

MASTERTHESIS

**Fahrleistungseinsparungen durch planerische Bereitstellung
von Logistikflächen**



**BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL**

Fakultät für Architektur und Bauingenieurwesen

Lehr- und Forschungsgebiet

Güterverkehrsplanung und Transportlogistik

Prof. Dr.-Ing. Bert Leerkamp

M.Sc. Andre Thiemermann

Vorgelegt von:

Benedikt Rust 1623933 B.Sc. Verkehrswirtschaftsingenieurwesen

**zur Erlangung des akademischen Grades Master of Science (M.Sc.)
Verkehrswirtschaftsingenieurwesen**

Wuppertal, Mai 2022

Aufgabenstellung

Master-Abschlussarbeit im Studiengang Verkehrswirtschaftsingenieurwesen

Thema: Fahrleistungseinsparungen durch planerische Bereitstellung von Logistikflächen

Bearbeiter: Benedikt Rust, Matr.-Nr. 1623933

Betreuer: Prof. B. Leerkamp, M.Sc. Andre Thiemermann

Ausgabe:

Abgabe:

Aufgabenstellung

Zwei Forschungsprojekte am LuFG GUT haben u.a. das Ziel, dem auf regionaler Ebene vorliegenden Gewerbeflächenangebot konkrete Logistikfunktionen zuzuweisen, als Beitrag zu einer raumverträglicheren Logistik. Bislang wurde dies für die Metropolregion Rheinland umgesetzt. Hierzu wurde ein Bewertungsschema für Logistikpotenzialflächen entwickelt, das mit planerischen Kriterien Flächen für verschiedene Logistikstandorttypen (nach Veres-Homm et al. (2019)) qualifiziert – u.a. mit dem planerischen Ziel Fahrleistung und damit Emissionen des Güterverkehrs einzusparen. Für mehrere Metropolregionen (u.a. Paris) wurde nachgewiesen, dass die Logistik an den Ballungsraumrand wandert und dies zu steigenden Fahrleistungen bei der Ballungsraumversorgung führt (Dablanc und Rakotonarivo 2010); auch in der Metropolregion Rheinland ist dieser Trend ansatzweise zu erkennen (z. B. an umfangreichen Neuansiedlungen in Mönchengladbach).

Die vorliegende Masterarbeit hat das Ziel, das Bewertungsschema beispielhaft für die Logistikimmobilienstandorttypen Ballungsraumversorgung (Segment Lebensmitteleinzelhandel) und Netzwerkstandorte (Segment KEP-Dienstleister) im Hinblick auf seine Wirksamkeit für mögliche Fahrleistungseinsparungen zu überprüfen und ggf. Verbesserungsvorschläge zu machen.

Im Projekt ‚Güterverkehrsstudie für das Gebiet der Metropolregion Rheinland‘ wurden bereits umfangreiche Grundlagen geschaffen, die in dieser Arbeit verwendet werden sollen. Zur Überprüfung der möglichen Fahrleistungseinsparungen soll das Tool „Vehicle Routing Open-source Optimization Machine“ (VROOM) verwendet werden, mit dem Touren simuliert werden können. Ein Grundgerüst an Skripten sowie die Serverinfrastruktur zur Verwendung des Tools werden hierbei vom Lehrstuhl bereitgestellt.

Empfohlene Arbeitsschritte:

- Einarbeitung in den Stand der Forschung zum Thema Logistikimmobilienstandorte nach Veres-Homm et al. (2019)
- Einarbeitung in das im Projekt entwickelte Bewertungsschema für die in Veres-Homm et al. (2019) dargestellten Logistikimmobilienstandorte
- kurze Vorstellung des Untersuchungsraums

- umfassende Einarbeitung in die Logistikprozesse der beiden zu betrachtenden Segmente Lebensmitteleinzelhandel (für Ballungsraumversorgung) und KEP-Dienstleister (für Netzwerkstandorte)
 - zusätzlich empirische Ermittlung der Lieferantenstrukturen mittels Interviews bei betreffenden Unternehmen
- Einarbeitung in das Tool VROOM
- Modellierung von Touren in den betrachteten Segmenten
 - Recherche und Verortung von Quellen- und Zielen (Lieferanten, Netzwerk-Hubs, Logistikstandorte und Filialen) mittels OSM
 - Ermittlung der Tourenparameter und Kalibrierung des Modells mit den segmentspezifischen Charakteristika von Touren
 - Bildung von Szenarien (z. B. 1. Nutzung derzeitiger Logistikstandorte, 2. Erweiterung derzeitiger Standorte um einzelne Gunststandorte, 3. ausschließliche Nutzung ausgewiesener Gunststandorte, 4. Restriktionen bei der Tourenlänge durch verstärkte Nutzung alternativer Antriebe)
 - Ermittlung der Touren und der daraus resultierenden Fahrleistung
 - überschlagmäßige Ermittlung der Emissionen
 - Vergleich der Szenarien
- Ggf. Formulierung alternativer Anforderungen an die Qualifizierung von Logistikflächen
- Zusammenfassung und Ausblick

Mehrfache Rücksprache mit den Betreuern ist erwünscht. Die Masterarbeit ist in einfacher Ausfertigung spätestens am Tag der Abgabe beim Prüfungsamt einzureichen. Zusätzlich ist eine digitale Version am Lehr- und Forschungsgebiet Güterverkehrsplanung und Transportlogistik einzureichen. Im Übrigen wird auf den Leitfaden zur Anfertigung studentischer Arbeiten des Lehr- und Forschungsgebiets Güterverkehrsplanung und Transportlogistik verwiesen.

Die Masterarbeit oder Teile davon dürfen nur im Rahmen der schriftlichen Vereinbarung zwischen dem Verfasser und dem Lehr- und Forschungsgebiet Güterverkehrsplanung und Transportlogistik veröffentlicht und/oder verwertet werden.

Wuppertal, den 31.05.2022

Literaturverzeichnis

Dablanc, Laetitia; Rakotonarivo, Dina (2010): The impacts of logistics sprawl: How does the location of parcel transport terminals affect the energy efficiency of goods' movements in Paris and what can we do about it? In: *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 2 (3), S. 6087–6096. DOI: 10.1016/j.sbspro.2010.04.021.

Veres-Homm; Uwe; Wojtech; Annemarie; Richter; Falk et al. (2019): Regional konsolidierte Gewerbeflächenentwicklung (RekonGent). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-03-11_texte_21-2019_abschlussbericht_rekongent_final_bf_1.pdf, zuletzt geprüft am 20.04.2020.

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Benutzung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt haben. Wörtlich übernommene Sätze oder Satzteile sind als Zitat belegt, andere Anlehnungen hinsichtlich Aussage und Umfang unter Quellenangabe kenntlich gemacht.

Wuppertal, den 31.05.2022



Benedikt Rust

Gender-Erklärung

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in dieser Abschlussarbeit die Sprachform des generischen Maskulinums angewendet. Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die ausschließliche Verwendung der männlichen Form geschlechtsunabhängig verstanden werden soll.

Kurzfassung

Im Rahmen einer Forschungsarbeit am Lehrstuhl für Güterverkehr und Transportlogistik der Bergischen Universität Wuppertal wurden potentielle Logistikstandorte in der Metropolregion Rheinland ermittelt und hinsichtlich der Nutzbarmachung für verschiedene Logistikfunktionen bewertet. In vorangegangenen Arbeiten konnte festgestellt werden, dass aus den Innenstädten eine Abwanderung der Gewerbeflächen an den Ballungsraumrand stattfindet. Um den damit einhergehenden steigenden Fahrleistungen bei der Ballungsraumversorgung zu begegnen, wurde mit dieser Arbeit überprüft, ob durch eine Verwendung der ermittelten Potentialstandorte in der Metropolregion Rheinland Einsparungen bei den gefahrenen Kilometern möglich sind. Dies wurde beispielhaft für die beiden Bereiche Lebensmitteleinzelhandel - als Vertreter der Regionalversorgung - und für die KEP-Dienstleister - als Vertreter der Netzwerkstandorte - untersucht.

Zu Beginn der Arbeit wird ein Einblick in den aktuellen Stand der Forschung zu dieser Thematik gegeben und das Forschungsprojekt des Wuppertaler Lehrstuhls inklusive des entwickelten Bewertungsschemas für die Potentialstandorte vorgestellt. Danach werden die typischen Logistikprozesse der zu betrachtenden Segmente Lebensmitteleinzelhandel und KEP-Dienstleister beschrieben, bevor mit dem Routingtool VROOM (Vehicle Routing Open-source Optimization Machine) unter verschiedenen Szenarien die täglichen Zustell Touren ermittelt werden. Die Randbedingungen für die Touren sind vorher über Literaturrecherchen und Experteninterviews ermittelt worden.

Für den Lebensmitteleinzelhandel werden von den vier größten am deutschen Markt vertretenen Unternehmen die täglichen Lieferfahrten von den Regionallagern zu den einzelnen Filialen berechnet. Als Vertreter der KEP-Branche wird für das Unternehmen DHL eine ähnliche Analyse der Touren von den eigenen Hubs zu allen Privat- und Gewerbekunden im betrachteten Untersuchungsraum gemacht. Zuerst werden dafür ausschließlich die bestehenden Standorte in Betracht gezogen. Danach werden über eine Heuristik aus der Summe der Bestand- und Potentialstandorte Logistikflächen bestimmt, die voraussichtlich eine Optimierung hinsichtlich der täglich gefahrenen Kilometer darstellen könnten.

Für den Lebensmitteleinzelhandel konnten mit dieser Methode tatsächlich Fahrleistungseinsparungen ermittelt werden, wobei die Einsparpotentiale je nach Unternehmen zwischen einigen Prozentpunkten und nahezu 50 % lagen. Für das Unternehmen DHL konnten dagegen keine Fahrleistungsreduktionen bestimmt werden. Das spiegelt das schon im Bestand gute Hubnetz wider. Mit einer anderen Heuristik sollte aber noch ein gewisses Optimierungspotential vorhanden sein.

Aus den Ergebnissen, – inklusive einer Abschätzung der Einsatzmöglichkeiten von batterieelektrischen Fahrzeugen –, wurden die jährlichen CO₂-Emissionen für jedes Szenario und Segment berechnet. Insbesondere durch den Einsatz der elektrischen Fahrzeuge ließen sich enorme Mengen des Treibhausgases einsparen.

Die Reduktionspotentiale einer optimierten Standortwahl der Logistikzentren scheinen aber keinesfalls erschöpft zu sein. Durch eine Anpassung der Kriterien zur Vorauswahl der Potentialstandorte könnten noch höhere Kilometerleistungen – insbesondere im ländlichen Raum (z. B. nördlicher Niederrhein) – eingespart werden.

Abstract

As part of a research project at the chair of freight transport and transport logistics at the university of Wuppertal, potential logistics locations in the metropolitan region of the Rhineland were identified and evaluated with regard to their usability for various logistic functions. In previous work, it was found that there is a migration of commercial areas from the inner cities to the outskirts of the metropolitan area. In order to counteract the resulting increase in mileage in the metropolitan area, this work examined whether savings in kilometers traveled could be achieved by using the potential locations identified in the Rhineland metropolitan region. This was done exemplarily for the two areas food retail as representative of regional supply and for parcel service providers as representative of network locations.

At the beginning of the paper, an insight into the current state of research on this topic is given and the research project of the Wuppertal chair including the developed evaluation scheme for the potential locations is presented. Afterwards, the typical logistics processes of the segments food retail and parcel service providers to be considered are described before the daily delivery tours are determined under different scenarios using the routing tool VROOM (Vehicle Routing Open-source Optimization Machine). The boundary conditions for the tours were previously determined via literature research and expert interviews.

For the food retail sector, the daily delivery trips from the regional warehouses to the individual stores are calculated for the four largest companies represented on the German market. As a representative of the parcel sector, a similar analysis of the tours from its own hubs to all private and commercial customers in the study area is made for the company DHL. First, only the existing locations are considered for this purpose. Then, using a heuristic, logistics areas are determined from the sum of the existing and potential locations that would presumably represent an optimization with regard to the daily kilometers driven.

For the food retail sector, it was indeed possible to determine mileage savings using this method, with potential savings ranging from a few percentage points to almost 50%, depending on the company. For the DHL company, on the other hand, no mileage reductions could be determined, reflecting the good hub network already in place. With a different heuristic, however, there should still be some potential for optimization.

From the results, including an estimate of the potential use of battery electric vehicles, the annual CO₂ emissions were calculated for each scenario and segment. The use of electric vehicles in particular could save enormous amounts of greenhouse gas.

However, the reduction potentials through optimized site selection of logistics centers do not seem to be exhausted at all. By adjusting the criteria for pre-selecting potential locations, even higher mileages could be saved. This applies above all to rural areas, such as the northern Lower Rhine region.

Inhaltsverzeichnis

Aufgabenstellung.....	II
Eidesstattliche Erklärung	IV
Gender-Erklärung.....	V
Kurzfassung	VI
Abstract.....	VII
Inhaltsverzeichnis.....	VIII
Abbildungsverzeichnis.....	X
Tabellenverzeichnis.....	XII
Abkürzungsverzeichnis.....	XIII
1 Einleitung	1
2 Aktueller Stand zum Thema Logistikimmobilienstandorte.....	3
3 Bewertungsschema für Logistikimmobilienstandorte	7
4 Vorstellung des Untersuchungsraums	11
5 Vorstellung der typischen Logistikprozesse	14
5.1 Logistikprozesse im Lebensmitteleinzelhandel	14
5.2 Praxiserfahrungen aus der Logistik im Lebensmitteleinzelhandel	18
5.3 Logistikprozesse bei KEP-Dienstleistern.....	20
6 Standortermittlung.....	26
6.1 Standortermittlung für die Zentrallager des Lebensmitteleinzelhandels.....	26
6.2 Standortermittlung der Filialen des Lebensmitteleinzelhandels.....	29
6.3 Standortermittlung für die Depots und Hubs der KEP-Dienstleister.....	32
6.4 Standortermittlung für Belieferungsziele der KEP-Dienstleister.....	35
7 Vorstellung des Routingmodells VROOM.....	38
8 Tourenmodellierung	40
8.1 Bestandsmodellierung der Touren des Lebensmitteleinzelhandels.....	40
8.2 Bestandsmodellierung der Touren der KEP-Dienstleister	50
8.3 Modellierung der Touren des Lebensmitteleinzelhandels mit optimierten Regionallagerstandorten.....	62
8.4 Modellierung der Touren der KEP-Dienstleister mit angepassten Hubstandorten	70
8.5 Einbezug von lokal emissionsfreien Fahrzeugen in die Touren des Lebensmitteleinzelhandels.....	79
8.6 Einbezug von lokal emissionsfreien Fahrzeugen in die Touren der KEP-Dienstleister	80
9 Vergleich der Szenarien mit Emissionsermittlung.....	83

10 Zusammenfassung und Ausblick.....	85
Literaturverzeichnis	XIV
Anhangsverzeichnis	XVII

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Untersuchungsgebiet mit zugehörigen Stadt- und Landkreisen	11
Abbildung 2: Zentrale Orte im Untersuchungsgebiet	13
Abbildung 3: Grundformen relevanter Belieferungskonzepte in Konsumgüter-Supply Chains ..	14
Abbildung 4: Darstellung eines Direktverkehrs-, Hub-and-Spoke-, Regionalhub- und Feederhubnetzes.....	22
Abbildung 5: Darstellung eines Mehrhub- und gemischten Transportnetzes.....	23
Abbildung 6: Anzahl an Haltevorgängen, Paketen und Kunden pro Tour und Stadtteilty	25
Abbildung 7: Marktanteile der fünf größten Unternehmen des Lebensmitteleinzelhandels am Gesamtumsatz 2019 in Deutschland	26
Abbildung 8: Logistikzentren der betrachteten Unternehmen im Lebensmitteleinzelhandel in und um das Untersuchungsgebiet	28
Abbildung 9: Beispiel für Punkt- und Flächengeometrien der Filialen des Lebensmitteleinzelhandels.....	30
Abbildung 10: Filialanzahl der vier größten Unternehmensgruppen im Lebensmitteleinzelhandel im Untersuchungsgebiet (n = 2282)	31
Abbildung 11: Filialstandorte der vier größten Unternehmensgruppen im Lebensmitteleinzelhandel im Untersuchungsgebiet	32
Abbildung 12: Anteil am innerdeutschen Paketvolumen der sechs größten Unternehmen im Jahr 2019	33
Abbildung 13: Paket- und Logistikzentren der sechs größten KEP-Unternehmen in der Metropolregion Rheinland.....	34
Abbildung 14: Unternehmensstandorte laut Handelsregister in der Metropolregion Rheinland	35
Abbildung 15: Packstationen und Paketshops von DHL im Untersuchungsgebiet	36
Abbildung 16: Einwohnerverteilung je 100m x 100m Gitterzelle in der Kölner Innenstadt.....	37
Abbildung 17: Größenverteilung der Lebensmitteleinzelhandelsfilialen auf Industrie- und Gewerbeflächen (n = 2280)	41
Abbildung 18: Belieferungsstreckennetz für die Filialen von Edeka und Marktkauf im Untersuchungsgebiet.....	45
Abbildung 19: Belieferungsstreckennetz für die Filialen von Kaufland im Untersuchungsgebiet.....	46
Abbildung 20: Spannweite der maximal gleichzeitig eingesetzten Fahrzeuge je Regionallager im Bestandsmodell des Lebensmitteleinzelhandels	47
Abbildung 21: Verteilung der generierten Tourenkilometer je Unternehmen im Bestandsmodell des Lebensmitteleinzelhandels	48
Abbildung 22: Verteilung der Tourendauer je Unternehmen im Bestandsmodell des Lebensmitteleinzelhandels.....	49
Abbildung 23: Korrelation zwischen der Tourendauer und -länge im Bestandsmodell des Lebensmitteleinzelhandels.....	50
Abbildung 24: Jährliches B2C-Paketaufkommen der zweistelligen PLZ-Regionen innerhalb des Untersuchungsgebietes 2017.....	51
Abbildung 25: Einzugsbereiche der Paketstationen von DHL im Untersuchungsgebiet	53

Abbildung 26: Belieferungsstreckennetz des Unternehmens DHL im Regierungsbezirk Düsseldorf innerhalb der Metropolregion Rheinland mit täglicher Tourenanzahl je Depot	58
Abbildung 27: Verteilung der Tourenkilometer je Depot von DHL im Bestandsmodell	59
Abbildung 28: Verteilung der Tourendauer je Depot von DHL im Bestandsmodell.....	60
Abbildung 29: Korrelation zwischen Tourendauer und -länge im Bestandsmodell der Zustellfahrten von DHL (n = 1559).....	61
Abbildung 30: Verteilung der Sendungsanzahl je Depot von DHL im Bestandsmodell	62
Abbildung 31: Standorte der in Frage kommenden Potentialflächen für Regionallager des Lebensmitteleinzelhandels.....	63
Abbildung 32: Clusteranalyse der Filialen von Aldi Süd.....	64
Abbildung 33: Spannweite der maximal gleichzeitig eingesetzten Fahrzeuge je Regionallager im Modell mit angepassten Depotstandorten des Lebensmitteleinzelhandels.....	67
Abbildung 34: Verteilung der generierten Tourenkilometer je Unternehmen im Modell mit angepassten Depotstandorten des Lebensmitteleinzelhandels.....	68
Abbildung 35: Verteilung der Tourendauer je Unternehmen im Modell mit angepassten Depotstandorten des Lebensmitteleinzelhandels.....	69
Abbildung 36: Standorte der in Frage kommenden Potentialflächen für Regionallager des Lebensmitteleinzelhandels mit Angabe der Standortnachfragen laut Modellierung mit angepassten Depots.....	70
Abbildung 37: Bestehende und potentielle Hubstandorte von DHL im reduzierten Untersuchungsgebiet.....	71
Abbildung 38: Clusteranalyse der Kunden von DHL mit Angabe der Clusternummer	72
Abbildung 39: Genutzte Hubs von DHL im Routingszenario mit angepassten Standorten inklusive Clusterflächen mit Nummern.....	73
Abbildung 40: Belieferungsstreckennetz des Unternehmens DHL im Routingszenario mit angepassten Depotstandorten und Angabe der täglichen Liefertouren je Hubstandort.....	74
Abbildung 41: Verteilung der Tourenkilometer je Depot von DHL im Routingmodell mit angepassten Hubstandorten.....	75
Abbildung 42: Verteilung der Tourendauer je Depot von DHL im Routingmodell mit angepassten Hubstandorten.....	76
Abbildung 43: Korrelation zwischen Tourendauer und -länge im Routingmodell der Zustellfahrten von DHL mit angepassten Hubstandorten (n = 1559).....	77
Abbildung 44: Verteilung der Sendungsanzahl je Depot von DHL im Routingmodell mit angepassten Hubstandorten.....	78
Abbildung 45: Belieferungstouren der Unternehmen Kaufland und Netto mit mehr als 200 km Fahrtweite im Modell mit angepassten Regionallagerstandorten.....	80
Abbildung 46: Belieferungsstrecken von DHL mit mehr als 115 km Fahrtweite im Modell mit angepassten Hubstandorten.....	82

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Typische Merkmale der fünf Logistik-Standorttypen nach Veres-Homm et al.....	4
Tabelle 2: Einwohnerzahl und Anteil der SVP-Beschäftigten je Stadt-/Landkreis im Untersuchungsgebiet.....	12
Tabelle 3: OSM-Beispieltabelle für ein Geschäft des Lebensmitteleinzelhandels	29
Tabelle 4: OSM-Beispieltabelle für ein Depot eines KEP-Dienstleisters	33
Tabelle 5: Erklärung der Jobstabelle für das Routing mit VROOM	38
Tabelle 6: VROOM Annahmen der Jobs-Tabelle für die Bestandsmodellierung des Lebensmitteleinzelhandels.....	42
Tabelle 7: VROOM Annahmen der Vehicles-Tabelle für die Bestandsmodellierung des Lebensmitteleinzelhandels.....	43
Tabelle 8: Zentrale Ergebnisse des Bestand routings für die Touren des Lebensmitteleinzelhandels.....	44
Tabelle 9: VROOM Annahmen der Jobs-Tabelle für die Bestandsmodellierung der Pakettouren von DHL als Stellvertreter der KEP-Dienstleister	54
Tabelle 10: VROOM Annahmen der Vehicles-Tabelle für die Bestandsmodellierung der Pakettouren von DHL als Stellvertreter der KEP-Dienstleister	56
Tabelle 11: Zentrale Ergebnisse aus dem Routing mit angepassten Regionallagerstandorten für die Belieferungstouren des Lebensmitteleinzelhandels.....	66
Tabelle 12: Potential zur Nutzung von E-Fahrzeugen bei der täglichen Belieferung der Filialen im Lebensmitteleinzelhandel je Unternehmen	79
Tabelle 13: Potential zur Nutzung von E-Fahrzeugen bei der täglichen Paketzustellung durch DHL	81
Tabelle 14: Vergleich der untersuchten Szenarien hinsichtlich der CO ₂ -Emissionen	84

Abkürzungsverzeichnis

ALKIS	–	Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem
B2B	–	Business-to-Business
B2C	–	Business-to-Customer
KEP	–	Kurier-, Express- und Paketdienst
KV	–	Kombinierter Verkehr
LKW	–	Lastkraftwagen
NRW	–	Nordrhein-Westfalen
ÖPNV	–	Öffentlicher Personennahverkehr
OSM	–	Open Street Map
PLZ	–	Postleitzahl
SVP	–	Sozialversicherungspflichtig
VROOM	–	Vehicle Routing Open-source Optimization Machine
VRP	–	Vehicle Routing Problem

1 Einleitung

Im Laufe der letzten Jahrzehnte ist der Bedarf an logistischen Dienstleistungen immer stärker gestiegen. Die vermehrten Transportleistungen hinsichtlich Tonnenkilometern sollten bei den Logistikdienstleistern dazu führen, dass diese aus Gründen der Wettbewerbstauglichkeit versuchen, die Distanzen zwischen den Depots und den Kunden zu verringern. Doch wie eine Studie für den Großraum Paris für den Kurier-, Express- und Paketdienst (KEP) ergeben hat, ist das Gegenteil der Fall. Die Logistikflächen der KEP-Dienstleister wandern immer weiter aus dem Stadtzentrum hinaus. Dies bedingt immer größere Fahrtweiten bei den Lieferungen und ist damit gegenläufig zu den Bestrebungen, die Anzahl der Fahrzeuge und deren zurückgelegte Strecken insbesondere in den Städten zu reduzieren. Die Autoren nennen die stark gestiegenen Grundstückspreise in den Innenstädten als einen der Gründe, warum es kaum noch zentrale Logistikflächen dort gibt. In direkter Konkurrenz zu Dienstleistungsanbietern im tertiären Bereich, welche am Standort eine größere Wertschöpfung erreichen und auf die Fläche gesehen deutlich mehr Arbeitsplätze bieten können, sind die Logistikdienstleister meist nicht fähig, die daraus resultierenden gehobenen Grundstückspreise bezahlen zu können. Als Folge dessen wandern diese ins stadtnahe Umland ab, wobei sie größere Fahrtweiten zugunsten bezahlbarer Grundstückspreise in Kauf nehmen (Dablanc & Rakotonarivo, 2010).

Aus den analysierten 34 Jahren, die in die Studie mit eingeflossen sind, kamen die Autoren zu der Approximation von 15.000 Tonnen zusätzliches CO₂, welches nun jährlich aufgrund der nach außen verlagerten Logistikstandorte durch die KEP-Dienstleister emittiert wird. Gemessen an den gesamten CO₂-Emissionen die im Frachtverkehr jährlich im Großraum Paris emittiert werden, erscheint dies mit etwas über zwei Promille verschwindend gering (Dablanc & Rakotonarivo, 2010). Trotzdem ist ein gewisses Potential zur CO₂-Minderung vorhanden. Darüber hinaus bieten zentralere Logistikstandorte bessere Bedingungen für den Einsatz von Lastenfahrrädern und rein elektrischen Zustellfahrzeugen im KEP-Bereich, die es aufgrund ihrer geringeren Reichweiten im Vergleich zu Verbrennerfahrzeugen schwer haben, eine Nutzung zu erfahren, wenn die großen Distributionszentren außerhalb der Stadtzentren liegen.

Diese Thesis knüpft an ein Forschungsprojekt des Lehr- und Forschungsgebietes „Güterverkehr und Transportlogistik“ der Bergischen Universität Wuppertal an, welches sich mit der Zuweisung von konkreten Logistikfunktionen für das vorliegende Gewerbeflächenangebot in der Metropolregion Rheinland auseinander gesetzt hat (Leerkamp, et al., 2021). Grundlage für dieses Forschungsprojekt bildete ein Bewertungsschema für Logistikpotentialflächen, das mit planerischen Kriterien Flächen für verschiedene Logistikstandorttypen qualifiziert (Veres-Homm, et al., 2019). Das Bewertungsschema wird beispielhaft für die Logistikimmobilienstandorttypen Ballungsraumversorgung (Segment Lebensmitteleinzelhandel) und Netzwerkstandorte (Segment KEP-Dienstleister) im Hinblick auf seine Wirksamkeit für mögliche Fahrleistungseinsparungen überprüft und ggf. werden Verbesserungsvorschläge gemacht.

Nachfolgend gliedert sich die Arbeit in folgende Punkte:

- Einarbeitung in den Stand der Forschung zum Thema Logistikimmobilienstandorte nach (Veres-Homm, et al., 2019)
- Einarbeitung in das im Projekt entwickelte Bewertungsschema für die in (Veres-Homm, et al., 2019) dargestellten Logistikimmobilienstandorte
- Vorstellung des Untersuchungsraumes

- Umfassende Einarbeitung in die Logistikprozesse der beiden zu betrachtenden Segmente Lebensmitteleinzelhandel (für Ballungsraumversorgung) und KEP-Dienstleister (für Netzwerkstandorte)
 - Zusätzlich empirische Ermittlung der Lieferantenstrukturen mittels Interviews bei betreffenden Unternehmen des Lebensmitteleinzelhandels
- Modellierung von Touren in den betrachteten Segmenten mithilfe des Tools Vehicle Routing Open-source Optimization Machine (VROOM)
 - Recherche und Verortung von Quellen- und Zielen (Lieferanten, Netzwerk-Hubs, Logistikstandorte und Filialen)
 - Ermittlung der Tourenparameter und Kalibrierung des Modells mit den segmentspezifischen Charakteristika von Touren
 - Bildung von Szenarien
 - Ermittlung der Touren und der daraus resultierenden Fahrleistung
 - Überschlagsmäßige Ermittlung der Emissionen
 - Vergleich der Szenarien
- Zusammenfassung und Ausblick

2 Aktueller Stand zum Thema Logistikimmobilienstandorte

In der Arbeit von (Veres-Homm, et al., 2019) haben sich die Autoren intensiv mit den verschiedenen Möglichkeiten und Anreizen für eine regional konsolidierte Gewerbeflächenentwicklung auseinander gesetzt.

Diese Forschungsarbeit ergab sich aus der Entwicklung der letzten Jahrzehnte, innerhalb derer die Nachfrage nach Gewerbeflächen im direkten Umfeld von großen Ballungsräumen das Angebot deutlich überholt hat. Diesem Mangel an Flächen im Umfeld von großen Ballungsräumen stehen viele Kommunen entgegen, die Gewerbeflächen bei sich ausweisen. Die Kommunen befinden sich hierbei um ansiedlungswillige Unternehmen in direkter Konkurrenz, um zusätzliche Gewerbeeinnahmen und Arbeitsplätze schaffen zu können. Dies läuft aber den bundesweiten Zielen in Bezug auf Nachhaltigkeit im Verkehr und bei der Flächenvergabe entgegen. Es entsteht vielmehr ein Überangebot an potentiellen Gewerbeflächen. Durch die Forschungsarbeit sollten effektive Methoden zur regional konsolidierten Gewerbeflächenentwicklung erarbeitet werden, die Logistikbetriebe räumlich an infrastrukturell gut geeigneten Orten bündeln (Veres-Homm, et al., 2019, S. 13).

In dem Bericht werden unterschiedliche Orte für Logistikzentren benannt. Da wären zum einen ehemalige Kasernen, Güterverkehrszentren und außerhalb der Städte gelegene Brachflächen, welche sich prinzipiell gut für eine übergemeindliche Konsolidierung eignen würden. Auf der anderen Seite gibt es die historisch gewachsenen Unternehmensstandorte und Einzelansiedlungen, die eine Konsolidierung deutlich erschweren (Veres-Homm, et al., 2019, S. 14). Auch wenn eine Bündelung von Flächen im Grunde genommen erst mal positiv zu bewerten ist, können dennoch Probleme auftauchen. So kann es passieren, dass hierdurch Eingriffe in ökologisch intakte Flächen geschehen, bzw. es auf ökonomischer Ebene durch die Sanierung von Altlastenflächen zu enormen Kosten kommen kann. Häufig liegen sogar beide Probleme vor, so dass eine Abwägung vorgenommen werden muss (Veres-Homm, et al., 2019, S. 14f).

Auch wenn eine allgemeine Gültigkeit zu Verkehrswirkungen von Gewerbe- und Logistikansiedlungen aufgrund der meist veralteten und nur für einzelne Regionen geltenden Datengrundlage nur schwer getroffen werden kann, so haben die Autoren für die fünf Logistik-Standorttypen Regionalversorgung, Zentralversorgung, Gateway-Funktion, Produktionsversorgung und Netzwerkfunktion mit einer Gebäudegröße von mehr als 2.500 m² folgende Durchschnittswerte ermittelt (siehe Tabelle 1):

Tabelle 1: Typische Merkmale der fünf Logistik-Standorttypen nach Veres-Homm et al.

	Regional- versorgung	Zentral- versorgung	Gateway- Funktion	Produktions- versorgung	Netzwerk- funktion
∅ Immobilienfläche	20.900 m ²	13.200 m ²	25.000 m ²	12.800 m ²	6.900 m ²
∅ Anteil Hallenfläche an Grundstücksfläche	39%	43%	48%	42%	35%
∅ Grundstücksfläche	5,4 ha	3 ha	5,2 ha	3 ha	1,9 ha
∅ Anzahl Beschäftigte pro ha Grundstücksfläche	39	43	37	37	53
Spanne der täglichen LKW- Fahrten pro ha Grundstücksfläche	30 - 65	40 – 90	20 - 90	5 - 45	70-80

Quelle: (Veres-Homm, et al., 2019, S. 15)

Nach der Berechnung von drei Realisierungsszenarien für mögliche Konsolidierungen auf teils sehr vereinfachenden Annahmen kommen die Autoren für das Jahr 2030 auf CO₂-Äquivalent-Emissionsminderungen zwischen 118.000 t und 355.000 t. Für den Straßengüterverkehr in Deutschland entspricht dies einer Minderung zwischen 0,15 % und 0,44 % bzw. für den gesamten Straßenverkehr einer Minderung um bis zu 0,21 % (Veres-Homm, et al., 2019, S. 16).

Die bedeutendsten Orte für Logistiknutzungen befinden sich zumeist in den Einzugsbereichen von Ballungsgebieten als auch entlang des Autobahnnetzes. Hochburgen für die Logistik innerhalb Deutschlands sind: Duisburg/Niederrhein, Hamburg, Berlin/Potsdam und Frankfurt (Veres-Homm, et al., 2019, S. 28f). Im Allgemeinen gibt es drei Gebietsformen, die als Standorte für Logistik eine Relevanz haben. Hierzu gehören das Gewerbegebiet, das Industriegebiet und das sonstige Sondergebiet, die von den Autoren wie folgt definiert werden:

- **„Gewerbegebiet:** In Gewerbegebieten sollen nicht erheblich belästigende Gewerbebetriebe untergebracht werden. Neben Logistik- und Industrieimmobilien sind auch Tankstellen und Bürogebäude in Gewerbegebieten zulässig.
- **Industriegebiet:** In Industriegebieten werden vorzugsweise solche Gewerbebetriebe untergebracht, die aufgrund ihrer Treibhausgas-, Luftschadstoff- oder Lärmemissionen in anderen Baugebieten unzulässig sind.
- **Sonstige Sondergebiete:** Diese Gebietsausweisung umfasst spezielle Nutzungsformen, die nicht in erster Linie der Erholung dienen. Die Nutzungen sollen sich im Vergleich zu den anderen Baugebieten wesentlich unterscheiden, die Zweckbestimmung und die Art der Nutzung sind dabei darzustellen und festzusetzen. So dürfen bspw. in Hafengebieten Gewerbebetriebe mit Fokus auf der Bearbeitung von Massengütern angesiedelt werden.“ (Veres-Homm, et al., 2019, S. 30)

Eines der Akzeptanzprobleme, die Logistikgebiete mit sich bringen, ist der hohe Flächenbedarf, der sich nicht nur durch die großen Gebäudeflächen widerspiegelt, sondern auch durch die Versiegelung von Flächen für LKW-Stellplätze und Rangierflächen (Veres-Homm, et al., 2019, S. 31).

Abschließend konstatieren die Autoren, dass es sehr schwierig ist, eine allgemeine Abschätzung zu den verkehrserzeugenden Effekten in Gewerbegebieten zu machen. Dies liegt unter anderem an den stark Einfluss nehmenden Faktoren wie Lage, Branche und Nutzermix. Hierbei kommen

sie zu der Erkenntnis, dass es eher hilfreich ist, wenn die Informationen gezielt beim zukünftigen Betreiber bzw. dem Investor der Fläche eingeholt werden; vorausgesetzt, diese sind schon bei der Neuausweisung des Gewerbegebietes bekannt (Veres-Homm, et al., 2019, S. 35f).

Aus einer Logistikimmobiliendatenbank der Fraunhofer SCS haben die Autoren Informationen zu diversen Gewerbebetrieben im Logistikbereich gesammelt. Hierdurch konnten zentrale Erkenntnisse hinsichtlich der spezifischen Anforderungen und Effekte für jeden Standorttyp gesammelt werden (Veres-Homm, et al., 2019, S. 43ff). Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse für die beiden Standorttypen „Regionalversorgender Logistikstandort“ und „Netzwerk-Logistikstandort“ vorgestellt, da für diese beiden Typen die Potentiale zur Fahrleistungseinsparung durch eine planerische Bereitstellung von Logistikflächen bestimmt werden.

Die regionalversorgenden Logistikstandorte versorgen in erster Linie die Ballungsräume in der näheren Umgebung. Da häufig mit zeitkritischen und verderblichen Gütern gearbeitet wird, erfolgt die Distribution nur kleinräumig. 23 % aller Logistikimmobilien können diesem Standorttyp zugeordnet werden. Meist liegt der Fokus der zu beliefernden Kunden auf Einzelhändlern aus dem Konsumgüter- und Lebensmittelbereich. Mit einer durchschnittlichen Größe der Immobilie von knapp 21.000 m² fällt die überbaute Fläche im Vergleich zu anderen Logistikimmobilienstandorten sehr groß aus. Andererseits sind durchschnittlich nur 39 % des Grundstückes überbaut, was die großzügig dimensionierten Flächen von mehr als fünf Hektar erklärt. Im Mittel sind die Standorte mit 39 Beschäftigten je ha Grundstücksfläche nicht besonders personalintensiv, was zu vergleichsweise wenig Individualverkehr führt. Im Durchschnitt liegen ebenfalls die An- und Abfahrten der Lastkraftwagen (LKW) mit 65 täglichen Fahrten. Der Distributionsradius beträgt um die 40 km. Der Eingangsverkehr in das Regionallager wird meist über Komplettladungsverkehre abgewickelt, weshalb es kaum Möglichkeiten gibt, noch weitere Sendungen zuzuladen. Für die Rücktouren gibt es allerdings noch abschöpfbare Potentiale. In den meisten Fällen verlässt der LKW komplett beladen das Lager. Im Laufe der Touren sinkt zumeist der Auslastungsgrad (Veres-Homm, et al., 2019, S. 44).

Die regionalversorgenden Logistikimmobilien sind im nahen Umland zwischen Ballungsräumen angesiedelt, da hier die Flächenverfügbarkeit in Verbindung mit niedrigen Grundstückspreisen am besten ist. Die Anbindung an das überregionale Fernstraßennetz spielt ebenfalls eine wichtige Rolle, um für die Zulieferverkehre gut erreichbar zu sein, wohingegen die Schiene nur eine marginale Bedeutung hat (Veres-Homm, et al., 2019, S. 44).

Ungefähr 13 % der Logistikimmobilien können den Netzwerk-Logistikstandorten zugerechnet werden. Die Suche nach einem Standort erfolgt hierbei immer in enger Betrachtung der schon bereits existierenden Standorte in der Umgebung, um diese bestmöglich zu ergänzen und zu erweitern. In den meisten Fällen werden diese Standorte selbst von den Logistikdienstleistern aus dem KEP- und Stückgutbereich ausgesucht und nicht wie bei den anderen Standorttypen von den Auftraggebern der Logistiker. Die Standorte werden sowohl für die Versorgung als auch für die Entsorgung ihrer Einzugsgebiete genutzt (Veres-Homm, et al., 2019, S. 49f).

