

# **Generierung der Nachfragestrukturen für die mikroskopische Simulation des städtischen Distributionsverkehrs im Lebensmittelhandel**

**Manuel Gabler, Stefan Schröder, Hanno Friedrich, Gernot Liedtke**

## **1 Einleitung**

Ein funktionierender Wirtschaftsverkehr ist notwendig für die wirtschaftliche Prosperität und Wettbewerbsfähigkeit einer Stadt und ihrer Umgebung. Er gewährleistet eine sichere Warenversorgung und die Erbringung von Dienstleistungen. Gleichzeitig entstehen dabei negative Auswirkungen auf die Umwelt. Obwohl der Lkw nur einen kleinen Anteil am städtischen Verkehr hat, belastet er aufgrund seiner höheren Lärm- und Schadstoffemissionen die Umwelt beträchtlich. Vor diesem Hintergrund steht die Zunahme des Lkw-Verkehrs im städtischen Gütertransport über alle Branchen hinweg besonders im Fokus der städtischen Verkehrspolitik.

Die Politik hat einige Maßnahmen entwickelt um den städtischen Wirtschaftsverkehr zu kontrollieren bzw. zu regulieren. Prominente Maßnahmen dabei sind zum Beispiel Einfahrverbote bestimmter Lkw-Typen, Umweltzonen sowie räumlich und zeitlich differenzierte Mautgebühren. [Mun05] geben einen Überblick über Maßnahmen der städtischen Verkehrspolitik. Verkehrsmodelle können auf der Suche nach geeigneten Maßnahmen Hilfestellung leisten und als Grundlage für politische Entscheidung dienen.

Güterverkehrsmodelle können in tour- und güterflussbasierte Modelle klassifiziert werden. In tourbasierten Modellen werden konkrete Fahrzeugbewegungen im physischen Netz über empirischen Fahrzeugtouren abgebildet (siehe z.B. [Hun07], [Jou10]). In güterflussbasierten Modellen werden Güterrelationen und Sendungen Transportketten, Touren und Fahrzeugen zugeordnet (siehe z.B. [Jon07], [Lie09]).

Möglichkeiten zu einer effizienteren und umweltschonenden Organisation der städtischen Güterversorgung werden im vergleichsweise neuen Feld der City-Logistik entwickelt und auch prototypisch implementiert. Nach [Tan02] kann City-Logistik folgendermaßen definiert werden: „City Logistics is the process for totally optimizing the logistics and transport activities by private companies in urban areas while considering the traffic environment, traffic congestion and energy consumption within the framework of a free market economy“. Bei der Entwicklung und Beurteilung von City-Logistik Ansätzen werden die Limitierungen der klassischen Wirtschaftsverkehrsmodelle offenbar. Nach [Ben08] ist es notwendig, von der Betrachtung einzelner Sendungen oder Touren abzukehren. Vielmehr soll-

ten diese als Komponenten eines integrierten Logistiksystems berücksichtigt werden. Wirtschaftsverkehrsmodellierung und City-Logistik Modelle sind dennoch nicht klar voneinander abzugrenzen.

Diese Arbeit ist eingebettet in einen übergeordneten Ansatz zur mikroskopischen Modellierung des städtischen Distributionsverkehrs im Lebensmitteleinzelhandel. Insbesondere sollen mit diesem Ansatz die Auswirkungen von zeitlich und räumlich differenzierten verkehrspolitischen Maßnahmen untersucht werden.

Neben der Verhaltensmodellierung der Entscheidungsträger sowie der physischen Simulation der Fahrzeugbewegungen liegt die große Herausforderung in der Gewinnung der Modelleingangsdaten zur Beschreibung des umfassenden Entscheidungsproblems in der Distributionslogistik. Die Ableitung dieser Daten sowie die Illustration am Beispiel eines Berlin-Szenarios ist Gegenstand des vorliegenden Aufsatzes.

Der Aufsatz gliedert sich wie folgt: Im Anschluss an diese einleitenden Vorbemerkungen folgt in Abschnitt 2 ein Überblick über den Lebensmittelhandel in Deutschland. In Abschnitt 3 werden die Nachfragestrukturen, die für eine Abbildung des städtischen Distributionsverkehrs durch den Lebensmitteleinzelhandel benötigt werden, abgeleitet. Dabei werden die wesentlichen logistischen Strukturen in diesem Teil der Lieferkette dargestellt, Möglichkeiten zur Gewinnung der nötigen Daten aufgezeigt sowie die Güte der Datenqualität bewertet. Abschnitt 4 konzentriert sich auf die Angebotsseite und folgt in seiner Struktur dem vorigen Abschnitt. Eine Zusammenfassung sowie ein Ausblick schließen die Arbeit ab.

## 2 Lebensmittelhandel in Deutschland

Der Lebensmitteleinzelhandel umfasst alle „Unternehmen des Einzelhandels, deren Märkte oder Geschäfte ein Sortiment führen, das überwiegend aus Lebensmitteln besteht. Dazu zählen beispielsweise Supermärkte, Verbrauchermärkte, Selbstbedienungswarenhäuser und Discounter“ (siehe [Met11]). Die Filialen des Lebensmitteleinzelhandels bieten darüber hinaus teilweise auch Non-Food-Artikel wie Textilien, Haushaltswaren oder Elektronikprodukte an. Der LEH-Markt in Deutschland ist relativ stark konzentriert. Tabelle 2.1 gibt einen Überblick über die sechs größten Unternehmen, zeigt die Zugehörigkeit der einzelnen Vertriebsmarken zu den Unternehmen und ordnet diese den Betriebsformen zu. Diese Unternehmen haben zusammengekommen einen Marktanteil von über 75 %.

In den vergangenen Jahren haben Verbrauchermärkte und SB-Warenhäuser im mittleren Preissegment immer mehr kleine und große Supermärkte verdrängt, während im Niedrig- und Niedrigstpreissegment Discounter ihren Marktanteil immer weiter ausbauen konnten. Im Zeitraum von 2006 bis 2011 ist die Zahl der kleinen Supermärkte um 34,6%, die der großen Supermärkte um 15,3% zurückgegangen. Discounter (+9,5%) und kleine Verbrauchermärkte (+16,8%) konnten hingegen stark wachsen (siehe [Met11]).

