104:H4 Outbreak, Germany 2011*. Berlin.
- Robert Koch Institut (2016). *SurvStat@RKI 2.0*. URL: <https://survstat.rki.de> (besucht am 18.10.2016).
- Romeike, Frank und Peter Hager (2009). *Erfolgsfaktor Risiko-Management 2.0*. 2. Auflage. Wiesbaden: Gabler GWV Fachverlage. ISBN: 978-3834908957.
- Romeike, Frank und Michael Huth (2016). "Struktur des Risikomanagements in der Logistik". In: *Risikomanagement in der Logistik. Konzepte – Instrumente – Anwendungsbeispiele*. Hrsg. von Michael Huth und Frank Romeike. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 49–84.
- Rühl, Frederik (2017). "Das Konzept des Transportmanagements zur Beeinflussung der Güterverkehrsnachfrage im Rahmen der kommunalen Verkehrsplanung". Thesis.
- Santos, Joost R. und Yacov Y. Haimos (2004). "Modeling the Demand Reduction Input-Output (I-O) Inoperability Due to Terrorism of Interconnected Infrastructures". In: *Risk Analysis* 24.6, S. 1437–1451.
- Santos, Joost R., Krista Danielle S. Yu, Sheree Ann T. Pagsuyoin und Raymond R. Tan (2014). "Time-Varying Disaster Recovery Model for Interdependent Economic Systems Using Hybrid Input-Output and Event Tree Analysis". In: *Economic Systems Research* 26.1, S. 60–80. DOI: 10.1080/09535314.2013.872602.
- Schade, Burkhard (2005a). "Volkswirtschaftliche Bewertung von Szenarien mit System Dynamics - Bewertung von nachhaltigen Verkehrsszenarien mit ESCOT". Thesis.
- Schade, Wolfgang (2005b). *Strategic Sustainability Analysis: Concept and Application for the Assessment of European Transport Policy*. Baden-Baden: Nomos.
- Schade, Wolfgang, Angelo Martino und Michele Roda (1999). "ASTRA - Assessment of Transport Strategies". In: *Proceedings of the Wellington System Dynamics Conference*.
- Schnabel, Werner und Dieter Lohse (2011). *Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung: Band 2 - Verkehrsplanung*. 3., vollständig überarbeitete Auflage. Berlin: Beuth. ISBN: 978-3410172727.

-
- Schnedlitz, Peter und Christoph Teller (1999). "Aktuelle Perspektiven der Handelslogistik". In: *Logistikforschung: Entwicklungsgrundzüge und Gestaltungsansätze*. Hrsg. von Hans-Christian Pfohl und Ulli Arnold. Berlin: Erich Schmidt, S. 233–250. ISBN: 978-3503058419.
- Schubert, Markus, Tobias Kluth, Gregor Nebauer, Ralf Ratzenberger, Stefanos Kotzagiorgis, Bernd Butz, Walter Schneider und Markus Leible (2014). *Verkehrsverflechtungsprognose 2030 - Los 3: Erstellung der Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen unter Berücksichtigung des Luftverkehrs*. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur.
- Schulz, Carola (2011). "The Identification of Critical Road Infrastructures - The Case of Baden-Wuerttemberg". Thesis.
- Scott, Darren M., David C. Novak, Lisa Aultman-Hall und Feng Guo (2006). "Network Robustness Index: A New Method for Identifying Critical Links and Evaluating the Performance of Transportation Networks". In: *Journal of Transport Geography* 14, S. 215–227. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2005.10.003.
- SeaRates LP (2016). *Distances and Time - Online Tool for Calculation Distances and Shipping Rates Between Air and Sea Ports*. Glasgow, Vereinigtes Königreich. URL: <https://www.searates.com/reference/portdistance/> (besucht am 13.01.2016).
- Sen, Ashish (1986). "Maximum Likelihood Estimation of Gravity Model Parameters". In: *Journal of Regional Science* 26.3, S. 461–474.
- Sen, Ashish und Siim Sööt (1981). "Selected Procedures for Calibrating the Generalized Gravity Model". In: *Papers in Regional Science* 48.1, S. 165–176. DOI: 10.1111/j.1435-5597.1981.tb01153.x.
- Shapiro, Jeremy F. (2006). *Modeling the Supply Chain*. 2. Edition. Cengage Learning. ISBN: 978-0495126096.
- Sheffi, Yossi (2005). *The Resilient Enterprise - Overcoming Vulnerability for Competitive Advantage*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press. ISBN: 978-0262693493.
- IT-Sicherheitsgesetz (2015). "Gesetz zur Erhöhung der Sicherheit informationstechnischer Systeme". In: *Bundesgesetzblatt Teil I Nr. 31*,
- Siebrandt, Michael (2010). *Professionelles Risikomanagement in der Logistik*. 1. Auflage. Hamburg: DVV Media Group. ISBN: 978-3871544347.
- Spiess, Heinz (1987). "A Maximum Likelihood Model for Estimating Origin-Destination Matrices". In: *Transportation Research Part B* 21.5, S. 395–412.
- Starr, Martin K. und Luk N. Van Wassenhove (2014). "Introduction to the Special Issue on Humanitarian Operations and Crisis Management". In: *Production and Operations Management* 23.6, S. 925–937. ISSN: 1059-1478. DOI: 10.1111/poms.12227.
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2014). *Landwirtschaftliche Betriebe mit Viehhaltung und Zahl der Tiere zum 01.03.2010*.
- Statistisches Amt der Europäischen Union (2012). *Distance (in km) between NUTS regions*. Luxembourg. URL: <http://ec.europa.eu/eurostat/tercet/flatfiles.do> (besucht am 18.06.2015).
- Statistisches Bundesamt (2001). *Endbericht zum Projekt A Physical Input-Output-Table for Germany 1995*. Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2003a). *Monetäre, physische und Zeit-Input-Output-Tabellen - Teil 1: Konzepte und Beispiel*. Sozioökonomisches Berichtssystem für eine nachhaltige Gesellschaft. Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2003b). *Monetäre, physische und Zeit-Input-Output-Tabellen - Teil 2: Analytische Auswertung*. Sozioökonomisches Berichtssystem für eine nachhaltige Gesellschaft. Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2010). *Input-Output-Rechnung im Überblick*. Wiesbaden.

-
- Statistisches Bundesamt (2013). *Aus- und Einfuhr (Außenhandel): Deutschland, 2012, Warenverzeichnis (6-Steller)*. Wiesbaden. URL: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online> (besucht am 29.08.2013).
- Statistisches Bundesamt (2014a). *Bevölkerungsstand zum 31.12.2012*. Wiesbaden. URL: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online> (besucht am 15.09.2014).
- Statistisches Bundesamt (2014b). *Produktionswert, -menge, -gewicht und Unternehmen der Vierteljährlichen Produktionserhebung: Deutschland, Quartale, Güterverzeichnis (9-Steller) 2012*. Wiesbaden. URL: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online> (besucht am 02.08.2014).
- Statistisches Bundesamt (2016). *Umsatz im Einzelhandel (real/nominal) (bereinigte Werte): Deutschland, Monate, Bereinigungsverfahren, Wirtschaftszweige 2012*. Wiesbaden. URL: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online> (besucht am 05.01.2016).
- Statistisches Bundesamt (2017a). *Gastgewerbe*. URL: https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/BinnenhandelGastgewerbeTourismus/Glossar_BinnenhandelGastgewerbe/Gastgewerbe.html (besucht am 10.07.2017).
- Statistisches Bundesamt (2017b). *Input-Output-Tabelle (Revision 2014) - Inländische Produktion (Herstellungspreise): Deutschland, 2012*. Wiesbaden. URL: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online> (besucht am 10.07.2017).
- Sterman, John David (2001). "System Dynamics Modelling: Tools for Learning in a Complex World". In: *California Management Review* 43.4, S. 8–25.
- Straube, Frank und Hans-Christian Pfohl (2008). *Trends und Strategien in der Logistik - Globale Netzwerke im Wandel*. Bremen: Bundesvereinigung Logistik (BVL). ISBN: 978-3871543883.
- Strecker, Otto, Josef Reichert und Paul Pottebaum (1996). *Marketing in der Agrar- und Ernährungswirtschaft: Grundlagen, Strategien, Maßnahmen*. Frankfurt am Main: DLG-Verlag.
- Tang, Christopher und Brian Tomlin (2008). "The Power of Flexibility for Mitigating Supply Chain Risks". In: *International Journal of Production Economics* 116.1, S. 12–27. DOI: 10.1016/j.ijpe.2008.07.008.
- Tavasszy, Lorant A. (2008). "Freight Modeling - An Overview of International Experiences". In: *Freight Demand Modeling - Tools for Public-Sector Decision Making*. Hrsg. von Kathleen L. Hancock. Bd. 40. Washington D.C.: Transportation Research Board, S. 47–55.
- Tavasszy, Lorant A., Kees Ruijgrok und Igor Y. Davydenko (2012). "Incorporating Logistics in Freight Transport Demand Models: State-of-the-Art and Research Opportunities". In: *Transport Reviews* 32.2, S. 203–219. DOI: 10.1080/01441647.2011.644640.
- Tavasszy, Lorant A., Mark J. P. M. Thissen und Jan Oosterhaven (2011). "Challenges in the Application of Spatial Computable General Equilibrium Models for Transport Appraisal". In: *Research in Transportation Economics* 31, S. 12–18. DOI: 10.1016/j.retrec.2010.11.003.
- Thaller, Carina, Uwe Clausen und Raymond Kamppmann (2016). "System Dynamics Based, Microscopic Freight Transport Simulation for Urban Areas - A Methodological Approach". In: *Commercial Transport - Proceedings of the 2nd Interdisciplinary Conference on Production, Logistics and Traffic 2015*. Hrsg. von Uwe Clausen, Hanno Friedrich, Carina Thaller und Christiane Geiger. Springer, S. 55–72. ISBN: 978-3319212654. DOI: 10.1007/978-3-319-21266-1.
- Thévenaz, Céline und Sandra L. Resodihardjo (2010). "All the Best Laid Plans ... Conditions Impeding Proper Emergency Response". In: *International Journal of Production Economics* 126, S. 7–21. DOI: 10.1016/j.ijpe.2009.09.009.
- Tomasini, Rolando und Luk N. Van Wassenhove (2009). *Humanitarian Logistics*. London. ISBN: 978-0230205758.

-
- Toporowski, Waldemar (1996). *Logistik im Handel - Optimale Lagerstruktur und Bestellpolitik einer Filialunternehmung*. Schriften zur Handelsforschung. Heidelberg: Physica-Verlag. ISBN: 978-3662123935. DOI: 10.1007/978-3-662-12393-5.
- Toyomane, Norimichi (1988). *Multiregional Input-Output Models in Long-Run Simulation*. Springer. ISBN: 978-9024736799.
- TradeDimensions (2007). *TOP-Firmen 2008 - Der Lebensmittelhandel in Deutschland Food/Nonfood*.
- TradeDimensions (2014a). *Aggregation der Geschäfte nach Kreis, Handelszentrale, Typ, Anzahl Geschäfte*.
- TradeDimensions (2014b). *Lager- und Bannerreport 2014 - Report der Lager- und Banneranbindung mit Lagerprofilen*.
- TradeDimensions (2014c). *Ranking TOP-Firmen nach Gesamtumsatz 2012*.
- Tufinkgi, Philippe (2006). *Logistik im Kontext internationaler Katastrophenhilfe - Entwicklung eines logistischen Referenzmodells für Katastrophenhilfe*. Schriftenreihe Logistik der Kühne-Stiftung. Haupt. ISBN: 978-3258070360.
- Tukker, Arnold, Tatyana Bulavskaya, Stefan Giljum, Arjan de Koning, Stephan Lutter, Moana Simas, Konstantin Stadler und Richard Wood (2014). *The Global Resource Footprint of Nations - Carbon, Water, Land and Materials Embodied in Trade and Final Consumption Calculated with EXIOBASE 2.1*. Leiden, Delft, Wien, Trondheim. ISBN: 978-3200036376.
- Tukker, Arnold, Arjan de Koning, Richard Wood, Troy Hawkins, Stephan Lutter, Jose Acosta, Jose M. Rueda Cantuche, Maaïke Bouwmeester, Jan Oosterhaven, Thomas Drosowski und Jeroen Kuenen (2013). "EXIOPOL - Development and Illustrative Analyses of a Detailed Global MR EE SUT/IOT". In: *Economic Systems Research* 25, S. 50–70. DOI: 10.1080/09535314.2012.761952.
- Tukker, Arnold und Erik Dietzenbacher (2013). "Global Multiregional Input-Output Frameworks: An Introduction and Outlook". In: *Economic Systems Research* 25.1, S. 1–19. DOI: 10.1080/09535314.2012.761179.
- UPS (2016). *Laufzeitkarten für Europa - Beförderungszeiten in Arbeitstagen*. URL: https://wwwapps.ups.com/maps_europe (besucht am 16. 01. 2016).
- Vahrenkamp, Richard und Herbert Kotzab (2012). *Logistik: Management und Strategien*. 7. Auflage. Oldenbourg Wissenschaftsverlag. ISBN: 978-3486705799.
- van de Riet, Odette, Gerard de Jong und Warren Walker (2007). "Drivers of Freight Transport Demand and Their Policy Implications". In: *Building Blocks for Sustainable Transport: Obstacles, Trends, Solutions*. Hrsg. von Adriaan Perreels, Veli Himanen und Martin Lee-Gosselin. Emerald, S. 73–102. ISBN: 978-0080447094.
- Van Wassenhove, Luk N. (2006). "Humanitarian Aid Logistics - Supply Chain Management in High Gear". In: *Journal of the Operational research Society* 57.5, S. 475–489.
- Verband der deutschen Fruchtsaft-Industrie e.V. (2012). *Die deutsche Fruchtsaft-Industrie in Zahlen*. Bonn. (Besucht am 12. 02. 2014).
- Verband deutscher Mühlen (2012). *Mahlen in Zahlen*. (Besucht am 27. 01. 2014).
- Vlajic, Jelena V., Jack G. A. J. van der Vorst und René Haijema (2012). "A Framework for Designing Robust Food Supply Chains". In: *International Journal of Production Economics* 137, S. 176–189. DOI: 10.1016/j.ijpe.2011.11.026.
- von Schlippenbach, Vanessa und Ferdinand Pavel (2011). "Konzentration im Lebensmitteleinzelhandel: Hersteller sitzen am kürzeren Hebel". In: *Wochenbericht des DIW Berlin* 13. ISSN: 0012-1304.
- Wagner, Stephan M. und Christoph Bode (2006). "An Empirical Investigation into Supply Chain Vulnerability". In: *Journal of Purchasing & Supply Management* 12.6, S. 301–312. DOI: 10.1016/j.pursup.2007.01.004.

-
- Wagner, Stephan M. und Christoph Bode (2009). "Dominant Risks and Risk Management Practices in Supply Chains". In: *Supply Chain Risk - A Handbook of Assessment, Management, and Performance*. Hrsg. von George A. Zsidisin und Bob Ritchie. Springer, S. 271–290. ISBN: 978-0387799339. DOI: 10.1007/978-0-387-79934-6_17.
- Wagner, Stephan M. und Nikrouz Neshat (2010). "Assessing the Vulnerability of Supply Chains Using Graph Theory". In: *International Journal of Production Economics* 126.1, S. 121–129. DOI: 10.1016/j.ijpe.2009.10.007.
- Weber, Christopher L. (2008). *Uncertainties in Constructing Environmental Multiregional Input-Output Models*. Sevilla, Spanien: International Input-Output Meeting on Managing the Environment, 9.-11. Juli.
- Weber, Jürgen, Udo Kamps und Robert Gillenkirch (2016). "Ausführliche Erklärung Risiko". In: *Gabler Wirtschaftslexikon*. URL: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/6780/risiko-v15.html> (besucht am 07. 11. 2016).
- Weiser, Armin A., Stefan Gross, Anika Schielke, Jan-Frederik Wigger, Andrea Ernert, Julian Adolphs, Alexandra Fetsch, Christine Müller-Graf, Annemarie Käsbohrer, Olaf Mosbach-Schulz, Bernd Appel und Matthias Greiner (2013). "Trace-Back and Trace-Forward Tools Developed Ad Hoc and Used During the STEC O104:H4 Outbreak 2011 in Germany and Generic Concepts for Future Outbreak Situations". In: *Foodborne Pathogens and Disease* 10.3, S. 263–269. DOI: 10.1089/fpd.2012.1296.
- Widera, Adam und Bernd Hellingrath (2011). "Improving Humanitarian Logistics - Towards a Tool-Based Process Modeling Approach". In: *Logistikmanagement - Herausforderungen, Chancen & Lösungen Band 2*. Hrsg. von Eric Sucky, Björn Asdecker, Alexander Dobhan, Sabine Haas und Jonas Wiese. Bamberg: University of Bamberg Press, S. 273–296. ISBN: 978-3863090234.
- Wiedmann, Thomas (2009). "A Review of Recent Multi-Region Input-Output Models Used for Consumption-Based Emission and Resource Accounting". In: *Ecological Economics* 69, S. 211–222. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2009.08.026.
- Wiedmann, Thomas, Harry C. Wilting, Manfred Lenzen, Stephan Lutter und Viveka Palm (2011). "Quo Vadis MRIO? Methodological, Data and Institutional Requirements for Multi-Region Input-Output Analysis". In: *Ecological Economics* 70, S. 1937–1945. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2011.06.014.
- Wiedmann, Thomas, Harry Wilting, Stephan Lutter, Viveka Palm, Stefan Giljum, Anders Wadeskog und Durk Nijdam (2009). *Development of a Methodology for the Assessment of Global Environmental Impacts of Traded Goods and Services*. ISBN: 978-1849111218.
- Wieland, Andreas (2013). "Selecting the Right Supply Chain Based on Risks". In: *Journal of Manufacturing Technology Management* 24.5, S. 652–668.
- Wieland, Andreas und Carl Marcus Wallenburg (2012). "Dealing with Supply Chain Risks: Linking Risk Management Practices and Strategies to Performance". In: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 42.10, S. 887–905. DOI: 10.1108/09600031211281411.
- Wilkie, Christina, Janean Chun und Alice Hines (2012). "Hurricane Sandy Disrupts Food Distribution, 'Thousands of Trucks' in Limbo". In: *Huffington Post* 31.10.2012. URL: http://www.huffingtonpost.com/2012/10/31/hurricane-sandy-disrupts-food-distribution_n_2049778.html (besucht am 26. 09. 2016).
- Wilkins, Melinda, Ernest Julian, Kim Kutzko und Sarah Rockhill (2015). "Outbreak Investigations (Epidemiology)". In: *Regulatory Foundations for the Food Protection Professional*. Hrsg. von Julia Bradsher, Gerald Wojtala, Craig Kaml, Christopher Weiss und David Read. New York: Springer, S. 105–124. ISBN: 978 1493906499. DOI: 10.1007/978-1-4939-0650-5.
- Williams, Ian (1976). "A Comparison of Some Calibration Techniques for Doubly Constrained Models with an Exponential Cost Function". In: *Transportation Research* 10, S. 91–104.