Der Flächenverbrauch ist im Vergleich zu anderen Logistikstandorten mit knapp zwei Hektar deutlich geringer. Allerdings ist die Bebauungsfläche hier am geringsten, da wegen der mehrseitigen Andienung zwar wenig Lagerfläche, dafür aber überproportional viel Rangierfläche benötigt wird. Aufgrund des meist notwendigen 3-Schicht-Betriebes ist die Beschäftigungsdichte mit 53 Personen pro ha sehr hoch. Die Anzahl der LKW-Fahrten bewegt sich mit 70-80 pro Tag an der Spitze der Logistikdienstleister (Veres-Homm, et al., 2019, S. 50).

Die Zustelllogistik hat sich über die letzten Jahre nahezu perfektioniert. Die ausgehenden Sendungen werden zuerst im lokalen Depot gesammelt, bevor sie von der Versandregion zu den Empfangsregionen verschickt werden. Abhängig von der Auslastung dieser Sendungsrelation wird der Transport als Komplettladungsverkehr abgewickelt, oder ein Zwischenstopp in einem dezentralen Umschlagshub eingelegt. Dort erfolgt eine Umverteilung der Sendungen in ihre entsprechenden Empfangsdestinationen. Im Empfangsdepot werden die Sendungen dann den dortigen lokalen Zustellturen zugeteilt. Die Zustellung wird über eine Verteilertour abgewickelt, die spezifischen Routen folgt. Innerhalb dieser Touren nimmt der Auslastungsgrad der Fahrzeuge nach und nach ab (Veres-Homm, et al., 2019, S. 50).

Für die Versand- und Empfangsdepots ist die Nähe zu den Ballungsräumen von essentieller Bedeutung, wohingegen die Umschlagshubs sich häufig in peripheren Regionen befinden, da hier eine störungsfreie Erreichbarkeit am besten gewährleistet werden kann. Die Qualität des Verkehrsträgers Straße ist für diese Standorte von immenser Bedeutung, wohingegen die Grundstücks- und Mietpreise wegen der eher kleinen Immobilienfläche eine nur geringe Rolle spielen (Veres-Homm, et al., 2019, S. 50).

3 Bewertungsschema für Logistikimmobilienstandorte

Die Autoren um Veres-Homm liefern zwar einige Erkenntnisse bezüglich der allgemeinen Trends im Bereich der Logistikimmobilienstandorte. Sie stellen aber kein standardisiertes Bewertungsverfahren zur Einschätzung eines potentiellen Standortes auf. Ein solches Verfahren wird im Zwischenbericht „Güterverkehrsstudie für das Gebiet der Metropolregion Rheinland“ (Leerkamp, et al., 2021) entwickelt. An jenen Bericht knüpft diese Arbeit an.

Die Grundlage für das Bewertungsschema bilden die Daten zu Grundstücksfläche, Verkehrserzeugung, Beschäftigungswirkung, Lage, Infrastruktur und Grundstückspreis, die für diverse potentielle Logistikstandorte in der Metropolregion Rheinland erhoben wurden. Dabei wurde für jeden Logistikimmobilientyp die Bewertung abhängig von dessen Anforderungen spezifiziert. Des Weiteren flossen noch die Ergebnisse aus einer Befragung von bereits existierenden Logistikimmobilienbetreibern, die ermittelten Kennwerte hinsichtlich der potentiellen Nutzbarkeit als Logistikfläche und grundlegende Überlegungen zu einer verträglichen und nachhaltigen Abwicklung des bestehenden Güterverkehrs mit ein (Leerkamp, et al., 2021, S. 118 f).

In den Interviews mit den Logistikbetreibern wurden verschiedene Standortfaktoren mit ihrer Bedeutung für die Betriebe abgefragt, die in Form von unterschiedlichen Gewichten für die verschiedenen Logistikstandorttypen in das Bewertungsschema einfließen. Die abgefragten Standortfaktoren waren:

- „Autobahnanbindung
- Schienenanschluss
- Nähe zu KV-Umschlagspunkten (Kombinierter Verkehr)
- Anbindung an Seehäfen
- Anbindung an Cargo-Flughäfen
- Breitbandversorgung
- Erreichbarkeit der Absatzgebiete
- Erreichbarkeit von Produktionsbetrieben
- Grundstücksgröße, -topographie, -zuschnitt
- Grundstückspreis
- Möglichkeit eines 24h-Betriebs
- Konfliktfreies Umfeld, robuste Zufahrtswege
- Arbeitskräfteverfügbarkeit
- Zeitbedarf der Verwaltung für Genehmigungen
- Unternehmensfreundlichkeit der Politik / Verwaltung“ (Leerkamp, et al., 2021, S. 42)

Die Faktoren Breitbandversorgung, Zeitbedarf der Verwaltung für Genehmigungen und Unternehmensfreundlichkeit der Politik wurden nicht in das Bewertungsschema mit einbezogen. Der erste Punkt relativiert sich darüber, dass es mittlerweile gesetzlich verpflichtend ist, dass Neubaugebiete mit Glasfaser ausgestattet werden müssen. Die anderen beiden Punkte dagegen lassen sich nur schwer quantifizieren und unterliegen schnell kurzfristigen Änderungen bei kommunalen Personalwechseln, weshalb sie nicht weiter berücksichtigt werden (Leerkamp, et al., 2021, S. 119).

Jeder Standorttyp durchläuft drei Verfahrensschritte bei der Erstellung des Bewertungsschemas. Im ersten Schritt werden die zwingend notwendigen Anforderungen definiert, die für den Betrieb des Logistikstandorttypes erforderlich sind. Danach werden die Ausschlusskriterien für die Umwelt- und Umfeldverträglichkeit aufgestellt. Zum Schluss kommen noch die Bewertungskriterien für Lagegunst und wirtschaftliche Eignung zum Tragen (Leerkamp, et al., 2021, S. 119).

Da später nur die beiden Standorttypen Regionalversorgung und Netzwerkfunktion in die Analyse zur möglichen Fahrleistungseinsparung durch eine strategische Bereitstellung von Logistikflächen einbezogen werden, werden hier auch nur die Bewertungskriterien für diese beiden Standorttypen vorgestellt.

Für die Regionalversorgung spielt die Nähe zum Ballungsraum sowie die Anbindung an das Fernstraßennetz eine immanent wichtige Rolle, weshalb hier die beiden Zwangskriterien „Fahrtstrecke zum nächsten Oberzentrum von weniger als 20 km sowie eine Anbindung an das übergeordnete Netz in mindestens zwei Himmelsrichtungen innerhalb einer Fahrzeit von unter 10 Min“ festgelegt wurden (Leerkamp, et al., 2021, S. 121).

Die Standorte mit einer Netzwerkfunktion sind nur dann wirklich effektiv, wenn sie möglichst nah an Autobahnknotenpunkten liegen und auch hier eine große Nähe zu Ballungsräumen vorliegt. Folglich sind die beiden zwingend zu erfüllenden Kriterien für einen potentiellen Standort eine „Anbindung an das übergeordnete Netz in mindestens zwei Himmelsrichtungen innerhalb einer Fahrzeit von unter 5 Min, sowie eine Fahrtstrecke zum nächsten Oberzentrum von weniger als 20 km“ (Leerkamp, et al., 2021, S. 121). Sollte ein möglicher Standort für die Regionalversorgung oder mit einer Netzwerkfunktion nicht diese Kriterien erfüllen, wird er nicht weiter betrachtet und fällt aus der Liste der Metropolregion Rheinland für mögliche Standorte dieses Logistiktyps heraus.

Zu den Ausschlusskriterien für Umfeldverträglichkeiten zählen sensible Bereiche in direkter Nähe zu den potentiellen Standorten bzw. an den direkten Routen des Standortes, die diesen auf schnellstem Wege mit dem höherrangigen Straßennetz wie Autobahnen und Bundesstraßen verbinden (Leerkamp, et al., 2021, S. 122). Mögliche Ausschlusskriterien können z.B. ein Abstand des Logistikstandortes von weniger als 300 m zu Wohngebieten (Leerkamp, et al., 2021, S. 114) und die Lage von schützenswerten Einrichtungen wie Schulen und Kindertagesstätten sein, die auf der schnellstmöglichen Route von der Gewerbefläche zur nächsten Autobahnanbindung liegen (Leerkamp, et al., 2021, S. 116).

Für die beiden weiter zu betrachtenden Standorttypen Regionalversorgung und Netzwerkfunktion führen die genannten Kriterien aber nicht direkt zum Ausschluss aus der potentiellen Standortliste. Dies wird damit begründet, dass die ballungsraumnahe Ansiedlung für beide von enormer Wichtigkeit ist, es andererseits aber in den Ballungsraumgebieten kaum noch Flächen gibt, die kein Ausschlusskriterium aufweisen. Würde man diese nicht weiter betrachten, gäbe es kaum noch mögliche Standorte für diese beiden Logistiktypen. Ein weiterer Grund für die Beibehaltung dieser Standorte trotz möglicher Konflikte ist, dass die Belieferung aus diesen Standorten meist mit kleineren LKW mit einem zulässigen Gesamtgewicht von bis zu 12 t erfolgt, die als weniger störend im Vergleich zu den großen Lastzügen mit bis zu 40 t Gesamtgewicht empfunden werden. Zusätzlich kommt hinzu, dass die ballungsraumnahe Ansiedlung auch Vorteile in Bezug auf Fahrleistungs- und CO₂-Einsparungen bringen soll. Für den Fall, dass potentielle Ausschlusskriterien vorliegen, werden diese als Information in die Bewertung mit aufgenommen. Flächen, die sich innerhalb des Regionalplans Köln befinden, bekamen darüber

hinaus noch eine Information beigefügt, sofern es eine Umweltrestriktion für die auszuweisende Logistikfläche geben sollte (Leerkamp, et al., 2021, S. 122 ff).

Die abschließenden Bewertungskriterien teilen sich in wirtschaftliche Eignung und Lagegunst auf. Für jedes der dazu gehörenden Unterkriterien werden zwischen null und zwei Punkte vergeben. Bei der Regionalversorgung fließen beide Kategorien zu jeweils 50 % in die Gesamtbewertung ein. Bei den Standorten der Netzwerkfunktion spielt die Lage eine bedeutend größere Rolle, was dazu führt, dass die Kriterien für die Lagegunst zu 75 % und die wirtschaftliche Eignung nur zu 25 % in die Bewertung mit einfließen (Leerkamp, et al., 2021, S. 125).

Zur wirtschaftlichen Eignung gehören die Kriterien Bodenrichtwert (als Approximation für den Grundstückspreis), die geometrische Form der Potentialfläche (am besten quadratisch oder rechteckig für eine bestmögliche Nutzung), die Topographie (als Hinweis für den Aufwand, der zur Nutzbarmachung der Fläche notwendig ist) und die Gewerbesteuer (Hinweis für die späteren laufenden Kosten der Gewerbefläche) (Leerkamp, et al., 2021, S. 125 f). Die Geometrie und die Topographie spielen allerdings nur für die Bewertung der Standorte der Regionalversorgung eine Rolle, weil deren Flächen im Schnitt sehr groß ausfallen, wohingegen die Flächen der Netzwerkstandorte eher unterdurchschnittlich groß sind (Leerkamp, et al., 2021, S. 126).

Für die Regionalversorgung ergeben sich folgende Prozentsätze die anteilig in den Faktor wirtschaftliche Eignung eingehen:

- Bodenrichtwert: 30 %
- Geometrie: 20 %
- Topographie: 20 %
- Gewerbesteuer: 30 % (Leerkamp, et al., 2021, S. 127)

Die Prozentsätze für die Standorte der Netzwerkfunktion sehen wie folgt aus:

- Bodenrichtwert: 30 %
- Gewerbesteuer: 70 % (Leerkamp, et al., 2021, S. 127)

Die zweite Bewertungskategorie Lagegunst hat für die Regionalversorgung drei Bewertungskriterien. Das erste Kriterium ist die Arbeitskräfteverfügbarkeit. Als Maß dient hier die Arbeitslosenquote von Personen ohne Berufsabschluss auf Kreisebene. Dies begründet sich damit, dass die meisten Tätigkeiten im Logistikbereich keinen Berufsabschluss erfordern und dieses Tätigkeitsfeld gut von eben jenen Personen abgedeckt werden kann. Das zweite Kriterium Arbeitskräfteverfügbarkeit mit dem öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) bewertet innerhalb des 0-2-Punkte-Systems, wie viele Personen aus der Bevölkerung innerhalb einer Stunde mit dem ÖPNV zwischen fünf und acht Uhr morgens den Standort erreichen können. Dies ist insofern wichtig, da ein Großteil der potentiellen Belegschaft im Niedriglohnsektor beschäftigt ist und folglich eine höhere Affinität zum ÖPNV hat. Das letzte Bewertungskriterium für die Lagegunst der Regionalversorgung ist die Fahrzeit zum nächsten Oberzentrum. Eine sehr kurze Fahrzeit von unter 10 Minuten wird hier mit zwei und eine mit mehr als 20 Minuten wird mit null Punkten bewertet (Leerkamp, et al., 2021, S. 128 f).

Für die Regionalversorgung wurden folgende Prozentsätze der drei Kriterien für die Lagegunstbewertung gewählt:

- Arbeitskräfteverfügbarkeit: 30 %
- Arbeitskräfteverfügbarkeit mit dem ÖPNV: 20 %
- Fahrzeit zum Oberzentrum: 50 % (Leerkamp, et al., 2021, S. 129)

Die ersten beiden Kriterien Arbeitskräfteverfügbarkeit allgemein und mit dem ÖPNV spielen auch für die Netzwerkstandorte eine Rolle bei der Lagegunst. Das dritte Kriterium hier ist aber nicht die Fahrzeit zum Oberzentrum, sondern der direkte Zugang zum höherrangigen Netz und dessen möglichst geringe Fahrzeit. Das spiegelt sich dadurch wider, dass zwei Punkte für dieses Kriterium vergeben werden, wenn das höherrangige Netz in zwei Himmelsrichtungen in unter 1,5 Minuten erreicht werden kann. Einen Punkt gibt es noch, wenn dies in unter 3 Minuten geschafft werden kann. Ansonsten gibt es null Punkte für dieses Kriterium (Leerkamp, et al., 2021, S. 129).

Mit folgenden Prozentsätzen gehen die drei genannten Kriterien in die Bewertung der Lagegunst der Standorte mit Netzwerkfunktion ein:

- Arbeitskräfteverfügbarkeit: 30 %
- Arbeitskräfteverfügbarkeit mit dem ÖPNV: 20 %
- Direkter Zugang zum höherrangigen Netz: 50 % (Leerkamp, et al., 2021, S. 129)

Durch die Aufsummierung der einzelnen Kriterien aus Lagegunst und wirtschaftliche Eignung kann die Gesamtpunktzahl eines Standortes zwischen 0 und 2 liegen. Als abschließende Zusammenfassung erstellen die Studienautoren eine ordinale Skalierung für die potentiellen Standorte mit den Werten A (Punktzahl > 1,3), B (Punktzahl zwischen 0,7 und 1,3) und C (Punktzahl < 0,7). Die A-Standorte sind folglich annähernd optimal für die entsprechende logistische Nutzung geeignet, wohingegen B- und C-Standorte nur mit einigen bis vielen Einschränkungen logistisch nutzbar wären (Leerkamp, et al., 2021, S. 130).

4 Vorstellung des Untersuchungsraums

Zur Eingrenzung der zu untersuchenden Fläche in Bezug auf die potentiellen Fahrleistungseinsparungen durch eine geeignete Standortwahl wird dasselbe Gebiet gewählt, welches im Rahmen des Zwischenberichtes der Güterverkehrsstudie für das Gebiet Metropolregion Rheinland untersucht wurde (Leerkamp, et al., 2021). Die Metropolregion Rheinland befindet sich in Nordrhein-Westfalen (NRW) und beinhaltet die beiden Regierungsbezirke Köln und Düsseldorf, wobei bei letzterem die drei kreisfreien Städte Oberhausen, Mülheim a. d. Ruhr und Essen nicht Bestandteil des Untersuchungsgebietes sind. Es gehören somit 23 kreisfreie Städte bzw. Landkreise zum Untersuchungsraum (siehe Abbildung 1).

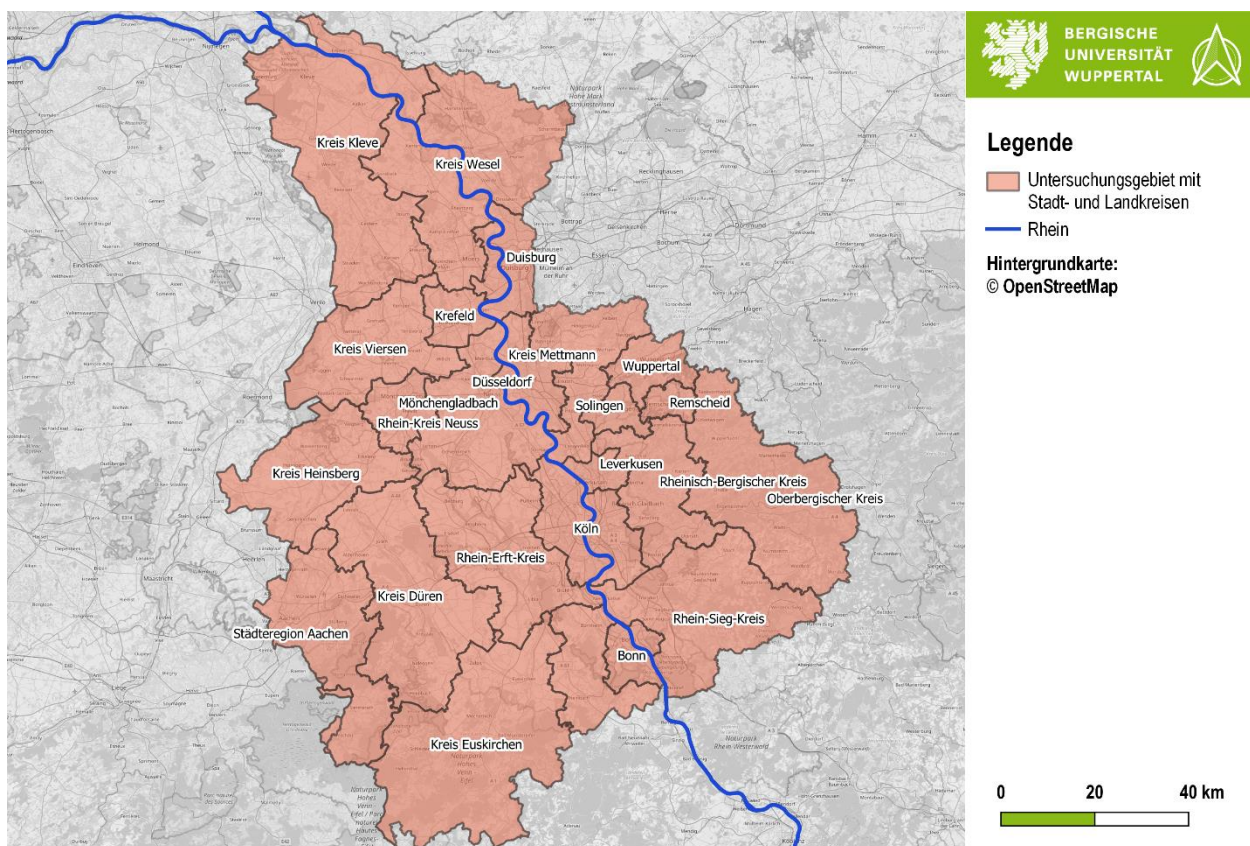


Abbildung 1: Untersuchungsgebiet mit zugehörigen Stadt- und Landkreisen
(Quelle: Eigene Darstellung)

Insgesamt beträgt die Fläche des Untersuchungsgebietes 12.274 km², was 36 % der gesamten Fläche NRWs entspricht. Gleichzeitig wohnen im Untersuchungsraum im Jahr 2020 ungefähr 8.712.000 Personen. Dies entspricht fast 50 % der gesamten Einwohner dieses Bundeslandes. Damit wird der Fokus auf eine der am dichtesten besiedelten Regionen Deutschlands gelegt. Von den fast neun Millionen Einwohnern im Jahr 2020 gingen 3.441.000 Personen einer sozialversicherungspflichtigen (SVP) Beschäftigung nach. Dies entspricht fast 40 % der gesamten Einwohner. Die genauen Zahlen für die Einwohner und SVP-Beschäftigten jeder kreisfreien Stadt bzw. jedes Landkreises im Untersuchungsgebiet lassen sich der folgenden

Tabelle 2 entnehmen. Dort ist auch der prozentuale Anteil der SVP-Beschäftigten an der gesamten Einwohnerzahl ablesbar.

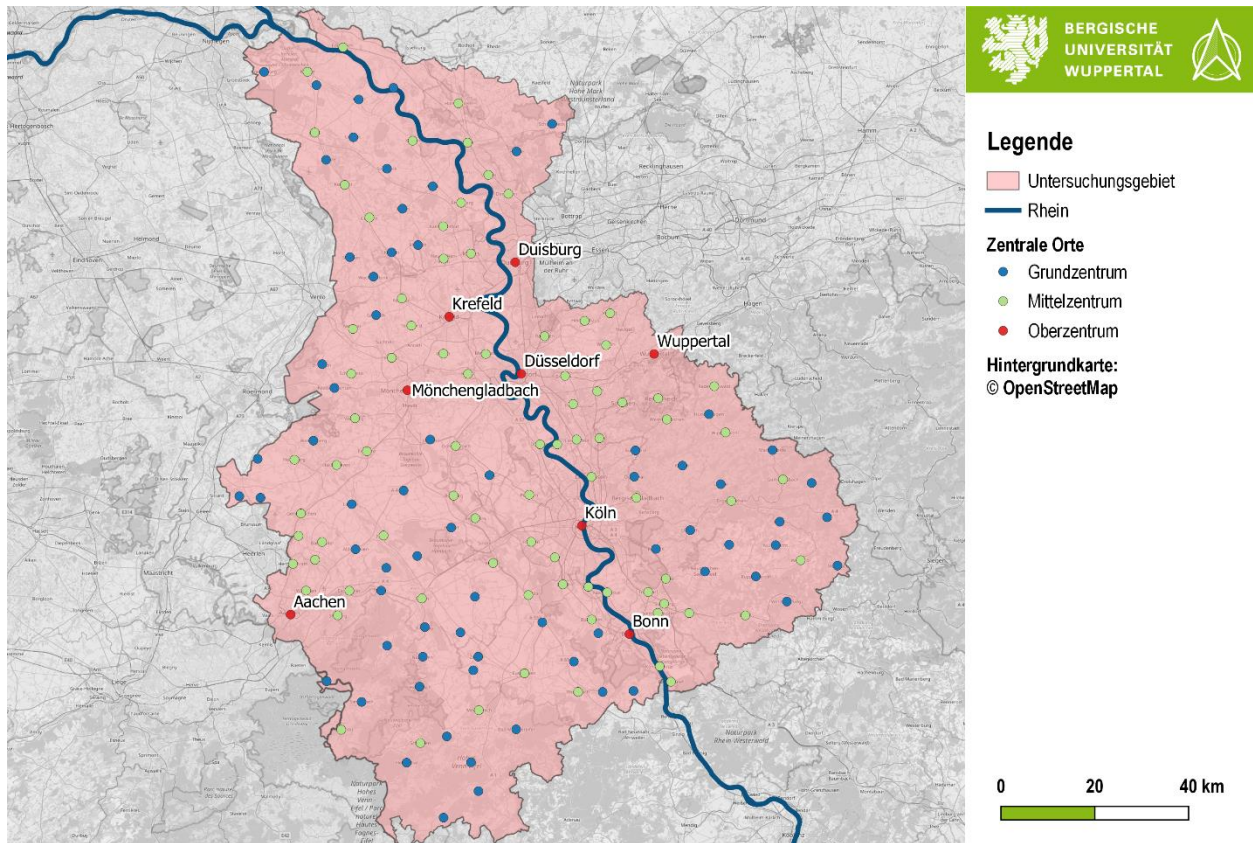
Tabelle 2: Einwohnerzahl und Anteil der SVP-Beschäftigten je Stadt-/Landkreis im Untersuchungsgebiet

Stadt-/Landkreis	Einwohnerzahl	SVP-Beschäftigte	Anteil SVP-Beschäftigte
Köln	1.083.498	579.638	53%
Düsseldorf	620.523	429.514	69%
Rhein-Sieg-Kreis	600.375	150.186	25%
Städteregion Aachen	556.631	217.776	39%
Duisburg	495.885	174.630	35%
Kreis Mettmann	484.322	194.078	40%
Rhein-Erft-Kreis	469.611	145.556	31%
Kreis Wesel	460.113	139.330	30%
Rhein-Kreis Neuss	452.001	150.186	33%
Wuppertal	355.004	126.344	36%
Bonn	330.579	179.903	54%
Kreis Kleve	313.586	103.901	33%
Kreis Viersen	298.536	94.236	32%
Rheinisch-Bergischer Kreis	283.275	75.170	27%
Oberbergischer Kreis	271.699	104.292	38%
Kreis Düren	265.140	85.766	32%
Mönchengladbach	259.665	100.875	39%
Kreis Heinsberg	256.458	74.090	29%
Krefeld	226.844	95.119	42%
Kreis Euskirchen	194.359	57.767	30%
Leverkusen	163.905	64.221	39%
Solingen	159.193	52.928	33%
Remscheid	111.516	45.815	41%

Quelle: (Statista, Einwohnerzahl der Stadt- und Landkreise in Nordrhein-Westfalen im Jahr 2020, 2021) und (Statista, Anzahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in den Land- und Stadtkreisen in Nordrhein-Westfalen im Jahr 2020, 2021)

Wie der Tabelle 2 zu entnehmen ist, variieren die Anteile der SVP-Beschäftigten an der gesamten Einwohnerzahl stark abhängig von der jeweiligen Region. Hieraus folgt das unterschiedliche regionale Potential an Arbeitskräften für die Logistikdienstleister, wenn man sich an dem in Kapitel 3 vorgestellten Bewertungsschema für Logistikimmobilien orientiert. Dort bekamen Standorte in Gemeinden hinsichtlich der Arbeitskräfteverfügbarkeit eine bessere Bewertung, wenn dort der Anteil der Arbeitslosen ohne abgeschlossene Berufsausbildung besonders hoch ist.

Aus dem Landesentwicklungsplan NRWs lassen sich die zentralen Orte mit ihrer jeweiligen Funktionsstufe Ober-, Mittel- und Unterzentrum entnehmen (Staatskanzlei des Landes Nordrhein-Westfalen, 2013). Innerhalb des Untersuchungsgebietes gibt es 162 zentrale Orte. Die acht Orte, welche als Oberzentrum klassifiziert sind, sind der nachfolgenden Abbildung 2 zu entnehmen.



**Abbildung 2: Zentrale Orte im Untersuchungsgebiet
(Quelle: Eigene Darstellung)**

85 Orte sind als Mittelzentren deklariert und 69 als Grundzentren. Ebenfalls ist auf der Karte gut zu sehen, dass sich vor allem um die Oberzentren im Untersuchungsgebiet vermehrt Mittelzentren in direkter Nähe befinden, wohingegen im Oberbergischen Raum, am Niederrhein und in der Eifel die Zentrendichte deutlich abnimmt und sich hier meist nur noch Grundzentren befinden.

5 Vorstellung der typischen Logistikprozesse

Nachfolgend werden die typischen Logistikprozesse der beiden Segmente Lebensmitteleinzelhandel und KEP-Dienstleistungen vorgestellt. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden Experteninterviews mit zwei Handelsunternehmen geführt, die die aus der akademischen Literatur verfügbaren Informationen mit praxisorientierten Kriterien erweitern. Dies dient als Grundlage für das spätere Routing von realitätsnahen Touren zur Versorgung der sich im Untersuchungsgebiet befindlichen Filialen im Lebensmitteleinzelhandel durch die entsprechenden Depots, ebenso wie die Belieferung der Kunden der KEP-Dienstleister von ihren Netzwerkstandorten aus.

5.1 Logistikprozesse im Lebensmitteleinzelhandel

Eine effiziente Filiallogistik ist bei den vielen konkurrierenden Lebensmitteleinzelhändlern immer wichtiger geworden, um eine stetige Lieferbereitschaft ebenso wie eine kontinuierliche und sichere Warenversorgung zu gewährleisten. Mit dieser Thematik zur Vermeidung von Out-of-Stocks beschäftigt sich die Dissertation von Florian Hofer (Hofer, 2009).

Das oberste Ziel der Filiallogistik ist die Vermeidung von Leerständen in den Regalen, auf der anderen Seite dürfen aber auch nicht Überangebote resultieren, was höhere Lagerkosten in den Filialen nach sich zieht. Nur wenn dieses Gleichgewicht bei der Belieferung der Filialen erreicht wird, kann die Wettbewerbsfähigkeit eines Standortes im Lebensmitteleinzelhandel gewährleistet werden (Hofer, 2009, S. 21 f).

Für das Routing der späteren Touren ist nur die Art der Belieferung von Bedeutung. Deshalb wird nicht darauf eingegangen, wie die Waren verpackt sein müssen und wie die Regale in den Filialen nach der Belieferung befüllt werden.

Im Allgemeinen lassen sich für den Lebensmitteleinzelhandel drei unterschiedliche Belieferungskonzepte aufzeigen. Die drei Arten Zentralbelieferung, Streckenbelieferung und Cross-Docking sind in der folgenden Abbildung 3 schematisch dargestellt.

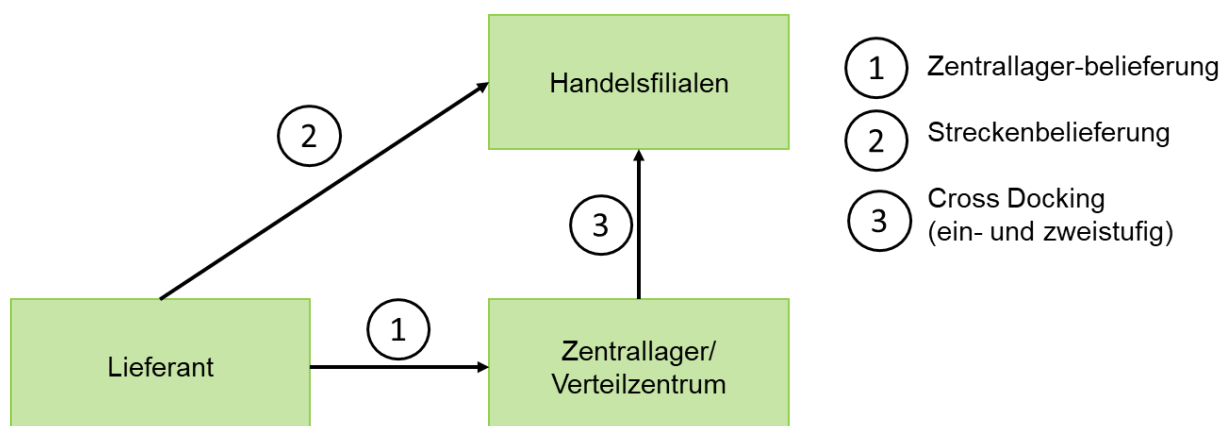


Abbildung 3: Grundformen relevanter Belieferungskonzepte in Konsumgüter-Supply Chains

(Quelle: Hofer, 2009, S. 144)

Bei der Zentralbelieferung gibt es ein oder einige wenige Zentrallager bzw. Verteilzentren für eine Region. Dort ist ein großer Teil bis hin zum kompletten Sortiment des Handelsunternehmens gelagert. Diese Zentrallager werden durch die Hersteller der Waren beliefert, bevor in den Lagern die unterschiedlichen Produkte für die einzelnen Handelsfilialen zu Bündeln zusammengestellt und in passenden Mengen ausgeliefert werden. Das Zentrallager ist somit die Verknüpfung zwischen den Verkaufsfilialen und den Herstellern. Dieses Konzept ermöglicht es, dass Nachfrageschwankungen gepuffert, dass große Lagerreserven in den Handelsfilialen reduziert und dass kurzfristige Filiallieferungen durch die Bündelung von Warenströmen kostengünstig durchgeführt werden können. Darüber hinaus wird noch eine bestmögliche Auslastung der Transportkapazität erreicht. Durch die Zentralbelieferung haben die Handelsfilialen die Möglichkeit, täglich Bestellungen beim Zentrallager aufzugeben, was Warenlieferungen innerhalb weniger Tage ermöglicht. Im Falle von umfangreichen Warenlieferungen aus verschiedenen Zentrallagern kann die einzelne Filiale sogar mehrmals täglich Bestellungen aufgeben. Die Vorteile der (täglichen) Zentralbelieferung sind vor allem dann erkennbar, wenn nur geringe Bestellmengen ausgelöst und überwiegend Artikel aus dem mittel- bis schnell-drehenden Sortiment verkauft werden. Die hohe Belieferungsfrequenz verbunden mit der Bündelung von geringen Bestellmengen ermöglicht einen niedrigen Warenbestand in den Handelsfilialen bei gleichzeitig flexibler Anpassung an Nachfrageschwankungen. Als letzten Vorteil dieses Systems ist zu nennen, dass, für den Fall dass der Zeitraum bis zu einer erneuten direkten Belieferung nicht ausreicht, hierdurch erhöhte Abverkäufe aufgefangen werden können (Hofer, 2009, S. 145 f).

Bei der Streckenbelieferung werden wiederum keine Zwischenlager benötigt. Die Produkte werden stattdessen direkt vom Hersteller zu den Filialen geliefert. Aufgegebene Bestellanfragen werden bei den Handelszentralen gebündelt, so dass der Hersteller die Waren filialgerecht zusammenstellt und dann zuliefert. Im Unterschied zur Zentralbelieferung ist der Hersteller auch mit der Koordination der Filialbelieferung betraut. Die Filialen geben für die Belieferung meist definierte Zeitfenster vor, so dass sichergestellt werden kann, dass mindestens ein Filialmitarbeiter sich um die Entladung an der Warenrampe kümmern kann. Bei diesem Belieferungskonzept werden die einzelnen Handelsfilialen deutlich häufiger beliefert, da es weniger Bündelungsmöglichkeiten für die Warenlieferungen gibt und die Zustellung dezentral erfolgt. Ein weiterer Unterschied zur Zentralbelieferung ist, dass die Warenbestellungen immer zu festen Zeitpunkten an den Hersteller übermittelt werden und somit die Belieferung in immer gleichen Zeitabständen erfolgt. Die Vorteile der Streckenbelieferung zeigen sich vor allem bei einem ausgedehnten Produktportfolio, welches über die einzelnen Handelsfilialen vertrieben wird und sich aufgrund dessen hohe Bestell- und Warenvolumina je Lieferung realisieren lassen. Dies ermöglicht Komplett- oder Teilladungen je Filiale. Wenn die angebotenen Waren aufgrund ihres Wertes, ihrer Größe oder Transportempfindlichkeit spezielle Transportmittel oder -behälter erfordern, bietet sich ebenfalls die Streckenbelieferung an. Für schnell verderbliche Waren gilt dies ebenso, da hierdurch die zeitintensive Zwischenlagerung entfällt. Als Nachteil der Streckenbelieferung bleiben aber die niedrigere Belieferungsfrequenz und Flexibilität zu nennen, die sich durch die direkte Schnittstelle mit dem Hersteller ergeben (Hofer, 2009, S. 147 f).

Das letzte der drei Belieferungskonzepte wird Cross Docking genannt. Bei diesem Prinzip werden die Waren vom Hersteller über einen Umschlagsplatz an die einzelnen Handelsfilialen geliefert. Der Umschlagsplatz hat hierbei nicht die Funktion eines Zwischenlagers, sondern hier werden die Waren nur zeit- und bedarfsgerecht kommissioniert, bevor sie weiter versandt werden. Hierdurch kann synchron zum Abverkauf eine Belieferung erfolgen, was sowohl eine

Reduzierung der Pufferbestände in der gesamten Belieferungskette als auch eine erhebliche Verkürzung der Durchlaufzeiten ermöglicht. Für die einzelnen Filialen hat dies den Vorteil, dass der Warennachschub deutlich flexibler wird und die Bestände in den Geschäften deutlich gesenkt werden können. Beim Cross Docking werden zwei Unterformen unterschieden. Im Rahmen des *einstufigen Cross Dockings* werden die filialspezifischen Bestellungen durch die Handelszentrale gebündelt an die Hersteller übermittelt, welche die Waren abhängig vom Bedarf der einzelnen Filialen zusammenstellen und in entsprechenden Einheiten an die Umschlagspunkte liefern. Das Handelsunternehmen ist dann für die anschließende Zusammenfassung, Umladung und Auslieferung der Waren verantwortlich. Beim *zweistufigen Cross Docking* initiiert der Hersteller den Warenfluss zu den Handelsfilialen. In den Verteilzentren erfolgt die Bündelung der Bestellungen und die Auflösung der Einheiten der sortenreinen Lieferungen nach Wareneingang, bevor die Ware anhand des filialspezifischen Bedarfes ohne Zwischenlagerung zusammengestellt und an die einzelnen Handelsfilialen weitergesandt wird. Bei diesem Verfahren hat das Handelsunternehmen durch die Bearbeitung der filialspezifischen Bestellungen und den anschließenden Versand einen zusätzlichen Kommissionierungsprozess am Umschlagspunkt. Besonders geeignet ist das Cross-Docking-Verfahren bei Sortimenten mit einem hohen Bestellvolumen. Artikel mit einer langsamen bis mittleren Abverkaufsgeschwindigkeit gestalten einen kontinuierlichen Warennachschub deutlich leichter (Hofer, 2009, S. 148 ff).

In der Praxis ist es aufgrund des großen Sortimentumfangs und der Vielzahl an Lieferanten im Lebensmitteleinzelhandel häufig der Fall, dass unterschiedliche Belieferungskonzepte genutzt werden. Meist geben die Wareneigenschaften ein Belieferungskonzept vor. So bietet sich eine Kombination aus Strecken- und Zentralbelieferung bei großvolumigen Produkten an, deren geringer Abverkauf längere zeitliche Abstände für Teil- und Komplettbelieferungen an die Filiale ermöglicht. Auf der anderen Seite werden schnelldrehende Sortimentsbereiche überwiegend täglich über das Zentrallager geliefert. Eine Kombination der Zentralbelieferung mit dem ein- oder zweistufigen Cross Docking ist bei filialgerecht kommissionierten Lieferungen durch die Hersteller sinnvoll, die dann von weiteren Beständen aus dem Zentrallager ergänzt werden. Hierdurch lässt sich die Zahl der Anlieferungen bei den einzelnen Handelsfilialen verringern. Selbstverständlich ist auch eine Kombination sämtlicher Belieferungskonzepte möglich, was aber die Komplexität der Filiallogistik deutlich erhöht (Hofer, 2009, S. 150 f).

