Universität für Bodenkultur
Department für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften
Institut für Produktionswirtschaft und Logistik

# Emissionswirkungen im Onlinehandel und im stationären Handel – Ein Vergleich mit System Dynamics

Masterarbeit
Zur Erlangung des akademischen Grades
Diplomingenieur

eingereicht von
**Jonathan Mayer, BSc**
Matrikelnummer 1040702

Betreut von:
Univ.Prof. Mag. Dr. Manfred Gronalt

Wien, Dezember 2017

# Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre eidesstattlich, dass ich die Arbeit selbständig angefertigt habe. Es wurden keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Formulierungen und Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Diese schriftliche Arbeit wurde noch an keiner Stelle vorgelegt.

Wien, Dezember 2017 ……

# Kurzfassung

Die Entwicklungen der letzten Jahre in der Handelsbranche sind gekennzeichnet von einem starken Wachstum des Onlinehandels auf Kosten des stationären Handels. Diese Entwicklungen führten auch zu starken Veränderungen in der Handelslogistik. Neben einem Rückgang der Filialflächen im stationären Handel ist die Zunahme des Sendungsvolumens von KEP-Diensten (Kurier-, Express-, Paketdiensten) beobachtbar.

Diese Entwicklungen werfen Fragen nach der ökologischen Nachhaltigkeit des Onlinehandels auf. Österreich ist im Rahmen des Klima- und Energiepaketes der Europäischen Kommission verpflichtet seine Treibhausgasemissionen bis 2020 um 36% zu senken. Bis zum Jahr 2050 muss der Verkehrsbereich seine Emissionen um 60% gegenüber 2005 gesenkt haben. Neben diesen politischen Verpflichtungen gibt es auch ein Interesse der Öffentlichkeit an der Frage nach der ökologischen Nachhaltigkeit des Onlinehandels. Diese Arbeit untersucht die Transportwege vom Zentrallager eines Unternehmens bis zur Lieferung der Waren an die Kunden. Dabei werden neben detaillierten Transportwegen auch Bündelungseffekte sowie Retourenprozesse untersucht. Mithilfe der systemdynamischen Modellierung (System Dynamics) werden dynamische Entwicklungen im Zeitverlauf in diesem komplexen System dargestellt. Dazu gehören die Verlagerung von Einkäufen in den Onlinehandel und der damit zusammenhängende Struktureffekt. In Szenarien werden verschiedene Faktoren wie Retourenquote, Transportdistanzen, Zusammensetzung der Transportmittel variiert um verschiedene Rahmenbedingungen in der Modellierung abbilden zu können. Außerdem wird der Vertriebstyp Click & Collect untersucht, der eine Mischform von Onlinehandel und stationärem Handel darstellt.

Die Ergebnisse zeigen höhere Treibhausgasemissionen bei einer Bestellung im Onlinehandel gegenüber einem Einkauf im stationären Handel. Bei der Betrachtung der einzelnen Transportwege fällt auf, dass die „Letzte Meile“ den größten Anteil an den Emissionen der ganzen Lieferkette einnimmt. Dies gilt sowohl für den Onlinehandel als auch für den stationären Handel. Die Sensitivitätsanalyse des Modells zeigte, dass Weglänge, Anzahl der Pakete, Transportmittel und Retourenquote Hebelwirkungspunkte darstellen. Werden hier Maßnahmen zur Reduzierung der Emissionen gesetzt, wirkt sich dies überproportional auf die Gesamtemissionen aus. So verursacht beispielsweise eine Bestellung im Onlinehandel im ländlichen Raum weniger Emissionen als ein Kauf im stationären Handel. In der Stadt ist aber das Gegenteil der Fall. Aufgrund dieser Ergebnisse können keine generellen Aussagen über den „klimafreundlicheren“ Vertriebstyp getätigt werden.

# Abstract

Retailing in past years has been characterized by a shift from brick and mortar to online retailing. These developments have also led to major changes in trade logistics. The strong growth of business-to-consumer (B2C) transactions has led to an increase in the amount of shipments by CEP Services (courier, express and parcel services) at the expense of retail space in brick and mortar shopping.

These developments raise questions about the ecological sustainability of online retailing. Austria is committed to reducing its greenhouse gas emissions by 36 percent by 2020 as part of the European Commission's climate and energy package. In accordance with this, by 2050 the transport sector must reduce its emissions by 60 per cent compared to 2005. In addition to these political commitments, there is also a public interest in the question of the ecological sustainability of online retailing. This work examines the transport processes from the central warehouse of a company to the delivery of the goods to the customers. In addition to detailed transport routes, bundling effects as well as return processes are examined. The method of System Dynamics is used to investigate dynamic developments over time in this complex system. This includes the shift from brick and mortar to online retailing and the associated structural effect. In case studies, various factors such as the return rate, transport distances and modal split are varied in order to map different framework conditions in the model. In addition, the click & collect distribution type, which is a mixed form of online trading and stationary trading, is investigated.

The results show higher greenhouse gas emissions when ordering in online trading compared to purchasing in brick-and-mortar-businesses. When looking at individual transport routes, it is noticeable that the last mile accounts for largest share of emissions in the entire supply chain. This applies to both online and stationary commerce. A sensitivity analysis of the model shows that path length, number of parcels, means of transport and return rate represent leverage points. If measures are taken to reduce emissions at this point in the supply chain, they will have a disproportionate effect on total emissions. As such, an order in online retailing in rural areas causes fewer emissions than a purchase in stationary retail. In the city the opposite is the case. On the basis of these results no general statements can be made about the "more climate friendly" channel of distribution.

# Inhaltsverzeichnis


**1 Einleitung ..... 12**

**2 Distributionskanäle ..... 15**

**2.1 Stationärer Handel ..... 15**

2.1.1 Definition des stationären Handels ..... 15

**2.2 Onlinehandel ..... 16**

2.2.1 Definition Onlinehandel ..... 16

2.2.2 Charakteristika des Onlinehandel ..... 17

**2.3 Click & Collect ..... 17**

2.3.1 Definition Click & Collect ..... 17

**2.4 Retouren ..... 19**

2.4.1 Retourenquote ..... 19

2.4.2 Gründe für Retouren ..... 20

2.4.3 Rechtliche Situation ..... 20

2.4.4 Strategien zur Vermeidung von Retouren ..... 21

**3 Handelslogistik ..... 23**

**3.1 Lager ..... 25**

**3.2 Transport ..... 26**

3.2.1 Das Transportgut ..... 26

3.2.2 Verkehrsträger und Transportmittel ..... 26

3.2.3 Der Transportprozess ..... 31

**4 System Dynamics ..... 40**

**4.1 Was ist System Dynamics? ..... 40**

4.1.1 System und Systemelemente ..... 41

4.1.2 Rückkopplungsschleifen und Verzögerungen ..... 41

4.1.3 Bestände & Flüsse ..... 42

4.1.4 Archetypen ..... 43

4.1.5 Grenzen des Wachstums - Limits to Growth Archetyp ..... 46

**4.2 Modell zur Analyse von Emissionen im Onlinehandel ..... 47**

4.2.1 Model Boundary Chart - Modellgrenzen-Tabelle ..... 49

4.2.2 Causal Loop Diagramm – Kausales Schleifendiagramm ..... 50

4.2.3 Stock & Flow Map – Bestände und Flüsse Karte ..... 52

**4.3 Validierung des Modells ..... 62**

**5 Szenarien und Ergebnisse ..... 64**

**5.1 Szenario 1 – Basisszenario ..... 64**
5.1.1 Ergebnisse Szenario 1 – Basisszenario ..... 64
**5.2 Szenario 2 – Strukturwandel ..... 67**
5.2.1 Ergebnisse Szenario 2 – Strukturwandel ..... 67
**5.3 Szenario 3 – Kundendichte ..... 69**
5.3.1 Ergebnisse Szenario 3 – Kundendichte ..... 69
**5.4 Szenario 4 – Transportmittel ..... 72**
5.4.1 Emissionsfreie Zustellung auf der letzten Meile ..... 72
5.4.2 Verkehrsmittelwahl Kunden ..... 74
**5.5 Szenario 5 – Retouren ..... 76**
5.5.1 Ergebnisse Szenario 5 – Retouren ..... 76
**5.6 Szenario 6 – Click & Collect ..... 78**
5.6.1 Ergebnisse Szenario 6 – Click & Collect ..... 79
**6 Diskussion ..... 81**
**Abbildungsverzeichnis ..... 84**
**Tabellenverzeichnis ..... 86**
**Literaturverzeichnis ..... 87**
**Anhang ..... 90**

# Einleitung

Die Bedeutung des Onlinehandels nimmt immer mehr zu. So betrug der Umsatz des Onlinehandels im Jahr 2015 in Österreich 3,3 Milliarden Euro, was fünf Prozent des gesamten Umsatzes im Einzelhandel entspricht. Mit jährlichen Wachstumsraten von ca. sieben Prozent wächst der Onlinehandel auch wesentlich stärker als der restliche Einzelhandel, der im Jahr 2015 um 1,1 Prozent gewachsen ist (KMU Forschung Austria, 2016). Diese Entwicklung führt zu großen Änderungen in der Handelslogistik. So ist die Verkaufsflächendichte im stationären Handel in den letzten Jahren um 2,5 Prozent gesunken (RegioData, 2016). Demgegenüber wächst das Sendungsvolumen, dass KEP-Dienste (Kurier-, Express-, Paketdienste) transportieren, stark an. Hier ist insbesondere das Endkundengeschäft (Business-to-Customer, B2C) mit jährlichen Wachstumsraten um die 10 Prozent zu nennen (Bundesverband Paket und Expresslogistik, 2016). Dieses Wachstum ist vor allem mit dem Anstieg des Onlinehandels zu erklären.

Diese Entwicklungen werfen Fragen nach den Auswirkungen auf. Neben ökonomischen und sozialen Themen stellen sich auch Fragen nach den ökologischen Auswirkungen dieser Veränderungen.

Im Rahmen des Klima- und Energiepakets der Europäischen Kommission muss Österreich bis 2020 seine Treibhausgas-Emissionen um 36 Prozent senken. Bis 2050 müssen die Emissionen im Verkehrsbereich um 60 Prozent gegenüber 2005 reduziert werden. Im Verkehrssektor stößt der Straßenverkehr die meisten Treibhausgase aus (BMVIT, 2012, S. 31). Die Güterverkehrsleistung wird weiter steigen, laut BMVIT um 32 Prozent bis 2025 (BMVIT, 2012, S. 38). Aufgrund dieser Rahmenbedingungen muss sich auch die Handelslogistik anpassen. In der Öffentlichkeit gibt es die verbreitete Meinung, dass Onlinehandel zwar bequem für die Kunden, jedoch schädlich für die Umwelt sei. Das wird unter anderem auf die hohen Retourenquoten im Onlinehandel zurückgeführt. Andererseits vermeidet ein Kauf im Onlinehandel potentiell den Weg zur Filiale des stationären Handels. Daraus folgen Fragen wie: Ist eine Bestellung im Onlinehandel klimaschädlicher als ein Einkauf im stationären Handel? Welche Faktoren sind dafür besonders entscheidend? Was bedeutet das Wachstum des Onlinehandels für die Gesamtemissionen?

Mit diesen Fragen haben sich schon mehrere Untersuchungen beschäftigt. McKinnon et al. (McKinnon, 2015) betonen, dass die Ergebnisse solcher Untersuchungen stark kontextabhängig sind und von vielen Faktoren abhängen. Edwards et al. kamen in einer 2010 durchgeführten Untersuchung zum Ergebnis, dass ein Kauf im Onlinehandel weniger $CO_2$-Emissionen verursacht solange weniger als 24 Artikel gekauft werden. Großen Einfluss auf die Emissionen haben dabei die Anzahl der gekauften Artikel und das gewählte Verkehrsmittel. Der Fokus dieser Studie lag auf der letzten Meile (Edwards et.al., 2010). Laut

Wiese et al. verursacht ein Onlinekauf generell weniger Emissionen, wenn die Transportdistanzen klein sind, hat jedoch der stationäre Handel Vorteile. Die relativen Vorteile sind besonders abhängig von der Transportdistanz, der Retourenquote und dem Benutzungsgrad öffentlicher Verkehrsmittel (Wiese, et al., 2012). Durch Onlineshopping kommt es jedoch auch zu einer Mehrbelastung des Straßensystems, was sich durch Verzögerungen und Treibhausgasemissionen ausdrückt, wie Laghaei et al. anhand der US-amerikanischen Stadt Newark nachgewiesen haben (Laghaei, et al., 2016). Mangiaracina et al. streichen den hohen Anteil der Logistik an den Gesamtemissionen des Handels hervor. Sie beziffern ihn im Onlinehandel mit 99 Prozent und im stationären Handel mit 62 Prozent. Der größte Einflussfaktor ist auch in dieser Studie die Transportdistanz der letzten Meile (Mangiaracina, , et al., 2016). Van Loon et al. (2015) führten eine Life Cycle Analyse durch, um die Emissionen des Onlinehandels zu untersuchen. Ähnlich wie oben genannte Studien kommen sie zu dem Schluss, dass die „Letzte Meile“ großen Anteil an den Gesamtemissionen hat (van Loon et al., 2015).

Die genannten Studien nutzen verschiedene wissenschaftliche Methoden, um die Forschungsfragen zu beantworten. Es gibt jedoch auch dynamische Effekte, die dabei nicht untersucht wurden. Um das Verhalten von komplexen Systemen über die Zeit zu analysieren und zu verstehen, wird die Methodik System Dynamics angewandt (Aschauer et al., S. 506). Auch in der betriebswirtschaftlichen Forschung wird System Dynamics eingesetzt um dynamische Entwicklungen zu untersuchen. So untersuchten beispielsweise Aschauer et al. (2015) mit dieser Methode die Wechselwirkungen zwischen Logistikstrategien und dem Güterverkehrsaufkommen.

Um die Wechselwirkungen zwischen Onlinehandel und stationärem Handel über die Zeit abbilden zu können, wird auch in dieser Arbeit auf die Methode System Dynamics zurückgegriffen. Das Ziel dieser Arbeit ist, die Umweltauswirkungen des stationären Handels mit denen des Onlinehandels zu vergleichen. Dies geschieht mithilfe des systemdynamischen Ansatzes. Neben Ergebnissen über die Emissionen pro Einkauf können so auch Aussagen über die zeitliche Entwicklung des modellierten Systems getroffen werden. Die Analyse kann Unternehmen, Konsumenten und Gemeinden helfen, Entscheidungen zu fällen und Erkenntnisse zu gewinnen. Da es sich um ein generisches Modell handelt, können Daten leicht variiert und das Modell so an eigene Bedürfnisse angepasst werden.

Zu Beginn der Arbeit wird untersucht welche Distributionskanäle ein Unternehmen nutzen kann. Dabei wird geklärt, was unter stationärem Handel, Onlinehandel und Click & Collect verstanden wird. Anschließend wird das insbesondere im Onlinehandel sehr wichtige Thema der Retourenprozesse beleuchtet. Darauf folgt eine Betrachtung der Themen Lager und Transport, welche wichtige Bestandteile der Handelslogistik sind. Dabei werden die untersuchten Lieferketten beschrieben. Hier werden außerdem Transportgut, -mittel, und -

prozess definiert. Um das dynamische Verhalten dieses Systems verstehen zu können, wird die Methode System Dynamics angewandt. Diese wird mithilfe von Literatur beschrieben und anschließend das kausale Schleifendiagramm für das untersuchte System erstellt. Daraus wird in weiterer Folge eine Stock & Flow-Karte modelliert und mit mathematischen Formeln und Daten gefüllt. Um die methodische Richtigkeit zu garantieren, wird das Modell danach mit Validitätstests wie Sensibilitätsanalysten getestet. Anschließend folgt die Erstellung und Berechnung von Szenarien, mit deren Hilfe das System unter verschiedenen Ausgangsbedingungen untersucht werden kann. Abschließend erfolgt die Diskussion dieser Ergebnisse.

# 2 Distributionskanäle

In diesem Kapitel werden die verschiedenen Distributionskanäle betrachtet, die später genauer untersucht werden. Dies geschieht um sie voneinander abgrenzen zu können und die jeweiligen Transportprozesse zu untersuchen.

Die Distributionspolitik ist ein Teilbereich des Marketings. Behandelt wird dabei der Absatzweg, auch als Absatzkanal oder Vertriebskanal bezeichnet. Als Vertriebskanal wird die Abfolge von Institutionen bezeichnet, die eine Ware bis zum Verbraucher durchläuft (Kock, 2010, S. 9). Im Fall des Einzelhandels besteht der Vertriebskanal aus produzierenden Herstellern oder Lieferanten, sowie Einzelhändlern, welche die Ware an die Endkonsumenten abgeben. Wird der Endtransport an den Kunden von Transportunternehmen übernommen, spricht man von Absatzmittlern, wie es Kurier- und Express- und Paketdienste (KEP) sind. Häufig wird auch die Einkaufsstätte selbst als Vertriebskanal bezeichnet, da hier der Kunde mit dem Unternehmen in Kontakt tritt und diese so als Synonym für den Kanal als Gesamtes steht. Der englische Begriff dafür lautet „distribution channel“ oder kurz „channel“. Verfügt ein Unternehmen über mehrere Absatzkanäle, wird dies als „multi channel“ bezeichnet (Kock, 2010, S. 9).

Der Handel ist gemessen an der Zahl der Unternehmen mit 29 Prozent Anteil der größte Wirtschaftsbereich in Österreich (Voithofer & Gittenberger, 2007). Ein Handelsunternehmen wird dadurch definiert, dass es nicht produziert, es das Preisrisiko trägt und nicht die ausgelagerte Vertriebsabteilung eines herstellenden Unternehmens ist (AWS, 2006). Im Handel ist ist eine Dynamik der Betriebsformen beobachtbar. So wurden aus wöchentlichen Märkten im Mittelalter der stationäre Handelsbetrieb und aus Gemischtwarengeschäften des 19. Jahrhunderts entwickelten sich die heutigen Betriebstypen. Durch das Aufkommen des Internets entstand der Onlinehandel (AWS, 2006, S. 16).

## 2.1 Stationärer Handel

### 2.1.1 Definition des stationären Handels

Das Gabler Wirtschaftslexikon definiert stationären Handel als „Handelsbetriebe mit festem Standort“ (Gabler Wirtschaftslexikon, o. J.). Dem gegenüber steht der ambulante Handel. Der Verkauf der Waren im stationären Handel erfolgt an festen Standorten, beispielsweise in Fachgeschäften, Verbrauchermärkten oder Warenhäusern (Wirtschaftslexikon24, o. J.).

Das Wachstum des Onlinehandels erfolgt auf Kosten des stationären Handels. So lag der Marktanteil des nicht-stationären Handels in Österreich 2015 bei ca. 12 Prozent und soll laut Prognosen von RegioData (2017) bis 2020 auf 20 Prozent wachsen. Dieses Wachstum führt zu einem Rückgang des Marktanteiles von Fachmärkten, Shopping Malls und innerstädtischen Einkaufszonen. Den stärksten Rückgang verzeichnen Streulagen (RegioData, 2017). Der Verlust von Marktanteilen führt auch zu einem Rückgang der

Verkaufsflächendichte in Österreich. So ist diese in den Jahren 2015 bis 2016 um 2,5 Prozent zurückgegangen. Die größten Rückgänge gibt es in den Branchen Baumärkte, Spielwarenhandel und Buchhandel (RegioData, 2016). RegioData Reseach (2017) führt diesen Rückgang auf das Wachstum des Onlinehandels zurück. Dessen Umsatz soll sich bis 2020 in Österreich fast verdoppeln.

## 2.2 Onlinehandel

### 2.2.1 Definition Onlinehandel

Unter Electronic Commerce (kurz E-Commerce; deutsch: Elektronischer Handel) versteht das E-Commerce Center Handel (2001, S. 556) diejenigen Transaktionen auf einem Markt, durch die der Austausch von wirtschaftlichen Gütern gegen Entgelt (z.B. Kauf, Miete, Pacht) begründet wird und bei denen nicht nur das Angebot elektronisch offeriert, sondern auch die Bestellung bzw. die Inanspruchnahme elektronisch unter Verwendung eines computergestützten Netzwerkes (insb. des Internets) erfolgt. Electronic Commerce wird vom E-Commerce Center Handel (2001, S. 17ff) in viele heterogene Unterformen unterteilt. In dieser Arbeit werden nur Transaktionen untersucht, auf die folgende Kriterien zutreffen:

1. Es erfolgt die Transaktion von Konsumgütern (nicht von Nutzungsrechten, Dienstleistungen etc.).

2. Es erfolgen Transaktionen zwischen Unternehmen und Verbrauchern (Business-to-Consumer Electronic Commerce).

„Electronic Shopping bezeichnet den Teilbereich des Business-to-Consumer Electronic Commerce, der sich auf Transaktionen von Konsumgütern bezieht. Verschiedene Teilfunktionen werden beim Electronic Shopping umfasst. So können Kunden einen Produkt-Überblick gewinnen bzw. ein umfangreiches Angebot an Produkten sichten, Produkte auswählen, sich detaillierte Produktdaten anzeigen lassen (z.B. technische Daten), bestellen, inklusive eventueller Auswahl von Liefer- und Zahlungsbedingungen und online bezahlen. Nach Vollzug von mehreren oder allen oben genannten Teilfunktionen wird üblicherweise eine Reihe weiterer Prozesse bei Lieferanten und bei Logistik-Unternehmen ausgelöst“ (E-Commerce-Center Köln, 2001, S. 23).

„Kunden müssen nicht zum Ort des Angebotes kommen, sondern können von beliebigen Orten aus bestellen und die Ware nach Hause, an den Arbeitsplatz, an Pick-up-Stationen usw. liefern lassen“ (Meyer 1979, S. 8 f.; Lee/Whang 2001, S. 59 f. in Hertel et al., 2011, S. 221). Für die Logistik ergeben sich dadurch einige Änderungen. So übernehmen die Handelsunternehmen die Kommissionierung und den Transport der Ware zum Kunden. Im stationären Handel erfüllt der Kunde selbst diese Aufgaben.

„In Versandhandelsformaten besteht somit im Gegensatz zum stationären Handel eine zeitliche Differenz zwischen dem Zeitpunkt des Vertragsabschlusses und der Lieferung bzw. tatsächlichen Produktverfügbarkeit“ (Palmer 1997, S. 76 ff. in (Hertel et al., 2011, S. 222).

### 2.2.2 Charakteristika des Onlinehandel

Der Onlinehandel zielt darauf ab, die Mühelosigkeit von Einkäufen zu steigern und den erforderlichen Zeitaufwand zu reduzieren. Die Convenience-Orientierung des E-Commerce ist besonders bei Gütern und Dienstleistungen, die digitalisierbar sind und auf elektronischem Wege übereignet oder konsumiert werden können, wie z.B. Software oder Computerspiele stark. Aber auch bei physischen Gütern und Dienstleistungen kann der Bestellvorgang per Internet für den Verbraucher müheloser und schneller als über den traditionellen Handel erfolgen. Unter Hinzunahme geschickter Logistikkonzepte kann selbst die Zustellung der Ware zeitlich und räumlich so gestaltet werden, dass die Entgegennahme der Ware für den Verbraucher mit einem geringen Aufwand verbunden ist. Das Internet kann auch genutzt werden, um Fragen und Probleme, die möglicherweise bei der Produktnutzung auftreten, zu klären (E-Commerce-Center Köln, 2001, S. 34f).

Aber es sind auch einige Nachteile des Onlinehandels gegenüber dem stationären Handel feststellbar. So führt Hertel (2011, S. 224) als Problematik für die Logistik im Versandhandel die Kundenstruktur an, die stark atomistisch ist und dass die Kunden hinsichtlich ihrer Standorte durch eine stark dislozierte und variable Struktur gekennzeichnet sind. Zusätzlich sind die Sendungen oft sehr heterogen und hinsichtlich des Volumens klein strukturiert. Deshalb werden für die operative Abwicklung der Auslieferungen an die Kunden meist externe Logistikdienstleister wie Speditionen, Kurier-, Express- oder Paketdienstleister (KEP-Dienste) oder produktspezifisch spezialisierte Dienstleister eingesetzt (Albers/Clement/Skiera 2000; Daduna 2003 in Hertel et al., 2011, S. 224). Dadurch können Bündelungseffekte erreicht werden. Bei großen Liefervolumen werden teils auch eigene Zustelldienste durch die Handelsunternehmen eingesetzt (z.B. Hermes als Tochterunternehmen von Otto).

## 2.3 Click & Collect

### 2.3.1 Definition Click & Collect

Click & Collect ist Teil der Cross-Channel-Verkaufsstrategie eines Unternehmens. Dabei werden Produkte online bestellt und in einer Filiale abgeholt. Das gibt dem Kunden die Möglichkeit, Produkte online zu finden und in ein stationäres Geschäft liefern zu lassen (Locafox, 2017).

Laut einer Studie des E-Commerce Center Köln hat etwa ein Drittel der deutschen Konsumenten, die Onlineshopping verwenden, schon einmal ein Produkt online bestellt und

in einer Filiale abgeholt. Das Angebot und die Nutzung variieren je nach Branche, am weitesten verbreitet ist das Angebot in den Branchen Fashion & Accessoires, Bücher & Medien sowie Elektronik (E-Commerce-Center Köln, 2015).

Durch Click & Collect werden die Vorteile des Onlinehandels mit denen des stationären Handels verbunden. Das ist ein Wettbewerbsvorteil gegenüber rein stationären Händlern und Online-Pure-Playern. Auch aus Kundensicht gibt es einige Vorteile. Die Vorteile von Click & Collect aus Kundensicht wurden in mehreren Umfragen erhoben. Das US-amerikanische Marktforschungsinstitut Bizrate Insights erhob im Jahr 2016 unter 11.836 Kunden ihre Gründe für Click & Collect-Einkäufe. Am häufigsten wurden fehlende Versandkosten genannt, gefolgt von Bequemlichkeit, schnelle Verfügbarkeit der Bestellung und das Sicherstellen, dass die Ware vor Ort ist, wenn man im Geschäft ankommt (bizrate insights, 2016). Das Kölner E-Commerce Center kommt bei einer Befragung von deutschen Konsumenten zu ähnlichen Ergebnissen. Zusätzlich zu oben genannten Antworten wurde noch die Wichtigkeit der Abholung in der Filiale genannt. Hier sind der Abholort in einem abgetrennten Ladenbereich mit Servicepersonal sowie die Übergabe in der Originalverpackung (ohne zusätzlichen Karton) wichtig. Kunden möchten hier also die Vorteile des stationären Handels nutzen. Das bedeutet, dass eine Abholbox vor dem Geschäft abgelehnt wird, weil so die Waren nicht direkt begutachtet, anprobiert und gegebenenfalls umgetauscht werden können (E-Commerce-Center Köln, 2015).

Auch aus Händlersicht hat Click & Collect einige Vorteile. Diese ergeben sich vor allem aus dem Kundenkontakt, da durch Beratungsgespräche zusätzlich Produkte an die Kunden verkauft werden können (Cross- und Upselling-Potenzial) (E-Commerce-Center Köln, 2015).

Durch diese Distributionspolitik ergeben sich besondere Anforderungen an die Logistik, da der Vertrieb an die Kunden über mehrere, oft sehr unterschiedliche Kanäle garantiert werden muss (Zentes & Schramm-Klein 2008:424). Werden unterschiedliche Wege der Distanzüberwindung (Bring- und Hol-Kauf) integriert, steigt die Komplexität des Logistiksystems. Die Herausforderung liegt darin die Ziele der Logistik (Flexibilität, Schnelligkeit, Zuverlässigkeit) in der Supply-Chain mit möglichst einfachen Logistiklösungen zu erfüllen und dabei niedrige Bestände und niedrige Transport- und Kommissionierkosten zu erreichen. Im Gegensatz zu traditionellen Logistiksystemen erfordern Multi-Channel-Systeme ein höheres Maß an Flexibilität (Zentes & Schramm-Klein, 2008, S. 424f).

Durch die Integration von Logistikprozessen mehrerer Kanäle, wie es bei Click & Collect geschieht, können Effektivitäts- und Effizienzpotentiale zwischen den Kanälen genutzt werden. Es können beispielsweise Kostensenkungen durch Synergieeffekte erzielt werden (Schramm-Klein, 2006, S. 518).

Im Click & Collect-Handel werden also die Vorteile von Onlinehandel und stationärem Handel verknüpft. Für Kunden gehört dazu sofortige Verfügbarkeit, persönliche Beratung,

direkte Produktevaluation sowie unmittelbare Retourenmöglichkeit. Auf Händlerseite ist als Vorteil insbesondere das Cross- und Upselling-Potenzial zu nennen.

## 2.4 Retouren

Die Umsätze im Onlinehandel wachsen stetig an. Dadurch wächst auch die Anzahl an Retouren. Retouren gehören zum Versandhandel dazu und sind nicht vollständig vermeidbar (ibi research, 2013, S. 2). Retouren sind für einen großen Teil der Wege im Onlinehandel verantwortlich. Laut Arnold stellt das Retourenmanagement Unternehmen vor ein enormes (Kosten-)Problem (Arnold, 2008, S. 531). Besonders im Onlinehandel ergeben sich in der Redistributionslogistik hohe logistische Anforderungen (Zentes & Schramm-Klein, 2008, S. 423). Die Hauptproblematik besteht in den Kosten der Retourenabwicklung, je nach Warenwert können sie die Rentabilität des Versandhandels stark beeinflussen.

Der Retourenweg ist in der Regel analog zum Distributionsweg mit rückwärtsgerichtetem Warenfluss (Hertel et al., 2011, S. 160). Dieser verläuft allerdings langsamer und gebündelter (DCTI, 2015, S. 36). Die Retourware kann also bei den Kunden abgeholt werden, Kunden können die Ware zu Pick-up-Stationen bringen oder per KEP-Dienst (Kurier-, Express- und Paketdienst) zurück an das Handelsunternehmen senden (Zentes & Schramm-Klein, 2008, S. 423).

### 2.4.1 Retourenquote

Für die Bestimmung der durch Retourenprozesse ausgelösten $CO_2$e-Emissionen ist die Retourenquote essentiell. Laut einer Umfrage des ibi research Institutes (ibi research, 2013, S. 34) unter 279 Onlinehändlern haben 40 Prozent eine Retourenquote von 10 Prozent. In der Bekleidungsbranche tritt im Durchschnitt eine Retourenquote von 26 Prozent auf, im Durchschnitt über alle Branchen eine 13-prozentige. Kille nennt eine Retourenquote von höchstens 20 Prozent bei Elektroartikeln und bis zu 70 Prozent bei besonders modischer Kleidung. Im Durchschnitt werden zwei von fünf Artikeln retourniert (Sywottek, 2016, S. 86). Zentes und Schramm-Klein geben die Retourenquote bei bestimmten Warengruppen im Versandhandel, wie Bekleidung oder Textilien, mit 40 bis 60 Prozent an (Zentes & Schramm-Klein, 2008, S. 423).

Laut ibi research (ibi research, 2013, S. 38) geben 49 Prozent der befragten Onlinehändler an, dass die Retourenquote in den letzten Jahren angestiegen ist. Die Studie „Klimafreundlich einkaufen“ (DCTI, 2015, S. 80) legt ihren Berechnungen eine Retourenquote von 27,5 Prozent zugrunde, wie sie im Jahr 2014 bei der Otto Group vorlag. Ibi Research nennt als weiteres Problem, das 10 Prozent aller retournierten Waren nicht mehr verwendet werden können (ibi research, 2013, S. 40).

### 2.4.2 Gründe für Retouren

In einer Untersuchung des ibi research Institutes (2013, S. 35) geben Kunden als häufigste Gründe für Retouren „Der Artikel gefällt nicht“, „Der Artikel passt nicht“ und „Mehrere Varianten zur Auswahl bestellt“ an. 38 Prozent der befragten Kunden kalkulieren bereit beim Kauf die Rücksendung der Ware ein. Sie gaben als Grund für die Retoure „Mehrere Varianten zur Auswahl bestellt“ an. Auch Walsh und Möhring (2015, S. 5) kamen in einer Umfrage unter 400 Kunden von Onlineshops zu dem Ergebnis, dass 20 Prozent der Teilnehmer schon einmal etwas online bestellt haben mit der festen Absicht es später zurückzuschicken. Das DCTI (2015, S. 54) kam hingegen zu dem Schluss, dass 86 Prozent der Kunden nicht in dem Bewusstsein bestellen, auf jeden Fall die Waren zurückzuschicken. Als häufigste Gründe für Retouren nennt das DCTI (2015, S. 80) Nichtgefallen (Form oder Qualität) oder die falsche Größe. In der Branche Bekleidung/Textilien/Schuhe werden die Retourengründe „Artikel defekt oder beschädigt“ und „Falschbestellung“ deutlich weniger oft angegeben als in den restlichen Branchen (ibi research, 2013, S. 35f).

### 2.4.3 Rechtliche Situation

Gründe für die hohen Retourenquoten sind unter anderem in der rechtlichen Situation zu finden. So gilt in der EU für Verbraucher das Widerrufsrecht bei einem Fernabsatzgeschäft, d.h. bei außerhalb von Geschäftsräumen geschlossenen Verträgen. Das trifft auf den Onlinehandel zu, hier kann der Verbraucher innerhalb von 14 Tagen ohne Angabe von Gründen vom Kaufvertrag zurücktreten und die Ware zurückschicken. Anders als im stationären Handel sind auch die Gründe „Nicht-Gefallen“ oder „Auswahlbestellung“ (unterschiedliche Größen, Farben etc.) möglich, was die Hürde für das Bestellen und Retournieren von Waren sehr niedrig macht. Dadurch ist die Anzahl der Retouren und die Bedeutung der Reverse Logistics stark gestiegen (Arnold, 2008, S. 532). Hintergrund für das Widerrufsrecht im Onlinehandel ist, dass der Vertragsschluss nicht unter Anwesenden stattfindet und kein Probieren und Angreifen der Ware möglich ist (DCTI, 2015, S. 36). Bis 2014 musste der Unternehmer bei Retouren Kaufpreis und Portogebühren erstatten. Am 13. Juni 2014 ist eine neue Version des Fern- und Auswärtsgeschäfte-Gesetz in Österreich in Kraft getreten. Ab nun werden die Rücksendekosten dem Verbraucher auferlegt, außer der Unternehmer hat sich bereit erklärt diese Kosten zu tragen (Fern- und Auswärtsgeschäfte-Gesetz, 2014, S. §15. (2)). Die Mehrheit der großen Onlinehändler übernimmt aber weiterhin die Rücksendekosten für die Verbraucher. Das dürfte aus Marketing- und Wettbewerbsüberlegungen geschehen, weshalb aus diesem Grund keine Auswirkungen auf die Verringerung der Retourenquote zu erwarten sind (DCTI, 2015, S. 37).