-
- Wilson, Alan Geoffrey (1970). "The Use of the Concept of Entropy in System Modelling". In: *Journal of the Operational Research Society* 21.2, S. 247–265. DOI: 10.1057/jors.1970.48.
- Wilson, Martha C. (2007). "The Impact of Transportation Disruptions on Supply Chain Performance". In: *Transportation Research Part E* 43, S. 295–320. DOI: 10.1016/j.tre.2005.09.008.
- Winkler, Peter (2010). *Empirische Wirtschaftsforschung und Ökonometrie*. Berlin Heidelberg: Springer. ISBN: 978-3642145070. DOI: 10.1007/978-3-642-14507-0.
- Wirtschaftsvereinigung Alkoholfreie Getränke e.V. (2012). *Entwicklung des Pro-Kopf-Verbrauchs von Alkoholfreien Getränken nach Getränkearten 2005 - 2012*. (Besucht am 12. 02. 2014).
- Wittenbrink, Paul (2013). "Risiken im Transport- und Logistikbereich". In: *Internationales Verkehrswesen* 65.2.
- Yamada, Mitsuo (2015). "Construction of a Multi-Regional Input-Output Table for Nagoya Metropolitan Area, Japan". In: *Journal of Economic Structures* 4.11, S. 1–18. DOI: 10.1186/s40008-015-0022-7.
- Yu, Krista Danielle S., Raymond R. Tan, Kathleen B. Aviso, Michael Angelo B. Promentilla und Joost R. Santos (2014). "A Vulnerability Index for Post-Disaster Key Sector Prioritization". In: *Economic Systems Research* 26.1, S. 81–97. DOI: 10.1080/09535314.2013.872603.
- Zäh, Michael F, Niklas Möller und Wolfgang Vogl (2005). "Symbiosis of Changeable and Virtual Production – The Emperor's New Clothes or Key Factor for Future Success?" In: *Proceedings of the 1st Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production*. München, S. 3–10.
- Zentes, Joachim, Fabian Lehnert, Frank Beham und Juliane Roßbach (2012). *Extremereignisse - eine unkontrollierbare Gefahr? Risikominimierende Strategien für herstellende Unternehmen*.
- Zentes, Joachim, Bernhard Swoboda, Dirk Morschett und Hanna Schramm-Klein (2012). *Handbuch Handel. Strategien - Perspektiven - Internationaler Wettbewerb*. Bd. 2. Auflage. Wiesbaden: Springer Gabler. ISBN: 978-3834934239. DOI: 10.1007/978-3-8349-3847-3_14.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1	Aufbau der Arbeit	4
Abbildung 2.1	Handelsverflechtungen im System der Lebensmittelwirtschaft	6
Abbildung 2.2	Umsatzverteilung auf Verkaufskanäle in Prozent des Gesamtumsatzes in Euro	8
Abbildung 2.3	Zusammenwirken von Handel, Logistik und Verkehr	11
Abbildung 2.4	Prozesse in der Supply-Chain	17
Abbildung 2.5	Risiken klassifiziert nach Ursprung	18
Abbildung 2.6	Zusammenhang zwischen Robustheit, Resilienz und Agilität	19
Abbildung 2.7	Ungleichgewicht zwischen Transportnachfrage und -angebot im Falle einer Hitzewelle	35
Abbildung 3.1	Einordnung des vorgestellten Modells	47
Abbildung 4.1	Erweiterter 5-Stufen-Ansatz der Güterverkehrsmodellierung	50
Abbildung 4.2	Übersicht über Herausforderungen und Methoden in der Güterverkehrsmodellierung	51
Abbildung 4.3	Beispiel eines Causal-Loop-Diagramms zum Lagerbestand	53
Abbildung 4.4	Beispiel eines Stock-und-Flow-Diagramms zum Lagerbestand	53
Abbildung 4.5	Schematische Darstellung einer Input-Output-Tabelle	55
Abbildung 4.6	Umfang unterschiedlicher Modellierungsmethoden	68
Abbildung 5.1	Zusammenhang zwischen gesammelten, aufbereiteten und modellierten Daten	71
Abbildung 5.2	Schema der detaillierten, physischen Input-Output-Tabelle	74
Abbildung 5.3	Verflechtung der Gütergruppen	75
Abbildung 5.4	Vergleich der Zusammensetzung von Aufkommen und Verwendung ausgewählter Gütergruppen	77
Abbildung 5.5	Anpassung der Umsatzverteilung der Verkaufskanäle in Prozent des Gesamtumsatzes	80
Abbildung 5.6	Produktionsdichte ausgewählter Gütergruppen im Jahr 2012	84
Abbildung 5.7	Dichte von Kartoffelverbrauch und -produktion im Jahr 2012	86
Abbildung 5.8	Durchschnittlicher Abstand zweier Punkte in einem geometrischen Kreis	90
Abbildung 5.9	Produktionsverteilung ausgewählter landwirtschaftlicher Gütergruppen auf das Jahr 2012	97
Abbildung 5.10	Verteilung der Produktion ausgewählter verarbeiteter Gütergruppen auf das Jahr 2012	98
Abbildung 5.11	Verteilung des jährlichen Endkonsums nach Kalendertagen 2012	100
Abbildung 5.12	Verteilung des Getreide-Außenhandels mit den Niederlanden auf das Jahr 2012	101
Abbildung 6.1	Bearbeitete und erweiterte Schritte der Güterverkehrsmodellierung	106
Abbildung 6.2	Ebenen des vorgestellten dynamischen Güterflussmodells	106
Abbildung 6.3	Dreidimensionale, dynamische Bestandstabelle als grundlegendes Modellierungselement	107
Abbildung 6.4	Dimensionen der modellierten Verflechtungen	108
Abbildung 6.5	Übersicht über den Modellablauf mit entsprechenden Daten-Inputs, Outputs und Methoden	109
Abbildung 6.6	Schema der räumlich-wirtschaftlichen Verflechtungstabelle für eine Gütergruppe	111

Abbildung 6.7	Mögliche räumliche Verflechtungen zwischen dem Zuckerrübenanbau und der Zuckerherstellung	116
Abbildung 6.8	Angepasster Hymans-Algorithmus	118
Abbildung 6.9	Funktionsweise des Kalibrierungsalgorithmus	119
Abbildung 6.10	Ablauf des Kalibrierungsalgorithmus	121
Abbildung 6.11	Darstellung der regional aggregierten Akteursverflechtung	125
Abbildung 6.12	Implementierung von Beständen, Bestellungen und Transporten	126
Abbildung 6.13	Simulierter Verlauf der täglichen Güterverkehrsnachfrage im Jahr 2012	126
Abbildung 6.14	Bestimmung des minimalen Zuckerbestands bei Produzenten in Hamburg 2012	128
Abbildung 6.15	Zuckerbestände der Akteursgruppen in Hamburg 2012	129
Abbildung 7.1	Heatmaps mit Differenz aus Lebensmittelproduktion und -konsum	132
Abbildung 7.2	Heatmaps mit Transportkennzahlen der Versorgung	133
Abbildung 7.3	Heatmap mit Darstellung der Anzahl der versorgenden LEH-Lager	134
Abbildung 7.4	Darstellung eines Lebensmitteldistributionsnetzwerkes mit einem Krankheitsfall und möglichen Ursprüngen	136
Abbildung 7.5	Veranschaulichung der Berechnung der Ursprungswahrscheinlichkeiten möglicher Versorgungsketten in einem Beispielnetzwerk	137
Abbildung 7.6	Räumliche Verteilung der E.-coli-Krankheitsfälle beim EHEC-Ausbruch 2011 in Deutschland	140
Abbildung 7.7	Räumliche Verteilung der Ursprungswahrscheinlichkeiten beim EHEC-Ausbruch 2011 in Deutschland	141
Abbildung 7.8	Vulnerabilitätsbewertung für die Versorgung mit Mineralwasser und Erfrischungsgetränken	143
Abbildung 7.9	Berliner Mineralwasser- und Erfrischungsgetränkeproduktion, -export und -konsum im zeitlichen Verlauf	144
Abbildung 7.10	LEH-Transportverbindungen für die Versorgung von Berlin mit Mineralwasser und Erfrischungsgetränken	145
Abbildung 7.11	Bestandsverläufe bei den Importeuren im Hamburger Hafen im Jahr 2012	149
Abbildung 7.12	Auswirkungen der fehlenden Importe über den Hamburger Hafen auf die Pflanzenölbestände der Produzenten im zeitlichen Verlauf	150
Abbildung 7.13	Auswirkungen der fehlenden Ölsaatenimporte auf die deutsche Pflanzenölproduktion . .	151
Abbildung 7.14	Fehlmengen pflanzlicher Öle in den Lagerhäusern des LEH	152
Abbildung 7.15	Versorgungsengpässe pflanzlicher Öle beim Endverbraucher zum 31. Dezember 2012 . .	153

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1	Kennzahlen der wirtschaftlichen Struktur der Lebensmittelwirtschaft 2015	6
Tabelle 2.2	Größte Unternehmen des Lebensmittelhandels nach Gesamtbruttoumsatz 2012 in Deutschland	9
Tabelle 2.3	Güterverkehrsaufkommen und Güterverkehrsleistung in Deutschland im Jahr 2010	13
Tabelle 3.1	Modellüberblick Risikoforschung	45
Tabelle 5.1	Überblick über gesammelte, aufbereitete und modellierte Daten	72
Tabelle 5.2	Klassifikation in Gütergruppen	73
Tabelle 5.3	Absatzaufteilung auf Verkaufskanäle in Prozent des Gesamtabsatzes in t	79
Tabelle 5.4	Größte LEH-Zentralen nach Bruttoumsatz 2012 in Deutschland	81
Tabelle 5.5	Klassifikation der Gebietseinheiten nach NUTS	82
Tabelle 5.6	Wichtigste Außenhandelspartner im Lebensmittelsektor	88
Tabelle 5.7	Transportentfernungen zu Außenhandelspartnern in Übersee	91
Tabelle 5.8	Deutsche Seehäfen mit dem größten Lebensmittelumschlag	91
Tabelle 5.9	Kennzahlen der Filialtypen	92
Tabelle 5.10	Umsatzaufteilung ausgewählter Kreise	93
Tabelle 5.11	Verteilung der LEH-Umsätze 2012 auf Monate	99
Tabelle 5.12	Verteilung der LEH-Umsätze auf Wochentage	99
Tabelle 6.1	Spannweite der mittleren Transportentfernungen der möglichen Verflechtungen ausgewählter Gütergruppen in km mit Hervorhebung der passendsten Verflechtung	117
Tabelle 7.1	Vergleich der Leistung der hier vorgestellten Methode mit der nach Manitz u. a. bei der Ursprungs-identifikation beim EHEC-Ausbruch	139
Tabelle 7.2	LEH-Lager zur Versorgung Berlins mit Mineralwasser und Erfrischungsgetränken mit zugehörigen Jahreswerten	144
Tabelle 7.3	Kennzahlen des Mineralwasser- und Erfrischungsgetränketransports zur Versorgung Berlins im Falle einer Nachfragesteigerung um 100 % - Modellergebnisse für Samstag, den 7. Juli 2012	146
Tabelle 7.4	Kennzahlen des Mineralwasser- und Erfrischungsgetränketransports zur Versorgung Berlins im Falle einer Nachfragesteigerung um 300 % und dem Ausfall der Produktion - Modellergebnisse für Samstag, den 7. Juli 2012	147
Tabelle 7.5	Von einer potentiellen Sperrung des Hamburger Hafens betroffene Gütergruppen	148
Tabelle 7.6	Aus verschiedenen Maßnahmen resultierende Güterverkehrsnachfrage im Falle einer potentiellen Sperrung des Hamburger Hafens	153

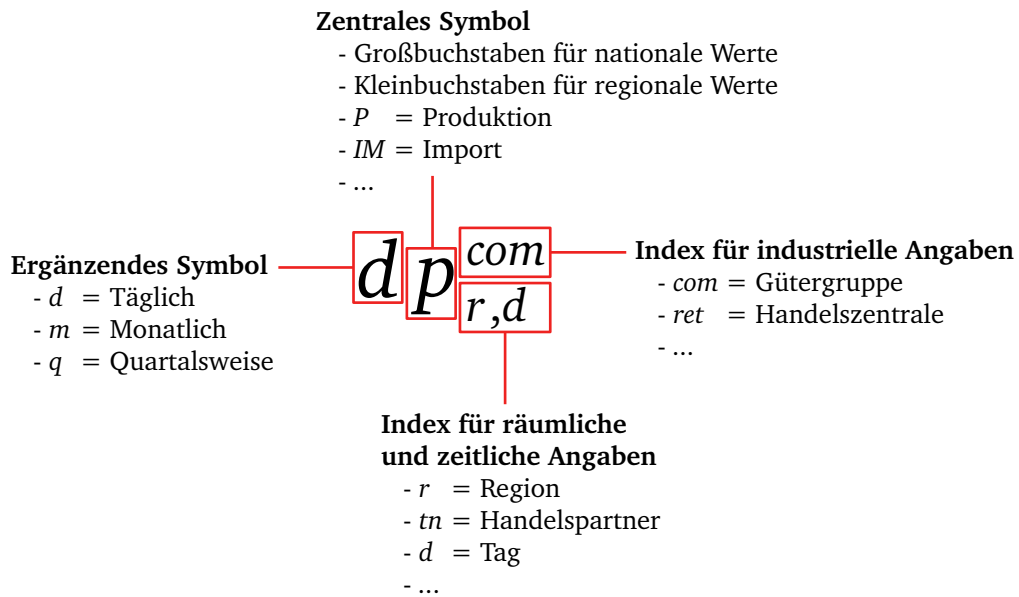


Abkürzungsverzeichnis

BAG	Bundesamt für Güterverkehr
BBK	Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe
BfR	Bundesinstitut für Risikobewertung
BLE	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMI	Bundesministerium des Inneren
BVL	Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
BVWP	Bundesverkehrswegeplanung
CGE	Computable-General-Equilibrium (-Modelle)
DIIM	Dynamic Inoperability Input–Output Model
EBewiV	Ernährungsbewirtschaftungsverordnung
EHEC	Enterohämorrhagische Escherichia coli
ESG	Ernährungssicherstellungsgesetz
ESVG	Ernährungssicherstellungs- und vorsorgegesetz
EVG	Ernährungsvorsorgegesetz
EWMV	Ernährungswirtschaftsmeldeverordnung
GMRIO	Globale multi-regionale Input-Output (-Analyse, -Modell oder -Tabelle)
GP 2009	Güterverzeichnis für Produktionsstatistiken - 2009
HHI	Herfindahl-Hirschman-Index
IIM	Inoperability Input–Output Model
LAU	Örtliche Verwaltungseinheit (vom englischen Local administrative unit)
LEH	Lebensmitteleinzelhandel
LÜKEX	Länderübergreifende Krisenmanagementübung / Exercise
LUTI	Land-Use/Transport-Interaction (-Modelle)
MRIO	Multi-regionale Input-Output (-Analyse, -Modell oder -Tabelle)
MSMRIO	Multi-Skalen multi-regionale Input-Output (-Analyse, -Modell oder -Tabelle)
NST-2007	Einheitliches Güterverzeichnis für die Verkehrsstatistik - 2007 (vom französischen Nomenclature uniforme des marchandises pour les statistiques de transport)