Aus Sicht der filialspezifischen Disposition sind die Bedarfsprognose und die Bestellung bedeutsam. Es gilt hier das Minimum aus der Summe der Transport- und Bestandskosten zu finden. Als dritter Kostenbestandteil kommen noch die Fehlmengenkosten hinzu, die sich bei Out-of-Stock-Situationen ergeben. Es ergeben sich zwei unterschiedliche Bestellverhalten. Sofern eher selten bestellt wird, wird die einzelne Bestellung größere Warenmengen umfassen. Hierdurch können unerwartete Bedarfsspitzen durch entsprechende Sicherheitsbestände im Filiallager abgedeckt werden. Die andere Option ist die häufige Bestellauslösung, wobei jeweils nur eine geringe Menge an Waren angefragt wird. Selbst wenn im Backstore der Filiale kaum Lagerungsmöglichkeiten vorhanden sein sollten, lässt sich mit dieser Methode ein annähernd nachfragesynchrones Warenangebot schaffen (Hofer, 2009, S. 153 f).

Aus Sicht der Belieferung gibt es ebenfalls zwei unterschiedliche Methoden. Bei der ersten werden die Bestellungen über einen längeren Zeitraum aufgeschoben, bevor sie dann gebündelt ausgeliefert werden. Einer unsicheren Nachfrage und einer drohenden bzw. bestehenden Out-of-Stock-Situation können hiermit besser begegnet werden. Hierzu müssen die Zwischenlager entsprechend dimensioniert sein, damit die Ware möglichst lange ohne filialspezifische

Zuordnung gelagert werden kann. Das zweite Konzept wird von der filialseitigen Spekulation hinsichtlich der erwarteten Nachfrage bestimmt. Waren können im Rahmen dieser Touren deutlich besser gebündelt werden. Auf der anderen Seite müssen die Filialen dann auch entsprechende Lagerkapazitäten haben, um die möglichen Überbestände bis zur Verschiebung auf die Verkaufsfläche nochmals zwischenlagern zu können. Vor allem bei dezentralen Strukturen innerhalb der Lieferkette ist die spekulative Bestellung häufig anzutreffen (Hofer, 2009, S. 154 f).

Bei der Konsolidierung der Warenflüsse lassen sich die zeitliche und/oder räumliche Bündelung und die Vereinzelung unterscheiden. Im Rahmen der zeitlichen Bündelung verbleiben die unterschiedlichen Artikel in den Zentrallagern bis zur filialspezifischen Bestellung. Bei der räumlichen Bündelung werden mehrere kleine Warensendungen so zusammengefasst, dass mit einer Auslieferung mehrere Filialen bedient werden können. Hierfür werden indirekte Belieferungskonzepte benötigt, die mit steigender Bündelung in geringeren Belieferungsfrequenzen resultieren. Um dabei weiterhin eine hohe Regalverfügbarkeit zu gewährleisten, müssen die Filialen größere Pufferbestände anlegen. Bei der Vereinzelung sind die Lieferungen hingegen häufiger und mengenmäßig kleiner, was die Kosten für die Warenannahme und den Transport erhöht. Demgegenüber stehen aber geringere Bestands- und Fehlmengenkosten (Hofer, 2009, S. 155).

Die letzte zu betrachtende Sichtweise der Filiallogistik aus Sicht des Lieferrhythmus unterscheidet die flexible und die starre Form. Für den Fall, dass nur fixe Bestellmengen jedes Artikels durch die Handelsfiliale geordert werden können, kommen flexible Lieferrhythmen zum Einsatz, um Nachfrageschwankungen auszugleichen. Eine individuelle Anpassung der Belieferungsmengen ist bei starren Lieferrhythmen der Fall, um auch hier auf Nachfrageschwankungen reagieren zu können. Bei flexiblen Lieferrhythmen mit kurzen Lieferzeiten sind die Bündelungsmöglichkeiten von Warenbestellungen mehrerer Handelsfilialen eher gering. Dies führt zu geringeren Liefermengen und einer erhöhten Auslastung der Warenannahme an den Filialen. Auf der anderen Seite führen die starren Lieferrhythmen mit den langen Lieferzeiten zu größeren Filialbeständen, die zur Sicherheit der Regalverfügbarkeit vorgehalten werden müssen (Hofer, 2009, S. 155 f).

Im Rahmen seiner Dissertation hat Florian Hofer anhand von drei Handelsunternehmen die vorgestellten Ausprägungen der Filiallogistik in der Praxis untersucht. Das erste Handelsunternehmen gehört zu einer Handelsgruppe mit einem hohen Marktanteil in Deutschland und kann 200 Handelsfilialen bundesweit zählen, deren Verkaufsfläche jeweils zwischen 4.000 und 10.000 m² liegt. Folglich können die Filialen zu den großen Verbrauchermärkten gezählt werden. Mit einem besonders breiten Produktangebot und bis zu 15 Kassen pro Geschäft sind die Filialen auf eine hohe Kundenfrequenz ausgelegt. Von den über 3.000 verschiedenen Lieferanten des Unternehmens sind 50 % durch permanente Warenpräsenz produkttechnisch vertreten. Die Belieferungsstruktur ist sehr heterogen. 40 % der Belieferungen erfolgt über die Strecke und die verbleibenden 60 % über Regional- und Zentrallager. Die direkte Belieferung durch die Hersteller des Lebensmittelbereiches erfolgt ein- bis zweimal pro Woche, wohingegen für den Nonfood-Bereich die direkte Belieferung nur im Zwei-Wochen-Rhythmus stattfindet. Hierfür gibt es fest definierte Liefertage. Lieferungen aus dem Zentrallager erreichen die Filialen dagegen im Mittel vier Mal die Woche. Bei Frischprodukten finden diese sogar täglich statt, unabhängig davon ob sie aus den Regionallagern oder direkt von den Herstellern kommen (Hofer, 2009, S. 165 f).

Auch Handelsunternehmen II besitzt einen hohen Marktanteil in der Region, wo es über 120 Filialen aufweisen kann. Die Größe der einzelnen Märkte variiert dabei von 250 m² bis hin zu 5.000 m². Da aber die meisten Filialen eine durchschnittliche Fläche von 600 bis 2.500 m² haben, können diese der Kategorie Supermarkt bzw. Verbrauchermarkt zugeordnet werden. Im angebotenen Sortiment sind mehrheitlich Lebensmittel, zu geringen Anteilen auch Nonfood-Artikel. Bei größer werdenden Filialen nimmt der Anteil der Nonfood-Artikel an den Gesamtwaren innerhalb der Filiale zu. Alle bisher vorgestellten Belieferungskonzepte kommen bei Handelsunternehmen II zum Einsatz. Sowohl direkte als auch indirekte Belieferungen erfolgen täglich (Hofer, 2009, S. 167 ff). Hinsichtlich der Disposition ist das Unternehmen auf feste Bestellmengen bei variabler Belieferungsfrequenz eingerichtet. Des Weiteren gibt es für jede Filiale einen Rampenbelegungsplan mit engen Zeitfenstern, um Rückstaus an der Warenannahme zu vermeiden (Hofer, 2009, S. 83).

Das Handelsunternehmen III zählt über 1000 Filialen, welche eine durchschnittliche Fläche von 800 m² haben. Das Sortiment ist mit nur 800 Artikeln eher flach und schmal. Die Kostenoptimierung spielt in den Filialen eine wichtige Rolle, was sich an den standardisierten Warenrampen und der einheitlichen Ladengestaltung zeigt. Sowohl die Kundenfläche als auch die Kassenbereiche sind auf eine hohe Kundenfrequenz ausgelegt. Aufgrund des hohen Warenumschlages erfolgt die tägliche Lieferung ausschließlich über Regionallager aus einem Umkreis von maximal 50 Kilometern. Nur frische Backwaren werden täglich von nahe gelegenen Großbäckereien per Streckenbelieferung angeliefert (Hofer, 2009, S. 169 ff). Jede Belieferung aus den Regionallagern besteht in den meisten Fällen aus drei bis vier Einheiten von zehn Paletten (Hofer, 2009, S. 86).

5.2 Praxiserfahrungen aus der Logistik im Lebensmitteleinzelhandel

Um möglichst realitätsnahe Rahmenbedingungen für die Kalibrierung des Routingmodells zu ermitteln, wurden noch Experteninterviews mit zwei Mitarbeitern aus der Logistikplanung von marktführenden Unternehmen im Lebensmitteleinzelhandel geführt.

Aus dem Interview mit Unternehmen A hat sich ergeben, dass jedem regionalem Verwaltungssitz ein Logistikzentrum angegliedert ist, welches die Filialen innerhalb der Region versorgt. Im Normalfall werden außerhalb liegende Märkte nicht beliefert. Mit Ausnahme von Fruchthöfen gibt es bei diesem Unternehmen keine Direktbelieferungen vom Hersteller an die Filialen. Das Unternehmen A befindet sich noch im Wachstumsprozess, was gepaart mit dem immer breiter werdenden Produktsortiment zu einer beständigen Suche nach Optimierungspotentialen bei den Logistikzentren führt. Die gestiegenen Anforderungen haben dazu geführt, dass das Grundstück eines neuen Zentrallagers eine Mindestfläche von 120.000 m² haben muss, um überhaupt in Betracht gezogen zu werden. Mit das wichtigste Kriterium bei der Standortwahl ist die Nähe zu den Filialen und nicht die Nähe zum Hersteller oder Lieferanten. Dies begründet sich damit, dass die meisten Hersteller auch andere Unternehmen versorgen, was eine Kostensenkung besser über eine optimierte Standortwahl in Bezug auf die eigenen Märkte umsetzen lässt. Die Regionallager werden wiederum entweder direkt von den Herstellern oder über externe Zentrallager beliefert (Meier, 2022).

Der zugehörigen Unternehmensgruppe sind noch andere Unternehmen unterstellt, welche ebenfalls Filialen im Lebensmitteleinzelhandel betreiben. Die Logistik wird für jedes Unternehmen aber separat geplant und umgesetzt. Es gibt somit keine Belieferungstouren, in denen beide

Unternehmensfilialen beliefert werden. Ferner versorgen auch die jeweiligen Logistikzentren nur die eigenen Märkte. Bei der Belieferung erfolgt eine Trennung zwischen Kühl- und Trockensortiment, da hierfür unterschiedliche Fahrzeugaufleger benötigt werden. So erreicht jede Filiale täglich mindestens eine Lieferung beider Sortimente. Bei entsprechend hohen Umsätzen einer Filiale ist es aber auch möglich, dass diese mehr Lieferungen täglich erreichen. Auf den klassischen Belieferungs-LKW passen 33 Europaletten. Da die Fahrzeuge im Warenausgang aufgrund der individuellen Filialbestellungen und der dadurch bedingten individuellen Zusammenstellung der Warenpaletten nicht hundertprozentig ausgelastet werden können, wird ein Zielwert von um die 95 % je Fahrzeug angestrebt. Die Bestellungen je Markt für das Trockensortiment sind in der Regel etwas umfangreicher, was dazu führt, dass ein Fahrzeug im Schnitt 1,4 Filialen mit einer Tour beliefern kann. Für das Kühlsortiment sind zwischen 3 und 3,3 Filialen möglich. In Bezug auf die maximale Distanz und das zeitliche Limit einer Tour gilt einzig, dass die gesetzlichen Lenk- und Ruhezeiten der Fahrer eingehalten werden müssen. Des Weiteren muss auch auf temporäre Durchgangsbeschränkungen in Städten oder Durchfahrtsverbote für Diesel-LKW Rücksicht genommen werden. In letzterem Fall würden dann kleinere LKW bzw. Sprinter zum Einsatz kommen, was bislang jedoch eine Ausnahme darstellt (Meier, 2022).

Bei Unternehmen A erfolgt die Anlieferung der Filialen mittlerweile überwiegend in der Nacht (60 %). Hierfür muss der betroffene Markt die Möglichkeit bieten, auch personalunabhängig anliefern zu lassen, sofern dies aufgrund von externen Restriktionen überhaupt zulässig ist (Stichwort: nächtliches LKW-Fahrverbot in Stadtteilen). In einem solchen Fall öffnet der Fahrer an der Warenrampe ein Tor, lädt aus und fährt weiter. Hinter dem Tor befindet sich ein Raum, der über ein Gitter vom restlichen Lager getrennt ist. Dieses Gitter wird dann am nächsten Tag durch die Mitarbeiter geöffnet, die die neuen Waren dann ins Lager bzw. in die Verkaufsräume überführen. Für Märkte ohne diese Option sind immer eigene Mitarbeiter während der Anlieferung notwendig, was die Belieferung auf die Öffnungszeiten der jeweiligen Filiale beschränkt. Dann wird aber überwiegend in den Morgenstunden bzw. am Abend geliefert. Feste Zeitpläne für die Belieferung einer jeden Filiale gibt es nicht (Meier, 2022).

Das befragte Unternehmen B ist Kern der Unternehmensgruppe, zu der auch ein kleineres Unternehmen gehört, die einige wenige Märkte des Lebensmitteleinzelhandels in Deutschland besitzen, sowie ein großer Discounter, der zu den Marktführern innerhalb Deutschlands zählt. Der Discounter wird eigenständig beliefert. Es gibt somit keine Überschneidungen zwischen der Logistik des Mutterunternehmens und dem Discounter. Die wenigen Märkte des zugehörigen Tochterunternehmens des Lebensmitteleinzelhandels werden aber über die Logistikzentren des Mutterunternehmens beliefert (Hankel, 2022).

Die Belieferung der Filialen erfolgt dabei sowohl über die Regionallager als auch direkt durch die Hersteller der Produkte. Innerhalb einer Liefertour können dabei sowohl Filialen des Mutterkonzerns als auch des kleineren Tochterunternehmens angefahren werden. In der Regel bekommen die Märkte täglich Lieferungen aus dem Frischebereich, wohingegen die Lieferungen anderer Sortimentsgruppen zwischen drei- bis sechsmal die Woche abhängig von der Marktgröße schwanken. Abhängig von der Ladung kann ein Fahrzeug unterschiedlich viele Filialen beliefern. Für den Frischebereich sind zwischen drei bis fünf Filialen innerhalb einer Tour möglich, wohingegen sich für das restliche Sortiment die zu beliefernden Filialen auf eine bis vier reduzieren. Dies sind aber nur allgemeine Angaben, die je nach Marktgröße und Sortimentsbereich schwanken können (Hankel, 2022).

Auch bei Unternehmen B gibt es keine eigens festgelegten Zeitfenster für die Belieferung der Märkte. Einschränkungen bedingen sich meist ähnlich wie bei Unternehmen A durch extern festgelegte Anlieferverbote für Gebiete, in denen sich einzelne Filialen befinden. Ansonsten erfolgt die Belieferung analog zu Unternehmen A entweder nachts – sofern die Filialen diese Möglichkeit bieten – oder tagsüber während der Öffnungszeiten der jeweiligen Märkte (Hankel, 2022).

Inwiefern die gewonnenen Erkenntnisse bezüglich der Lage und Größe der Regionallager, des Fuhrparks und der Routenplanung in die Kalibrierung des Routingmodells geflossen sind, wird in Kapitel 8.1 beschrieben.

5.3 Logistikprozesse bei KEP-Dienstleistern

Die zweite in dieser Arbeit betrachtete Logistikgruppe betrifft die der KEP-Dienstleister. Diese inkludiert die drei Sparten Kurier-, Express- und Paketdienste, welche hier im Folgenden mit ihren jeweiligen Besonderheiten kurz vorgestellt werden.

Die Kurierdienste zeichnen sich durch einen Direktverkehr mit individueller Abholung und Zustellung der Sendung aus. Üblicherweise beträgt das Gewicht der Sendung nicht mehr als drei Kilogramm. Wichtig ist hier vor allem die Zustellung innerhalb kürzest möglicher Zeit in Verbindung mit einer hohen Zuverlässigkeit. Die Logistik wird somit bestmöglich an den Kunden adaptiert. Unternehmen, welche Kurierdienste anbieten, können sowohl regional, national als auch international operieren. Als Abgrenzung zu dieser Sparte gibt es bei den Expressdiensten keine Gewichts- oder Maßbeschränkungen. Ein weiterer Unterschied ist die Distribution via Sammelverkehr und nicht im Direktverkehr. (Bednarczyk, 2012, S. 22)

Die Paketdienste arbeiten vor allem mit in Paketform verpacktem Kleingut mit einem Maximalgewicht von 31,5 kg, dessen Transport üblicherweise nachts erfolgt. Die Gewichtsgrenze resultiert aus der Notwendigkeit zur Handhabung der Sendung durch eine einzelne Person. Darüber hinaus ist dies die Grenze für einen genehmigungsfreien Güterverkehr in den USA. Diese theoretischen Grenzen zwischen den drei Sparten verschwimmen in der Praxis aber regelmäßig, was eine klare Abgrenzung immer schwieriger macht (Bednarczyk, 2012, S. 22 f).

Der Logistikablauf der KEP-Dienstleister lässt sich allgemein in die drei Phasen Vorlauf, Hauptlauf und Nachlauf unterteilen. Beim Vorlauf werden die Sendungen in Touren eingesammelt und zu einem Versanddepot bzw. Hub geliefert. Von diesem Hub aus werden die Sendungen gebündelt zu anderen Hubs in der Nähe der Zieldestination gebracht. Dieser Schritt wird als Hauptlauf bezeichnet. Im Nachlauf werden die Sendungen dann durch Verteiltouren vom Empfangsdepot an die Empfänger überstellt (Bednarczyk, 2012, S. 1).

In der Regel erfolgt der Transport vom Versanddepot zum Empfangsdepot gebündelt auf einem Fahrzeug. Dies ist in Europa meist ein Wechselbrückenfahrzeug mit der Kapazität für zwei normierte Ladegefäße. Es ist aber auch möglich, dass aufgrund der Anzahl der Depots sehr viele Transportrelationen im Hauptlauf vorliegen können. Um eine angemessene Auslastung der Transportmittel zu erreichen, werden durch die Abwicklung mehrerer Transporte über einen weiteren Umschlagpunkt die Sendungen im Hauptlauf nochmals gebündelt. Dies resultiert dann in Transporte über mehrere Hubs und unterschiedliche Verkehrsmittel, bevor die Sendungen ihr Ziel erreichen (Bednarczyk, 2012, S. 2).

Als Abgrenzung zu den undifferenzierten Sammelgutssystemen zeichnen sich die KEP-Dienstleister durch hochspezialisierte Transportnetze aus. Diese Netze sind auf die Eigenheiten

der zu transportierenden Güter mit ihren meist einheitlichen Verpackungen und dem verhältnismäßig geringen Gewicht ausgelegt. Zu den Transportnetzen gehören ebenfalls die hochspezialisierten Sortierzentren mit einer minimalen Umschlagdauer, von wo aus die weitere Auslieferung überwiegend mit den schnellsten Transportmitteln LKW oder Flugzeug erfolgt. Durch diese Maßnahmen erzielen die KEP-Dienstleister hohe Effizienzvorteile ebenso wie eine hohe Lieferqualität (Bednarczyk, 2012, S. 9).

Zum schnellen Transport tragen die Umschlaganlagen der Depots und Hubs maßgebend bei. Neben dem Leistungsvermögen der genutzten Verkehrsträger und des zugrunde liegenden Infrastrukturnetzes bestimmen sie die Leistungsgrenzen des Logistiknetzes. So besitzt jede Umschlaghalle eine feste Anzahl an Toren, welche in Eingangs-, Ausgangs- und Multifunktionstore unterschieden werden können. An den Ein- und Ausgangstoren findet die Ent- bzw. Beladung der Fahrzeuge statt. Die Multifunktionstore kombinieren beide Tätigkeiten. An den Toren kann meist über eine Rampe eine Umladung der LKWs oder Wechselaufbauten höhengleich durchgeführt werden. Die homogenen Güter, die über die KEP-Dienste transportiert werden, ermöglichen eine weitgehend automatisierte Sortierung der Sendungen nach der Entladung im Hub. Hierbei werden die Güter entweder vor Ort zwischengelagert oder direkt zu einem Tor befördert, wo sich das Fahrzeug befindet, mit welchem die Sendung weiter transportiert wird (Bednarczyk, 2012, S. 16 f).

Vereinfachend lässt sich das von den KEP-Dienstleistern betriebene Logistiknetz durch Knoten und sie verbindende Kanten beschreiben. Die Knoten stehen hierbei für die Depots und Hubs. Die Depots können als Umschlags- und Sammelpunkte definiert werden. Jedem Depot ist ein Versand- und Empfangseinzugsgebiet zugeordnet, in denen die Sendungen von den Kunden abgeholt bzw. an sie überbracht werden. Am Depot findet der Wechsel des eingesetzten Transportmittels für die dort umgeschlagenen Sendungen mit dem Ziel einer möglichst wirtschaftlichen Konsolidierung der Warenströme statt. Jede Sendung bekommt im Rahmen der Konsolidierung ein Versand- und ein Empfangsdepot zugeteilt. Als Zuteilungskriterium wiegt dabei der kürzeste Abstand zwischen Depot und Versender- bzw. Empfängerort der betrachteten Sendung am größten. Das Hub hingegen ist in erster Linie eine zentrale Umschlagseinrichtung innerhalb des durch den Logistiker genutzten Transportnetzes und soll die Auslastung auf den Streckenverkehren verbessern. Häufig ergeben sich somit im Hauptlauf nicht nur Direktsendungen zwischen den Depots, sondern auch weitere Umschlagspunkte an den Hubs zur verstärkten Konsolidierung (Bednarczyk, 2012, S. 31 f).

Die Netze der KEP-Dienstleister lassen sich hinsichtlich der Struktur grob in die beiden Typen Direktverkehrsnetzwerk und Hub-and-Spoke-Netze unterteilen. Bei ersterem ist jedes Depot mit jedem anderem Depot direkt verbunden. Ein weiterer Umschlag zwischen den Depots findet nicht statt. Das Hub-and-Spoke-Netz ist dadurch charakterisiert, dass es mindestens einen zentralen Umschlagspunkt besitzt. Alle Verbindungen aus den Depots laufen sternförmig hierauf zu. Direktverkehre zwischen den Depots gibt es folglich nicht. Zur weiteren Differenzierung lassen sich die Hub-and-Spoke-Netze noch in Regionalhub-, Feederhub- und Mehrhubnetze aufteilen. Teil des Regionalhubnetzes sind die namensgebenden Hubs, die die Sendungen aus mehreren naheliegenden Depots gebündelt über Direktverkehre an Hubs anderer Regionen schicken. Weil bei diesem System die Sendungen zweimal umgeschlagen werden müssen, ist dies eine zweistufige Netzstruktur. Im Zentrum des Feederhubnetzes steht ein zentraler Hub, der über die sogenannten Feederhubs versorgt wird. Da alle Sendungen über diesen zentralen Hub laufen, wird hier von einer dreistufigen Netzstruktur gesprochen. Im Mehrhubnetz werden alle

Sendungen über ein beliebiges Hub und von dort aus weiter zu den Depots verschickt. Ein Austausch von Sendungen zwischen den Hubs, ebenso wie ein direkter Austausch zwischen den Depots, kommt nicht vor. Reinformen dieser Netze sind in der Praxis aber eher unüblich. Meist findet der Transport über gemischte Transportnetze statt, wo situationsabhängig der beste Transportweg gewählt wird (Bednarczyk, 2012, S. 32 ff). Nachfolgend sind in Abbildung 4 und Abbildung 5 die beschriebenen Netzstrukturen schematisch dargestellt.

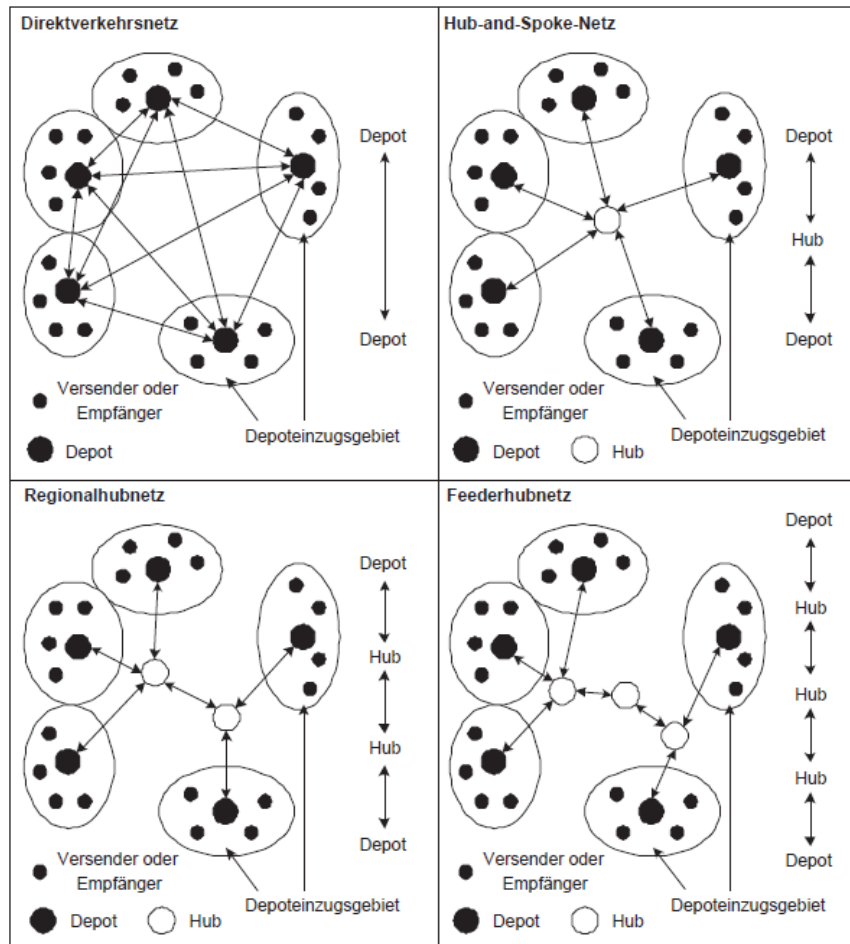


Abbildung 4: Darstellung eines Direktverkehrs-, Hub-and-Spoke-, Regionalhub- und Feederhubnetzes
(Quelle: (Bednarczyk, 2012, S. 33))

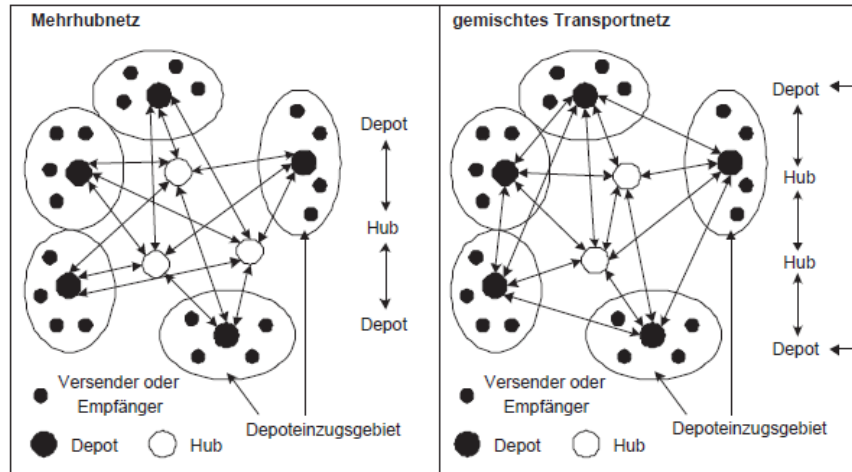


Abbildung 5: Darstellung eines Mehrhub- und gemischten Transportnetzes
(Quelle: (Bednarczyk, 2012, S. 33))

Die in der Praxis häufig vorzufindenden Mischstrukturen führen dazu, dass ein Hub auch als Versand- bzw. Empfangsdepot genutzt wird. Die beschriebene Transportkette aus Vor-, Haupt- und Nachlauf führt dazu, dass die Sendungen nicht direkt vom Kunden zum Depot transportiert werden, sondern im Rahmen von Sammeltouren abgeholt und im Depot umgeschlagen und für den Hauptlauf sortiert werden. Auch im Nachlauf erfolgt keine direkte Auslieferung sondern eine Zustellung in Form von Verteiltouren. Die unterschiedlichen Transportrichtungen bei den Verteil- und Sammeltouren in Bezug auf das Depot ermöglichen es, die Vor- und Nachläufe zur Effizienzsteigerung zu Rundtouren zu kombinieren. Da diese Touren sich auf ein flächenmäßig beschränktes Gebiet konzentrieren, wird hier von Flächenverkehren gesprochen (Bednarczyk, 2012, S. 34).

Eine solche in der Fläche durchgeführte Nahverkehrstour mit einem Fahrzeug beinhaltet maximal 1000 Sendungen. Mehr ist aufgrund der meist engen Zeitfenster für die Belieferung und Abholung nicht möglich. Die Touren finden in der Regel in fest vorgegebenen Gebieten statt, was den Einsatz von hierfür fest zugewiesenen Zustellern ermöglicht. Diese können durch die täglich annähernd gleichen Touren eine tiefgreifende Ortskenntnis erlangen und folglich auf unterschiedliche Verkehrssituationen in ihrem Gebiet flexibel reagieren. Darüber hinaus führt die Konstanz beim Fahrpersonal zu besseren Kundenbeziehungen (Bednarczyk, 2012, S. 37).

Im Hauptlauf findet dann die Konsolidierung statt, um die Sendungen möglichst effizient über große Entfernungen transportieren zu können. Deshalb wird der Hauptlauf dem Fernverkehr zugeordnet. Ebenfalls wichtig für einen effizienten Transport ist die zeitliche Abstimmung zwischen den einzelnen Läufen der Transportkette, die je nach Netz und Region unterschiedlich ausfallen kann. Die Servicezeit bezeichnet die zur Verfügung stehende Zeit für den Transport der Sendungen vom Versender zum Empfänger. Wird die vorgegebene Servicezeit überschritten, gelten die Sendungen als verspätet. In Deutschland liegt die Servicezeit meist bei 24 Stunden. 48 oder 96 Stunden sind hingegen bei europäischen und interkontinentalen Zielen die Regel (Bednarczyk, 2012, S. 34 ff).

Die Hauptläufe zwischen den Depots und Hubs mit den konsolidierten Sendungen als Teil des Fernverkehrs werden überwiegend als Tagesrundläufe geplant. Der Fahrer startet an einem Depot, fährt mindestens ein Hub oder Depot an und kommt zum Ende seiner Schicht wieder zum

Ausgangsdepot zurück. Bei Einhaltung der gesetzlichen Lenk- und Ruhezeiten ist dies die sozial verträglichste Tour für das Fahrpersonal und ermöglicht dabei die feste Zuordnung eines Fahrzeuges und Fahrers zu einem Depot. Sollten die Touren jedoch so lang sein, dass die Durchführung von Tagesrundläufen nicht möglich ist, bieten sich sogenannte Begegnungsverkehre an, bei denen zwei Fahrzeuge mit der gleichen Transportrelation aber entgegengesetzten Richtungen sich ungefähr in der Mitte der Route treffen und die Transportbehälter tauschen. Dann fahren die Fahrer mit den ausgewechselten Sendungen zum Ausgangsdepot zurück (Bednarczyk, 2012, S. 40).

Mit den Charakteristika und möglichen Verbesserungsmöglichkeiten in Bezug auf die innerstädtischen Lieferlogistik von KEP-Dienstleistern hat sich eine Forschergruppe der Frankfurt University of Applied Sciences im Rahmen eines Forschungsprojektes im Jahr 2016 auseinandergesetzt (Schäfer, et al., 2017). Hierbei wurden auch belastbare Zahlen hinsichtlich der durchschnittlichen Zustellzeiten und Paketmengen je Liefertour ermittelt, die für die Kalibrierung des Routingmodells der KEP-Dienstleister notwendig sind. Die Ergebnisse im aktuellen Bestand des Frankfurter Raums werden hier kurz zusammengefasst.

Für die Erhebung hat die Forschergruppe bei verschiedenen KEP-Dienstleistern insgesamt 40 Zustelltouren begleitet (Schäfer, et al., 2017, S. 14). Hierbei fiel auf, dass aufgrund des in den letzten Jahren deutlich gestiegenen Paketaufkommens es mittlerweile mehrere Tourengebiete mit gleicher Postleitzahl gibt. Abgegrenzt werden die Liefergebiete häufig über strukturelle Barrieren wie eine Autobahn oder einen Fluss. Darüber hinaus spielen noch Erfahrungswerte hinsichtlich Dauer einer Tour, Zeit für die Zustellvorgänge und vorzuhaltende Kapazitäten eine wichtige Rolle bei der Planung von Tourengebieten. Die Produktivität einzelner Zusteller bleibt hierbei jedoch unberücksichtigt. Da die Paketanzahl und das -volumen jedoch starken Varianzen unterliegen, werden die Touren regelmäßig – teils sogar tagesaktuell – angepasst (Schäfer, et al., 2017, S. 23).

Aus organisatorischen Gründen bevorzugen die Unternehmen den Einsatz eines Standardfahrzeuges in ihrem Fuhrpark, was in den meisten Fällen ein Transporter oder kleiner LKW ist. Der Einsatz von E-Fahrzeugen und Lastenfahrrädern bleibt hingegen eher die Ausnahme. Bei den meisten KEP-Dienstleistern beladen die Zusteller selbst ihr Fahrzeug, was auf der einen Seite den Vorteil hat, dass sie aufgrund der Kenntnisse des Tourengebietes und der dortigen Kunden die Ladung möglichst effektiv im Fahrzeug verräumen können. Dies führt aber zu einer deutlichen Verlängerung des Arbeitstages der Fahrer, bzw. schränkt den Zeitraum für die Zustellung ein (Schäfer, et al., 2017, S. 23 f).

Die Möglichkeit, den Kunden einen Lieferzeitraum auswählen zu lassen, wird immer populärer. Dies führt aber zu einem Effizienzverlust bei der Paketzustellung. Es wurde bei der Erhebung in diesem Zusammenhang beobachtet, dass die Zusteller eine Strecke mehrmals abfahren, um die unterschiedlichen Lieferzeiten zu gewährleisten (Schäfer, et al., 2017, S. 24).

Für die unterschiedlichen Kundenbereiche Business-to-Customer (B2C) und Business-to-Business (B2B) lassen sich verschiedene Eigenheiten feststellen. So liegt bei ersterem die durchschnittliche Zustellquote zwischen 75 und 95 %. Die Alternativzustellung beim Nachbarn oder beim Paketshop wird hier auch zugerechnet. Ein Viertel aller Pakete im B2C-Bereich fallen darunter. Im B2B-Bereich liegen die Zustellquoten hingegen bei über 96 %. Auch bei den Zustellzeiten unterscheiden sich die beiden Bereiche. Die gesamte Spanne für die Zustellung liegt häufig im Zeitfenster zwischen 8:30 und 20:00 Uhr, manchmal sogar darüber hinaus. Die Gewerbekunden werden überwiegend nur zwischen 9 und 18 Uhr beliefert. Eine spätere

Zustellung erfolgt dann nur noch in Misch- und Wohngebieten, was hauptsächlich Privatkunden betrifft (Schäfer, et al., 2017, S. 26 f).

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde auch die Dauer der Haltevorgänge während einer Zustelltour erhoben, die in den meisten Fällen nicht länger als 10 Minuten betrug. Es ließen sich aber Unterschiede je nach Stadtteiltyt feststellen. Über alle Stadtteiltyten hinweg lässt sich sagen, dass das Verhältnis von Fahrzeit zu Parkzeit auf einer einzelnen Tour bei durchschnittlich 25:75 lag (Schäfer, et al., 2017, S. 28 f).

Während der 40 beobachteten Touren wurden insgesamt 7.100 Pakete an 3.700 Kunden zugestellt. Dafür wurden 287 Stunden und 2.430 Laufwege benötigt. Daraus resultieren im Schnitt knappe 180 Pakete für 95 Kunden pro Tour. Eine Zustellfahrt dauert durchschnittlich 7 Stunden und 10 Minuten, wobei 60 Laufwege pro Tour gemacht werden. Die genannten Parameter können aber je nach Gebietstyp schwanken, wie der nachfolgenden Abbildung 6 zu entnehmen ist.

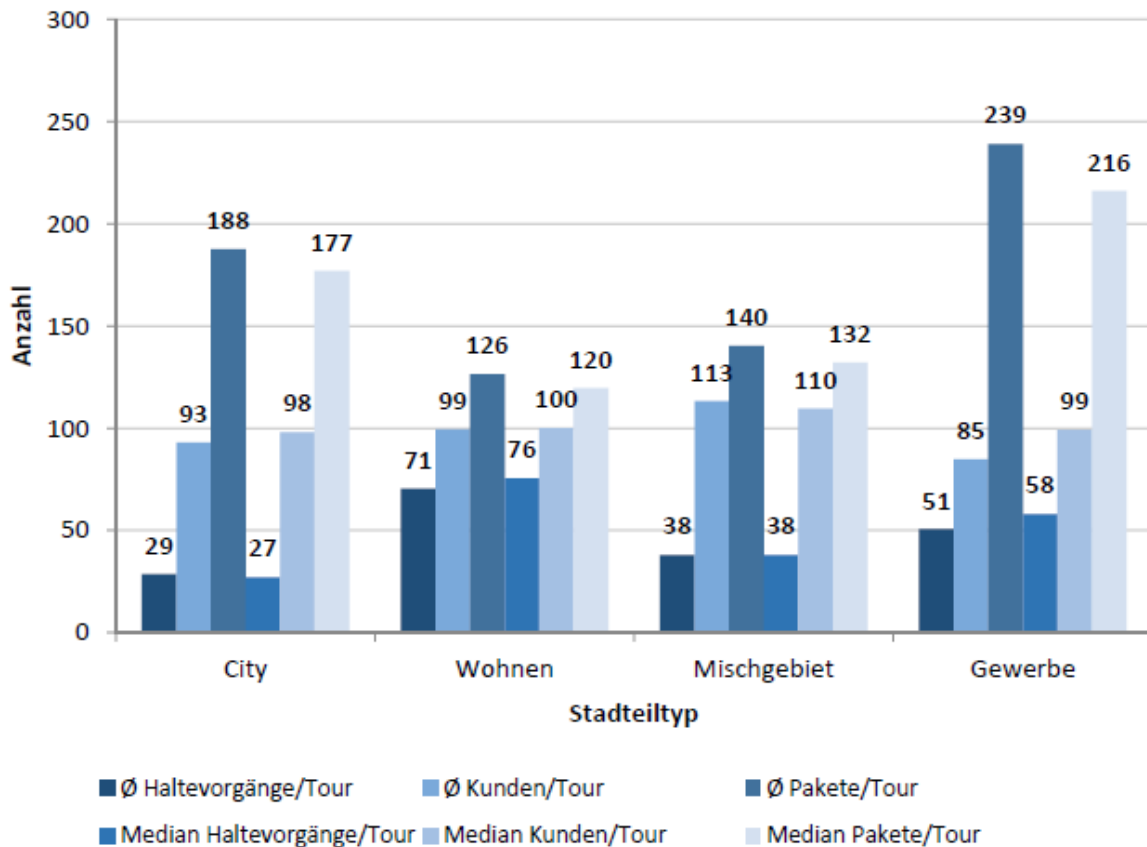


Abbildung 6: Anzahl an Haltevorgängen, Paketen und Kunden pro Tour und Stadtteiltyt
(Quelle: (Schäfer, et al., 2017, S. 33))

6 Standortermittlung

Zur Bestimmung der möglichen Routen der Logistiker wie sie unter den aktuellen Gegebenheiten gefahren werden, müssen sowohl die Standorte der Regionallager, Depots und Hubs, als auch die Adressen der Kunden bestimmt werden. Die Standorte werden dabei sowohl durch gezielte Abfragen über (Open Street Map Foundation, 2022), als auch über stichprobenartige Kontrollen der Logistikzentren auf den Internetseiten der Unternehmen ermittelt.