Im stationären Handel ist eine Rückgabe oder Retoure nur aus dem Grund „Sachmangel“ aufgrund von Garantie- oder Gewährleistungsansprüchen möglich. Bei „Nichtgefallen“ wird die Ware vom Händler lediglich aus Kulanz rückgenommen, es gibt dafür aber keinen Rechtsanspruch.

Im stationären Handel ist die Retourenquote sehr viel geringer. Als Gründe dafür nennt das DCTI, dass Kunden die Ware ansehen, angreifen und anprobieren können. Außerdem bedeutet der Umtausch von Ware einen nicht unerheblichen Aufwand in Form von Transport- und Wegekosten. Anders als im Onlinehandel besteht zusätzlich keine Garantie, dass der Händler die Ware zurücknimmt, da es keine gesetzliche Verpflichtung zur Rücknahme gibt und diese daher nur aus Kulanzgründen akzeptiert wird. Das DCTI antizipiert daher in seinen Berechnungen eine Retourquote von 1,9 Prozent im stationären Handel (DCTI, 2015, S. 83).

### 2.4.4 Strategien zur Vermeidung von Retouren

Retouren verursachen hohe Kosten und Umweltauswirkungen. Da Waren an den Händler zurückgeschickt werden und meist neue Ware bestellt wird, fallen zumindest zwei Wege an, aus denen kein Nutzen, aber Kosten und Emissionen entstehen. Das Kölner EHI Retail Institute beziffert die Prozesskosten pro zurückgeschicktem Artikel im Schnitt mit zehn Euro (EHI Retail Institute, 2016, S. 11).

Aus diesen Gründen wurden einige Instrumente entwickelt, um die Retourenquote zu senken. Walsh und Möhring (2015, S. 3) unterscheiden als präventive Ansätze zum Retourenmanagement ablauforientierte, monetäre und kundenorientierte Instrumente. Ablauforientierte Instrumente sollen Kunden den Retourenprozess erschweren oder Retourengründe wie eine späte Lieferung oder eine Beschädigung der Ware verhindern. Einige Onlinehändler legen etwa ihren Sendungen keinen Retourenschein bei. Für eine Rücksendung muss der Kunde selbst den Rückgabeprozess anstoßen und den Retourenschein ausdrucken. Das erhöht die „Hassle Costs“ (Schikanekosten) beim Kunden und verringert so die Wahrscheinlichkeit einer Rücksendung. Zu den ablauforientierten Instrumenten gehören außerdem besonders sichere Verpackungen, die eine Beschädigung der Ware verhindern sollen, sowie die Ansprache oder Sperrung von Kunden mit besonders hohen Retourenquoten (Walsh & Möhring, 2015, S. 3f).

Monetäre Instrumente zur Senkung der Retourenquote sind finanzielle Anreize die Ware nicht zu retournieren. Darunter verstehen Walsh und Möhring Geld-zurück-Garantien, Gutscheine als Belohnung oder Wiedereinlagerungsgebühren. So erhalten Kunden des Modeanbieters Bonprix beispielsweise einen Gutschein über drei Euro für jede Bestellung ohne Rücksendung. Wiedereinlagerungsgebühren werden beispielsweise von manchen Unternehmen in den USA verlangt, wenn ein bestellter Artikel ohne Mängel retourniert wird. Gebühren dieser Art sind in Europa schwer anzuwenden, da das europäische Recht beim Onlinehandel eine kostenfreie Rückgabe innerhalb von 14 Tagen vorsieht, siehe dazu Kapitel 2.4.3. Erst nach Ablauf dieser Frist können Gebühren für Retouren verlangt werden. Geld-zurück-Garantien werden im deutschsprachigen Raum zunehmend eingesetzt. So bietet Zalando etwa ein Rückgaberecht von 100 Tagen an, Amazon eines von 30 Tagen. Diese Garantien verringern das wahrgenommene Kaufrisiko und führen so zu mehr

Bestellungen und weniger Retouren. Dieses Angebot scheint die Retouren zu erhöhen, es hat sich aber gezeigt, dass drei bis vier Wochen nach der Bestellung kaum noch Retouren getätigt werden (Walsh & Möhring, 2015, S. 4).

Kundenorientierte Instrumente stellen Konsumenten vor dem Kauf genaue Produktinformationen zur Verfügung und sollen helfen die bestmöglichen Kaufentscheidungen zu treffen. Diese Instrumente sind gerade stark im Aufschwung und sollen etwa beim Schuh- und Kleidungskauf helfen die richtige Größe zu finden (Walsh & Möhring, 2015, S. 5). Als Hauptgrund für Retouren in der Bekleidungsbranche wird angegeben, dass die Ware nicht vor dem Kauf probiert werden kann. Durch genauere Angaben oder Hilfen, zum Beispiel Schablonen zum Ausdrucken beim Schuhkauf, um die richtige Größe bestimmen zu können, könnten viele Retouren vermieden werden (ibi research, 2013, S. 6). Zu Produktbewertungen und Größentabellen kommen auch neue Instrumente wie virtuelle Anprobemöglichkeiten (Virtual Try-on) und virtuelle Produktberater (Avatare). Diese Instrumente erfordern hohe Investitionskosten, versprechen aber auch ein hohes Potenzial zur Retourenvermeidung. Eine Onlineumfrage von Walsh und Möhring (2015) unter deutschen Konsumenten ergab das höchste Potenzial zur Verringerung von Retouren bei Produktbewertungen, gefolgt von der Optimierung der Durchlaufzeit und dem Verzicht auf Retourenscheine. Die Instrumente unterscheiden sich stark in ihrer Kosten- und Kundenorientierung. Hohe Kundenorientierung bei geringen Kosten weisen etwa Produktbewertungen auf. Unternehmen sollten aufgrund hoher Kosten mancher Instrumente diese gezielt für Warengruppen mit hoher Retourenquote einsetzen (Walsh & Möhring, 2015, S. 5).

# 3 Handelslogistik

Der Vertriebsweg bestimmt wie die Produkte an die Kunden verkauft werden. In dieser Arbeit liegt der Fokus auf dem Vertriebsweg über eigene Filialen und Verkaufsstellen an den Endverbraucher. Das Business-to-Business-Geschäft wird nicht betrachtet. Distribution umfasst laut Gudehus (2004, S. 556) die Lagerung, Kommissionierung und den Transport der Fertigwaren aus der Eigenproduktion und des fremdbeschafften Handelssortiments bis zum Ort der Übernahme durch den Kunden. Dafür gibt es verschiedene Distributionsstrukturen, welche von den Lieferbedingungen bestimmt werden. Dazu zählen Standorte von Fertigwarenlagern, Logistikzentren und Umschlagstationen und die Lieferkette.

In dieser Arbeit werden nur externe Lieferketten betrachtet. Gudehus (2004, S. 881) definiert diese wie folgt. Externe Lieferketten beginnen im Warenausgang einer Lieferstelle und enden im Wareneingang einer anderen Lieferstelle. Im Gegensatz dazu beginnt eine interne Logistikkette im Wareneingang und endet im Warenausgang desselben Betriebs.

Die Handelslogistik selbst kann in die Phasen der Warenströme unterteilt werden. Hertel et al. (2011, S. 150ff) gliedern die Handelslogistik in diese Subsysteme:

- Beschaffungslogistik,
- Produktionslogistik,
- Distributionslogistik und
- Entsorgungslogistik (auch Redistributionslogistik).

Dieser Definition folgend werden die Transportprozesse vom Zentrallager der Handelsunternehmen bis zum Kunden untersucht. Der Fokus dieser Arbeit liegt somit auf der Beschaffungs- und der Distributionslogistik. Im Folgenden werden die Subsysteme genauer erläutert und auf ihre Relevanz für das untersuchte System überprüft.

Die Produktionslogistik ist für Handelsunternehmen nicht relevant, da im Handel keine Produktions- und Manipulationsprozesse an der Ware stattfinden. Die Beschaffungslogistik steht am Beginn der internen Supply-Chain des Handels, da sie Warenflüsse umfasst, die zur physischen Versorgung mit Waren nötig sind. Dazu zählen bspw. das Bestandsmanagement der Beschaffungsläger und die Standortverteilung der Läger. Eine große Rolle bei der Beschaffungslogistik spielt die Reduktion von Risiken wie Bedarfsdeckungsrisiken d.h. dass die Waren nicht in der benötigten Menge oder Qualität oder zum kalkulierten Preis bezogen werden kann. Andere Risiken sind Liefer- und Transportrisiken, die sich auf den Ausfall von Lieferungen oder Mängel durch Lieferung und Transport (z.B. Mengen-, Qualitäts- und Zeitrisiken). Risiken können durch eine hohe Anzahl von Lieferanten reduziert werden, da dadurch die Abhängigkeit verringert wird (Hertel et al., 2011, S. 150f).

Die Entsorgungslogistik oder Redistributionslogistik beschäftigt sich mit Entsorgungssystemen, Recyclingprozessen, Pfand- und Rücknahmesystemen. Diese gewinnen in Anbetracht der Entwicklung der Wertkette in Richtung eines Wertkreislaufes zunehmend an Bedeutung (Hertel et al., 2011, S. 157f). Im Rahmen dieser Arbeit wird die Entsorgungslogistik nicht betrachtet, siehe dazu andere Untersuchungen. Die Redistributionslogistik wird hingegen schon untersucht, da Retourenprozesse insbesondere im Onlinehandel eine große Rolle spielen.

Die Distributionslogistik umfasst alle logistischen Prozesse, die sich mit der Verteilung der Ware an den Kunden beschäftigen. Sie bildet die Endphase im absatzmarktorientierten Logistikprozess (Ihde 1974, Sp. 619 in Hertel et al., 2011, S. 154). Deshalb wird sie auch als Absatzlogistik, Vertriebslogistik oder als Marketing-Logistik bezeichnet (Kotzab 2000 in Hertel et al., 2011, S. 155). Im Bereich der Distributionslogistik sind insbesondere von Bedeutung:

- Standorte der Distributionsläger
- Planung der Transportverfahren
- Bestandsmanagement in den Transportlägern
- Kommissionierung
- Verpackung
- Tourenplanung, Transportmitteleinsatzplanung, Anlieferungsterminplanung
- Kundenauftragsabwicklung und
- Kooperationen mit Logistikdienstleistern (Zentes/Swoboda/Morschett 2004, S. 460; Schulte 1997, S. 177 in Hertel et al., 2011, S. 155).

Die Distributionslogistik im Handel unterscheidet sich v.a. nach der Betriebs- und Vertriebstypenstruktur des Handelsunternehmens. Hier kann man zwei grundlegende Prinzipien unterscheiden, das Bring- und das Holprinzip. Daraus ergeben sich nicht-stationäre oder stationäre Absatzkanäle. Beim Versandhandel wird die Ware an den Kunden geliefert, es handelt sich also um einen „Bringkauf“. Die „Distanzüberwindung“ erfolgt somit durch das Handelsunternehmen oder wird von ihm initiiert und von Logistikdienstleistern vollführt. Im stationären Handel erfolgen „Holkäufe“, die Distanzüberwindung erfolgt also durch den Kunden selbst, da er die Ware aus der Filiale des Handelsunternehmens abholt (Liebmann/Zentes/Swoboda 2008, S. 698 in Hertel et al., 2011, S. 156). Die beiden Prinzipien unterscheiden sich durch verschiedene Akteure und Stufen in der Supply Chain. So nehmen beim stationären Handel die Kunden selbst die Kommissionierung und den Transport der Ware zu ihrem Bestimmungsort vor. Beim Distanzhandel hingegen wird die Kommissionierung vom Handelsunternehmen vorgenommen und der Transport erfolgt meist durch externe Logistikdienstleister oder das Handelsunternehmen selbst (Hertel et al., 2011, S. 157). Abbildung 1 zeigt den typischen Produktlebenszyklus inklusive Logistikprozessen. In dieser Arbeit wird die Distributionslogistik betrachtet.

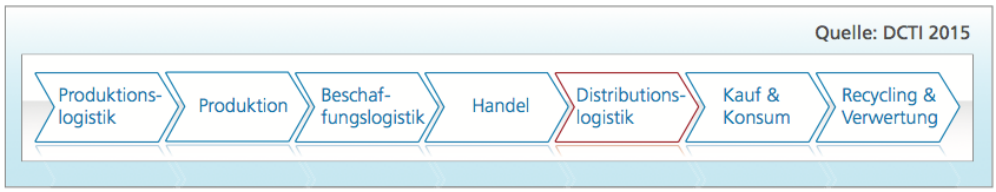


*Abbildung 1: Produktlebenszyklus inkl. Logistikprozessen. Quelle: DCTI, 2015, S. 26.*

Die Komponenten der Logistiksysteme werden nach dem Verrichtungsprinzip unterteilt. Dabei erfolgt eine Systematisierung nach den Aufgaben, die im Logistikprozess umgesetzt werden. Nach Pfohl (2010, S. 9 in Hertel et al., 2011, S. 161) sind das:

- „Auftragsabwicklung: Steuerung der Warenströme vom Lieferanten bis zur Filiale bzw. zum Kunden (primär informatische Fragestellungen)
- Lagerhaltung bzw. Lagerhaus: Lagerbestandshaltung und –kontrolle sowie Konzeption und Umsetzung von Lagersystemen
- Verpackung: Verpackungsprozesse zum Schutz der Ware sowie Bildung logistischer Einheiten (z.B. Paletten), die Verpackung der Waren ist hier nicht Bestandteil der Untersuchung, da diese umweltökologischen Auswirkungen gesondert untersucht werden müssten. Siehe dazu die Masterarbeit „Die Umweltrelevanz von Onlinehandel im Vergleich zu stationärem Handel mit Fokus auf die Abfallwirtschaft“ von Stoll (2016).
- Transport: Überbrückung räumlicher Distanzen“ (DCTI, 2015, S. 30; Hertel et al., 2011, S. 161f).

Die für die Untersuchung relevanten Komponenten sind Lager und Transport, da diese als Kernprozesse der Logistik betrachtet werden und in diesen Bereichen wesentliche Unterschiede zwischen Onlinehandel und stationärem Handel bestehen. Im Folgenden werden diese Komponenten genauer erläutert.

## 3.1 Lager

Zu den Aufgaben der Lagerhaltung gehören die Kontrolle der Anzahl der zu lagernden Artikel, der Bestellmenge, des Bestellpunktes und des Sicherheitsbestandes sowie Bedarfsprognosen (Hertel et al., 2011, S. 162). Mit Lagerhaus werden hingegen Entscheidungen wie die Bestimmung der Lagerstruktur sowie Ausstattung bezeichnet. Dabei geht es um langfristige Entscheidungen wie die Anzahl, den Standort, die Kapazitäten und die Liefergebiete der Lagerhäuser (Hertel et al., 2011, S. 169). „Die vertikale Struktur bezeichnet dabei die Anzahl der Lagerstufen, wohingegen die horizontale Lagerstruktur die Anzahl der Läger je Stufe beschreibt“ (DCTI, 2015, S. 31). Da die Transportdistanzen zwischen den Lägern direkte Auswirkungen auf die $CO_2$e-Emissionen haben, ist deren geografische Verteilung wichtig für die Modellierung. Ein weiterer Einflussfaktor für das

Modell ist die Kommissionierung d.h. die Auflösung oder Bündelung von Warenströmen, da dies Auswirkungen auf die Auslastung und Wahl der Lieferfahrzeuge hat (DCTI, 2015, S. 31).

## 3.2 Transport

Transporte sind allgemein definiert als die Raumüberbrückung von Transportgütern unter Einsatz von Transportmitteln (Pfohl 2010, S. 149).

Zum Bereich Transport gehören als Teile des Transportsystems, das Transportgut, das Transportmittel und der Transportprozess. Die Gestaltung der Transportkette bezieht sich auf die Wahl des Transportmittels und des Transportprozesses (Pfohl 2010, S. 149 f. in Hertel et al., 2011, S. 193).

### 3.2.1 Das Transportgut

Das Transportgut besteht neben den Produkten (Gütern) aus Transporthilfsmitteln. Das sind bspw. Paletten und Kleinbehälter (Kartons, Kisten), Großbehälter (Container), Wechselbrücken oder Sattelauflieger (Arnold, 2008, S. 418). Die in dieser Arbeit behandelten Transportgütern sind Produkte des Paketversands. Typische Paketwaren sind Kleidung, Bücher, Kleinelektrowaren oder andere Waren bis ca. 30 Kilogramm. Die in dieser Arbeit verwendete Definition des deutschen Clean Tech Institutes ((DCTI, 2015, S. 31) stützt sich auf die Definition des Paketversands Hermes, der Volumens- und Gewichtsgrenzen für Sendungen des Paketversands definiert. Die Gewichtsgrenze liegt bei 31,5 Kilogramm und die Abmessungen dürfen einen maximalen Umfang nicht überschreiten (Summe aus längster und kürzester Seite muss kleiner als 310 cm sein). Haase und Hoppe (2008, S. 858) geben mit 31,5 Kilogramm und bis 330 cm Gurtmaß ähnliche Werte für Kleingüter, die von Paketdienstleistern transportiert werden, an. Derartige Vorgaben sind wichtig für einen hohen Standardisierungsgrad des Transportprozesses.

### 3.2.2 Verkehrsträger und Transportmittel

Die in der Transportkette genutzten Transportmittel können in folgende Verkehrsträger eingeteilt werden:

- Straßenverkehr
- Schienenverkehr
- Schiffsverkehr
- Luftverkehr (Hertel et al., 2011, S. 194).

Die Wahl des Verkehrsmittels wird von einer Vielzahl von Kosten- und Leistungskriterien beeinflusst. Hertel et al.( 2011, S. 195) führen hier u.a. Transportkosten, Kostenauswirkungen auf sonstige Bereiche der Distributionslogistik, Transportzeit,

Transportfrequenz, technische Anforderungen (z.B. Kühlmöglichkeit), Vernetzungsfähigkeit mit Schnittstellen und Anfangs- und Endpunkte der Transportvariante (z.B. Bahnhof oder Verkaufsstelle) an. Für diese Arbeit besonders wichtig sind jedoch auch Nachhaltigkeitsaspekte der Verkehrsmittel. Hertel et al. (2011, S. 195) zufolge sind aufgrund der Klimaeffekte, aber auch aufgrund der Überlastung der Straßennetze in verschärftem Maßstab Umweltschutzvorschriften und Mautsysteme zu erwarten. Auch die begrenzten Weltölreserven lassen weiter steigende Treibstoffkosten für die nähere Zukunft erwarten (Hertel et al., 2011, S. 195).

Dennoch stellt der Straßengüterverkehr das relevanteste und weiterhin an Bedeutung gewinnende Verkehrsmittel in der Handelslogistik dar. Der Schienenverkehr verliert hingegen an Bedeutung, da eine Door-to-Door-Versorgung innerhalb von 24 Stunden nicht sichergestellt werden kann und Handelsunternehmen selten über einen eigenen Gleisanschluss verfügen. Daher sind zusätzliche Transporte auf der Straße notwendig. Der Schiffsverkehr transportiert vor allem Massengüter. Der Seeschiffsverkehr nimmt auch Stückgüter auf, die für den Versand per Flugzeug zu groß oder schwer sind. Der Flugverkehr hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Das liegt jedoch weniger an gestiegener Nachfrage im traditionellen Luftfrachtbereich, sondern eher am Wachstum der Dienste von Expressdiensten wie Federal Express, TNT oder UPS (Liebmann/Zentes/Swoboda 2008, S. 713 f. in Hertel et al., 2011, S. 196).

In Abbildung 2 sind verschiedene Verkehrsträger und ihre Leistungsfähigkeit im Hinblick auf die Erfüllung der logistischen Ziele abgebildet. Aufgrund der unterschiedlichen Eignungsfähigkeit der Verkehrsträger werden oft mehrere Verkehrsmittel eingesetzt, z.B. im gebrochenen Verkehr oder im kombinierten Verkehr (Pfohl, 2010, S. 160).

Unter kombiniertem Verkehr versteht man den Transport von Gütern über verschiedene Verkehrsträger. Der Vor- und Hauptlauf wird dabei über die Straße abgewickelt, der Hauptlauf über die Schiene oder das Schiff (Arnold, 2008, S. 733f). Dabei wird versucht, die Vorteile der verschiedenen Verkehrsmittel zu nutzen. Als wichtigste Form des kombinierten Verkehrs ist der „Schiene-Straße-Verkehr“ zu nennen. Dabei wird die Flexibilität des LKW mit den Kostenvorteilen der Bahn auf langen Strecken kombiniert (Pfohl, 2010, S. 160).

Multimodalität bezeichnet den Transport von Gütern mit zwei oder mehreren verschiedenen Verkehrsträgern (Economic Commission for Europe (UN/ECE), 2001, S. 16) Beim Wechsel des Transportmittels kommt es zu einem Umschlagprozess.

Synchromodalität bezeichnet die optimale Verwendung aller Verkehrsträger und Kapazitäten in einem Netzwerk um die Flexibilität der verschiedenen Modi zu nutzen (van Riessen, et al., 2015). Es handelt sich dabei um integrierte Planung, die Transportinfrastruktur, Knotenpunkte und Transportmittel werden einbezogen. Diese Ressourcen werden zu jeder Zeit mit der Nachfrage abgeglichen (Behdani et. al, 2014, S. 4f).

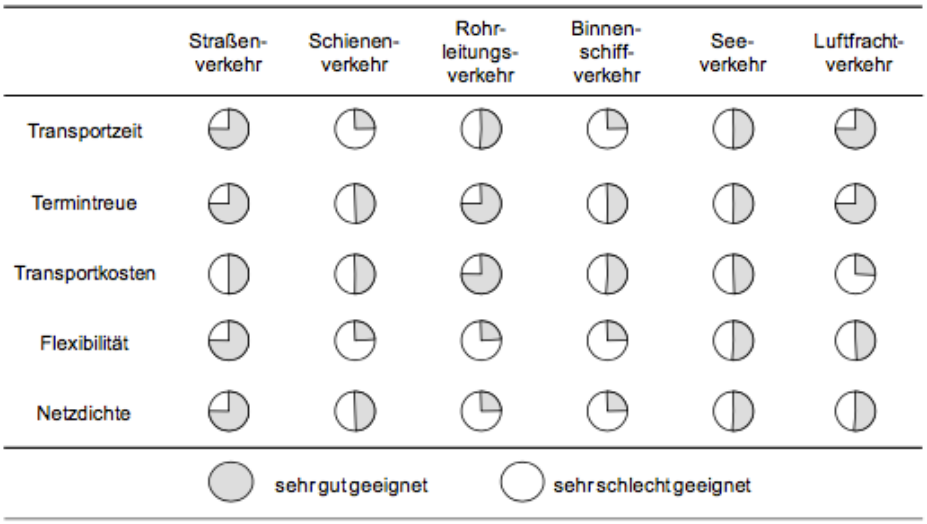


*Abbildung 2: Beurteilung verschiedener Verkehrsträger (Hertel et al., 2011, S. 196)*

#### *3.2.2.1 Emissionen Lieferfahrzeuge*

Für die Berechnungen in dieser Arbeit wird unter anderem auf Daten der Otto Group zurückgegriffen. Diese Daten werden in Kapitel 3.2.3.2 erläutert. Dort ist ersichtlich, dass sich auch hinsichtlich der eingesetzten Verkehrsmittel Onlinehandel und stationärer Handel unterscheiden. So werden im stationären Handel auf beiden untersuchten Wegen große Transportfahrzeuge eingesetzt (hier LKW 24-40t). Der Onlinehandel hingegen ist dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahl der transportierten Sendungen umso kleiner wird, je regionaler die Strecke ist. Da dadurch Volumen und Gewicht der Lieferung kleiner wird, können kleinere Fahrzeuge eingesetzt werden.

Der „Leitfaden zur Berechnung von Treibhausgasemissionen in Spedition und Logistik gemäß DIN EN 16258“ des Deutschen Speditions- und Logistikverband e.V. (DSLV) (Schmied & Knörr, 2013, S. 45) unterscheidet vier LKW-Größenklassen, die das in mehreren europäischen Ländern zugelassene Spektrum an LKWs abdecken. Die vier LKW-Klassen sind folgende:

- Lkw < 7,5t zGG, maximale Zuladung 3,5t
- Lkw 7,5 - 12t zGG, maximale Zuladung 6,0t
- Lkw 12 - 24t zGG, maximale Zuladung 12,0t
- Last-/ Sattelzug 24-40t zGG, maximale Zuladung 26,0t

Die Norm EN 16258 enthält Umrechnungsfaktoren für verschiedene Kraftstoffe. „Laut EN 16258 müssen beide Größen sowohl für den Betrieb des Fahrzeuges (Tank-to-Wheel) als auch insgesamt für Betrieb und Energiebereitstellung (Well-to-Wheel) ausgewiesen werden“ (Schmied & Knörr, 2013, S. 27). Der Tank-to-Wheel-Ansatz berechnet den Endenergieverbrauch d.h. den Dieselverbrauch von LKW oder Schiffen oder den

Stromverbrauch von Elektro-Loks. Der Well-to-Tank-Ansatz berücksichtigt zudem auch Verluste in Kraftwerken, Raffinerien und Stromleitungen. Der WTW-Umrechnungsfaktor ist daher größer als der TWL-Umrechnungsfaktor (siehe Tabelle 1) (Schmied & Knörr, 2013, S. 27).

Die Euro Norm setzt die Systemgrenze bei der Erzeugung und dem Verbrauch des Treibstoffes, „Herstellung, Unterhalt und Entsorgung der Fahrzeuge oder der Verkehrsinfrastruktur bleiben durch die Norm hingegen unberücksichtigt“ (Schmied & Knörr, 2013, S. 23).

Die für die Berechnungen in dieser Arbeit relevanten Umrechnungsfaktoren wurden der EN 1625 entnommen. Sie sind in Tabelle 1 angeführt.

*Tabelle 1: Umrechnungsfaktoren für die Berechnung der Treibhausgasemissionen (berechnet als $CO_2$-Äquivalente) nach EN 16258. Eigene Darstellung nach Schmied & Knörr, 2013, S. 28..*

| | **Tank to Wheel** | **Well to Wheel** |
|---|---|---|
| | **kg $CO_2$e/l** | **kg $CO_2$e/l** |
| **Diesel** | 2,67 | 3,24 |
| **Benzin** | 2,42 | 2,88 |

Zur Berechnung der Treibhausgasemissionen wird die entfernungsbasierte Methode aus der EN 18625 verwendet. Sie benötigt neben dem Gewicht der Sendung Angaben zu zurückgelegten Entfernungen oder zu den Tonnenkilometern (Gewicht mal Entfernung). Diese Größen werden dann mit Verbrauchs- und Emissionsfaktoren pro Fahrzeugkilometer verknüpft, um den Treibstoffverbrauch und die dadurch entstehenden Treibhausgasemissionen zu berechnen (Schmied & Knörr, 2013, S. 38). Die in dieser Studie verwendeten Verbrauchsdaten stammen aus der DCTI-Studie „Klimafreundlich einkaufen“ (DCTI, 2015). Verbrauchs- und Emissionswerte für leere und voll beladene LKW können auch aus Datenbanken wie HBEFA, TREMOD, TREMOVE oder aus frei zugänglichen Rechentools wie EcoTransIT World entnommen werden (Schmied & Knörr, 2013, S. 38f).

**Tabelle 2: Verbrauchsdaten der eingesetzten Lieferfahrzeuge**

| | **Einheit** | **LKW <7,5 t** | **LKW 7,5-12 t** | **LKW 12-24 t** | **Last-/Sattelzug 24-40 t** |
|---|---|---|---|---|---|

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **maximale Zuladung**[1] | **t** | 3,5 | 6 | 12 | 26 |
| **Verbrauch**[2] | **l/100 km** | 15,7 | 19,6 | 30,3 | 32,8 |
| **Umrechnungsfaktor $CO_2$-Äquivalente**[3] | **kg $CO_2$e/l** | 3,24 | | | |
| **spezifische Emissionen** | **kg $CO_2$e/km** | 0,50868 | 0,63504 | 0,98172 | 1,06272 |

Ein Liter Diesel verursacht demnach 3,24 kg $CO_2$-Äquivalente ($CO_2$e) im vorgeschriebenen Well-to-Wheel-Ansatz. Daraus ergeben sich bspw. für einen LKW <7,5 t Emissionen von 0,51 kg $CO_2$e pro Kilometer.

#### *3.2.2.2 Transportmittel der Kunden*

Da im stationären Handel die Ware vom Kunden in der Filiale und im Onlinehandel teilweise aus den Paketshops selbst abgeholt wird, ist es wichtig, auch diese Wege zu untersuchen. Für die Zurücklegung dieser Strecken verwenden die Kunden verschiedene Verkehrsmittel. Die Verbrauchswerte dieser Verkehrsmittel werden der DCTI-Studie „Klimafreundlich einkaufen“ (DCTI, 2015, S. 49) entnommen. Sie sind in Tabelle 3 angeführt.

| **spezifische Emissionen (kg CO2e/km)** | | | |
|---|---|---|---|
| **PKW** | **Fuß** | **Bahn (Nahverkehr)** | **Bus** |
| 0,1424 | 0 | 0,0786 | 0,0786 |

*Tabelle 3: Spezifische Emissionen der von den Kunden benutzten Transportmittel in Kilogramm $CO_2$e pro Kilometer*

| | spezifische Emissionen (kg CO2e/km) |
|---|---|
| PKW | 0,1424 |

[1] Schmied & Knörr, 2013, S. 45

[2] DCTI, 2015, S. 46

[3] Schmied & Knörr, 2013, S. 28

| | |
|---|---|
| Zu Fuß | 0 |
| ÖPNV (Öffentlicher Personennahverkehr) | 0,0786 |

### 3.2.3 Der Transportprozess

Im Folgenden werden die Begriffe *Lieferkette, Feederverkehr, HUB, Satelliten-Depot, Hub-and-Spoke-Netz, Vorlauf, Hauptlauf und Nachlauf* definiert, da diese grundlegend für das Verständnis des modellierten Logistikprozesses sind.

#### *3.2.3.1 Lieferketten*

Die Transportkette kann entweder eingliedrig oder mehrgliedrig sein. Bei einer eingliedrigen Transportkette sind die Liefer- und Empfangspunkte ohne Wechsel des Verkehrsmittels unmittelbar miteinander verbunden (Hertel et al., 2011, S. 194). Diese Transportkette wird daher auch als unimodaler Verkehr bezeichnet. Ungebrochener Verkehr oder Direktverkehr wird ohne Wechsel des Verkehrsmittels durchgeführt. Ungebrochene Verkehre sind somit unimodal (Posset, 2013).

Bei mehrgliedrigen Transportketten findet ein Wechsel der Transportmittel zwischen Liefer- und Empfangspunkt statt (Hertel et al., 2011, S. 194). Dabei kommt es zu einem Umschlagsprozess. Bei mehrgliedrigem unimodalen Verkehr erfolgt der Transport mit mehreren Verkehrsmitteln, jedoch auf demselben Verkehrsträger. Bei mehrgliedrigem multimodalen Verkehren werden auch mehrere Verkehrsträger verwendet (Posset, 2013).

#### *3.2.3.2 Netzwerkstruktur*

Die in dieser Arbeit untersuchten externen Lieferketten können als Netzwerkstruktur betrachtet werden, in denen die Knoten Orte darstellen, an denen Waren gelagert werden. Die Kanten zwischen diesen Knoten repräsentieren die Transportwege, über die Waren transportiert werden. Die Lieferketten werden als mehrstufiges Logistiksystem mit break-bulk points definiert. Das bedeutet, dass mindestens ein Knoten zwischen Liefer- und Empfangspunkt existiert. Die Waren werden also nicht direkt vom Zentrallager an den Kunden geliefert, sondern es finden zusätzliche Transport- und Lagerprozesse an den Unterbrechungspunkten statt (Hertel et al., 2011, S. 148f).

#### *3.2.3.3 Vorlauf, Hauptlauf, Nachlauf*

Beim Transportprozess wird zwischen Vorlauf, Hauptlauf und Nachlauf unterschieden. Für diese Arbeit wird das Modell des deutschen Clean Tech Institute (DCTI) herangezogen. Im Vorlauf werden die Güter vom Zentrallager des Unternehmens zur Hauptumschlagbasis (HUB) geliefert. Hauptlauf bezeichnet hier den Weg vom HUB zu regionalen Depots. Auf diesem Weg erfolgt der Transport von Sammelladungen. Nachlauf ist der Transport der

Waren von den Depots zu den Filialen des stationären Einzelhandels oder direkt zu den Kunden wie im Onlinehandel. Diese Darstellung differiert von Unternehmen zu Unternehmen. Zur Modellierung des Systems müssen allerdings Annahmen über die verschiedenen Transportwege getroffen werden (DCTI, 2015, S. 31).

#### *3.2.3.4 Hub-and-Spoke*

Bei der Gestaltung des Hauptlaufes können zwei verschiedene Netzmodelle unterschieden werden. Das Direktverkehrsnetz und das Hub-and-Spoke-Netz (Nabe-Speiche-Netz). Bei einem Direktverkehrsnetz ist jedes Depot mit jedem anderen Depot verbunden. Ein Hub-and-Spoke-Netz besteht hingegen aus einem oder mehreren Hubs und darum sternförmig angeordneten Depots. Beide Formen sind in reiner Form selten zu finden, oft sind Mischformen sinnvoll. So können zur besseren Fahrzeugauslastung bspw. Feeder-Hubs sinnvoll sein. Abbildung 3 zeigt links ein Direktverkehrsnetz (a) und rechts ein Single-Hub-and-Spoke-Netz (b).