**Table 2.1** LEH-Unternehmen und zugehörige Betriebsformen, (nach [Met11])

<b>Edeka-Gruppe (43,50 Mrd. €)</b>	
Marktkauf, E-Center	SB-Warenhaus / Verbrauchermarkt
E neukauf	Supermarkt
E aktiv markt	Supermarkt
Nah & Gut	Kleiner Supermarkt
Netto, NP	Discounter
<b>Rewe Group (36,45 Mrd. €)</b>	
Rewe, Rewe City	Supermarkt
Nahkauf	Kleiner Supermarkt
Penny	Discounter
<b>Metro Group (26,13 Mrd. €)</b>	
Real	SB-Warenhaus
<b>Schwarz-Gruppe (23,40 Mrd. €)</b>	
Kaufland	SB-Warenhaus / Verbrauchermarkt
Lidl	Discounter
<b>Aldi (21,88 Mrd. €)</b>	
Aldi Nord / Aldi Süd	Discounter
<b>Tengelmann-Gruppe (6,27 Mrd. €)</b>	
Kaiser's Tengelmann	Supermarkt

Die Lebensmittelhändler operieren mit vielfältigen Logistiknetzen, in denen die Artikel möglichst wirtschaftlich vom Lieferanten zum Konsumenten befördert werden. Hier kann zwischen Fern- und Nahverkehr unterschieden werden. Distributionsverkehre in städtischen Agglomerationsräumen sind dem städtischen Wirtschaftsgüterverkehr zuzuordnen. Die Anteile des städtischen Wirtschaftsverkehrs schwanken in der Literatur je nach Untersuchung und Untersuchungsraum zwischen 20 und 60 Prozent. Der Wirtschaftsgüterverkehr nimmt vom Wirtschaftsverkehr wiederum etwa einen Anteil von ca. 30% ein. Verkehre des Lebensmitteleinzelhandels finden sich in der Verkehrsstatistik KiD in der Gruppe der Handelsverkehre wieder, der nach [Son12] einen Anteil von 14 Prozent (in Fahrten) hat. Der tatsächliche Prozentsatz lässt sich aus der Statistik nur schwer abschätzen.

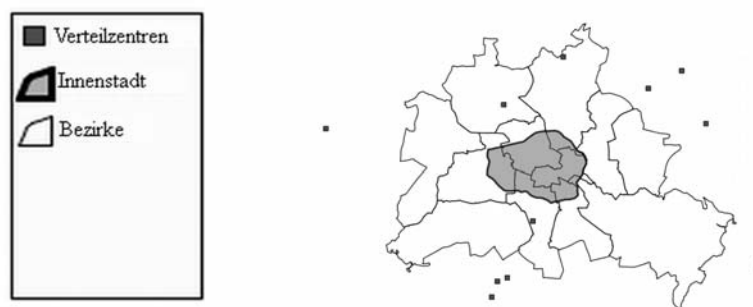
### 3 Nachfragestrukturen

#### 3.1 Logistische Einrichtungen

Der Lebensmitteleinzelhandel ist geprägt durch eine relativ große Vielfalt von Logistikkonzepten und Belieferungsstrategien. Die vorherrschenden Belieferungsformen im Lebensmitteleinzelhandel sind die Zentrallager-, die Direkt- und die Cross-Docking-Belieferung. Die wichtigste Form der Filialbelieferung ist die über ein Zentrallager. Im Zentrallager wird ein Großteil der Ware oder sogar das ge-

samte Sortiment bevorratet und von dort an die einzelnen Filialen verteilt. Der wesentliche Vorteil dieser Belieferungsform besteht in der Bündelung der Warenströme. Zum einen können die Hersteller ihre Ware bereits konsolidiert und in großen Mengen am Zentrallager anliefern, zum anderen kann die Ware zur Auslieferung an die angeschlossene Handelsfilialen in stark gebündelter Form verteilt werden. Das Zentrallager fungiert somit als Schnittstelle zwischen Lieferanten und Filialen. Weitere mit dieser Belieferungsform einhergehende Vorteile sind eine bessere Auslastung der Transportkapazitäten, reduzierte Mindestbestellmengen, Prüfaufwände und Rampenkontakte seitens der Filialen (siehe [Hof09], S.145ff). Diese Form der Belieferung hat in den letzten Jahren stark an Bedeutung gewonnen und wird auch in Zukunft weiter ausgebaut werden. Der Anteil dieser Belieferungsform variiert je nach Betriebsform der Handelsfiliale. Während bei Discountern im Schnitt 92 % des Mengenstroms über diese Belieferungsform läuft, ist es bei Vollsortimentern mit 76 % etwas weniger. Im Schnitt über alle Betriebsformen hinweg laufen 82 % des Mengenstroms in die Filialen über Zentrallager (siehe [Kuh11, S.9].

Zur Abbildung des Distributionsverkehrs im Beispiel-Szenario Berlin (im Folgenden Untersuchungsgebiet genannt) fungieren die Zentrallager als Entstehungsorte der Warenströme sowie als Depots für die jeweiligen Lkw-Flotten. Die Standortdaten wurden von Trade Dimensions ([www.tradedimensions.de](http://www.tradedimensions.de)), einem kommerziellen Datenanbieter, bezogen. Überprüft und angereichert wurden diese Daten mit öffentlich zugänglichen Informationen der jeweiligen Einzelhandelsketten (zum Beispiel Internetseiten oder Geschäftsberichte). Im Untersuchungsgebiet Berlin existieren 16 Distributionszentren, die elf Handelsketten zugeordnet werden können, und sich relativ gleichmäßig in einem Ring um die Stadt herum anordnen (Abbildung 3.1).