6.1 Standortermittlung für die Zentrallager des Lebensmitteleinzelhandels

Da es keine Garantie dafür gibt, dass alle Verteilzentren der Unternehmen, die im Untersuchungsgebiet Filialen des Lebensmitteleinzelhandels betreiben, gefunden werden können, wird zur Vereinfachung der Fokus auf die umsatzstärksten Unternehmen dieser Branche für Deutschland gelegt. Gemessen am Gesamtumsatz aus dem Jahr 2019, der 252,7 Mrd. EUR betrug, wovon fünf Unternehmen 75,6 % erwirtschafteten. Die Edeka-Gruppe hatte hierbei den größten Umsatz gefolgt von der Rewe-, Schwarz-, Aldi- und Metro-Gruppe. Andere am Markt vertretene Unternehmen machen für sich genommen hierbei nur einen niedrigen einstelligen Prozentbetrag aus (Deutscher Bauernverband, 2021). Die genaue prozentuale Verteilung der fünf umsatzstärksten Unternehmen für das Jahr 2019 lassen sich der folgenden Abbildung 7 entnehmen.

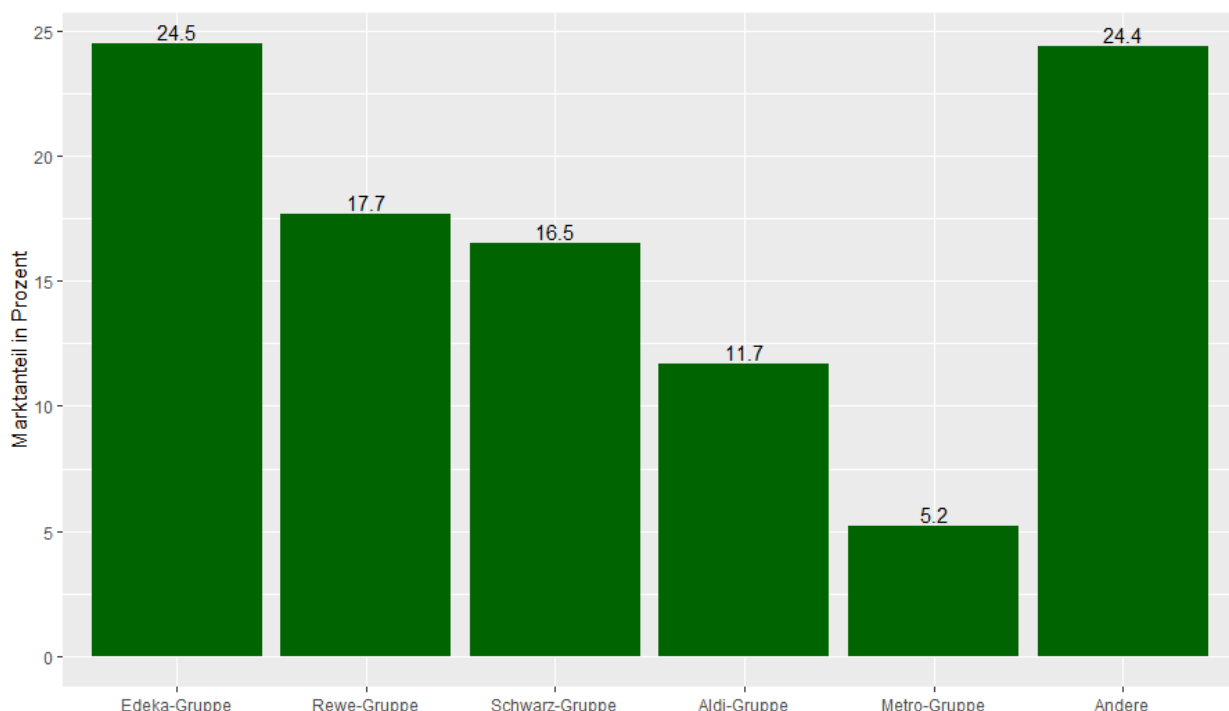


Abbildung 7: Marktanteile der fünf größten Unternehmen des Lebensmitteleinzelhandels am Gesamtumsatz 2019 in Deutschland

(Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von (Deutscher Bauernverband, 2021))

Zur Edeka-Gruppe gehören im Bereich des Lebensmitteleinzelhandels die Filialen der Muttergesellschaft Edeka, aber auch der Discounter Netto und die SB-Warenhäuser Marktkauf (Edeka-Gruppe, 2022). Für die ersten beiden Unternehmen konnten dabei auch Zentral- und Regionallager innerhalb und um das Untersuchungsgebiet gefunden werden. Die Versorgung der Edeka-Filialen in der Region Rhein-Ruhr, welche unter anderem auch das Untersuchungsgebiet mit einschließt, erfolgt dabei über zwei Zentrallager und drei Regionallager. Die beiden Zentrallager befinden sich außerhalb des Untersuchungsgebietes in Oberhausen und Hamm, werden wegen ihrer Bedeutung für die Versorgung der Filialen innerhalb des Untersuchungsraums aber mit erhoben. Darüber hinaus kommen noch drei Standorte der t-log Trinklogistik hinzu, welche die Versorgung von Getränken und die Abwicklung des Leerguts in den Filialen in der Region Rhein-Ruhr übernehmen. Auch bei diesen befinden sich zwei Standorte außerhalb des Untersuchungsraums, die aber wegen der Bedeutung für die Versorgung der zu betrachtenden Filialen mit berücksichtigt werden (Edeka-Gruppe, 2022). Über eine manuelle Suche in OSM ließen sich für die Netto-Filialen ein Zentrallager und drei Regionallager ermitteln. Zwei hiervon liegen ebenfalls außerhalb des Untersuchungsraums, nämlich in Bottrop und Hamm. Sie haben somit immer noch eine gewisse räumliche Nähe zum Untersuchungsgebiet.

Rewe ist die Unternehmensgruppe, welche 2019 den zweitmeisten Umsatz innerhalb Deutschlands erzielt hat. Im Lebensmitteleinzelhandel gehören Rewe, Penny, Nahkauf und Akzenta zur Unternehmensgruppe (Rewe-Group, 2022). Für die ersten beiden konnten auch separate Logistikzentren ermittelt werden. Laut der Homepage von Rewe Spedition und Logistik gibt es innerhalb des Untersuchungsraums einen Logistikstandort in Köln und jeweils einen weiteren in Dortmund und Koblenz, die noch eine gewisse räumliche Nähe zur Metropolregion Rheinland haben (Rewe Spedition und Logistik GmbH, 2022). Penny besitzt laut der Abfrage über OSM einen Logistikstandort in Essen und einen in Köln.

Zur Schwarz-Gruppe gehören im Bereich der Lebensmitteleinzelhändler die beiden Unternehmen Lidl und Kaufland (Schwarz-Gruppe, 2022). Nach eigenen Angaben besitzt Lidl innerhalb Deutschlands 39 Verwaltungs- und Logistikzentren, welche eine durchschnittliche Grundfläche von 40.000 m² haben und jeweils um die 80 Filialen beliefern (Lidl, 2022). Innerhalb und im näheren Umfeld des Untersuchungsgebietes ließen sich über OSM acht Regional- und Zentrallager ermitteln. Kaufland dagegen betreibt über die ganze Bundesrepublik hinweg nur sieben Logistik-Verteilzentren, wovon sich das dem Untersuchungsraum nächstgelegene in Dortmund befindet. Von diesem Standort werden 110 Filialen beliefert (Kaufland, 2022). Die genaue Lage wurde über OSM ermittelt.

Zur Aldi-Gruppe gehören Aldi Nord und Aldi Süd, welche in beiden Teilen Deutschlands separat agieren. Die Grenze des Zuständigkeitsbereiches der beiden Unternehmen verläuft dabei durch das Untersuchungsgebiet. Laut eigener Homepage betreibt Aldi Nord in Deutschland 2200 Märkte (Aldi Nord, 2022), wohingegen Aldi Süd in Deutschland nur 1940 Filialen unterhält (Aldi Süd, 2022). Die Standorte der Logistikzentren innerhalb des Untersuchungsgebietes ließen sich dabei nicht der Webseiten der Unternehmen entnehmen. Stattdessen wurde eine Abfrage über OSM gemacht, die innerhalb der Metropolregion Rheinland sieben Standorte zeigte. Ein weiterer Standort liegt in Mülheim an der Ruhr, welcher sich somit unmittelbar an der Grenze des Untersuchungsraumes befindet. Da sich mit Ausnahme des einen Standortes in Radevormwald alle anderen Standorte in Gebieten mit Aldi Süd Filialen befinden, wurden diese dem Unternehmensteil Aldi Süd und der Standort in Radevormwald zu Aldi Nord zugeordnet.

Zuletzt gibt es noch die Metro-Gruppe, welche hier aber nicht betrachtet wird. Dies liegt daran, dass der Zugang zu deren Märkten nur Kunden mit einem angemeldeten Gewerbe gestattet ist und somit deren Filialen eher dem Großhandel zuzuordnen sind.

Die Gesamtzahl der ermittelten Logistikzentren der fünf Unternehmensgruppen für den Lebensmitteleinzelhandel mit der jeweiligen Lage lässt sich der folgenden Abbildung 8 entnehmen.

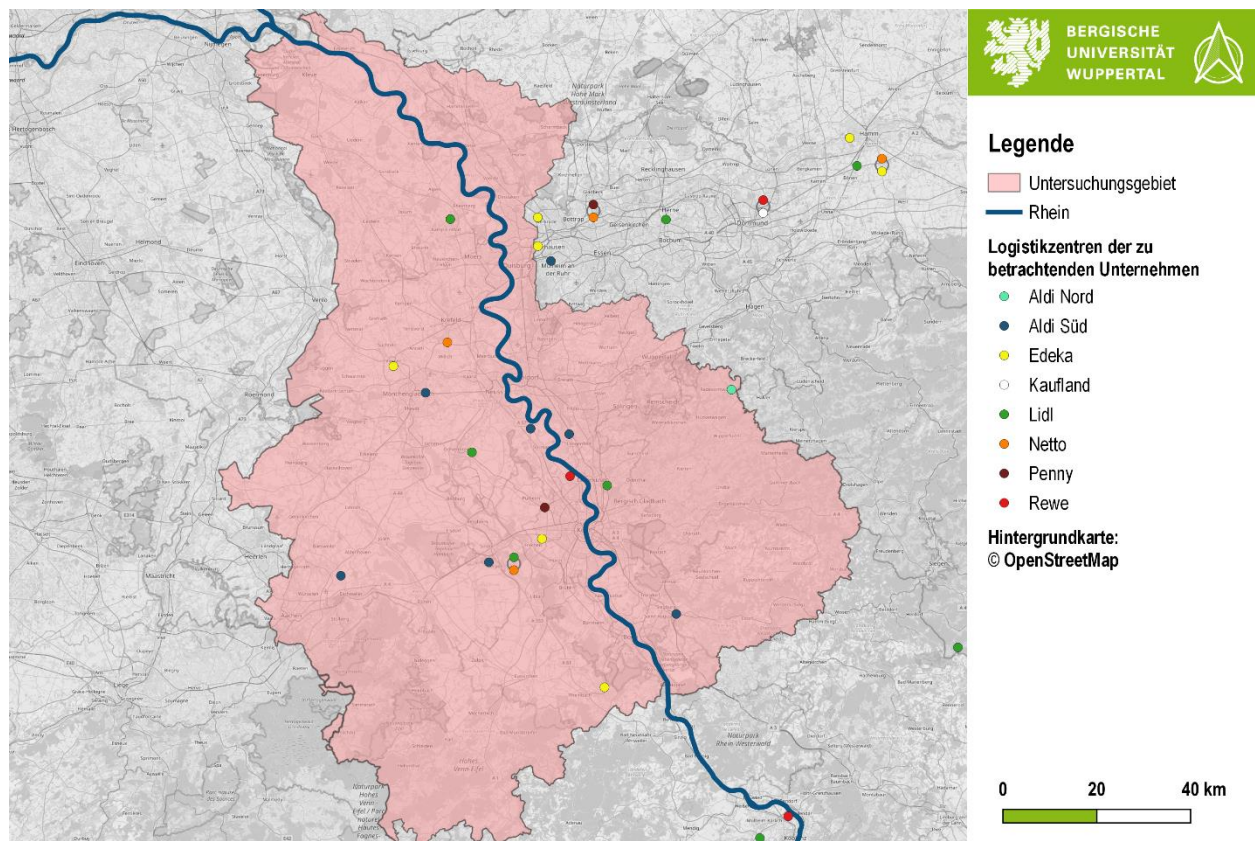


Abbildung 8: Logistikzentren der betrachteten Unternehmen im Lebensmitteleinzelhandel in und um das Untersuchungsgebiet

(Quelle: Eigene Darstellung)

Auf der Karte ist gut zu erkennen, dass sich ein Großteil der Logistikzentren in oder in der Nähe der Ballungsräume Köln-Düsseldorf und dem Ruhrgebiet befindet. Auch wenn Hamm nicht zum Ruhrgebiet gehört, scheint es doch als Standort für die Distribution eine gewisse Anziehungskraft zu haben. Ebenfalls ist ersichtlich, dass Unternehmen, welche besonders viele Filialen haben, wie Edeka, Lidl und Aldi, auch entsprechend mehr Logistikzentren betreiben. Aldi fällt hier besonders auf, da es auch weit von den größeren Zentren Zentral- und Regionallager besitzt, wie z. B. in Würselen, Troisdorf und Radevormwald. Inwiefern die ermittelten Standorte, welche sich außerhalb des Untersuchungsgebietes befinden, für das Routing eine Rolle spielen, ergibt sich im Laufe der späteren Analyse. Vor allem für die Unternehmen, welche nicht nur Zentren in der Metropolregion Rheinland besitzen, gilt es zu klären, ob die außerhalb liegenden Standorte für die Versorgung der Filialen innerhalb des Untersuchungsraumes eine Rolle spielen.

6.2 Standortermittlung der Filialen des Lebensmitteleinzelhandels

Zu den in Kapitel 6.1 genannten großen Unternehmensgruppen mit Ausnahme der Metro-Gruppe wurden über OSM die zugehörigen Filialen im Untersuchungsgebiet herausgesucht. Dies betraf somit für die Edeka-Gruppe alle Edeka-, Netto- und Marktkauf-Filialen. Zur Rewe-Gruppe wurden die Filialen von Rewe, Penny, Akzenta und Nahkauf gezählt. Die Lidl- und Kaufland-Filialen stehen für den Vertrieb im Lebensmitteleinzelhandel der Schwarz-Gruppe und die Filialen von Aldi-Süd und Aldi-Nord können der Aldi-Gruppe hinzugerechnet werden.

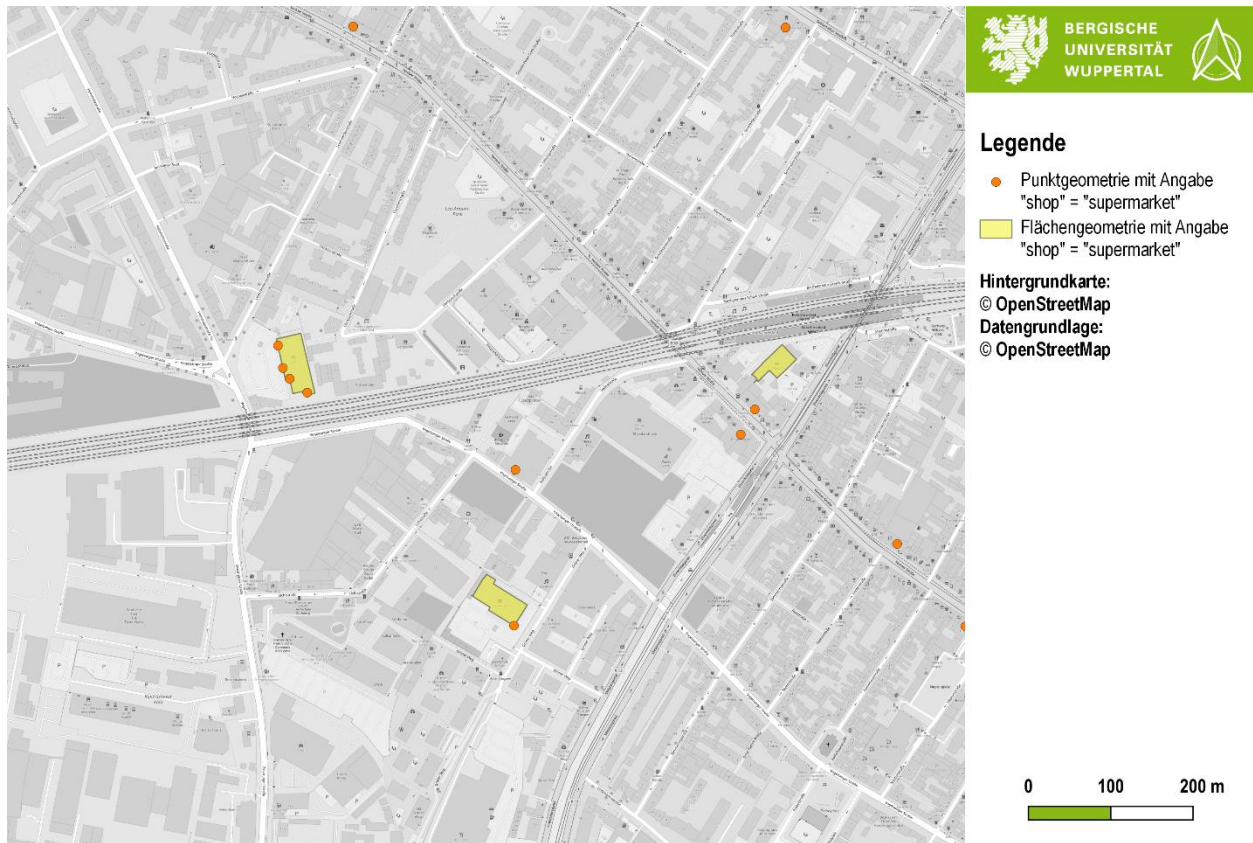
Für die meisten Gebäude ist in OSM eine Tabelle mit den wichtigsten Informationen zu Adresse und Nutzungsart hinterlegt. Hierüber lassen sich automatisiert verschiedene Typen von Geschäften ermitteln. Unter dem Reiter „shop“ gibt es den Wert „supermarket“, welcher in der OSM-Tabelle für Geschäfte des Lebensmitteleinzelhandels vergeben wird (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: OSM-Beispieltabelle für ein Geschäft des Lebensmitteleinzelhandels

addr:city	addr:housenumber	addr:postcode	addr:street	building	name	shop
Rösrath	100	51503	Hauptstraße	retail	Lidl	supermarket

(Quelle: Eigene Darstellung)

Zuerst wurden automatisiert alle Koordinaten in Form von Punkt- und Flächengeometrien in NRW herausgesucht, welche für den Schlüssel „shop“ den Wert „supermarket“ haben. Ein Beispiel für die Unterscheidung der Punkt- und Flächendaten lässt sich der folgenden Abbildung 9 entnehmen.



**Abbildung 9: Beispiel für Punkt- und Flächengeometrien der Filialen des Lebensmitteleinzelhandels
(Quelle: Eigene Darstellung)**

Dann wurden alle Punkte und Flächen gelöscht, welche sich nicht im Untersuchungsgebiet befinden. Für die Flächen war das Löschkriterium, dass es keine Schnittmenge mit einer angegebenen Fläche und der Fläche des Untersuchungsgebietes gibt. Somit wurde sichergestellt, dass Flächen nicht gelöscht wurden, welche sich auf der Grenze des Untersuchungsgebietes befinden. Dann wurden für jeden Datenpunkt, bzw. jede Datenfläche im Datensatz die Spalten auf die Namen der zu bestimmenden Filialen der Unternehmensgruppen untersucht. Tauchte der Name eines der oben genannten Unternehmen auf, wurde dieser in der neu angelegten Spalte „konzern“ festgehalten. Andernfalls ergab sich „Null“. Nun konnten alle Datenpunkte gelöscht werden, welche in der Spalte „konzern“ keinen Wert mehr hatten. Dadurch wurden alle Flächen und Punkte gelöscht, welche nicht den betrachteten Unternehmen zugewiesen werden konnten. Im Anschluss wurden die Punktdaten mit den Flächendaten verglichen, wobei festgestellt werden konnte, dass es durchaus Märkte gab, für die sowohl Punkt- als auch Flächendaten vorlagen. Um eine Doppelung im finalen Datensatz zu verhindern, wurden sämtliche Flächen gelöscht, welche mindestens einen Punkt innerhalb der Fläche hatten. Dann wurde um jede Fläche und jeden Punkt ein Buffer von zuerst 300 m gezogen und für gleiche Unternehmen auf Schnittmengen untersucht. Hierdurch sollten Doppelungen im Datensatz ermittelt werden, welche sich durch naheliegende aber nicht schneidende Punkte und Flächen ergeben, die eine einzelne Filiale repräsentieren. Die betroffenen Geometrien wurden manuell inspiziert. Dabei ergab sich, dass sich in der Kölner Innenstadt ein Rewe und ein Rewe City Markt innerhalb eines Abstandes von 300 m befinden. Hier war aber klar zu erkennen, dass es sich um zwei getrennt geführte Märkte handelt. Aus diesem Grund wurde der Buffer dann auf einen 100 m Radius verkleinert. Bei den betroffenen Schnittmengen wurden alle Geometrien bis auf eine

gelöscht, so dass gesichert ist, dass jeder Markt nur durch einen Punkt bzw. Fläche repräsentiert ist. Zum Schluss wurden alle verbliebenen Flächendaten in Punkte umgewandelt, welche sich innerhalb der vorherigen Flächen befinden. Hierdurch konnten beide Datensätze vereint werden, wobei jeder Punkt für einen Markt des Lebensmitteleinzelhandels der oben genannten Unternehmen steht.

Der nun vorliegende Datensatz für die Filialen des Lebensmitteleinzelhandels repräsentiert damit den Stand im Untersuchungsgebiet zum 30.01.2022. Es sei aber erwähnt, dass eine hundertprozentige Vollständigkeit der Märkte der zu untersuchenden Unternehmen nicht garantiert werden kann, da durch falsche Beschriftung oder nicht vorliegender Informationen Märkte durch die Erfassung fallen könnten. Bei keinem Handelsunternehmen konnte auf firmeneigene Datensätze zurückgegriffen werden.

Des Weiteren wurde in den vorangegangenen Schritten keine Unterscheidung bei den Aldi-Filialen hinsichtlich Nord oder Süd gemacht. Da die Grenze zwischen den Zuständigkeitsbereichen beider Unternehmensteile durch das Untersuchungsgebiet verläuft, wurden aus der Gesamtmasse an Aldi-Filialen manuell diejenigen bestimmt, welche zum Unternehmen Aldi Nord gehören. Dies waren insgesamt 56 Filialen, welche sich in Velbert, Mettmann, dem Bergischen Städtedreieck Wuppertal, Solingen und Remscheid, um Hückeswagen und Gummersbach befinden. Die verbleibenden 458 Filialen wurden automatisch dem Unternehmen Aldi Süd zugeordnet.

Insgesamt ergaben sich damit 2282 Märkte im Untersuchungsgebiet. Die meisten Filialen betreibt Aldi mit einer Anzahl von 514, gefolgt von Netto mit 456 und Rewe mit 425 Geschäften. Die genaue Anzahl der Märkte je Unternehmen lässt sich der folgenden Abbildung 10 entnehmen.

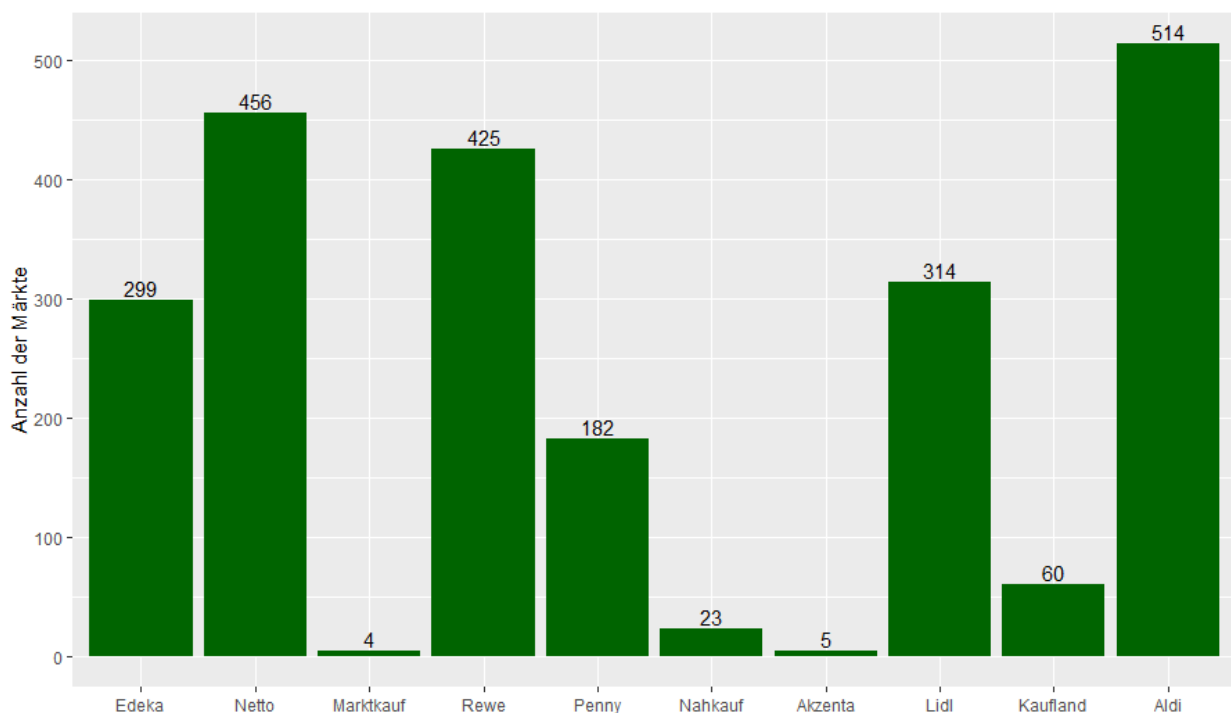


Abbildung 10: Filialanzahl der vier größten Unternehmensgruppen im Lebensmitteleinzelhandel im Untersuchungsgebiet (n = 2282)

(Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von (Open Street Map Foundation, 2022))

Die Standorte der ermittelten Filialen sind in Abbildung 11 zu sehen. Hier ist gut zu erkennen, dass die Dichte der Filialen besonders in den Zentren wie Köln, Düsseldorf und Duisburg besonders hoch ist. Aber auch Städte wie Bonn, Aachen, Mönchengladbach, Krefeld und Wuppertal haben eine hohe Dichte an Märkten des Lebensmitteleinzelhandels. Auf der anderen Seite ist die Anzahl der Geschäfte im Bergischen Kreis, in der Eifel und am Niederrhein nur noch gering, und es gibt durchaus größere Gebiete, in denen keines der betrachteten Unternehmen eine Marktniederlassung aufgebaut hat. Es zeigt sich somit, dass ein Großteil der Lieferungen zur Versorgung der Märkte in die Städte geht. Zentrale Standorte der Logistikzentren in Innenstädten oder in direkter Nähe zu diesen sind ein wichtiger Faktor für die Minimierung der Fahrleistungskilometer im Rahmen der Belieferung. Im späteren Routing wird dieser Zusammenhang überprüft.

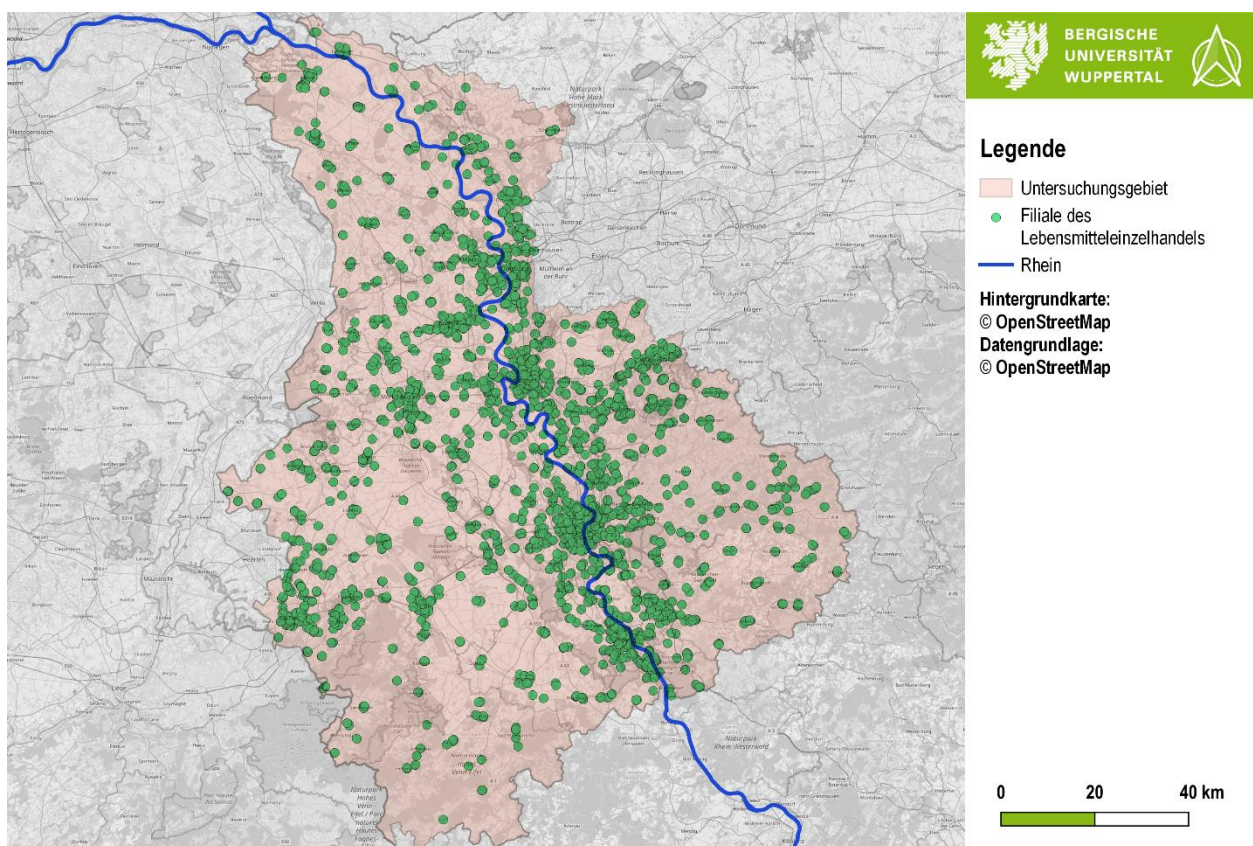


Abbildung 11: Filialstandorte der vier größten Unternehmensgruppen im Lebensmitteleinzelhandel im Untersuchungsgebiet

(Quelle: Eigene Darstellung)

Die Standorte der Filialen gefiltert nach den einzelnen Unternehmen finden sich im Anhang.

6.3 Standortermittlung für die Depots und Hubs der KEP-Dienstleister

Für die Depots und Hubs der KEP-Dienstleister werden ebenfalls nicht sämtliche Standorte aller am Markt agierenden Unternehmen erhoben, sondern nur die der größten Unternehmen. Allein sechs Logistikdienstleister waren im Jahr 2019 für 99 % des verschickten Paketvolumens

innerhalb Deutschlands verantwortlich. Dazu zählen DHL mit fast 50 % der gesamt verschickten Pakete, gefolgt von Hermes, UPS, DPD, GLS und dem Unternehmensverbund FedEx/TNT (Meitinger, 2021). Die genauen Prozentzahlen des Paketvolumens 2019 je Unternehmen lassen sich der folgenden Abbildung 12 entnehmen. Hieraus lässt sich auch sehr gut die Marktmacht erkennen, welche DHL gemeinsam mit der deutschen Post in dieser Branche hat.

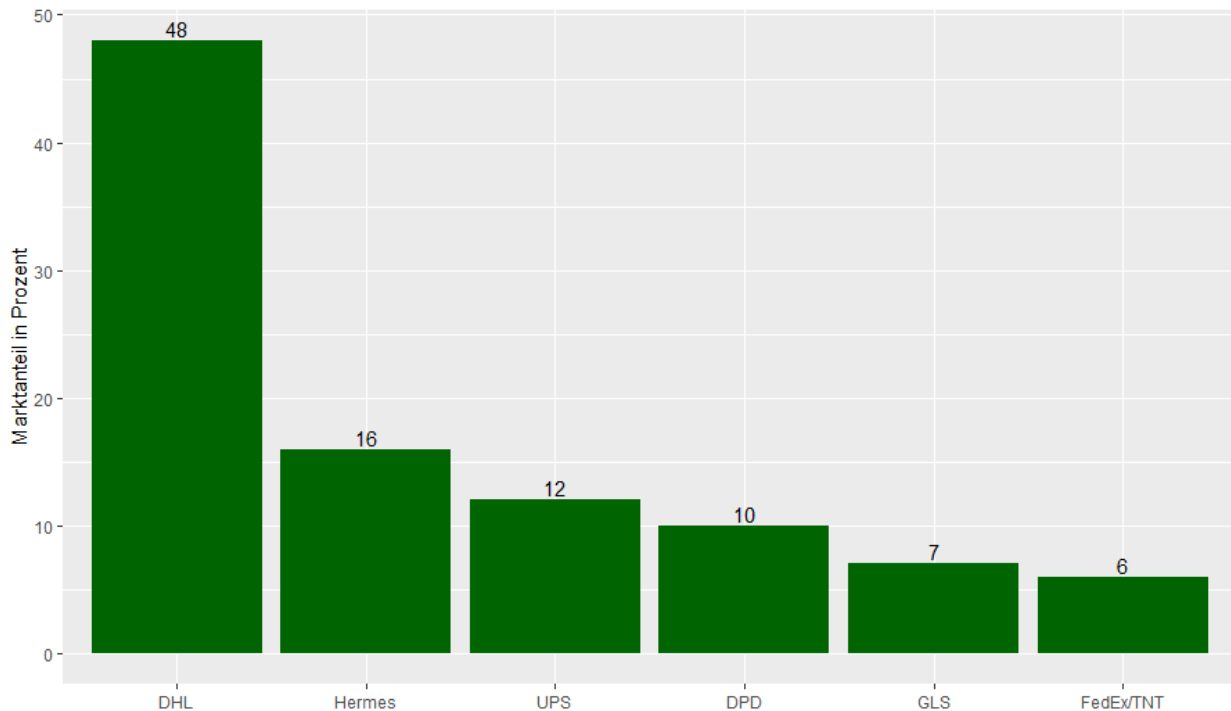


Abbildung 12: Anteil am innerdeutschen Paketvolumen der sechs größten Unternehmen im Jahr 2019
(Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von (Meitinger, 2021))

Zur Ermittlung der Logistikstandorte dieser sechs Unternehmen im Untersuchungsgebiet wurde eine automatische Suche in OSM anhand des Schlüssels „amenity“ mit dem Wert „post_depot“ für die Region NRW durchgeführt. Eine beispielhafte Auswahl der in OSM für ein KEP-Depot verfügbaren Daten ist in der folgenden Tabelle 4 zu sehen.

Tabelle 4: OSM-Beispieltabelle für ein Depot eines KEP-Dienstleisters

addr:city	addr:housenumber	addr:postcode	addr:street	amenity	name
Erfstadt	1	50374	Carl-Benz-Ring	post_depot	DPD Depot 0150

(Quelle: Eigene Darstellung)

Hierbei gab es als Ergebnis einen Punkt- und einen Flächenlayer, der Geometriedaten für das gewählte Kriterium enthält. Flächen und Punkte, welche sich außerhalb des Untersuchungsraumes befanden, wurden aus der Standortliste entfernt. Bei der anschließenden Überprüfung der Daten zeigte sich, dass es mit wenigen Ausnahmen nur Ergebnisse für DHL-Standorte gab. Für GLS als Unternehmen konnten mit der automatisierten Abfrage über OSM mit dem gewählten Schlüssel sogar gar keine Ergebnisse gefunden werden. Um eventuell doppelt

vorkommende Daten in beiden Layern für den gleichen Standort auszuschließen wurde dieselbe Methodik angewandt, wie sie schon bei der automatischen Ermittlung der Filialstandorte praktiziert wurde (vgl. Kapitel 6.2). Zum Schluss wurden der Punkt- und der Flächenlayer zu einem Punktlayer vereinigt, der die Informationen beider Layer enthält.

Da es den Anschein hatte, dass viele Standorte mit der verallgemeinerten Abfrage über OSM nicht ermittelt werden konnten, wurden manuell über die Internetseite (Paket da!, 2022) die Paketzentren der Unternehmen DHL, DPD, GLS, Hermes und UPS in der Datenbank ergänzt, sofern sie noch nicht über die automatische Abfrage gefunden wurden. Für den Unternehmensverbund FedEx/TNT lagen auf der Seite keine Informationen vor. Dessen Logistikzentren im Untersuchungsgebiet wurden über die jeweiligen Internetseiten der Unternehmen (FedEx, 2022) und (TNT, 2022) manuell erhoben. Die Datenbank spiegelt damit den Stand an Paket- und Logistikzentren der sechs Unternehmen am 05. Februar 2022 wider, wobei auch hier keine Garantie für einen vollständigen Datensatz gegeben werden kann. Auch bei den KEP-Unternehmen lagen keine firmeneigenen Daten vor.

Innerhalb der Metropolregion Rheinland liegen 68 Paket- und Logistikzentren der sechs Unternehmen. Die Mehrzahl mit 39 Standorten gehört dem Marktführer DHL, gefolgt von FedEx mit acht Standorten. UPS besitzt sieben Logistikzentren, Hermes und GLS jeweils fünf und DPD vier innerhalb der Metropolregion Rheinland. Die Lage dieser kann der folgenden Abbildung 13 entnommen werden.