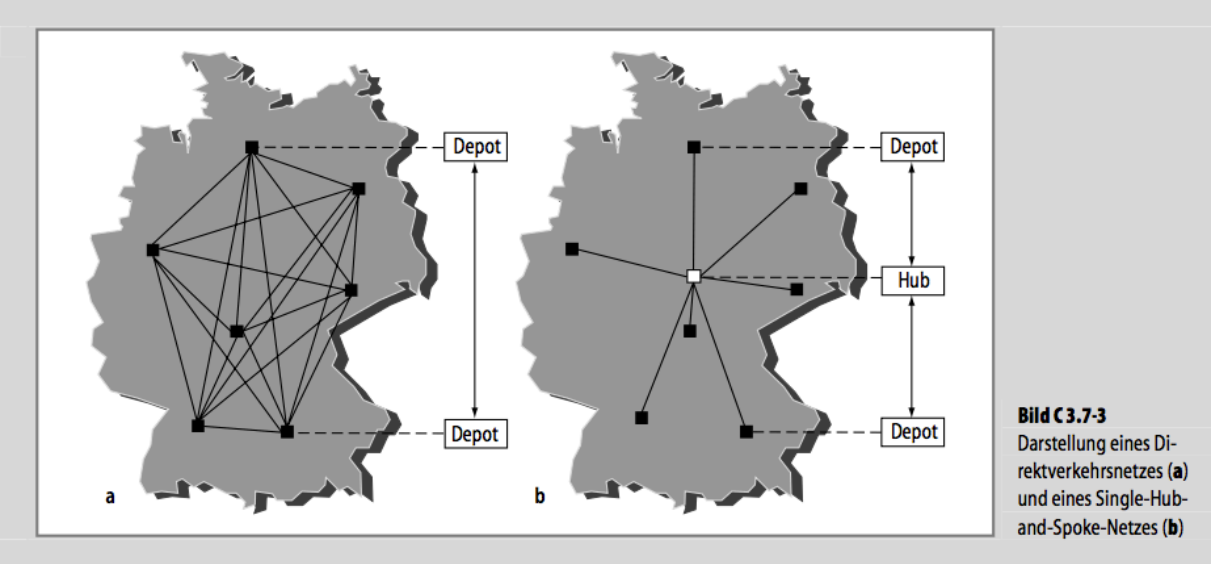


*Abbildung 3: Darstellung eines Direktverkehrsnetzes (a) und eines Single-Hub-and-Spoke-Netzes (b) (Arnold, 2008, S. 784).*

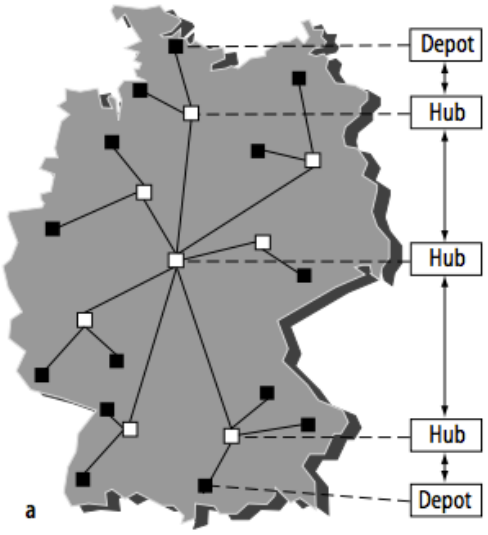


*Abbildung 4: Darstellung eines Feederhub-Transportnetzes (dreistufige Hubstruktur). (Arnold, 2008, S. 785).*

Abbildung 4 zeigt ein Feederhub-Transportnetz wie es in dieser Arbeit modelliert wird. In einem Feederhub-Transportnetz werden die Hubs vom Zentrallager versorgt. Von dort werden die Pakete weiter an Regionalhubs geliefert. Zwischen diesen und den Depots (Satelliten-Depots) besteht der Feederverkehr, dort werden die Touren für die einzelnen Zusteller zusammengestellt. Mit Feederverkehr werden hier Sammel- und Verteilverkehre bezeichnet. Die Bestimmung von Depotstandorten ist Teil der betrieblichen Standortplanung. Hierzu gehört die Festlegung der Einzugsgebiete der Depots, die Bestimmung von Frequenzen auf Relationen oder die Planung von Auslieferungstouren (Haase & Hoppe, 2008, S. 859).

#### *3.2.3.5 Hauptumschlagbasis (HUB), Konsolidierungs-, Auflösungspunkte*

HUBs können entweder Auflösungspunkte („break-bulk point“) oder Konzentrationspunkte („consolidation point“) sein. Im modellierten System gibt es Auflösungspunkte d.h. die Waren treffen an diesen Punkten (Lägern) in großen Mengen ein und werden in kleinere Lieferungen aufgespalten, die dann an die verschiedenen Empfangspunkte weitertransportiert werden. Es sind aber auch Konzentrationspunkte vorhanden, an welchen Bündelung von Waren in Form von Konsolidierung oder Sortimentierung stattfindet. Bei der Konsolidierung werden kleinere Mengen verschiedener Lieferpunkte zu größeren (homogenen) Lieferungen zusammengefasst. Hingegen werden bei der Sortimentierung verschiedene Waren verschiedener Lieferpunkte zu Sortimenten zusammengefasst. Es erfolgt also die Zusammenstellung heterogener Lieferungen für unterschiedliche Empfangspunkte (Hertel et al., 2011, S. 148f). Dieses Logistiknetzwerk bedingt unterschiedliche Fahrzeuge für die Transporte auf den Kanten und bedingt durch Sammlungs- und Auflösungsprozesse unterschiedliche Auslastungen.

In der Handelslogistik können Empfangspunkte sowohl der Handel als auch Konsumenten sein. Empfangspunkte im Handel selbst sind Läger des Handelsunternehmens wie Zentral-, Regional- oder Filiallager oder der Point-of-Sale, also die Filialen selbst. Konsumenten stellen, insbesondere im Onlinehandel, auch Empfangspunkte dar. Lieferpunkte in der Handelslogistik sind typischerweise die Standorte der Hersteller oder die Standorte zwischengeschalteter Logistikdienstleister (Toporowski 1996, S. 17 in Hertel et al., 2011, S. 149).

#### *3.2.3.6 Optimierung und Tourenplanung*

Für die Festlegung der Transportprozesse werden die Transportstrecken bestimmt. Hierfür werden Tourenplanungssysteme eingesetzt, die auf Optimierungsverfahren aufbauen und IT-gestützt ablaufen. Die Optimierung orientiert sich dabei nach verschiedenen Zielen wie Minimierung der Strecke, der Fahrzeit, der Kosten oder Maximierung der Auslastung der Fahrzeuge. Dabei sind viele Restriktionen zu beachten, wie etwa Öffnungszeiten der Filialen, vorgegebene Lieferfenster oder Transportkapazitäten. Beispielhafte Ausgangspunkte der Transportoptimierung sind in folgender Aufzählung angeführt.

- Koordination von Transporten (z.B. Hin- und Rückfahrten, Fahrten zwischen unterschiedlichen Lägern oder Filialen)
- Vermeidung von Leerfahrten
- Reduktion der Anzahl der Dienstleister
- Erhöhung der Fahrzeugauslastung
- Verringerung der Rampenkontakte oder der Konsolidierung von Lieferungen (Hertel et al., 2011, S. 197f).

Das Ziel der Optimierung ist also die Lösung des Zielkonfliktes zwischen der Minimierung der Transportkosten und der Maximierung des Lieferservice bzw. der Lager- und Umschlagsauslastung. Transportkosten sind tendenziell umso niedriger, je höher die Auslastung der eingesetzten Fahrzeuge ist. Ergänzend stellt auch die Reduktion von Transportfrequenzen ein Ziel dar. Dem entgegengesetzt stehen Ziele, welche die Transportkosten erhöhen wie etwa bedarfsgerechte Filialbelieferungen oder eine hohe Lieferfrequenz mit geringen Liefermengen (z.B. Frischware im Lebensmittelhandel). Zusätzlich stehen Läger(kapazitäten) im direkten Zusammenhang mit den Transportkosten. So können bspw. Filialläger oft nur kleine Liefermengen aufnehmen, da hohe Raumkosten in Innenstadtlagen nur geringe Lagerkapazitäten der Filialen erlauben. Dadurch werden häufigere Lieferungen nötig, im Extremfall eine „Just-in-time-Anlieferung“, was mit einer Erhöhung der Transportkosten verbunden ist (Hertel et al., 2011, S. 198).

#### *3.2.3.7 Beschreibung der untersuchten Lieferketten*

Der modellierte Logistikprozess in dieser Arbeit stützt sich auf die Studie „Klimafreundlich einkaufen“ des Deutschen Clean Tech Institute (DCTI 2015). Das DCTI konnte dafür auf

Daten des Versandhandels Otto Group zurückgreifen. Der Logistikdienstleister Hermes, eine Tochterfirma der Otto Group, stellte Daten seiner Transportprozesse zur Verfügung. Aufgrund dieser großen und detaillierten Datengrundlage wird auch in der Modellierung dieser Arbeit darauf zurückgegriffen.

#### *3.2.3.7.1 Lieferkette Onlinehandel*

Die Lieferkette des Onlinehandels bildet die Netzstruktur eines Versandhandels ab. Es wird das Beispiel der Otto Group mit ihrer Tochtergesellschaft Hermes untersucht. Die hier abgebildeten Logistikprozesse sind typisch für den Versandhandel und können somit für die Modellierung herangezogen werden.

Die Lieferkette besteht aus mehreren HUBs sowie Niederlassungen. Von den Niederlassungen bestehen Feeder-Verkehre, auf welchen die Sendungen zu den Satelliten-Depots verteilt werden.

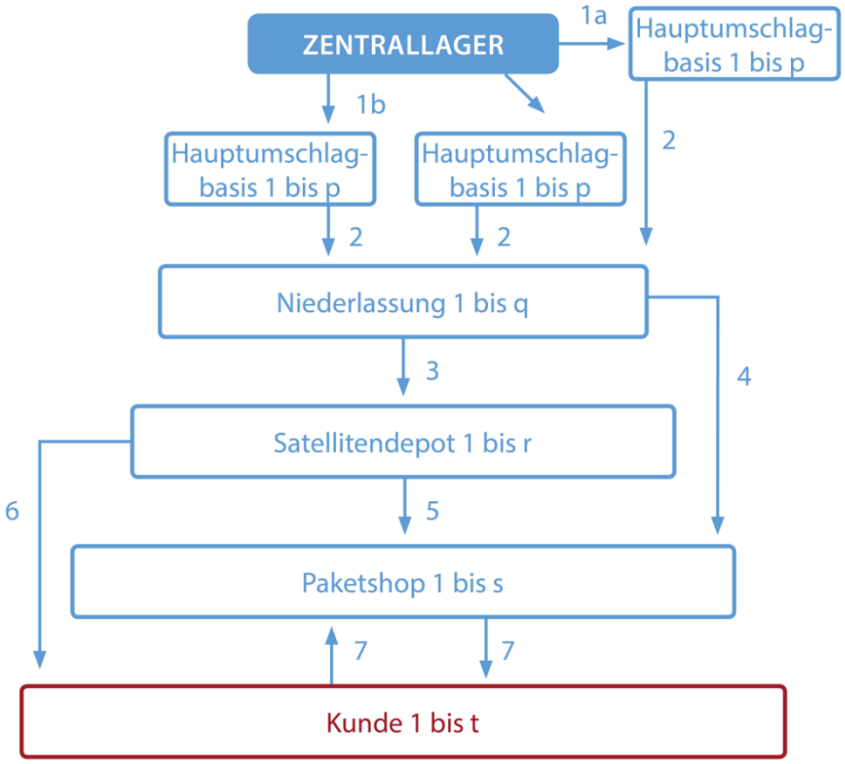


*Abbildung 5: Logistikprozess im Onlinehandel (verändert nach DCTI, 2015, S. 33)*

Abbildung 5 zeigt den Logistikprozess im Onlinehandel. Im Vorlauf werden die HUBs vom Zentrallager beliefert (Weg 1a und 1b). Ein HUB befindet sich auf dem Gelände des Zentrallagers, deshalb gibt es für Weg 1b keine Transportkilometer. Im Hauptlauf erfolgt der Transport von den HUBs zu den Niederlassungen des Logistikdienstleisters (Weg 2). Weg 3 beschreibt den Feederverkehr zwischen den Niederlassungen und den Satellitendepots. Dort

werden die Touren für die einzelnen Zusteller zusammengestellt. Zusätzlich findet hier die Verdichtung von Sendungen statt, d.h. Sendungen mehrerer Händler werden für eine Tour zusammengefasst.

Nach der Zusammenstellung beginnt die Lieferung auf der sogenannten „Letzten Meile“. Im Onlinehandel werden die Waren direkt an den Kunden geliefert (Weg 6) oder an Paketshops (Weg 5). Zu einem geringen Teil werden die Sendungen auch von den Niederlassungen direkt an die Paketshops geliefert (Weg 4). Weg 7 bezeichnet die Strecke, die der Kunde selbst zurücklegt, um die Ware vom Paketshop nach Hause zu transportieren.

Tabelle 4 zeigt die getroffenen Logistik-Annahmen in der Transportkette des Onlinehandels. Für die einzelnen Wege sind durchschnittliche Strecke, der Anteil der Sendungen, die über diese Strecke transportiert werden, die durchschnittliche Anzahl der Sendungen je Fahrt, das durchschnittliche Gewicht je Fahrt, sowie Werte des verwendeten Verkehrsmittels angegeben. Diese Daten bilden die Grundlage für die Berechnungen in dieser Arbeit.

*Tabelle 4: Logistik-Annahmen im Onlinehandel. Eigene Darstellung nach DCTI 2015, S.70.*

| **Wege** | **Strecke** | **Anteil d. Sendungen** | **Anzahl der Sendungen** | **Gewicht je Fahrt** | **Verkehrs mittel** | **Verbrauchs wert** | **$CO_2$e-Faktor** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | km | Prozent | Anzahl | t | | l/100 km | kg $CO_2$e/l |
| **1a** | 302 | 33 | 1950 | 11,7 | LKW 24-40 t | 32,8 | 3,24 |
| **1b** | 0 | 67 | 0 | 0 | – | – | |
| **2** | 372 | 100 | 1919 | 11,514 | LKW 24-40 t | 32,8 | |
| **3** | 77 | 95 | 1000 | 6 | LKW 7,5-12 t | 19,6 | |
| **4** | 161 | 5 | 417 | 2,502 | LKW <7,5 t | 15,7 | |
| **5** | 136 | 5 | 511 | 3,066 | LKW <7,5 t | 15,7 | |
| **6** | 94 | 90 | 97,4 | 0,5844 | LKW <7,5 t | 15,7 | |

#### *3.2.3.7.2 Lieferkette Stationärer Handel*

Die Lieferkette des stationären Handels ist ein Hub-and-Spoke-Netz (Speichen-Naben-Prinzip). Haase und Hoppe (2008, S. 858) zufolge sind reine Hub-and-Spoke-Strukturen in der Realität allerdings selten zu finden, da sie wie in diesem Modell beim Paketversand Feeder-HUBs beinhalten. Deshalb wird beim stationären Einzelhandel eine Variante definiert, die ein Hub-and-Spoke-Netz mit mehreren HUBs enthält.

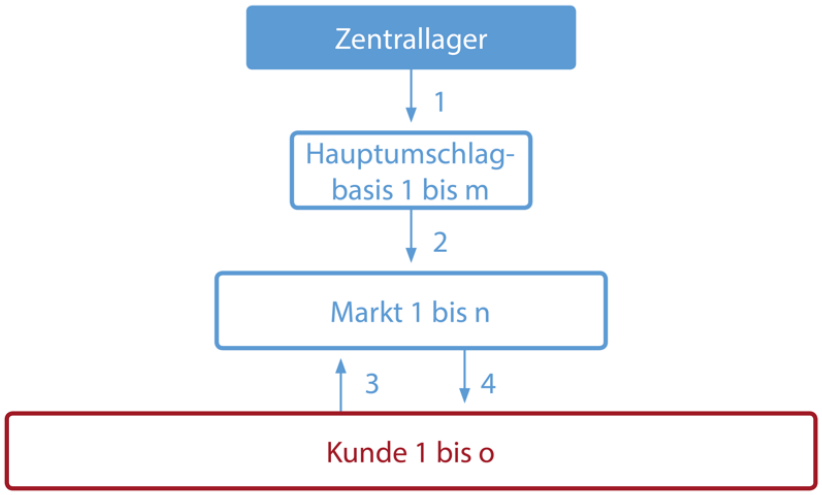


*Abbildung 6: Logistikprozess im stationären Einzelhandel (verändert nach DCTI, 2015, S. 36)*

Abbildung 6 zeigt die Lieferkette des stationären Handels. Auf Weg 1 werden die Waren vom Zentrallager zu den HUBs 1 bis n transportiert. In den HUBs wird die Ware umgeschlagen und danach im Hauptlauf an die einzelnen Märkte (Filialen) geliefert (Weg 2). Dafür wird angenommen, dass dieser Weg von den meisten Handelsunternehmen an externe Dienstleister wie DHL, Logwin oder Kühne & Nagel ausgelagert wird. Weg 3 und 4 werden von den Kunden selbst zurückgelegt, da es sich beim stationären Handel um Holkäufe handelt. Somit entfällt die Lieferung an die Kunden, die „Letzte Meile“ im Onlinehandel.

*Tabelle 5: Logistik-Annahmen im stationären Handel. Eigene Darstellung nach DCTI 2015, S.76*

| **Wege** | **Strecke** | **Anteil d. Sendungen** | **Anzahl d. Send** | **Gewicht je Fahrt** | **Verkehrs-mittel** | **Verbrauchs-wert** | **$CO_2$e-Faktor** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | km | Prozent | Anzahl | t | | l/100 km | kg $CO_2$e/l |
| **1** | 237 | 100 | 4075 | 11,25 | LKW 24-40 t | 32,8 | 3,24 |
| **2** | 126 | 100 | 2701,5 | 7,5 | LKW 24-40 t | 32,8 | |

Tabelle 5 zeigt die getroffenen Logistik-Annahmen im Modell des stationären Handels. Zu den einzelnen Wegen sind durchschnittliche Strecke, der Anteil der Sendungen, die über diese Strecke transportiert werden, das durchschnittliche Gewicht je Fahrt und Daten zu den verwendeten Verkehrsmitteln angegeben.

Da im stationären Handel Holkäufe stattfinden, wird Weg 3 von den Kunden selbst zurückgelegt. Die dabei zurückgelegte Strecke und das verwendete Verkehrsmittel sind abhängig vom jeweiligen Kundentyp.

#### *3.2.3.7.3 Lieferkette der Mischform Click & Collect*

Click & Collect ist eine Mischform von Onlinehandel und stationärem Handel. Waren werden dabei wie im Onlinehandel bestellt, die Lieferung erfolgt allerdings in eine Filiale des stationären Handels.

Laut der Studie „Versand- und Retourenmanagement im E-Commerce 2016“ des EHI Retail Institut findet die Kommissionierung der Waren für den Click & Collect-Handel meistens in denselben Verteilzentren statt wie für den stationären Handel. Gründe dafür sind Synergieeffekte, Effektivität, Effizienz und Kostenvorteile. Es wird also ein gesamter Bestand für alle Vertriebskanäle genutzt (EHI Retail Institute, 2016, S. 9).

Aufgrund dieser Vertriebsstruktur wird die gleiche Lieferkette wie im stationären Handel angenommen. Wie in Kapitel 2.2.3.2.2 ersichtlich, werden dafür drei Wege zurückgelegt. Weg 3 beschreibt dabei die „Last Mile“, also den Weg des Kunden zur Filiale um die zuvor online bestellte Ware abzuholen. Im Bereich der Retouren gibt es Unterschiede zum stationären Handel, siehe dazu Kapitel 1.2.4.

#### *3.2.3.7.4 Lieferkette Retouren*

Der Retourenweg ist in der Regel analog zum Distributionsweg mit rückwärtsgerichtetem Warenfluss (Hertel et al., 2011, S. 160). Je nach Vertriebsweg fallen jedoch verschiedene Wege an.

Im Onlinehandel wird angenommen, dass die retournierte Ware wieder von einem KEP-Dienst abgeholt wird und analog zum Hinweg zum Zentrallager des Händlers gebracht wird. Im Modell löst also eine Retoure einen Weg in umgekehrter Reihenfolge aus.

Im stationären Handel muss die Ware im Fall von Sachmängeln zurückgenommen werden, da hier Garantie- oder Gewährleistungsansprüche geltend gemacht werden können. Anders als im Onlinehandel gibt es jedoch keine Rücknahmeverpflichtung aus den Gründen „Nicht-Gefallen“ und „Auswahlbestellung“. Dennoch nehmen viele Händler aus Kulanzgründen gekaufte Ware zurück. Aus diesen Gründen wird im Modell die Retourenquote mit 1,9 Prozent antizipiert. Werden im stationären Handel Waren retourniert, so löst dies drei Wege im Logistiksystem aus. Der Kunde bringt die Ware zur Filiale des stationären Einzelhandels,

von wo sie über eine Hauptumschlagbasis in das Zentrallager des Händlers zurückgebracht wird. Es entstehen also drei Wege um eine Ware zu retournieren.

Der Click & Collect-Handel unterscheidet sich von Onlinehandel und stationärem Handel dadurch, dass die Ware online bestellt wird und in einer Filiale des stationären Handels abgeholt wird. Dadurch, dass die Abholung in einer Filiale erfolgt, kann die Ware begutachtet und im Falle von Kleidung anprobiert werden. Gefällt die Ware nicht oder hat andere Mängel, kann sie sofort retourniert werden. Somit werden Weg- und Zeitkosten gespart. Kunden müssen nicht auf die Abholung der Ware von zuhause warten oder zu einer Filiale des KEP-Dienstleisters fahren oder gehen wie bei Retouren im Onlinehandel. Im Vergleich zum stationären Handel muss für eine Retoure nicht der Weg zur Filiale zurückgelegt werden. Es entfällt also ein Weg.

Im nächsten Kapitel wird die Methode System Dynamics besprochen und die Gründe für die Wahl dieser Methode erläutert.

# 4 System Dynamics

Einige wissenschaftliche Untersuchungen haben die Emissionen des Onlinehandels erforscht und auch Vergleiche mit dem stationären Handel wurden angestellt, wie beispielsweise von Edwards et al (2010), Wiese et al. (2012) und Mangiaracina et al. (2016). Dabei wurde jedoch immer eine statische Situation betrachtet. Durch das Wachstum des Onlinehandels und die Verlagerung von Einkäufen hin zu diesem Vertriebsweg sind jedoch auch dynamische Effekte beobachtbar. Ein dynamischer Effekt in diesem System ist der Strukturwandel. Dieser beschreibt das Schließen von Filialen aufgrund rückgängiger Einkäufe im stationären Handel, was zu größeren Transportentfernungen und dadurch zu mehr Emissionen führt. Diese Entwicklungen können mit einfachen Berechnungen nicht erklärt werden. Deshalb wird für diese Arbeit die systemdynamische Modellierung herangezogen. Diese Methode, englisch „System Dynamics" liefert Antworten und Einblicke in dynamische Entwicklungen in komplexen Systemen. Sie beschreibt Entwicklungen im Zeitverlauf und hilft so Probleme von in ihrer Entwicklung zu verstehen.

## 4.1 Was ist System Dynamics?

Nach Aschauer (2013, S. 77) ist System Dynamics „ein ganzheitlicher, interdisziplinärer Ansatz zur Untersuchung dynamischer Systeme und komplexer Problemstellungen". Kritisches Systemdenken wurde entwickelt um komplexe, gesellschaftliche Probleme zu analysieren und zu lösen. Frühe Ansätze in der Systemanalyse wie Operational Research oder System Analysis waren geeignet, um genau definierte Probleme zu lösen, waren jedoch Personen mit verschiedenen Meinungen involviert, hatten diese Modelle Schwierigkeiten. Diese Methoden werden als „harte Modellierungsansätze" bezeichnet. Die Wissenschaft reagierte darauf mit Methoden wie System Dynamics und Organisational Cybernetics, welche imstande sind, Subjektivität in Modelle zu integrieren (Jackson, 2001, S. 233). System Dynamics kann also als weicher Modellierungsansatz zur Analyse von Systemen bezeichnet werden. Das rührt daher, dass komplexe Systeme und gesellschaftliche Werte oft nicht quantifizierbar sind. Daher wurden Problemstrukturierungsmethoden, auch als weiche Methoden (soft operational research methods) bezeichnet, entwickelt. Diese kommen zum Einsatz, wenn ein hohes Level an Unsicherheit und viele verschieden Akteure und Meinungen vorliegen (White & Lee, 2009, S. 687). System Dynamics ist eine dieser Methoden. System Dynamics kann in eine qualitative und eine quantitative Modellierungsphase unterteilt werden. In der quantitativen Phase wird der Fokus des Modells festgelegt und die Modellvariablen identifiziert. Dann werden diese durch ihre Wirkungszusammenhänge verbunden und somit Rückkopplungsschleifen (feedback loops) gebildet. Darauf folgt die quantitative Modellierungsphase. Diese stützt sich auf das in der qualitativen Phase erstellte Wirkungsmodell, genannt kausales Schleifendiagramm oder Causal Loop Diagram. Dieses wird nun mit mathematischen Zusammenhängen hinterlegt

und somit das Stock & Flow-Diagramm entwickelt. Dieses besteht aus Beständen (stock) und Flüssen (flow). Dieses Modell kann nun mit Computerunterstützung über die Zeit modelliert werden. Das Ziel dieses Prozesses ist es, ein tiefergreifendes Systemverständnis zu gewinnen und so das Verhalten des Systems auf Entscheidungen zu verstehen. System Dynamics hilft das Lernen innerhalb komplexer Systeme zu verbessern. Die Methode kombiniert dabei mathematische Modelle mit der Modellierung nichtlinearer Dynamiken und Rückkopplungsmechanismen. Sie kann auf komplexe soziale, aber auch technische Systeme angewendet werden (Aschauer, 2013, S. 77).

### 4.1.1 System und Systemelemente

Nach Donnella Meadows ist ein System eine Menge von miteinander verknüpften Einzelteilen, deren Zusammenspiel etwas Bestimmtes erreicht. Demnach muss ein System aus drei Teilen bestehen: den Systemelementen, Verknüpfungen und einem Zweck. Systeme können sich verändern, anpassen, auf Ereignisse reagieren, Ziele anstreben oder sich selbst regulieren (Meadows, 2010, S. 26f).

Die Struktur eines Systems ist ausschlaggebend für ihr Verhalten. Das Systemverhalten äußert sich als eine Abfolge von Ereignissen im Zeitverlauf (Meadows, 2010, S. 218). Die Systemstruktur besteht aus Rückkopplungsschleifen, Beständen & Flüssen und Verzögerungen (Aschauer, 2013, S. 77). Es gibt eine große Anzahl von Rückkopplungsstrukturen, daraus ergibt sich jedoch nur eine kleine Anzahl von Verhaltensmustern (Sterman, 2009, S. 108). Verhaltensmuster werden auch als Systemarchetypen bezeichnet, diese werden in Kapitel 4.1.4 genauer erklärt.

### 4.1.2 Rückkopplungsschleifen und Verzögerungen

Im Systemdenken erzählt jedes Bild eine Geschichte. Von jedem Element in einem System kann man Pfeile zu anderen Elementen ziehen, welchen den Einfluss auf das andere Element zeigen. Diese Pfeile ergeben Kreise, die sich wiederholen und die Situation verbessern oder verschlimmern. Diese Kreise werden als Kausalitätskreise oder Rückkopplungsschleifen bezeichnet. Jedes Element darin ist sowohl Ursache als auch Wirkung, da es von anderen Elementen beeinflusst wird und selbst andere beeinflusst (Senge et al., 1996, S. 130). Donella Meadows definiert eine Rückkopplungsschleife so: „Eine Rückkopplungsschleife ist eine geschlossene Kette kausaler Verbindungen, die von einem Bestand ausgehen und über eine Anzahl von bestandsabhängigen Entscheidungen, Regeln, physikalischen Gesetzen oder Eingriffen über eine Flussgröße wieder auf den Bestand zurückwirken“ (Meadows, 2010, S. 218).

Es gibt zwei Arten von Schleifen, verstärkende oder ausgleichende (balancierende) Schleifen. Verstärkungsschleifen erzeugen exponentielles Wachstum oder exponentiellen Zusammenbruch, wobei sich das Wachstum oder der Zusammenbruch immer stärker beschleunigt. Bei allen Verstärkungsprozessen baut eine kleine Veränderung auf sich selbst

auf. Hohe Geburtenraten führen zu höheren Geburtenraten, industrielles Wachstum erzeugt noch mehr Wachstum. Hier gerät das lineare Denken an seine Grenzen (Senge et al., 1996, S. 131f). „Selbstverstärkende Rückkopplungsschleifen führen zu beschleunigtem Anwachsen eines Bestandes mit der Zeit (exponentielles Wachstum) und schließlich zum Zusammenbruch, wenn physische Grenzen erreicht werden“ (Meadows, 2010, S. 219). Verstärkungsschleifen können eine beliebige Anzahl an Elementen enthalten, die sich in ihrem Wachstum gegenseitig antreiben. Eine Verstärkungsschleife ist per Definition unvollständig. Es gibt immer einen kompensatorischen Mechanismus, der die Entwicklung begrenzt. Diese Mechanismen nennt man Gleichgewichtsschleifen oder balancierende Schleifen (Senge et al., 1996, S. 134f). Es sind dämpfende oder zielsuchende Strukturen in Systemen, welche sowohl Stabilität als auch Widerstand gegen Veränderungen erzeugen (Meadows, 2010, S. 218). Sie erzeugen die Widerstandskräfte, die das Wachstum begrenzen. Sie bewahren die Stabilität und lösen so auch Probleme. Durch sie verlässt das System die Grenzen seines „normalen“ Wirkungsbereiches nicht zu weit. Diese Schleifen finden sich häufig in Situationen, die sich selbst zu korrigieren oder zu regulieren scheinen. Gleichgewichtsprozesse sind immer an ein Ziel gebunden, an Vorgaben, die häufig implizit von den Kräften des Systems gesetzt werden (Senge et al., 1996, S. 134f).

Verzögerungen (delays) treten bei verstärkenden und bei balancierenden Kreisläufen häufig auf. Damit bezeichnet man Stellen, an denen das Verbindungsglied besonders lange braucht, um sich auszuwirken. Verzögerungen können ein System enorm beeinflussen und verstärken häufig die Wirkung anderer Kräfte. Eine Erklärung dafür liefert Peter Senge (1996, S. 137). Ihm zufolge sind Verzögerungen subtil, sie werden für selbstverständlich gehalten, häufig gänzlich ignoriert und regelmäßig unterschätzt. Damit können sie enttäuschen, weil Wachstum nicht so schnell eintritt wie erwartet, aber auch zu dramatischen Verhaltensänderungen des Systems führen. Wenn Verzögerungen nicht erkannt werden, führt dies zu Überreaktionen, die zu einer Schwingung des Systems führen. Dadurch kommt es zur Verschwendung von Energien. Die Aufhebung von Verzögerungen ist eine wichtige Methode um Zykluszeiten zu beschleunigen (Senge et al., 1996, S. 137f).

### 4.1.3 Bestände & Flüsse

Ein Bestand ist der Grundstock eines Systems. Bestände können jederzeit gesehen, gezählt oder gemessen werden. Ein Bestand ist ein Vorrat, eine Menge, eine Anhäufung von Material oder Information, die sich über die Zeit angehäuft hat. Das können Bäume in einem Wald, eine Bevölkerung, Wasser in einer Badewanne oder Geld auf einem Konto sein. Ein Bestand muss nicht materiell sein. Bestände ändern sich zeitabhängig durch Zu- und Abflüsse. Diese werden in der Systemdynamik „Flüsse“ oder Flussgrößen“ genannt. Das sind Änderungsraten wie beispielsweise Geburten oder Sterbefälle, Produktion und Konsum oder Einzahlungen und Abbuchungen (Meadows, 2010, S. 33f).

Donella Meadows (2010, S. 34) definiert den aktuellen Zustand eines Bestands als „die gegenwärtige Erinnerung an die Geschichte wechselnder Flüsse im System“. Abbildung 7 zeigt die Darstellung von Beständen und Flüssen in der Modellierungssoftware STELLA.

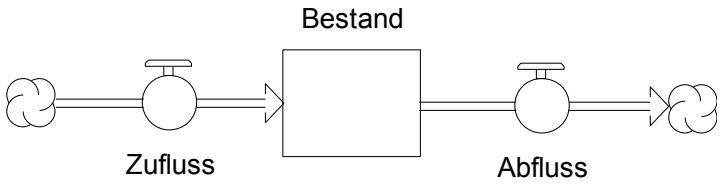


*Abbildung 7: Darstellung von Bestand und Fluss in STELLA. Eigene Darstellung.*

### 4.1.4 Archetypen

Das Wort Archetyp kommt vom griechischen *archetypos,* was „erstes seiner Art“ bedeutet (Senge et al., 1996, S. 139). In der Systemdynamik werden damit verbreitete Systemstrukturen, die typische Verhaltensmuster erzeugen, bezeichnet (Meadows, 2010, S. 216). Archetypen beschreiben häufig auftretende Verhaltensmuster in Organisationen. Als Diagnosewerkzeug helfen sie die Strukturen zu verstehen, aus denen bestimmtes Verhalten und Ereignisse entstehen. Als Vorhersagewerkzeug zeigen sie unbeabsichtigte Folgen des Verhaltens in der Zukunft auf, da sie Zeit zu einer wichtigen Variable im Entscheidungsprozess machen (Braun, 2002, S. 1). Die Systemarchetypen wurden Mitte der achtziger Jahre entwickelt. Man versuchte die Konzepte dieser Disziplin in vereinfachter Form zu vermitteln. Jennifer Kemeny entwickelte (gemeinsam mit Michael Goodman und Peter Senge, zum Teil ausgehend von Merkmalen, die John Sterman beschrieben hatte) acht Diagramme zur Klassifikation der häufigsten Verhaltensformen. Einige Archetypen waren Übertragungen „generischer Strukturen“, die Jay Forrester und andere Pioniere des Systemdenkens in den sechziger und siebziger Jahren beschrieben hatten. Dazu zählen etwa die Archetypen „Grenzen des Wachstums“ und „Problemverschiebung“ (Senge et al., 1996, S. 139).

Donella Meadows sieht Archetypen als „durch problematische Verhaltensmuster charakterisierte Systemstrukturen“ (Meadows, 2010, S. 134). Dazu zählen beispielsweise die Archetypen „Suchtverhalten“, „Leistungsschwund“ und „Eskalation“. Diese Systemstrukturen sind weit verbreitet. Laut Meadows reicht es nicht die archetypischen Strukturen zu verstehen, sondern sie müssen verändert werden. Die Schuld an den durch sie ausgelösten Zerstörungen wird oft einzelnen Akteuren oder Ereignissen gegeben, obwohl sie eine Folge der Systemstruktur sind. Meadows nennt diese Archetypen daher „Systemfallen“. Man kann diesen entkommen, indem man sie im Voraus erkennt oder indem man die Struktur verändert. Das kann dadurch geschehen, dass man Ziele verändert, Rückkopplungsschleifen abschwächt, verstärkt, abändert oder indem man neue Schleifen

einführt. Dadurch können diese Archetypen nicht nur Fallen, sondern auch Chancen sein (Meadows, 2010, S. 134f).