**Abbildung 3.1** Standorte der Distributionszentren im Untersuchungsgebiet  
(Quelle: eigene Darstellung)

### 3.2 Filialen

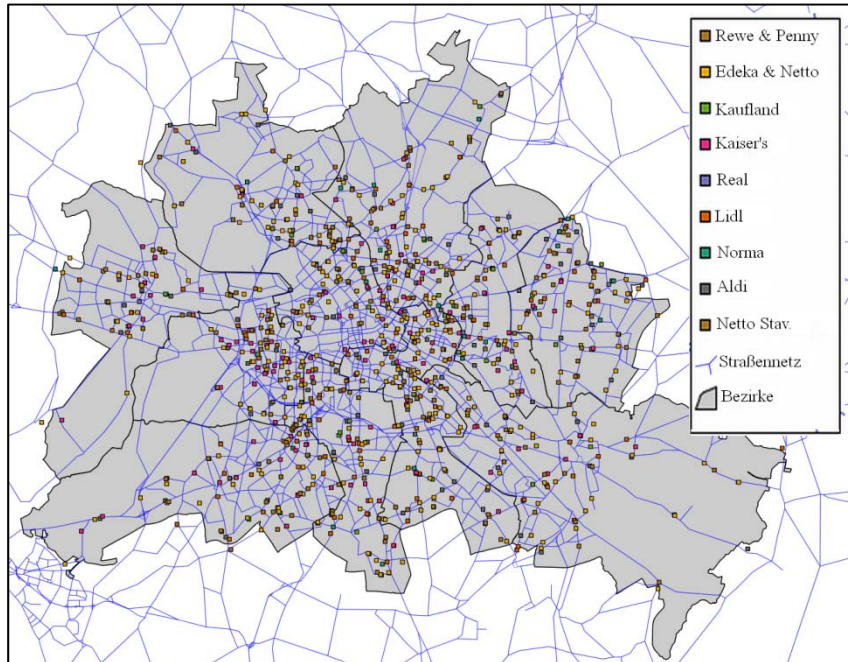
Die Filialen im Lebensmitteleinzelhandel lassen sich den folgenden vier Betriebsformen zuordnen: Discounter, Supermarkt, Verbrauchermarkt und SB-Warenhaus. Die Betriebsformen unterscheiden sich im Wesentlichen durch ihre Verkaufsfläche und ihre Sortimentsvielfalt (siehe Tabelle 3.1). Weitere Unterscheidungsmerkmale sind Wettbewerbsstrategie, Sortiments-, Ladengestaltungs- und Preispolitik.

**Table 3.1** Betriebsformen im LEH, (nach [Met11],[Hof09])

Betriebsform	Verkaufsfläche	Artikelnummern
SB-Warenhaus	> 4.999 m <sup>2</sup>	30.000 - 100.000
Großer Verbrauchermarkt	2.500 - 4.999 m <sup>2</sup>	30.000 - 40.000
Kleiner Verbrauchermarkt	1.000 - 2.499 m <sup>2</sup>	15.000 - 30.000
Großer Supermarkt	400 - 999 m <sup>2</sup>	5.000 - 12.000
Kleiner Supermarkt	100 - 399 m <sup>2</sup>	< 5.000
Discounter	< 1.000 m <sup>2</sup>	800 - 2.000

Das SB-Warenhaus ist die Betriebsform mit dem größten Sortiment, die eine Vielzahl unterschiedlicher Verbrauchsartikel (Food und Near-Food) sowie einer großen Auswahl Gebrauchsgüter aus der Textil-, Sport-, oder Elektronikbranche führen. Nach [Cli06] beträgt der Anteil an Nicht-Lebensmitteln (Non-Food) in dieser Betriebsform bis zu 40%. Verbrauchermärkte haben eine kleinere Verkaufsfläche. Sie führen im Lebensmittelbereich ein ähnliches Sortiment wie SB-Warenhäuser. Im Non-Food Bereich bieten sie in der Regel jedoch ein kleineres Angebot an. Supermärkte haben eine deutlich kleinere Artikelvielfalt und führen primär Nahrungs- und Genussmittel (einschließlich Frischewaren wie Obst, Gemüse, Fleisch- und Molkereiprodukte). Discounter bieten eine im Vergleich zu den anderen Betriebsformen stark eingeschränkte Warenavielfalt. Sie konzentrieren sich auf die wesentlichen Verbrauchsgüter und führen höchstens saisonal Gebrauchsgüter als Aktionsware. Der Anteil an Nicht-Lebensmitteln liegt bei ca. 5% (siehe [Cli06]). Die jeweilige Sortimentsstruktur hat große Auswirkungen auf die Logistik der Filialbelieferung und muss bei der Modellierung berücksichtigt werden (siehe Abschnitt 3.4).

Die Standorte der Filialen lassen sich über die Lebensmittelhändler sowie offene Geodatenportale wie [openstreetmap.org](https://openstreetmap.org) (OSM) recherchieren. Über den Marktnamen kann in der Regel eine eindeutige Zuordnung von Filiale zu Betriebsform der Filiale vorgenommen werden. Abbildung 3.2 zeigt am Beispiel von Berlin, wie sich die Filialen über das Stadtgebiet verteilen.



**Abbildung 3.2:** Einzelhandelsfilialen in Berlin (Quelle: eigene Darstellung)

Dem Modell liegen 1039 Filialen im Untersuchungsgebiet zugrunde, die sich gemäß Tabelle 3.2 auf die jeweiligen Handelsketten, Märkte und Betriebsformen aufteilen. Die OSM-Daten wurden gemäß dieser Tabelle mit weiteren Datenquellen verglichen und teilweise ergänzt. Die Anzahl der OSM-Filialen und die Zahlen, die über die Unternehmenswebseiten recherchiert worden sind, weichen teilweise voneinander ab. Dies ist unter anderem damit zu erklären, dass die Unternehmen unterschiedliche Definitionen des Stadtgebietes Berlin verwenden. Insgesamt ist hier die Qualität der OSM-Daten relativ gut, insbesondere da so die tatsächlichen Standortkoordinaten extrahiert werden konnte (während über die Unternehmenswebseiten allenfalls Adressen veröffentlicht worden sind).