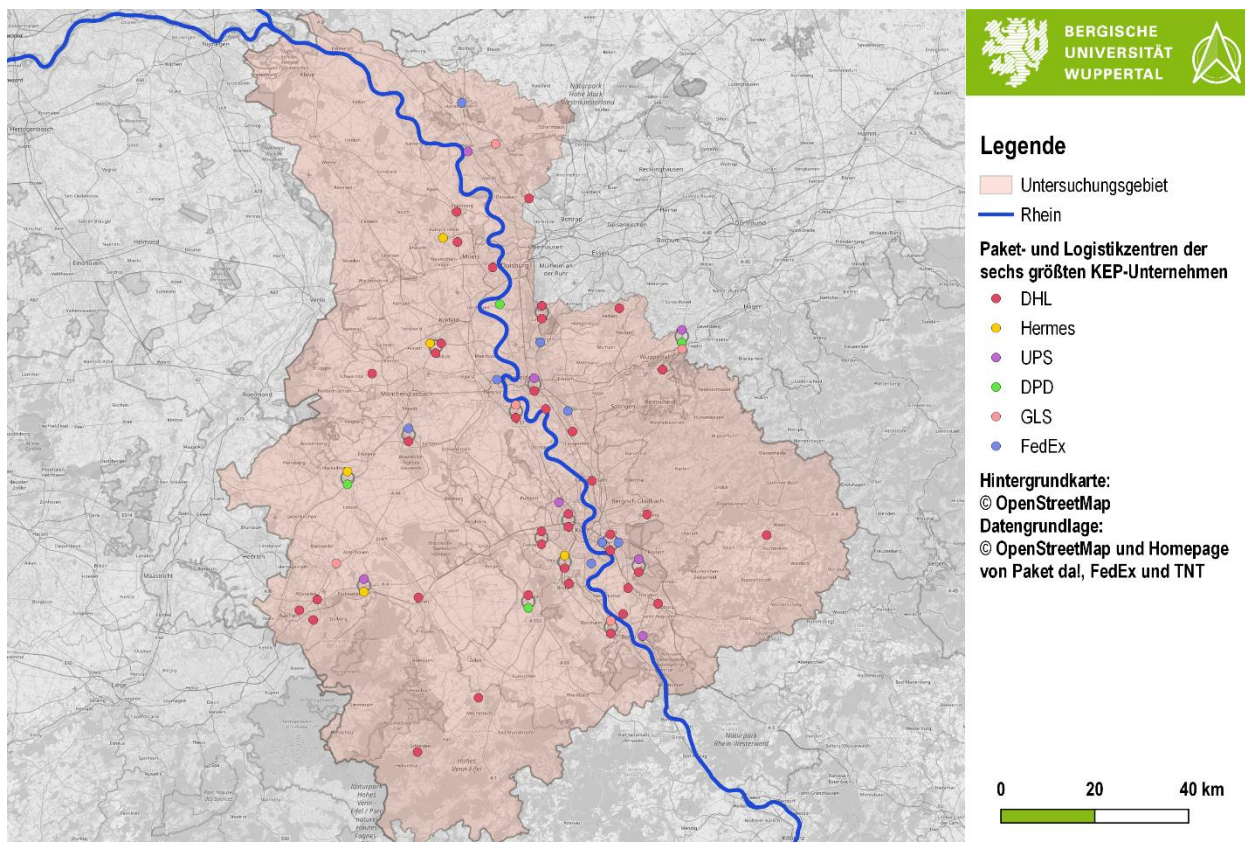


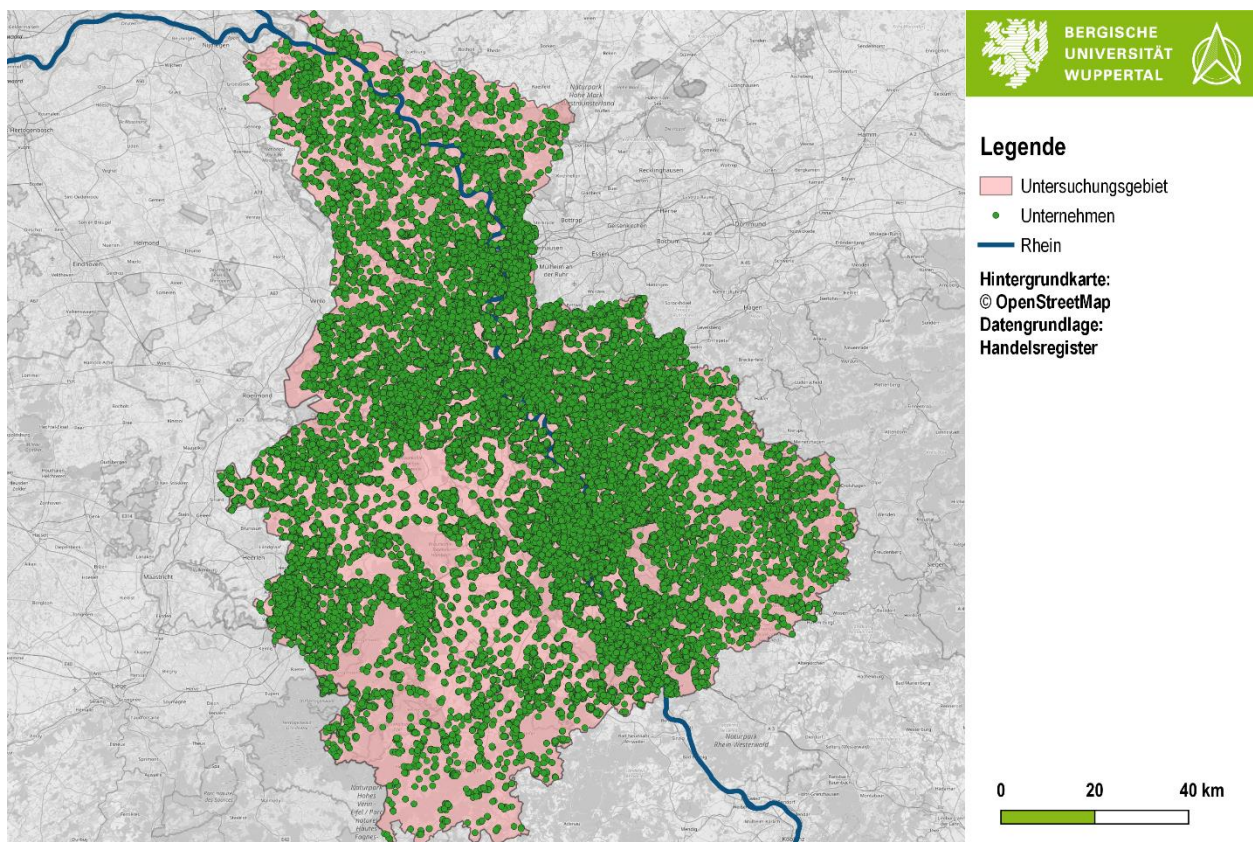
Abbildung 13: Paket- und Logistikzentren der sechs größten KEP-Unternehmen in der Metropolregion Rheinland

(Quelle: Eigene Darstellung)

Der Großraum Köln hat für alle sechs Unternehmen eine entscheidende Bedeutung, wie der Karte zu entnehmen ist. Ein ebenfalls wichtiger Standort scheint die Umgebung um Düsseldorf zu sein. In den eher peripher gelegenen Gebieten gibt es dagegen kaum noch Paketzentren. In den meisten Fällen betreibt hier nur noch DHL Standorte wie zum Beispiel im Oberbergischen Kreis und in der Eifel. Es ist aber keine Seltenheit, dass, sofern ein Standort im eher ländlichen Umfeld errichtet wird, mehrere Unternehmen sich dort in einem Gewerbegebiet ansiedeln. Als Beispiel seien hier die Stadt Eschweiler bei Aachen und die beiden Gemeinden Hückelhoven und Odenkirchen südöstlich von Mönchengladbach zu nennen.

6.4 Standortermittlung für Belieferungsziele der KEP-Dienstleister

Die Ziele der KEP-Dienstleister teilen sich in die beiden Kundengruppen B2B und B2C auf. Zur Bestimmung einer größtmöglichen Menge an Kunden aus dem B2B-Bereich wurden aus dem Handelsregister automatisiert alle Unternehmen ermittelt, welche in NRW gemeldet waren (Handelsregister, 2022). Der Datensatz wurde dann auf die Unternehmen reduziert, welche sich mit ihrer Adresse innerhalb der Metropolregion Rheinland befinden und für welche Koordinaten zur Firmenadresse vorlagen. Insgesamt ergaben sich hierdurch 170.644 Unternehmen (siehe Abbildung 14).



**Abbildung 14: Unternehmensstandorte laut Handelsregister in der Metropolregion Rheinland
(Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von (Handelsregister, 2022))**

Mit Ausnahme der ländlichen Räume sind Unternehmen quasi flächendeckend in der gesamten Metropolregion Rheinland angesiedelt. Umgerechnet kommen etwa 51 Einwohner auf ein im Handelsregister NRW gelistetes Unternehmen, was eine hohe Erfassungsquote aller tatsächlich existierenden Unternehmen widerspiegelt.

Des Weiteren wurden automatisiert über die Homepage von DHL (DHL, 2022) sämtliche Packstationen und Paketshops des Unternehmens ermittelt, bei denen alternativ zur direkten Kundenbelieferungen Sendungen durch die KEP-Dienstleister abgegeben werden können. Die Kunden können sich ihre Bestellung dann zur für sie passenden Zeit abholen. Vor allem bei der Zustellung im B2C-Bereich haben diese Minidepots eine größere Bedeutung. Die Gesamtzahl der ermittelten Paketstationen im Untersuchungsgebiet beträgt 1085 (siehe Abbildung 15).

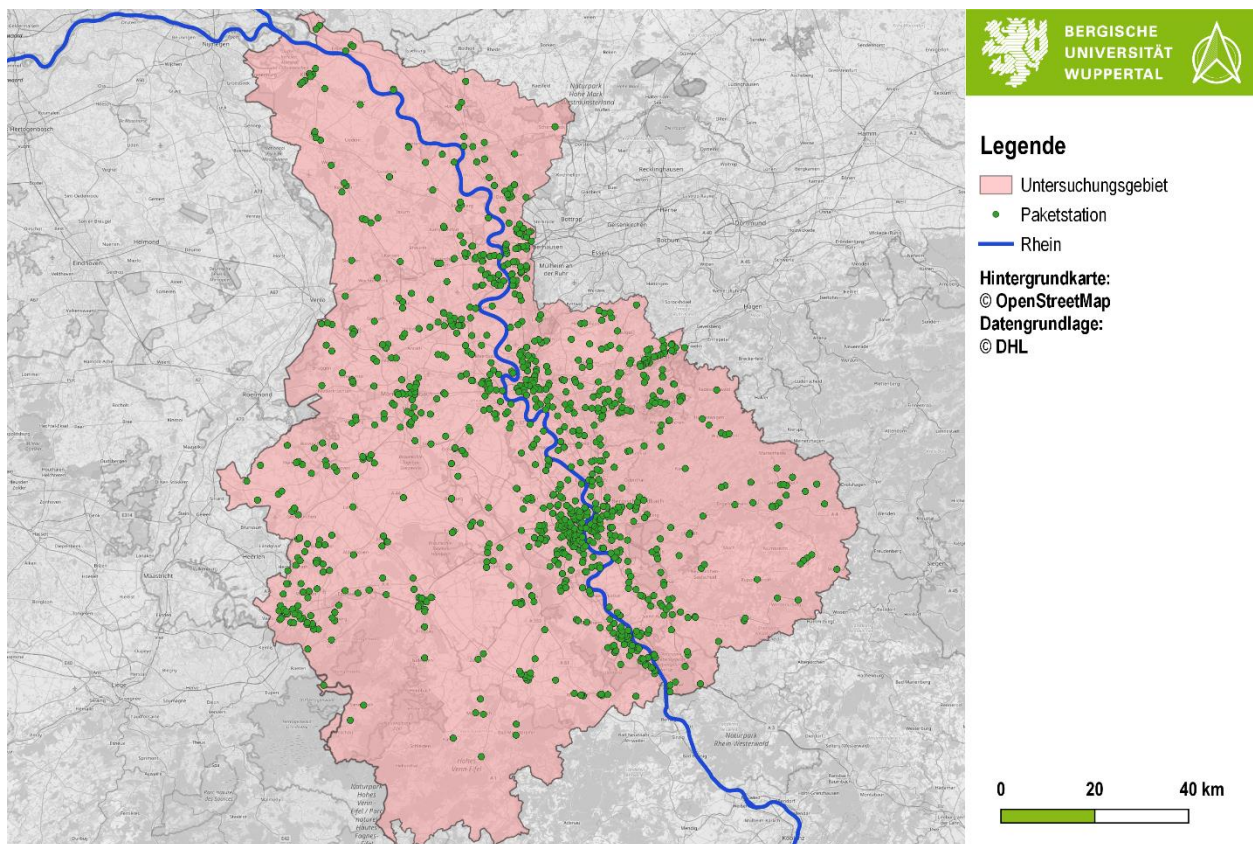


Abbildung 15: Packstationen und Paketshops von DHL im Untersuchungsgebiet
(Quelle: Eigene Darstellung)

Auch hier zeigt sich die hohe Konzentration solcher Paketstationen in den Innenstädten der größeren Ballungszentren. Aber auch in eher ländlicheren Bereichen ist DHL mit seinen Stationen vertreten. Eine Grundversorgung, die allen Einwohnern innerhalb des Untersuchungsgebietes mit einer maximalen Entfernung von bis zu zwei Kilometern eine alternative Zustellung via Paketstation ermöglicht, kann aber nicht garantiert werden. Da DHL mit einem Anteil von fast 50 % am gesamtdeutschen Paketvolumen vertreten ist, wird auf die weitere Ermittlung der Paketstationen der anderen Wettbewerber verzichtet.

Für die Bestimmung der Kunden im B2C-Bereich der KEP-Dienstleister wurden keine genauen Adressen bestimmt. Stattdessen wurde an den Zensusdatensatz angeknüpft, der zuletzt im Jahr

2011 erhoben wurde (Zensus 2011, 2022). Dieser liefert für die Fläche Deutschlands – aufgeteilt in 100m x 100m-Quadrate – genaue Angaben hinsichtlich der registrierten Einwohner für jede Gitterzelle. Der Datenstand hierfür ist auf den 09. Mai 2011 datiert. Die Einwohner jeder Zelle wurden dann anhand der Zahlen der Bevölkerungsentwicklung zwischen dem 31.12.2010 und dem 31.12.2020 hochgerechnet. Basis hierfür waren die Daten aus der Landesdatenbank NRW (Landesdatenbank NRW, 2022).

So liegen nun für das Untersuchungsgebiet alle 100m-Gitterzellen mit hochgerechneten Einwohnerzahlen für das Jahr 2020 vor. Da die Werte aggregiert wurden, sind die Einwohnerzahlen je Zelle im reellen und nicht im natürlichen Zahlenbereich. Insgesamt gibt es innerhalb der Metropolregion Rheinland über 230.000 bewohnte Gitterzellen, wobei die Einwohnerzahlen zwischen drei und 1029 Einwohnern je Zelle schwanken. Der Median liegt bei 23 Einwohnern je Zelle und die 25- und 75-Quantile befinden sich bei 8 bzw. 49 Einwohnern. Die Abbildung 16 visualisiert diese Daten für die Stadt Köln.

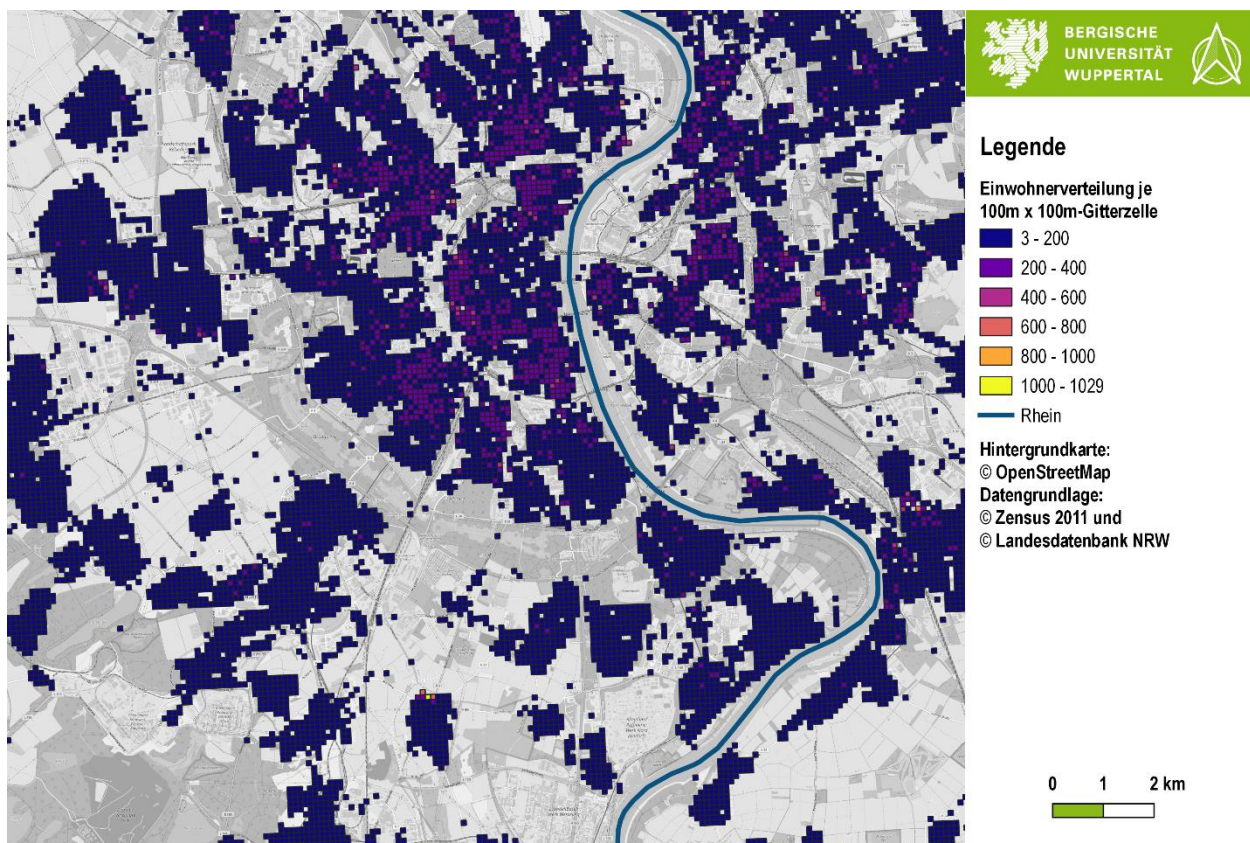


Abbildung 16: Einwohnerverteilung je 100m x 100m Gitterzelle in der Kölner Innenstadt
(Quelle: Eigene Darstellung)

Das Zentrum jeder bewohnten Gitterzelle steht beim späteren Routing der KEP-Touren als Ziel für die dortigen Kunden im B2C-Bereich. Hierdurch wird eine hinreichende Annäherung an die tatsächlichen Wohnstandorte gewährleistet.

7 Vorstellung des Routingmodells VROOM

Zur Modellierung der Belieferungstouren wird das Routingprogramm VROOM (Vehicle Routing Open-source Optimization Machine) genutzt. Dieses ist ein frei verfügbares Optimierungstool, welches Lösungen von realen Problemen bei der Routenplanung von Fahrzeugen ermöglicht. Dem Programm ist es möglich, verschiedene VRP (Vehicle Routing Problem) zu lösen, wie z. B.:

- Travelling Salesman Problem
- Kapazitätsbeschränktes VRP
- VRP mit vorgegebenen Zeitfenstern
- Verschiedene Depots mit unterschiedlichen Fahrzeugen als Basis für ein VRP mit vorgegebenen Zeitfenstern
- Abhol- und Zustellbedingungen mit vorgegebenen Zeitfenstern

Darüber hinaus ist es auch möglich, eine beliebige Kombination der genannten Probleme zu verarbeiten (GitHub, 2022).

Die Inputdaten zur Berechnung erfolgen durch Tabellen mit Informationen zu den eingesetzten Fahrzeugen und zu den Zielen (jobs oder shipment in VROOM genannt). Die Tabelle Jobs beinhaltet hierbei Informationen zu den anzusteuern Zielen bei denen Lieferungen als auch Abholungen erfolgen können (siehe Tabelle 5). Die Tabelle Shipment spezifiziert die Abhol- und Liefermengen eines jeden Standortes nochmal dahingehend, als dass zusätzliche Restriktionen zu den Zielen und einzuhaltenden Lieferzeiten der abzuholenden Mengen mit angegeben werden können (GitHub, 2022). Diese zusätzlichen Restriktionen werden aber für das Routing der Touren nicht benötigt.

Tabelle 5: Erklärung der Jobstabelle für das Routing mit VROOM

Schlüsselwert	Beschreibung
id	Eindeutige ID für zu erfüllende Nachfrage des Kunden
setup	Benötigte Zeit in Sekunden zur Anrampung des Fahrzeuges
service	Benötigte Zeit in Sekunden zur Ausladung des Fahrzeuges
delivery	Umfang der Lieferung
pickup	Umfang der Warenmenge, die von Kunde mitgenommen wird
skills	Restriktion zur Garantie der Belieferung nur durch bestimmte Fahrzeuge mit gleichem "skill"
priority	Prioritätszuweisung für den Kunden
time_window	Angabe des möglichen Zeitfensters zur Belieferung
geom	Koordinate des Kunden

(Quelle: Eigene Darstellung)

Die Grundparameter für Jobs und Shipment unterscheiden sich nicht. Bei beiden müssen zusätzlich zum Standort die Liefer- und Abholmengen als auch das Lieferzeitfenster angegeben werden. Über die Dauer der Belieferung kann die Aufenthaltszeit des Zustellfahrzeuges an jeder Lieferadresse spezifiziert werden. Mit einer Nummernangabe im Reiter „Fähigkeiten“ besteht die Möglichkeit zu garantieren, dass nur bestimmte Fahrzeuge die Lieferadresse ansteuern. Die angegebene Nummer muss dann mit der Nummer in der Fahrzeugtabelle des dortigen Reiters übereinstimmen. Abschließend ist es noch möglich jedem Lieferstandort eine bestimmte Priorität zu geben. Hierdurch kann dafür gesorgt werden, dass die Belieferung wichtiger Standorte zuerst

durchgeführt wird, bevor zu den Standorten übergegangen wird, welche eine niedrigere Priorität haben (GitHub, 2022).

Auch bei den Fahrzeugen gibt es eine Standortangabe. Diese beinhaltet entweder nur eine einzelne Adresse, was dazu führt, dass die durchgeführte Tour dieses Fahrzeugs eine Rundtour ist, das Fahrzeug also nach der Belieferung wieder zum Startpunkt der Tour zurück kommt, oder einen festen Start- und Endpunkt für eine Liefertour eines jeden Fahrzeuges. Beginn und Ende können hierdurch zwei unterschiedliche Adressen sein. Des Weiteren muss die Transportkapazität eines jeden Fahrzeugs angegeben werden. Wenn die Kapazität im Laufe der Tour null erreicht, können dementsprechend keine weiteren Ziele beliefert werden, bzw. wenn die Kapazität voll ausgeschöpft ist, können keine weiteren Sendungen von den Lieferadressen durch das Fahrzeug aufgenommen werden. Der Reiter mit den Fähigkeiten je Fahrzeug garantiert, dass dieses Fahrzeug nur Ziele ansteuert, die ebenfalls die gleiche Nummer im Reiter „Fähigkeiten“ haben, siehe oben. Auch für die Fahrzeuge sind Zeitrestriktionen zur Simulation von Arbeitszeiten umsetzbar. Außerhalb des angegebenen Zeitfensters ist dieses Fahrzeug dann nicht verfügbar. Ebenso ist es möglich, Fahrerpausen zu definieren, in denen das Fahrzeug dann keine weiteren Aufträge durchführen kann (GitHub, 2022).

Inwiefern die beschriebenen Punkte für das Routing umgesetzt wurden, wird im folgenden Kapitel mit der Erläuterung zu den modellierten Routen erklärt.

8 Tourenmodellierung

8.1 Bestandsmodellierung der Touren des Lebensmitteleinzelhandels

Die gewonnenen Erkenntnisse bezüglich der Logistikprozesse im Lebensmitteleinzelhandel als auch die gesammelten Standortdaten zu den jeweiligen Logistikzentren und Filialen fließen nun in die Modellierung der Touren ein. Hierbei werden aber anhand der Daten nur die täglichen Touren für die vier größten Unternehmen auf dem deutschen Markt ermittelt. Es hat sich herausgestellt, dass die genauen Zulieferprozesse vom Hersteller der Produkte über ggf. ausländische Zentrallager bis zu den deutschen Zentrallagern und von dort zu den Regionallagern für nicht unternehmenszugehörige Personen kaum nachzuvollziehen sind. Da die Gefahr sehr groß ist, hierbei große Abweichungen in den Annahmen und der Zuordnung der jeweiligen Logistikzentren zu den Unternehmen zu machen, beschränkt sich das Routing auf die Zustellung vom Regionallager zur Filiale, wo die Produkte an die Kunden verkauft werden.

Das Routing erfolgt hierbei für jedes Unternehmen einzeln. Hierdurch wird sichergestellt, dass jede Filiale nur von Regionallagern des eigenen Unternehmens beliefert wird. Für die Filialen von Marktkauf, Akzenta und Nahkauf, für welche keine eigenen Logistikzentren gefunden werden konnten, wird angenommen, dass diese von den Regionallagern des Mutterkonzerns versorgt werden. Dies bedeutet für Marktkauf, dass deren Filialen durch die Edeka-Verteilzentren und die Filialen von Akzenta und Nahkauf durch die Rewe-Verteilzentren beliefert werden. Bei den beiden Aldi-Sparten erfolgt die Belieferung ebenfalls nur durch die jeweils eigenen Regionallager.

Aus den Experteninterviews mit Vertretern zweier Unternehmen im Lebensmitteleinzelhandel (vgl. Kapitel 5.2) ist bekannt, dass bis zu 60 % der Filialen die Möglichkeit bieten, nachts beliefert zu werden. Aus den öffentlich zugänglichen Informationen war aber nicht bekannt, auf welche Filialen dies im Untersuchungsgebiet tatsächlich zutrifft. Um die potentiellen Filialen zu ermitteln, welche die Möglichkeit einer nächtlichen Belieferung haben, wurden sämtliche Flächen aus ALKIS (Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem) für das Jahr 2020 ermittelt, welche mit der Nutzart „Industrie- und Gewerbefläche“ ausgewiesen sind (Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland, 2022). Mit dieser Methode sollen Filialen in Gewerbegebieten ermittelt werden, welche nicht mitten in einer Wohnbebauung liegen und so wenig Konfliktpotential mit Anwohnern bei einer nächtlichen Belieferung bieten. Eine stichprobenartige Überprüfung von Filialen in diesen Flächen zeigte aber, dass sowohl Geschäfte in tatsächlichen Gewerbegebieten als auch Geschäfte auf Flächen in der Nähe von Wohnbebauung hiermit erfasst waren. Eine Filterung der Flächen über die Unterrubriken „Handel und Dienstleistung“ (706 Filialen), „Industrie und Gewerbe“ (25 Filialen) und „Handel“ (1646 Filialen) des ALKIS-Datensatzes lieferte ebenfalls keine plausible Eingrenzung auf die Geschäfte, welche sich in konfliktarmen Gewerbegebieten befinden.

Aus diesem Grund wurde der Ansatz gewählt, für jede Filiale die zugehörige Größe der ALKIS-Fläche zu bestimmen, welche unter die Rubrik „Industrie- und Gewerbefläche“ fällt. Wenn eine Filiale sich nicht auf einer solchen Fläche befindet, wurde der Wert null Quadratmeter angenommen. Je größer die ALKIS-Fläche dieses Typs ist, desto höher ist auch die Wahrscheinlichkeit, dass sich das Geschäft tatsächlich innerhalb eines Gewerbegebietes befindet bzw. weiträumige Parkanlagen für Autos die Filiale umgeben und so die Wahrscheinlichkeit für nächtliche Lärmkonflikte mit Anwohnern durch die Belieferung gering sind.

Die Verteilung der Flächengrößen für Filialen auf Industrie- und Gewerbeflächen lässt sich der folgenden Abbildung 17 entnehmen. Zwei Filialen, die auf einer Gewerbefläche von mehr als 150.000 m² liegen, sind als Ausreißer hier nicht mehr abgebildet. Es ist gut zu erkennen, dass fast 25 % der Geschäfte der vier betrachteten Unternehmensgruppen nicht auf ausgewiesenen Industrie- und Gewerbeflächen liegen. Des Weiteren befinden sich nur ungefähr 10 % der Filialen auf Gewerbeflächen von mehr als 25.000 m².

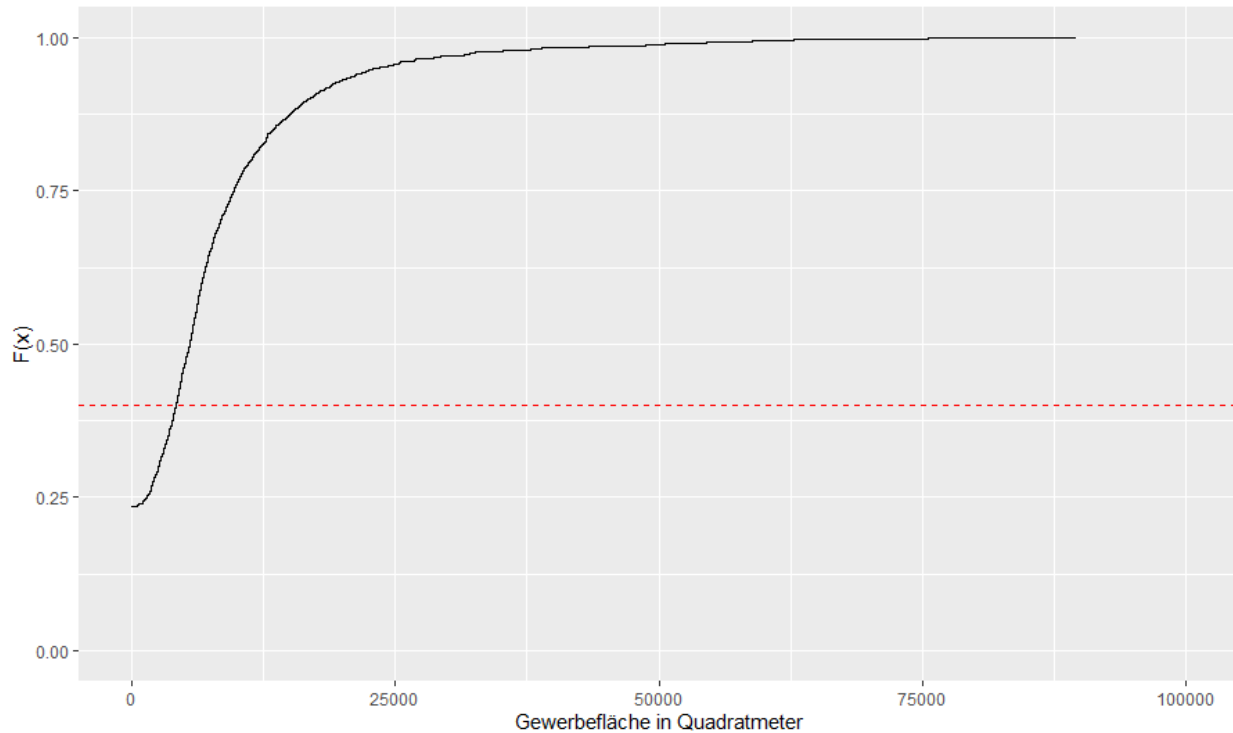


Abbildung 17: Größenverteilung der Lebensmitteleinzelhandelsfilialen auf Industrie- und Gewerbeflächen (n = 2280)

(Quelle: Eigene Darstellung)

In Anlehnung an die Aussage aus dem Experteninterview, dass 60 % der Filialen bei Unternehmen A die Möglichkeit einer Nachtbelieferung bieten (vgl. Kapitel 5.2), wird im Routing allgemein angenommen, dass 60 % von allen zu betrachtenden Filialen hierunter fallen. Als vereinfachende Annahme sind dies die Geschäfte, deren zugehörige Gewerbefläche größer als das 40 %-Perzentil ist. Das 40 %-Perzentil liegt bei knapp 4.200 m², wie der Schnittpunkt der beiden Linien in Abbildung 17 zeigt. Sofern die jeweilige Filiale zu den oberen 60 % gehört, wurde diese Information im Datensatz ergänzt.

Diese Zuordnung ermöglichte es, die Jobs-Tabellen für die einzelnen Filialen zu erstellen. Aus den Experteninterviews (vgl. Kapitel 5.2) ist bekannt, dass die Zustellung des Trocken- und Kühlsortimentes mit getrennten Fahrzeugen erfolgt. Des Weiteren ist bekannt, dass im Schnitt jede Filiale von einem Fahrzeug je Sortiment täglich beliefert wird. Vereinfachend wird dieser Wert für alle Filialen im Untersuchungsgebiet angenommen. Diese Informationen fanden Eingang in folgende Tabelle 6, anhand derer die Jobs-Tabellen für jede Filiale erstellt wurden.

Tabelle 6: VROOM Annahmen der Jobs-Tabelle für die Bestandsmodellierung des Lebensmitteleinzelhandels

Trockensortiment Tagesbelieferung		Trockensortiment Nachtbelieferung	
Angabe	Wert	Angabe	Wert
id	Fortlaufender Wert ab 1	id	Fortlaufender Wert ab 1
setup	0	setup	0
service	900	service	900
delivery	1	delivery	1
pickup	0	pickup	0
skills	1	skills	1
priority	0	priority	0
time_windows	46800, 79200	time_windows	10800, 43200
geom	Koordinate des jeweiligen Filialstandortes	geom	Koordinate des jeweiligen Filialstandortes
Kühlsortiment Tagesbelieferung		Kühlsortiment Nachtbelieferung	
Angabe	Wert	Angabe	Wert
id	Fortlaufender Wert ab 1	id	Fortlaufender Wert ab 1
setup	0	setup	0
service	900	service	900
delivery	1	delivery	1
pickup	0	pickup	0
skills	2	skills	2
priority	0	priority	0
time_windows	46800, 79200	time_windows	10800, 43200
geom	Koordinate des jeweiligen Filialstandortes	geom	Koordinate des jeweiligen Filialstandortes

(Quelle: Eigene Darstellung)

So wurden für jede Filiale die Angaben aus dem Trocken- und aus dem Kühlsortiment erstellt. Sofern das Geschäft unter die Standorte mit potentieller Nachtbelieferung fällt, waren dies die Annahmen aus dem rechten Teil der Tabelle 6 andernfalls aus dem linken Teil. Jedem Filialauftrag aus der Gesamtsumme aller Aufträge je Unternehmen wurde dann eine eindeutige ID zugeordnet. Die Spalte „Setup“ wurde immer mit dem Wert 0 befüllt. Hierüber wäre es möglich, die Zeit zum Anrampen des Zustellfahrzeuges am Lager jeder Filiale anzugeben. Die Spalte „Service“ gibt an, wie lange es in Sekunden dauert, das Fahrzeug zu entladen. Da hierzu keine Angaben aus der Praxis vorlagen, wurde vereinfachend von 15 Minuten ausgegangen. Die Fahrzeuge sind mit vorsortierten Europaletten beladen, die am Ziel nur ausgeladen werden müssen. Der geschätzte Zeitbedarf für das Anrampen des Fahrzeuges und die Ausladung ist somit gebündelt unter „service“ festgehalten.

Der Bedarf einer jeden Filiale ist unter „delivery“ notiert. Die Einheit ist die tägliche Nachfrage pro Geschäft, weshalb in jeder Zeile der Jobs-Tabelle der Wert eins steht. Da keine Waren bei der Belieferung mitgenommen werden, beträgt der „pickup“-Wert null. Über die Spalte „skills“ wird sichergestellt, dass die Nachfrage des Trocken- und Kühlsortimentes nur über die jeweiligen spezialisierten Fahrzeugtypen erfolgt. Eins steht hierbei für das Trockensortiment und zwei für das Kühlsortiment.

In der Spalte „time_windows“ sind die Zeitrestriktionen für die Belieferung jeder Filiale festgehalten. Da die maximale tägliche Lenkzeit für Lkw-Fahrer nicht mehr als neun Stunden pro

Tag betragen darf (Arbeitsrechte.de, 2022), wird dies als Zeitrahmen für die Belieferung festgelegt. Die Fahrer müssen spätestens nach 4,5 Stunden eine Pause von 45 Minuten machen, bevor sie die zweite Fahrthälfte antreten. Diese Pause ist für das Routing aber irrelevant, da dies zur Folge hätte, dass das Fahrzeug im Modell für 45 Minuten nicht in Bewegung wäre. Es wird nur die aktive Fahr- und Belieferungszeit von neun Stunden angenommen. Die angegebenen Werte in der „time_windows“-Spalte sind der erste und letzte mögliche Belieferungszeitpunkt in Sekunden, wobei Sekunde null 19 Uhr darstellt. Über die Restriktionen „10800, 43200“ ist es möglich, eine nächtliche Belieferung zwischen 22-7 Uhr zu simulieren. In diesem Zeitraum haben auch die meisten Geschäfte des Lebensmittelhandels geschlossen. Die Restriktion „46800, 79200“ steht für den Zeitraum zwischen 8-17 Uhr.

Unter „geom“ wird der Standort der jeweiligen Filiale abgespeichert.

Jedes Geschäft wird täglich einmal von einem Fahrzeug mit dem „skill“ 1 für das Trockensortiment und einmal von einem Fahrzeug mit dem „skill“ 2 für das Kühlsortiment angefahren. Der Zustellzeitraum ist abhängig vom Potential zur Nachtbelieferung bei beiden Lieferungen derselbe.

Danach wurde die Vehicles-Tabelle für die Bestandsmodellierung aller betrachteten Unternehmen erstellt. Die Grundangaben hierzu sind in Tabelle 7 zu sehen.

Tabelle 7: VROOM Annahmen der Vehicles-Tabelle für die Bestandsmodellierung des Lebensmitteleinzelhandels

Trockensortiment Tagesbelieferung		Trockensortiment Nachtbelieferung	
Angabe	Wert	Angabe	Wert
id	Fortlaufender Wert ab 1	id	Fortlaufender Wert ab 1
capacity	2	capacity	2
skills	1	skills	1
time_window	46800, 79200	time_window	10800, 43200
breaks		breaks	
geom	Koordinate des jeweiligen Regionallagers	geom	Koordinate des jeweiligen Regionallagers
Kühlsortiment Tagesbelieferung		Kühlsortiment Nachtbelieferung	
Angabe	Wert	Angabe	Wert
id	Fortlaufender Wert ab 1	id	Fortlaufender Wert ab 1
capacity	4	capacity	4
skills	2	skills	2
time_window	46800, 79200	time_window	10800, 43200
breaks		breaks	
geom	Koordinate des jeweiligen Regionallagers	geom	Koordinate des jeweiligen Regionallagers

(Quelle: Eigene Darstellung)

Jedes eingesetzte Fahrzeug ist dabei über die Spalte „geom“ einem Regionallager zugeordnet und kann nur Lieferungen aus dem Trockensortiment oder dem Kühlsortiment übernehmen. In ersterem Fall ist „skills“ gleich 1, andernfalls 2. Des Weiteren wird jedes Fahrzeug auch nur entweder am Tag oder in der Nacht eingesetzt, was sich über die Spalte „time_window“ ausdrückt. Die Einsatzzeiten betragen immer neun Stunden analog zu den Lieferzeitfenstern der Filialen. Wie bereits erwähnt spielen die gesetzlichen Lenkzeitunterbrechungen keine Rolle für das Routing, weshalb kein Wert in der Spalte „breaks“ angegeben werden muss.