Abbildung 8 zeigt die häufigsten Systemarchetypen. Im Folgenden werden diese ausführlicher erklärt.

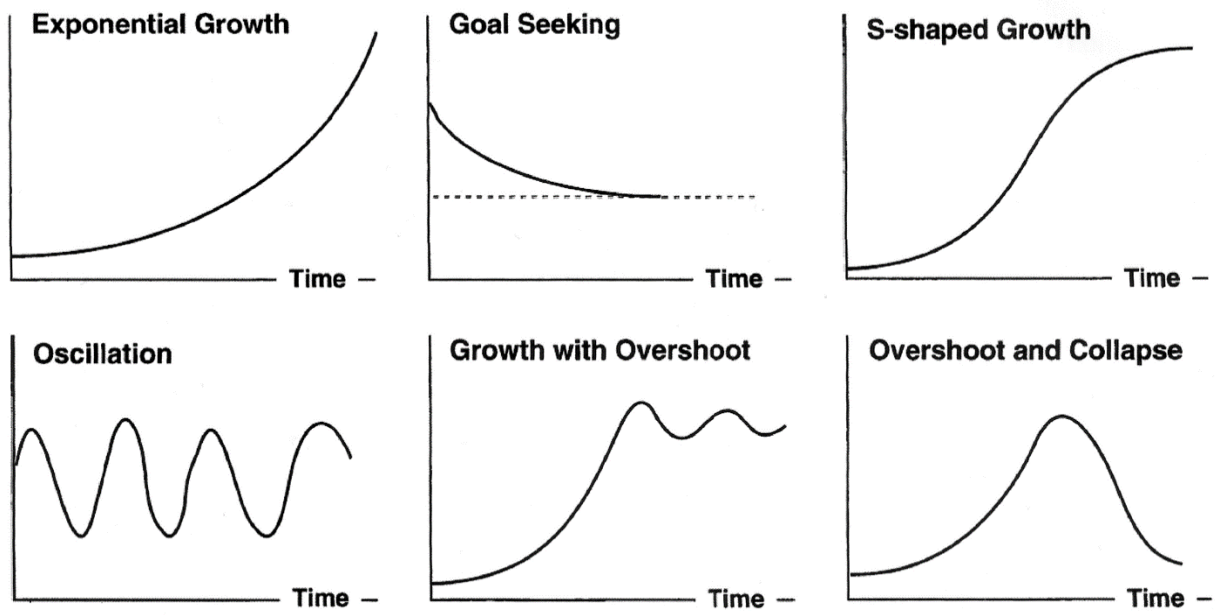


*Abbildung 8: Systemarchetypen dynamischer Systeme. Quelle: Sterman, 2009, S. 108)*

Exponentielles Wachstum (Exponential Growth) resultiert aus verstärkenden Rückkopplungsschleifen. Je größer die Menge, desto größer ist auch ihre Wachstumsrate, was sich wieder in einer größeren Menge ausdrückt. Bekannte Beispiele dafür sind die Entwicklung einer Population oder das Wachstum eines verzinsten Bankkontos. Rein exponentielles Wachstum hat die bemerkenswerte Eigenschaft, dass die Verdopplungszeit konstant ist. Der Bestand verdoppelt sich in einer bestimmten Zeitdauer, egal wie groß der Bestand ist (Sterman, 2009, S. 108).

Zielsuchendes Verhalten (Goal Seeking) ist eine Folge von balancierenden (negativen) Rückkopplungen im System. Diese Kreisläufe sind stabilisierend oder zielsuchend. Sie versuchen den Zustand auf einem gegebenen Wert zu halten. Balancierende bewirken damit sowohl Stabilität als auch Widerstand gegen Veränderungen. Wächst ein Bestand zu stark an, versucht die balancierende Schleife, ihn zu bremsen (Meadows, 2010, S. 45).

Oszillation (Oscillation) ist das dritte fundamentale Verhaltensmuster in dynamischen Systemen. So wie das zielsuchende Verhalten wird es von negativen Rückkopplungsschleifen ausgelöst. Der aktuelle Zustand eines Systems wird mit seinem Ziel verglichen. In einem oszillierenden System ist der Zustand des Systems immer größer oder kleiner als das Ziel oder das Gleichgewicht. Dieses Verhalten resultiert aus Verzögerungen, die bewirken, dass die korrigierenden Aktionen auch noch ausgeführt werden, wenn das

System schon im Gleichgewicht ist. Zugrunde liegt diesem Verhalten eine negative Rückkopplungsschleife mit Verzögerungen (Meadows, 2010, S. 114).

Aufgrund dieser drei grundlegenden Verhaltensmuster kann man auf die Systemstruktur schließen. Man sieht ob das Systemverhalten von positiven oder negativen Rückkopplungsschleifen bestimmt wird. Die folgenden Verhaltensmuster entstehen aus komplexeren, nichtlinearen Systemstrukturen (Aschauer, 2013, S. 78). Komplexe Verhaltensweisen wie die folgenden ergeben sich wenn sich die relativen Stärken von Rückkopplungen verändern und so zunächst eine, dann die andere Rückkopplungsschleife das Systemverhalten bestimmt (Meadows, 2010, S. 62).

S-förmiges Wachstum (S-shaped Growth) ist ein Verhaltensmuster, das durch eine verstärkende Rückkopplungsschleife gekoppelt mit einer balancierenden Rückkopplungsschleife, ausgelöst wird. Dieses Systemverhalten ist häufig beobachtbar. Zuerst gibt es exponentielles Wachstum, das sich anschließend verlangsamt bis der Zustand des Systems auf einem Gleichgewichtsniveau bleibt. Das Wachstum wird von der carrying capacity begrenzt. Diese gibt an wie viele Individuen das Habitat mit den vorhandenen Ressourcen erhalten kann (Sterman, 2009, S. 118f).

S-förmiges Wachstum mit Überschreitungen (S-shaped Growth with overshoot) tritt auf, wenn es zu Verzögerungen in der balancierenden Rückkopplungsschleife kommt. Diese Verzögerungen führen dazu, dass das System die carrying capacity übertrifft und um diese schwingt (Sterman, 2009, S. 122).

Überschreitungen und Kollaps (Overshoot and Collapse) tritt auf wenn die carrying capacity nicht stabil ist wie im Fall von S-förmigem Wachstum. Dort wird angenommen, dass die Ressourcenbasis nicht verbraucht werden kann. In der Realität ist das jedoch der Fall, etwa wenn Rehe die Vegetation in einem Wald so sehr schädigen, dass diese nicht mehr nachwächst. Dadurch schwindet die Ressourcenbasis und es kommt durch Hunger zu einem Schrumpfen der Population. Beispiele für dieses Systemverhalten sind die Überfischung einzelner Meeresgebiete oder die Geschichte der Bevölkerung der Osterinsel (Sterman, 2009, S. 123ff)

### 4.1.5 Grenzen des Wachstums - Limits to Growth Archetyp

Der Archetyp Grenzen des Wachstums (engl. Limits to Growth oder Limits to Success) wurde formell von Peter Senge in seinem Buch „Die Fünfte Disziplin: Kunst und Praxis der lernenden Organisation“ (1990) beschrieben. Erwähnung fand der Archetyp allerdings schon 1971 im Buch „World Dynamics“ von Jay Forrester (Forrester, 1971) und in der weltberühmten Studie „Die Grenzen des Wachstums“ 1972 von Donella und Dennis Meadows, Erich Zahn und Peter Milling. Das kausale Schleifendiagramm des Archetyps ist in Abbildung 9 zu sehen.

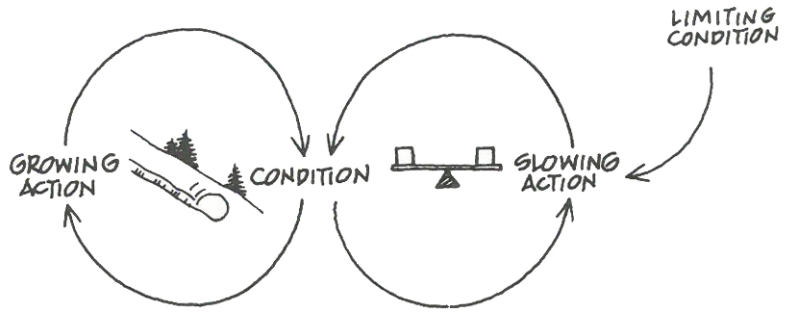


*Abbildung 9: Archetyp Limits to Growth. Quelle: (Senge, 2006, S. 390).*

In der realen Welt gibt es kein unbegrenztes Wachstum. In allen Lebensbereichen gibt es Wachstums- und Begrenzungsmuster. Manchmal dominiert das Wachstum, manchmal dominieren die Grenzen und häufig wechselt der Einfluss der beiden (Senge et al., 1996, S. 150). Klassische Beispiele für diesen Archetyp sind das limitierte Wachstum einer Firma bis der Markt gesättigt ist, das Überschießen und Kollabieren der Bevölkerung auf den Osterinseln oder das Überfischen der Weltmeere (isee Systems, 2016).

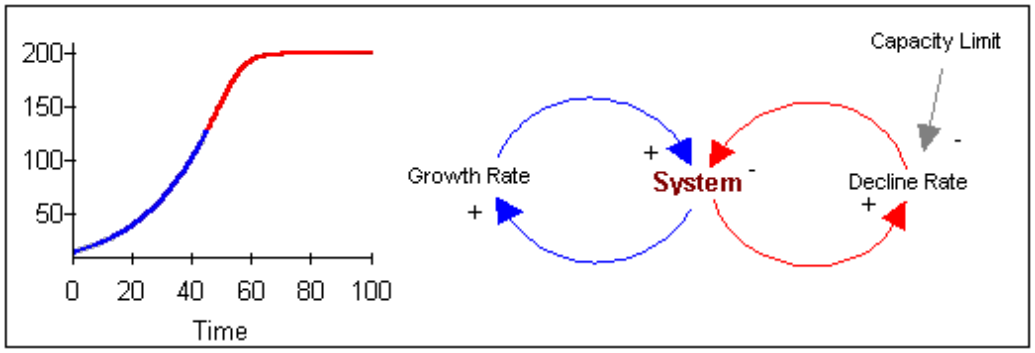


*Abbildung 10: S-förmiges Wachstum. Verhaltensmuster und Struktur (System Dynamics Society, o. J.)*

Wie in Abbildung 10 ersichtlich, besteht der Archetyp aus einer verstärkenden Rückkopplungsschleife (reinforcing loop) und einer balancierenden Rückkopplungsschleife (balancing loop). Der Prozess der ersten Schleife ist ein Wachstumsprozess. Die zweite, balancierende, Schleife reagiert auf ein Ungleichgewicht, das durch den Wachstumsprozess ausgelöst wird. Die Verlangsamung des Wachstums entsteht durch den balancierenden

Prozess, sobald das Wachstum eine Grenze erreicht. Die Grenze kann ein Ressourcenlimit oder eine externe oder interne Reaktion auf das Wachstum sein (Senge, 2006, S. 390f). Diese Grenze ist jedoch schwer zu erkennen, weil sie so weit vom Wachstumsprozess entfernt ist (Senge et al., 1996, S. 150).

Die zeitliche Entwicklung zeigt, wie sich das Gleichgewicht zwischen den Systemelementen im Lauf der Zeit verändert. Zu Beginn gibt es starkes Wachstum und plötzlich flacht das Wachstum ab. Eine mögliche Reaktion darauf ist, dieselben Anstrengungen die zu dem Wachstum geführt haben, zu steigern. Je mehr Anstrengungen erfolgen, desto mehr Gegenkräfte scheint das System zu entwickeln. Es gibt eine Grenze, die weiteres Wachstum verhindert (Senge et al., 1996, S. 151). Wie bereits erwähnt, gibt es in der realen Welt kein unendliches Wachstum. Die Form der Kurve ähnelt einem langgestreckten „S“. Als Erklärung für dieses Verhalten dient das Konzept der „carrying capacity“ oder „ökologische Tragfähigkeit“. Die carrying capacity gibt an wie viele Individuen einer Art ein Habitat bevölkern kann. Sie wird von der Ressourcenverfügbarkeit bestimmt. Nähert sich nun das Wachstum der maximalen Kapazität, so nehmen die verfügbaren Ressourcen pro Kopf ab und das Wachstum verlangsamt sich. Schlussendlich sind gerade genug Ressourcen verfügbar um den Bestand stabil zu halten. Im Beispiel einer Population ist die Anzahl der Geburten und der Tode gleich hoch womit die Zahl der Individuen konstant bleibt. Analog zu diesem Beispiel können Unternehmen gesehen werden. Ihr Wachstum ist von einem Markt, einer Gesellschaft und den physikalischen Grenzen begrenzt, wodurch es kein unendliches Wachstum gibt (Sterman, 2009, S. 118f). Nähert sich das System nun seinen Grenzen des Wachstums, so kommt es zu einem nichtlinearen Übergang von der Dominanz der verstärkenden Rückkopplung zur Dominanz der balancierenden Rückkopplung. Das Ergebnis davon ist ein weicher Übergang von exponentiellem Wachstum zum Gleichgewichtszustand, was eine S-förmige Entwicklung ergibt (Sterman, 2009, S. 285). In Abbildung 12 ist dieser Übergang am Wechsel von Blau (verstärkende Rückkopplung) zu Rot (balancierende Rückkopplung) sichtbar. Dominiert nun die balancierende Rückkopplung, so kommt es zu einer asymptotischen Annäherung an den Gleichgewichtszustand (System Dynamics Society, o. J.). Der Punkt, an dem die Dominanz wechselt, ist der Wendepunkt der Kurve. An diesem Punkt wechselt das System von Beschleunigung zu Verlangsamung (Sterman, 2009, S. 121).

Nachdem nun die Grundlagen und theoretischen Anwendungen von System Dynamics erläutert wurden, wird die Methode auf die Forschungsfrage dieser Arbeit angewendet.

## 4.2 Modell zur Analyse von Emissionen im Onlinehandel

Ein Ziel dieser Arbeit ist, zu erforschen ob ein Einkauf im stationären Handel oder im Onlinehandel mehr Emissionen verursacht. Diese Frage ist in Forschung, Wirtschaft und der Gesellschaft von großem Interesse. Das Modell soll einen Beitrag zur Klärung dieser Frage

liefern. In diesem Abschnitt wird gezeigt wie die Transportketten der verschiedenen Vertriebstypen modelliert werden und so die Emissionen pro Einkauf berechnet werden. Dafür wird die Transportkette der Vertriebstypen Onlinehandel und stationärer Handel untersucht und mithilfe System Dynamics modelliert. Dafür wird die Lieferkette vom Zentrallager bis zum Zielort (Haushalt der Kunden) betrachtet. So können die Vertriebstypen gegenübergestellt werden und Aussagen über ihre Klimawirkung getroffen werden. Die Lieferketten des Onlinehandels und des stationären Handels sind in Abbildung 11 und Abbildung 12 ersichtlich.

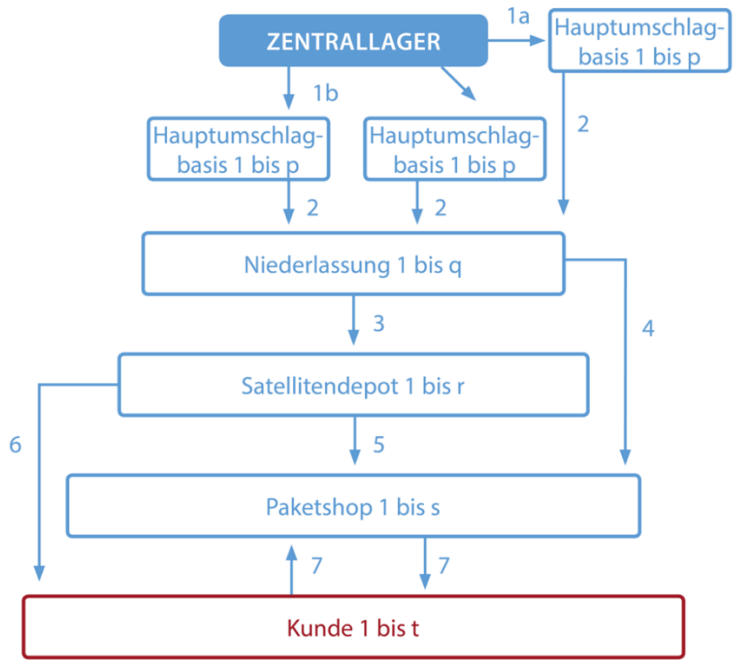


*Abbildung 11: Lieferkette des Onlinehandels (verändert nach DCTI, 2015, S. 33).*

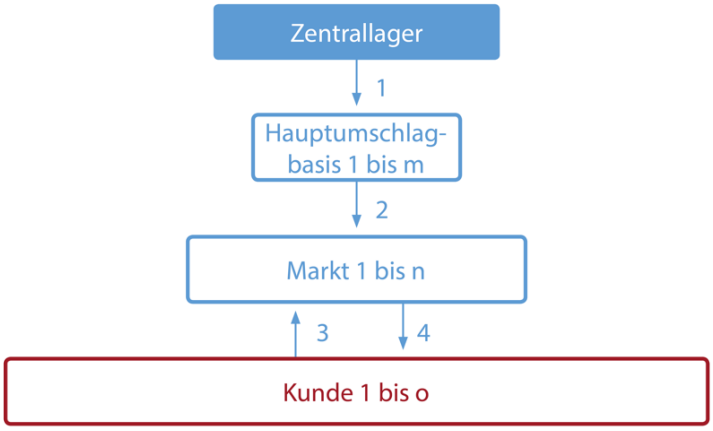


*Abbildung 12: Lieferkette des stationären Einzelhandels (verändert nach DCTI, 2015, S. 36).*

Als Grundlage für die Berechnungen müssen einige Daten herangezogen werden. Dazu zählen Daten aus der Logistik wie Wegstrecken, eingesetzte Fahrzeuge oder Bündelungsfaktor. Außerdem werden Informationen über das Einkaufsverhalten der Kunden herangezogen, um auch diese Auswirkungen modellieren zu können. Daher werden unter

anderem der Modal Split der Einkaufswege, die Bestellmenge und die Bestellhäufigkeit untersucht.

Im nächsten Schritt wird die zeitliche Entwicklung der Bestellungen modelliert. Dafür werden Annahmen über die derzeitigen Marktanteile von Onlinehandel und stationärem Handel getroffen und deren Reaktion auf Änderungen im System. Um dieses Verhalten darstellen zu können, wird der Archetyp *Grenzen des Wachstums* herangezogen. Dieser bildet die Konkurrenzsituation zwischen den zwei Vertriebstypen ab und zeigt die zeitliche Entwicklung bei einer Änderung des Gleichgewichts.

Für die Modellierung des Systems wurde die Software STELLA herangezogen. STELLA ist eine visuelle Programmiersprache für das systemdynamische Modellieren. Das Programm wurde erstmals 1985 von Barry Richmond veröffentlicht. STELLA wird sowohl im Bildungsbereich, als auch in Forschung und Wirtschaft verwendet.

In Stella werden Bestandsgrößen, Flussgrößen, freie Variablen und Konstante unterschieden. Freie Variablen werden für jede Modellperiode durch mathematische Operationen errechnet. Bestandsgrößen beschreiben hingegen das eigentliche Modellgedächtnis. Sie werden über Flussgrößen (Zu- und Abflüsse) bestimmt. Konstante werden für die Parametrisierung des Modells verwendet (Aschauer, 2013, S. 89).

Im Folgenden wird gezeigt wie das Modell mithilfe des systemdynamischen Ansatzes erstellt wurde. Wie die einzelnen Systemelemente miteinander interagieren, wird in den darauffolgenden Abschnitten dargestellt.

### 4.2.1 Model Boundary Chart - Modellgrenzen-Tabelle

Eine Model Boundary Chart wird erstellt um die Grenzen des Modells festzulegen. Außerdem hilft es Nutzern das Modell einordnen zu können und zu entscheiden, ob es für sie zweckmäßig ist (Sterman, 2009, S. 97). In der Tabelle werden die Parameter des Modells klassifiziert. Die beobachteten Parameter werden in endogene, exogene und exkludierte Parameter unterteilt. Endogene Parameter beeinflussen andere Parameter und werden von anderen beeinflusst, exogene Parameter beeinflussen endogene Parameter, werden aber nicht beeinflusst und exkludierte Parameter sind nicht in das Modell inkludiert (Aschauer et al., 2015, S. 509).

Tabelle 6 listet auf, welche Variablen des Modells endogen und welche exogen sind, sowie welche nicht betrachtet werden.

*Tabelle 6: Model Boundary Chart für das Modell*

| **Endogen** | **Exogen** | **Exkludiert** |
|---|---|---|
| Emissionen je Weg | Spezifische Emissionen | Beschaffung, -logistik |

| | | |
|---|---|---|
| Emissionen je Paket | Anteil | Produktion, -logistik |
| Emissionen je Artikel | Transportkilometer | Emissionen aus Lagerbewirtschaftung |
| Emisssionen je Artikel Online | Retourenquote Online | Emissionen der Filialen |
| Emissionen je Artikel Stationär | Retourenquote Stationär | Verpackungsmaterial |
| Summe Emission je Artikel Online | Pakete | Emissionen aus Retourenabwicklung |
| Summe Emission je Artikel Stationär | Bestellmenge | Wegeketten |
| Emissionen Online | Bestellungen | |
| Emissionen Stationär | Online Impuls | |
| Emission Retouren | | |
| Emission Retoure C&C | | |
| Emission C&C | | |
| Bestellungen Online | | |
| Bestellungen Stationär | | |
| Aktivitäten Online | | |
| Aktivitäten Stationär | | |
| Empfundene Gefahr Stationär | | |
| Filialen | | |
| Entfernungsfaktor | | |

Nachdem die Modellgrenzen festgelegt und die Parameter klassifiziert wurden, wird das Causal Loop Diagramm entwickelt. Als Zeiteinheit für die Modellierung werden Monate gewählt.

### 4.2.2 Causal Loop Diagramm – Kausales Schleifendiagramm

Nach der Identifizierung der für das Modell relevanten Parameter und dem Abstecken der Modellgrenzen (s. Tabelle 6: Model Boundary Chart für das Modell) wird ein qualitatives Modell in Form eines Causal Loop Diagramms erstellt.

Kausale Schleifendiagramme zeigen die Grenzen und die Struktur des Modells, sie zeigen aber nicht wie die Variablen miteinander verknüpft sind. Kausale Schleifendiagramme sind hilfreich, wenn es darum geht die Rückkopplungsstruktur eines Systems zu zeigen. Sie

verbinden Ursache und Wirkung mit Pfeilen (Sterman, 2009, S. 102). Ein Causal Loop Diagramm ist also eine vereinfachte Darstellung des Modells, die aber die wichtigsten Rückkopplungsstrukturen zeigt (Aschauer et al., 2015, S. 509). Abbildung 13 zeigt das Causal Loop Diagramm des gesamten Modells. Im Causal Loop Diagramm werden die Zusammenhänge zwischen den Systemkomponenten dargestellt.

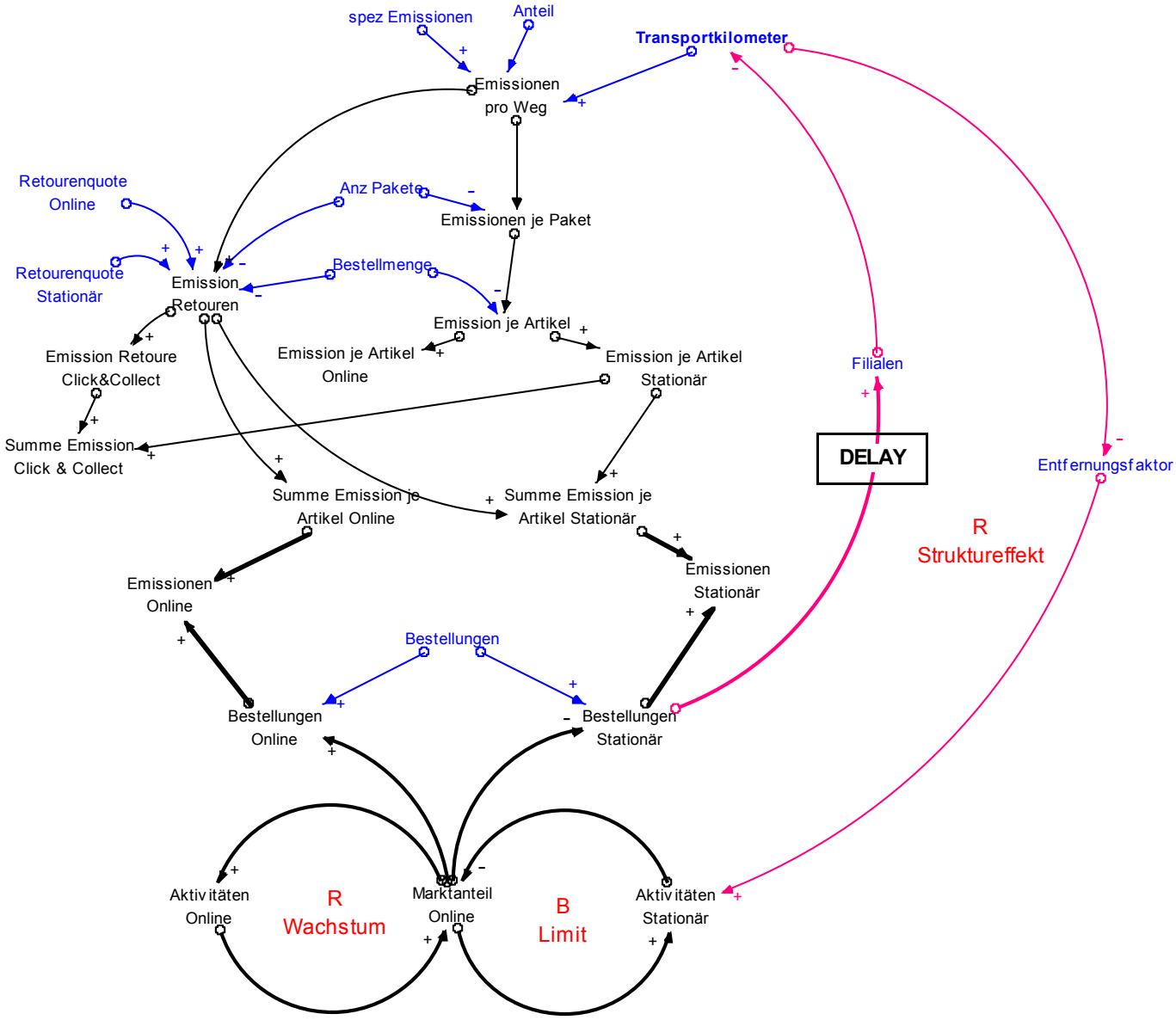


*Abbildung 13: Causal Loop Diagramm des Modells*

Das Causal Loop Diagramm des Modells besteht aus drei Schleifen, die sich gegenseitig beeinflussen. Wie die einzelnen Systemelemente zusammenhängen und sich dynamisch beeinflussen wird in den folgenden Kapiteln genauer erläutert. Die Schleife Wachstum und Limit verursachen die Grundentwicklung des Systems. Sie beschreiben die Marktentwicklung und bestimmen über die Marktanteile von Onlinehandel und stationärem Handel. Die Schleife Wachstum ist eine verstärkende Rückkopplungschleife, deshalb ist sie mit „R“ für englisch „reinforcing“ bezeichnet. Sie erklärt das Wachstum des Onlinehandels, das sich durch im Zeitverlauf verstärkten Marktanteil und höheren Aktivitäten (Bestellungen) erklärt.

An den Faktor Marktanteil angeknüpft ist die Schleife Limit. Sie ist eine balancierende Schleife, und bremst somit die Entwicklung der Schleife Wachstum. Umso höher der Marktanteil des Onlinehandels ist, umso stärker werden die Aktivitäten des stationären Handels um das Wachstum des Onlinehandels einzubremsen und auf einem Niveau zu stabilisieren. Die Hintergründe dieser Entwicklung sind auch in „Kapitel 4.1.5 Grenzen des Wachstums“ nachzulesen.

Die dritte Schleife ist die verstärkende Rückkopplungsschleife Struktureffekt. Sie beschreibt die Entwicklung des stationären Handels und seines Filialnetzes bei einem Wachstum des Onlinehandels. Genauer wird diese Entwicklung in „Kapitel 4.2.3.1 Struktureffekt“ beschrieben.

### 4.2.3 Stock & Flow Map – Bestände und Flüsse Karte

Kausale Schleifendiagramme machen die Struktur eines Systems deutlich, Stock & Flow Maps zeigen die darunterliegende physische Struktur. Sie zeigen Bestände und Flüsse an Material, Geld und Information, die sich durch das System bewegen. Stocks zeigen den aktuellen Bestand eines Produktes, einer Bevölkerung oder eines anderen Inventars. Bei einem Konto ist das beispielsweise der Schuldenstand oder der Bestand an Bargeld. Flüsse hingegen zeigen Zu- oder Abnahmeraten. Das können Produktion und Versand, Geburten und Tode oder Einnahmen und Ausgaben sein. Bestände geben Auskunft über den aktuellen Zustand eines Systems und sind so Basis für Entscheidungen. Diese Entscheidungen beeinflussen dann die Flussraten, welche wiederum die Bestände beeinflussen. Somit ist die Rückkopplungsschleife im System geschlossen (Sterman, 2009, S. 102).

Nachfolgend ist das Stock & Flow Diagramm des modellierten Systems zu sehen. Mithilfe dieses quantitativen Modells kann das Verhalten des im vorigen Kapitel entwickelten Causal Loop Diagramms abgebildet werden.

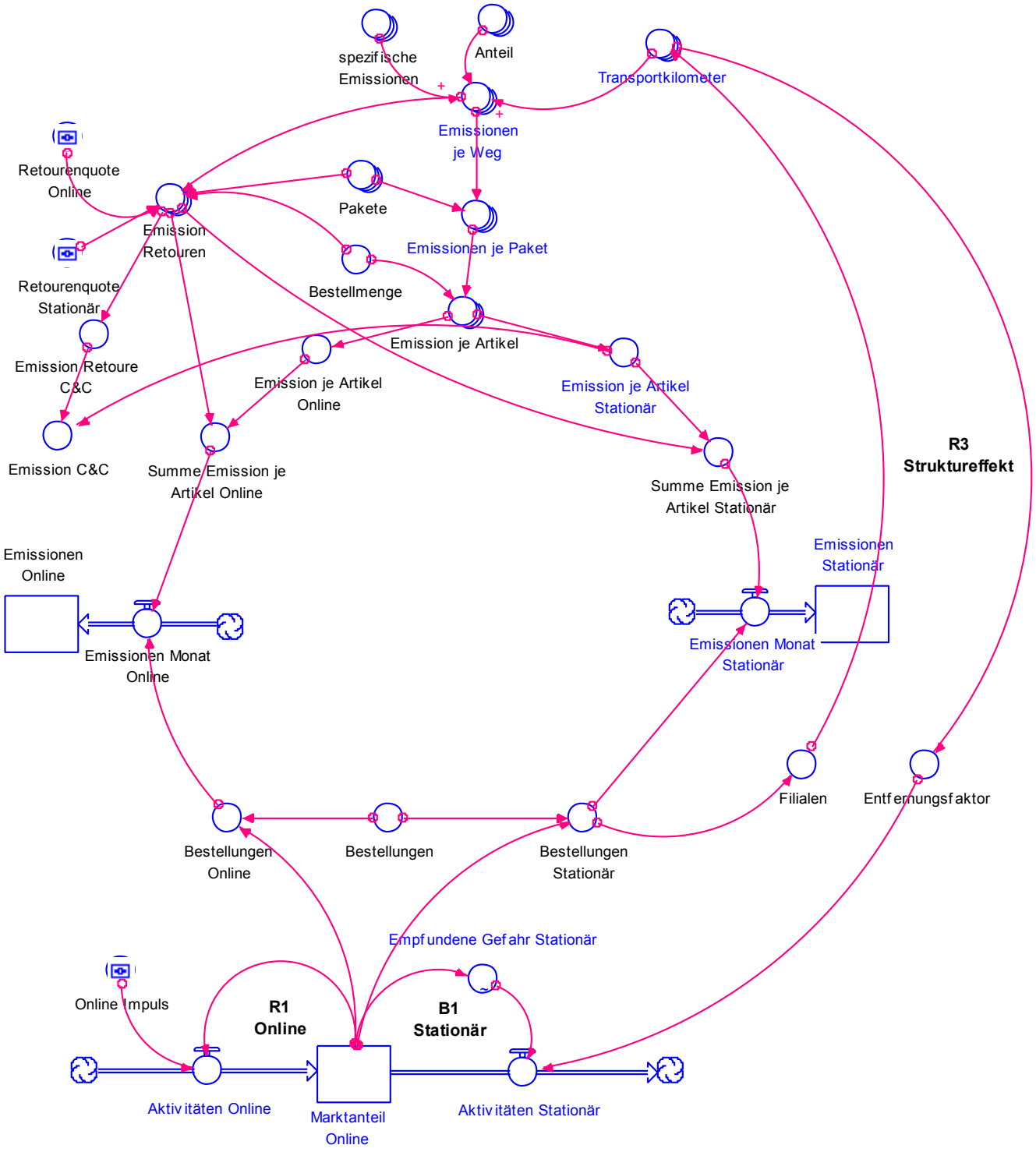


*Abbildung 14: Das Stock & Flow-Diagramm des Modells*

In diesem Kapitel werden die Elemente der Stock & Flow-Map erklärt. Dazu zählen die Bestände, Flüsse, exogene und endogene Variablen und die mathematischen Zusammenhänge zwischen diesen Systemelementen. Abbildung 14 zeit die Stock & Flow-Karte des modellierten Systems.

Das Modell verwendet den Archetyp „Grenzen des Wachstums“. Dieser wurde in Kapitel 4.1.4 beschrieben. Er ist im unteren Teil der Stock & Flow-Karte zu sehen. Dieser Archetyp besteht aus zwei Rückkopplungsschleifen Die erste ist eine verstärkende Rückkopplungsschleife (reinforcing loop), die das Wachstum des Systems antreibt. In

diesem Modell wird sie *R1 Online* genannt. Diese ist mit der zweiten Schleife gekoppelt, welche eine balancierende Rückkopplungsschleife ist und das Wachstum der ersten Schleife bremst, sobald ein bestimmtes Niveau erreicht ist. In der Karte wird sie mit *B1 Stationär* bezeichnet.