**Table 3.2** Anzahl der untersuchten Filialen nach Handelskette

Handelskette	Belieferte Märkte	Filialtyp	Friedrich (2010)	OSM	Unt.-websites	Diese Arbeit
Aldi Nord	Aldi Nord	D	159	157	157	<b>157</b>
Lidl	Lidl	D	125	154	147	<b>154</b>
Netto Marken-Discount	Netto, Plus, Spar, NP-Markt	D	190	169	172	<b>169</b>
Netto (Stavenhagen)	Netto (Stavenhagen)	D	43	48	51	<b>48</b>
Norma	Norma	D	22	27	31	<b>27</b>
Penny	Penny	D	59	64	66	<b>64</b>
Edeka	E-Center	Kl. VM	12	2	2	<b>2</b>
	Edeka, Reichelt, E aktiv markt, E neukauf, nah&gut	SM	112	132	136	<b>132</b>
Kaiser's Tengelmann	Kaiser's Tengelmann	Kl. VM	17	8	0	<b>8</b>
	Kaiser's Tengelmann	SM	145	126	131	<b>126</b>
Rewe	Rewe Center	Kl. VM	17	2	0	<b>2</b>
	Rewe, Rewe City, nahkauf	SM	48	111	120	<b>110</b>
Kaufland	Kaufland	SBW	10	33	27	<b>15</b>
	Kaufland	Gr. VM	8			<b>18</b>
Real	Real	SBW	17	7	7	<b>7</b>
<b>Summe</b>			<b>984</b>	<b>1040</b>	<b>1047</b>	<b>1039</b>

### 3.3 Relationen

Im hier beschriebenen Modell werden ausschließlich 1:n-Relationen zwischen Verteilzentren und Filialen abgebildet, d.h. eine Filiale wird von genau einem Verteilzentrum beliefert, während ein Verteilzentrum mehreren Filialen zugeordnet werden kann. Eindeutige Lieferbeziehungen zwischen Verteilzentrum und Filialen sind weit verbreitet im Lebensmitteleinzelhandel und werden von ca. 90 % der Unternehmen verfolgt (siehe [Kuh11]).

Sieben der elf untersuchten Handelsketten betreiben genau ein Verteilzentrum für die Berliner Handelsfilialen und haben dadurch eindeutige Lieferrelationen. Weitere Schritte bei der Zuordnung sind hier nicht nötig. Die übrigen drei Handelsketten betreiben zwischen zwei und vier Verteilzentren im Untersuchungsgebiet. Hier muss eine Zuweisung der Filialen zu jeweils einem Verteilzentrum vorgenommen werden. Hier erfolgte die Zuordnung auf Basis der zwölf Berliner Bezirke. Je Handelskette werden den Verteilzentren dabei die Bezirke zugeordnet, die sich geografisch am nächsten befinden. Ein Verteilzentrum beliefert somit alle (und nur die) Filialen in den Bezirken, die dem Lager zugewiesen wurden.

Die transportierten Waren auf diesen Relationen sind teilweise sehr heterogen und stellen unterschiedliche Anforderungen an den Transport. Um diesen Transport- und Logistikanforderungen gerecht zu werden und gleichzeitig die Komplexität zu reduzieren, wurden die Waren in drei Klassen eingeteilt:

1. *Frische* mit den Warengruppen Fleisch und Wurst, Obst und Gemüse, Molkereiprodukte
2. *Tiefkühl* mit den Warengruppen Tiefkühlkost und Speiseeis
3. *Trocken* mit allen übrigen Warengruppen

Auch wenn das – gemessen an der Vielfalt der Waren – sehr grobe Aggregationen sind, lassen sich dadurch einige wesentliche, vor allem für den Lebensmittel-einzelhandel relevante (logistische) Besonderheiten im Modell abbilden:

- Unterschiedliche Lkw-Typen für die einzelnen Klassen, die die unterschiedlichen logistischen Anforderungen in Bezug auf Kapazität, Flexibilität und Kühlung erfüllen. Größere Bestellmengen im Trockensortiment erfordern tendenziell größere Lkw. Für temperaturgeführte Transporte beim Frische- und Tiefkühlsortiment mit kleineren Bestellmengen stehen kleinere Lkw zur Verfügung. Die Laderaumtemperaturen im Tiefkühlbereich liegen dabei unter denen im Frischebereich.
- Unterschiedliche Belieferungszeitfenster und Auslieferungszeitpunkte, sowie unterschiedliche Pickup- und Delivery-Zeiten. Die Anlieferung von Obst und Gemüse sowie von Molkereiprodukten erfolgt in der Regel morgens vor Ladenöffnung, während Waren aus dem Trocken- und Tiefkühlsortiment im Laufe des Tages angeliefert werden.

### 3.4 Nachfragemengen

Die Berechnung der durchschnittlichen täglichen Nachfragemengen auf einer Relation erfolgt auf Basis der durchschnittlichen jährlichen Filialumsätze (von 2011) je Handelskette und Betriebsform. Die Daten stammen aus Geschäftsberichten der Unternehmen, Artikel in Fachzeitschriften (insb. Lebensmittelzeitung) und Veröffentlichungen des Handelsforschungsinstituts Trade Dimensions über Umsatzzahlen. Da in dieser Arbeit nur die Zentrallagerbelieferungen und nicht die Direktbelieferungen untersucht werden, wird der Anteil der Waren, die direkt angeliefert werden, am Umsatz geschätzt und heraus gerechnet. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass der Anteil der Zentrallagerbelieferungen in Abhängigkeit der Betriebsformen variiert. Entsprechend der Betriebsform einer Handelskette und Filiale, wird der durchschnittliche Filialumsatz gemäß Anteil der Zentrallagerbelieferungen reduziert zu  $u_{part}^{hk,bf}$  (in EUR).

Die Umsatzzahlen können weiter nach Warentypen disaggregiert werden. Es wird entsprechend der im Lebensmitteleinzelhandel gebräuchlichen GS1-Klassifikation nach 41 Warentypen unterschieden. GS1 (Global Standards One) ist



eine länderübergreifende Organisation, die für die Vergabe der Global Trade Item Number (GTIN), eine Identifikationsnummer, mit der Produkte und Packstücke weltweit eindeutig identifiziert werden können, zuständig ist. Für die jeweiligen Warentypen  $wt$  sind folgende Daten gegeben:

- deren Anteile am Filialumsatz  $pr_{wt}^{bf}$  je Betriebsform sowie
- deren Wertdichten  $d_{wt}$  (in EUR/kg).