Aus den Experteninterviews ist bekannt, dass die Fahrzeuge des Trocken- und Kühlsortimentes unterschiedlich viele Filialen beliefern können, wobei es keinen fixen Wert hierfür gibt. Im Bereich des Trockensortimentes schwankte die mögliche Filialanzahl zur Belieferung für Unternehmen A um den Wert 1,4, wohingegen es bei Unternehmen B eine Spannweite von 1 - 4 Filialen gab. Da das Tool VROOM in der Spalte „capacity“ nur ganze Zahlenwerte akzeptiert, wurde hier eine mittlere Kapazität von zwei Geschäften pro Belieferungstour im Trockensortiment je Fahrzeug festgelegt. Für das Kühlsortiment schwankten die Angaben bei Unternehmen A zwischen 3 bis 3,3 Filialen und bei Unternehmen B zwischen 3 bis 5 Filialen. Aus diesem Grund wurde der allgemeine Wert von vier Filialen je Belieferungstour im Kühlsortiment angenommen.

Im Vorhinein ist nicht klar, wie viele Fahrzeuge überhaupt benötigt werden, um die Liefertouren durchführen zu können. Da VROOM aber versucht, die Gesamtzeit für die Zustellung der Waren zu minimieren, kann dieses Problem darüber angegangen werden, jedem Regionallager theoretisch unendlich viele Fahrzeuge zur Verfügung zu stellen. Beim Routing werden jedem Regionallager je 100 Fahrzeuge für die Tagesbelieferung des Trockensortimentes, die Nachtbelieferung des Trockensortimentes, die Tagesbelieferung des Kühlsortimentes und die Nachtbelieferung des Kühlsortimentes zur Verfügung gestellt. Dies sind deutlich mehr Fahrzeuge als im Modell je Standort benötigt werden. Da es für das Modell keinen Sinn macht, zur Kostenminimierung alle Fahrzeuge einzusetzen, werden nur die Fahrzeuge eingesetzt, die tatsächlich zur Minimierung der Zustellzeit bei gleichzeitiger Erfüllung aller Lieferaufträge benötigt werden.

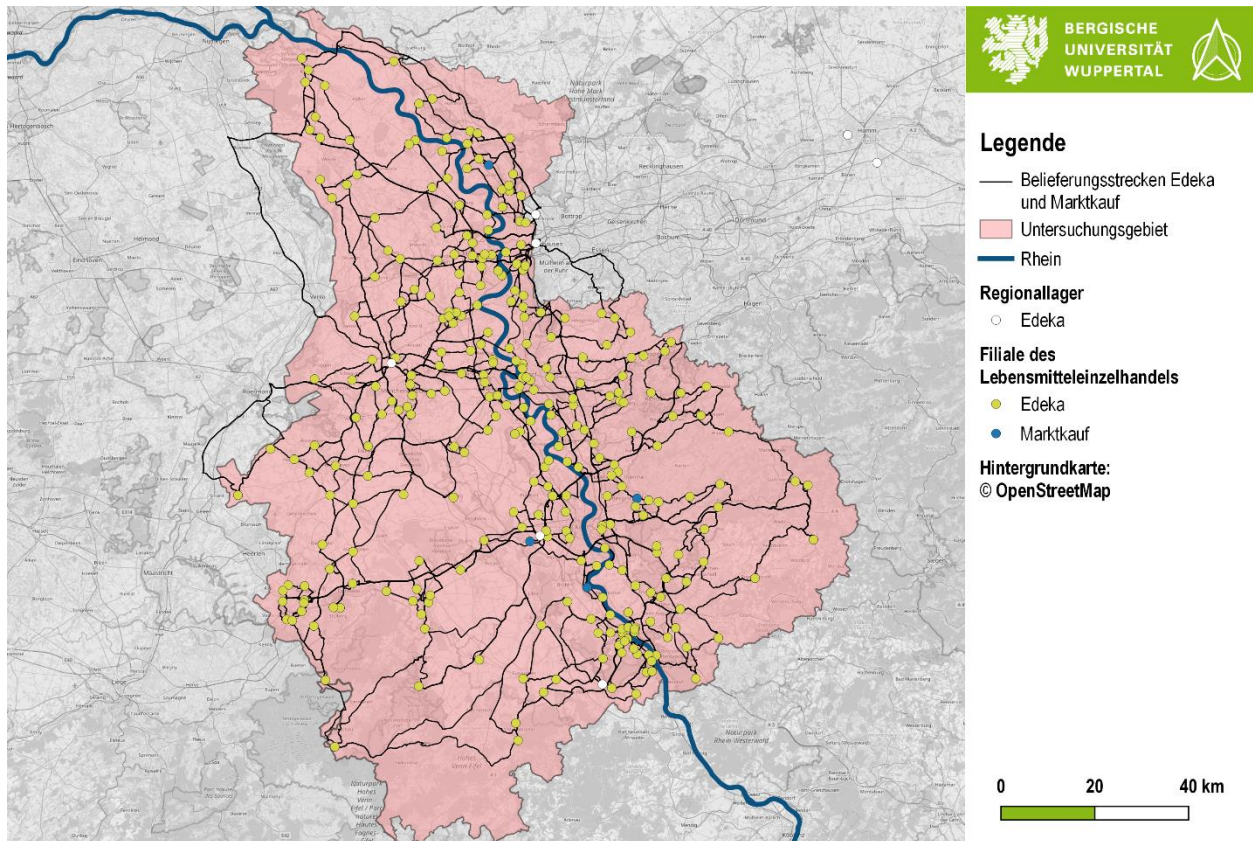
Nach der Umlegung der eingegebenen Daten in VROOM ergaben sich für jedes betrachtete Unternehmen im Lebensmitteleinzelhandel die Touren, welche unter Einhaltung der vorgegebenen Restriktionen den geringsten Zeitaufwand zur Belieferung verursachen. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse gibt Tabelle 8.

Tabelle 8: Zentrale Ergebnisse des Bestand routings für die Touren des Lebensmitteleinzelhandels

Unternehmen	Ermittelte Depots	Genutzte Depots	Σ Belieferungstouren	Anzahl Filialen	Σ Kilometer aller Belieferungstouren	\varnothing km/Filiale
Aldi Nord	1	1	42	56	2.663	48
Aldi Süd	7	7	350	458	18.522	40
Edeka + Marktkauf	7	5	231	303	16.882	56
Kaufland	1	1	46	60	10.572	176
Lidl	8	6	238	314	16.848	54
Netto	4	3	346	456	28.171	62
Penny	2	2	138	182	13.350	73
Rewe + Akzenta + Nahkauf	3	3	341	453	33.889	75

(Quelle: Eigene Darstellung)

In der Spalte „Ermittelte Depots“ ist die Gesamtzahl der Logistikzentren enthalten, welche in Kapitel 6.1 für jedes Unternehmen in und um das Untersuchungsgebiet gefunden werden konnte. Es zeigt sich, dass nicht alle Logistikzentren, die vorher ermittelt wurden, laut Modell zur Belieferung der Filialen in der Metropolregion Rheinland genutzt werden sollten. Dies betrifft die drei Unternehmen Edeka, Lidl und Netto. Vor allem die Unternehmen, welche mehrere Regionallager über das Untersuchungsgebiet verteilt betreiben, benötigen dann nicht mehr diejenigen Logistikzentren, welche sich weiter entfernt von der Metropolregion Rheinland befinden. Für das Unternehmen Edeka, welches mit seinen Liefertouren die eigenen Filialen und die Filialen von Marktkauf im Modell bedient, wird dies in Abbildung 18 illustriert.



**Abbildung 18: Belieferungsstreckennetz für die Filialen von Edeka und Marktkauf im Untersuchungsgebiet
(Quelle: Eigene Darstellung)**

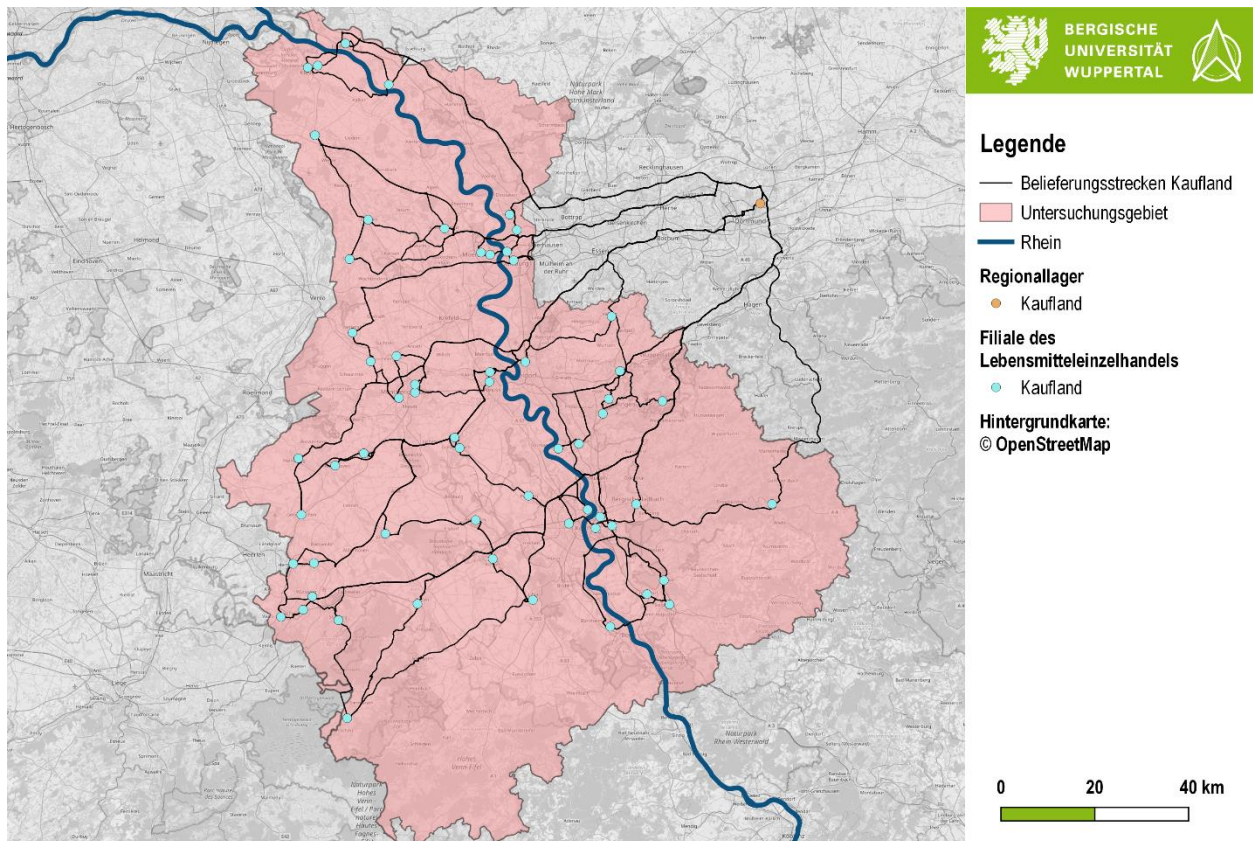
Die fünf Regionallager innerhalb bzw. in direkter Nähe zum Untersuchungsgebiet sind im Modell ausreichend, um die zugehörigen Filialen bei Minimierung der Belieferungszeit zu versorgen. Die beiden Standorte im Raum Hamm (Westfalen) besitzen keine Relevanz für die direkte Versorgung auf dem letzten Lieferabschnitt Regionallager-Filiale in der Metropolregion Rheinland.

In der Spalte „Summe Belieferungstouren“ ist die Anzahl der notwendigen täglichen Liefertouren je Unternehmen aufgelistet. Dies beinhaltet alle Touren aus dem Trocken- und Kühlsortiment, die tagsüber und nachts durchgeführt werden. Hier fallen vor allem Aldi Nord und Kaufland durch die geringen Werte auf, die aber aufgrund ihrer geringen Filialanzahl im Untersuchungsgebiet (siehe Spalte „Anzahl Filialen“) ein nicht so hohes Fahrzeugaufkommen generieren.

Der Sonderstatus von Aldi Nord im Untersuchungsgebiet zeigt sich insbesondere in den Ergebnissen der Spalte „Summe Kilometer aller Belieferungstouren“. Die Tatsache, dass Aldi

Nord nur in einem kleinen Teil des Untersuchungsgebietes mit Filialen vertreten ist und dass das entsprechende Regionallager ebenfalls in der Nähe dieses Gebietes ist, führt im Vergleich zu den anderen Unternehmen zu einer deutlich geringeren Kilometerzahl.

Den anderen Sonderfall bildet Kaufland mit einem einzigen Logistikzentrum außerhalb des Untersuchungsgebietes, von wo aus sämtliche Filialen in der Metropolregion Rheinland versorgt werden (siehe Abbildung 19).



**Abbildung 19: Belieferungsstreckennetz für die Filialen von Kaufland im Untersuchungsgebiet
(Quelle: Eigene Darstellung)**

Die ungünstige Lage des Lagers im Raum Dortmund führt trotz der vergleichsweise wenigen Filialen im Untersuchungsraum zu ähnlich hohen generierten Kilometern bei der täglichen Belieferung wie beim Unternehmen Penny, welches aber deutlich mehr Filialen besitzt. Dies ist auch der Grund für den mit Abstand höchsten Mittelwert in Höhe von 176 km je Filiale.

Die Auslastung der einzelnen Regionallager in Bezug auf die notwendigen Fahrzeuge zur Belieferung der Filialen ist ebenfalls sehr unterschiedlich (siehe Abbildung 20).

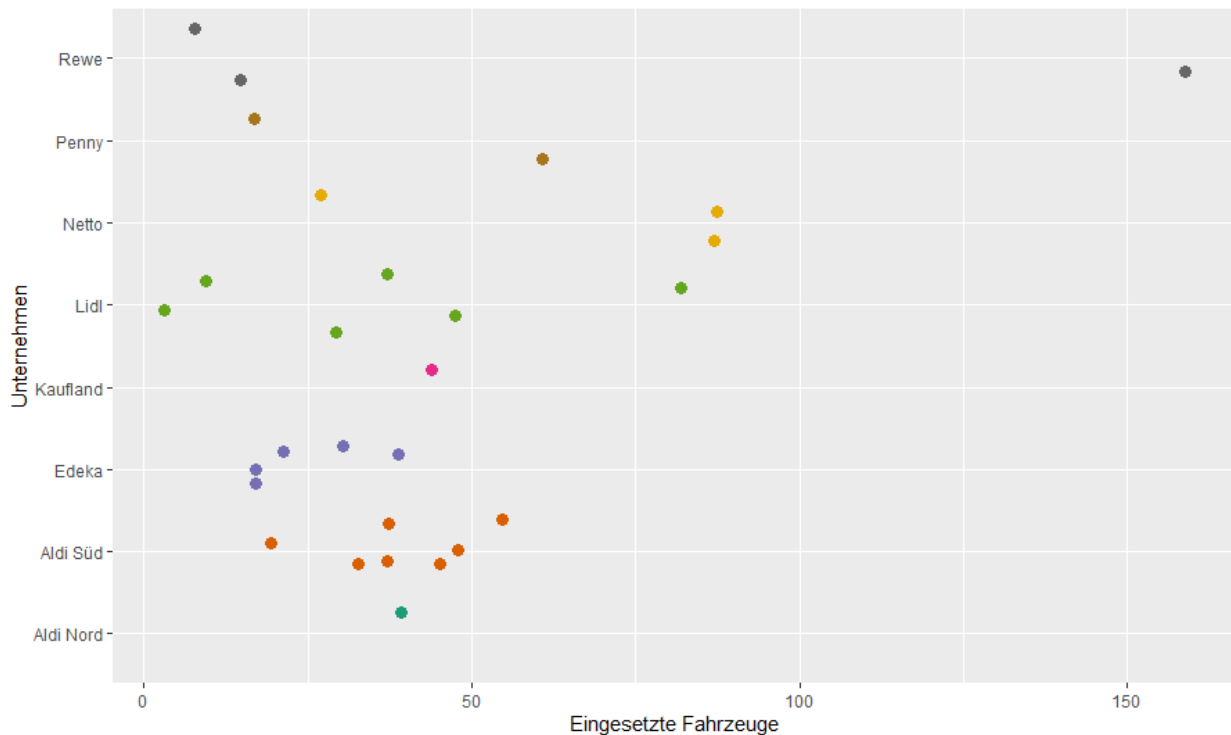


Abbildung 20: Spannweite der maximal gleichzeitig eingesetzten Fahrzeuge je Regionallager im Bestandsmodell des Lebensmitteleinzelhandels

(Quelle: Eigene Darstellung)

Jeder Punkt steht dabei für das Maximum an Touren an dem jeweiligen Standort zu der Tageszeit (entweder tagsüber oder nachts), die sowohl für die Belieferung des Trocken- als auch des Kühlsortimentes erforderlich sind. Die Punktfarbe ermöglicht eine eindeutige Zuordnung des Datenpunktes zum jeweiligen Unternehmen auf der y-Achse. Die Streuung der Datenpunkte auf der y-Achse je Unternehmen hat allein darstellungstechnische Gründe. Hierdurch wird garantiert, dass alle Regionallager eines Unternehmens erkannt werden können, auch wenn sie gleich oder ähnlich viele Fahrzeuge im Maximum zeitgleich einsetzen. Diese Darstellungsform gilt auch für folgende Abbildungen mit einem ähnlichen Aufbau.

Die Spannweite bei Unternehmen mit mehreren genutzten Regionallagern ist durchaus groß, wobei tendenziell die Unternehmen mit einem größeren Lagernetz eine gleichmäßigere Belastung der Standorte haben, als solche mit nur zwei bis drei Standorten. Der Ausreißer des Unternehmens Rewe erklärt sich dadurch, dass nur ein Regionallager innerhalb des Untersuchungsgebietes liegt und die beiden anderen weit außerhalb in Koblenz und Dortmund (siehe Kapitel 6.1).

Auch die Spannweite der gefahrenen Kilometer je Tour unterscheidet sich je nach Unternehmen beträchtlich, wie Abbildung 21 verdeutlicht.

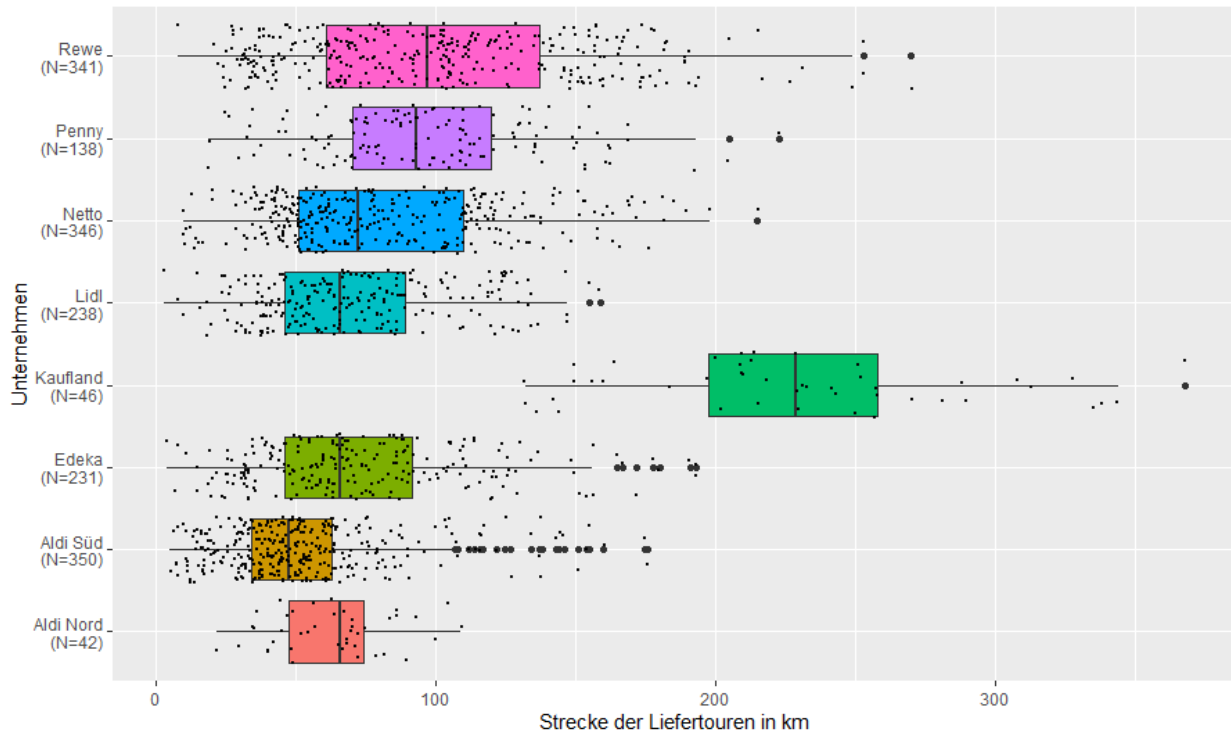


Abbildung 21: Verteilung der generierten Tourenkilometer je Unternehmen im Bestandsmodell des Lebensmitteleinzelhandels

(Quelle: Eigene Darstellung)

Mit Ausnahme von Kaufland liegt der Median der Zustell Touren bei jedem Unternehmen unter 100 km. Aldi Süd scheint dabei mit seinem bestehenden Regionallagernetz besonders gut aufgestellt zu sein, da hier der Median sogar unter 50 km liegt. Auch der mittlere Quartilsabstand ist im Vergleich zu den anderen betrachteten Unternehmen (mit Ausnahme von Aldi Nord) sehr gering. Des Weiteren zeigt sich, dass Unternehmen wie Aldi Süd, Edeka und Lidl, welche mehr Regionallager für die Belieferung ihrer Filialen nutzen, einen geringeren mittleren Quartilsabstand besitzen. Mehr Regionallager können somit die Filialen im Untersuchungsgebiet mit geringerem Fahrleistungsaufwand versorgen. Das Gegenteil verdeutlicht Kaufland, bei dem aufgrund des einzigen, weit außerhalb des Untersuchungsgebietes liegenden Regionallagers, keine Touren durchgeführt werden können, welche weniger als 125 km betragen. Der Maximalwert liegt hier sogar bei bis zu 368 km.

Eine Ausnahme von den gemachten Beobachtungen stellt hierbei Aldi Nord dar, welches aufgrund seines limitierten Zustellbereiches im Untersuchungsgebiet nicht direkt mit den anderen Unternehmen verglichen werden kann.

Die Verteilung der benötigten Zeitdauer für eine Belieferungstour je Unternehmen ist der Anzahl der generierten Kilometern je Tour sehr ähnlich (siehe Abbildung 22).

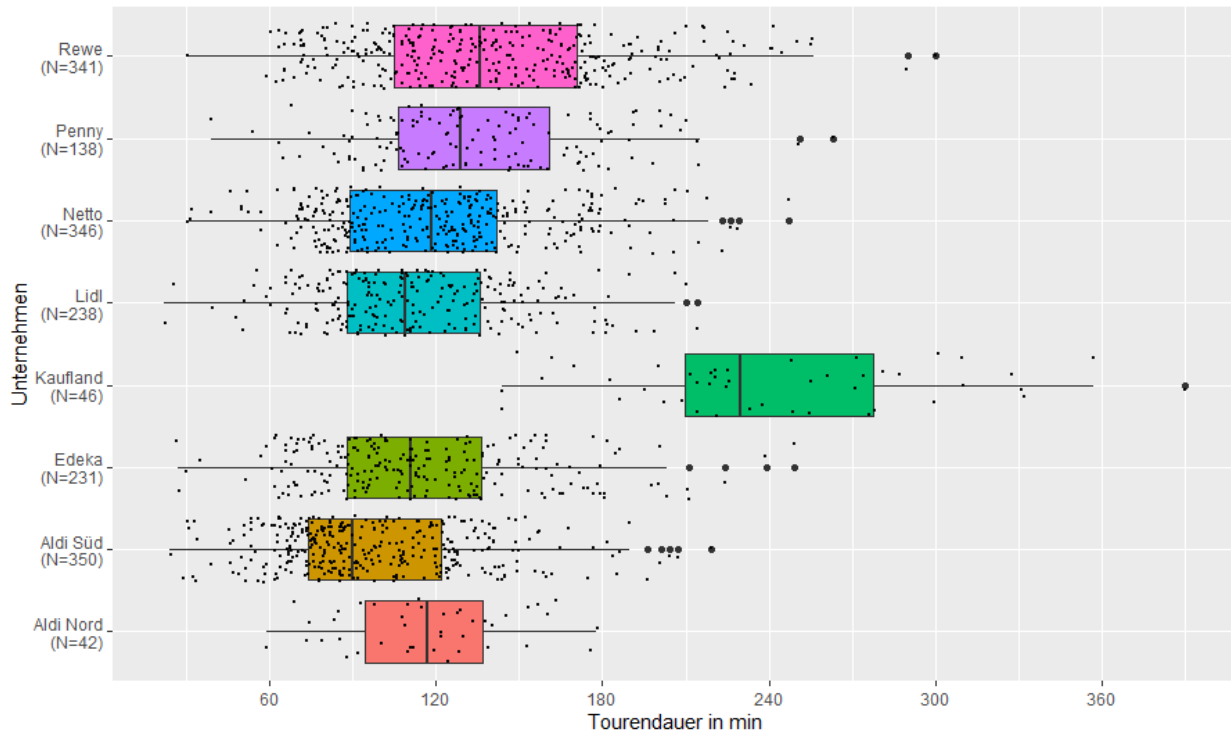


Abbildung 22: Verteilung der Tourendauer je Unternehmen im Bestandsmodell des Lebensmitteleinzelhandels
(Quelle: Eigene Darstellung)

Mit Ausnahme von Kaufland dauern die meisten Touren bei den anderen Unternehmen weniger als vier Stunden. Somit ließen sich die meisten Fahrzeuge eines jeden Regionallagers mindestens für zwei oder sogar mehr Touren innerhalb einer Schicht nutzen. Somit müssen keine Fahrzeuge in Höhe der Tourenanzahl je Schicht und Standort vorgehalten werden. Die langen Touren insbesondere beim Unternehmen Kaufland führen dazu, dass bei diesen mindestens eine Lenkzeitunterbrechung vom Fahrpersonal eingehalten werden muss.

Den linearen Zusammenhang zwischen der Tourenlänge und der -dauer belegt folgende Abbildung 23.

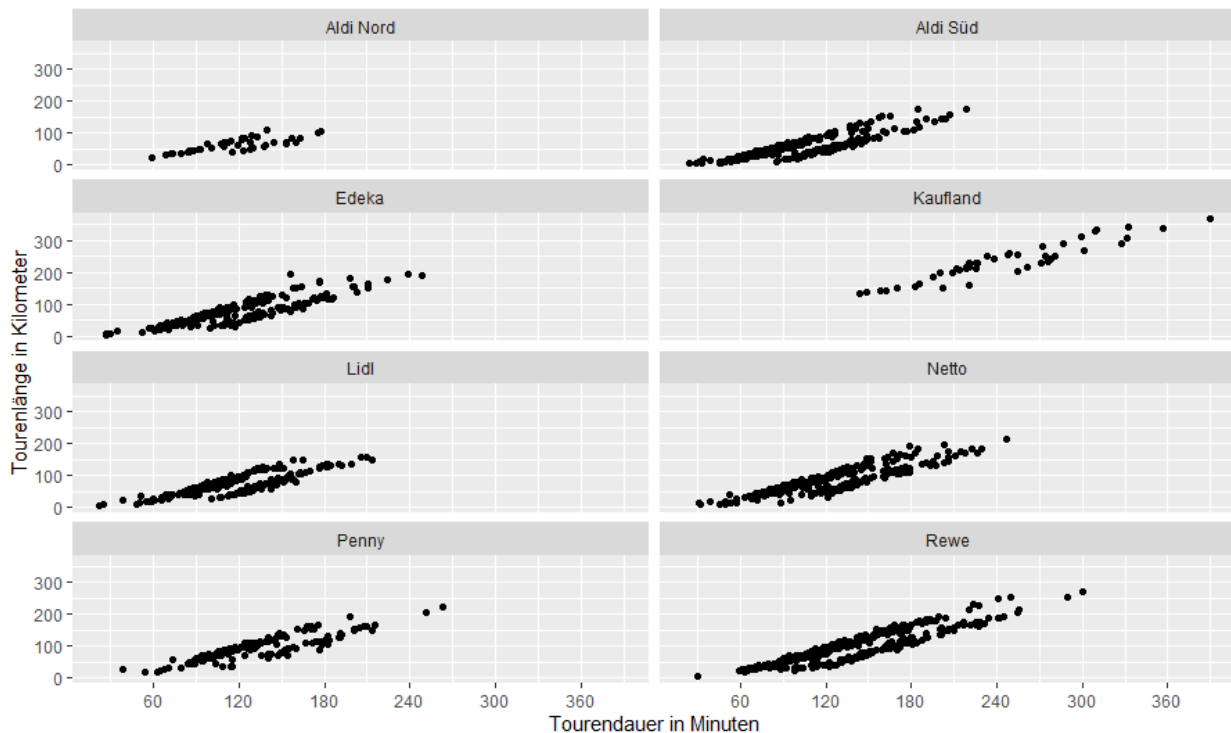


Abbildung 23: Korrelation zwischen der Tourendauer und -länge im Bestandsmodell des Lebensmitteleinzelhandels

(Quelle: Eigene Darstellung)

Da der Verlauf der Punktwolken in Abbildung 23 bei allen Unternehmen sehr ähnlich ist, lässt sich folgendes daraus schließen: Unabhängig vom vorhandenen Straßennetz im jeweiligen Tourengebiet (städtisch oder ländlich) ist die mittlere Geschwindigkeit der Fahrzeuge auf den individuellen Touren unabhängig von der Tourenlänge. Des Weiteren ergibt sich der parallele Verlauf der bei jedem Unternehmen auftauchenden Punktwolken durch die unterschiedlichen Haltedauern der Touren des Trocken- und Kühlsortimentes. Die Kühlfahrzeuge beliefern bis zu vier Filialen, was zu einer Fahrtunterbrechung von bis zu einer Stunde führen kann. Im Trockensortiment werden dagegen höchstens zwei Filialen innerhalb einer Tour beliefert, was zu einer maximalen Fahrzeitunterbrechung von einer halben Stunde führt.

8.2 Bestandsmodellierung der Touren der KEP-Dienstleister

Stellvertretend für die KEP-Branche werden die täglichen Touren des Unternehmens DHL als Marktführer in Deutschland ermittelt, wobei wegen der spärlichen allgemeinen Daten bezüglich der Kurier- und Expressdienste eine Beschränkung auf den Paketbereich erfolgt. Des Weiteren werden auch nur die Touren von den Regionallagern zu den finalen Kunden ermittelt. Die Verteilung der Sendungen zwischen den Zentrallagern, Hubs und Regionallagern werden aufgrund ihrer Komplexität in der Modellierung nicht berücksichtigt.

DHL beliefert in diesem Modell potentiell sämtliche Privatkunden, Gewerbebetriebe und unternehmenseigenen Paketstationen im Untersuchungsgebiet.

Zuerst wurde das jährliche Paketaufkommen im B2C-Bereich berechnet. Dieses ergibt sich aus den Ergebnissen einer Marktuntersuchung für den KEP-Bereich aus dem Jahr 2017, in dem für jeden zweistelligen PLZ-Bereich (Postleitzahl) innerhalb Deutschlands das durchschnittliche B2C-Paketaufkommen pro Kopf ermittelt wurde (Manner-Romberg & Müller-Steinfahrt, 2017, S. 55 f). Die entsprechenden Anteile für die PLZ-Regionen, welche innerhalb des Untersuchungsgebietes Metropolregion Rheinland liegen, können Abbildung 24 entnommen werden.

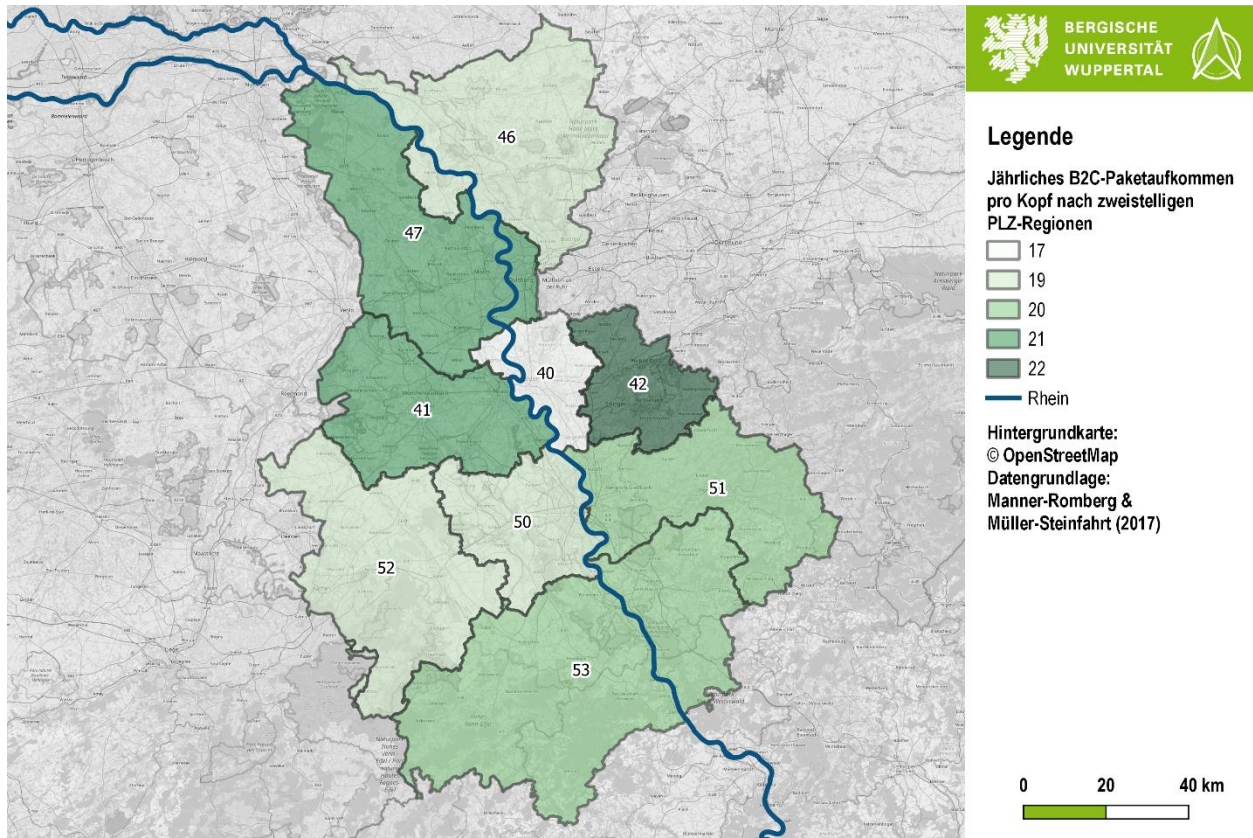


Abbildung 24: Jährliches B2C-Paketaufkommen der zweistelligen PLZ-Regionen innerhalb des Untersuchungsgebietes 2017

(Quelle: Eigene Darstellung)

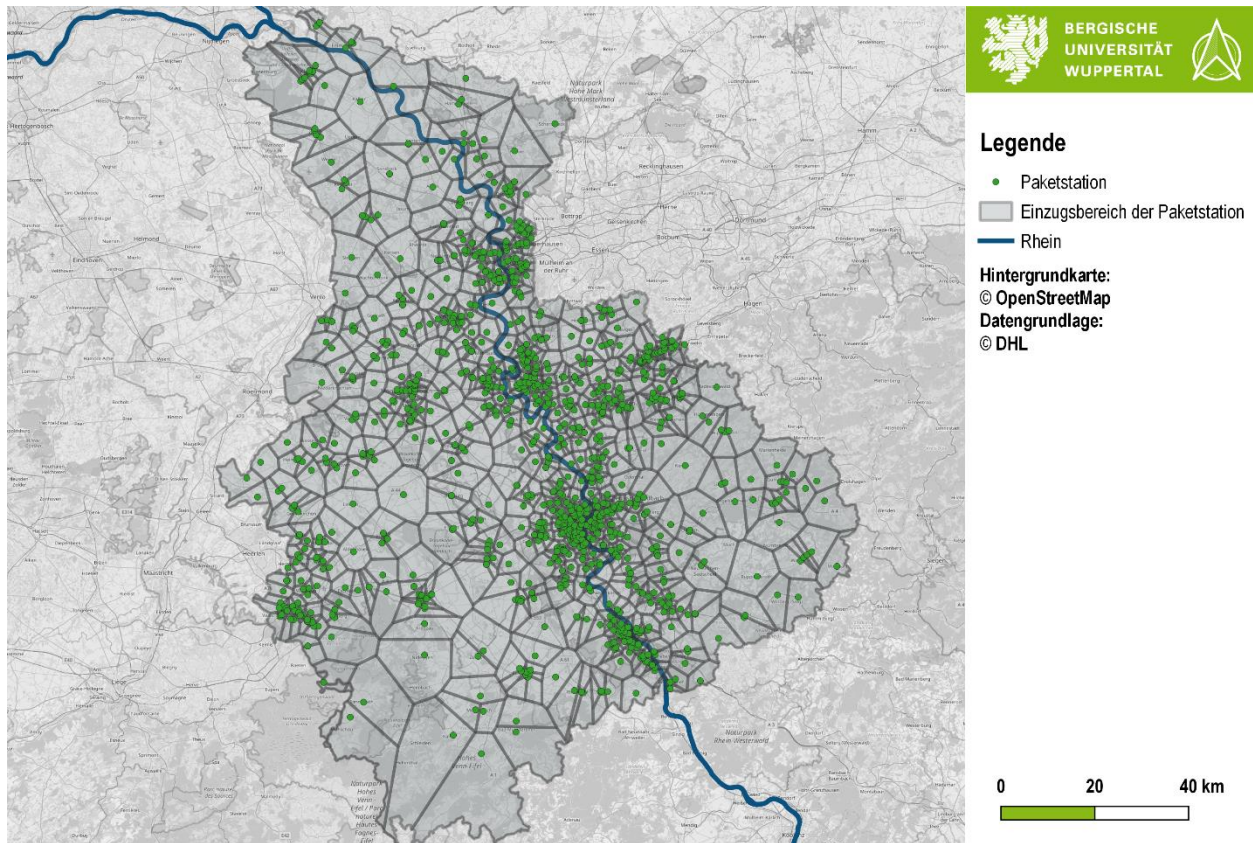
Das bergische Städtedreieck mit Wuppertal, Solingen und Remscheid liegt mit 22 Paketen pro Einwohner und Jahr bundesweit an der Spitze. Im Vergleich mit den restlichen Teilen Deutschlands liegen die PLZ-Regionen des Untersuchungsgebietes mit Ausnahme der Region „40“ rund um Düsseldorf und Mettmann ebenfalls bundesweit vorne.