NUTS	Klassifikation der Gebietseinheiten für die Statistik (vom französischen Nomenclature des unités territoriales statistiques)
SCGE	Spatial-Computable-General-Equilibrium (-Modelle)
SEAK	Simulationsbasierte Entscheidungsunterstützung für aktorsübergreifendes Krisenmanagement (BMBF-gefördertes Forschungsprojekt in den Jahren 2013 bis 2015 zur Untersuchung von Engpässen in der Lebensmittelversorgung)
tg	temperaturgeführt
THW	Bundesanstalt Technisches Hilfswerk
tk	tiefgekühlt
TOB	Transportorganisation des Bundes
tr	trocken / ungekühlt
VerkLG	Verkehrsleistungsgesetz
VerkSiG	Verkehrssicherstellungsgesetz
WA	Warenverzeichnis für die Außenhandelsstatistik
WZ 2008	Klassifikation der Wirtschaftszweige - 2008

Symbolverzeichnis



Symbol	von Englisch	Beschreibung	Dimension
a_i	-	Normalisierungsfaktor des Standard-Gravitationsmodells	-
ar_r	Area	Gesamte Fläche der Region r	km^2
ar_r^{com}	Area	Anbaufläche für Gütergruppe com in Region r	ha
b_i	-	Normalisierungsfaktor des Standard-Gravitationsmodells	-
β^{com}	-	Widerstandsfaktor für Gütergruppe com	-
C	Costs	Transportkostenmatrix	-
c_{ij}	Costs	Fahrt- beziehungsweise Transportkosten zwischen i und j	-
X_s	Chain	Menge der möglichen Ketten zwischen Versorgungsknoten s und den beobachteten Krankheitsfällen K	-

Symbol	von Englisch	Beschreibung	Dimension
χ_s	Chain	Einzelne Kette von Versorgungsknoten zwischen Versorgungsknoten s und den beobachteten Krankheitsfällen K	-
com	Commodity	Gütergruppe	-
d	Day	Tag	-
d_j	Destination	Güternachfrage in der Zielregion j	-
DET	Detour	Umwegfaktor	-
DEV	Deviation	Abweichung zwischen der BVWP-Güterverkehrsmatrix $FLOW^{BVWP}$ und der modellierten Gesamtverflechtung $FLOW_G^{Modell}$ auf Basis von Verflechtungskombination G	-
$dex_{tn,d}^{com}$	Daily export	Täglicher Export von Gütergruppe com zum Handelspartner tn am Tag d	$\frac{t}{Tag}$
$dflow_{ij,d}^{coma}$	Daily flow	Täglicher Güterfluss der Gruppe com_a zwischen Region i und j am Tag d	$\frac{t}{Tag}$
$dim_{tn,d}^{com}$	Daily import	Täglicher Import von Gütergruppe com von Handelspartner tn am Tag d	$\frac{t}{Tag}$
$DIST$	Distance	Transportentfernungsmatrix	-
$DIST^*$	Distance	Angestrebte mittlere, gewichtete Transportentfernung der gesamten räumlich-wirtschaftlichen Verflechtung	km
$dist_{ij}$	Distance	Transportentfernung zwischen den Regionen i und j	km
$dist_r$	Distance	Mittlere Transportentfernung innerhalb der Region r	km
dP_d^{com}	Daily production	Nationale Tagesproduktion von Gütergruppe com am Tag d	$\frac{t}{Tag}$
$dp_{r,d}^{coma}$	Daily production	Tägliches Produktionsaufkommen von Gütergruppe com_a in Region r an Tag d	$\frac{t}{Tag}$
dr	Discount retailer	Discount-Handelszentrale	-
$dREV_d$	Daily revenue	Umsatzanteil des Tages d am LEH-Wochenumsatz laut Tabelle 5.12	%
dUC_d^{com}	Daily usage for consumption	Gesamtdeutscher Tagesabsatz von Gütergruppe com an Endverbraucher am Tag d	$\frac{t}{Tag}$

Symbol	von Englisch	Beschreibung	Dimension
$duc_{r,d}^{com_a}$	Daily usage for consumption	Tagesabsatz von Gütergruppe com_a an Endverbraucher in Region r an Tag d	$\frac{t}{Tag}$
$dup_{r,d}^{com_a,com_b}$	Daily usage for production	Täglicher Verbrauch von Gütergruppe com_a zur Produktion von Gütergruppe com_b in Region r an Tag d	$\frac{t}{Tag}$
EX^{com}	Export	Jährlicher nationaler Export von Gütergruppe com zu allen Handelspartnern	$\frac{t}{Jahr}$
ex_{tn}^{com}	Export	Jährlicher Export von Gütergruppe com zu Handelspartner tn	$\frac{t}{Jahr}$
exi_{tn}^{com}	Initial export	Initialer jährlicher Export von Gütergruppe com zu Handelspartner tn laut Originaldaten	$\frac{t}{Jahr}$
$FLOW(\beta)$	Flow	Transportverflechtungsmatrix in Abhängigkeit von β die alle Güterflüsse $flow_{ij}$ enthält	-
$FLOW_g^{com}$	Flow	Transportverflechtungsmatrix der Gravitationsverflechtung g der Gütergruppe com	-
$FLOW_{WH}^{com}$	Flow	Transportverflechtungsmatrix zwischen Lagerhäusern und Filialen der Gütergruppe com	-
$FLOW_G^{Modell}$	Flow	Gesamte modellierte Transportverflechtungsmatrix aller Gütergruppen auf Basis von Verflechtungskombination G	-
$flow_{ij}^{com}$	Flow	Jährlicher Güterfluss der Gruppe com zwischen Region i und j	$\frac{t}{Jahr}$
fr	Full-range retailer	Vollsortiment-Handelszentrale	-
HHI^{com}	Herfindahl-Hirschman-Index	Kennzahl zur Messung der Produktionskonzentration der Gütergruppe com über die 402 deutschen Kreise und kreisfreien Städte	$\left[\frac{1}{402}; 1 \right]$
HT^{com}	Harvest time	Erntezeit der Gütergruppe com	-
IM^{com}	Import	Jährlicher nationaler Import von Gütergruppe com von allen Handelspartnern	$\frac{t}{Jahr}$
im_{tn}^{com}	Import	Jährlicher Import von Gütergruppe com von Handelspartner tn	$\frac{t}{Jahr}$
imi_{tn}^{com}	Initial import	Initialer jährlicher Import von Gütergruppe com von Handelspartner tn laut Originaldaten	$\frac{t}{Jahr}$

Symbol	von Englisch	Beschreibung	Dimension
K	Cases	Menge der beobachteten Krankheitsfälle	-
κ	Cases	Versorgungsknoten mit beobachteten Krankheitsfällen	-
m	Month	Monat	-
$mex_{tn,m}^{com}$	Monthly export	Export von Gütergruppe com zu Handelspartner tn im Monat m	$\frac{t}{\text{Monat}}$
$mex_{tn,m}^{i,com}$	Monthly initial export	Initialer Export von Gütergruppe com zu Handelspartner tn im Monat m laut Originaldaten	$\frac{t}{\text{Monat}}$
$mim_{tn,m}^{com}$	Monthly import	Import von Gütergruppe com von Handelspartner tn im Monat m	$\frac{t}{\text{Monat}}$
$mim_{tn,m}^{i,com}$	Monthly initial import	Initialer Import von Gütergruppe com von Handelspartner tn im Monat m laut Originaldaten	$\frac{t}{\text{Monat}}$
$mREV_m$	Monthly revenue	Monatliche LEH-Umsatzrelation im Monat m laut Tabelle 5.11	-
na_r^{com}	Number of animals	Anzahl Tiere der Gütergruppe com in Region r	-
ne_r^{com}	Number of employees	Anzahl Beschäftigte in Gütergruppe com in Region r	-
$ns_r^{ret,st}$	Number of stores	Anzahl Filialen der Handelszentrale ret vom Typ st in Region r	-
nwd_T	Number of workdays	Anzahl der Arbeitstage im Zeitraum T	Tage
o_i	Origin	Güterangebot in der Quellregion i	-
p^{com}	Production	Jährliches nationales Produktionsaufkommen von Gütergruppe com	$\frac{t}{\text{Jahr}}$
p_r^{com}	Production	Jährliches Produktionsaufkommen in Gütergruppe com in Region r	$\frac{t}{\text{Jahr}}$
π_{sk}	Path	Pfad zwischen dem Versorgungsknoten s und einem beobachteten Krankheitsfall $\kappa \in K$	-
pop_r	Population	Bevölkerung in Region r	-
$port$	Port	Seehafen	-

Symbol	von Englisch	Beschreibung	Dimension
$prob_{ij}$	Probability	Übertragungswahrscheinlichkeit zwischen den Regionen i und j	-
$prob(\chi_s s)$	Probability	Wahrscheinlichkeit der Kontamination über alle Pfade π_{s_k} der Versorgungskette χ_s	-
$prob(K \sigma = s)$	Probability	Wahrscheinlichkeit, dass Versorgungsknoten s der tatsächliche Kontaminationsursprung σ für die Menge der Krankheitsfälle K ist	-
pse^{port}	Port share export	Anteil der über den Seehafen $port$ umgeschlagenen Übersee-Exporte	%
psi^{port}	Port share import	Anteil der über den Seehafen $port$ umgeschlagenen Übersee-Importe	%
q	Quarter	Quartal	-
qP_q^{com}	Quarterly production	Vierteljährliches nationales Produktionsaufkommen von Gütergruppe com in Quartal q	$\frac{t}{\text{Quartal}}$
r	Region	Region	-
rad_r	Radius	Radius des Kreises mit der Fläche der Region r	km
ret	Retailer	Handelszentrale mit $fr \cup dr = ret, fr \cap dr = \emptyset$	-
REV^{ret}	Revenue	Jährlicher nationaler Umsatz von Handelszentrale ret	$\frac{\text{Mio. €}}{\text{Jahr}}$
rev^{st}	Revenue	Jahresumsatz pro Filiale vom Typ st laut Tabelle 5.9	$\frac{\text{Mio. €}}{\text{Jahr}}$
rev_r^{ret}	Revenue	Jahresumsatz von Handelszentrale ret in Region r	$\frac{\text{Mio. €}}{\text{Jahr}}$
s	Supply node	Versorgungsknoten	-
$sal_r^{ds,com}$	Sales	Jährlicher Direktabsatz der Gütergruppe com in Region r	$\frac{t}{\text{Jahr}}$
$sal_r^{ret,com}$	Sales	Jahresabsatz der Gütergruppe com durch die Handelszentrale ret in Region r	$\frac{t}{\text{Jahr}}$
$sal_r^{wso,com}$	Sales	Jahresabsatz der Gütergruppe com durch Großhändler und sonstige Verkaufskanäle in Region r	$\frac{t}{\text{Jahr}}$
$SCDR^{com}$	Sales channel discount retail	Absatzanteil der Discounter an Gütergruppe com	%
$SCDS^{com}$	Sales channel direct sales	Anteil Direktabsatz an Gütergruppe com	%

Symbol	von Englisch	Beschreibung	Dimension
$SCFR^{com}$	Sales channel full-range retail	Absatzanteil der Vollsortimenter an Gütergruppe com	%
$SCWSO^{com}$	Sales channel wholesale	Absatzanteil des Großhandels und sonstiger Verkaufskanäle an Gütergruppe com	%
σ	Source	Tatsächlicher Ursprungsort kontaminierter Lebensmittel	-
st	Store type	Filialtyp	-
$stock_{r,d}^{com_a}$	Stock	Bestand von Gütergruppe com_a in Region r an Tag d	t
sur_r	Surplus	Mehrumsatz aller Vollsortimenter in Region r im Gegensatz zum nationalen Durchschnitt	%
T	Time	Zeitraum	Tage
t	Time	Zeitpunkt	-
tn	Trading nation	Handelspartner	-
UC^{com}	Usage for consumption	Jährlicher nationaler Konsum von Gütergruppe com durch Endverbraucher	$\frac{t}{Jahr}$
uc_r^{com}	Usage for consumption	Jährlicher Konsum von Gütergruppe com durch Endverbraucher in Region r	$\frac{t}{Jahr}$
UO^{com}	Usage in other sectors	Jährlicher nationaler Verbrauch von Gütergruppe com außerhalb der Lebensmittelindustrie	$\frac{t}{Jahr}$
uo^{com_a}	Usage in other sectors	Anteil des Verbrauchs von Gütergruppe com_a durch andere Sektoren	%
UP^{com,com_b}	Usage for production	Jährlicher nationaler Verbrauch von Gütergruppe com zur Produktion von Gütergruppe com_b	$\frac{t}{Jahr}$
up_r^{com,com_b}	Usage for production	Jährlicher Verbrauch von Gütergruppe com zur Produktion von Gütergruppe com_b in Region r	$\frac{t}{Jahr}$
WH_r^{ret}	Warehouse	Menge der Regionen, die aus dem Lagerhaus der Handelszentrale ret in Region r beliefert werden	-
$wh_r^{ret,com}$	Warehouse	Jährlicher Güterfluss der Gruppe com , der durch das Lagerhaus der Handelszentrale ret in Region r fließt	$\frac{t}{Jahr}$
y_r^{com}	Yield	Jährlicher Hektarertrag der Gütergruppe com in Region r	$\frac{t}{ha \cdot Jahr}$



Anhang A

Kernaussagen und Beobachtungen aus Experteninterviews und Besichtigungen

A.1 Bundesanstalt Technisches Hilfswerk (THW)

Datum: 12. April 2013

Ort: Bonn

Interviewpartner: Referatsleiter des Referats Grundsatz

Kernaussagen:

- Das THW wird bei Großschadensereignissen vom Bundesministerium für Inneres angefragt und darf vorher nicht eingreifen
- Bedrohungsszenarien sind Ausfall der Stromversorgung, Ausfall der Informations- und Kommunikationsinfrastruktur, Pandemie, Erdbeben, Anschlag, mehrwöchiger Schneefall, Ausfall der Trinkwasserversorgung
- Probleme in Industriestaaten durch sehr effiziente Versorgung im Falle von Großschadensereignissen größer als in Entwicklungsländern, da kaum Übung; Unternehmen zwar hilfsbereit, Bevölkerung aber nicht resilient
- Privates Engagement von Unternehmen in Notfällen wichtig, aber nicht förderbar oder kalkulierbar
- Unternehmer wollen gesetzliche Auflagen (Staat als Schuldiger für Preiserhöhungen); Staat will deregulieren
- Keine Getränke Logistik im Notfall notwendig, da Wasserversorgung über Notbrunnen und Aufbereitung
- Kühlkette ist problematisch, da Kühltransporter benötigt werden und diese direkt von Stromversorgung abhängig sind
- Unterschiede in Infrastruktur, Jahreszeiten, Klima, Bevölkerung beachten
- Staat sollte nicht in Unternehmen eingreifen, da in Behörden keine Fachleute vorhanden
- Am Ende muss Person Entscheidung treffen und kann Verantwortung nicht an Computer abgeben
- Entwickelte Software: DENIS, SIRA

A.2 Lebensmittel Groß- und Einzelhändler

Datum: 15. April 2013

Ort: Kiel

Interviewpartner: Logistikleiter und Prokurist

Kernaussagen:

- Bedrohungsszenarien sind Stromausfall, IT-Ausfall / Hackerangriff sowie zu hohe Nachfrage / Preise auf dem Weltmarkt (negative Entwicklungen in großen Auslandsmärkten, wie zum Beispiel China, USA, Russland, wirken sich auf Bezahlbarkeit der Ware aus)
- Globalisierung und Bevölkerungswachstum führen zu steigender Nachfrage auf dem Weltmarkt, was bei niedrigen Preisen in Deutschland zu Engpässen führen kann
- Stromausfall führt zum kompletten Stillstand und nach circa einem Tag zum Verderben der Ware; trotzdem sind Notstromaggregate nur zum Ermöglichen eines kontrollierten Herunterfahrens der IT-Systeme vorhanden (zur Vermeidung von Datenverlust / Schäden)
- Energieverbrauch für Lagerung der Tiefkühl- und Molkereiprodukte zu hoch um für Stromausfälle vorzusorgen
- Lager für Molkereiprodukte, Fleisch, Obst und Gemüse laufen ohne Nachschub nach 1 bis 2 Tagen leer
- Viele Kunden wie zum Beispiel Krankenhäuser und Altenheime führen geringe bis keine Bestände und empfangen Ware just-in-time
- Absatz der Tiefkühlware und Frischeprodukte wächst; Absatz der Trockenware bleibt konstant; Absatz der Konserven geht zurück
- Feste Lieferantenbeziehungen mit wenigen Zulieferern; Jahresgespräche mit Lieferanten; bei Abweichung von Qualität- und Quantitätsansprüchen wird Lieferantenwechsel eingeleitet
- Firma reagiert bei Störungen kurzfristig; bei großen Problemen ist Reaktion des Staates notwendig

A.3 Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)