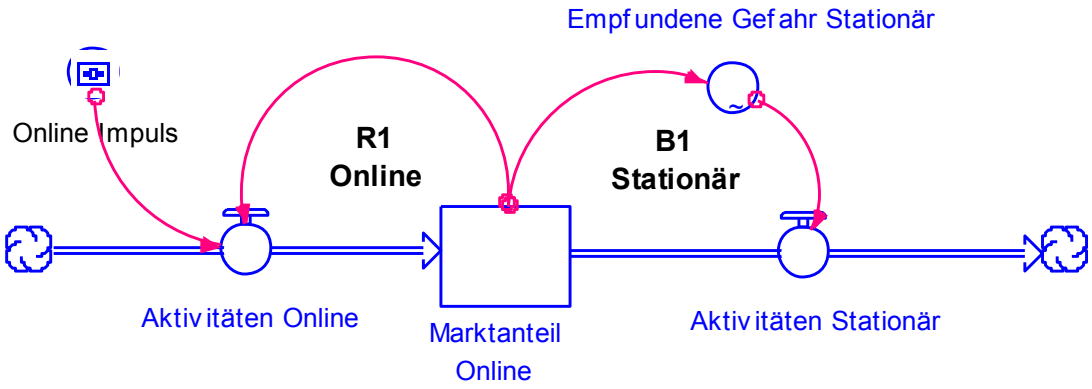


*Abbildung 15: Stock& Flow Diagramm des Archetyps*

Abbildung 15 zeigt das Stock & Flow-Diagramm des Archetyps im Modell. Hier sieht man den zentralen Bestand, *Marktanteil Online* genannt. Dieser wird von einem Zufluss und einem Abfluss beeinflusst. Der Zufluss wird *Aktivitäten Online* genannt. Er gibt das Niveau der Aktivitäten des Onlinehandels an. Er ist abhängig vom Zustand des Bestands und der Variablen *Online Impuls*. Auf der anderen Seite des Bestands ist die zweite Schleife des Archetyps zu finden. Diese ist eine balancierende Schleife und bremst somit das Wachstum, das durch die erste Schleife produziert wird. *Aktivitäten Stationär* zeigt die Aktivitäten des stationären Handels an. Diese sind von einer Variablen und einer verstärkenden Rückkopplungsschleife abhängig. Die verstärkende Rückkopplungsschleife beschreibt den Struktureffekt, dieser wird in Kapitel 4.2.3.5 erklärt. Die Variable ist *Empfundene Gefahr Stationär*. Sie beschreibt die empfundene Gefahr des stationären Handels Marktanteile zu verlieren und wird im Folgenden ausführlicher erklärt.

Die Variable *Empfundene Gefahr Stationär* ist durch eine grafische Funktion definiert. Sie zeigt die vom stationären Handel empfundene Gefahr durch den Anstieg des Onlinehandels. Übersteigt der Marktanteil des Onlinehandels einen bestimmten Wert, so werden durch den stationären Handel Aktivitäten ausgelöst, welche den eigenen Marktanteil steigern. Die Intensität der Aktivitäten wird durch den Marktanteil des Onlinehandels bestimmt und über folgende grafische Funktion definiert. In Abbildung 16 ist zu sehen, wie der stationäre Handel reagiert. Bis 60 Prozent Marktanteil wird keine Gefahr empfunden, ab diesem Wert steigen die empfundene Gefahr und die dadurch ausgelösten Aktivitäten stark. Dieser Faktor trägt also dazu bei, den Marktanteil des Onlinehandels einzuschränken und auf einem bestimmten Niveau zu stabilisieren. Über die Funktion kann Einfluss darauf genommen werden, ab wann und auf welchem Niveau das geschehen soll. Die gewählten Werte entstammen nicht der empirischen Forschung, sondern wurden gewählt um das Modellverhalten anschaulich zu

machen. Reagiert die balancierende Schleife erst bei 60 Prozent Marktanteil des Onlinehandels, hat dieser genug Zeit sich zu entwickeln. Es können auch andere Werte gewählt werden, da das Modell generisch aufgebaut ist.

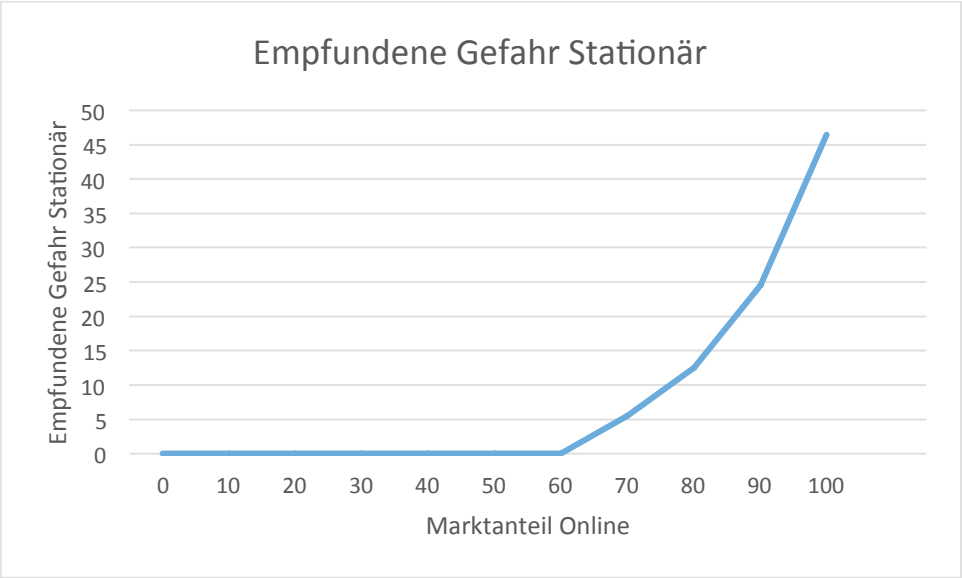


*Abbildung 16: Empfundene Gefahr Stationär*

*Aktivitäten Stationär* ist einerseits abhängig von der Variablen *Entfernungsfaktor*, andererseits von der Variablen *Empfundene Gefahr Stationär*. Die Formel für Aktivitäten Stationär ist:

```
Aktivitäten Stationär =
4+Empfundene_Gefahr_Stationär+Entfernungsfaktor
```

Aktivitäten Stationär ist ein Fluss (Flow). Dieser wirkt auf den Bestand Marktanteil Onlinehandel. Je größer der (Ab)fluss ist, umso mehr wird der Bestand verringert. In diesem Modell verringern also die Aktivitäten des stationären Handels den Marktanteil des Onlinehandels. Zu Beginn ist Aktivitäten Stationär gerade groß genug um den Marktanteil stabil zu halten. Der Startwert dafür beträgt 4, da auch der Fluss *Aktivitäten Online* zu Beginn 4 beträgt. Das folgt aus der Formel:

```
Aktivitäten Online = .1*Marktanteil Online
```

Da der Marktanteil zu Beginn 40 ist, ergibt sich aus dieser Formel 4 als Ergebnis für Aktivitäten Online. Somit ist zu Beginn ein Gleichgewicht zwischen Zu- und Abfluss des Bestandes *Marktanteil Online* hergestellt.

Der Marktanteil multipliziert mit der Anzahl der Bestellungen definiert wie viele Bestellungen pro Monat über den Onlinehandel und wie viele über den stationären Handel abgewickelt werden. Die Variablen *Bestellungen Online* und *Bestellungen stationär* ergeben sich somit aus den folgenden Formeln:

```
Bestellungen_Online = Marktanteil_Online/100*Bestellungen
```

```
Bestellungen_Stationär =
(1-Marktanteil_Online/100)*Bestellungen.
```

Am oberen Rand der Stock & Flow-Map ist der endogene Faktor *Emissionen je Weg* zu sehen. Dieser wird von drei anderen Faktoren beeinflusst. Diese *sind spezifische Emissionen, Anteil* und *Transportkilometer.* Die Variable ist als Matrix, in der Software STELLA „array“ genannt, angelegt. Das ermöglicht, einer Variable verschiedene Werte zuzuweisen. Jeder Wert belegt dabei eine „Reihe“ der Variablen. In diesem Modell werden arrays dazu verwendet, die Wegstücke der Lieferkette darzustellen. Die Variable Emissionen je Weg hat beispielsweise zehn Reihen, die jeweils ein Wegstück der Lieferkette darstellen. Somit muss nicht für jedes Wegstück eine eigene Variable angelegt werden, die beispielsweise deren Emissionen darstellt.

Emissionen je Weg ist also ein array mit zehn Reihen. Die Einflussfaktoren dieser Variablen besitzen ihrerseits auch 10 Reihen. Somit kann die gleiche Formel für alle Reihen der Variablen benutzt werden. Diese lautet:

```
Emissionen_je_Weg = Transportkilometer*spezifische_Emissionen*Anteil
```

*Transportkilometer* ist eine exogene Variable, sie wird nicht von anderen Variablen beeinflusst. Nur der Wert für den Weg des Kunden zur Filiale ist von anderen Faktoren abhängig. Dieses Verhalten wird in Kapitel 4.2.3.5 Struktureffekt erklärt. Alle anderen Transportentfernungen sind realen Verhältnissen entnommen. Die Daten dafür stammen von der OTTO Group und ihrer Tochterfirma Hermes. Die Datengrundlage dafür wird in Kapitel 3.2.3 erklärt.

*Spezifische Emissionen* ist eine exogene Variable, die Daten dafür entstammen Angaben der OTTO Group. Spezifische Emissionen definiert den Emissionsausstoß pro Transportkilometer. Entscheidend dafür ist die Art des Fahrzeuges. Im Kapitel „3.2.2 Das Transportmittel“ wird genauer darauf eingegangen.

*Anteil* gibt an, wie viel Prozent der Lieferungen über dieses Wegstück transportiert werden. Diese Variable ist erforderlich, da es mehrere Möglichkeiten gibt, die Ware vom Zentrallager zum Kunden zu bringen. Beispielsweise holen 10 Prozent der Kunden im Onlinehandel ihre Pakete selbst von einem Paketshop ab und 90 Prozent werden zu Hause beliefert. Dieser Faktor gewichtet also die Emissionen je nach Verwendung des Weges.

Um die Emissionen je nach Weg, Paket oder Artikel untersuchen zu können, wurden dafür jeweils eigene Variable eingeführt. Um die Emissionen je Paket untersuchen zu können, werden die Emissionen je Weg durch die Anzahl der transportierten Pakete auf diesem Weg dividiert. Die Anzahl der transportierten Pakete wird in der exogenen Variable *Pakete* definiert. Diese ist ein array mit 10 Reihen für die einzelnen Wegstücke. Die Daten dafür

entstammen Angaben der OTTO Group. Für die Einkaufsmenge und somit die transportierten Mengen auf dem letzten Weg im stationären Handel wurden Angaben von Kunden herangezogen. Diese stammen vom deutschen Clean Tech Institutes (DCTI, 2015). Die Formel für *Emissionen je Paket* lautet also:

```
Emissionen_je_Paket[Weg] = Emissionen_je_Weg[Weg]/Pakete[Weg]
```

Im nächsten Schritt werden diese Emissionen durch die Anzahl der gekauften Artikel dividiert. Dadurch erhält man die *Emissionen je Artikel.* Die Anzahl der gekauften Artikel entstammt der exogenen Variable *Bestellmenge*. Diese definiert wie viel Artikel im Onlinehandel bestellt werden. Im Basisszenario ist sie mit 2,4 festgelegt. Diese Zahl ist der Mittelwert aus den Angaben über die fünf Käufertypen des DCTI. Die Formel für Emissionen je Artikel ist:

```
Emissionen_je_Artikel[Weg] = Emissionen_je_Paket[Weg]/Bestellmenge
```

Da Emissionen je Artikel ein array mit 10 Werten ist und diese Onlinehandel und stationären Handel beschreiben, werden sie im folgenden Schritt auf Onlinehandel und stationären Handel aufgespalten. Dieser Schritt dient der besseren Lesbarkeit des Modells und erleichtert die weitere Modellierung. Dafür werden für den Faktor *Emissionen je Artikel Online* die Werte dem array Emissionen je Artikel entnommen, die für den Onlinehandel relevant sind. Es wird dabei die Summe der Emissionen der Wegstücke gebildet. Für den stationären Handel werden dieselben Schritte mit den Werten für den stationären Handel durchgeführt und so die Variable *Emissionen je Artikel Stationär* gebildet.

In den Variablen *Summe Emission je Artikel Online* und *Summe Emission je Artikel Stationär* werden die Emissionen je Artikel mit den Emissionen aus den Retouren summiert. Die Formeln für die Variablen lauten:

```
Summe_Emission_je_Artikel_Online =
Emission_Retouren[Online_1]+Emission_Retouren[Online_2]+Emission_Ret
ouren[Online_3]+Emission_Retouren[Online_4]+Emission_Retouren[Online
_5]+Emission_Retouren[Online_6]+Emission_Retouren[Online_7]+Emission
_je_Artikel_Online
```

und

```
Summe_Emission_je_Artikel_Online =
Emission_je_Artikel_Stationär+Emission_Retouren[Stat_1]+Emission_Retouren[Sta
t_2]+Emission_Retouren[Stat_3].
```

Retouren sind ein wichtiger Einflussfaktor für die Entwicklung der Emissionen. Insbesondere im Onlinehandel können Retouren einen Hebelpunkt darstellen, wenn es um Kosten und Emissionen geht. Retouren werden ausführlich in Kapitel 2.4 behandelt. In diesem Abschnitt wird die Wirkung von Retouren im Modell behandelt.

*Retourenquote Online* ist der wichtigste Einflussfaktor auf die Höhe der Emissionen aus den Retouren. Er gibt den Anteil an den Bestellungen an, die zurückgeschickt werden. Selbiges gilt für den exogenen Faktor *Retourenquote Stationär*. Im Basisszenario beträgt die Retourenquote im Onlinehandel 27,5 Prozent und im stationären Handel 1,9 Prozent.

Mithilfe der im vorigen Abschnitt berechneten Emissionen je Weg können nun die Emissionen je Retoure berechnet werden. Die Emissionen je Weg werden mit der Retourenquote multipliziert. Da jedoch die Emissionen pro Artikel relevant sind, werden die entstandenen Emissionen durch die Anzahl der Pakete und die Bestellmenge dividiert. Die Formel für *Emission Retouren* lautet also:

```
Emission_Retouren =
Emissionen_je_Weg*Retourenquote_Online/Pakete/Bestellmenge
```

Da *Emission Retouren* ein array ist und die Emissionen für Onlinehandel, stationären Handel und Click & Collect enthält, werden diese nun nach den Vertriebstypen aufgespalten. Im darauffolgenden Schritt können die so entstandenen Variablen mit Emissionen je Artikel ihres Vertriebstyps addiert werden. Somit entstehen die Variablen *Emission C&C, Summe Emission je Artikel Online* und *Summe Emission je Artikel Stationär.* Diese Variablen geben nun Auskunft über die Emissionen je bestellten Artikel inklusive der Emissionen, die durch Retouren entstehen.

Emissionen je Zeiteinheit

Schließlich wird die Anzahl der Bestellungen mit den Emissionen pro Bestellung multipliziert. Damit ergibt sich die Summe der Emissionen je Zeiteinheit, die durch den Onlinehandel bzw. den stationären Handel ausgelöst werden. Diese Emissionen sind Raten, welche in System Dynamics durch einen Fluss dargestellt werden. Die Flüsse werden *Emissionen Monat Online* und *Emissionen Monat Stationär* genannt. Ihre Formeln sind:

```
Emissionen_Monat_Online =
Bestellungen_Online*Summe_Emission_je__Artikel_Online
```

```
Emissionen_Monat_Stationär =
Bestellungen_Stationär*Summe_Emission_je__Artikel_Stationär.
```

Die monatlichen Emissionen werden in zwei Beständen gesammelt, wo sie sich im Zeitverlauf akkumulieren. Die Bestände heißen *Emissionen Online* und *Emissionen Stationär*.

#### *4.2.3.1 Struktureffekt*

Der Struktureffekt beschreibt ein besonderes Phänomen im modellierten System, das eine verstärkende Rückkopplungsschleife darstellt.

Durch den erhöhten Marktanteil des Onlinehandels kommt es zu weniger Einkäufen im stationären Handel. Dadurch ist es nicht mehr rentabel, die Anzahl der Filialen beizubehalten und Filialen werden aufgrund von Kundenmangel nach einer bestimmten Zeit geschlossen.

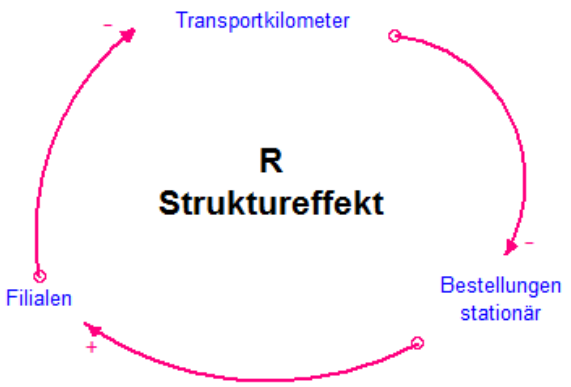


*Abbildung 18: Causal Loop Diagramm des Struktureffekts*

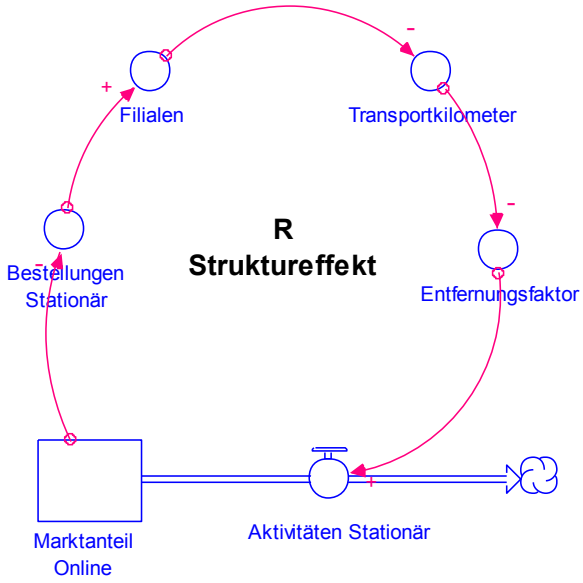


*Abbildung 17: Stock & Flow-Diagramm des Struktureffekts*

Die Zahl an Bestellungen, um eine Filiale zu öffnen, wird mit 100.000 Einkäufen (Bestellungen stationär) pro Monat angenommen. Ab dem 200.000 Einkauf wird also die zweite Filiale eröffnet. Da keine belastbaren Daten für diese Variablen verfügbar waren, wurden diese Werte geschätzt. Das Modell kann für reale Unternehmensdaten leicht angepasst werden. Sinkt die Zahl der Einkäufe, werden Filialen auch geschlossen. Dies geschieht nicht sofort, da das Schließen und Öffnen von Filialen längerfristige Entscheidungen sind. Diese Zeitspanne wurde mit fünf Monaten festgelegt. Dafür wurde im Modell eine Delay-Funktion zwischen den Faktoren Bestellungen stationär und Filialen eingebaut. Diese Funktion verzögert die Änderung der Filialanzahl, da nicht damit gerechnet wird, dass Filialen sofort schließen, wenn die Kundenzahl sinkt. Die Verzögerung beträgt fünf Monate. Außerdem wird die Zahl der Filialen auf ganzzahlige Werte beschränkt, da nicht Teile von Filialen eröffnet oder geschlossen werden können. Dafür wird eine Integer-Funktion eingebaut. Die Formel für *Filialen* lautet also:

```
Filialen = DELAY(INT(Best_Stat/100000),5)
```

Durch das Schließen von Filialen steigt die durchschnittliche Entfernung der Kunden zur nächsten Einkaufsmöglichkeit im stationären Handel. Diese Distanz ist in der Variablen Transportkilometer[Stat_3] ersichtlich. Die Entfernung der Kunden zur nächsten Filiale ist abhängig von der Filialdichte und der Siedlungsdichte. In dieser Arbeit werden die Transportentfernungen in der Stadt Wien modelliert und externe Entfernungsdaten

herangezogen. Abbildung 19 zeigt die verwendete Entfernungsfunktion des stationären Handels. Die Funktion gibt die durchschnittliche Distanz in Kilometern bzw. die durchschnittliche Dauer in Minuten zur nächsten Filiale an. Die Daten dafür stammen aus vom Institut für Produktionswirtschaft und Logistik der Universität für Bodenkultur Wien (Fikar, et al., 2017). Für die Modellierung wurden alle Wiener Wahlsprengel sowie die Standorte der 254 Filialen eines Lebensmitteleinzelhändlers in Wien herangezogen. Tabelle 5 gibt einige Beispielwerte an. Aus dieser ist ersichtlich, dass bei einer einzigen Filiale die durchschnittliche Entfernung 8,9 Kilometer beträgt und bei zwei Filialen nur noch 7,8 Kilometer. Betrachtet man die tatsächliche Anzahl der Filialen in Wien (254), so ergibt sich eine durchschnittliche Distanz der Kunden zur nächstgelegenen Filiale mit 1,4 Kilometern. Die Entfernungsfunktion ist somit:

```
Transportkilometer[Stat_3] = 2*(12.494*Filialen^-0.391)
```

Das Ergebnis der Funktion wird mit zwei multipliziert, da es sich im stationären Handel um Holkäufe handelt, der Kunde also Hin- und Rückweg zurücklegen muss um die Ware zu erhalten. Bei einer durchschnittlichen Distanz von 1,4 Kilometern ergeben sich also 2,8 Transportkilometer für den Hin- und Rückweg.

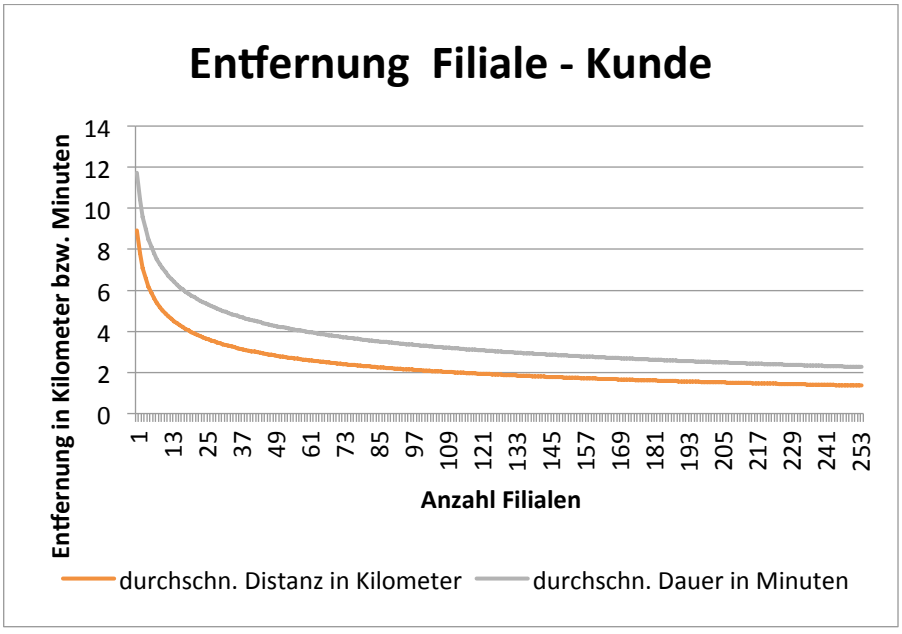


*Abbildung 19: Entfernungsfunktion Filiale-Kunden verändert nach Fikar et al., 2017.*

*Tabelle 7: Beispiele für die Entfernung Filiale-Kunde*

| ANZAHL AN FILIALEN | ENTFERNUNG IN KM |
|---|---|
| 1 | 8,9 |
| 2 | 7,8 |
| 3 | 7,1 |

| | |
|---|---|
| **100** | 2,1 |
| **254** | 1,4 |

#### *4.2.3.2 Entfernungsfaktor*

Durch die steigende Distanz der nächstgelegenen Filiale zum eigenen Haushalt wird der stationäre Handel für die Kunden unattraktiver. Diese Entwicklung ist in der Funktion „Entfernungsfaktor“ ersichtlich. Je niedriger die Distanz ist, desto höher ist der Entfernungsfaktor. Er beschreibt also die Attraktivität des stationären Handels in Abhängigkeit von der Distanz zur nächstgelegenen Filiale. Der Entfernungsfaktor ist über folgende Formel definiert:

```
Entfernungsfaktor = 0.5^Transportkilometer[Stat_3]
```

Die daraus folgende Funktion ist in Abbildung 20 zu sehen.

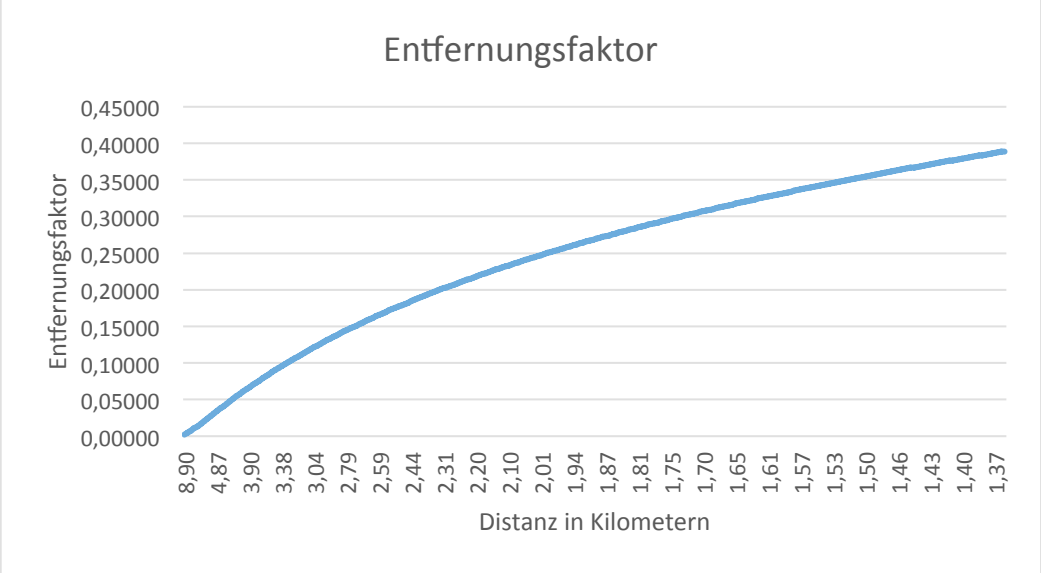


*Abbildung 20: Entfernungsfaktor abhängig von der Transportdistanz*

Der Entfernungsfaktor wirkt also stärker positiv auf *Aktivitäten Stationär* ein, wenn die Distanz geringer ist. Dadurch wird *Aktivitäten Stationär* gestärkt, was wiederum den Marktanteil des Onlinehandels schwächt. Es kommt in Folge also zu mehr Einkäufen im stationären Handel. Umgekehrt funktioniert diese Schleife genauso. Werden Filialen durch sinkende Einkäufe im stationären Handel geschlossen, erhöht sich die die Distanz zur nächstgelegenen Filiale und dadurch verringert sich der Entfernungsfaktor. Das wiederum hat negative Auswirkungen auf *Aktivitäten Stationär*, und der Marktanteil des Onlinehandels steigt. Das führt zu weniger Einkäufen im stationären Handel und die verstärkende Schleife im Modell ist somit geschlossen.

## 4.3 Validierung des Modells

Das Testen des Modells soll die darunterliegenden Annahmen überprüfen, die Robustheit und Sensitivität der Ergebnisse. Das Testen soll Fehler aufdecken und so helfen, die Grenzen des Modells besser zu verstehen und es zu verbessern.

Seit der Entwicklung von System Dynamics wurde eine Vielzahl von Tests entworfen, um Fehler in Modellen aufzudecken und sie zu verbessern. Sterman (2009, S. 858ff) schlägt folgende 12 Tests vor:

- Boundary Adequacy
- Structure Assessment
- Dimensional Consistency
- Parameter Assessment
- Extreme Conditions
- Integration Error
- Behavior Reproduction
- Behavior Anomaly
- Family Member
- Surprise Behavior
- Sensitivity Analysis und
- System Improvement.

Das Hauptkriterium um die Validität eines System Dynamics-Modells (SD-Modell) zu testen, ist die Strukturvalidität. Dabei werden die Beziehungen der Parameter untereinander untersucht und mit denen der realen Welt verglichen. Auch die Validierung des Modellverhaltens ist wichtig, jedoch weniger wichtig als in klassischen Vorhersagemodellen. Der Test des Verhaltens kann erst nach dem Strukturtest sinnvoll durchgeführt werden. Ein punktgenauer Abgleich zwischen dem Modellverhalten und dem realen Verhalten ist jedoch nicht möglich und im Gegensatz zu klassischen Vorhersagemodellen auch nicht gefragt (Vlachos et al., 2007, S. 381). Zur Aufdeckung struktureller Fehler werden direkte und indirekte Tests verwendet. Bei direkten Strukturtests wird jede Gleichung im Modell mit ihrem Gegenstück in der echten Welt oder in der Literatur verglichen. Dieser Vorgang ist sehr subjektiv ist und erzeugt qualitative Ergebnisse. Indirekte Strukturtests hingegen sind strukturiertere und quantitativere Methoden, um die Struktur des Modells zu validieren.

Die zwei wichtigsten indirekten Strukturtests sind Tests unter Extrembedingungen und der Sensibilitätstest (Vlachos et al., 2007, S. 381). Beim Test unter Extrembedingungen werden einzelnen Variablen extreme Werte zugeordnet und ihr Verhalten mit dem erwarteten Verhalten des realen Systems unter Extrembedingungen verglichen. Dieser Test nutzt die Eigenschaft des Menschen aus, das Verhalten eines dynamischen Systems unter Extrembedingungen besser abschätzen zu können als unter Normalbedingungen. Hätte das

Modell versteckte strukturelle Inkonsistenzen oder Fehler, so würden diese hier entdeckt werden (Barlas, 1996). Dabei werden Extremwerte eingesetzt und das Verhalten des Modells beobachtet. Im untersuchten Modell wird beispielsweise die Anzahl der Filialen von 1 bis 10.000 variiert.

Der Sensibilitätstest, auch Sensitivitätsanalyse genannt, dient dazu, jene Faktoren zu entdecken, die den größten Einfluss auf das Modellverhalten haben. So können sogenannte „leverage points“ (Hebelpunkte) gefunden werden, welche einen besonders großen Einfluss auf das Modellverhalten haben und deswegen genauer beachtet werden sollten. Werden solche Parameter gefunden, könnte das auf strukturelle Fehler im Modell hindeuten (Vlachos et al., 2007, S. 381). Um die Sensitivität des Systems zu testen, werden die Werte der Parameter variiert.

In dieser Arbeit wurden Sensitivitätsanalysen für folgende Parameter durchgeführt: Bestellmenge, Transportkilometer, spezifische Emissionen, Anzahl Pakete, Marktanteil Online, Retourenquote Online, Retourenquote Stationär und Bestellungen. Das Verhalten bei Änderung dieser Variablen entsprach dem erwarteten Verhalten. Die Sensitivitätsanalyse wurde vom Modell also bestanden.

Die Dimensionale Konsistenz (dimensional consistency) sollte früh überprüft werden. Jeder Variablen im Modell sollte eine Einheit zugewiesen werden. Jede Variable muss mit der realen Welt übereinstimmen und Gleichungen müssen auf ihre dimensionale Konsistenz überprüft werden, damit man nicht Äpfel und Birnen zusammenzählt. Manchmal entdeckt man mit diesem Test nur Tippfehler oder eine fehlende Angabe. Oft aber zeigen „unit errors“ grundlegende Fehler in der Struktur des Modells auf (Sterman, 2009, S. 866).

Die Validierung des Modellverhaltens unter Bezugnahme auf Daten aus der Realität ist erstrebenswert und wichtig. Deshalb wurden für die Validierung Daten eines deutschen Unternehmes herangezogen um die Anwendbarkeit des Modells zu überprüfen.

Das Modellverhalten ist mit empirischen und theoretischen Ergebnissen aus der Literatur konsistent.

# 5 Szenarien und Ergebnisse

In diesem Kapitel wird die Anwendbarkeit des Modells gezeigt, indem verschiedene Szenarien getestet werden. Anschließend werden die gewonnenen Erkenntnisse diskutiert. In den Szenarien wird jeweils eine Variable verändert, während die anderen fixiert bleiben.

## 5.1 Szenario 1 – Basisszenario

Für das Basisszenario werden Daten des Deutschen Clean Tech Institutes (DCTI) sowie der Universität für Bodenkultur Wien herangezogen. Die Daten zur Verkehrsmittelnutzung der Käufer, auch Modal Split genannt, entstammen der Studie „Klimafreundlich einkaufen“ des DCTI (2015). Die Entfernungsdaten zur Berechnung des letzten Weges im stationären Handel stammen vom Institut für Produktionswirtschaft und Logistik an der Universität für Bodenkultur Wien (Fikar et al., 2017).

In Tabelle 8 sind die für die Modellierung verwendeten Daten abgebildet. Die für die Modellierung wichtigen Angaben sind:

*Tabelle 8: Für die Modellierung verwendete Daten von Käufertyp 1. Quelle: Eigene Darstellung nach DCTI 2015*

| | | **Onlinehandel** | **Stationärer Handel** |
|---|---|---|---|
| **Artikel pro Kauf** | | 2,7 | 3,5 |
| **Strecke in km** | | - | 4,5 km (Hin- und Rückweg) |
| **Modal Split in Prozent** | PKW | 57 | |
| | Fuß & Rad | 21 | |
| | ÖPNV | 22 | |

Die getroffenen Logistikannahmen sind in Abbildung 6 und Abbildung 7 in Kapitel „3.2.3.7 Beschreibung der untersuchten Lieferkette“ ersichtlich. Diese stammen wie die Käuferdaten aus der Studie des DCTI, welchem dafür Unternehmensdaten der OTTO Group sowie deren Tochterfirma, des Logistikdienstleisters Hermes, zur Verfügung standen.