Die Ergebnisse wurden mit den hochgerechneten Zensusdaten für das Jahr 2020 multipliziert, so dass das jährliche Paketaufkommen je Zensuszelle innerhalb der Metropolregion Rheinland bestimmt werden konnte. So ergaben sich knapp 170 Mio. zugestellte Pakete für das Untersuchungsgebiet. Da aber das tägliche Paketaufkommen durch DHL je Zensuszelle bestimmt werden sollte, wurde das jährliche Aufkommen je Zelle durch 280 geteilt (Annahme einer 6-Tage Woche bei der Zustellung der Pakete) und mit dem Marktanteil von DHL am gesamtdeutschen Paketvolumen (48 %) multipliziert. Dieser Wert wurde dann nochmals mit 0,87

multipliziert, da nur 87 % aller B2C-Pakete tatsächlich zu Hause bei den Kunden zugestellt werden. Die verbleibenden Pakete werden von den Kunden an Paketshops oder Paketautomaten abgeholt (Bundesverband Paket & Express Logistik, 2018). Die Paketanzahl je Tag wurde dann auf ganze Zahlenwerte gerundet. Für die Zellen mit Werten zwischen Null und Eins bedeutet dies in der Praxis, dass nicht jeden Tag an diesem Ort ein Paket zugestellt wird. Um trotzdem eine tägliche Zustellung zu diesen Zellen zu simulieren, wurde per Zufallsfunktion der Wert Eins bei allen Zellen mit der Wahrscheinlichkeit ihres reellen täglichen Paketaufkommens angenommen. Dadurch wird ein Teil der Privatkunden im Modell berücksichtigt, der nicht täglich eine Sendung erhält.

Für den B2B-Bereich der Paketsendungen sieht die Datengrundlage deutlich schwieriger aus. Im Allgemeinen ist bekannt, dass 70 % der gesamt verschickten Pakete dem B2C-Bereich zuzuordnen sind, woraus folgt, dass 30 % in den B2B-Bereich fallen (Leerkamp, Holthaus, Kuchhäuser, Thiemermann, & Schlott, 2021, S. 59). Mit den etwas mehr als 170.000 ermittelten Unternehmen im Untersuchungsgebiet (siehe Kapitel 6.4) ergeben sich somit pro Jahr im Durchschnitt 298 zuzustellende Pakete je Unternehmen. Vereinfachend wird dieser Wert für jeden Gewerbekunden angenommen. Dies führt zu durchschnittlich 0,51 Paketen je Tag (unter der Annahme einer 6-Tage-Woche mit 280 Werktagen im Jahr und einem Anteil von 48 % bei den gesamt zugestellten Paketen durch DHL). Analog zu den Privatkunden mit durchschnittlich täglich weniger als einem zugestellten Paket wird per Zufallsverteilung jeder Gewerbekunde im Untersuchungsgebiet mit einer Wahrscheinlichkeit von 51 % täglich ein Paket erhalten.

Die Paketstationen sind die Zustellalternative für die Privatkunden. Diese wurden in Kapitel 6.4 ermittelt. Aus (Bundesverband Paket & Express Logistik, 2018) ist bekannt, dass 13 % der Sendungen im Privatbereich über diese Stationen an die Kunden gelangen. Um zu ermitteln, welche Stationen für welche Zensuszellen zuständig sind, wurde vereinfachend das Untersuchungsgebiet in Abhängigkeit der Paketstationen per Voronoi-Prinzip in Gebiete aufgeteilt, die jeden fiktiven Punkt in der Metropolregion Rheinland der per Luftlinie nächsten Paketstation zuordnen. Abbildung 25 zeigt das Ergebnis.



**Abbildung 25: Einzugsbereiche der Paketstationen von DHL im Untersuchungsgebiet
(Quelle: Eigene Darstellung)**

Dann wurden die Zensuszellen der Paketstation zugeordnet, in deren Einzugsbereich sie liegen. Die Summe aus den zugehörigen Gitterzellen mit ihrem 13 %-Anteil an privat zuzustellenden Paketen pro Jahr multipliziert mit dem DHL Marktanteil von 48 % ergab das jährliche Paketaufkommen je Station. Auch hier wurde wieder eine 6-Tage-Woche angenommen, wodurch sich das tägliche Paketaufkommen je Paketstation ergab. Die Ergebnisse wurden auf ganze Zahlen gerundet. Für den Fall, dass das ungerundete Ergebnis unter 1 lag, wurde per Zufallsverteilung der Wert 1 mit der Wahrscheinlichkeit des ermittelten Ergebnisses angenommen. Andernfalls ergab sich der Wert Null.

Die zusammengetragenen Informationen ermöglichen die Erstellung der Tabellen für das Routing der täglichen Pakettouren von DHL in der Metropolregion Rheinland. Die Eingangsdaten für VROOM über die Jobs-Tabelle sind in Tabelle 9 für die drei Zielgruppen Privat-, Gewerbekunde und Paketstation dargestellt.

Tabelle 9: VROOM Annahmen der Jobs-Tabelle für die Bestandsmodellierung der Pakettouren von DHL als Stellvertreter der KEP-Dienstleister

Privatkunde	
Angabe	Wert
id	Fortlaufender Wert ab 1
setup	0
service	210 x Tägliche Paketanzahl der Gitterzelle
delivery	Tägliche Paketanzahl der Gitterzelle
pickup	0
skills	0
priority	0
time_windows	50400, 79200
geom	Koordinate der jeweiligen Gitterzelle
Gewerbekunde	
Angabe	Wert
id	Fortlaufender Wert ab 1
setup	0
service	210
delivery	Tägliche Paketanzahl des Gewerbekunden
pickup	0
skills	0
priority	0
time_windows	50400, 79200
geom	Koordinate des jeweiligen Unternehmens
Paketstation	
Angabe	Wert
id	Fortlaufender Wert ab 1
setup	0
service	210
delivery	Tägliche Paketanzahl der Paketstation
pickup	0
skills	0
priority	0
time_windows	50400, 79200
geom	Koordinate der jeweiligen Paketstation

(Quelle: Eigene Darstellung)

Sofern die Gitterzelle als Stellvertreter der dort wohnhaften Privatkunden für den zu ermittelnden Beispieltag mindestens ein Paket zugestellt bekommt, wird die Koordinate des Mittelpunktes der Zelle in der Spalte „geom“ festgehalten. Die Spalten „setup“ und „service“ geben zusammen die Zustelldauer in dieser Gitterzelle an. Hierbei wird analog zu der Modellierung der Touren im Lebensmitteleinzelhandel darauf verzichtet, einen konkreten „setup“-Wert anzunehmen (vgl. Kapitel 8.1). Stattdessen gibt die Spalte „service“ die gesamte Dauer für die Zustellung an diesem Ort an. In (Schäfer, et al., 2017) war die Gesamtdauer der in dem Forschungsprojekt begleiteten Touren als auch die Beobachtung, dass während der Zustellfahrten zu drei Viertel der Zeit die Lieferfahrzeuge stillstanden, beschrieben. Aus diesen Informationen war die reine Zustellzeit vom Fahrzeug zu den Kunden ableitbar. Durch die Division mit den insgesamt belieferten Kunden ergibt sich eine durchschnittliche Zustellzeit je Kunde von 3,5 Minuten. Vereinfachend wird

angenommen, dass bei der Zustellung in der Gitterzelle jedes Paket an einen individuellen Kunden übergeben wird. Hieraus ergibt sich die im Modell angenommene Zustellzeit aus dem Produkt der 210 Sekunden Zustellzeit je Kunde und den Sendungen je Gitterzelle. In der Spalte „delivery“ ist die Anzahl der zugestellten Pakete je Gitterzelle gespeichert.

Für die Gewerbekunden und Paketstationen sind die genauen Adressen bekannt, deren resultierende Koordinate jeweils in der Spalte „geom“ notiert ist. Da jeder Gewerbekunde und jede Paketstation als einzelner Kunde exakt gelistet sind, wird vereinfachend von einer Zustellzeit von 3,5 Minuten ausgegangen, unabhängig von den zuzustellenden Paketen. Deren genaue Anzahl wiederum ist in der Spalte „delivery“ gelistet.

Im erstellten Modell wird keine Mitnahme von neuen Paketen bei den drei Zielgruppen simuliert, weshalb der „pickup“-Wert überall null beträgt. Bei den Zustellfahrzeugen kommen keine unterschiedlichen Fahrzeuge zum Einsatz. Aus diesem Grund kann der „skills“-Wert in allen Zeilen einheitlich auf null gesetzt werden. Kein Standort hat darüber hinaus eine besondere Priorität, weshalb auch in der Spalte „priority“ alle Werte auf null gesetzt werden können. Des Weiteren wird jeder Zustelladresse eine eindeutige ID über die entsprechende gleichnamige Spalte zugeordnet.

Aus (Böhl, 2020) war zu entnehmen, dass das Lieferzeitfenster von DHL im allgemeinen zwischen 7-18 Uhr liegt. Dieser Rahmen von 11 Stunden überschreitet die zulässige tägliche Arbeitszeit. Hier ist davon auszugehen, dass es Zusteller gibt, die schon um 7 Uhr starten, aber schon deutlich vor 18 Uhr ihren Arbeitstag beenden. Bis in den frühen Abend stellen dann höchstwahrscheinlich nur solche Mitarbeiter zu, die erst im Laufe des Vormittages ihren Arbeitstag beginnen. Als Orientierung für das Zustellzeitfenster dienen die Angaben aus (Böhl, 2020) zum KEP-Dienstleister mit dem kleinsten Zeitfenster, welches UPS mit einer Angabe von 9-17 Uhr hat. Diese acht Stunden erscheinen für eine Person auf einer Tour deutlich realistischer. Aus diesem Grund wurde in der Spalte „time_windows“ auch bei allen drei Kundengruppen die Begrenzungen 50.400 und 79.200 eingetragen, was die Sekundenangabe für 9 und 17 Uhr unter der Annahme, dass 18 Uhr die Sekunde 0 darstellt, ist.

Die Angaben zur Vehicles-Tabelle zur Modellierung der täglichen DHL-Touren über VROOM lassen sich der folgenden Tabelle 10 entnehmen.

Tabelle 10: VROOM Annahmen der Vehicles-Tabelle für die Bestandsmodellierung der Pakettouren von DHL als Stellvertreter der KEP-Dienstleister

KEP-Logistikzentrum	
Angabe	Wert
id	Fortlaufender Wert ab 1
capacity	180
skills	0
time_window	50400, 79200
breaks	
geom	Koordinate des jeweiligen Logistikzentrums

(Quelle: Eigene Darstellung)

Die Spalte „geom“ enthält hierbei die jeweilige Koordinate des Logistikzentrums, zu welchem das Zustellfahrzeug gehört und von wo aus es die tägliche Tour beginnt und beendet. Die Spalte „skills“ hat entsprechend den obigen Erläuterungen zu der zugehörigen Jobs-Tabelle immer den Wert null. Da in dem Modell die Annahme gilt, dass die Zustellzeiten der Ziele den Einsatzzeiten der Zustellfahrzeuge entsprechen, ist auch der Wert in der „time_window“-Spalte deckungsgleich mit der gleichnamigen Spalte in der Jobs-Tabelle. Analog zu der Modellierung der Touren im Lebensmitteleinzelhandel (vgl. Kapitel 8.1) werden bei den KEP-Touren ebenfalls keine Fahrpausen der Zustellfahrzeuge simuliert, weshalb in der Spalte „breaks“ keine Eintragung erfolgt. Da die meisten Zustellungen im KEP-Bereich mit Fahrzeugen unter 3,5 t zulässigem Gesamtgewicht erfolgen, gibt es auch keine gesetzlich vorgeschriebenen Fahrzeitunterbrechungen, die das Fahrpersonal einhalten muss.

Das Fassungsvermögen von 180 Paketen pro Fahrzeug ergab sich durch den Mittelwert aller zugestellten Pakete über alle beobachteten Zustelltouren in der Frankfurter Studie (Schäfer, et al., 2017). Dies deckt sich mit einer Aussage eines KEP-Boten von DHL gegenüber dem Autor dieser Arbeit, dass die üblichen Fahrzeuge der Sprinterklasse im Paketdienst bis zu 200 Sendungen transportieren könnten.

Da ähnlich wie bei den Zustelltouren des Lebensmitteleinzelhandels nicht die genauen Fahrzeugzahlen je Logistikzentrum bekannt waren (vgl. Kapitel 8.1), das Modell aber zum Ziel hat, die Gesamtfahrzeit zu minimieren, werden jedem Verteilzentrum hinreichend Fahrzeuge im Modell zum Routing zur Verfügung gestellt. Bei den ermittelten Touren kommen dann nur so viele Fahrzeuge je Standort zum Einsatz, wie benötigt werden, um die vorgegebenen Ziele unter den gegebenen Restriktionen bedienen zu können. Als hinreichend große Fahrzeugreserve je Logistikzentrum wurde der Wert 500 angenommen.

Bei der Umlegung des Modells in VROOM hat sich gezeigt, dass die Komplexität des Modells mit über 200.000 Lieferzielen zu hoch für gewöhnliche Serverkapazitäten ist. Trotz mehrfacher Erhöhung des Arbeitsspeichers war es nicht möglich, die Touren zu berechnen. Zur Vereinfachung wurde das Untersuchungsgebiet auf den Raum reduziert, welcher im Zuständigkeitsbereich der Bezirksregierung Düsseldorf liegt. Des Weiteren wurde ein 500m-Gitternetz über das nun reduzierte Untersuchungsgebiet gelegt. Sämtliche vorher bestimmten Belieferungsziele wurden in den vergrößerten Gitterzellen additiv zusammengefasst. So wurden

Kunden, welche vorher approximativ über die 100m-Gitterzellen bestimmt waren, mit Gewerbekunden und Paketstationen in einer 500m-Gitterzelle zusammengelegt, wenn sich alle drei Kundengruppen innerhalb der neuen Zelle befanden. Die tägliche Paketnachfrage aller vorherigen Ziele wurde addiert und als neue Liefermenge der Zelle bestimmt. Da nun die Strecken und Fahrzeiten zwischen den verschiedenen Kunden innerhalb der 500m-Gitterzellen entfielen, wurde die Servicezeit für die Zustellung der Pakete zu den Privatkunden von 3,5 Minuten auf 4,5 Minuten angehoben. Hierdurch wurde die kurze Fahrt zwischen den einzelnen Kunden innerhalb der Zelle simuliert. Aufgrund der entfallenden Kurzstrecken zwischen den einzelnen Kunden innerhalb der 500 m-Gitterzellen ergibt sich eine geringfügige Reduktion der Tourenlängen. Diese Vernachlässigung ist vertretbar, da die Abweichung von der Gesamtstrecke einer Tour bei einer Kantenlänge von 500 m nur marginal ausfällt.

Für den Fall, dass die neuen vergrößerten Zellen eine größere Paketnachfrage generieren, als ein einzelnes Fahrzeug im Modell beliefern kann (in diesem Falle 180 Sendungen), wird die Zelle gedoppelt und die Nachfrage über Originalzelle und Kopie aufgeteilt. Mit dieser Methodik war es möglich die Belieferungsziele auf 8544 zu reduzieren. Aus Zeitgründen wird auf eine separate Auswertung für die Kunden und Hubs, welche sich im Regierungsbezirk Köln befinden, verzichtet.

Somit wurden für sämtliche Privathaushalte, Gewerbekunden und Paketstationen, welche sich innerhalb der Metropolregion Rheinland befinden, nicht aber im Zuständigkeitsbereich der Bezirksregierung Köln, die Lieferrouten bestimmt, welche von KEP-Depots ausgehen, die sich ebenfalls im besagten Gebiet befinden. Es erfolgen keine Zustellungen von Depots im Regierungsbezirk Köln zu Kunden im Regierungsbezirk Düsseldorf.

Im betrachteten Bereich des Regierungsbezirks Düsseldorf konnten 16 Hubs des Unternehmens DHL ermittelt werden. Laut VROOM sollten im Bestandsrouting auch alle 16 Standorte zur Belieferung der Kunden genutzt werden. Unter der Zielfunktion die Gesamtzeit für alle Touren zu minimieren werden im Modell 1559 Zustellfahrten durchgeführt für die insgesamt 44.223 km mit den Zustellfahrzeugen zurückgelegt werden. Das befahrene Streckennetz und die Hubs im Raum Düsseldorf können der Abbildung 26 entnommen werden.

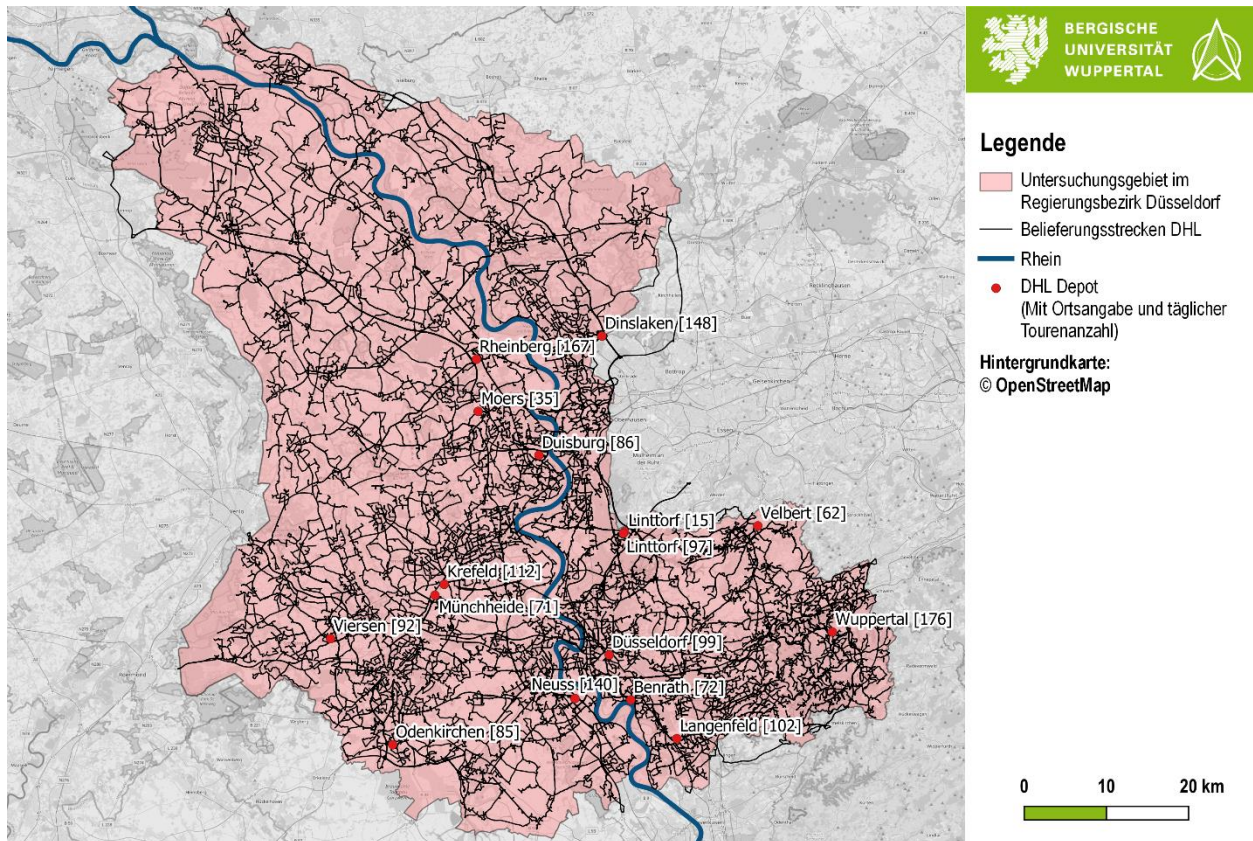


Abbildung 26: Belieferungsstreckennetz des Unternehmens DHL im Regierungsbezirk Düsseldorf innerhalb der Metropolregion Rheinland mit täglicher Tourenanzahl je Depot
(Quelle: Eigene Darstellung)

Ebenfalls kann der Abbildung 26 die Anzahl der täglichen Zustelltouren je Hub entnommen werden. Besonders auffällig ist hier die Schwankung zwischen den einzelnen Standorten. Ein direkter Zusammenhang zwischen Nähe zu einem Oberzentrum und Tourenanzahl lässt sich nicht feststellen. So gehen zwar von dem Hub in Wuppertal mit einer Zahl von 176 die meisten Fahrten im Untersuchungsraum aus, der dahinter folgende Standort in Rheinberg mit 167 Fahrten liegt dagegen nicht in direkter Nähe zu einem größerem Zentrum. Das gemessen an den Einwohnern größte Zentrum Düsseldorf hat aber in der näheren Umgebung nicht nur einen Hub sondern vier, welche zusammen 413 (140 + 72 + 99 + 102) Fahrten täglich absolvieren. So kann man durchaus feststellen, dass Ballungsräume pro Fläche mehr Zustellfahrten generieren als eher ländlich gelegene Gebiete.

Die ländlichen Räume sind andererseits dafür verantwortlich, dass die gefahrenen Tourenkilometer je Standort deutlich höher im Vergleich zu urbanen Gebieten sind (siehe Abbildung 27).

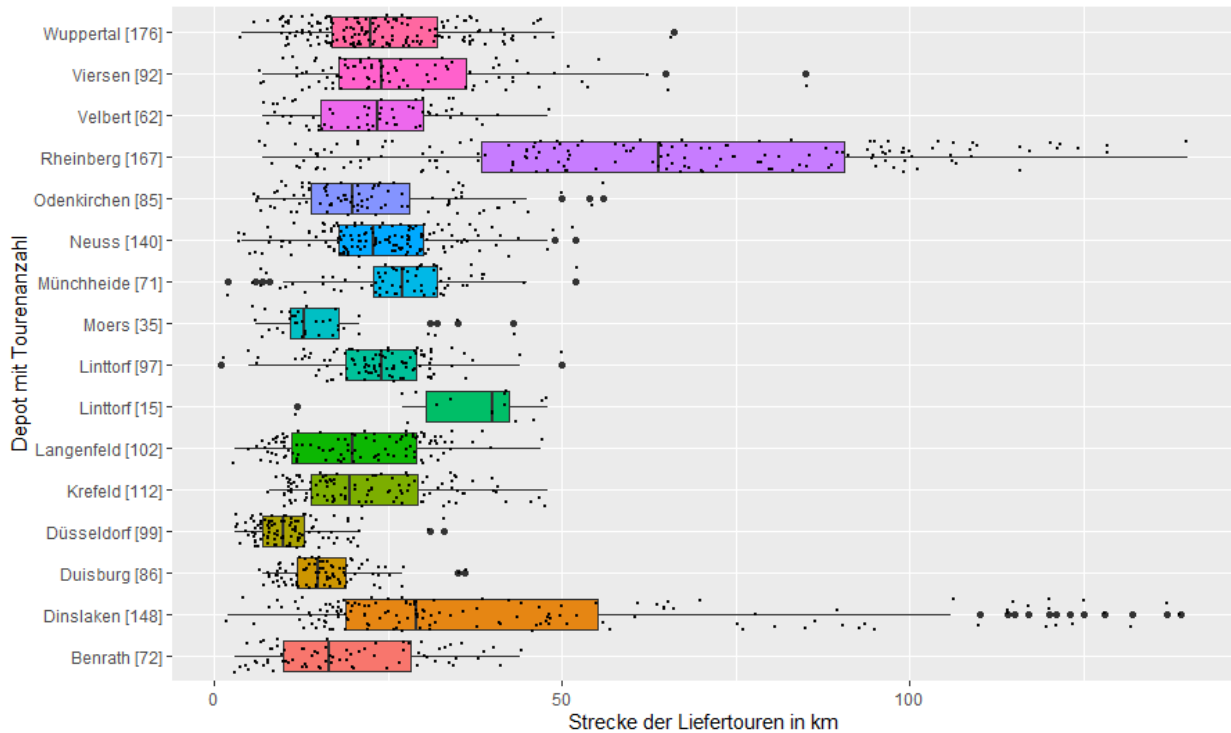


Abbildung 27: Verteilung der Tourenkilometer je Depot von DHL im Bestandsmodell
(Quelle: Eigene Darstellung)

Über den Namen (siehe y-Achsenbeschriftung der Abbildung) lässt sich jeder Boxplot eindeutig einem Depot aus Abbildung 26 zuordnen. Die Ausreißer mit je 148 und 167 Touren zeigen, dass die Hubs von DHL in Dinslaken und Rheinberg für die flächenmäßige Belieferung der Kunden in der Region Niederrhein zuständig sind. Hier kann es vorkommen, dass eine einzelne Tour auf bis zu 140 km kommt. Der überwiegende Teil der Touren der verbleibenden Hubs ist deutlich homogener verteilt. Touren mit einer Gesamtlänge von mehr als 50 km sind eher die Ausnahme. Der Median liegt meist bei 25 km. Die sehr ähnliche Verteilung hinsichtlich der Tourenkilometer (mit Ausnahme der beiden beschriebenen Ausreißer) spricht für eine sehr effiziente und annähernd optimale Standortwahl der Hubs in der Metropolregion Rheinland, welche zum Düsseldorfer Regierungsbezirk gehört.

Einen deutlichen Unterschied gibt es zwischen der Verteilung der Tourenkilometer und der Verteilung der Tourendauer. Mit Ausnahme zweier Ausreißer ist die Dauer der Touren über alle 16 Hubs sehr ähnlich verteilt (siehe Abbildung 28).

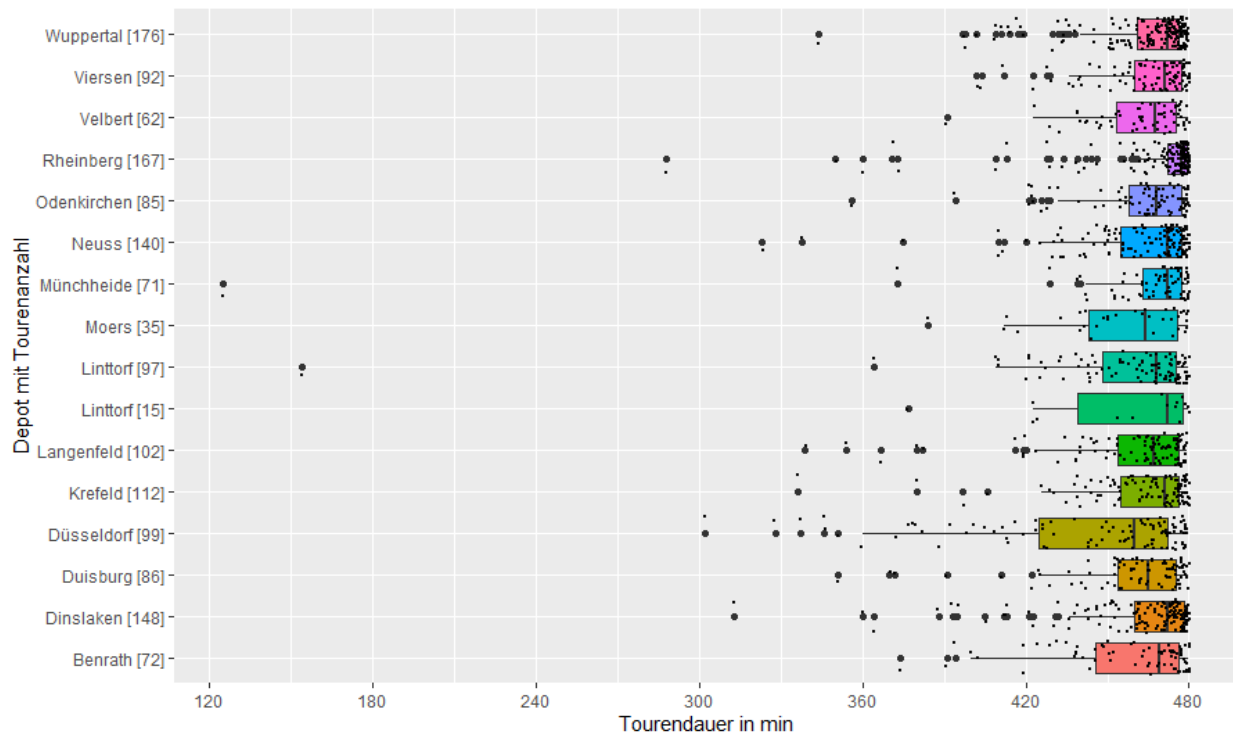


Abbildung 28: Verteilung der Tourendauer je Depot von DHL im Bestandsmodell
(Quelle: Eigene Darstellung)

In den meisten Fällen sind die Fahrzeuge auf einer Tour zwischen sieben und acht Stunden unterwegs und reizen somit fast immer die im Modell mögliche maximale Zustelldauer von acht Stunden aus. Wirkliche Unterschiede zwischen Hubs in Innenstadtnähe und eher peripheren Regionen lassen sich nicht feststellen.

Der nur geringe lineare Zusammenhang zwischen der Tourenlänge und der Tourendauer bei den Zustellfahrten von DHL wird durch Abbildung 29 illustriert. Es kann zwar festgestellt werden, dass die kilometermäßig längsten Touren fast immer die volle Zustellzeit von acht Stunden ausreizen, aber auch deutlich kürzere Touren können ebenfalls das vorgegebene Zeitlimit erreichen. Abbildung 29 zeigt, dass die beiden Extrema aus Abbildung 28, welche nur etwas mehr als zwei Stunden für eine Tour benötigen, kilometermäßig sehr kurze Touren sind. Hier werden viele Pakete im direkten Umfeld des Hubs an Kunden zugestellt.

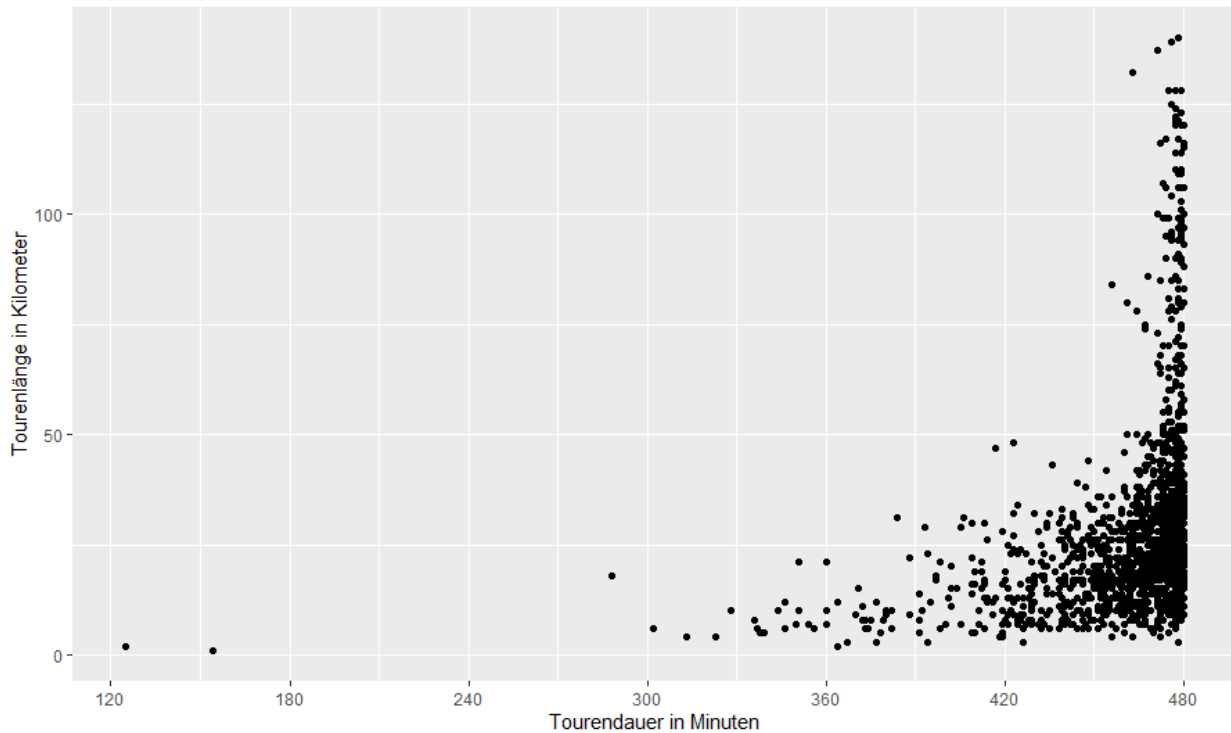
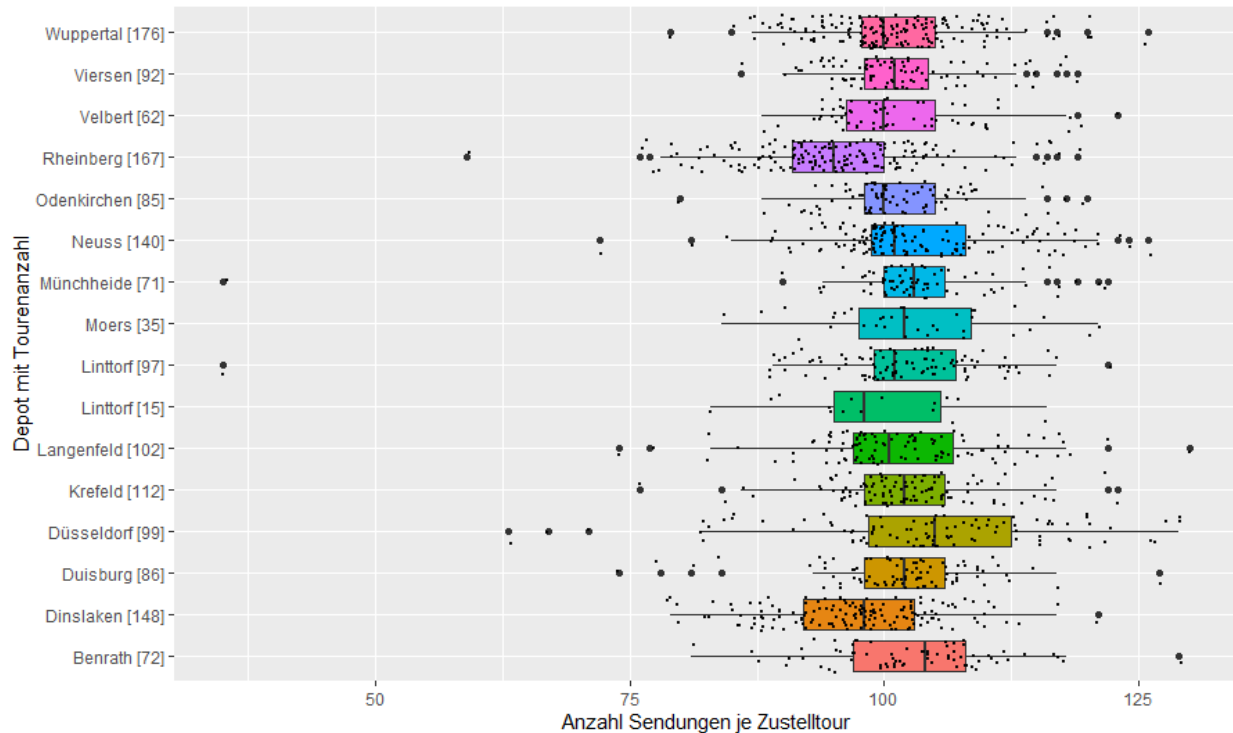


Abbildung 29: Korrelation zwischen Tourendauer und -länge im Bestandsmodell der Zustellfahrten von DHL (n = 1559)

(Quelle: Eigene Darstellung)

Eine deutlich gleichmäßigere Verteilung über alle genutzten Hubs zeigt sich auch bei der Analyse der zuzustellenden Sendungen je Tour, wie in Abbildung 30 zu sehen ist. Bei jedem Standort liegt der Median der zuzustellenden Pakete je Tour bei ungefähr 100 Stück. Die Spannweite zwischen dem 25 %- und 75 %-Quantil ist ebenfalls über alle Standorte hinweg sehr ähnlich. Die Zustellfahrzeuge sind im Mittel unabhängig vom Standort ähnlich ausgelastet, wobei die Auslastungsgrenze von 180 Paketen bei keiner Tour erreicht wird. Das Maximum an zuzustellenden Paketen liegt bei 130 Stück.



**Abbildung 30: Verteilung der Sendungsanzahl je Depot von DHL im Bestandsmodell
(Quelle: Eigene Darstellung)**

Die alleinige Ausreizung des zeitlichen Limits für die Zustell Touren, nicht aber deren mengenmäßige Auslastung, spricht dafür, dass im aufgestellten Modell die Zeitrestriktionen sehr restriktiv gewählt wurden. Sowohl die Zustellzeiträume als auch die Servicezeiten bei den Kunden hätten zur Simulation der tatsächlichen Pakettouren auch großzügiger gewählt werden können. Um nun aber die Vergleichbarkeit zwischen dem Bestandsmodell und einem optimierten Modell weiterhin zu gewährleisten, werden die gewählten Restriktionen beibehalten.

8.3 Modellierung der Touren des Lebensmitteleinzelhandels mit optimierten Regionallagerstandorten

Für die Untersuchung, ob Fahrleistungseinsparungen durch eine verbesserte Standortwahl der Regionallager im Netz möglich sind, werden die in (Leerkamp, et al., 2021) ermittelten potentiellen Standorte für Logistikfunktionen zusätzlich zu den bereits existierenden Standorten berücksichtigt. Im Rahmen der Güterverkehrsstudie für die Metropolregion Rheinland konnten 813 potentielle Flächen ermittelt werden. Jede davon ist nach den beschriebenen Kriterien in Kapitel 3 bewertet worden.

Die betrachteten Lager zur Versorgung der Filialen des Lebensmitteleinzelhandels können dem Standorttyp Regionalversorgung zugeordnet werden, weshalb die Ergebnisse einer Potentialfläche für diesen Standorttyp entscheidend dabei sind, ob jene Fläche als möglicher neuer Standort für ein Regionallager berücksichtigt werden kann.

Um in Betrachtung gezogen zu werden, musste die Potentialfläche in der Bewertung als Standort der Regionalversorgung mindestens den Wert „B“ (siehe Kapitel 3) erreichen. Des Weiteren durfte kein explizites Ausschlusskriterium in der Güterverkehrsstudie für die zu betrachtende

Fläche vorliegen. Als letztes Filterkriterium musste in Anlehnung an das Experteninterview mit Unternehmen A (siehe Kapitel 5.2) die Größe der Fläche mindestens 120.000 m² betragen. Zumindest bei Unternehmen A wurden kleinere Flächen gar nicht als potentieller Logistikstandort berücksichtigt.

Unter allen 813 ermittelten Potentialflächen treffen auf 26 die genannten Kriterien zu. Deren Lage kann Abbildung 31 entnommen werden.