Datum: 21. Juni 2013

Ort: Bonn

Interviewpartner: Referent aus dem Referat 321: Lebensmittelüberwachung, Krisenmanagement, Ernährungsvorsorge im BMEL,
Stellvertretende Referatsleiterin des Referats 423: Marktinformation, Kritische Infrastrukturen, Landwirtschaft in der BLE

Kernaussagen:

- Bedrohungsszenarien sind Stromausfall, IT-Ausfall und Ausfälle aufgrund von zu wenig Personal
- Daten der Ernährungswirtschaftsmeldeverordnung können der Forschung nicht zur Verfügung gestellt werden
- Staatliche Ernährungsnotfallvorsorge muss neu ausgerichtet werden
- Rechtliche Grundlagen zur Hilfe bei Lebensmittelversorgungsstörungen sind gegeben; Maßnahmen fehlen aber
- Staatliche Verpflichtung von Unternehmen zur Vorsorge ist politisch nicht umsetzbar
- Zusammenarbeit zwischen BMEL / BLE und Unternehmen nicht zu realisieren
- Lebensmittelbestände entlang der Supply-Chain werden nicht weniger
- Zentralisierung der Lebensmittelverarbeitung birgt Vorteile, da unter anderem bessere Steuerung von Warenströmen auch im Notfall möglich
- Realistische Abbildung von Lieferverflechtungen und (Unternehmens-)Prozessen in der Forschung extrem wichtig, da über staatliche Erfassung nicht abgedeckt
- Entscheidungsunterstützung bezüglich Lebensmittelversorgungsengpässen eher für Unternehmen hilfreich; für Behörden ist Länder- / Kommunen-Ebene interessant

A.4 Lager eines Logistikdienstleisters mit Lebensmittelschwerpunkt

Datum: 10. Juli 2013

Ort: Offenbach

Interviewpartner: Niederlassungsleiter,
Leiter Anwendungstechnik

Kernaussagen:

- Bedrohungsszenarien sind Ölkrise, Fehlplanung bei Herstellern, Satellitenausfall
- Die Standorte können neben Lebensmitteln auch Non-Food-Geschäftsfelder abdecken; die Lagerbereiche sind jedoch getrennt
- Produktion Frischesortiment bei Herstellern quasi just-in-time
- Lkw-Fahrer sind hauptsächlich Subunternehmer
- Nur relativ wenige unternehmenseigene Fahrer, die nach Geschäftsfeldern getrennt sind und je nach Geschäftsfeld andere Schulung durchlaufen
- Fahrer sind nach Kommunikation mit anderen Geschäftsfeldern austauschbar; interne Hilfsbereitschaft generell hoch; bei Hilfe in anderen Geschäftsfeldern muss auf eventuell benötigte Zusatzqualifikationen geachtet werden (zum Beispiel Beförderung von Gefahrgütern)
- Auslastung der Lkw beträgt circa 1,3 t pro Ladungsmeter
- Bei hoher Auslastung der Unternehmenskapazitäten werden externe Dienstleister beauftragt; Grundstock fester Kapazitäten per Vertrag gesichert; Zusätzliche Kapazität wird über Schaltermarkt gekauft, auch wenn dabei höhere Preise anfallen
- Dienstleister-Kapazitäten sind im Extremfall nicht garantiert; Engpässe gibt es zu Weihnachten und bei 4-Tage-Wochen aufgrund vieler Feiertage im Mai; bei Engpässen lieber etwas mehr für Dienstleister zahlen, als ständig zu viel Kapazität im Unternehmen vorzuhalten
- Kühlkapazitäten werden weit im Voraus geplant; ein fester Kundenstamm erleichtert die Planung; die Nachfrage nach Kühlkapazitäten ist stark wetterabhängig; in der Hochsaison im Sommer kann spontane Nachfrage eventuell nicht bedient werden
- Deutschland und Frankreich von wenigen Lebensmittelhändlern dominiert; Probleme mit überlasteten Rampen werden zum Hersteller verschoben
- Notstromaggregate mit Dieselbetankung für IT-Systeme vorhanden; Prozesse können nicht manuell abgewickelt werden, da Materialien und Know-How nicht vorhanden

A.6 Tiefkühllogistik-Unternehmen

Datum: 23. Oktober 2013
Ort: Groß-Gerau
Interviewpartner: Lagerleiter
Kernaussagen:

- Lagergrößen sehr unterschiedlich (zwischen 300 und 2.000 Palettenbewegungen pro Tag); Sortiment in Lagern unterschiedlich; Angebotene Dienstleistungen: Fleischverarbeitung, Schockfrostern, kontrolliertes Auftauen, Konfektionieren, Etikettieren
- Temperatur im Tiefkühlager beträgt -22°C ; kritische Temperatur für Produkte selbst liegt bei -15°C ; um vom Handel abgenommen zu werden, darf Temperatur nie über -18°C liegen
- Notstromaggregat nur für IT-Systeme; Temperaturanstieg im Lager von $2-3^{\circ}\text{C}$ pro Tag; es bleiben 2 Tage Reaktionszeit bei Ausfall der Kälteanlage bis Produkte kritische Temperatur erreicht haben; die ersten 24 Stunden wird abgewartet ob Strom zurückkommt und es werden keine Maßnahmen eingeleitet
- 4 autark arbeitende Kühlanlagen, 4 Mitarbeiter in Groß Gerau nur für Wartung der Kälteanlage
- Risikomanagement ist formal vorhanden; fachliche operative Notfallpläne allerdings lediglich vom Praktikanten verfasst
- Als größte Schwachstelle wird IT gesehen; IT-System in allen Lagern des Unternehmens einheitlich; Auftragsbearbeitung über lokale Server nicht möglich; Nachpflege von händisch durchgeführten Prozessen nicht möglich
- Es ist nicht selten, dass Personal von anderen Standorten bezogen wird; Personalleasing häufig bei Streik, Verkaufsaktionen, Krankheit, Havarie
- Ältere Kühlhäuser könnten einer Hitzewelle nicht standhalten, moderne schon; Mehrtägiger Lagerausfall bei Hitzewelle denkbar; Reaktionszeit des Managements abhängig von Intensität der Hitzewelle; keine Notfallpläne für langanhaltende Hitze
- Bisherige Störfälle: Rauchgasschaden, Kühlhaus für Monate gesperrt, 10.000-15.000 Paletten gesperrt; Verteilung aus anderen Lager, wenn gleicher Kunde und Ware vorhanden; Dacheinsturz, 30.000 Paletten innerhalb von 48 Stunden evakuiert

A.7 Molkereigenossenschaft

Datum: 14. November 2013

Ort: Nürnberg

Interviewpartner: Logistikleiter

Kernaussagen:

- Rohmilch wird im Genossenschaftsverbund täglich im Sammelladungsverkehr abgeholt und an Produktionsstandorte geliefert; Sammelladungsverkehre werden durch Unternehmen koordiniert und durch Subunternehmen durchgeführt (20 t Lkw)
- Derzeit 5 eigene Produktionsstandorte; 4 der 5 Produktionsstandorte haben kein eigenes Lager; Fertigprodukte werden täglich von einem Logistikdienstleister abgeholt und gelagert
- Distribution ebenfalls durch Logistikdienstleister; Lieferfrequenz stark abhängig vom Kundenwunsch bei fünf bis sechs Lieferungen pro Woche
- Kunden sind große Filialen oder Verbrauchermärkte, Großhändler sowie die lebensmittelverarbeitende Industrie
- Absatzschwerpunkt ist Süddeutschland; vereinzelt auch Kunden in Norddeutschland vorhanden; Anzahl Kunden korreliert nicht mit Bevölkerungszahl in jeweiliger Region
- Trend zur Bestandsreduzierung in Filialen des Lebensmitteleinzelhandels; infolgedessen häufigere, kleinere Bestellungen; früher 2 mal pro Woche 10 t geliefert, heute 5-6 mal pro Woche 3 t; Bestandreduzierung im Handel und damit verbundene Bestellmengenreduktion führt zu Kostenverlagerung Richtung Produzent
- Bestandsreichweite im Lager des Logistikdienstleisters zwischen 3 und 5 Tagen
- Bestellvorlaufzeit für Kunden beträgt 2 Tage; Bestelleingang an Tag 1, Kommissionierung an Tag 2, Lieferung an Tag 3; Produktionsmenge für inländischen Einzelhandel aus historischen Daten geschätzt; auftragsbezogene Produktion nur für den Export und Industrie
- Geringere Produktion im Winter, da Kühe im Winter weniger Milch geben; Nachfrage unterliegt saisonalen Schwankungen, zum Beispiel leichte Steigerung bei Butter im Winter, extreme Steigerung bei Mozzarella im Sommer
- Nachfrageschwankungen werden durch Nachtschichten und Wochenendarbeit kompensiert
- Unternehmen muss Gleichgewicht finden zwischen Kundennachfrage und Rohmilchangebot, welches verarbeitet werden muss
- Bisher kein Fall eines Versorgungsengpasses bekannt
- Bedrohungsszenarien sind Ausfall des IT-Systems sowie Verbot von Lebensmittelproduktion und -transporten aufgrund einer Tierseuche (im Radius von 30 km um Ausbruchsort)
- IT-System in Unternehmenslogistik die wichtigste Ressource; Vorsorge in Form eines Backupsystem und einer Diversifizierung der IT
- Bereits vorgekommene Störungen: Extreme Schneemassen verhindern Erreichbarkeit eines Lagers; Ausfall eines IT-Systems für sechs Stunden, Ware konnte nicht ausgebucht werden und Logistikdienstleister musste warten

A.8 Fischmanufaktur

Datum: 25. November 2013
Ort: Bremerhaven
Interviewpartner: Logistikleiter
Kernaussagen:

- Produktion und Distribution
 - Marktführer im Bereich Frisch-Fisch; Produktion von Fisch, Räucherfisch, Salat; darüber hinaus Handel mit weiteren Tiefkühl-Lebensmitteln
 - Produktion und Qualitätssicherung erfolgt in Bremerhaven; Tiefkühlager mit 4.245 Palettenstellplätzen; circa 200 t Warenein- und ausgang pro Tag
 - Deutschlandweit 22 Standorte (19 Logistikstandorte, 3 reiner Verkauf); jeder Standort verfügt über alle nötigen Temperaturzonen (Tiefkühlfisch, Frischfisch 0-2°C, Räucherfisch 2-7°C)
 - Transport von Bremerhaven zu den Standorten an Speditionen vergeben; Lieferfrequenz im Durchschnitt bei einem Lkw pro Tag und Standort (teilweise aber auch Kombinationstouren)
 - Kunden sind vor allem Unternehmen des Einzelhandels sowie Hotels, Gastronomie und Unternehmen der Betriebs- und Sozialgastronomie
 - Keine Lagerbestände bei Kunden > Vermehrtes Anfahren der Kunden mit kleineren Mengen
 - Auch Filialen der großen Einzelhandelsunternehmen werden direkt aus den Standorten beliefert; Trend geht bei Einzelhändlern jedoch hin zu Zentrallagergeschäften mit größeren Mengen
 - Bestellvorlaufzeit für Endkunden (Filiale) beträgt einen Tag; Standorte können bis 2 Stunden vor Abfahrt bei Produktion bestellen
- Ware und Beschaffung
 - Tiefkühlware hält sich circa ein Jahr; Bestand dreht sich circa 6 mal im Jahr
 - Frischeprodukte haben extrem kurze Haltbarkeit; gelieferte Frischware wird zum überwiegenden Teil am gleichen Tag verarbeitet und distribuiert > kaum Bestände; Bestellung der Ware läuft ohne Auftragsbezug sondern über Absatzprognose des Einkaufs
 - Fisch kommt zu 70 % aus dem Ausland; circa 10 % des Frischfischs über Perishable Center Frankfurt (läuft auch über Bremerhaven); mehrere Lieferanten pro Fischart; Kontrakte mit Lachs-Lieferanten über eine bestimmte Menge zur Preissicherung
 - Nachfrage nach Fisch im Sommer geringer; Stürme im Winter begrenzt Angebot; Unsicherheit über Art und Menge der von Lieferanten gelieferten Fische
- Risiken und Entscheidungen
 - Krisenstab vorhanden: leitende Positionen aus unterschiedlichen Abteilungen
 - Tritt zusammen, wenn zum Beispiel EU-Schnellwarnung, wie Rückruf, vorliegt oder auch Extremereignis, wie Hochwasser
 - Risiken werden vom Unternehmen selbst bewertet (auf Basis des Warenwirtschaftssystems)
 - Lösungen werden im Krisenstab durch Brainstorming generiert
 - Die beste Lösung ist die, die die schnellste ist; wobei Kundengesundheit garantiert sein muss
 - Ersatzdienstleister bei Ausfall des üblichen Logistikdienstleisters aufgrund von Geruch der Ware sehr schwer zu bekommen
- IT-Ausfall
 - Fatale Folgen, da kein Zugang zu Waren im Hochregallager, da Lagerplatzangabe fehlt
 - Manuelles Handling möglich bei Waren, die nicht im Hochregallager liegen

-
- Personalmangel
 - Bei Streik kann Personal von anderen Standorten geholt werden
 - Bei Ausfall eines Standortes kann anderer Standort übernehmen (Szenario gab es schon)
 - Pandemie: noch keine Gedanken über einen solchen Extremfall gemacht; durchschnittliche Krankenquote von 7 %; bei Steigerung in zweistelligen Bereich kritisch und Einsatz von Leiharbeitern
 - Leiharbeitereinsatz möglich, da oft sehr einfache Handgriffe; Leiharbeiter in der Region besitzen fast immer Hygienezertifikate
 - Bei Personalausfall von 20-30 % komplette Kompensation nicht mehr möglich
 - Hitzewelle: bei teilweisem Ausfall der Verkehrsinfrastruktur durch Hitzewelle liegt Verantwortung, Waren trotzdem pünktlich zum Kunden zu transportieren, beim Spediteur
 - Weitere mögliche Störszenarien
 - Isolation Deutschland > kein Bezug von Ware mehr möglich
 - Politische Entscheidungen in Herkunftsländern der Ware
 - Sperrung wichtiger Transportwege (zum Beispiel Suezkanal)
 - Ölkrise
 - Bisher aufgetretenen Störszenarien
 - Mangelnde Kapazitäten an Transportmittel regelmäßig zu Weihnachten und Ostern; zusätzliche Anmietung von Leihwagen durch Kooperation möglich
 - Aschewolke: kein Bezug von eingeflogener Ware (Rotbarsch wochenlang nicht verfügbar)
 - Zwei Fälle von Hochwasser; Ausfall eines Standortes und Übernahme der Aufträge durch anderen Standort; Dauer der Umstellung im ersten Fall ohne Notfallplan: 3 Tage; Dauer Umstellung zweiter Fall mit Notfallplan: 24 Stunden; Zusammenarbeit mit Amt für Katastrophenschutz: nach längerer Zuständigkeitsrecherche, tägliche Bereitstellung von Informationen über Behörde
 - Ausfall von Kühlung und Notstromaggregat des Tiefkühlagers; Evakuierung des Tiefkühlagers möglich

A.10 Zentrallager eines Lebensmitteleinzelhändlers

Datum: 25. Juni 2015
Ort: Berlin
Interviewpartner: Betriebsleiter
Kernaussagen:

- Zahlen der Logistik
 - Lagergröße: 105 Tore; 25.000 Europaletten; 39.700 m² (15.400 m² Trockenprodukte, 8.000 m² Getränke, 2.800 m² Molkereiprodukte, 2.800 m² Obst und Gemüse)
 - Bestandsreichweite: 1,71 Wochen (Trockensortiment: 2,02 Wochen; Molkereiprodukte: 0,73 Wochen)
 - Circa 350 Mitarbeiter im Lager inklusive Leiharbeitern
 - Anzahl Filialen in Berlin und Brandenburg: 145; durchschnittliche Entfernung zum Lager: 16,32 km
 - Deutschlandweiter Tagesumsatz durchschnittlich 5 Mio. €, minimal 2,5 Mio. € (zum Beispiel mittwochs), maximal 7 Mio. € (zum Beispiel vor Feiertagen)
 - Strategische Bestandsplanung mit langfristigem Aufbau von Beständen für Spitzenzeiträume wie beispielsweise Weihnachten
 - Wareneingang: 102 Lkw beziehungsweise 2.310 Europaletten pro Tag
 - Warenausgang: 113 t beziehungsweise 2.339 Europaletten pro Tag (Montag bis Samstag)
 - Wareneingang von 3:00 bis 11:30 Uhr; Kommissionierung von 6:00 bis 20:00 Uhr; Auslieferung ab 0:30 Uhr
 - Fuhrpark mit 46 eigenen Lkw und 21 Spediteurs-Lkw
- Störfallmanagement
 - Für Handelsunternehmen bei kurzfristigen Störungen Zahlungsunfähigkeit größte Gefahr > Einnahmen fehlen, um Lieferanten zu bezahlen (üblicherweise werden Lieferanten nach Verkauf der Ware bezahlt; Zahlungsziel mehrere Wochen bis hin zu 6 Monaten)
 - Notfallpläne existieren
 - * Beispielsweise Pandemie-Krisenmanagement
 - * Pandemie-Konzept soll zum allgemeinen Krisenkonzept erweitert werden
 - * Mögliche Szenarien zu vielfältig; deswegen Schaffung von Redundanz in Prozessen und damit Steigerung der Robustheit
 - * Prozessbewertung über Score-Modell
 - Ausweichen auf andere Lager bei Störung nicht möglich, da deutschlandweit nur drei weit entfernte Lager
 - Kontakt und Zusammenarbeit mit Behörden (Katastrophenschutz, Bürgermeister, DRK) sind gut
 - Staat sollte nicht über Druck steuern, sondern Anreize schaffen und so Eigenmotivation erzeugen