Die Anteile der Warentypen liegen in Form eines Schlüssels für jede der vier Betriebsformen Discounter, Supermärkte, Verbrauchermärkte und SB-Warenhäuser vor. Für Supermärkte wurden die Anteile von Umsatz und Artikeln für ca. 40 Artikelkategorien in [EHI07] veröffentlicht. Auf dieser Basis schätzt [Fri10] die Anteile für die verbleibenden Betriebsformen. Dafür nutzt er Umsatzaufteilungen aus der Handelsstatistik [Sta09] und dem LZ Report [Leb07]. Die Schlüssel differenzieren nach den bereits beschriebenen Sortimentsunterschieden der Betriebsformen. So werden beispielsweise den Warentypen „Textilien“ oder „Unterhaltungselektronik“ der Betriebsform SB-Warenhaus sehr viel größere Anteile zugewiesen als vergleichenden Warentypen der Betriebsform Supermarkt.

Die Wertedichten wurden nach [Fri10] auf Basis von Statistiken und Unternehmensdaten hergeleitet. Im Food Bereich waren dies zumeist Statistiken, die im LZ-Report veröffentlicht werden, im Non-Food Bereich stammen die Daten zum großen Teil aus einem Praxisprojekt mit einer Baumarktkette.

Eine Handelskette kann mehrere Betriebsformen betreiben. Beispielsweise führt Edeka sowohl Supermärkte als auch Verbrauchermärkte. Bei der Liefermengenberechnung wird entsprechend differenziert. Die durchschnittliche tägliche Liefermenge  $m_{wt}^{hk,bf}$  (in kg) je Warentyp, Betriebsform und Handelskette berechnet sich unter der Annahme von 305 Liefertagen pro Jahr wie folgt:

$$m_{wt}^{hk,bf} = \frac{u_{part}^{hk,bf} \times pr_{wt}^{bf}}{d_{wt} \times 305}$$

Im nächsten Schritt erfolgt die Umrechnung der täglichen Nachfragemenge in Transporteinheiten. In dieser Arbeit wurde die Europalette mit einem zulässigen Gesamtgewicht  $m_{max}$  von 700 kg und einem zulässigen Gesamtvolumen  $v_{max}$  von 2,5 m<sup>3</sup> als Referenzladungseinheit gewählt (auch Kühlboxen wurden dementsprechend in Europaletten modelliert). Ein Warentyp ist dabei entweder gewichtskritisch, d.h. der limitierende Faktor ist sein Gewicht, oder volumenkritisch, d.h. die maximale Beladung der Palette wird durch das Volumen beschränkt. Die entscheidende Größe ist hierbei das spezifische Volumen eines Warentyps  $v_{wt}$  (in m<sup>3</sup> / kg), also der Kehrwert seiner Dichte. Überschreitet das spezifische Volumen den kritischen Wert  $v_{wt,krit} = v_{max}/m_{max}$  basiert die Umrechnung auf dem Volumen des Warentyps, andernfalls auf seiner Masse. Die Anzahl der Paletten je Warentyp, Betriebsform und Handelskette berechnet sich also wie folgt:

$$y_{wt}^{hk,bf} = \begin{cases} \frac{m_{wt}^{hk,bf} * v_{wt}}{v_{max}}, & \text{falls } v_{wt} > v_{wt,krit} \\ \frac{m_{wt}^{hk,bf}}{m_{max}}, & \text{sonst} \end{cases}$$

Die Anzahl der nachgefragten Paletten je Handelskette und Betriebsform in den einzelnen Sortimentsklassen Frische, Tiefkühl und Trocken berechnet sich folglich nach:

$$y_{FR}^{hk,bf} = \sum_{wt \in FR} y_{wt}^{hk,bf}$$

$$y_{TK}^{hk,bf} = \sum_{wt \in TK} y_{wt}^{hk,bf}$$

$$y_{TR}^{hk,bf} = \sum_{wt \in TR} y_{wt}^{hk,bf}$$

An dieser Stelle sei zu erwähnen, dass es sich bei diesen Zahlen um Durchschnittswerte handelt. Die tatsächlichen Nachfragemengen sind jedoch saisonalen, wöchentlichen und täglichen Schwankungen unterworfen, über die keine verwertbaren Informationen vorlagen. Deshalb wird in dieser Arbeit ein typischer Nachfragetag durch die obigen Durchschnittswerte approximiert.

### 3.5 Filialbelieferungsmenge und -muster

Bei der Herleitung der Filialbelieferungsmengen- und mustern, also Zeitpunkt, Menge und Häufigkeit der Lieferungen, wird – wie oben – nach den Sortimentsklassen Trocken, Tiefkühl und Frische sowie den Handelsketten differenziert. In der Regel werden Warengruppen mit ähnlichen logistischen Anforderungen zu Güterbündeln mit identischem Fluss durch das Netzwerk zusammengefasst. Solche Güterbündel ergeben Lieferketten-Segmente mit spezifischen Eigenschaften. Schnelldrehende Artikel, die zudem durch eine kurze Haltbarkeit gekennzeichnet sind, werden in einem viel schnelleren Rhythmus und in größeren Mengen angeliefert als langsam drehende, lang haltbare Artikel, die erst durch Konsolidierung mit anderen Langsamdreher zu einer ökonomischen Transportmenge kombiniert werden müssen und die Anlieferung in größeren Zeitintervallen erlaubt.

Für die wöchentlichen Belieferungsmuster wurden folgende Regeln aufgestellt. Das Frischesortiment wird jeden Tag geliefert. Das Trocken- und Tiefkühlsegment hingegen wird zweimal oder dreimal die Woche geliefert. Dies approximiert die

tatsächlich verwendeten Filialbelieferungsmuster der Einzelhandelsketten (siehe [Kuh11], S.32). Daraus ergeben sich typische sinnvolle Wochenmuster wie zum Beispiel {Di.,Do.}, {Mo.,Mi.} oder {Mo.,Mi.,Fr.}. Die täglichen Nachfragemengen werden dementsprechend aggregiert.