### 5.1.1 Ergebnisse Szenario 1 – Basisszenario

Im Basisszenario verursacht ein Einkauf im Onlinehandel 300 Gramm $CO_2$e-Emissionen. Im stationären Handel verursacht ein Einkauf 174 Gramm $CO_2$e-Emissionen. Der Einkauf im stationären Handel verursacht also 126 Gramm oder 42 Prozent weniger Emissionen als eine Bestellung im Onlinehandel.

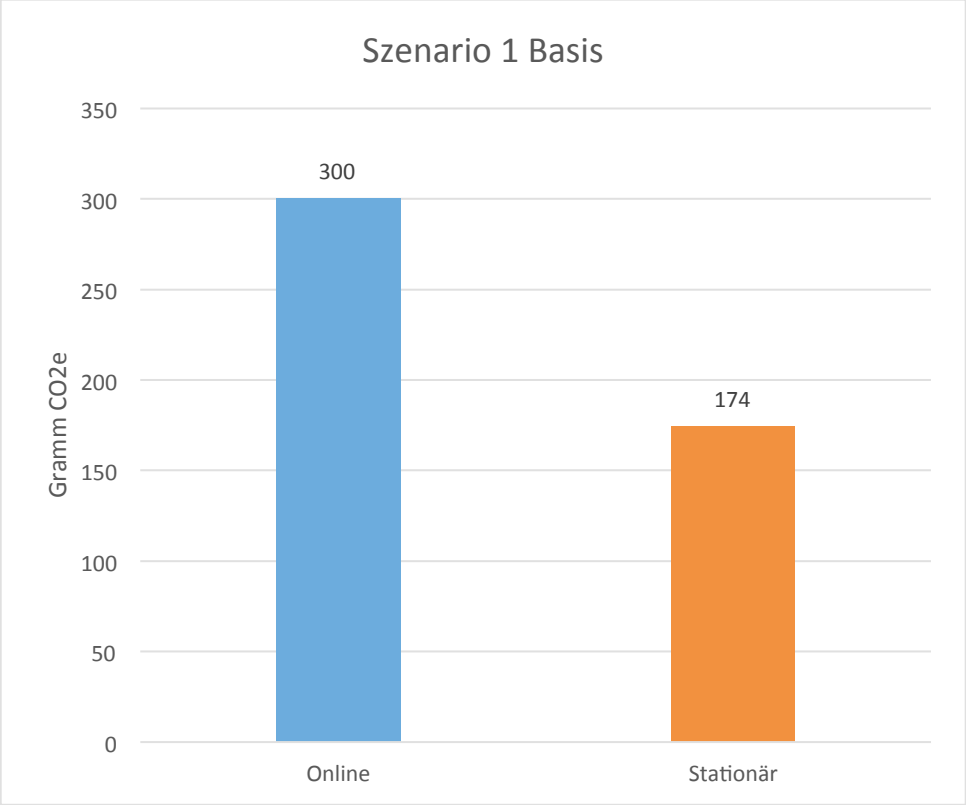


*Abbildung 21: Emissionen je Artikel im Onlinehandel bzw. stationären Handel*

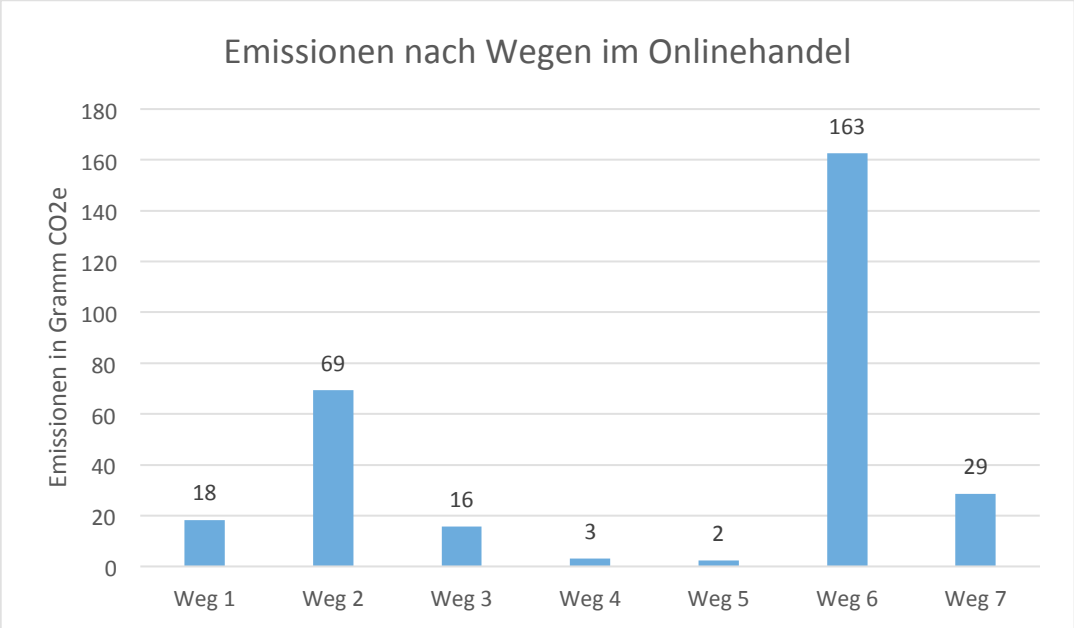


*Abbildung 22: Emissionen nach Wegen im Onlinehandel*

Die Verteilung der Emissionen auf die einzelnen Wege ist in Abbildung 22 zu sehen. Hier wird deutlich, dass Weg 6 mit 163 Gramm $CO_2e$ 54 Prozent der gesamten Emissionen verursacht. Weg 6 beschreibt die Auslieferung der Pakete an die Kunden, die so genannte „Letzte Meile“ oder englisch „Last Mile“. Da hier pro Fahrt nur 97,4 Pakete transportiert werden, sind die Emissionen pro Artikel auf diesem Weg verhältnismäßig hoch.

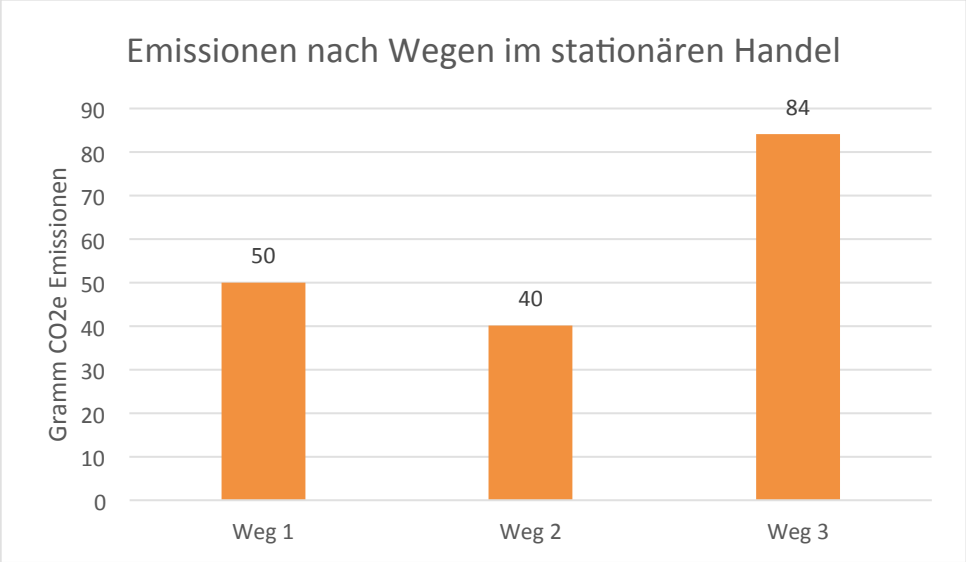


*Abbildung 23: Emissionen nach Wegen im stationären Handel*

In Abbildung 23 ist die Verteilung der Emissionen im stationären Handel auf die einzelnen Wege zu sehen. Hier fällt auf, dass ähnlich wie im Onlinehandel der letzte Weg die größten Emissionen verursacht. Weg 3 verursacht 48 Prozent der Gesamtemissionen. Im stationären Handel ist das der Weg des Kunden von zuhause zur Filiale und zurück. Es wird deutlich, dass hier ein großer Hebelpunkt liegt. Werden auf diesem Abschnitt der Lieferkette Maßnahmen zur $CO_2$-Reduktion getroffen, hat dies überproportionale Auswirkungen auf die Emissionen der gesamten Lieferkette. Auf die Emissionen haben neben dem Bündelungsgrad sowohl Distanz als auch Verkehrsmittel großen Einfluss. In Szenario 3 und 4 werden diese Einflussfaktoren variiert. Ein zusätzlicher Einflussfaktor ist die Anzahl der transportierten Pakete.

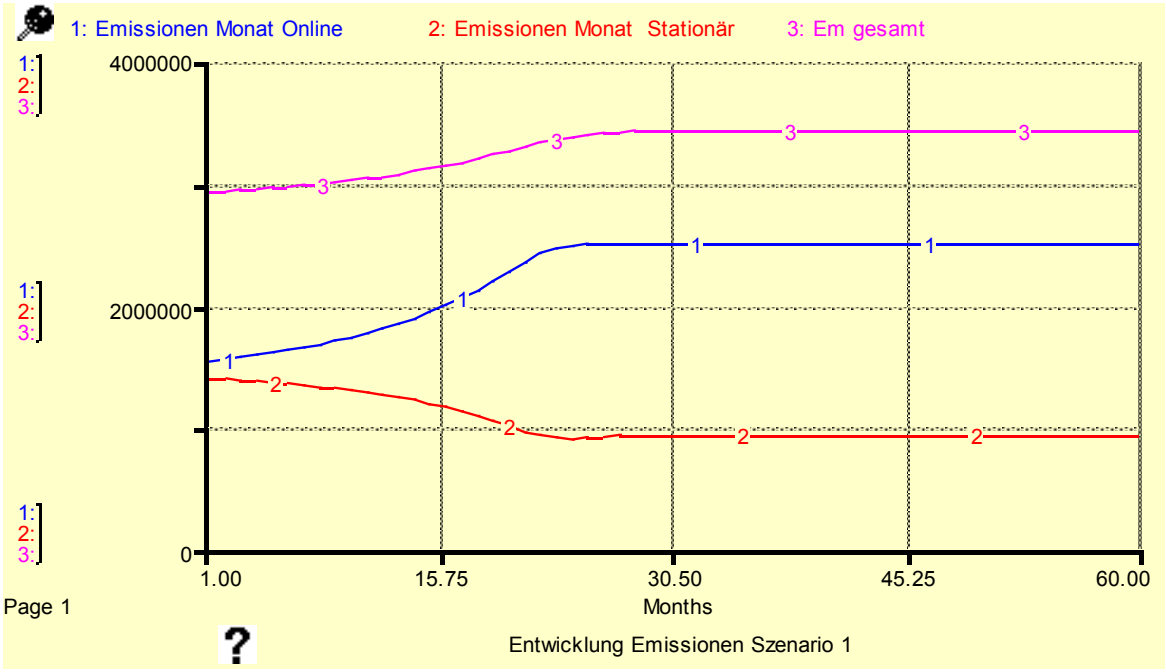


*Abbildung 24: Szenario 1 - Entwicklung der Emissionen*

Abbildung 24 zeigt die Entwicklung der Emissionen in Szenario 1. Linie 1 zeigt die monatlichen Emissionen des Onlinehandels, Linie 2 die monatlichen Emissionen des stationären Handels und Linie 3 die Summe der beiden Handelstypen, also die monatlichen Gesamtemissionen.

## 5.2 Szenario 2 – Strukturwandel

Szenario 2 beschreibt den dynamischen Effekt des Strukturwandels im Handel. Dieser Effekt wird in Kapitel 4.3.3.5 genauer beschrieben. Abbildung 25 zeigt die Marktentwicklung unter Einwirkung des Struktureffekts. Es wird deutlich, dass die abnehmenden Einkäufe im stationären Handel zur Schließung von Filialen führen. Dies tritt mit einer Verzögerung von fünf Monaten ein, daher ist zu Beginn noch keine Abnahme der Filialanzahl bemerkbar. Da nur ganze Filialen geschlossen werden können, und nur ganzzahlige Werte der Filialzahl erlaubt sind, kommt es zu der „Treppenbildung“ in der Entwicklung der Filialen. Eine Folge der abnehmenden Filialzahl ist die Zunahme der Transportkilometer auf dem Weg *Stat_3.* Da diese durch die Entfernungsfunktion abhängig von der Filialzahl ist, ergibt sich eine ähnliche Entwicklung mit entgegengesetzten Vorzeichen. Durch die zunehmende Entfernung zur Filiale wird der stationäre Handel unattraktiver für Kunden und sie verringern ihre Einkäufe. Dadurch kommt es zu einem noch stärkeren Abfall der Kurve *Bestellungen Stationär* und zu einem Anstieg des Marktanteils des Onlinehandels.

### 5.2.1 Ergebnisse Szenario 2 – Strukturwandel

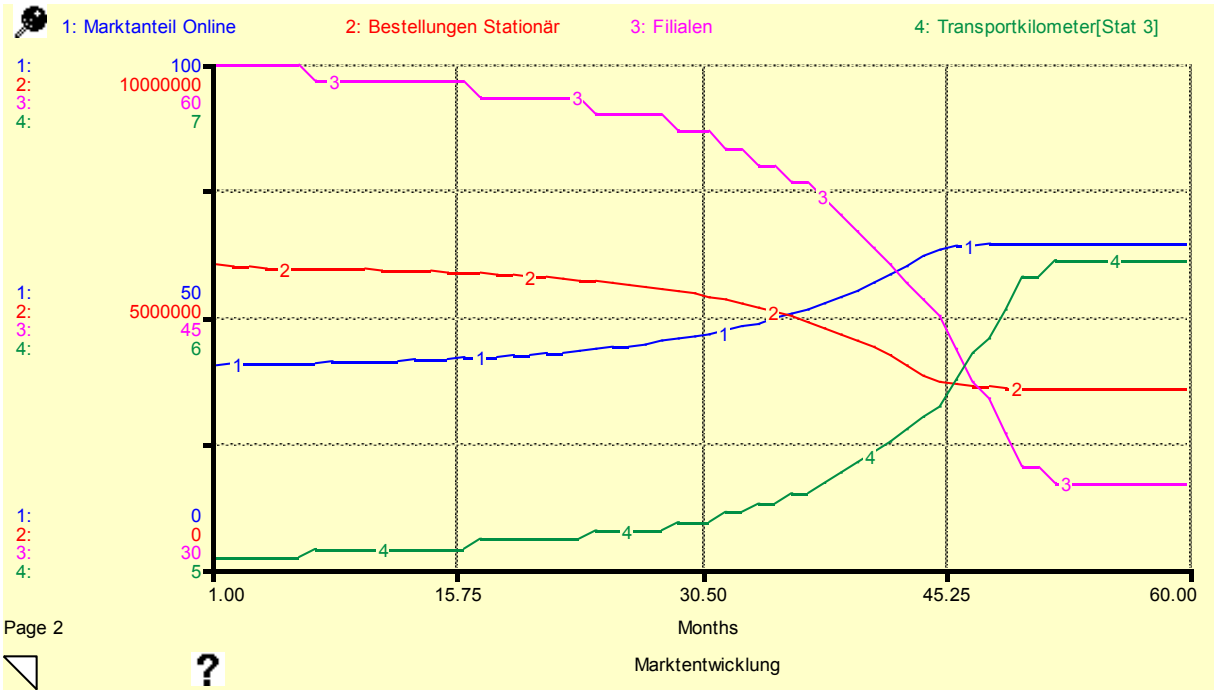


*Abbildung 25: Struktureffekt – Marktentwicklung*

Abbildung 25 zeigt die Marktentwicklung im Zeitverlauf. Daraus ist zu erkennen, dass mit abnehmender Zahl an Einkäufen im stationären Handel die Anzahl der Filialen sinkt und gelichzeitig die Transportkilometer zur nächstgelegenen Filiale steigen.

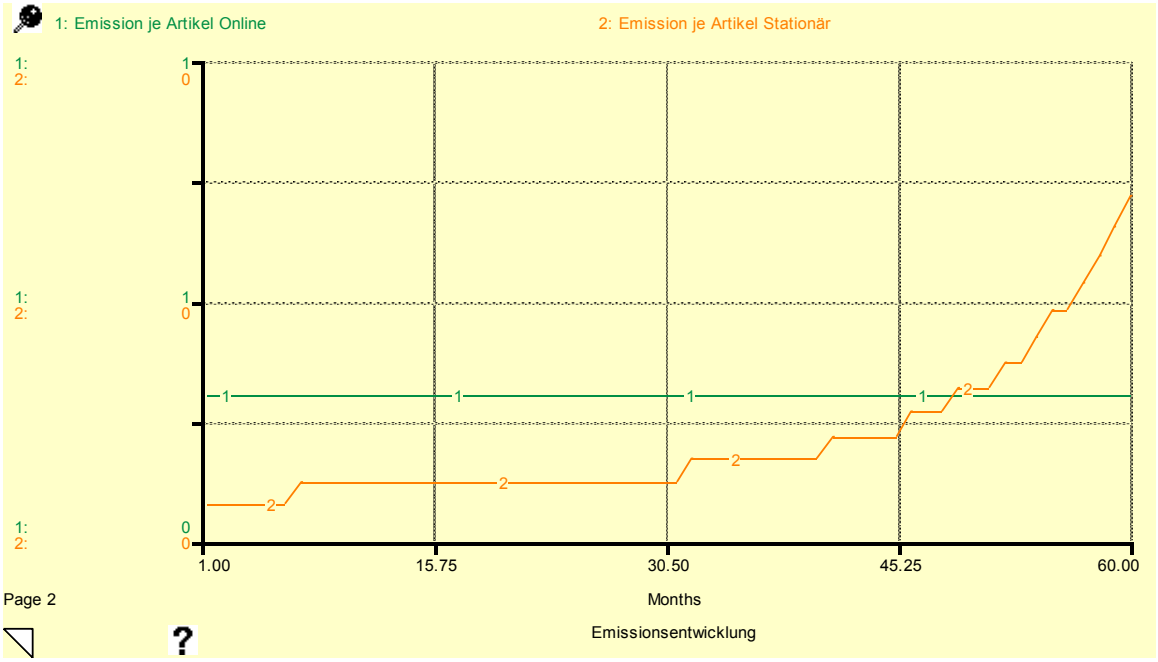


*Abbildung 26: Entwicklung der Emissionen je Artikel - Szenario Struktureffekt*

In Abbildung 26 ist die Entwicklung der Emissionen je Artikel zu sehen. Auch hier wird deutlich, dass der Einkaufsweg umso weiter wird, umso weniger Filialen vorhanden sind. Analog dazu erhöhen sich auch die Emissionen je gekauftem Artikel im stationären Handel.

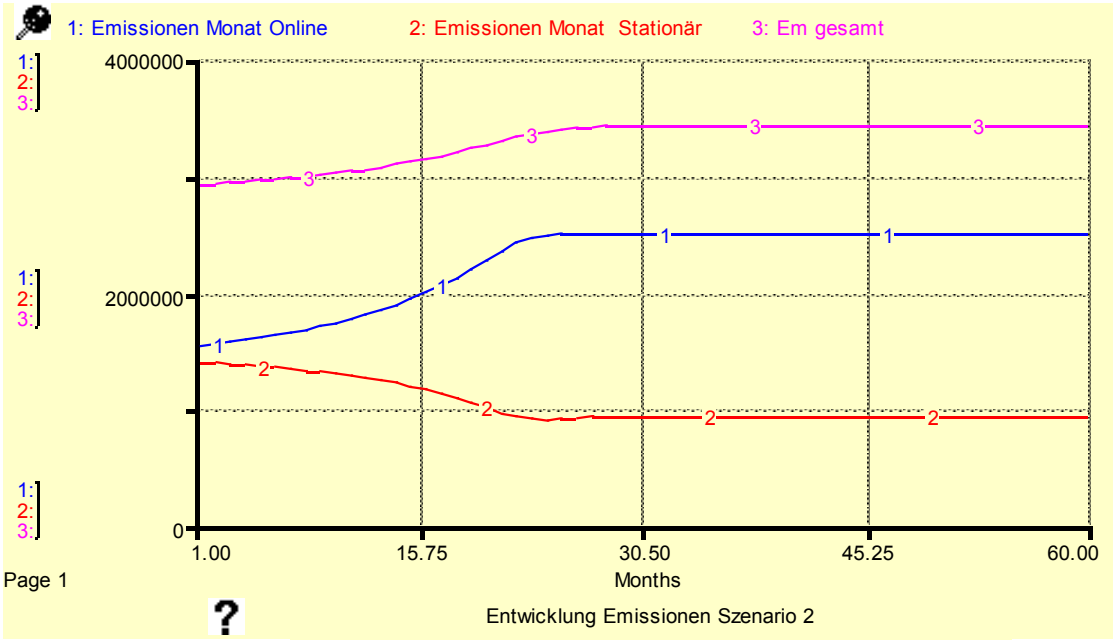


*Abbildung 27: Szenario 2- Entwicklung der Emissionen*

Abbildung 27 zeigt die Entwicklung der Emissionen in den einzelnen Handelstypen sowie die Gesamtemissionen. Hier ist erkennbar, dass die Gesamtemissionen mit dem Anstieg des Onlinehandels steigen.

## 5.3 Szenario 3 – Kundendichte

In Szenario 3 wird untersucht wie sich die Kundendichte auf die Entwicklung der Emissionen auswirkt. Dabei wird die Distanz zwischen Kunde und Filiale variiert, also die Transportentfernung auf dem letzten Weg verändert. Dieses Szenario soll die unterschiedlichen logistischen Gegebenheiten zwischen städtischem und ländlichem Raum abbilden.

Dafür werden die folgenden Annahmen getroffen. Für den städtischen Raum wird die Entfernungsfunktion aus dem Kapitel Struktureffekt herangezogen. Aus dieser werden die Daten für die Stadt Wien entnommen. Bei 254 Filialen beträgt die durchschnittliche Distanz der Kunden zur Filiale 1,36 km. Da für einen Einkauf zur Filiale und wieder nach Hause gefahren werden muss, wird diese Distanz mit zwei multipliziert. Es ergeben sich für das Beispiel Wien (Stadt) also 2,72 km, die zurückgelegt werden müssen. Für das Beispiel ländlicher Raum wird die Entfernungsfunktion variiert um der dünneren Filial- und Besiedlungsdichte Rechnung zu tragen. So ergeben sich 20 km für einen Einkaufsweg, da die Distanz zur nächstgelegenen Filiale mit 10 km veranschlagt wird.

### 5.3.1 Ergebnisse Szenario 3 – Kundendichte

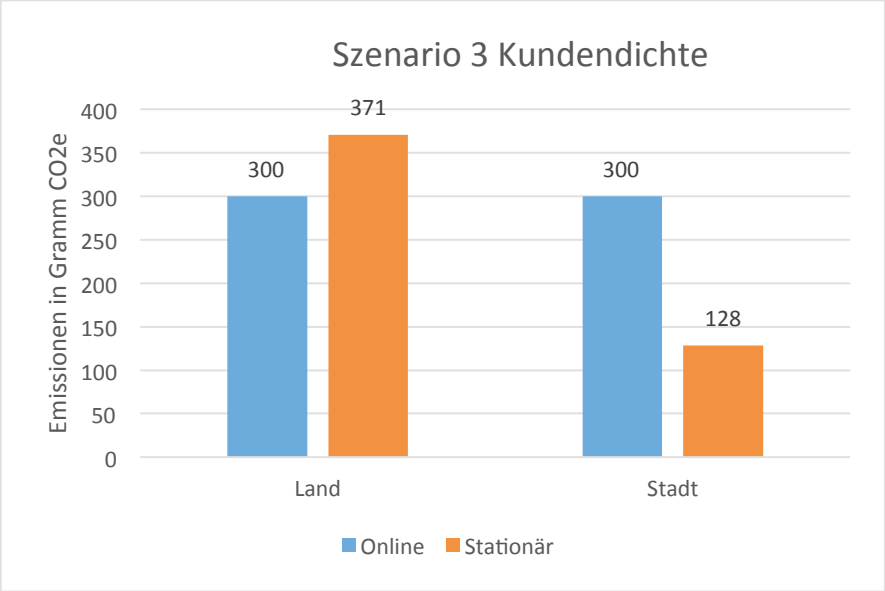


*Abbildung 28: Ergebnisse Szenario 3 Kundendichte*

Aus Abbildung 28 sind die Ergebnisse der Berechnungen für Szenario 3 ersichtlich. Hier wird deutlich, dass im ländlichen Raum der Onlinehandel weniger Emissionen verursacht als der stationäre Handel. In der Stadt verursacht hingegen der stationäre Handel aufgrund der hohen Filialdichte und den dadurch kurzen Transportentfernungen auf der letzten Meile weniger Emissionen als der Onlinehandel.

Im nächsten Schritt wird die Entfernung des Kunden zur nächsten Filiale variiert. In Abbildung 29 sind die Ergebnisse für die Entfernungen 1,36 km, 5 km, 7,5 km, 10 km und 15

km ersichtlich. Dabei wird deutlich, dass mit zunehmender Distanz zur nächsten Einkaufsmöglichkeit auch die Emissionen steigen. Ab einer Entfernung von 7,5 km verursacht ein Einkauf im Onlinehandel weniger Emissionen als einer im stationären Handel.

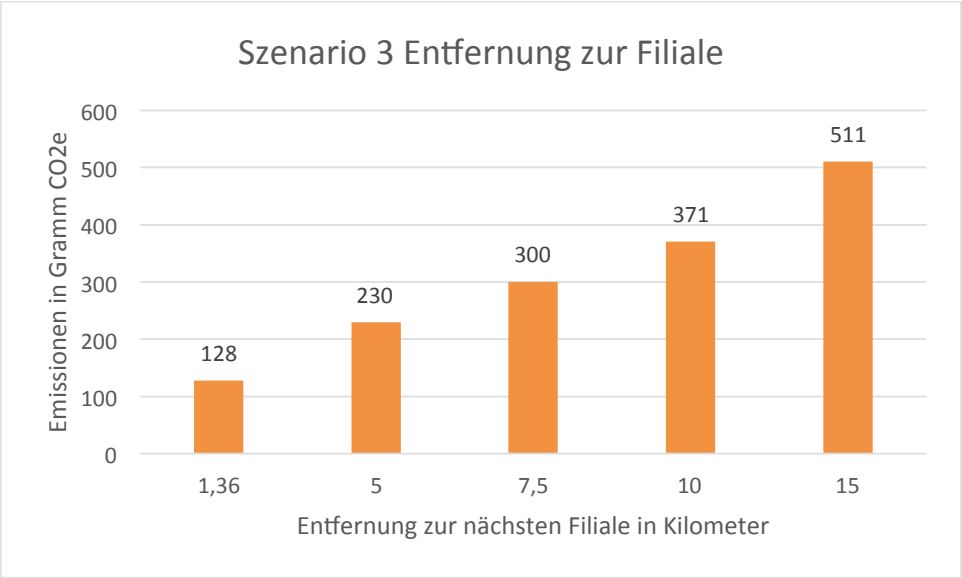


*Abbildung 29: Ergebnis Szenario 3 Kundendichte - Variation der Entfernung zur Filiale*

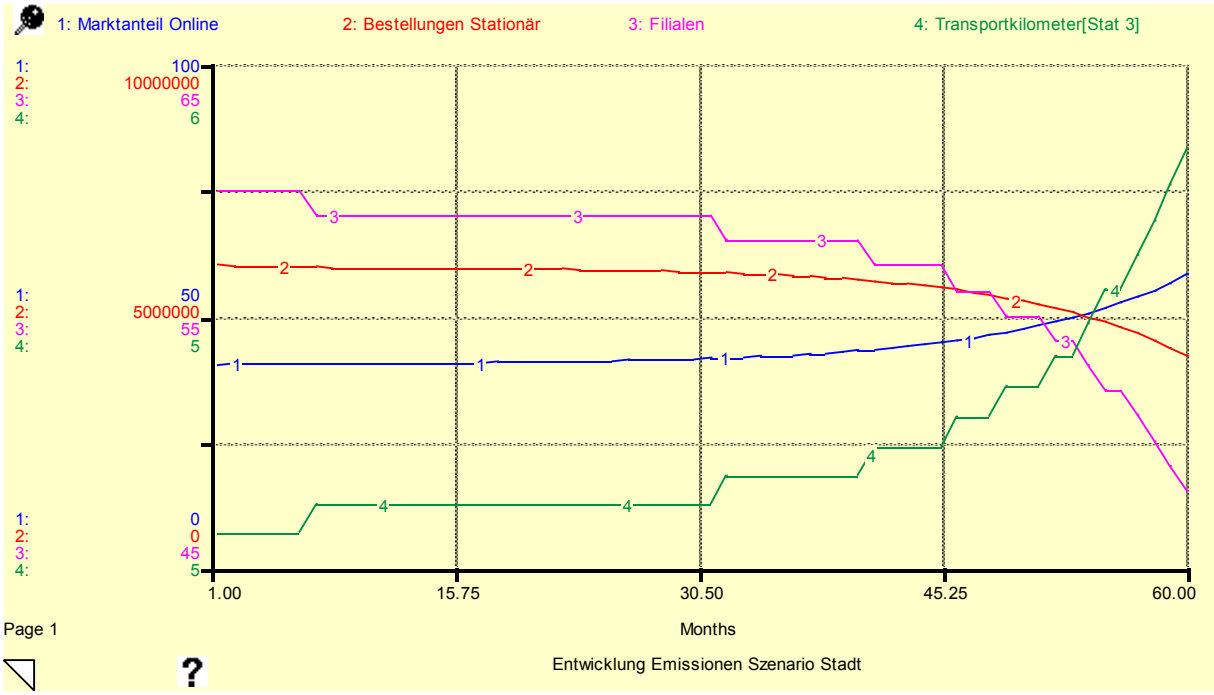


*Abbildung 30: Ergebnis Szenario 3 - Entwicklung Szenario Stadt*

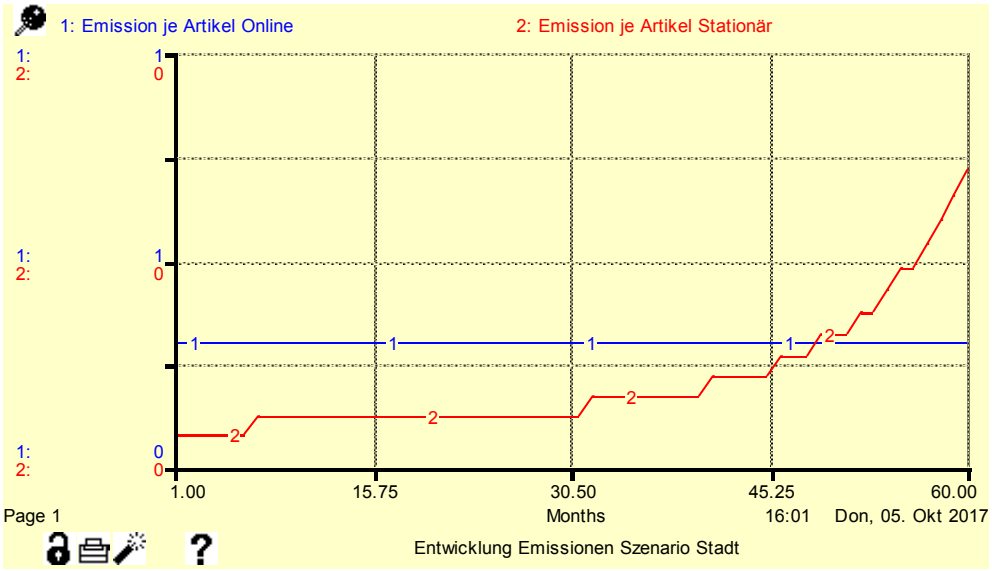


*Abbildung 31: Ergebnis Szenario 3 - Entwicklung der Emissionen je Artikel Szenario Stadt*

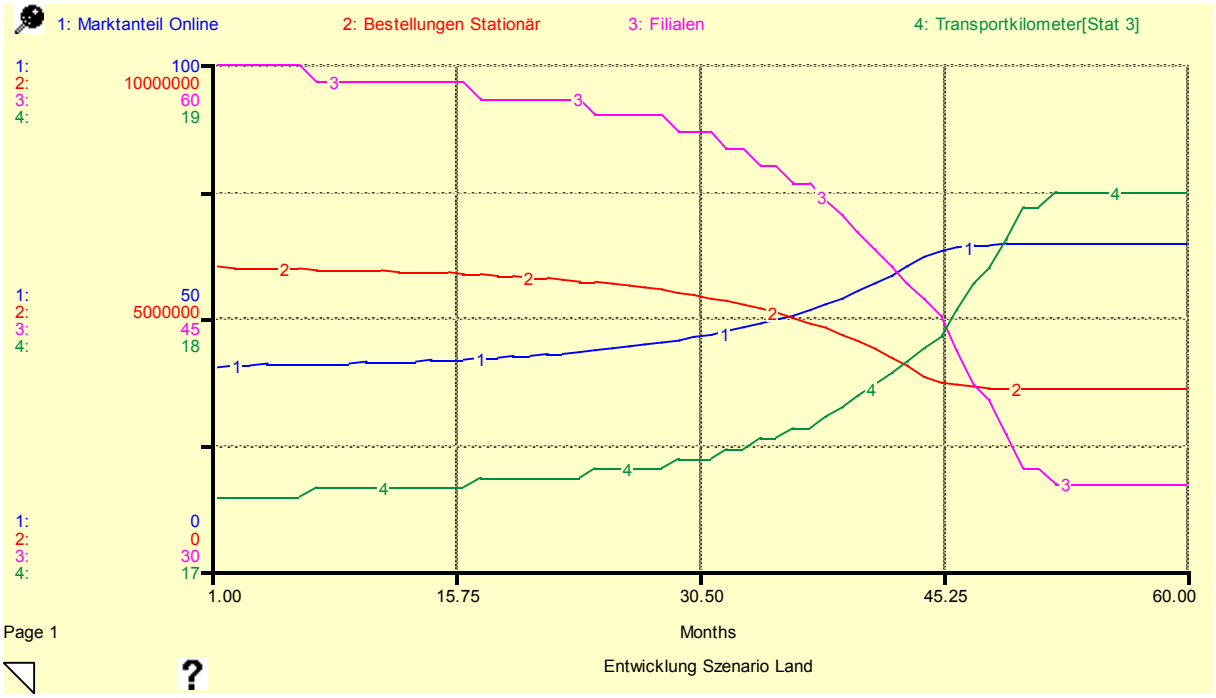


*Abbildung 32: Ergebnis Szenario 3 - Entwicklung Szenario Land*

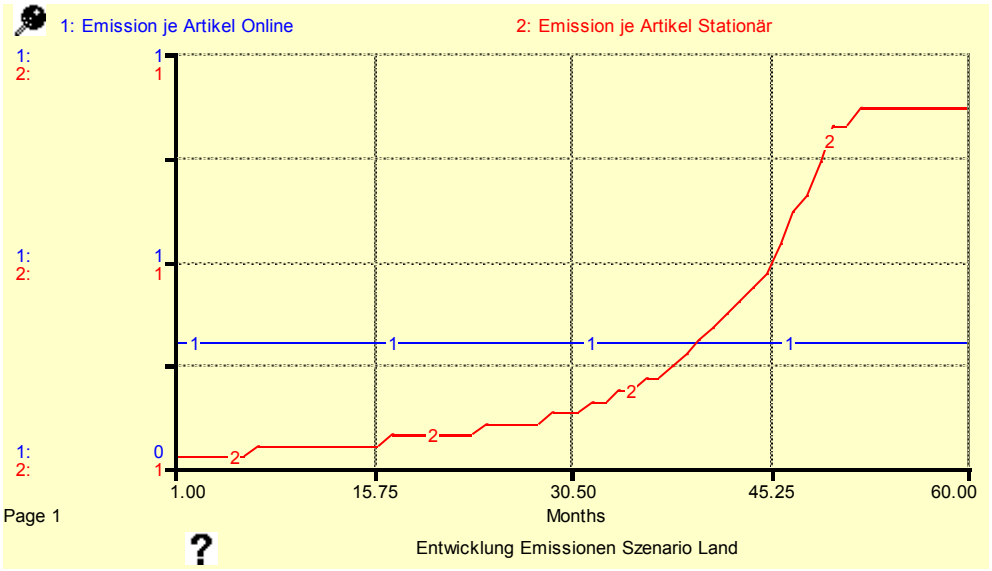


*Abbildung 33: Ergebnis Szenario 3 - Entwicklung der Emissionen je Artikel Szenario Land*

Aus Abbildung 30 und 32 wird deutlich, dass die Transportentfernungen auch Einfluss auf die Marktentwicklung haben. So kann der Onlinehandel im Szenario Land deutlich früher Marktanteile gewinnen und erreicht sein Maximum schon bei Monat 45. Im Szenario Stadt gewinnt der Onlinehandel erst langsam Marktanteile und die Filialdichte des stationären Handels nimmt nur langsam ab. Dies hat auch Auswirkungen auf die Entwicklung der Transportentfernungen und daraus resultierend der Emissionen. Diese Entwicklungen sind in Abbildung 31 und 33 sichtbar. In Abbildung 31 ist die Emissionsentwicklung im Szenario Stadt sichtbar und in Abbildung 33 die Emissionsentwicklung im Szenario Land. Die steigenden Emissionen pro Einkauf sind in beiden Grafiken sichtbar, jedoch erreichen die Emissionen des stationären Handels das Niveau des Onlinehandels am Land schon vor Monat 45, in der Stadt jedoch erst später.