A.11 Fleischwerk eines Lebensmitteleinzelhändlers

Datum: 19. April 2013

Ort: Karlsruhe

Interviewpartner: Führerin,
Betriebsleiter

Kernerkenntnisse:

- Produktion
 - 800 Mitarbeiter im Fleischwerk
 - Verarbeitung von 4.500 Schweinhälften und 900 Rinderteile pro Tag (Schlachtung am Vortag)
 - Fleischwerk deckt die Wurst- und Fleischproduktion für Großteil Südwestdeutschlands ab; früher Abdeckung durch mehrere Produktionsstandorte
 - Einzelhändler unterhält Kooperation mit Landwirten; bei Einhalten bestimmter Richtlinien wird Gütesiegel verliehen
 - Schlachtung von Bio-Fleisch nur an einem Tag der Woche
 - Geflügel und andere Fleischsorten werden an anderen Standorten produziert
- Logistik
 - Fleisch aus Schlachthöfen wird täglich angeliefert und dann innerhalb weniger Tage verarbeitet
 - Keine Lagerung von Vor- oder Fertigprodukten
 - Nur Dry-Aged-Fleisch und Hilfsprodukte wie beispielsweise Gurken, Därme und Blut werden für einige Zeit in einem eigenen Kühlhaus gelagert
 - Fertiges Fleisch und Wurst verlassen das Werk bis 16 Uhr
 - Eigene Lkws zur Distribution vorhanden, die ausschließlich Fleisch in die zugehörigen Einzelhandelsfilialen fahren
- Störfallmanagement
 - Bei Störung der IT oder Stromausfall steht das komplette Werk still
 - Keine Notfallpläne für Stromausfall oder Einschränkungen im Transport (zum Beispiel durch Schneefall) vorhanden
 - Kein Notstrom für Fleischwerk selbst; nur für IT-System
 - Erfahrungsgemäß dauert Stromausfall maximal 1-2 Tage; Belegschaft wird solange nach Hause geschickt; Weiterarbeit sobald Strom wieder da
 - Potential für weitere Nachtschicht vorhanden (momentan nicht voll ausgelastet)
 - Fest angestellte Techniker, die sich nur um Störungen kümmern und ihre Bereiche und häufige Störungen gut kennen
 - Tiefkühlager am Standort; kann Fleischversorgung bei Fleischwerk-Ausfall einige Tage ersetzen

A.12 Lager eines Online-Versandhändlers

Datum: 12. Juni 2013

Ort: Bad Hersfeld

Interviewpartner: Lagerleiter

Kernerkenntnisse:

- Lager haben spezielle Bestandsausrichtung (in Bad Hersfeld nur Schuhe und Bekleidung)
- Überkapazität beziehungsweise Freiflächen im Lager Bad Hersfeld vorhanden
- Regelmäßige Transporte zwischen den Lagern
 - Zusammenfassen von Bestellungen aus verschiedenen Lagern
 - Ausgleich zwischen den Lagern
 - Verpackungen kommen jeden morgen aus einem festen Lager
- Chaotische Lagerhaltung
- Elektronisch gesteuertes manuelles Stowen, Picken und Kommissionieren
 - Große Abhängigkeit von Stromversorgung und IT-Systemen
 - Keine Notstromversorgung vorhanden
- Aufbau neuer Standorte und eines eigenen Fuhrparks in Deutschland geplant

A.13 Molkerei

Datum: 4. Dezember 2013

Ort: Münchehofe bei Berlin

Interviewpartner: Qualitätsmanager

Kernerkenntnisse:

- Produktion
 - Verarbeitung von 120.000 l Rohmilch pro Tag zu Milch, Schnittkäse, Butter
 - Weiterer Standort des Unternehmens in Dechow verarbeitet doppelte Menge Rohmilch zu Milch, Schnittkäse, Butter; dritter Standort auf Rügen produziert nur Edelschimmelkäse
 - Angelieferte Rohmilch muss innerhalb von 24-36 Stunden verarbeitet werden
 - Rohmilchproduktion schwankt nicht übers Jahr, aber Fettgehalt der Milch
 - Tägliche Produktion von circa 150 Käse à 4 bis 4,5 kg aus 6.000 l Rohmilch
 - Reiferaum hat Kapazität von 10.000 Käse (Auslastung 90 %)
 - Tägliche Produktion von circa 120.000 l Konsummilch; durchgängige Produktion von 6.000 l pro Stunde in 3 Schichten; Nutzung von 85 % der Kapazität > höhere Kapazität nicht möglich wegen täglicher Reinigungszeit von 4-5 Stunden
 - Alle unterschiedlichen Konsummilcharten werden auf der gleichen Maschine produziert
 - Zwischen unterschiedlichen Produktionen wird Maschine nicht gereinigt; verschiedene Milchprodukte werden in absteigend Qualität produziert
 - Butter wird durch Verarbeitung der „Fettreste“ der Milchproduktion hergestellt
 - Neben den Auftragsproduktionen (Handelsmarken) werden auch Eigenmarken produziert
 - Haltbarkeit von Frischmilch 10-12 Tage
 - Produktionsräume sind nicht temperiert; Kühlraum auf 4 bis 6°C ohne Kühlaggregat temperiert; Trockenraum wird auf 30°C geheizt
- Beschaffung
 - Unternehmen steht mit anderen Molkereien in Konkurrenz bei den Landwirten (keine regionale Abgrenzung)
 - 110 Biolandwirte in Region Ostdeutschland
 - Verarbeitung von Rohmilch von Bio-Landwirten führt zu weiten Transportwegen zur Molkerei (geringe Bio-Landwirt-Dichte)
 - Einzugskreis der Produktionsbetriebe etwa 250 km
 - Bezug der Milch über Sammeltouren
- Absatz
 - Kunden sind mehrere Einzel- und Naturkosthändler
 - Nachfrage ist relativ stabil, bis auf Spitzen an Weihnachten und Aktionen von Händlern
 - Abnehmer befinden sich im regionalen Umkreis (beispielsweise Zentrallager eines Einzelhändlers)
 - Unternehmen verantwortlich für Lieferung an Verteillager des Lebensmitteleinzelhandels sowie Lager der Bio-Großhändler
 - Transport erfolgt über Logistikdienstleister
- Schwachstellen
 - Nur eine Abfüllanlage für Milch (Tetra-Brik-Verpackungsmaschine); Problem bei Stromausfall und technischen Problemen
 - Milch-Verpackung wird von einem einzigen Hersteller zugeliefert
 - Das Warenausgangslager hat eine Kapazität von 2 Tagen

A.14 Luftfrachtcenter für temperaturgeführte Produkte

Datum: 5. März 2014
Ort: Frankfurt am Main
Interviewpartner: Geschäftsführer
Kernerkenntnisse:

- Lager
 - 9.000 m² Fläche; 20 Rampen
 - 20 Temperaturbereiche zwischen -24°C und +24°C
 - 120 eigene Mitarbeiter und 50 zusätzliche, feste Mitarbeiter aus Personaldienstleitung
 - ganzjähriger 24/7-Betrieb
 - Lufttransport verderblicher Waren unbeliebt, da wenig Marge; eher um Leerflüge zu vermeiden
 - 104.400 t Fracht 2013 (42 % Obst und Gemüse, 12 % Pharma, 19 % Blumen und Pflanzen, 18 % Fisch, 6 % Fleisch, 3 % Sonstiges)
 - Davon circa 40 % per Frachtflugzeug; 40 % per Passagiermaschine, 20 % per Lkw (aus Europa keine Luftfracht)
 - Beispielsweise Februar 2014: 38 Lieferungen per Lkw und 179 Lieferungen per Flugzeug pro Tag
 - Unternehmen kennt weder Produzent noch Exporteur oder Händler; kennen nur Spediteur und Airline; Informationen zur Lieferung 24 Stunden vorher gewünscht; real eher bei Start der Maschine (zum Beispiel 4 Stunden aus Ägypten)
 - Verteilung der Ware in Ballungszentren; 25 % Transit
 - Möglichst hoher Durchlauf und möglichst wenig Bestände angestrebt; bei guter Zusammenarbeit 6 Stunden Durchlaufzeit
 - Alle Waren werden verzollt und damit auch von Behörden kontrolliert
 - * BLE, Zoll, Veterinäramt, Pflanzenschutzdienst vor Ort
 - * Bei Ablehnung von Waren Meldung von Behörden an Importeur
 - * Nicht jede Ware wird kontrolliert, oft nur Dokumentation
- Störfallmanagement
 - Notfallplan für Rückrufaktion; ansonsten entscheidet der Geschäftsführer
 - Reparaturtechniker für schnelle Einsätze als feste Mitarbeiter im Haus
 - Versicherung für Geschäftsausfälle
 - Hitzewelle kein Problem, da Kühlaufleger angedockt werden können, um Kühlprobleme zu überbrücken
 - IT-Ausfall kein Problem, da manuelle viele Prozesse
 - Durch internationalen Druck jedoch zur Digitalisierung der Dokumente gezwungen
 - Ausfall Rollenband problematisch
 - Arbeitskräfteausfall sehr problematisch
 - * Sortierware würde eher vernachlässigt
 - * Kein Personalleasing möglich, da diese nicht in Flughäfen dürfen
 - * Streik wäre problematisch, bisher aber nur selten aufgetreten
 - Vulkanausbruch 2010
 - * Beeinträchtigungen für circa 1 Woche
 - * Komplettausfall einzelner Segmente (zum Beispiel Blumen)
 - * Kein Ausgleich der Warenbewegungen im Nachhinein, da Flugkapazität beschränkt
 - Vereisung der Landebahn
 - * Umleitung der Flüge nach Köln, Leipzig / Halle
 - * Dort jedoch keine temperaturgeführte Lagerung möglich

A.15 Lager eines Kontraktlogistikers

Datum: 10. April 2014

Ort: Heddesheim

Kernerkenntnisse:

- Allgemein
 - Übernimmt Teile der Beschaffungs- und Distributionslogistik für alle großen Lebensmitteleinzelhändler und Hersteller (zum Beispiel Retourenmanagement Non-food für einen Lebensmitteldiscounter)
 - Operiert bundesweit
 - Verschiedene Kunden aus unterschiedlichen Branchen teilen sich gemeinsames Lagerhaus
 - Zur Bedienung der Kunden stehen in den Lagerhäusern eigene Hallen mit eigener Technik bereit
- Risiken und Entscheidungen
 - Lagertechnik teilautomatisiert, ohne Strom funktionieren Regalbediengeräte nicht
 - Hoher Automatisierungsgrad; bei IT-Ausfall funktioniert nichts mehr
 - Personalmangel
 - * Durch anspruchsvolle Bedienung der Mehrkammerfahrzeuge sind für Fahrer spezielle Schulungen notwendig
 - * Kurzfristiger Ersatz nur schwierig zu organisieren
 - * Einige Lagerarbeiter verfügen jedoch über notwendige Qualifikation und können im Bedarfsfall aushelfen

A.17 Obst- und Gemüsegroßmarkt

Datum: 9. Oktober 2014

Ort: Frankfurt am Main

Interviewpartner: Geschäftsführerin,
Größter Händler und Aufsichtsrat

Kernerkenntnisse:

- Eckdaten
 - 23.500 m² Verkaufs- und 18.400 m² Lagerfläche
 - Vermietung von Flächen ab 6x6 m; keine Einbauten vorhanden; 3 Werkstätten für Flurförderzeuge, Heizung und zentrales Kühlsystem werden gestellt
 - Circa 110 sehr unterschiedlich aufgestellte Händler, 1.000 Beschäftigte
 - Hauptsächlich Handel mit Obst und Gemüse; andere Frischemärkte oft in Kombination mit Fleisch- und Blumenhandel
 - Warenumsatz circa 460.000 t pro Jahr (Rang 5 in Deutschland)
 - Bestände am Ende des Tages vorhanden – im Unterschied zu Fruchtkontor eines Lebensmitteleinzelhändlers
- Größter Obst- und Gemüsehändler
 - Handel mit verzehrfertigem Obst und Gemüse hoher Reife; Lagerung nicht länger als eine Woche, oft nur sehr kurz
 - Regionalität von steigender Bedeutung; Bio spielt keine Rolle
 - Regionale Produkte vom Erzeuger, ausländische Produkte über Kooperativen, Überseeprodukte über Agenturen geliefert; an Spitzentagen bis 5 Sattelzüge
 - 60-65 % der Ware aus dem Ausland; Luftfracht spielt keine Rolle
 - Verderbquote unter 0,5 %; Rest zur Tafel
 - Angebots- und Nachfrageschwankungen eher innerhalb der Gütergruppen; bei Hitze Bedarf nach Obst und Salat hoch; Einkauf durch Händler nach Erfahrungswerten
 - Großhändler der Region, Markthändler, Gastronomie und Hotels werden beliefert; Restaurants holen Ware selbst ab
 - Fuhrpark mit 14 Fahrzeugen für eigene Zustellung; hauptsächlich 12-Tonner; für Spitzen auch Kapazitätzukauf in kleinem Maße
- Risiken und Schwachstellen
 - Hitze: Schäden an Ware wird Händlern gezahlt, wenn Kühlsystem ausfällt (ohne Versicherung); Kühlung im Havariefall über gekühlte Sattelschlepper; im Notfallplan festgehalten
 - Brand: bisher kein Brand; Sprinkleranlage vorhanden, aber aufgrund ungewisser Brandlast problematisch
 - Stromausfall: kommt für wenige Stunden vor, ist aber unproblematisch; längerer Stromausfall wäre extrem problematisch
 - Durch EHEC insgesamt 80 % weniger Umsatz; Großhändler haben Obst und Gemüse komplett aus Bestellungen gestrichen; „Hätte EHEC 6 Wochen länger andauert wäre ein Viertel der Branche pleite.“; Erzeugerverkauf ist während EHEC stark gestiegen
 - Personalmangel: insgesamt sehr kleine Unternehmungen mit wenigen Mitarbeitern; Größter Händler hat 80 Mitarbeiter; Streik kein Problem
 - IT-Systeme (beim Händler): Nutzung von Branchensoftware; Bedienung durch einen Mitarbeiter; früher haben 3 Mitarbeiter Auftragszettel geschrieben; Ausfall von einem Tag zu bewältigen
 - Störungen im Verkehrssystem: Verkehrsprobleme entstehen durch Extremwetterlagen; führen nur zu wenigen Stunden Verzögerung; knappe Transportkapazitäten nur zur Weihnachtszeit; circa 15 % Fahrerreserve; heute weniger Fahrer als früher aufgrund schlechter Arbeitszeiten, keine Leute mehr von Bundeswehr mit Führerschein

A.18 Lager eines Drogisten

Datum: 26. Februar 2015

Ort: Waghäusel

Interviewpartner: Abteilungsleiter Wareingang/Warenausgang, Technik

Kernerkenntnisse:

- Struktur Lagerhaus
 - Eines von zwei großen Verteilzentren in Deutschland; Belieferung von circa der Hälfte der insgesamt 1.622 Filialen; weitere Volumendistributionszentren und Kleinteiledistributionszentren
 - 11.000 m³ auf 3 Stockwerken plus 10.000 m² Außengelände für Anhängerlagerung
 - Je 15 Tore im Warenein- und ausgang
 - Je 2.500 Paletten im Warenein- und ausgang pro Tag; Inbound- und Outbound-Transporte zu 100 % palletiert
 - Im Schnitt 8 bis 10 Tage Lagerbestand; bei Schnelldrehern nur 3 Tage, bei Langsamdrehern bis zu einem Monat
 - Arbeit im Schichtbetrieb an 5,5 Tagen pro Woche; Beschränkung durch Betriebsrat und notwendige Wartungsarbeiten
 - Sehr hoher Automatisierungsgrad
 - * Regalbediengeräte, Rollenbahnen, Elektrohängebahnen
 - * Pick-by-Light; Kontrolle des Picking über Gewicht
 - * Manueller Transport von Gebinden durch Mitarbeiter bis 1 m; alles was darüber hinaus geht wird immer palettiert; Stapler nur auf letztem Meter von und zur Rampe
 - Ein Transportdienstleister für Beschaffung und ein anderer für Distribution
- Beschaffung
 - Circa 1.000 kg je Palette
 - Für saisonale Produkte wird Lagerfläche angemietet
 - Bestellung alle 3 bis 10 Tage; teilweise Vendor Managed Inventory (VMI)
- Distribution
 - Circa 700 kg je Palette mit etwa 95 % Ausnutzung (Volumen)
 - 4 Tage Bestellvorlauf; in der Regel automatisiert über Filialdaten nach Freigabe durch Filialleiter
 - Belieferung der Filialen täglich bis wöchentlich je nach gewähltem Lieferprogramm
 - Bestandsreichweite in Filialen beträgt circa 1-2 Tage; abhängig vom gewählten Bestellintervall der Filiale
 - Lieferfähigkeit des Lagers an Filialen beträgt 95-96 %
 - Oft Vorkommissionierung; vorkommissionierte Ware steht bis zu drei Tage im Anhänger auf dem Hof; daher im Sommer keine Schokolade
- Risikomanagement
 - Große Abhängigkeit von Strom und IT wegen hohem Automatisierungsgrad
 - Dispositionssystem hat bei knappen Waren im Lager und gleichzeitigen hohen Bestellungen aus den Filialen zu unerwünschten Liefermengenverteilungen auf die Filialen geführt
 - Aufbau von Beständen, wenn Probleme bei Zulieferern bekannt werden; beispielsweise bei möglicher Zulieferungsunterbrechung wegen IT-Umstellung, Vertragsverhandlungen
 - Es wird etwa 20 % mehr Personal geplant, um Urlaub, Krankheit, Fortbildung auszugleichen; im Schnitt 7 % Arbeitskräftausfall