Die Tagesmuster wurden wie folgt hergeleitet. Während Waren aus dem Frischesortiment oft am frühen Morgen noch vor Ladenöffnung angeliefert werden, erfolgt die Auslieferung des Trocken- und Tiefkühlsortiments in der Regel über den Tag verteilt. Deshalb wurden die Annahmen getroffen, dass sich die Belieferungszeitfenster für das Frischesortiment nach der Ladenöffnungszeit – die je nach Handelskette unterschiedlich sein kann - orientiert. Die Anlieferung der Frische-Waren erfolgt deshalb in der Regel in einem Zeitfenster von zwei bis vier Stunden vor Ladenöffnung. Waren aus dem Trocken- und Tiefkühlsortiment können innerhalb eines Zeitfensters von sechs Stunden während der Ladenöffnungszeit angeliefert werden wie zum Beispiel [9:00-15:00], [10:00-16:00] etc... Diese Annahmen basieren im Wesentlichen auf Beobachtungen und Expertengesprächen.

Für die Modellierung eines typischen Tages, zum Beispiel eines Mittwochs, wurden über die wöchentlichen Belieferungsmuster sowie den Tagesmustern Wahrscheinlichkeitsverteilung gelegt. In dieser Arbeit wurden unter Unabhängigkeitsannahmen Gleichverteilungen verwendet. Daraus werden für jede Lieferrelation, Betriebsform und Sortimentsklasse sequentiell ein Wochen- sowie ein Tagesmuster gewürfelt. Für die Sortimentsklasse Frische ist die Vorgehensweise trivial (Mittwoch und Tagesmuster {[04:00-08:00]}). In den Sortimentsklassen Trocken und Tiefkühl ergeben sich zwei Fälle:

- Wochenmuster enthält Mittwoch
- Wochenmuster enthält Mittwoch nicht

Ersteres führt zur Auswahl des Tagesmusters, beispielsweise [09:00-15:00]. Mit dem Tagesmuster [09:00-15:00] ergibt sich, dass die entsprechende Filiale an diesem Mittwoch zwischen 9:00 Uhr und 15:00 Uhr beliefert werden muss.

## 4 Angebotsstrukturen

Unter Angebotsstrukturen wird in dieser Arbeit insbesondere die im LEH eingesetzten Transportmittel und ihren Kosten verstanden. Das physische Infrastrukturnetz, auf dem diese Verkehrsmittel operieren, ist sicherlich ein weiterer wichtiger Teil der Angebotsstrukturen. Allerdings ist dieses Netz nichts LEH-typisches. Sämtliche operationalisierte Infrastrukturnetze, wie sie auch in der Personenverkehrsmodellierung zum Einsatz kommen, können deshalb verwendet werden. Wichtig sei an dieser Stelle anzumerken, dass der spezifische Infrastrukturkapazitätsbedarf abhängig ist vom eingesetzten Fahrzeug.

## Fahrzeugtypen und Transportkosten

Für die Warendistribution zwischen Verteilzentrum und Filiale nutzen die Unternehmen entweder eigene Kapazitäten in Form eines firmeneigenen Fuhrparks oder gehen langfristige Kooperationen mit einem oder mehreren Transportdienstleistern ein. Für den Transport kommen ausschließlich Lkw zum Einsatz. Da jede Sortimentsklasse eigene Anforderung an den Transport stellt, wird jeder Klasse (und jedem Standort) ein eigenständiger und spezifischer Fuhrpark zugewiesen. Die berücksichtigten Fahrzeuge entsprechen den tatsächlich verwendeten Fahrzeugen im städtischen Verteilverkehr. Informationsgrundlage hierfür waren ein Experteninterview, Angaben verschiedener Lkw-Hersteller und Gespräche mit Filialmitarbeitern. Dabei wurden im Wesentlichen drei Kategorien unterschieden:

- Leichter Verteilverkehr (leichte Lkw mit 7,5t zulGG)
- Mittelschwerer Verteilverkehr (mittelschwere Lkw mit 18t zulGG)
- Schwerer Verteilverkehr (schwere Lkw mit 26 u. 40t zulässigen Gesamtgewichts)

Leichte Lkw (mit 7,5t zulässigen Gesamtgewichts) kommen bei der Frische- und Tiefkühlsortimentsbelieferung zum Einsatz und werden für jede Betriebsform verwendet.

Mittelschwere (mit 18t zulGG) und schwere Lkw (mit 26t zulGG) können für die Trockensortimentsbelieferung von Supermärkten und Discountern sowie für die Belieferung von Frische- und Tiefkühlwaren bei allen Betriebsformen verwendet werden.

Schwere Lkw (mit 40t zulGG) kommen häufig bei der Belieferung mit Waren aus dem Trockensortiment von SB-Warenhäusern, Verbrauchermärkte und z.T. bei Discountern zum Einsatz. Diese Betriebsformen befinden sich oft am Stadtrand und verfügen über ausreichend große Ladeflächen sowie über Anliefer Rampen. Die Liefermengen, die bis zu einer kompletten Lkw-Ladung pro Tag im Trockensortiment betragen, sind ausreichend groß, um deren Einsatz wirtschaftlich zu rechtfertigen.

Für die Modellierung der Distributionstouren sowie weiterführende Kosten-Nutzen-Betrachtungen wurden die fahrzeugtypabhängigen Transportkosten berechnet. Die spezifischen Transportkosten basieren auf der expeditionellen Vollkostenrechnung (siehe [Ver08]). Die Kosten jedes Fahrzeugtyps werden untergliedert in fixe Einsatzkosten pro Tag und variable Kosten, die weiter nach weg- und zeitabhängige Kosten differenziert werden können.

Die fixen Einsatzkosten eines Fahrzeugtyps fallen unabhängig von dessen Nutzung an (auch wenn der Lkw in der Garage steht). Den Hauptbestandteil der Fixkosten macht die Abschreibung der Anschaffungskosten aus. In der Transportkostenrechnung werden die Anschaffungskosten sowohl durch einen zeitabhängigen

als auch durch einen leistungsabhängigen Anteil abgeschrieben. Sowohl die Zeit- als auch die Leistungsabschreibung machen im Güternahverkehr üblicherweise einen Anteil von je 50 % aus. Die Fixkosten beinhalten zudem kalkulatorische Zinsen, Steuer- und Versicherungsbeträge sowie Betriebs- und Gemeinkosten.