## 5.4 Szenario 4 – Transportmittel

In Szenario 4 wird die Zusammensetzung der Transportmittel variiert. Szenario 4.1 betrifft dabei die Lieferfahrzeuge im Onlinehandel, Szenario 4.2 betrifft die Zusammensetzung der Kundenfahrzeuge, ändert also den Modal Split der Kunden.

### 5.4.1 Emissionsfreie Zustellung auf der letzten Meile

In Szenario 4.1. wird angenommen, dass die Lieferung der Pakete zu den Kunden im Onlinehandel emissionsfrei erfolgt. Das könnte durch den Ersatz von Verbrennungsmotoren durch elektrisch angetriebene Fahrzeuge oder durch die Zustellung mittels Lastenfahrrädern oder zu Fuß erfolgen. Im Falle von Elektrofahrzeugen werden nur direkte Emissionen betrachtet, die Produktion des Stromes wird hier nicht weiter betrachtet.

Für die Modellierung werden die spezifischen Emissionen des letzten Weges im Onlinehandel (Weg 6) auf 0 gesetzt. Im Vergleich dazu ist auch das Basisszenario

abgebildet. Hier werden die spezifischen Emissionen des Lieferfahrzeuges (LKW <12t) mit 411 Gramm $CO_2$ pro Kilometer angenommen.

**Ergebnisse Emissionsfreie Zustellung auf der letzten Meile**

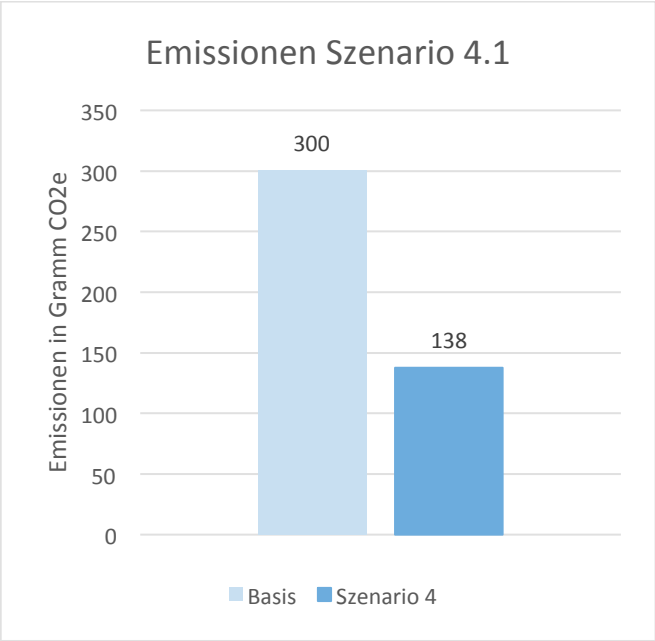


*Abbildung 34: Ergebnis Szenario 4.1 Emissionsfreie Zustellung auf der letzten Meile*

Bei den Ergebnissen für Szenario 4 zeigt sich die Auswirkung, die der letzte Weg im Onlinehandel hat. Werden hier die Emissionen reduziert, hat das große Auswirkungen auf die Emissionen der gesamten Lieferkette im Onlinehandel. So verringern sich die Emissionen je Artikel um 54 Prozent, wenn die Waren auf dem letzten Weg emissionsfrei transportiert werden. Im Basisszenario betrugen die Emissionen 300 Gramm $CO_2$e, während diese in Szenario 4.1 nur 138 Gramm $CO_2$e betragen.

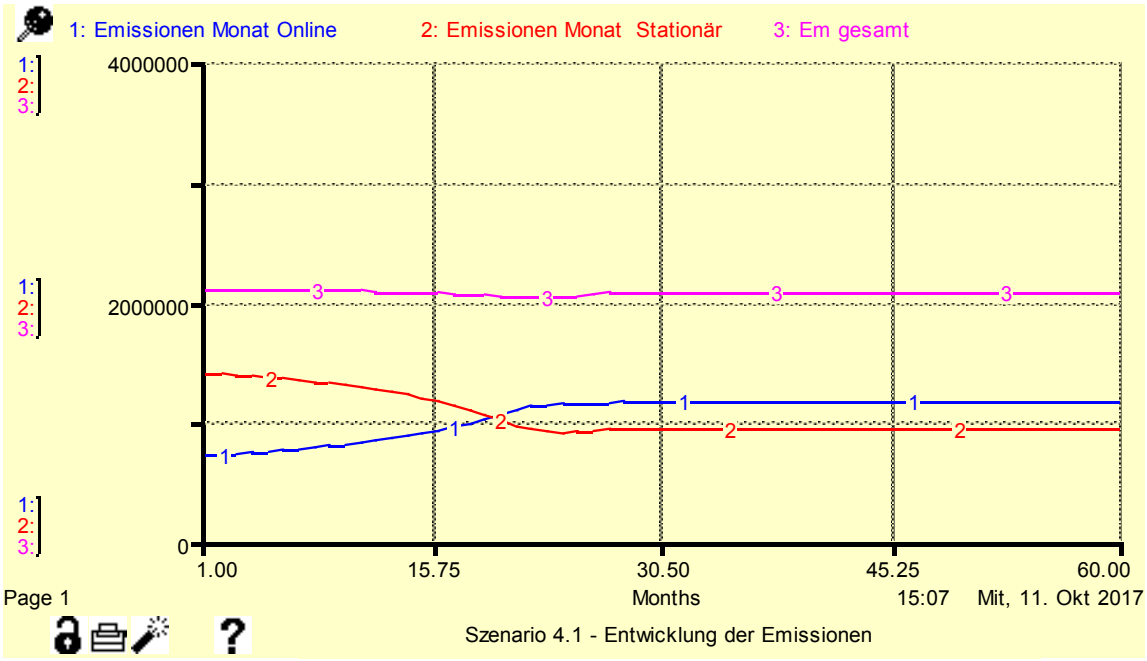


*Abbildung 35: Szenario 4.1 - Entwicklung der Emissionen*

Abbildung 35 zeigt die Entwicklung der Emissionen, wenn die Zustellung auf der letzten Meile im Onlinehandel emissionsfrei erfolgt. Hier wird deutlich, dass hier große Änderungen an den Gesamtemissionen möglich sind. So sind die monatlichen Emissionen des Onlinehandels nur knapp höher als die des stationären Handels obwohl der Onlinehandel im späteren Zeitverlauf 65 Prozent Marktanteil hat.

### 5.4.2 Verkehrsmittelwahl Kunden

In Szenario 4.2 wird die Verkehrsmittelwahl (Modal Split) der Kunden verändert. Diese gibt an welches Verkehrsmittel die Kunden für den Weg zur Filiale des stationären Handels wählen. Die Werte des Modal Splits sind der Studie „Klimafreundlich einkaufen“ (DCTI, 2015) entnommen und gelten für den Käufertyp 1 „Die Modernen“.

Im Basisszenario setzt sich der Modal Split wie folgt zusammen:

- 57 Prozent PKW
- 21 Prozent Fuß & Rad
- 22 Prozent ÖPNV

In Szenario 4.2 wird einmal angenommen, dass alle Kunden den PKW benutzen, um ihre Einkäufe zu erledigen (100 Prozent PKW) und einmal, dass alle Kunden emissionsfreie Verkehrsmittel dafür verwenden. Dazu zählen zu Fuß gehen, Radfahren und E-Mobilität. Die spezifischen Emissionen des PKW werden mit 142 Gramm $CO_2$e pro Kilometer angenommen.

**Ergebnisse Verkehrsmittelwahl Kunde**

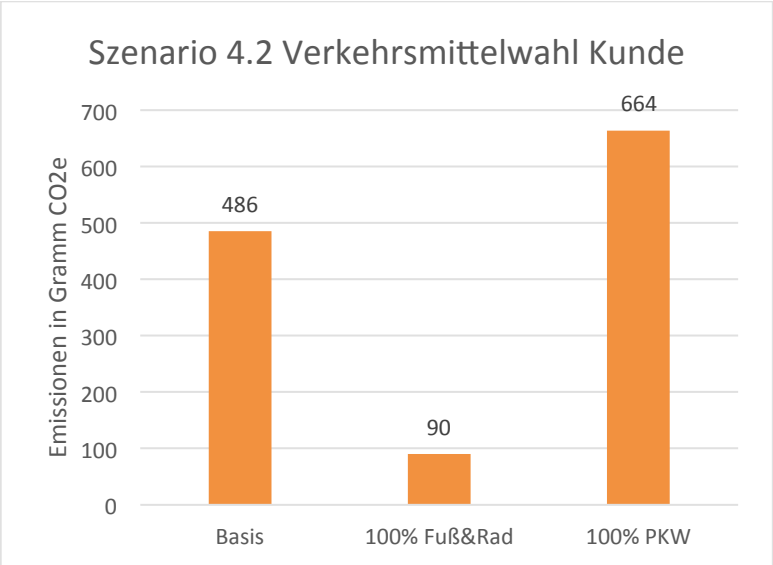


*Abbildung 36: Ergebnisse Szenario 4.2*

Abbildung 36 zeigt die Ergebnisse aus Szenario 4.2. Im Basisszenario verursacht ein Einkauf im stationären Handel 486 Gramm $CO_2$e.

Verwenden alle Kunden den PKW, um ihre Einkäufe im stationären Handel zu erledigen, ergeben sich Emissionen von 664 Gramm $CO_2$e. Das sind 37 Prozent mehr als im Basisszenario.

Wird der Weg emissionsfrei zurückgelegt (Fuß, Rad, E-Mobilität), so ergeben sich für einen Artikel im stationären Handel 90 Gramm $CO_2$e. Das sind 19 Prozent der Emissionen des Basisszenarios.

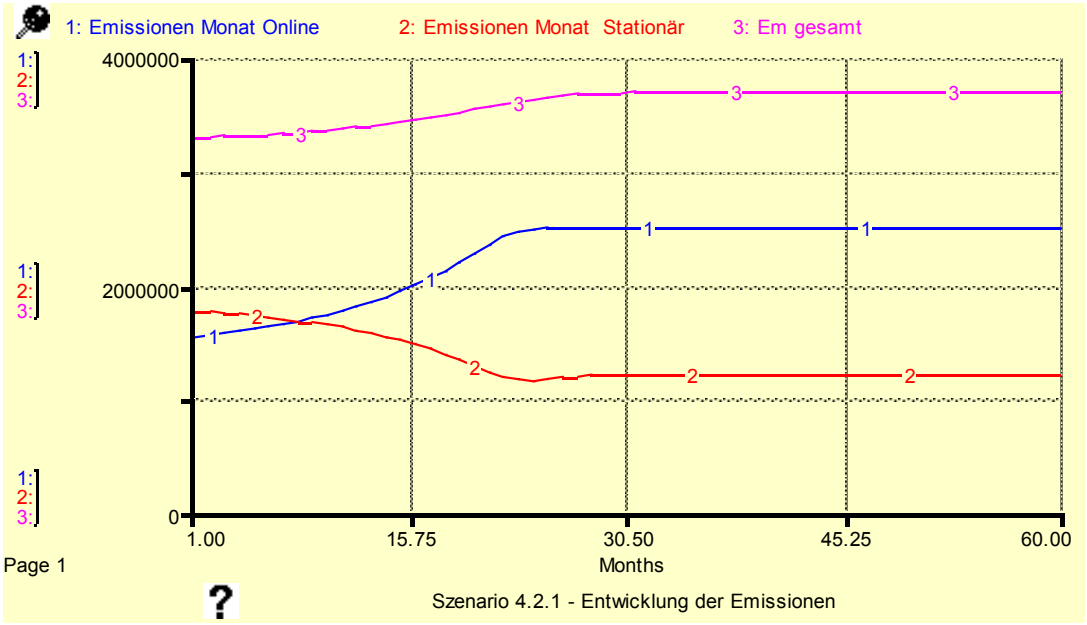


*Abbildung 37: Szenario 4.2.1 - Entwicklung der Emissionen*

Abbildung 37 zeigt die Entwicklung der Emissionen, wenn alle Kunden den PKW für ihren Einkaufsweg verwenden. Dadurch entstehen 664 Gramm CO2e pro Einkauf was auch deutliche Auswirkungen auf die monatlichen Emissionen des stationären Handels hat und somit auch auf die Gesamtemissionen.

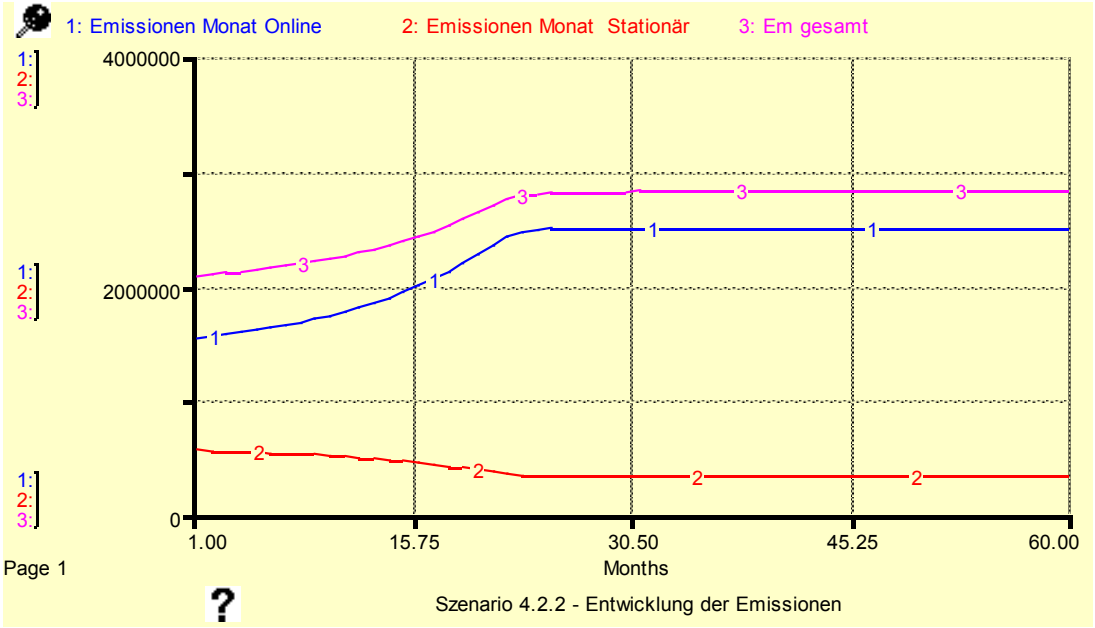


*Abbildung 38: Szenario 4.2.2 - Entwicklung der Emissionen*

Abbildung 38 zeigt die Entwicklung der Emissionen, wenn alle Kunden für ihren Einkaufsweg emissionsfreie Fahrzeuge verwenden. Dadurch entstehen Emissionen pro Einkaufsweg von nur 90 Gramm CO2e, was sich auch in den monatlichen Gesamtemissionen zeigt. Hier ist ersichtlich, dass der Onlinehandel in diesem Szenario für einen Großteil der Emissionen verantwortlich ist.

In Szenario 4.1 und 4.2 wurde deutlich welche Auswirkungen die Wahl der Verkehrsmittel auf die Emissionen hat. Besonders stark zeigen sich diese Auswirkungen auf der letzten Meile, da hier nur geringe Mengen transportiert werden und somit die Emissionen pro Paket stark beeinflusst werden.

## 5.5 Szenario 5 – Retouren

Im Szenario 5 wird die Retourenquote variiert. Retourenprozesse werden in Kapitel 2.4 genau erläutert. Wie Retouren im Modell behandelt werden, ist in Kapitel 4.2.3.3 nachzulesen. Die Mischform zwischen Onlinehandel und stationärem Handel, Click & Collect, wird in Szenario 6 behandelt. Für die Modellierung wird die Retourenquote zwischen 0 und 70 Prozent variiert. Als Basis dient dabei Szenario 1. Die Retourenquoten im Basisszenario sind 27,5 Prozent im Onlinehandel und 1,9 Prozent im stationären Handel.

### 5.5.1 Ergebnisse Szenario 5 – Retouren

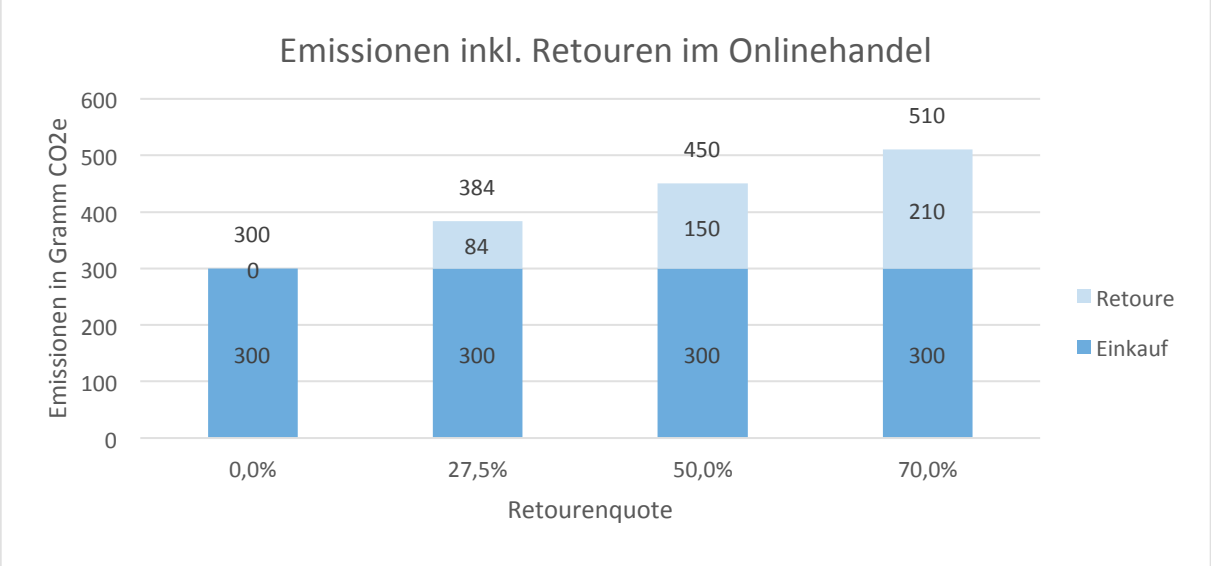


*Abbildung 39: Emissionen inklusive Retouren im Onlinehandel*

Aus Abbildung 39 wird deutlich, dass mit zunehmender Retourenquote die Emissionen stark zunehmen. Bei einer Retourenquote von 70 Prozent haben die Retouren einen Anteil von 41 Prozent an den Gesamtemissionen. Eine Verringerung der Retourenquote hat also großen Einfluss auf die Wege, die zurückgelegt werden müssen und die daraus folgenden Emissionen. Bei 0 Prozent Retourenquote entstehen 22 Prozent weniger Emissionen im Vergleich zum Basisszenario. Bei einer Retourenquote von 50 Prozent, sind die Retouren für ein Drittel der Gesamtemissionen verantwortlich.

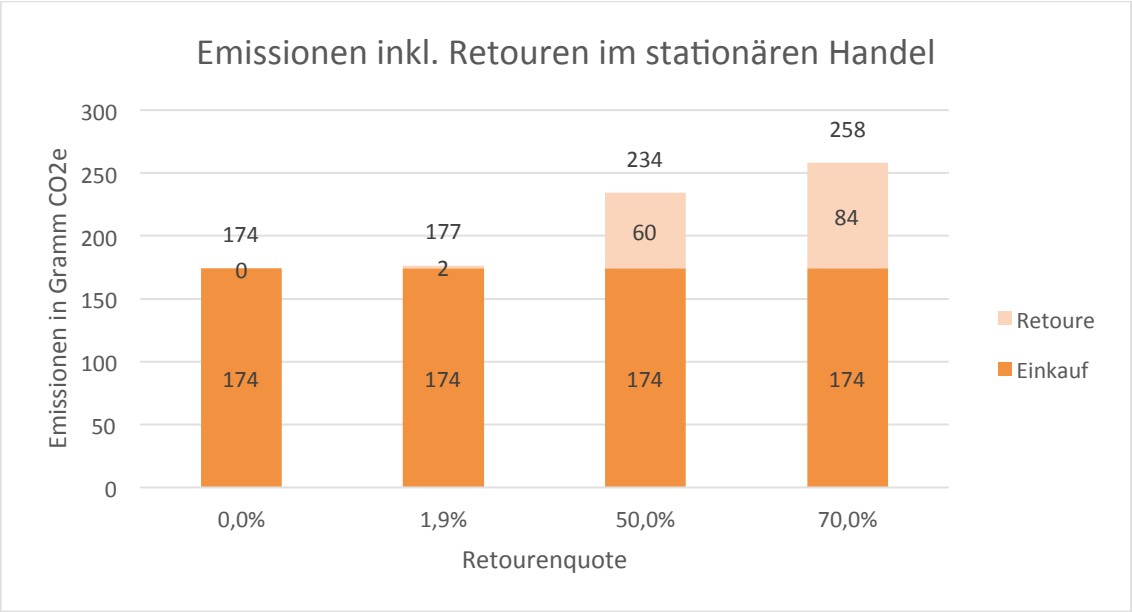


*Abbildung 40: Emissionen inklusive Retouren im stationären Handel*

Abbildung 40 zeigt die Emissionen des stationären Handels mit verschiedenen Retourenquoten. Im Basisszenario beträgt die Retourenquote nur 1,9 Prozent, somit entstehen auch wenig CO2e-Emissionen daraus. Erhöht sich die Retourenquote allerdings, sind auch hier deutliche Auswirkungen auf die Gesamtemissionen beobachtbar. Im stationären Handel sind durch das unmittelbare Ansehen der Ware vor dem Kauf jedoch weiterhin geringe Retourenquoten wie im Basisszenario zu erwarten.

Im Folgenden wird die Entwicklung der Emissionen im Onlinehandel unter dem Einfluss verschiedener Retourenquoten untersucht.

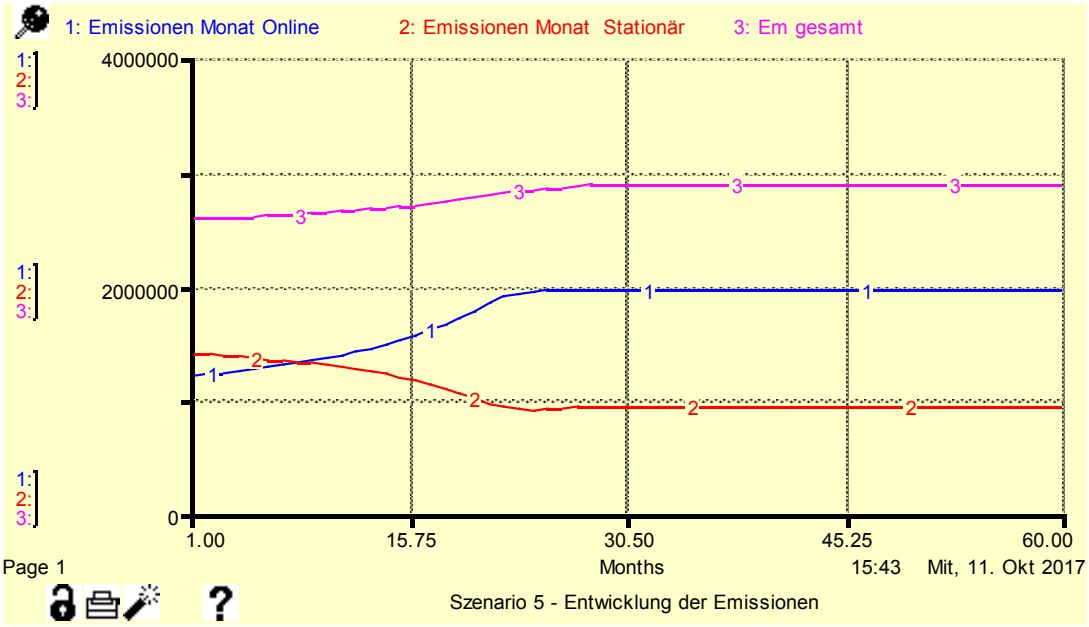


*Abbildung 41: Szenario 5 - Entwicklung der Emissionen bei 0% Retourenquote*

In Abbildung 41 ist die Entwicklung der Emissionen zu sehen, wenn keine Lieferung im Onlinehandel retourniert wird, die Retourenquote also bei 0 Prozent liegt. Da dadurch keine zusätzlichen Transporte entstehen sind auch die monatlichen Emissionen des Onlinehandels mit ca. 2000 Tonnen niedriger als im Basisszenario, wo sie ca. 2500 Tonnen betragen.

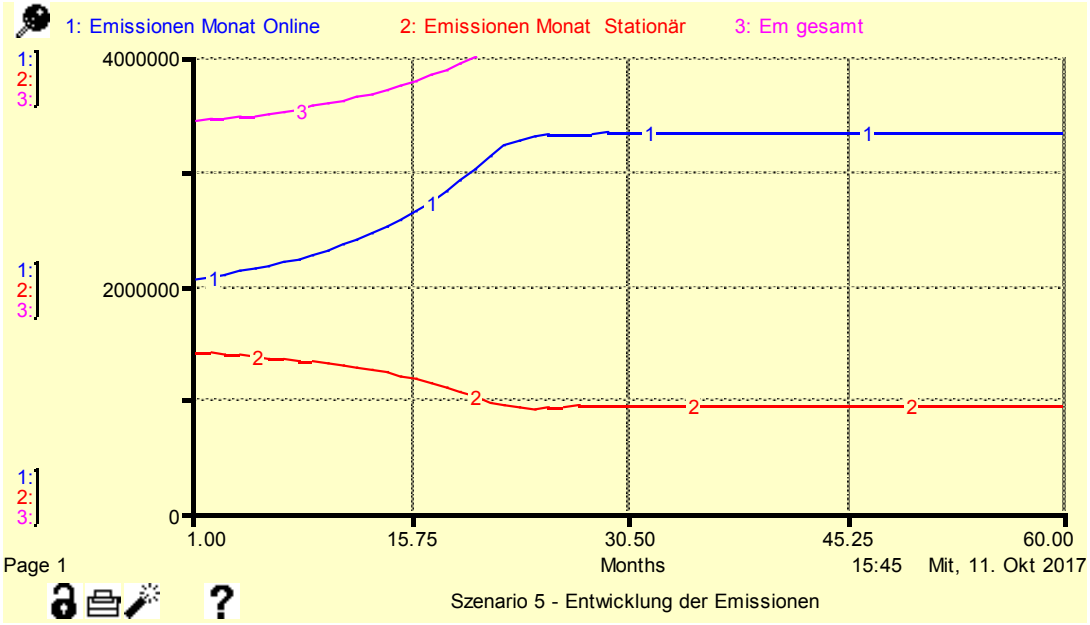


*Abbildung 42: Szenario 5 - Entwicklung der Emissionen bei 70% Retourenquote*

Abbildung 42 zeigt die Entwicklung der monatlichen Emissionen in Szenario 5 bei 70 Prozent Retourenquote. Dabei übersteigen die monatlichen Emissionen des Onlinehandels 3000 Tonnen CO2e, was auch beträchtliche Auswirkungen auf die monatlichen Gesamtemissionen hat.

## 5.6 Szenario 6 – Click & Collect

Click & Collect stellt eine Mischform zwischen Onlinehandel und stationärem Handel dar. Die Ware wird dabei online bestellt und in einer Filiale abgeholt. Click & Collect wird in Kapitel 2.3 genauer beschrieben. Da für Click & Collect keine belastbaren Daten zur Retourenquote verfügbar sind, wird diese als Mittelwert der Retourenquoten von Onlinehandel und stationärem Handel angenommen. Die Retourenquote im Szenario Click & Collect beträgt somit 14,7 Prozent.

### 5.6.1 Ergebnisse Szenario 6 – Click & Collect

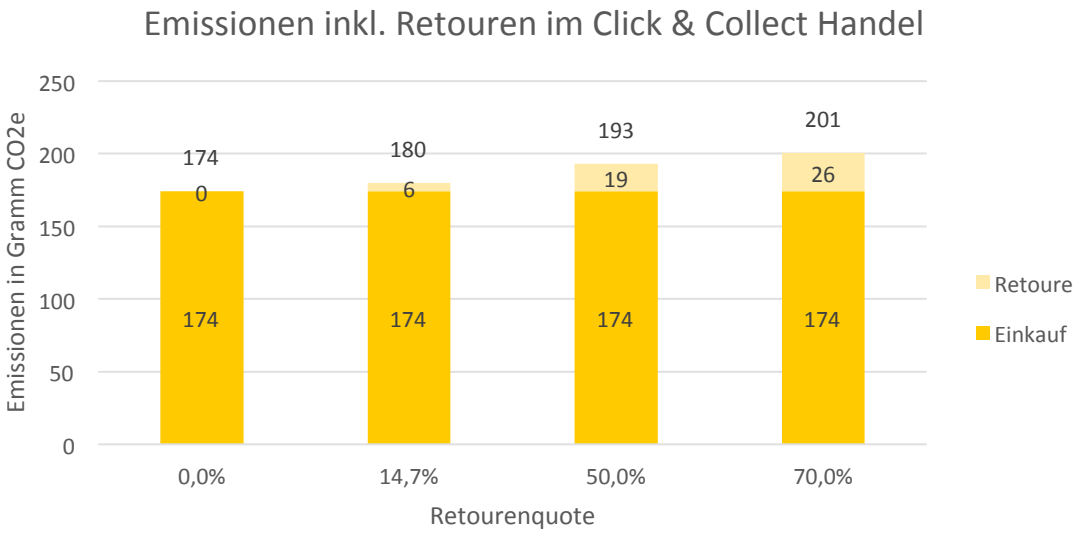


*Abbildung 43: Emissionen inklusive Retouren im stationären Handel*

Abbildung 43 zeigt die Emissionen des Click & Collect-Handels. Da die Wege im Einkauf dieselben wie im stationären Handel sind, folgen auch dieselben Emissionen daraus. Unterschiede sind jedoch in den Retouren erkennbar. So betragen die Emissionen der Retouren maximal 26 Gramm $CO_2$e, im stationären Handel bis zu 84 Gramm.

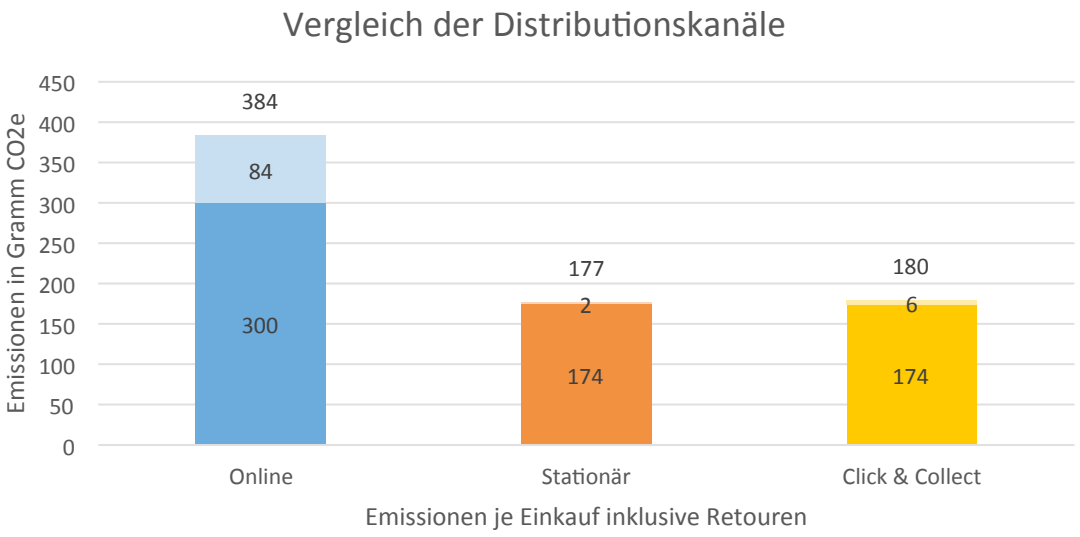


*Abbildung 44: Vergleich der Emissionen der drei Distributionskanäle*

In Abbildung 44 sind die Ergebnisse der drei untersuchten Distributionskanäle zusammengefasst. Dabei sind jeweils die Emissionen abgebildet, die bei einem Einkauf über den jeweiligen Kanal entstehen. Onlinehandel verursacht pro Einkauf mit 384 Gramm $CO_2$e die meisten Emissionen, der stationäre Handel 177 Gramm und der Click & Collect-Handel 180 Gramm CO2e-Emissionen pro Einkauf. Der Unterschied zwischen stationärem und Click

& Collect-Handel ist darin begründet, dass bei Click & Collect eine höhere Retourenquote angenommen wird.