Anhang B

Zusammensetzung der Gütergruppen

Nr.	Gütergruppe	Enthalten	Nicht enthalten
1	Getreide tr	Hartweizen; Weichweizen; Roggen; Gerste; Hafer; Mais; Triticale	Sorghum; Hirse; Reis
2	Reis tr	Geschälter Reis; Geschliffener Reis; Bruchreis	-
3	Ölsaaten tr	Raps; Rübsen	-
4	Zuckerrüben tr	Zuckerrüben	-
5	Gemüse tg	Weiß- und Rotkohl; Wirsingkohl, Kohlrabi, Chinakohl; Rosenkohl; Blumen- und Grünkohl, Broccoli; Möhren, Karotten, Rote Rüben; Sellerie; Porree; Spinat; Spargel; Erbsen; Bohnen; Kopfsalat; Speisezwiebeln; Tomaten; Gurken; Dicke Bohnen; Eissalat; Chicoree, Rettich und Radies; Champignons	Sojabohnen
6	Kartoffeln tg	Kartoffeln	-
7	Obst tg	Äpfel; Birnen; Kirschen; Pflaumen; Aprikosen; Pfirsiche; Johannisbeeren; Stachelbeeren; Himbeeren; Erdbeeren; Brom-, Heidel- und Preiselbeeren; Tafeltrauben; Bananen; Melonen; Ananas; Avocadofrüchte; Feigen; Mangofrüchte; Apfelsinen; Clementinen u.a.; Zitronen; Pampelmusen u.a.; Schalenobst	Trauben für Weinerzeugung; Trockenobst
8	Wein tr	Trinkwein; Schaumwein; Traubenmost	-
9	Schweine le	Schweine	-
10	Rinder le	Rinder; Kälber	-
11	Rohmilch tg	Kuhmilch	Schafmilch; Ziegenmilch
12	Geflügel le	Jungmasthühner; Suppenhennen; Enten; Gänse; Trut- und Perlhühner	-
13	Eier tr	Schaleneier; Eiprodukte in Schaleneiwert	Bruteier
14	Fisch und Krebs-, Weichtiere tk	Fisch und Krebs-, Weichtiere	-

Nr.	Gütergruppe	Enthalten	Nicht enthalten
15	Getreideerzeugnisse tr	Mehl, Grieß und Dunst; Getreidestärke; Gerstenmalz; Weizenmalz; Hafernährmittel; Müslizubereitungen; Backmittel	Teigwaren
16	Backwaren tr	Frisches Brot und Brötchen	-
17	Backwaren tg	Feine Backwaren	Dauerbackwaren
18	Backwaren tk	Backfertige Teige	-
19	Teigwaren tr	Makkaroni, Nudeln u.ä. mit Ei; Makkaroni, Nudeln u.ä. ohne Ei	-
20	Bier tr	Bier; bierhaltige Mischgetränke	-
21	Pflanzliche Öle tr	Pflanzliche Öle	-
22	Pflanzliche Fette tg	Margarine	-
23	Zucker tr	Rübenzucker; Rohrzucker	-
24	Süßwaren tr	Dauerbackwaren; Kakaopulver; Kaugummi; Zuckerwaren	-
25	Süßwaren tg	Schokoladenerzeugnisse	-
26	Gemüsezubereitungen tr	Gemüsekonserven; Ketchup, Tomatensoßen; feinsaure Essigkonserven	-
27	Gemüsezubereitungen tk	Tiefkühl-Gemüse	-
28	Kartoffelerzeugnisse tr	Kartoffelstärke; Kartoffelmehl; Kartoffelchips	-
29	Kartoffelerzeugnisse tg	Kartoffelsalat; zubereitete Kartoffeln	-
30	Kartoffelerzeugnisse tk	gefrorene Kartoffeln; Pommes Frites vorgebacken	-
31	Obstzubereitungen tr	Obstkonserven; Trockenobst; Fruchtzubereitungen für die Milch- und Eiscremeindustrie; Konfitüren; Mus	-
32	Obstzubereitungen tk	Tiefkühl-Früchte; Saftkonzentrate	-
33	Obst- und Gemüsesäfte tr	Obstsäfte; Gemüsesäfte; Nektare; Schorlen	-
34	Schlachterzeugnisse Schwein tg	Schweinekörper; Schweineteile; genießbare Schlachtnebenerzeugnisse	-
35	Schlachterzeugnisse Rind tg	Rinderteiile; Innereien; genießbare Schlachtnebenerzeugnisse	-
36	Rind-, Schweinefleisch & -wurst tg	Rind-, Schweinefleisch & -wurst	-
37	Rind-, Schweinefleisch & -wurst tk	Rind-, Schweinefleisch & -wurst	-
38	Konsummilch tr	Konsummilch	-
39	Konsummilch tg	Konsummilch	-
40	Milcherzeugnisse tr	Trockenmilcherzeugnisse in Pulverform	Kondensmilcherzeugnisse
41	Milcherzeugnisse tg	Frischmilcherzeugnisse; Kondensmilcherzeugnisse; Butter und ähnliche Erzeugnisse	Konsummilch
42	Milcherzeugnisse tk	Speiseeis und Eiscreme	-

Nr.	Gütergruppe	Enthalten	Nicht enthalten
43	Käse tg	Hart-, Schnitt- halbfester Schnitt- und Weichkäse; Sauermilch-, Koch- und Molkenkäse; Schmelzkäse und -zubereitungen; Frischkäse	-
44	Schlachterzeugnisse Geflügel & -wurst tg	Schlachterzeugnisse Geflügel & -wurst	-
45	Schlachterzeugnisse Geflügel & -wurst tk	Schlachterzeugnisse Geflügel & -wurst	-
46	Fischerzeugnisse tr	Sonstige Fischerzeugnisse zubereitet oder haltbar gemacht	-
47	Fischerzeugnisse tg	Fischfilets u.a. Fischfleisch; Räucherfisch; Fischsalate; Krebstiere, Muscheln	-
48	Fischerzeugnisse tk	Tiefgefrorene Fische und Fischfilets; Fischfilets, Fischstäbchen mit Teig umhüllt	-
49	Fertiggerichte tr	Fein homogenisierte Lebensmittelzubereitungen; Würzen und Soßen; Teigwaren gekocht; Andere Lebensmittelzubereitungen anders nicht genannt (z.B. Tofu-Produkte)	-
50	Fertiggerichte tk	Tiefkühlpizza; tafelfertige Suppen; Fertiggerichte auf Grundlage von Fleisch oder Fisch	-
51	Mineralwasser & Erfrischungsgetränke tr	Mineralwasser; Tafelwasser; Heilwasser; Cola; Limonaden; Erfrischungsgetränke; Alkoholfreies Bier; trinkfertige Kaffee-, Teegetränke; Fruchtsaftgetränke	-
	Allgemein	-	Schaf- und Ziegenfleisch; Pferdefleisch; lebender Fisch; Salz; Gewürze; Essig; Glucose und Fructose; Futterpflanzen; Energiepflanzen; Saatgut und lebende Pflanzen; Honig; Rohtabak; Tabakerzeugnisse; Kaffee; Tee und Mate; Kakao; Spirituosen; Soja



Anhang C

Physische Input-Output-Tabelle der deutschen Lebensmittelversorgung

Physische Input-Output-Tabelle der deutschen Lebensmittelversorgung 2012

Nr.	Gütergruppen	Produktion in t	Importe in t	Inputs für Gütergruppen	
				Wein	Getreideerz.
1	Getreide tr	41.879.000	6.981.615		9.965.000
2	Reis tr	112.000	454.311		
3	Ölsaaten tr	3.674.000	7.753.816		
4	Zuckerrüben tr	29.547.940	279.881		
5	Gemüse tg	3.594.000	4.377.887		
6	Kartoffeln tg	11.673.000	1.140.603		
7	Obst tg	1.120.000	5.478.946		
8	Wein tr (1.000 l)	944.700	1.313.428		
9	Schweine le	6.491.948	810.355		
10	Rinder le	2.207.962	40.822		
11	Rohmilch tg	30.685.000	1.226.474		
12	Geflügel le	2.134.904	133.654		
13	Eier tr	751.000	426.141		
14	Fisch. Krebs- & Weichtiere tk	225.000	1.145.018		
15	Getreideerzeugnisse tr	8.038.510	648.348		
16	Backwaren tr	4.947.901			
17	Backwaren tg	2.340.520			
18	Backwaren tk	685.200	78.690		
19	Teigwaren tr	274.264	332.720		
20	Bier tr (1.000 l)	9.461.600	594.744		
21	Pflanzliche Öle tr	4.441.000	2.110.278		
22	Pflanzliche Fette tg	333.000	121.071		
23	Zucker tr	4.113.000	468.757	10.600	
24	Süßwaren tr	1.849.021	320.196		
25	Süßwaren tg	1.291.384	261.157		
26	Gemüsezubereitungen tr	1.402.281	1.135.680		
27	Gemüsezubereitungen tk	201.877	509.849		
28	Kartoffelerzeugnisse tr	978.958	96.414		
29	Kartoffelerzeugnisse tg	258.406			
30	Kartoffelerzeugnisse tk	477.732	148.766		
31	Obstzubereitungen tr	675.160	606.046		
32	Obstzubereitungen tk	120.752	312.874		
33	Obst- & Gemüsesäfte tr (1.000 l)	3.792.191	885.958		
34	Schlachterzeugnisse Schwein tg	5.474.000	454.334		
35	Schlachterzeugnisse Rind tg	1.146.300	69.306		
36	Rind-, Schweinefleisch & -wurst tg	3.634.427	574.416		
37	Rind-, Schweinefleisch & -wurst tk	701.490	26.248		
38	Konsummilch tr	3.593.400	962.039		
39	Konsummilch tg	1.657.600			
40	Milcherzeugnisse tr	864.600	106.373		
41	Milcherzeugnisse tg	4.569.500	932.296		
42	Milcherzeugnisse tk	474.750	70.393		
43	Käse tg	2.399.900	447.612		
44	Schlachterzeugnisse Geflügel & -wurst tg	1.142.998	482.202		
45	Schlachterzeugnisse Geflügel & -wurst tk	306.349	74.590		
46	Fischerzeugnisse tr	153.800	107.939		
47	Fischerzeugnisse tg	68.200	70.904		
48	Fischerzeugnisse tk	279.700	307.177		
49	Fertiggerichte tr	1.991.433	371.723		
50	Fertiggerichte tk	813.605			
51	Mineralw. & Erfrischungsgetr. tr (1.000 l)	23.186.609	2.493.237		

Physische Input-Output-Tabelle der deutschen Lebensmittelversorgung 2012

Nr.	Inputs für Gütergruppen						
	Backwaren	Teigwaren	Bier	Pfl. Öle	Pfl. Fette	Zucker	Süßwaren
1			1.977.000				
2							
3				10.955.000			
4						29.782.000	
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13	86.880	20.000					163.760
14							
15	5.162.356	308.000					290.020
16							
17							
18							
19							
20							
21	111.504				185.840		64.996
22							
23	167.600						877.100
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							
32							
33							
34							
35							
36							
37							
38							
39							
40							134.700
41							
42							
43							
44							
45							
46							
47							
48							
49							
50							
51							

Physische Input-Output-Tabelle der deutschen Lebensmittelversorgung 2012

Nr.	Inputs für Gütergruppen						
	Gemüsezub.	Kartoffelerz.	Obstzub.	O.-G.-Säfte	Schl.-erz. S.	Schl.-erz. R.	R.-S.-Wurst
1							
2							
3							
4							
5	1.717.281			152.286			
6		2.230.896					
7			795.913	794.368			
8							
9					7.109.221		
10						2.172.891	
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21		55.245					
22							
23			174.500				
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							
32				105.632			
33							
34							3.575.536
35							760.380
36							
37							
38							
39							
40							
41							
42							
43							
44							
45							
46							
47							
48							
49							
50							
51							

Physische Input-Output-Tabelle der deutschen Lebensmittelversorgung 2012

Nr.	Inputs für Gütergruppen						
	Milch	Milcherz.	Käse	Schl.-erz. G.	Fischerz.	Fertigerz.	Wasser & Getr.
1							
2						96.000	
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11	3.014.000	16.983.000	9.982.000				
12				1.850.064			
13						163.760	
14					501.700		
15						755.066	
16							
17							
18							
19						180.159	
20							
21		63.024				76.966	
22						50.489	
23		215.800				452.500	586.500
24							
25							
26							
27						396.732	
28						127.000	
29							
30							
31							
32		248.522					
33							
34							
35							
36						174.448	
37							
38							
39							
40						134.700	
41							
42							
43						57.114	
44						109.541	
45							
46							
47							
48							
49							
50							
51							

Physische Input-Output-Tabelle der deutschen Lebensmittelversorgung 2012

Nr.	Letzte Verwendung		
	Endverbraucher	Andere Sektoren	Exporte
1		29.872.000	7.046.615
2	435.000	7.000	28.311
3	169.000	210.000	93.816
4			45.821
5	4.866.478	862.000	373.843
6	4.559.701	2.234.000	3.789.006
7	4.708.145		300.521
8	2.091.600	13.000	153.528
9			193.082
10			75.893
11		811.000	1.121.474
12			418.495
13	651.600		91.141
14	656.000	127.000	85.318
15	811.800		1.359.615
16	4.947.901		
17	2.340.520		
18	578.696		185.194
19	408.284		18.541
20	8.627.900		1.428.444
21	988.000	3.612.425	1.393.278
22	288.511		115.071
23	461.600	421.800	1.213.757
24	1.215.987		953.230
25	893.157		659.384
26	2.371.081		166.879
27	285.300		29.694
28	471.491	15.870	461.011
29	258.406		
30	435.703		190.795
31	1.151.406		129.800
32	68.900		10.572
33	4.015.235		662.914
34		1.383.168	969.630
35		350.288	104.938
36	2.804.934		1.229.461
37	212.100		515.638
38	3.003.844		1.551.596
39	1.657.600		
40		95.100	606.473
41	4.080.788		1.421.008
42	445.255		99.888
43	1.921.386		869.012
44	677.524	536.636	301.499
45	191.000		189.939
46	223.250		38.489
47	99.704		39.400
48	544.273		42.604
49	1.761.173		601.983
50	813.605		
51	20.960.789		4.719.058

Anhang D

Regionale Verteilung der Produktion

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die 402 deutschen Kreise und kreisfreien Städte und zeigt anhand von zwei Beispielen die Verteilung der nationalen Jahresproduktion auf die einzelnen Regionen. Die Verteilung der Produktion der weiteren Gütergruppen findet sich im digitalen Anhang.