Wegabhängige Kosten verhalten sich proportional zur Anzahl der gefahrenen Kilometer. Sie beinhalten den leistungsabhängigen Anteil der Abschreibung, Kraftstoff- und Schmierkosten sowie Reifen- und Reparaturkosten.

Zeitabhängige Kosten verhalten sich proportional zur gefahrenen Zeit. Sie werden durch Personalkosten wie Bruttolohn, Sozialabgaben, Urlaubsgeld, Fahrerspesen verursacht. Die hier verwendeten Daten für die einzelnen Kostenarten stammen aus [Ver08] und basieren teilweise auf Schätzungen. Abbildung 4.1 zeigt eine Übersicht der berechneten Kosten für die verschiedenen Lkw-Typen. Eine detaillierte Beschreibung der Vollkostenrechnung und ihrer Kostenparameter findet sich in [Gab12].





<b>Leichter Verteilverkehr</b> 	<b>ZuGG: 7,5t</b> <b>Nutzlast: 10 Pal.</b> <b>Länge: max. 7,5m</b>	<b>Fixkosten: 84 €/Tag</b> <b>Wegkosten: 0,00047 €/m</b> <b>Zeitkosten: 0,008 €/s</b>
<b>Mittelschwerer Verteilverkehr</b> 	<b>ZuGG: 18t</b> <b>Nutzlast: 16 Pal.</b> <b>Länge: max. 10m</b>	<b>Fixkosten: 107 €/Tag</b> <b>Wegkosten: 0,00061 €/m</b> <b>Zeitkosten: 0,008 €/s</b>
<b>Schwerer Verteilverkehr</b> 	<b>ZuGG: 26t</b> <b>Nutzlast: 24 Pal.</b> <b>Länge: max. 12m</b>	<b>Fixkosten: 130 €/Tag</b> <b>Wegkosten: 0,00077 €/m</b> <b>Zeitkosten: 0,008 €/s</b>
	<b>ZuGG: 40t</b> <b>Nutzlast: 34 Pal.</b> <b>Länge: max. 18,75m</b>	<b>Fixkosten: 140 €/Tag</b> <b>Wegkosten: 0,00086 €/m</b> <b>Zeitkosten: 0,008 €/s</b>

Abbildung 4.1: Kennwerte und Kosten der Fahrzeugtypen im Distributionsverkehr

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Die effiziente und ressourcenschonende Organisation städtischer Ver- und Entsorgungssysteme stellt insbesondere für Europäische Metropolregionen und die weltweit dynamisch wachsenden Mega Cities eine der wichtigen Aufgaben für die Verkehrspolitik und Logistik dar.

Zu diesem Zweck entwickelt die City Logistik und die Verkehrsplanung eine Bandbreite von Maßnahmen, angefangen von Infrastrukturmaßnahmen und Park-

raumbewirtschaftung über differenzierte Verkehrsrestriktionen bis hin zur aktiven (Mit-)Gestaltung kollaborativer Distributionssysteme.

Diesen Maßnahmen gemein ist, dass sie aktiv das Verhalten der verschiedenen am Transport beteiligter Akteure beeinflussen sollen. Eine Maßnahme ruft diverse von der Verkehrspolitik erwartete, teilweise jedoch auch unerwartete (Ausweich-)Reaktionen hervor. Verschiedene Maßnahmen können sich positiv ergänzen oder auch neutralisieren.

Zur Entwicklung und Beurteilung solcher Maßnahmenpakete ist es immer mehr notwendig Modelle zu entwickeln, die über die statische Ableitung von Lkw-Bewegungen und Tourenmuster hinausgehen und idealerweise das gesamte Planungssystem der individuellen Akteure abbilden. Im Bereich der städtischen Güterdistribution betrifft dies operative, taktische als auch strategische Planungsentscheidungen wie die Touren-, Fahrzeugflotten- und Logistiknetzplanung, Bestellpolitiken sowie die Standortplanung. Sofern diese Entscheidungen als Optimierungsprobleme formuliert werden können, ist man nicht nur in der Lage, Reaktionen auf verschiedenen Entscheidungsebenen und -horizonten abzubilden, sondern auch, die Mehrkosten für die Betriebe zu erfassen, um diese in einer volkswirtschaftlichen Bewertung berücksichtigen zu können. Um diese Entscheidungen realitätsähnlich wiederzugeben, ist eine Kalibrierung bzw. Anpassung auf Prototypen real existierender Unternehmen notwendig. Hierzu können die in der Verkehrsplanung üblicherweise verwendeten Daten kaum noch genutzt werden, denn diese zeigen in der Regel nur das Ergebnis von komplexen Entscheidungen. Hier setzt die vorliegende Arbeit an.

Der vorliegende Aufsatz ist eingebettet in einen übergeordneten Ansatz zur mikroskopischen Modellierung des städtischen Distributionsverkehrs im Lebensmitteleinzelhandel. Mit diesem Ansatz sollen prototypisch mikroskopische Entscheidungen auf operativer und taktischer Ebene modelliert werden wie z.B. Routen-, Abfahrzeit-, Touren- und Fahrzeugflottenentscheidungen. Neben der Modellierung dieser Entscheidungen sowie der physischen Simulation der Fahrzeugbewegungen liegt die große Herausforderung in der Herleitung der Modelleingangsdaten. Mit diesem übergeordneten Ansatz sollen die Auswirkungen verkehrspolitischen Maßnahmen wie beispielsweise zeitlich und räumlich differenzierte Fahrverbote für bestimmte Lkw-Typen sowie die Erhebung von zeitlich und räumlich differenzierten Nutzerkosten untersucht werden.

Der Fokus dieser Arbeit lag auf der Herleitung der dazu nötigen Modelleingangsdaten. Es wurde gezeigt, wie durch die Auswertung von öffentlichen und private Datenquellen sowie Expertengesprächen synthetische Belieferungsmengen und Lkw-spezifische Transportkosten der Entscheidungsträger im LEH erzeugt werden können.