# 6 Diskussion

Das Ziel dieser Arbeit ist die Umweltauswirkungen des Onlinehandels im Vergleich zum stationären Handel zu beleuchten. Durch die europäischen Klimaziele und das Wachstum des Onlinehandels stellt sich die Frage nach den Emissionswirkungen desselben. Die Modellierung des Systems zeigte verschiedene Ergebnisse. Eine allgemein gültige Aussage über die „klimafreundlichere“ Einkaufsart kann nicht getroffen werden. Einzelne Einflussfaktoren beeinflussen die Ergebnisse stark. Dies fügt sich in die Ergebnisse anderer Studien ein (bspw. DCTI, 2015; Mangiaracina et al., 2016; van Loon et al., 2015; Edwards et al., 2010).

Eine zentrale Frage war, welche Faktoren Einfluss auf die Entwicklung der Emissionen haben. Hier wurden mehrere Hebelwirkungspunkte identifiziert. Es zeigt sich, dass der Transport auf dem letzten Weg, also die letzte Meile, besonders großen Einfluss auf das Ergebnis hat. Dieser, auch als „Last Mile“ bezeichnete, Abschnitt birgt großes Potential die Gesamtemissionen zu reduzieren. Als Hebelwirkungspunkte wurden die Transportdistanz, die Anzahl der transportierten Pakete, das benutzte Transportmittel und die Retourenquote identifiziert. Werden hier Änderungen erzielt, hat dies überproportional großen Einfluss auf die Emissionen der gesamten Lieferkette. Durch die Modellierung verschiedener Szenarien konnte dieser Einfluss gezeigt werden.

Szenario 1 bildet das Basisszenario. Hierfür wurden Referenzdaten eines deutschen Unternehmens herangezogen. Diese wurden für die folgenden Szenarien variiert um verschiedene Gegebenheiten abzubilden. Szenario 1 zeigt einen Vorteil des stationären Handels bezüglich der verursachten Treibhausgasemissionen.

Für die folgenden Szenarien wurde der Struktureffekt mithilfe der Methode System Dynamics modelliert. Der Struktureffekt bezeichnet das Schließen von Filialen im stationären Handel durch verringerte Einkäufe. Da dadurch die Distanzen der Kunden zu den Filialen steigen, verliert der stationäre Handel an Attraktivität und die Anzahl der Einkäufe sinkt weiter. Dadurch ergibt sich ein verstärkender Kreislauf, der zu einer Verschiebung der Einkäufe von stationärem Handel zu Onlinehandel führt. Infolge der größeren Transportdistanzen steigen auch die Emissionen im stationären Handel. Die Emissionen verändern sich im Zeitverlauf also und der Struktureffekt wird sichtbar.

In Szenario 3 wird die Transportdistanz des letzten Weges variiert. Dies bildet die unterschiedliche Filialdichte und die Distanzen für städtischen und ländlichen Raum ab. Das Ergebnis dieses Szenarios ist, dass in der Stadt ein Einkauf im stationären Handel aus Klimasicht vorteilhafter ist als im Onlinehandel. Im ländlichen Raum ist es aufgrund der größeren Transportdistanzen und der geringeren Filialdichte des Einzelhandels umgekehrt. Hier verursacht ein Kauf im stationären Handel mehr Emissionen als eine Bestellung im Onlinehandel.

In Szenario 4 wurde die Auswirkung verschiedener Transportmittel auf die Emissionen gezeigt. Erfolgt die Zustellung der Waren an die Kunden auf dem letzten Weg emissionsfrei, so verringern sich die Gesamtemissionen für eine Lieferung um 54 Prozent. Die emissionsfreie Zustellung kann zu Fuß, per Rad oder anderen emissionsfreien Zustellfahrzeugen erfolgen. Auch die Variation der von den Kunden gewählten Transportmittel zeigte große Auswirkungen. Durch die geringe Anzahl an transportierten Waren auf diesem Weg zeigen Änderungen in der Verkehrsmittelzusammensetzung (Modal Split) hier große Auswirkungen. Benutzen Kunden auf dem Weg zur Filiale des stationären Handels nur emissionsfreie Fahrzeuge oder gehen zu Fuß, so stellt dies eine Verringerung der Gesamtemissionen um mehr als 80 Prozent gegenüber dem Basisszenario dar, in dem 57 Prozent den PKW und 22 Prozent den öffentlichen Verkehr verwenden. Benutzen hingegen alle Kunden den PKW, um ihre Einkäufe zu erledigen, so bedeutet dies eine 33-prozentige Steigerung der Emissionen gegenüber dem Basisszenario. Auch hier zeigt sich der große Einfluss der letzten Meile auf die Gesamtemissionen der Lieferkette.

Da Retourenprozesse in der öffentlichen Meinung als Hauptargument für die vermeintliche Klimaschädlichkeit des Onlinehandels gesehen werden, wurde dies in Szenario 5 untersucht. Hierfür wurde die Retourenquote variiert, um so den Einfluss auf die Gesamtemissionen zu untersuchen. Dabei zeigte sich, dass Retouren tatsächlich maßgeblichen Einfluss haben. So nimmt bei einer 70-prozentigen Retourenquote, wie sie in der Bekleidungsbranche vorkommt, der Anteil der Retouren an den Gesamtemissionen 40 Prozent ein. Eine Reduzierung der Retouren hat also neben Kostenvorteilen für ein Unternehmen auch positive Wirkungen auf dieEmission von Treibhausgasen.

Szenario 6 beleuchtet schließlich die Emissionen von Click & Collect. Dieser Vertriebsweg ist eine Mischform von Onlinehandel und stationärem Handel, da Waren hier online bestellt und in einer Filiale des stationären Handels abgeholt werden. Dies hat insbesondere Einfluss auf die Emissionen der Retouren, da die Ware im Falle einer Retoure sofort nach Erhalt zurückgegeben werden kann und diese über den Weg des stationären Handels zurück in das Zentrallager des Unternehmens gebracht wird. Dies vermeidet den Weg des Kunden zur Filiale oder die Abholung der Ware durch einen Paketdienst. Dadurch können Emissionen vermieden werden.

Im Basisszenario ist der Einkauf im stationären Handel derjenige Vertriebsweg, der am wenigsten Emissionen verursacht. Durch den großen Einfluss einzelner Faktoren und die Wichtigkeit der letzten Meile kann durch Änderungen dieser Faktoren das Ergebnis stark beeinflusst werden. Das Ergebnis ist also nicht als allgemein gültig anzusehen, sondern von den Rahmenbedingungen abhängig. Das für die Arbeit erstellte Modell ist generisch, es kann für verschiedene Verwendungszwecke angepasst werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Transportprozesse vom Zentrallager eines Unternehmens bis zur Lieferung der Ware an die Kunden betrachtet. Dabei wurde jedoch

nicht nach Branche oder Produktart unterschieden. Die Modellierung von Konkurrenzsituationen oder anderen Nebenwirkungen würde den Rahmen dieser Arbeit übersteigen. Die Arbeit konzentriert sich auf ökologische Auswirkungen im Sinne von Treibhausgasemissionen, ökonomische oder soziale Auswirkungen bleiben unberücksichtigt.

Die Forschungsfragen konnten beantwortet werden. Die Ergebnisse der Arbeit sind in ihrem Kontext zu sehen. Durch die Variation der Eingangsparameter kann das Modell an die jeweilige Fragestellung angepasst werden und so exakte Ergebnisse dafür liefern. Es wurden einige Hebelwirkungspunkte, die das Ergebnis stark beeinflussen, identifiziert. Dazu zählen insbesondere Faktoren, die Auswirkungen auf die letzte Meile haben.

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Produktlebenszyklus inkl. Logistikprozessen. Quelle: DCTI, 2015, S. 26. ..... 25

Abbildung 2: Beurteilung verschiedener Verkehrsträger (Hertel et al., 2011, S. 196) ..... 28

Abbildung 3: Darstellung eines Direktverkehrsnetzes (a) und eines Single-Hub-and-Spoke-Netzes (b) (Arnold, 2008, S. 784). ..... 32

Abbildung 4: Darstellung eines Feederhub-Transportnetzes (dreistufige Hubstruktur). (Arnold, 2008, S. 785). ..... 33

Abbildung 5: Logistikprozess im Onlinehandel (verändert nach DCTI, 2015, S. 33) ..... 35

Abbildung 6: Logistikprozess im stationären Einzelhandel (verändert nach DCTI, 2015, S. 36) ..... 37

Abbildung 7: Darstellung von Bestand und Fluss in STELLA. Eigene Darstellung. ..... 43

Abbildung 8: Systemarchetypen dynamischer Systeme. Quelle: Sterman, 2009, S. 108) ..... 44

Abbildung 9: Archetyp Limits to Growth. Quelle: (Senge, 2006, S. 390). ..... 46

Abbildung 10: S-förmiges Wachstum. Verhaltensmuster und Struktur (System Dynamics Society, o. J.) ..... 46

Abbildung 11: Lieferkette des Onlinehandels (verändert nach DCTI, 2015, S. 33). ..... 48

Abbildung 12: Lieferkette des stationären Einzelhandels (verändert nach DCTI, 2015, S. 36). ..... 48

Abbildung 13: Causal Loop Diagramm des Modells ..... 51

Abbildung 14: Das Stock & Flow-Diagramm des Modells ..... 53

Abbildung 15: Stock& Flow Diagramm des Archetyps ..... 54

Abbildung 16: Empfundene Gefahr Stationär ..... 55

Abbildung 15: Stock & Flow-Diagramm des Struktureffekts ..... 59

Abbildung 16: Causal Loop Diagramm des Struktureffekts ..... 59

Abbildung 19: Entfernungsfunktion Filiale-Kunden verändert nach Fikar et al., 2017. ..... 60

Abbildung 20: Entfernungsfaktor abhängig von der Transportdistanz ..... 61

Abbildung 21: Emissionen je Artikel im Onlinehandel bzw. stationären Handel ..... 65

Abbildung 22: Emissionen nach Wegen im Onlinehandel ..... 65

Abbildung 23: Emissionen nach Wegen im stationären Handel ..... 66

Abbildung 24: Szenario 1 - Entwicklung der Emissionen ..... 66

Abbildung 25: Struktureffekt – Marktentwicklung ..... 67

Abbildung 26: Entwicklung der Emissionen je Artikel - Szenario Struktureffekt ..... 68

Abbildung 27: Szenario 2- Entwicklung der Emissionen ..... 68

Abbildung 28: Ergebnisse Szenario 3 Kundendichte ..... 69

Abbildung 29: Ergebnis Szenario 3 Kundendichte - Variation der Entfernung zur Filiale ..... 70

Abbildung 30: Ergebnis Szenario 3 - Entwicklung Szenario Stadt ..... 70

Abbildung 31: Ergebnis Szenario 3 - Entwicklung der Emissionen je Artikel Szenario Stadt 71

Abbildung 32: Ergebnis Szenario 3 - Entwicklung Szenario Land ..... 71
Abbildung 33: Ergebnis Szenario 3 - Entwicklung der Emissionen je Artikel Szenario Land. 72
Abbildung 34: Ergebnis Szenario 4.1 Emissionsfreie Zustellung auf der letzten Meile ..... 73
Abbildung 35: Szenario 4.1 - Entwicklung der Emissionen ..... 73
Abbildung 36: Ergebnisse Szenario 4.2 ..... 74
Abbildung 37: Szenario 4.2.1 - Entwicklung der Emissionen ..... 75
Abbildung 38: Szenario 4.2.2 - Entwicklung der Emissionen ..... 75
Abbildung 39: Emissionen inklusive Retouren im Onlinehandel ..... 76
Abbildung 40: Emissionen inklusive Retouren im stationären Handel ..... 77
Abbildung 41: Szenario 5 - Entwicklung der Emissionen bei 0% Retourenquote ..... 77
Abbildung 42: Szenario 5 - Entwicklung der Emissionen bei 70% Retourenquote ..... 78
Abbildung 43: Emissionen inklusive Retouren im stationären Handel ..... 79
Abbildung 44: Vergleich der Emissionen der drei Distributionskanäle ..... 79

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Umrechnungsfaktoren für die Berechnung der Treibhausgasemissionen (berechnet als $CO_2$-Äquivalente) nach EN 16258. Eigene Darstellung nach Schmied & Knörr, 2013, S. 28.. ..... 29

Tabelle 2: Verbrauchsdaten der eingesetzten Lieferfahrzeuge ..... 29

Tabelle 3: Spezifische Emissionen der von den Kunden benutzten Transportmittel in Kilogramm $CO_2$e pro Kilometer ..... 30

Tabelle 4: Logistik-Annahmen im Onlinehandel. Eigene Darstellung nach DCTI 2015, S.70. ..... 36

Tabelle 5: Logistik-Annahmen im stationären Handel. Eigene Darstellung nach DCTI 2015, S.76 ..... 37

Tabelle 6: Model Boundary Chart für das Modell ..... 49

Tabelle 7: Beispiele für die Entfernung Filiale-Kunde ..... 60

Tabelle 8: Für die Modellierung verwendete Daten von Käufertyp 1. Quelle: Eigene Darstellung nach DCTI 2015 ..... 64

# Literaturverzeichnis


Arnold, D. (Hrsg.). (2008). *Handbuch Logistik* (VDI-[Buch]) (3., neu bearb. Aufl.). Berlin: Springer.

Aschauer, G., Gronalt, M. & Mandl, C. (2015). Modelling interrelationships between logistics and transportation operations – a system dynamics approach. *Management Research Review*, *38* (5), 505–539. doi:10.1108/MRR-11-2013-0271

Aschauer, G. J. (2013). *Systemdynamische Betrachtung von Wechselwirkungen zwischen Logistikstrategien und Güterverkehrsaufkommen*. Wien: Universität für Bodenkultur Wien.

AWS (Hrsg.). (2006). Aufgaben und Vielfalt des Handels. Arbeitsgemeinschaft Wirtschaft und Schule (AWS).

Barlas, Y. (1996). Formal aspects of model validity and validation in system dynamics. *System Dynamics Review*, *12* (3), 183–210.

Behdani, B., Fan, Y., Wiegmans, B. & Zuidwijk, R. (2014). Multimodal Schedule Design for Synchromodal Freight Transport Systems. *SSRN Electronic Journal*. doi:10.2139/ssrn.2438851

bizrate insights. (2016, Juni). What Shoppers Really Want From In-Store Pick-up.

BMVIT (Hrsg.). (2012). *Gesamtverkehrsplan für Österreich*. Wien: bmvit – Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.

Braun, W. (2002). The System Archetypes. University at Albany, State University of New York.

Bundesverband Paket und Expresslogistik. (2016). KEP-Studie 2016 – Analyse des Marktes in Deutschland. Bundesverband Paket und Expresslogistik e. V.

DCTI. (2015). *Klimafreundlich Einkaufen – Eine vergleichende Betrachtung von Onlinehandel und stationärem Einzelhandel*.

E-Commerce-Center Köln (Hrsg.). (2001). *Die Begriffe des eCommerce: ein Wörterbuch für „old“ und „new economists“* (Internet). Frankfurt am Main: FAZ-Inst. für Management-, Markt- und Medieninformationen.

E-Commerce-Center Köln. (2015, Mai 8). Click und Collect: Von Konsumentenwünschen und Kommunikationslücken. Zugriff am 17.5.2017. Verfügbar unter: https://www.ifhkoeln.de/blog/details/click-und-collect-von-konsumentenwuenschen-und-kommunikationsluecken/

Economic Commission for Europe (UN/ECE). (2001). TERMINOLOGIE DES KOMBINIERTEN VERKEHRS. UNITED NATIONS.

Edwards, J. B., Alan C. McKinnon & Sharon L. Cullinane. (2010). Comparative analysis of the carbon footprints of conventional and online retailing: A “last mile” perspective. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, *40* (1/2), 103–123. doi:10.1108/09600031011018055

EHI Retail Institute (Hrsg.). (2016). *Versand- und Retourenmanagement im E-Commerce 2016*. Köln.

Fern- und Auswärtsgeschäfte-Gesetz. (2014, Juni 13). *Fern- und Auswärtsgeschäfte-Gesetz*.

Fikar, C., Hirsch, P. & Gronalt, M. (2017). A decision support system to investigate dynamic last-mile distribution facilitating cargo-bikes. Technical Report. Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Produktionswirtschaft und Logistik.

Forrester, J. (1971). *World Dynamics*. Pegasus Communications.

Gabler Wirtschaftslexikon. (o. J.). Definition stationärer Handel. Zugriff am 4.6.2017. Verfügbar unter: http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/56464/stationaerer-handel-v6.html

Gudehus, T. (2004). *Logistik. Grundlagen, Strategien, Anwendungen. 2., aktualisierte und erw. Aufl* (Engineering online library). Berlin: Springer.

Haase, K. & Hoppe, M. (2008). Transportnetzgestaltung für Paketdienstleister. *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, *78* (9), 857. doi:10.1007/s11573-008-0050-y

Hertel, J., Zentes, J. & Schramm-Klein, H. (2011). *Supply-Chain-Management und Warenwirtschaftssysteme im Handel* (2., und aktualisierte Aufl.). Berlin: Springer.

ibi research (Hrsg.). (2013). *Retourenmanagement im Online-Handel – Das Beste daraus machen*. Regensburg: ibi research an der Universität Regensburg GmbH.

isee Systems. (2016, März 9). Limits to Growth. Zugriff am 18.5.2017. Verfügbar unter: http://blog.iseesystems.com/stella-ithink/limits-to-growth/

Jackson, M. C. (2001). Critical systems thinking and practice. *Complex Societal Problems*, *128* (2), 233–244. doi:10.1016/S0377-2217(00)00067-9

KMU Forschung Austria. (2016). Konjunkturentwicklung im Einzelhandel 2015.

Kock, S. (2010). *Chancen und Risiken von Brick&Click: Multi-Channel-Marketing im Bekleidungseinzelhandel* (Recht - Wirtschaft - Steuern) (Aufl. 2010.). Hamburg: Igel Verl.

Laghaei, J., Faghri, A. & Li, M. (2016). Impacts of home shopping on vehicle operations and greenhouse gas emissions: multi-year regional study. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, *23* (5), 381–391. doi:10.1080/13504509.2015.1124471

Locafox. (2017, Mai 17). Was ist Click & Collect? Handelsblog, . Zugriff am 17.5.2017. Verfügbar unter: https://www.locafox.de/blog/glossar/click-and-collect/

van Loon, P., Deketele, L., Dewaele, J., McKinnon, A. & Rutherford, C. (2015). A comparative analysis of carbon emissions from online retailing of fast moving consumer goods. *Bridges for a more sustainable future: Joining Environmental Management for Sustainable Universities (EMSU) and the European Roundtable for Sustainable Consumption and Production (ERSCP) conferences*, *106*, 478–486. doi:10.1016/j.jclepro.2014.06.060

Mangiaracina, R., Perego, A., Perotti, S. & Tumino, A. (2016). Assessing the environmental impact of logistics in online and offline B2C purchasing processes in the apparel industry. *International Journal of Logistics Systems and Management*, *23* (1), 98. doi:10.1504/IJLSM.2016.073300

McKinnon, A. C. (Hrsg.). (2015). *Green logistics: improving the environmental sustainability of logistics* (Third edition.). London ; Philadelphia: Kogan Page.

Meadows, D. H. (2010). *Die Grenzen des Denkens: wie wir sie mit System erkennen und überwinden können*. München: oekom-Verl.

Pfohl, H.-C. (2010). *Logistiksysteme: betriebswirtschaftliche Grundlagen* (8., neu bearb. und aktualisierte Aufl.). Berlin: Springer.

Posset, M. (2013). Vorlesung Intermodaler Verkehr. Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Produktionswirtschaft und Logistik.

RegioData. (2016, Januar 6). Stationäre Fläche in Österreich kämpft um Ihre Anteile. Zugriff am 29.5.2017. Verfügbar unter: http://www.regiodata.eu/de/news/993-stationaere-flaeche-in-oesterreich-kaempft-um-ihre-anteile

RegioData. (2017, März 27). Österreich: Traditionelle Handelszonen verlieren kontinuierlich Marktanteile. Zugriff am 29.5.2017. Verfügbar unter: http://www.regiodata.eu/de/news/1043-oesterreich-traditionelle-handelszonen-verlieren-kontinuierlich-marktanteile

van Riessen, B., Negenborn, R. R. & Dekker, R. (2015). Synchromodal Container Transportation: An Overview of Current Topics and Research Opportunities. In F. Corman, S. Voß & R.R. Negenborn (Hrsg.), *Computational Logistics* (Band 9335, S.

386–397). Cham: Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-319-24264-4_27

Schmied, M. & Knörr, W. (2013). Leitfaden Berechnung von Treibhausgasemissionen in Spedition und Logistik gemäß DIN EN 16258. (DSLV Deutscher Speditions- und Logistikverband e.V., Hrsg.).

Schramm-Klein, H. (2006). Multi-Channel-Retailing. In J. Zentes (Hrsg.), *Handbuch Handel* (S. 501–522). Wiesbaden: Gabler. doi:10.1007/978-3-8349-9160-7_24

Senge, P. M. (2006). *The fifth discipline: the art and practice of the learning organization* (Rev. and updated.). New York: Doubleday/Currency.

Senge, P. M., Kleiner, A., Roberts, C., Ross, R. B. & Smith, B. J. (1996). *Das Fieldbook zur fünften Disziplin* (Management - Die blaue Reihe) (5. Aufl.). Stuttgart: Klett-Cotta.

Sterman, J. D. (2009). *Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world* (Nachdr.). Boston: Irwin/McGraw-Hill.

Stoll, K. (2016). *Die Umweltrelevanz von Onlinehandel im Vergleich zu stationärem Handel mit Fokus auf die Abfallwirtschaft*. Wien: Universität für Bodenkultur Wien.

System Dynamics Society. (o. J.). S-Shaped Growth. Zugriff am 22.5.2017. Verfügbar unter: https://www.systemdynamics.org/DL-IntroSysDyn/sshp.htm

Sywottek, C. (2016). Rolle rückwärts - Für Onlinehändler sind Retouren ein Graus. Für Logistiker sind sie ein Geschäft. *brand eins*, (03/2016).

Vlachos, D., Georgiadis, P. & Iakovou, E. (2007). A system dynamics model for dynamic capacity planning of remanufacturing in closed-loop supply chains. *Computers & Operations Research*, *34* (2), 367–394. doi:10.1016/j.cor.2005.03.005

Voithofer, P. & Gittenberger, E. (2007). *Der österreichische Handel 2006: Daten - Fakten - Analysen*. Frankfurt: Lang, Peter, Gmbh, Intern.

Walsh, G. & Möhring. (2015). Wider den Retourenwahnsinn. *Harvard Business Manager*, (Heft 3/2015), 6.

White, L. & Lee, G. J. (2009). Operational research and sustainable development: Tackling the social dimension. *European Journal of Operational Research*, *193* (3), 683–692. doi:10.1016/j.ejor.2007.06.057

Wiese, A., Toporowski, W. & Zielke, S. (2012). Transport-related CO2 effects of online and brick-and-mortar shopping: A comparison and sensitivity analysis of clothing retailing. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *17* (6), 473–477. doi:10.1016/j.trd.2012.05.007

Wirtschaftslexikon24. (o. J.). Stationärer Einzelhandel - Wirtschaftslexikon. Zugriff am 4.6.2017. Verfügbar unter: http://www.wirtschaftslexikon24.com/e/station%C3%A4rer-einzelhandel/station%C3%A4rer-einzelhandel.htm

Zentes, J. & Schramm-Klein, H. (2008). Neue Anforderungen an die Handelslogistik – Implikationen aus Theorie und Praxis mit besonderem Fokus auf Multi-Channel-Systeme des Handels. Berlin: Institut für Handel & Internationales Marketing (H.I.MA.) Universität des Saarlandes.

# Anhang

## Verzeichnis der Formeln des Modells

```
Emissionen_Online(t) = Emissionen_Online(t - dt) + (Emissionen_Monat_Online) * dt
INIT Emissionen_Online = Emissionen_Monat_Online
INFLOWS:
Emissionen_Monat_Online = Bestellungen_Online*Summe_Emission_je__Artikel_Online
Emissionen_Stationär(t) = Emissionen_Stationär(t - dt) +
(Emissionen_Monat__Stationär) * dt
INIT Emissionen_Stationär = Emissionen_Monat__Stationär
INFLOWS:
Emissionen_Monat__Stationär =
Bestellungen_Stationär*Summe_Emission_je__Artikel_Stationär
Marktanteil_Online(t) = Marktanteil_Online(t - dt) + (Aktivitäten_Online -
Aktivitäten_Stationär) * dt
INIT Marktanteil_Online = 40
INFLOWS:
Aktivitäten_Online =  .1*Marktanteil_Online + Online_Impuls
OUTFLOWS:
Aktivitäten_Stationär = 4+Empfundene_Gefahr_Stationär+Entfernungsfaktor
Anteil[Online_1] = 0.33
Anteil[Online_2] = 1
Anteil[Online_3] = 0.95
Anteil[Online_4] = 0.05
Anteil[Online_5] = 0.05
Anteil[Online_6] = 0.9
Anteil[Online_7] = 0.1
Anteil[Stat_1] = 1
Anteil[Stat_2] = 1
Anteil[Stat_3] = 1
Bestellmenge = 2.4
Bestellungen = 10000000
Bestellungen_Online = Marktanteil_Online/100*Bestellungen
Bestellungen_Stationär = (1-Marktanteil_Online/100)*Bestellungen
Emissionen_je_Paket[Weg] = Emissionen_je_Weg[Weg]/Pakete[Weg]
Emissionen_je_Weg[Online_1] =
Transportkilometer[Online_1]*spezifische_Emissionen[Online_1]*Anteil[Online_1]
Emissionen_je_Weg[Online_2] =
Transportkilometer[Online_2]*spezifische_Emissionen[Online_2]*Anteil[Online_2]
Emissionen_je_Weg[Online_3] =
Transportkilometer[Online_3]*spezifische_Emissionen[Online_3]*Anteil[Online_3]
Emissionen_je_Weg[Online_4] =
Transportkilometer[Online_4]*spezifische_Emissionen[Online_4]*Anteil[Online_4]
Emissionen_je_Weg[Online_5] =
Transportkilometer[Online_5]*spezifische_Emissionen[Online_5]*Anteil[Online_5]
Emissionen_je_Weg[Online_6] =
Transportkilometer[Online_6]*spezifische_Emissionen[Online_6]*Anteil[Online_6]*1.09
1557355
Emissionen_je_Weg[Online_7] =
Transportkilometer[Online_7]*spezifische_Emissionen[Online_7]*Anteil[Online_7]
Emissionen_je_Weg[Stat_1] =
Transportkilometer[Stat_1]*spezifische_Emissionen[Stat_1]*Anteil[Stat_1]
Emissionen_je_Weg[Stat_2] =
Transportkilometer[Stat_2]*spezifische_Emissionen[Stat_2]*Anteil[Stat_2]
Emissionen_je_Weg[Stat_3] =
Transportkilometer[Stat_3]*spezifische_Emissionen[Stat_3]*Anteil[Stat_3]
Emission_C&C = Emission_je_Artikel_Stationär+Emission_Retoure_C&C
Emission_je_Artikel[Online_1] = Emissionen_je_Paket[Online_1]/Bestellmenge
Emission_je_Artikel[Online_2] = Emissionen_je_Paket[Online_2]/Bestellmenge
Emission_je_Artikel[Online_3] = Emissionen_je_Paket[Online_3]/Bestellmenge
Emission_je_Artikel[Online_4] = Emissionen_je_Paket[Online_4]/Bestellmenge
Emission_je_Artikel[Online_5] = Emissionen_je_Paket[Online_5]/Bestellmenge
Emission_je_Artikel[Online_6] = Emissionen_je_Paket[Online_6]/Bestellmenge
Emission_je_Artikel[Online_7] = Emissionen_je_Paket[Online_7]/Bestellmenge
Emission_je_Artikel[Stat_1] = Emissionen_je_Paket[Stat_1]
Emission_je_Artikel[Stat_2] = Emissionen_je_Paket[Stat_2]
Emission_je_Artikel[Stat_3] = Emissionen_je_Paket[Stat_3]
Emission_je_Artikel_Online =
Emission_je_Artikel[Online_1]+Emission_je_Artikel[Online_2]+Emission_je_Artikel[Onl
```

```
ine_3]+Emission_je_Artikel[Online_4]+Emission_je_Artikel[Online_5]+Emission_je_Arti
kel[Online_6]+Emission_je_Artikel[Online_7]
Emission_je_Artikel_Stationär =
Emission_je_Artikel[Stat_1]+Emission_je_Artikel[Stat_2]+Emission_je_Artikel[Stat_3]
Emission_Retouren[Online_1] =
Emissionen_je_Weg[Online_1]*Retourenquote_Online/Pakete[Online_1]/Bestellmenge
Emission_Retouren[Online_2] =
Emissionen_je_Weg[Online_2]*Retourenquote_Online/Pakete[Online_2]/Bestellmenge
Emission_Retouren[Online_3] =
Emissionen_je_Weg[Online_3]*Retourenquote_Online/Pakete[Online_3]/Bestellmenge
Emission_Retouren[Online_4] =
Emissionen_je_Weg[Online_4]*Retourenquote_Online/Pakete[Online_4]/Bestellmenge
Emission_Retouren[Online_5] =
Emissionen_je_Weg[Online_5]*Retourenquote_Online/Pakete[Online_5]/Bestellmenge
Emission_Retouren[Online_6] =
Emissionen_je_Weg[Online_6]*Retourenquote_Online/Pakete[Online_6]/Bestellmenge
Emission_Retouren[Online_7] =
Emissionen_je_Weg[Online_7]*Retourenquote_Online/Pakete[Online_7]/Bestellmenge
Emission_Retouren[Stat_1] =
Emissionen_je_Weg[Stat_1]*Retourenquote_Stationär/Pakete[Stat_1]/Bestellmenge
Emission_Retouren[Stat_2] =
Emissionen_je_Weg[Stat_2]*Retourenquote_Stationär/Pakete[Stat_2]/Bestellmenge
Emission_Retouren[Stat_3] =
(Emissionen_je_Weg[Stat_3]/2)*Retourenquote_Stationär/Pakete[Stat_3]/Bestellmenge
Emission_Retoure_C&C = Emission_Retouren[Stat_1]+Emission_Retouren[Stat_2]
Em_gesamt = Emissionen_Monat__Stationär + Emissionen_Monat_Online
Entfernungsfaktor = 0.5^Transportkilometer[Stat_3]
Filialen = DELAY(INT(Bestellungen_Stationär/100000),5)
Online_Impuls = 0.4
Pakete[Online_1] = 1950
Pakete[Online_2] = 1919
Pakete[Online_3] = 1000
Pakete[Online_4] = 417
Pakete[Online_5] = 511
Pakete[Online_6] = 97.4
Pakete[Online_7] = 1
Pakete[Stat_1] = 4075
Pakete[Stat_2] = 2701.5
Pakete[Stat_3] = 3.5
Retourenquote_Online = 0.275
Retourenquote_Stationär = 0.019
Retoure_Online = Emission_Retouren[Online_1] + Emission_Retouren[Online_2] +
Emission_Retouren[Online_3] + Emission_Retouren[Online_4] +
Emission_Retouren[Online_5] + Emission_Retouren[Online_6] +
Emission_Retouren[Online_7]
Retoure_Stationär = Emission_Retouren[Stat_1] + Emission_Retouren[Stat_2] +
Emission_Retouren[Stat_3]
spezifische_Emissionen[Online_1] = 0.859688
spezifische_Emissionen[Online_2] = 0.859688
spezifische_Emissionen[Online_3] = 0.513716
spezifische_Emissionen[Online_4] = 0.411497
spezifische_Emissionen[Online_5] = 0.411497
spezifische_Emissionen[Online_6] = 0.411497
spezifische_Emissionen[Online_7] = 0.09816
spezifische_Emissionen[Stat_1] = 0.859688
spezifische_Emissionen[Stat_2] = 0.859688
spezifische_Emissionen[Stat_3] = 0.09816
Summe_Emission_je__Artikel_Online =
Emission_Retouren[Online_1]+Emission_Retouren[Online_2]+Emission_Retouren[Online_3]
+Emission_Retouren[Online_4]+Emission_Retouren[Online_5]+Emission_Retouren[Online_6
]+Emission_Retouren[Online_7]+Emission_je_Artikel_Online
Summe_Emission_je__Artikel_Stationär =
Emission_je_Artikel_Stationär+Emission_Retouren[Stat_1]+Emission_Retouren[Stat_2]+E
mission_Retouren[Stat_3]
Transportkilometer[Online_1] = 302
Transportkilometer[Online_2] = 372
Transportkilometer[Online_3] = 77
Transportkilometer[Online_4] = 161
Transportkilometer[Online_5] = 136
Transportkilometer[Online_6] = 94
Transportkilometer[Online_7] = 7
Transportkilometer[Stat_1] = 237
```

```
Transportkilometer[Stat_2] = 126
Transportkilometer[Stat_3] = 2*(12.494*Filialen^-0.391)
Empfundene_Gefahr_Stationär = GRAPH(Marktanteil_Online)
(0.00, 0.00), (10.0, 0.00), (20.0, 0.00), (30.0, 0.00), (40.0, 0.00), (50.0, 0.00),
(60.0, 0.00), (70.0, 5.50), (80.0, 12.5), (90.0, 24.5), (100, 46.5)
```