Regionale Verteilung der Produktion

NUTS-3-Region		Rohmilch		Gemüse	
AGS	Name	Anzahl	Regionale	Anzahl	Regionale
Destatis	Eurostat (2015)	Milchkühe	Produktion	soz.vers.pfl.	Produktion
(2014a)		Statistische	Rohmilch	Beschäftigte	Gemüse
		Ämter	Berechnet	- Anbau von	Berechnet
		des Bundes		Gemüse	
		und der		Bundes-	
		Länder		agentur für	
		(2014)	in t	Arbeit (2014)	in t
01001	Flensburg	218	1.606	0	0
01002	Kiel	397	2.925	0	0
01003	Lübeck	793	5.843	3	718
01004	Neumünster	823	6.064	8	1.949
01051	Dithmarschen	35.960	264.943	322	78.454
01053	Herzogtum Lauenburg	8.454	62.287	19	4.509
01054	Nordfriesland	64.608	476.014	17	4.146
01055	Ostholstein	8.160	60.121	24	5.940
01056	Pinneberg	14.206	104.666	13	3.167
01057	Plön	17.845	131.477	31	7.492
01058	Rendsburg-Eckernförde	65.411	481.930	13	3.167
01059	Schleswig-Flensburg	71.533	527.035	12	2.924
01060	Segeberg	23.212	171.020	13	3.200
01061	Steinburg	42.728	314.808	23	5.527
01062	Stormarn	9.892	72.881	4	873
02000	Hamburg	1.024	7.545	220	53.602
03101	Braunschweig	139	1.027	1	244
03102	Salzgitter	134	990	0	0
03103	Wolfsburg	196	1.444	0	0

Regionale Verteilung der Produktion

NUTS-3-Region		Rohmilch		Gemüse	
AGS	Name	Anzahl	Regionale	Anzahl	Regionale
Destatis	Eurostat (2015)	Milchkühe	Produktion	soz.vers.pfl.	Produktion
(2014a)		Statistische	Rohmilch	Beschäftigte	Gemüse
		Ämter	Berechnet	- Anbau von	Berechnet
		des Bundes		Gemüse	
		und der		Bundes-	
		Länder		agentur für	
		(2014)	in t	Arbeit (2014)	in t
03151	Gifhorn	6.772	49.894	12	2.803
03152	Göttingen	6.307	46.468	30	7.309
03153	Goslar	1.858	13.689	0	0
03154	Helmstedt	1.645	12.120	0	0
03155	Northeim	7.361	54.234	2	460
03156	Osterode am Harz	1.540	11.346	0	0
03157	Peine	1.248	9.195	4	879
03158	Wolfenbüttel	371	2.735	56	13.644
03241	Region Hannover	9.605	70.767	102	24.852
03251	Diepholz	29.804	219.588	124	30.212
03252	Hameln-Pyrmont	2.914	21.470	43	10.477
03254	Hildesheim	1.747	12.871	2	487
03255	Holzminden	4.739	34.916	1	244
03256	Nienburg (Weser)	13.388	98.639	66	16.081
03257	Schaumburg	3.631	26.752	20	4.873
03351	Celle	7.582	55.862	19	4.629
03352	Cuxhaven	98.004	722.066	32	7.797
03353	Harburg	11.947	88.022	292	71.144
03354	Lüchow-Dannenberg	6.577	48.457	56	13.644
03355	Lüneburg	10.427	76.823	63	15.350
03356	Osterholz	23.482	173.009	6	1.568
03357	Rotenburg (Wümme)	57.626	424.572	32	7.814
03358	Soltau-Fallingb.ostel	11.065	81.524	21	5.103
03359	Stade	38.096	280.681	0	0
03360	Uelzen	3.650	26.892	34	8.284
03361	Verden	13.949	102.772	13	3.057
03401	Delmenhorst	1.446	10.654	0	0
03402	Emden	2.777	20.460	0	0
03403	Oldenburg (kreisfreie Stadt)	1.572	11.579	1	244
03404	Osnabrück	691	5.091	0	0
03405	Wilhelmshaven	2.276	16.772	0	0
03451	Ammerland	29.620	218.232	12	3.029
03452	Aurich	49.479	364.547	10	2.330
03453	Cloppenburg	17.407	128.250	406	99.037
03454	Emsland	31.956	235.443	150	36.547

Regionale Verteilung der Produktion

NUTS-3-Region		Rohmilch		Gemüse	
AGS	Name	Anzahl	Regionale	Anzahl	Regionale
Destatis	Eurostat (2015)	Milchkühe	Produktion	soz.vers.pfl.	Produktion
(2014a)		Statistische	Rohmilch	Beschäftigte	Gemüse
		Ämter	Berechnet	- Anbau von	Berechnet
		des Bundes		Gemüse	
		und der		Bundes-	
		Länder		agentur für	
		(2014)	in t	Arbeit (2014)	in t
03455	Friesland	33.483	246.693	11	2.563
03456	Grafschaft Bentheim	30.153	222.159	0	0
03457	Leer	61.362	452.098	54	13.157
03458	Oldenburg (Landkreis)	17.519	129.075	27	6.578
03459	Osnabrück	28.769	211.962	159	38.740
03460	Vechta	7.055	51.979	226	55.064
03461	Wesermarsch	48.161	354.837	0	0
03462	Wittmund	29.752	219.204	0	0
04011	Bremen	1.817	13.387	0	0
04012	Bremerhaven	1.817	13.387	0	0
05111	Düsseldorf	59	433	61	14.862
05112	Duisburg	224	1.650	15	3.537
05113	Essen	138	1.017	0	0
05114	Krefeld	729	5.371	190	46.293
05116	Mönchengladbach	1.424	10.492	31	7.671
05117	Mülheim an der Ruhr	41	302	0	0
05119	Oberhausen	16	120	0	0
05120	Remscheid	706	5.202	0	0
05122	Solingen	261	1.923	1	244
05124	Wuppertal	771	5.681	0	0
05154	Kleve	46.715	344.183	436	106.229
05158	Mettmann	1.633	12.031	1	244
05162	Rhein-Kreis Neuss	1.988	14.647	117	28.506
05166	Viersen	14.869	109.551	557	135.710
05170	Wesel	24.757	182.403	79	19.248
05314	Bonn	98	722	1	249
05315	Köln	138	1.020	5	1.187
05316	Leverkusen	347	2.554	0	0
05334	Städteregion Aachen	12.892	94.985	10	2.436
05358	Düren	6.062	44.663	45	10.964
05362	Rhein-Erft-Kreis	917	6.756	137	33.379
05366	Euskirchen	12.480	91.949	10	2.504
05370	Heinsberg	13.494	99.420	30	7.309
05374	Oberbergischer Kreis	19.628	144.614	4	871
05378	Rheinisch-Bergischer Kreis	7.032	51.810	2	548

Regionale Verteilung der Produktion

AGS	NUTS-3-Region Name	Rohmilch		Gemüse	
		Anzahl Milchkühe	Regionale Produktion Rohmilch Berechnet	Anzahl soz.vers.pfl. Beschäftigte - Anbau von Gemüse	Regionale Produktion Gemüse Berechnet
Destatis (2014a)	Eurostat (2015)	Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2014)	Berechnet in t	Bundes- agentur für Arbeit (2014)	Berechnet in t
05382	Rhein-Sieg-Kreis	13.860	102.117	96	23.390
05512	Bottrop	1.542	11.361	19	4.526
05513	Gelsenkirchen	473	3.485	0	0
05515	Münster	1.751	12.901	18	4.279
05554	Borken	40.539	298.680	14	3.395
05558	Coesfeld	12.142	89.459	13	3.206
05562	Recklinghausen	6.436	47.419	9	2.133
05566	Steinfurt	18.036	132.884	33	8.109
05570	Warendorf	12.834	94.557	32	7.732
05711	Bielefeld	979	7.213	36	8.833
05754	Gütersloh	17.733	130.652	28	6.822
05758	Herford	1.491	10.985	38	9.374
05762	Höxter	9.023	66.479	14	3.425
05766	Lippe	5.519	40.662	20	4.867
05770	Minden-Lübbecke	10.468	77.125	79	19.248
05774	Paderborn	10.224	75.328	19	4.687
05911	Bochum	0	0	0	0
05913	Dortmund	230	1.695	7	1.608
05914	Hagen	548	4.038	0	0
05915	Hamm	1.669	12.297	0	0
05916	Herne	0	0	0	0
05954	Ennepe-Ruhr-Kreis	4.277	31.512	0	0
05958	Hochsauerlandkreis	22.466	165.523	3	780
05962	Märkischer Kreis	11.706	86.247	3	647
05966	Olpe	5.122	37.737	0	0
05970	Siegen-Wittgenstein	4.214	31.048	1	286
05974	Soest	9.462	69.713	166	40.445
05978	Unna	2.303	16.968	14	3.500
06411	Darmstadt	29	214	17	4.183
06412	Frankfurt am Main	101	744	53	13.030
06413	Offenbach am Main	0	0	0	0
06414	Wiesbaden	166	1.223	24	5.788
06431	Bergstraße	3.864	28.469	205	49.916
06432	Darmstadt-Dieburg	2.722	20.055	149	36.303
06433	Groß-Gerau	369	2.719	131	31.917

Regionale Verteilung der Produktion

NUTS-3-Region		Rohmilch		Gemüse	
AGS	Name	Anzahl	Regionale	Anzahl	Regionale
Destatis	Eurostat (2015)	Milchkühe	Produktion	soz.vers.pfl.	Produktion
(2014a)		Statistische	Rohmilch	Beschäftigte	Gemüse
		Ämter	Berechnet	- Anbau von	Berechnet
		des Bundes		Gemüse	
		und der		Bundes-	
		Länder		agentur für	
		(2014)	in t	Arbeit (2014)	in t
06434	Hochtaunuskreis	1.005	7.405	11	2.606
06435	Main-Kinzig-Kreis	8.995	66.273	30	7.417
06436	Main-Taunus-Kreis	255	1.879	0	0
06437	Odenwaldkreis	6.904	50.867	4	1.090
06438	Offenbach (Landkreis)	671	4.944	23	5.631
06439	Rheingau-Taunus-Kreis	467	3.441	0	0
06440	Wetteraukreis	6.311	46.498	24	5.847
06531	Gießen	3.909	28.800	5	1.174
06532	Lahn-Dill-Kreis	2.265	16.688	19	4.631
06533	Limburg-Weilburg	5.860	43.175	1	318
06534	Marburg-Biedenkopf	9.398	69.242	15	3.624
06535	Vogelsbergkreis	18.566	136.789	0	0
06611	Kassel (kreisfreie Stadt)	92	679	1	244
06631	Fulda	21.653	159.532	0	0
06632	Hersfeld-Rotenburg	6.724	49.541	0	0
06633	Kassel (Landkreis)	6.461	47.603	21	5.117
06634	Schwalm-Eder-Kreis	12.664	93.305	12	2.824
06635	Waldeck-Frankenberg	22.917	168.846	1	287
06636	Werra-Meißner-Kreis	6.812	50.189	5	1.275
07111	Koblenz	74	542	3	690
07131	Ahrweiler	3.194	23.532	4	1.048
07132	Altenkirchen (Westerwald)	5.323	39.218	0	0
07133	Bad Kreuznach	1.846	13.604	12	3.036
07134	Birkenfeld	3.469	25.559	3	640
07135	Cochem-Zell	2.664	19.628	0	0
07137	Mayen-Koblenz	1.957	14.419	11	2.621
07138	Neuwied	4.115	30.318	0	0
07140	Rhein-Hunsrück-Kreis	4.933	36.345	4	1.025
07141	Rhein-Lahn-Kreis	3.041	22.405	4	989
07143	Westerwaldkreis	6.200	45.680	0	0
07211	Trier (kreisfreie Stadt)	162	1.194	4	1.050
07231	Bernkastel-Wittlich	6.930	51.058	0	0
07232	Eifelkreis Bitburg-Prüm	42.258	311.345	0	0
07233	Vulkaneifel	12.458	91.787	0	0
07235	Trier-Saarburg	6.452	47.537	13	3.178

Regionale Verteilung der Produktion

AGS	NUTS-3-Region Name	Rohmilch		Gemüse	
		Anzahl Milchkühe	Regionale Produktion Rohmilch	Anzahl soz.vers.pfl. Beschäftigte	Regionale Produktion Gemüse
Destatis (2014a)	Eurostat (2015)	Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2014)	Berechnet in t	- Anbau von Gemüse Bundes- agentur für Arbeit (2014)	Berechnet in t
07311	Frankenthal (Pfalz)	0	0	3	648
07312	Kaiserslautern (kreisfreie Stadt)	75	551	0	0
07313	Landau in der Pfalz	0	0	0	0
07314	Ludwigshafen am Rhein	27	201	49	11.962
07315	Mainz	0	0	7	1.747
07316	Neustadt an der Weinstraße	63	463	9	2.080
07317	Pirmasens	223	1.643	0	0
07318	Speyer	0	0	1	362
07319	Worms	0	0	0	0
07320	Zweibrücken	730	5.378	0	0
07331	Alzey-Worms	75	553	30	7.309
07332	Bad Dürkheim	52	383	20	4.893
07333	Donnersbergkreis	1.686	12.422	0	0
07334	Germersheim	193	1.422	384	93.560
07335	Kaiserslautern (Landkreis)	2.293	16.894	3	731
07336	Kusel	3.175	23.393	0	0
07337	Südliche Weinstraße	137	1.009	31	7.669
07338	Rhein-Pfalz-Kreis	25	184	1.113	271.177
07339	Mainz-Bingen	264	1.945	8	1.922
07340	Südwestpfalz	4.407	32.470	0	0
08111	Stuttgart	351	2.588	24	5.847
08115	Böblingen	3.178	23.415	30	7.215
08116	Esslingen	2.502	18.434	183	44.576
08117	Göppingen	10.603	78.120	9	2.289
08118	Ludwigsburg	4.344	32.005	243	59.114
08119	Rems-Murr-Kreis	6.718	49.496	102	24.852
08121	Heilbronn (kreisfreie Stadt)	118	868	23	5.604
08125	Heilbronn (Landkreis)	4.378	32.256	57	13.888
08126	Hohenlohekreis	7.569	55.766	30	7.215
08127	Schwäbisch Hall	21.941	161.655	51	12.335
08128	Main-Tauber-Kreis	6.932	51.073	14	3.429
08135	Heidenheim	7.912	58.293	5	1.242
08136	Ostalbkreis	25.104	184.959	101	24.608
08211	Baden-Baden	0	0	0	0
08212	Karlsruhe (kreisfreie Stadt)	64	471	30	7.333

Regionale Verteilung der Produktion

NUTS-3-Region		Rohmilch		Gemüse	
AGS	Name	Anzahl	Regionale	Anzahl	Regionale
Destatis	Eurostat (2015)	Milchkühe	Produktion	soz.vers.pfl.	Produktion
(2014a)		Statistische	Rohmilch	Beschäftigte	Gemüse
		Ämter	Berechnet	- Anbau von	Berechnet
		des Bundes		Gemüse	
		und der		Bundes-	
		Länder		agentur für	
		(2014)	in t	Arbeit (2014)	in t
08215	Karlsruhe (Landkreis)	1.202	8.856	33	8.032
08216	Rastatt	380	2.800	25	6.196
08221	Heidelberg	72	533	39	9.532
08222	Mannheim	60	445	10	2.524
08225	Neckar-Odenwald-Kreis	7.534	55.508	17	4.131
08226	Rhein-Neckar-Kreis	3.371	24.837	23	5.604
08231	Pforzheim	39	289	4	875
08235	Calw	3.499	25.780	11	2.680
08236	Enzkreis	2.881	21.226	8	2.065
08237	Freudenstadt	3.774	27.806	0	0
08311	Freiburg im Breisgau	93	685	4	979
08315	Breisgau-Hochschwarzwald	10.256	75.563	99	24.160
08316	Emmendingen	3.583	26.399	46	11.133
08317	Ortenaukreis	8.168	60.180	76	18.446
08325	Rottweil	5.097	37.553	4	954
08326	Schwarzwald-Baar-Kreis	12.455	91.765	4	869
08327	Tuttlingen	5.405	39.823	0	0
08335	Konstanz	8.828	65.042	268	65.374
08336	Lörrach	3.769	27.769	89	21.785
08337	Waldshut	10.351	76.263	6	1.512
08415	Reutlingen	8.194	60.371	50	12.182
08416	Tübingen	1.601	11.796	13	3.167
08417	Zollernalbkreis	3.430	25.271	7	1.777
08421	Ulm	827	6.093	4	961
08425	Alb-Donau-Kreis	18.453	135.957	150	36.547
08426	Biberach	35.289	259.999	8	2.064
08435	Bodenseekreis	10.539	77.648	50	12.252
08436	Ravensburg	69.996	515.711	85	20.710
08437	Sigmaringen	12.854	94.705	0	0
09161	Ingolstadt	690	5.084	2	536
09162	München (kreisfreie Stadt)	94	693	98	23.827
09163	Rosenheim (kreisfreie Stadt)	1.550	11.420	0	0
09171	Altötting	16.836	124.043	7	1.799
09172	Berchtesgadener Land	13.847	102.021	0	0
09173	Bad Tölz-Wolfratshausen	19.006	140.031	13	3.167