Die mikroskopischen Nachfragemengen wurden ausgehend von den Relationen Distributionszentren-Filialen auf Warengruppenebene hergeleitet und zu sogenannten Sortimentsklassen aggregiert. Daraufhin wurden unter Berücksichtigung gängiger Wochen- und Tagesmuster die Belieferungsmengen für einen typischen Belieferungstag abgeleitet. Die Belieferungsmengen basieren auf Durchschnitts-

werten und vereinfachenden Annahmen. Tatsächlich unterliegen diese Mengen jedoch saisonalen, wöchentlichen und täglichen Schwankungen und sind deshalb mit Vorsicht einzusetzen bzw. zu interpretieren. Die Transportkosten und die im Distributionsverkehr eingesetzten Fahrzeuge wurden über die gängige speditionelle Vollkostenrechnung hergeleitet.

Wie oben skizziert werden in weiteren Arbeiten auf Basis dieser Eingangsdaten Flotten-, Touren-, Routen- und Abfahrtsentscheidungen modelliert, die sich im Verkehrsnetz als physische Fahrzeugbewegungen widerspiegeln. An dieser Stelle sei anzumerken, dass der durch den LEH erzeugte Verkehr nur einen sehr geringen Anteil des Gesamtverkehrs darstellt. Angesichts dieser Tatsache stellt sich die Frage, ob der Modellierungsaufwand für so einen geringen Teil des Verkehrs in angemessenem Verhältnis steht. Aus gesamtverkehrsplanerischer Sicht scheint dieses Vorgehen vorerst nicht praktikabel. Die Stärke dieses Ansatzes liegt vielmehr im Vorher-Nachher Vergleich von zeitlich- und räumlich differenzierten verkehrspolitischen Maßnahmen und im Aufzeigen von Effekten als in der Erzeugung von großflächigen Verkehrsströmen für die Detailbewertung lokaler infrastruktureller Maßnahmen.

## Referenzen

- [Ben08] Benjelloun, A. and T.G. Crainic (2008): *Trends, challenges and perspectives in City Logistics*. In: Transportation and land use interaction, proceedings TRANSLU'08 (pp. 269-284). Editura Politecnica Press, Bucharest, Romania.
- [Cli06] Cliquet, G. (2006): *Retailing in western europe - structures and development trends*. In: Handbuch Handel: Strategien - Perspektiven - Internationaler Wettbewerb, pp. 113 – 133. Gabler Verlag, Wiesbaden
- [EHI07] EHI Retail Institute: *Handel aktuell Ausgabe 2007/2008*. EHI Retail Institute GmbH, Köln, 2007. – ISBN 978-3-87257-310-0.
- [Fri10] Friedrich, H. (2010): *Simulation of logistics in food retailing for freight transportation analysis*. Dissertation. Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe. Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung, Online veröffentlicht, URN: nbn:de:swb:90-206022, URL: <http://digbib.ubka.uni-karlsruhe.de/volltexte/1000020602>
- [Gab12] Gabler, M. (2012): *Analyse und agentenbasierte Modellierung des städtischen Distributionsverkehrs im Lebensmitteleinzelhandel*. Diplomarbeit, Karlsruhe Institut für Technologie (KIT), Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung.

- [Hof09] Hofer, F. G. (2009): *Management der Filiallogistik im Lebensmitteleinzelhandel: Gestaltungsempfehlungen zur Vermeidung von Out-of-Stocks*. Dissertation, Hochschule für Wirtschafts-, Rechts- und Sozialwissenschaften (HSG), Universität St. Gallen.
- [Hun07] Hunt, J.D. and K.J. Stefan (2007): *Tour-based microsimulation of urban commercial movements*. Transportation Research Part B: Methodological 41 (9), 981-1013.
- [Jon07] De Jong, G. and M. Ben-Akiva (2007): *A micro-simulation model of shipment size and transport chain choice*, Transportation Research Part B 41 (2001), pp. 950-965 (Special Issue on Freight Transport).
- [Jou10] Joubert, J.W., P.J. Fourie and K.W. Axhausen (2010): *Large-Scale Combined Private Car and Commercial Vehicle Agent-Based Traffic Simulation*, Transportation Research Record, 2168, 24-32.
- [Kuh11] Kuhn, H. und Sternbeck, M. (2011): *Logistik im Lebensmittelhandel: Eine empirische Untersuchung zur Ausgestaltung handelsinterner Liefernetzwerke*. Katholische Universität, Eichstätt-Ingolstadt.
- [Leb07] LEBENSMITTEL ZEITUNG: LZ Report 2007/2008. Lebensmittel Zeitung, Oktober 2007. – URL [www.lz-net.de/lzreport](http://www.lz-net.de/lzreport) (accessed:19.1.2009)
- [Lie09] Liedtke, G. (2008): *Principles of a micro-behaviour commodity transport modeling*, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review Vol. 45, Issue 5, September 2009, Pages 795-809.
- [Met11] MetroGroup, Hrsg. (2011): *Metro-Handelslexikon 2011/12: Daten, Fakten und Adressen zum Handel in Deutschland, Europa und der Welt*, MetroGroup. - ISBN 978-3-9814786-1-7
- [Mun05] Munuzuri, J., J. Larraneta, L. Onieva and P. Cortés (2005): *Solutions applicable by local administrations for urban logistics improvement*, Cities, Vol. 22, No. 1, 15-28.
- [Sta09] STATISTISCHES BUNDESAMT: Beschäftigte, Umsatz, Aufwendungen, Lagerbestände, Investitionen und Warensortiment im Handel 2006. Fachserie 6 Reihe 4. 2009. – URL [www.destatis.de](http://www.destatis.de) (accessed:19.1.2009)
- [Son12] Sonntag, H. (2012): Development of organizational options for goods transport in urban areas. In: International Conference on Commercial / Goods Transport in Urban Areas, Berlin. Deutsches Institut für Urbanistik.
- [Tan02] Taniguchi, E. and R.G. Thompson (2002): *Modeling City Logistics*, Transportation Research Record, Vol. 1790, 45-51.



- [Ver08] VerkehrsRundschau.de (2008). *Gut gerechnet - Muster-Vollkostenrechnung zur Ermittlung der Kosten einzelner LKW im Fuhrpark*. URL: <http://www.verkehrsrundschau.de/fm/3576/Kostenrechnung.pdf>.(accessed: 15.05.2012)