Regionale Verteilung der Produktion

NUTS-3-Region		Rohmilch		Gemüse	
AGS	Name	Anzahl	Regionale	Anzahl	Regionale
Destatis	Eurostat (2015)	Milchkühe	Produktion	soz.vers.pfl.	Produktion
(2014a)		Statistische	Rohmilch	Beschäftigte	Gemüse
		Ämter	Berechnet	- Anbau von	Berechnet
		des Bundes		Gemüse	
		und der		Bundes-	
		Länder		agentur für	
		(2014)	in t	Arbeit (2014)	in t
09174	Dachau	11.075	81.598	93	22.707
09175	Ebersberg	17.105	126.025	81	19.729
09176	Eichstätt	9.612	70.819	12	2.978
09177	Erding	28.637	210.989	11	2.680
09178	Freising	9.057	66.729	11	2.680
09179	Fürstenfeldbruck	4.163	30.672	20	4.850
09180	Garmisch-Partenkirchen	7.247	53.394	4	900
09181	Landsberg am Lech	18.464	136.038	8	2.050
09182	Miesbach	17.421	128.353	13	3.167
09183	Mühldorf am Inn	32.746	241.263	0	0
09184	München (Landkreis)	2.373	17.484	14	3.411
09185	Neuburg-Schrobenhausen	10.976	80.868	17	4.217
09186	Pfaffenhofen an der Ilm	7.970	58.721	18	4.428
09187	Rosenheim (Landkreis)	60.196	443.507	26	6.335
09188	Starnberg	4.761	35.078	0	0
09189	Traunstein	46.049	339.276	13	3.103
09190	Weilheim-Schongau	35.470	261.333	0	0
09261	Landshut (kreisfreie Stadt)	558	4.115	10	2.437
09262	Passau (kreisfreie Stadt)	552	4.067	0	0
09263	Straubing (kreisfreie Stadt)	132	969	3	797
09271	Deggendorf	10.418	76.757	29	7.066
09272	Freyung-Grafenau	17.540	129.230	0	0
09273	Kelheim	6.869	50.609	20	4.874
09274	Landshut (Landkreis)	19.544	143.995	11	2.659
09275	Passau (Landkreis)	32.118	236.636	5	1.218
09276	Regen	16.198	119.342	4	928
09277	Rottal-Inn	37.191	274.013	5	1.218
09278	Straubing-Bogen	15.835	116.668	74	18.030
09279	Dingolfing-Landau	5.965	43.948	305	74.312
09361	Amberg	639	4.708	0	0
09362	Regensburg (kreisfreie Stadt)	78	575	24	5.847
09363	Weiden in der Oberpfalz	1.187	8.745	0	0
09371	Amberg-Sulzbach	19.837	146.153	1	244
09372	Cham	38.276	282.007	10	2.436
09373	Neumarkt in der Oberpfalz	19.848	146.235	0	0

Regionale Verteilung der Produktion

AGS	NUTS-3-Region Name	Rohmilch		Gemüse	
		Anzahl Milchkühe	Regionale Produktion Rohmilch	Anzahl soz.vers.pfl. Beschäftigte	Regionale Produktion Gemüse
Destatis (2014a)	Eurostat (2015)	Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2014)	Berechnet in t	- Anbau von Gemüse Bundes- agentur für Arbeit (2014)	Berechnet in t
09374	Neustadt an der Waldnaab	25.278	186.241	1	244
09375	Regensburg (Landkreis)	14.064	103.620	22	5.360
09376	Schwandorf	26.331	193.999	1	244
09377	Tirschenreuth	20.934	154.236	10	2.385
09461	Bamberg (kreisfreie Stadt)	0	0	10	2.436
09462	Bayreuth (kreisfreie Stadt)	1.143	8.421	0	0
09463	Coburg (kreisfreie Stadt)	393	2.896	1	271
09464	Hof (kreisfreie Stadt)	1.045	7.699	0	0
09471	Bamberg (Landkreis)	10.892	80.249	7	1.589
09472	Bayreuth (Landkreis)	21.181	156.056	0	0
09473	Coburg (Landkreis)	8.628	63.569	0	0
09474	Forchheim	5.461	40.235	3	789
09475	Hof (Landkreis)	17.680	130.261	0	0
09476	Kronach	4.427	32.617	0	0
09477	Kulmbach	9.073	66.847	0	0
09478	Lichtenfels	5.483	40.397	2	570
09479	Wunsiedel im Fichtelgebirge	7.634	56.245	0	0
09561	Ansbach (kreisfreie Stadt)	1.360	10.020	0	0
09562	Erlangen (kreisfreie Stadt)	744	5.482	1	284
09563	Fürth (kreisfreie Stadt)	501	3.690	59	14.375
09564	Nürnberg	336	2.476	461	112.320
09565	Schwabach	419	3.088	6	1.478
09571	Ansbach (Landkreis)	41.957	309.127	14	3.389
09572	Erlangen-Höchstadt	4.314	31.784	0	0
09573	Fürth (Landkreis)	5.841	43.035	0	0
09574	Nürnberger Land	6.756	49.776	0	0
09575	Neustadt an der Aisch	21.073	155.260	10	2.530
09576	Roth	13.457	99.147	0	0
09577	Weißenburg-Gunzenhausen	17.466	128.685	2	604
09661	Aschaffenburg (kreisfreie Stadt)	75	553	0	0
09662	Schweinfurt (kreisfreie Stadt)	75	553	0	0
09663	Würzburg (kreisfreie Stadt)	85	626	3	615
09671	Aschaffenburg (Landkreis)	691	5.091	11	2.680
09672	Bad Kissingen	5.683	41.871	0	0
09673	Rhön-Grabfeld	3.434	25.301	0	0

Regionale Verteilung der Produktion

AGS	NUTS-3-Region Name	Rohmilch		Gemüse	
		Anzahl Milchkühe	Regionale Produktion Rohmilch Berechnet in t	Anzahl soz.vers.pfl. Beschäftigte - Anbau von Gemüse Bundes- agentur für Arbeit (2014)	Regionale Produktion Gemüse Berechnet in t
Destatis (2014a)	Eurostat (2015)	Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2014)			
09674	Haßberge	7.340	54.079	6	1.514
09675	Kitzingen	6.330	46.638	123	29.968
09676	Miltenberg	1.960	14.441	9	2.076
09677	Main-Spessart	1.554	11.449	9	2.151
09678	Schweinfurt (Landkreis)	3.677	27.091	67	16.399
09679	Würzburg (Landkreis)	4.270	31.460	16	3.802
09761	Augsburg (kreisfreie Stadt)	455	3.350	10	2.436
09762	Kaufbeuren	938	6.911	0	0
09763	Kempten (Allgäu)	2.776	20.455	5	1.276
09764	Memmingen	2.238	16.489	0	0
09771	Aichach-Friedberg	14.532	107.068	99	24.121
09772	Augsburg (Landkreis)	23.763	175.079	20	4.911
09773	Dillingen an der Donau	13.029	95.994	66	16.014
09774	Günzburg	17.980	132.472	0	0
09775	Neu-Ulm	8.826	65.027	0	0
09776	Lindau (Bodensee)	14.547	107.178	2	566
09777	Ostallgäu	67.414	496.687	2	598
09778	Unterallgäu	70.566	519.911	23	5.604
09779	Donau-Ries	18.501	136.310	61	14.946
09780	Oberallgäu	41.716	307.352	2	427
10041	Regionalverband Saarbrücken	598	4.406	2	595
10042	Merzig-Wadern	3.446	25.389	0	0
10043	Neunkirchen	1.794	13.218	0	0
10044	Saarlouis	2.792	20.571	10	2.393
10045	Saarpfalz-Kreis	1.729	12.739	2	586
10046	Sankt Wendel	3.896	28.705	0	0
11000	Berlin	108	796	27	6.659
12051	Brandenburg an der Havel	0	0	1	244
12052	Cottbus	651	4.794	0	0
12053	Frankfurt (Oder)	1.725	12.712	2	377
12054	Potsdam	0	0	0	0
12060	Barnim	4.841	35.667	17	4.142
12061	Dahme-Spreewald	10.109	74.480	235	57.257
12062	Elbe-Elster	16.024	118.060	15	3.620
12063	Havelland	10.981	80.905	131	31.917

Regionale Verteilung der Produktion

AGS	NUTS-3-Region Name	Rohmilch		Gemüse	
		Anzahl Milchkühe	Regionale Produktion Rohmilch	Anzahl soz.vers.pfl. Beschäftigte	Regionale Produktion Gemüse
Destatis (2014a)	Eurostat (2015)	Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2014)	Berechnet in t	- Anbau von Gemüse Bundes- agentur für Arbeit (2014)	Berechnet in t
12064	Märkisch-Oderland	10.016	73.795	239	58.231
12065	Oberhavel	8.778	64.674	93	22.659
12066	Oberspreewald-Lausitz	4.226	31.136	106	25.826
12067	Oder-Spree	12.373	91.161	12	2.896
12068	Ostprignitz-Ruppin	14.080	103.738	133	32.403
12069	Potsdam-Mittelmark	12.848	94.660	199	48.485
12070	Prignitz	21.852	160.999	30	7.347
12071	Spree-Neiße	6.499	47.883	14	3.468
12072	Teltow-Fläming	11.587	85.370	110	26.751
12073	Uckermark	13.713	101.034	43	10.361
13003	Rostock	0	0	5	1.234
13004	Schwerin	31	231	3	715
13071	Neubrandenburg	31.139	229.423	31	7.553
13072	Güstrow	32.862	242.118	4	913
13073	Nordvorpommern	23.539	173.429	57	13.888
13074	Nordwestmecklenburg	19.503	143.693	35	8.528
13075	Uecker-Randow	18.766	138.260	3	792
13076	Parchim	45.733	336.948	180	43.856
14511	Chemnitz	2.264	16.681	0	0
14521	Erzgebirgskreis	21.719	160.020	11	2.653
14522	Mittelsachsen	34.274	252.521	67	16.324
14523	Vogtlandkreis	15.277	112.557	7	1.720
14524	Zwickau	16.069	118.392	26	6.335
14612	Dresden	522	3.846	73	17.861
14625	Bautzen	19.571	144.194	12	3.007
14626	Görlitz	19.201	141.468	52	12.558
14627	Meißen	12.387	91.264	109	26.557
14628	Sächsische Schweiz-Osterzgebirge	15.892	117.088	9	2.122
14713	Leipzig (kreisfreie Stadt)	465	3.425	18	4.422
14729	Leipzig (Landkreis)	14.489	106.751	83	20.223
14730	Nordsachsen	14.881	109.640	38	9.259
15001	Dessau-Roßlau	315	2.319	0	0
15002	Halle (Saale)	0	0	0	0
15003	Magdeburg	0	0	0	0
15081	Altmarkkreis Salzwedel	24.846	183.058	8	2.022

Regionale Verteilung der Produktion

NUTS-3-Region		Rohmilch		Gemüse	
AGS	Name	Anzahl	Regionale	Anzahl	Regionale
Destatis	Eurostat (2015)	Milchkühe	Produktion	soz.vers.pfl.	Produktion
(2014a)		Statistische	Rohmilch	Beschäftigte	Gemüse
		Ämter	Berechnet	- Anbau von	Berechnet
		des Bundes		Gemüse	
		und der		Bundes-	
		Länder		agentur für	
		(2014)	in t	Arbeit (2014)	in t
15082	Anhalt-Bitterfeld	7.274	53.593	50	12.182
15083	Börde	13.404	98.757	24	5.847
15084	Burgenland	8.877	65.403	10	2.436
15085	Harz	5.699	41.989	16	3.904
15086	Jerichower Land	9.621	70.885	0	0
15087	Mansfeld-Südharz	2.571	18.944	13	3.207
15088	Saalekreis	7.683	56.606	10	2.475
15089	Salzlandkreis	4.408	32.477	20	4.873
15090	Stendal	25.270	186.182	25	6.091
15091	Wittenberg	13.594	100.157	4	1.061
16051	Erfurt	795	5.855	85	20.750
16052	Gera	433	3.190	0	0
16053	Jena	0	0	0	0
16054	Suhl	0	0	0	0
16055	Weimar	121	891	0	0
16056	Eisenach	626	4.615	0	0
16061	Eichsfeld	7.140	52.606	17	4.150
16062	Nordhausen	4.191	30.878	21	5.117
16063	Wartburgkreis	10.855	79.977	39	9.505
16064	Unstrut-Hainich-Kreis	5.770	42.512	53	12.913
16065	Kyffhäuserkreis	2.473	18.220	14	3.411
16066	Schmalkalden-Meiningen	7.325	53.969	0	0
16067	Gotha	4.824	35.542	0	0
16068	Sömmerda	4.428	32.624	180	43.856
16069	Hildburghausen	6.602	48.642	0	0
16070	Ilm-Kreis	3.366	24.800	0	0
16071	Weimarer Land	6.562	48.347	39	9.472
16072	Sonneberg	2.592	19.097	0	0
16073	Saalfeld-Rudolstadt	6.018	44.339	8	1.902
16074	Saale-Holzland-Kreis	7.133	52.554	27	6.473
16075	Saale-Orla-Kreis	13.319	98.131	11	2.680
16076	Greiz	12.108	89.208	5	1.105
16077	Altenburger Land	4.797	35.343	14	3.411
	Gesamt	4.164.789	30.685.000	14.751	3.594.000

Anhang E

Spannweite der mittleren Transportentfernungen modellierter Verflechtungen

Spannweite der mittleren Transportentfernungen modellierter räumlich-wirtschaftlicher Verflechtungen in km mit Hervorhebung der laut FOODFLOW am besten zur BVWP passenden Verflechtungen

Gütergruppe	Optimal	Gravitationsverflechtungen					Proportional
		$FLOW_{g_1}^{com}$	$FLOW_{g_2}^{com}$	$FLOW_{g_3}^{com}$	$FLOW_{g_4}^{com}$	$FLOW_{g_5}^{com}$	
Getreide tr	148	198	247	297	347	396	446
Reis tr	232	272	312	354	397	440	483
Ölsaaten tr	181	219	256	294	331	369	406
Zuckerrüben tr	85	133	181	229	276	324	372
Gemüse tg	290	315	339	365	390	416	441
Kartoffeln tg	106	156	207	259	311	362	414
Obst tg	410	417	424	431	438	445	452
Wein tr	439	446	454	461	469	477	484
Schweine le	84	133	183	233	283	334	384
Rinder le	140	189	239	290	341	393	444
Rohmilch tg	105	168	230	293	356	419	482
Geflügel le	129	168	207	246	285	324	363
Eier tr	169	208	248	289	335	383	428
Fisch, Krebs- & Weichtiere tk	401	406	412	417	423	429	434
Getreideerzeugnisse tr	78	135	193	252	312	373	433
Backwaren tr	42	103	165	228	292	356	420
Backwaren tg	42	102	161	223	287	353	420
Backwaren tk	139	183	229	278	329	381	433
Teigwaren tr	417	431	445	460	475	490	507
Bier tr	171	220	269	318	367	416	465
Pflanzliche Öle tr	265	285	306	326	347	367	388
Pflanzliche Fette tg	248	274	300	326	352	379	406
Zucker tr	144	190	236	283	330	377	424
Süßwaren tr	219	256	293	331	369	407	445
Süßwaren tg	231	266	300	336	372	408	444
Gemüsezubereitungen tr	272	302	332	362	393	424	454
Gemüsezubereitungen tk	368	379	391	405	418	433	446
Kartoffelerzeugnisse tr	198	237	275	314	354	394	433

Spannweite der mittleren Transportentfernungen modellierter räumlich-wirtschaftlicher Verflechtungen in km mit Hervorhebung der laut FOODFLOW am besten zur BVWP passenden Verflechtungen

Gütergruppe	Optimal	Gravitationsverflechtungen					Proportional
		$FLOW_{g1}^{com}$	$FLOW_{g2}^{com}$	$FLOW_{g3}^{com}$	$FLOW_{g4}^{com}$	$FLOW_{g5}^{com}$	
Kartoffelerzeugnisse tg	157	201	246	291	337	384	432
Kartoffelerzeugnisse tk	258	288	318	349	380	411	441
Obstzubereitungen tr	279	306	333	360	388	416	443
Obstzubereitungen tk	396	409	422	436	452	469	487
Obst- & Gemüsesäfte tr	183	224	265	306	347	389	430
Schlachterz. Schwein tg	127	175	224	273	323	374	424
Schlachterz. Rind tg	117	163	210	258	310	364	417
Rind-, Schweinefl. & -wurst tg	190	232	275	319	364	411	457
Rind-, Schweinefl. & -wurst tk	281	310	339	370	402	435	468
Konsummilch tr	160	213	267	321	375	429	483
Konsummilch tg	152	203	253	304	356	408	460
Milcherzeugnisse tr	212	256	300	346	394	442	489
Milcherzeugnisse tg	267	303	339	375	411	447	483
Milcherzeugnisse tk	201	238	275	312	351	390	429
Käse tg	236	276	316	357	398	439	480
Schlachterz. Gefl. & -wurst tg	270	297	324	352	380	408	436
Schlachterz. Gefl. & -wurst tk	243	271	300	329	358	388	417
Fischerzeugnisse tr	426	436	446	456	467	479	491
Fischerzeugnisse tg	464	472	480	488	497	506	516
Fischerzeugnisse tk	412	421	431	440	449	459	469
Fertiggerichte tr	191	233	275	317	360	404	447
Fertiggerichte tk	84	137	190	246	302	360	418
Mineralw. & Erfrischungsg. tr	142	191	240	288	337	386	434

Anhang F

Ablagestruktur der digitalen Anhänge

Die digitalen Anhänge sind wie folgt strukturiert:

F1 Datenbasis

F1.1 Wirtschaftliche Strukturierung und Verteilung

F1.2 Räumliche Verteilung

F1.3 Zeitliche Verteilung

F2 Java-Programmcode FOODFLOW

F3 Modellinput FOODFLOW

F4 FOODFLOW-Ergebnisse

F4.1 Räumlich-wirtschaftliche Verflechtungen

F4.2 Überblick räumlich-wirtschaftlicher Verflechtungen

F4.3 Güterverkehrsnachfrage

F4.4 Bestandsentwicklungen

F4.5 Minimale Bestände

F4.6 Simulation - Basisfall

F4.7 Simulation - Hafenschließung 03.05.2012

F4.8 Simulation - Hafenschließung und Umleitung deutsche Häfen

F4.9 Simulation - Hafenschließung und Umleitung ARA-Häfen