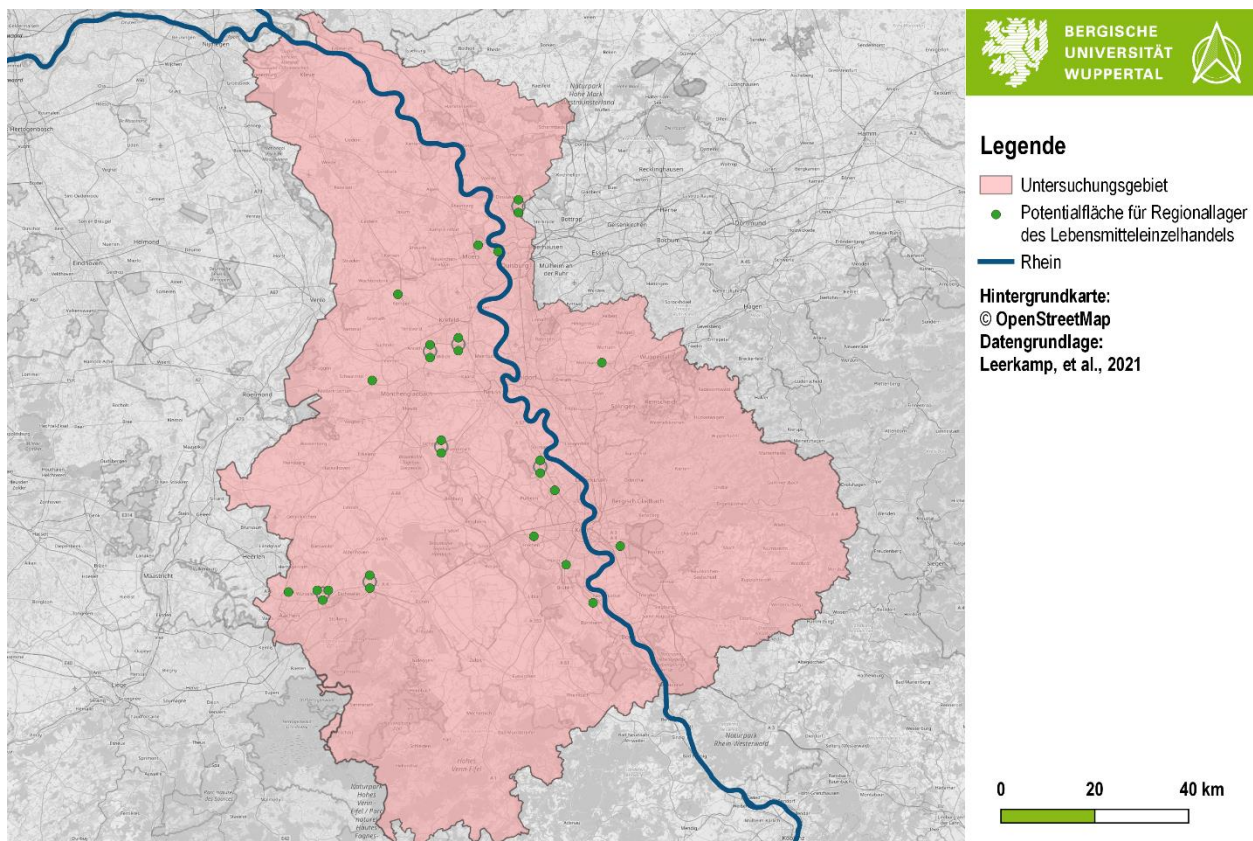


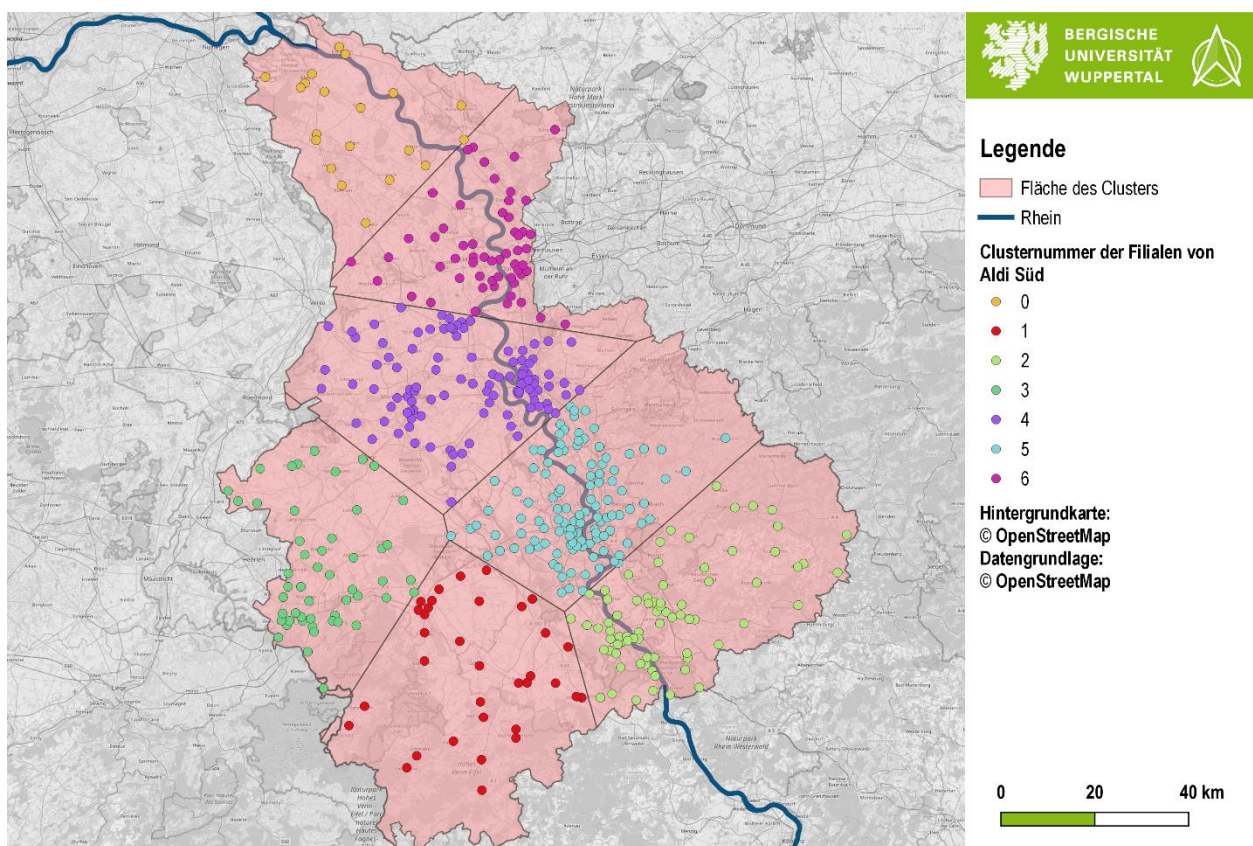
Abbildung 31: Standorte der in Frage kommenden Potentialflächen für Regionallager des Lebensmitteleinzelhandels
(Quelle: Eigene Darstellung)

Standorte der Kategorie „C“ wurden nicht betrachtet, da diese nur als Notlösung anzusehen sind und diverse Mängel aufweisen, die die effiziente Nutzung dieses Ortes als Regionallager erschweren. Auf die ausschließliche Beschränkung auf Flächen mit dem Wert „A“ wurde verzichtet, weil in diesem Falle nur ein einzelner Standort im gesamten Untersuchungsgebiet verblieben wäre, der auch die anderen beiden Kriterien erfüllt.

Im folgenden Modell sollen nun zusätzlich zu den bereits existierenden Regionallagern für jedes Unternehmen auch noch die gefilterten Potentialflächen in das Routingmodell mit einbezogen werden, um so die gesamt gefahrenen Kilometer zu reduzieren. Es wird angenommen, dass die Fixkosten für jedes Unternehmen durch den Betrieb der Regionallager annähernd gleich bleiben müssen. Dies drückt sich im zu betrachtenden Szenario darüber aus, dass nur so viele Regionallager (sowohl Bestands- als auch Potentialflächen) genutzt werden dürfen, wie dies auch schon im Bestand der Fall ist (siehe Kapitel 8.1).

Mit dem Programm VROOM ist es nicht möglich unter der Maßgabe, dass nur ein Teil der Logistikflächen als Ausgangspunkt der Belieferungstouren genutzt werden darf, eine kostenminimierte Routenplanung aus mehreren Dutzend Regionallagern durchzuführen. Stattdessen wird jeder Logistikstandort in Betracht gezogen, der im Datensatz enthalten ist.

Um dieses Problem zu umgehen, wurde eine Heuristik entwickelt, bei der die gleiche Anzahl von Regionallagern genutzt wurde, wie sie beim Bestandsrouting vorgegeben wurde. Die Auswahl der Regionallager soll jedoch eine optimierte Lösung ermöglichen. Zu diesem Zweck wurde eine Clusteranalyse für die Unternehmen des Lebensmitteleinzelhandels durchgeführt, welche laut Bestandsmodellierung mehr als ein Logistikzentrum nutzen. Die Clusterzahl entspricht der Anzahl der genutzten Regionallager laut Bestandsmodellierung (siehe Kapitel 8.1). Die Ergebnisse der Clusteranalyse für das Unternehmen Aldi Süd können der Abbildung 32 entnommen werden.



**Abbildung 32: Clusteranalyse der Filialen von Aldi Süd
(Quelle: Eigene Darstellung)**

Da Aldi Süd laut Bestandsmodell sieben Regionallager zur Belieferung der Filialen im Untersuchungsgebiet nutzt, wurden die einzelnen Geschäfte in ebenfalls sieben Cluster aufgeteilt. Für jedes Cluster wurden dann Voronoi-Zellen berechnet, welche alle Punkte des zugehörigen Clusters beinhalten.

Dann wurden die bestehenden Regionallager für jedes Unternehmen mit den gefilterten Potentialflächen in einem Punktlayer zusammen gefasst. Sofern sich mehrere Punkte dieses Layers innerhalb einer Clusterfläche befinden, wurde der Logistikstandort gewählt, für welchen sich in Summe die kürzesten Luftliniendistanzen zwischen sich und den Filialen innerhalb seines

Clusters ergeben. Dieser Ansatz beruht auf der Annahme, dass der Standort mit der Summe der kürzesten Entfernungen zu den Filialen im Vergleich zu den anderen möglichen Flächen innerhalb des Clusters die zentralste Lage hat. Deshalb generiert er die kleinste Gesamtstrecke, um alle Filialen innerhalb des Clusters zu versorgen. Aufgrund der Struktur des Straßennetzes können hier jedoch Abweichungen von der tatsächlichen Optimallösung zustande kommen. Des Weiteren ist es in der Umlegung durch VROOM möglich, dass ein gewähltes Regionallager auch Filialen außerhalb seines Clusters versorgt.

Der zweite mögliche Fall ist, dass es nur einen möglichen Regionallagerstandort innerhalb eines Clusters gibt. In diesem Fall wird automatisch dieser Standort in die Liste der Regionallager aufgenommen, welche in diesem Szenario für die Belieferung der Filialen zuständig sind.

Der letztmögliche Fall ist, dass es innerhalb eines Clusters keinen Regionallagerstandort gibt. In diesem Falle wurde die Summe der Luftliniendistanzen von jedem bestehenden und potentiellen Logistikstandort in und um das Untersuchungsgebiet ermittelt und derjenige Standort gewählt, welcher die geringste Entfernung aufweist. Dieser Fall trat aber nur beim Unternehmen Aldi Süd auf. Das gewählte Regionallager befindet sich in einem benachbarten Cluster, in dem es laut Heuristik nicht das optimale Lager ist. Deshalb verbleiben für dieses Modell immer noch sieben Logistikzentren von Aldi Süd.

Für die acht zu betrachtenden Unternehmen teilen sich die neu gewählten Logistikstandorte wie folgt zwischen Bestands- und Potentialflächen auf:

- Aldi Nord: 1 Potentialstandort
- Aldi Süd: 5 Potentialstandorte 2 Bestandsstandorte
- Edeka: 5 Potentialstandorte
- Netto: 3 Potentialstandorte
- Rewe: 3 Potentialstandorte
- Penny: 2 Potentialstandorte
- Lidl: 4 Potentialstandorte 2 Bestandsstandorte
- Kaufland: 1 Potentialstandort

Bei der Wahl der Potentialstandorte kann es vorkommen, dass mehrere Unternehmen auf die gleiche Fläche zugreifen. Auf eine ausschließliche Zuweisung zu einem einzelnen Unternehmen wird hier verzichtet.

Für die Umlegung des Modells in VROOM wurden die gleichen Bedingungen verwendet, wie sie auch schon in Kapitel 8.1 beschrieben wurden. Nur die Geom-Werte in der Vehicles-Tabelle haben sich ggf. durch die neuen Regionallager verändert.

Die zentralen Ergebnisse des Routings für jedes untersuchte Unternehmen im Lebensmitteleinzelhandel sind in der Tabelle 11 zusammengefasst.

Tabelle 11: Zentrale Ergebnisse aus dem Routing mit angepassten Regionallagerstandorten für die Belieferungstouren des Lebensmitteleinzelhandels

Unternehmen	Genutzte Depots	Σ Belieferungstouren	Anzahl Filialen	Σ Kilometer aller Belieferungstouren	Kilometerersparnis zum Bestand [%]	\varnothing km/Filiale
Aldi Nord	1	42	56	2.349	11,79	42
Aldi Süd	7	352	458	18.331	1,03	40
Edeka + Marktkauf	5	231	303	13.878	17,79	46
Kaufland	1	46	60	5.613	46,91	94
Lidl	6	243	314	13.160	21,89	42
Netto	3	345	456	24.067	14,57	53
Penny	2	138	182	12.425	6,93	68
Rewe + Akzenta + Nahkauf	3	341	453	22.892	32,45	51

(Quelle: Eigene Darstellung)

Alle für das Routing zur Verfügung gestellten Standorte für Regionallager wurden zur Belieferung der Filialen genutzt. Dementsprechend bleibt die Anzahl der Regionallager die gleiche, wie sie schon im Bestandsrouting ermittelt wurde. Die Summe der Belieferungstouren hingegen weicht bei einigen Unternehmen leicht von der im Bestandsmodell ab. So werden bei Aldi Süd zwei zusätzliche Touren und bei Lidl sogar fünf zusätzliche Touren im Vergleich zum Bestandsmodell gefahren. Beim Unternehmen Netto kann hingegen laut Routingmodell sogar eine Tour eingespart werden. Bei den verbleibenden Unternehmen bleibt die Anzahl der Liefertouren hingegen gleich.

Für alle acht Unternehmen ergeben sich aufgrund der angepassten Regionallagerstandorte Einsparungen bei den Fahrkilometern. Dabei reicht der Einsparungseffekt von knappen einem Prozent wie bei Aldi Süd bis zu fast fünfzig Prozent im Fall Kaufland. Sowohl Kaufland als auch Rewe hatten im Bestandsnetz Regionallager weit außerhalb des Untersuchungsgebietes. Der Ersatz dieser weit abgelegenen Lager durch neue Standorte innerhalb der Metropolregion Rheinland wirkt sich besonders positiv auf die im Modell täglich zurückgelegten Kilometer aus. Aus den Einsparungen bei den Kilometern folgt auch eine niedrigere durchschnittliche Kilometerdistanz für jede Filiale. So bleibt Kaufland pro Filiale unter 100 km. Ebenso liegen auch die anderen Filialen deutlich näher am Wert 50 km. Mit Ausnahme des Sonderfalls Aldi Nord – aufgrund seiner nur beschränkten Ausbreitung von Filialen im Untersuchungsgebiet – zeigt sich auch bei den durchschnittlich gefahrenen Kilometern pro Filiale, dass im Schnitt die gefahrenen Kilometer pro Markt mit mehr Depots sinken.

Im direkten Vergleich mit dem Bestandsmodell zeigt sich, dass die maximal gleichzeitig eingesetzten Fahrzeuge je Regionallager und Unternehmen weniger streuen (siehe Abbildung 33). Wo es im Bestandsmodell Standorte gab, an denen bei den Tages- oder Nachttouren kaum mehr als eine Handvoll Fahrten durchgeführt wurden, sind es im Modell mit den angepassten Regionallagerstandorten mindestens 17 Fahrten, die an einem Standort als Maximum der täglichen Tages- oder Nachttouren gleichzeitig abgewickelt werden. Andererseits ist die Obergrenze mit 101 Touren an einem Standort zu einer Tageszeit deutlich geringer als das Ergebnis aus der Bestandsmodellierung. Dort gab es bei Rewe einen Standort, an dem mehr als 150 Touren während einer Schicht abgewickelt wurden.

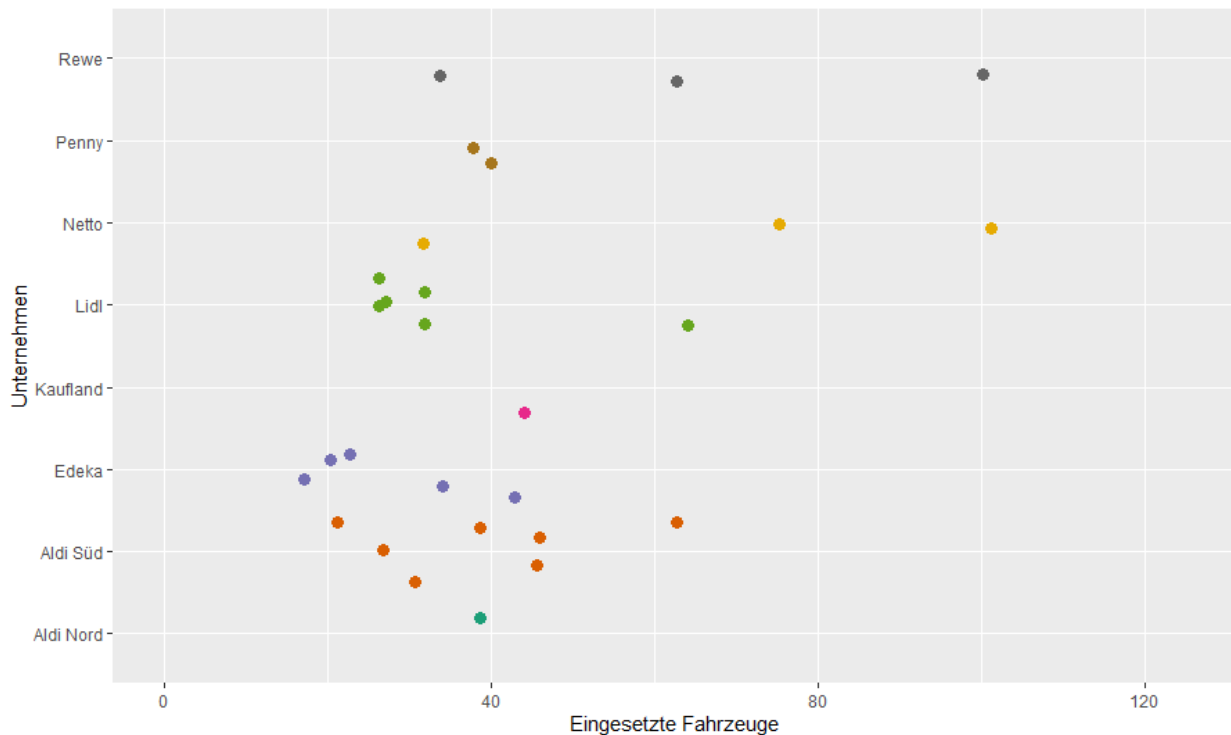


Abbildung 33: Spannweite der maximal gleichzeitig eingesetzten Fahrzeuge je Regionallager im Modell mit angepassten Depotstandorten des Lebensmitteleinzelhandels

(Quelle: Eigene Darstellung)

Mehr Touren an einem Standort führen auch gleichzeitig zu mehr vorzuhaltenden Fahrzeugen und zu größeren Depots, die für die Zwischenlagerung der Waren benötigt werden. Durch eine gleichmäßigere Ausnutzung der Regionallager lassen sich somit auch Kosten im Bereich des Standortes und der Fahrzeuge sparen.

Auch bei der Analyse der generierten Tourenkilometer je Unternehmen im Modell mit angepassten Depotstandorten lassen sich wesentliche Unterschiede zu den Ergebnissen des Bestandsmodells feststellen, wie Abbildung 34 verdeutlicht. Vor allem die deutlich reduzierten Tourenlängen beim Unternehmen Kaufland sind auffällig. Im Bestandsmodell gab es einige Fahrten, welche eine Länge von mehr als 300 km hatten. Im neuen Modell sind die zwei Maximalwerte mit etwa 250 km deutlich kleiner.

Bei genauerem Vergleich mit Abbildung 21 ist ersichtlich, dass sich der Median für jedes Unternehmen nach unten verschoben hat. Gleichzeitig gibt es aber bei fast jedem betrachteten Unternehmen auch mehr Ausreißer, welche in Abbildung 34 durch die dickeren schwarzen Punkte gekennzeichnet sind. Hier liegen die Werte über der Summe des Wertes des dritten Quantils mit dem 1,5-fachen Interquartilsabstand. Die zentraler gelegenen Standorte der Regionallager führen zwar dazu, dass die insgesamt gefahrenen Kilometer der täglichen Touren reduziert werden können, aber die an den Rändern der Metropolregion Rheinland gelegen Filialen relativ gesehen zu den restlichen Filialen nun weiter entfernt zu den Depots liegen. Absolut gesehen führt die Ermittlung der potentiellen neuen Depots nur beim Unternehmen Aldi Nord dazu, dass sich die Maxima der Tourenlängen im Vergleich zum Bestandsmodell erhöhen.

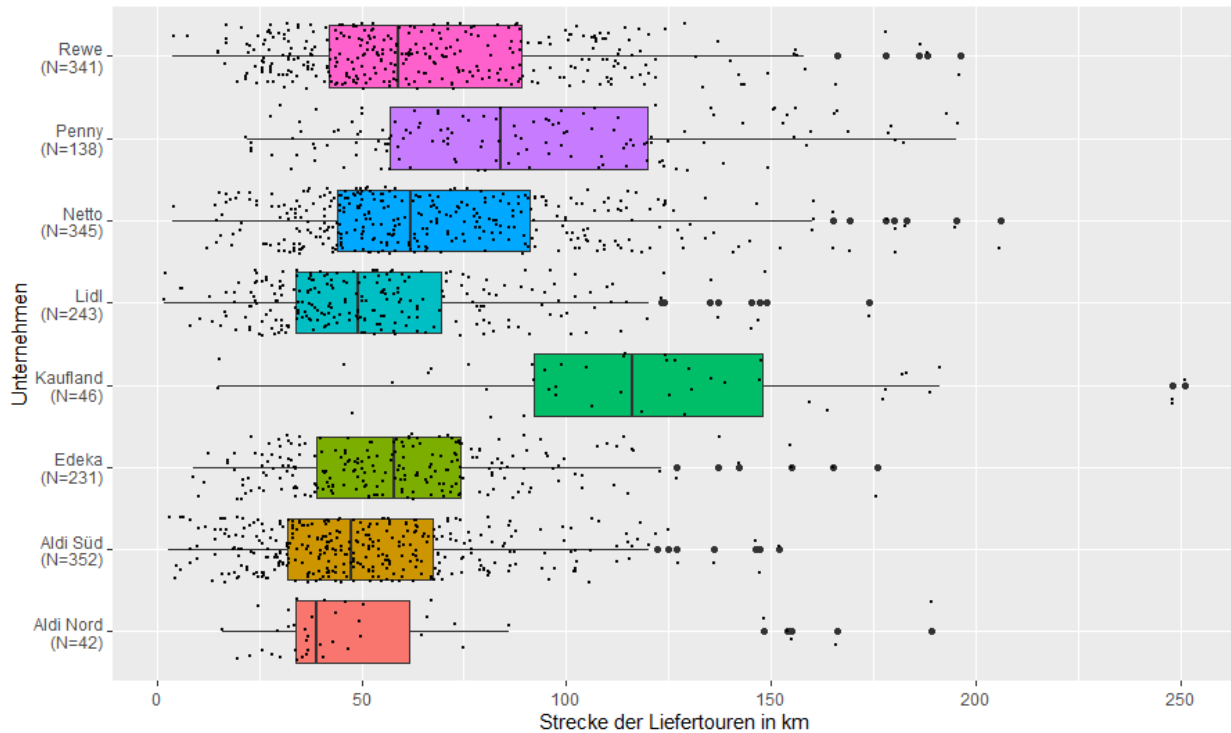


Abbildung 34: Verteilung der generierten Tourenkilometer je Unternehmen im Modell mit angepassten Depotstandorten des Lebensmitteleinzelhandels

(Quelle: Eigene Darstellung)

Der direkte Vergleich zwischen den Tourenlängen und den -dauern fördert wie schon in Kapitel 8.1 dargelegt sehr ähnliche Ergebnisse hinsichtlich der Punktverteilung zutage (siehe Abbildung 35). Im Allgemeinen liegen alle Unternehmen im Vergleich zur Bestandsmodellierung hinsichtlich der zeitlichen Länge der Touren deutlich enger beieinander. Auch konnte die maximale Tourendauer von 6,5 Stunden auf etwas mehr als vier Stunden reduziert werden. Da bei jedem Unternehmen der Median unter 2,5 Stunden liegt, ist es jedem Konzern möglich, einen Großteil der eigenen Fahrzeuge innerhalb einer Lieferschicht (entweder tagsüber oder nachts) mindestens zwei Touren fahren zu lassen. Des Weiteren ist es durch die verringerte Tourendauer jedem Unternehmen möglich, die Fahrer die maximale tägliche Lenkzeit von 4,5 Stunden vor einer gesetzlich vorgeschriebenen Lenkzeitunterbrechung von 45 Minuten während jeder Tour einhalten zu lassen. So kann im Normalfall ohne übermäßigen Verkehrsstau oder andere unvorhersehbare Ereignisse die Lenkzeitunterbrechung am Regionallager abgewickelt werden, wenn die Fahrer zum Beispiel nach ihrer ersten Tagestour wieder zurückkommen.

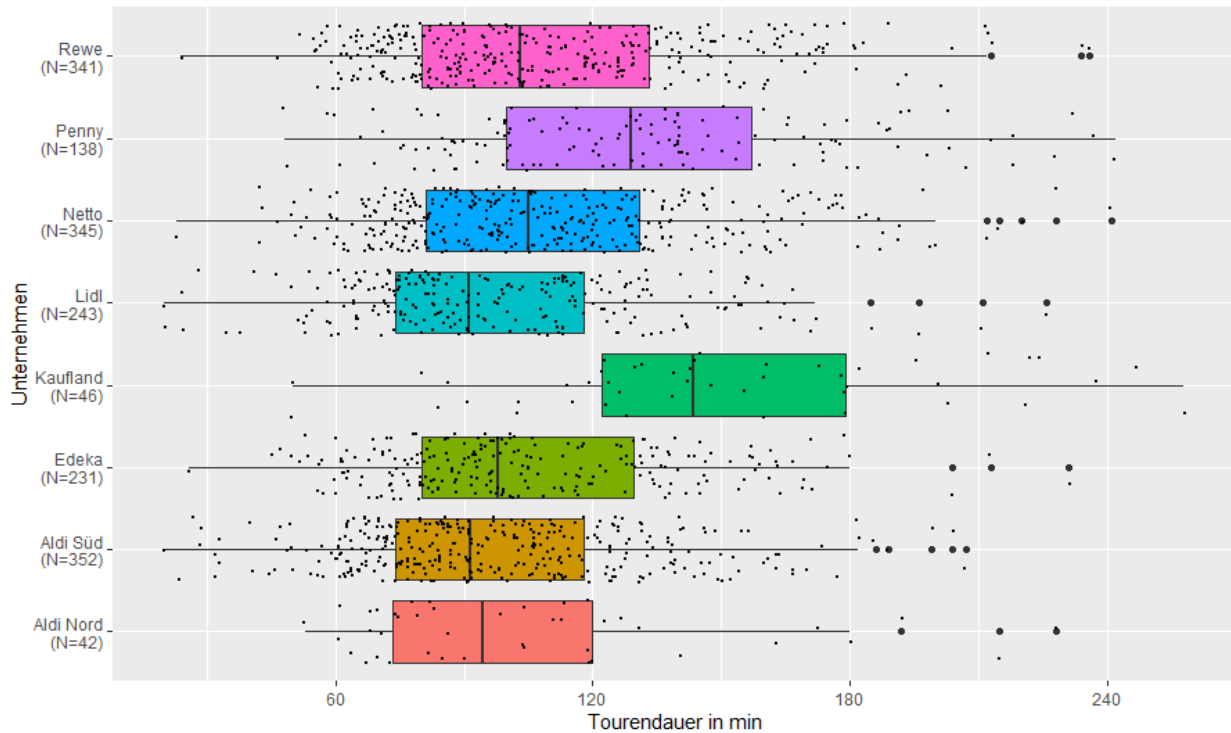


Abbildung 35: Verteilung der Tourendauer je Unternehmen im Modell mit angepassten Depotstandorten des Lebensmitteleinzelhandels

(Quelle: Eigene Darstellung)

In der Modellierung war es potentiell möglich, dass verschiedene Unternehmen zur Belieferung ihrer Filialen auf den gleichen Logistikstandort zurückgreifen, sofern es ein Potentialstandort war. Wie bereits in diesem Kapitel beschrieben, wurde nur in vier Fällen auf bestehende Logistikstandorte zurückgegriffen. In den restlichen 24 Fällen wurden Regionallager aus der Menge der potentiellen Standorte gewählt. Von den insgesamt 26 Stück wurden 12 Flächen laut Heuristik als optimaler Standort für die entsprechenden Unternehmen ermittelt. Dabei wurde in sieben Fällen eine Potentialfläche von mindestens zwei Unternehmen gewählt (siehe Abbildung 36). Da aber eine Fläche in der Praxis nur von einem Unternehmen genutzt werden kann, müssten die verbleibenden Wettbewerber sich Alternativflächen suchen. Im Aachener Raum ist eine entsprechende Anzahl an bisher ungenutzten Potentialflächen in direkter Nähe. Gleiches gilt für den Nutzungskonflikt im Bereich zwischen Köln und Neuss. Eine möglichst optimale Lösung für die Gebieten Köln, Mettmann, Krefeld und Duisburg zu finden gestaltet sich nicht so leicht. Hier können nicht alle untersuchten Unternehmen mit Regionallagern in möglichst optimaler Lage versorgt werden. Auf eine erneute Berechnung einer bestmöglichen konfliktfreien Lösung für alle betrachteten Wettbewerber wird an dieser Stelle verzichtet.

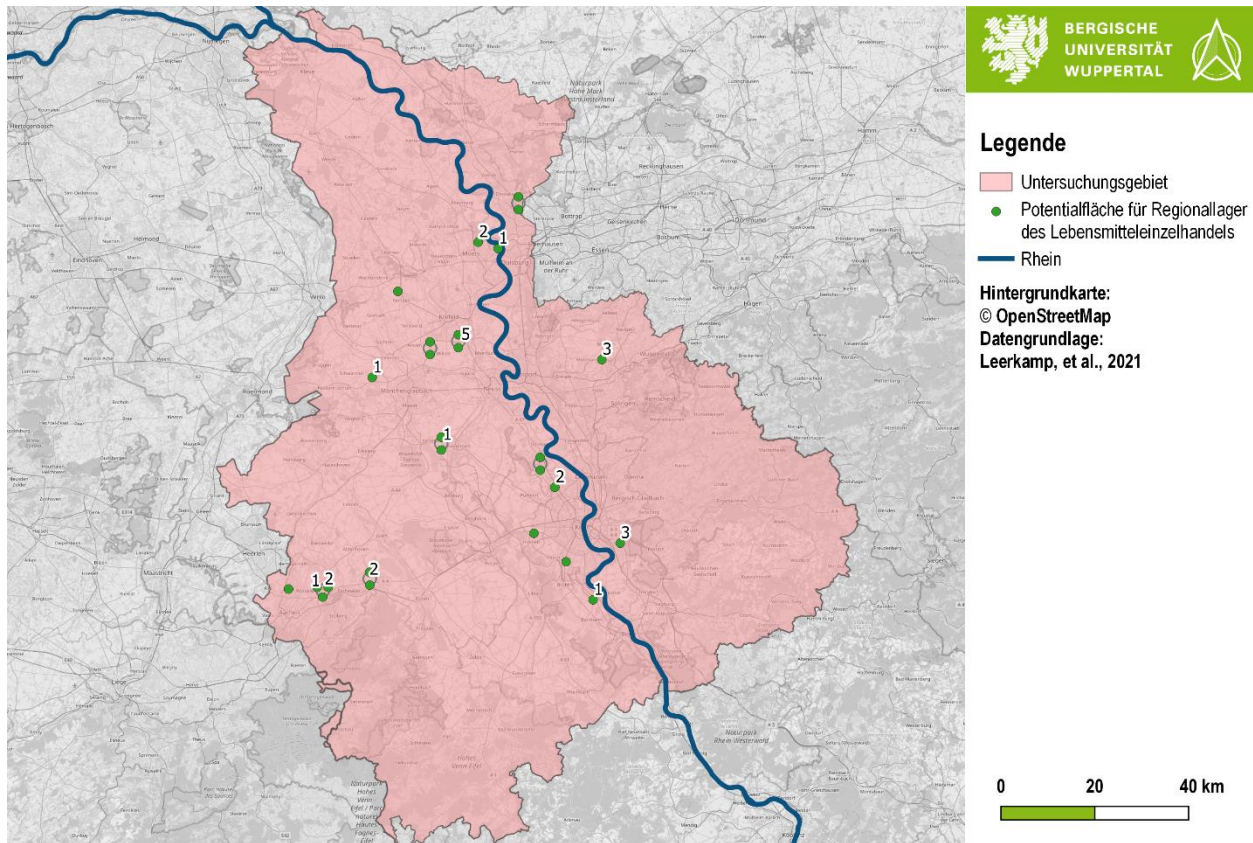
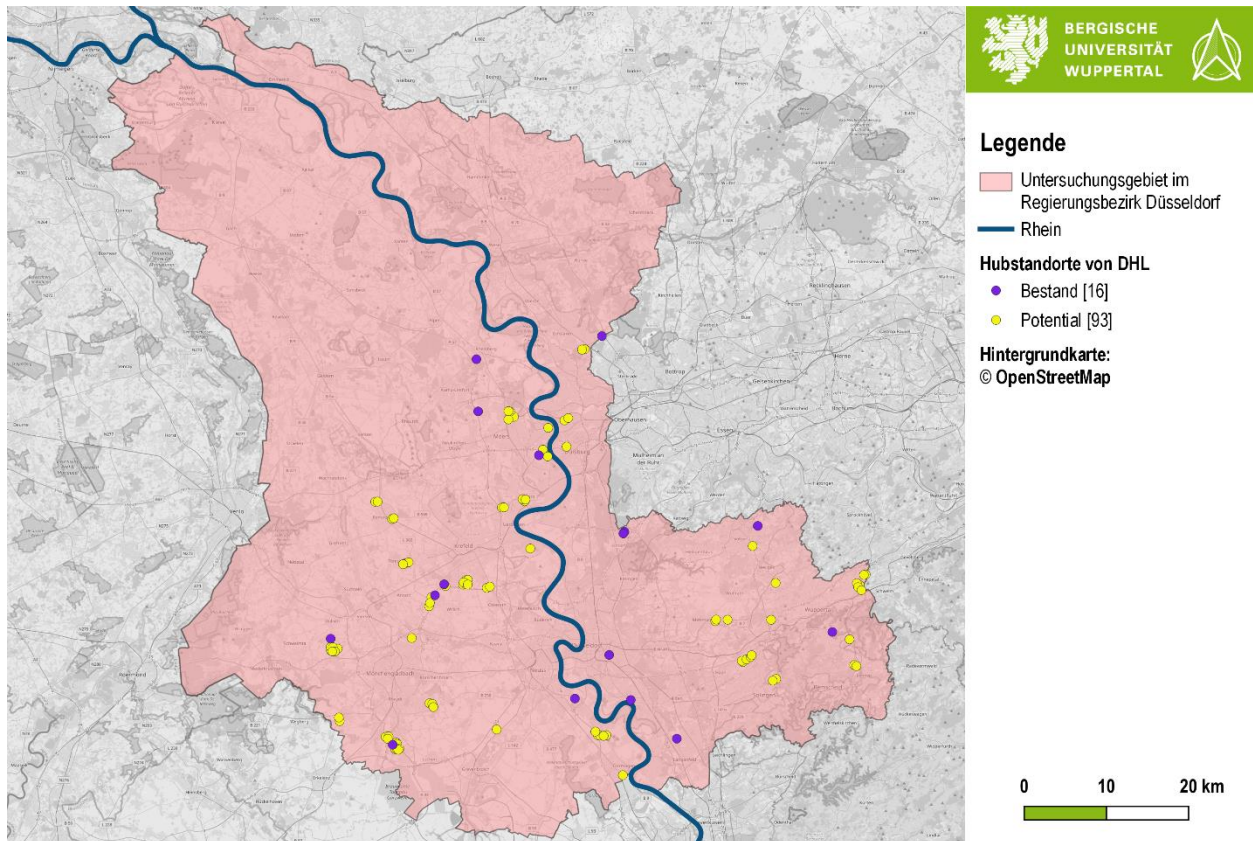


Abbildung 36: Standorte der in Frage kommenden Potentialflächen für Regionallager des Lebensmitteleinzelhandels mit Angabe der Standortnachfragen laut Modellierung mit angepassten Depots (Quelle: Eigene Darstellung)

8.4 Modellierung der Touren der KEP-Dienstleister mit angepassten Hubstandorten

Für den KEP-Dienstleister DHL wurde ebenfalls untersucht, inwiefern durch die Nutzung von optimierten Hubstandorten Fahrleistungseinsparungen im Vergleich zum Bestandsmodell möglich sind. Hierzu wurden zusätzlich zu den bestehenden Hubs im Raum Düsseldorf die Potentialstandorte aus der Güterverkehrsstudie von (Leerkamp, et al., 2021) herangezogen. Da es sich bei den Hubs von DHL um Logistikzentren mit Netzwerkfunktion und nicht wie beim Lebensmitteleinzelhandel um Standorte der Regionalversorgung handelt, wurde die Bewertung aus den Ergebnissen der Güterverkehrsstudie für diesen Standorttyp bei der Filterung möglicher neuer Depots verwendet. Ähnlich wie bei der Auswahl der potentiellen Logistikstandorte des Lebensmitteleinzelhandels (siehe Kapitel 8.3) musste eine Potentialfläche mindestens die Bewertung „B“ (siehe Kapitel 3) zur Eignung als Netzwerkstandort erhalten haben. Des Weiteren durfte kein Ausschlusskriterium für die Nutzbarmachung als Logistikzentrum vorliegen. Die letzte Bedingung war, dass die Fläche eine Mindestgröße von 19.000 m² aufweisen musste. Dieser Wert ergab sich aus der durchschnittlichen Flächengröße eines Logistikzentrums mit Netzwerkfunktion, wie es in der Arbeit von (Veres-Homm, et al., 2019) ermittelt wurde (siehe Tabelle 1 in Kapitel 2).

Somit ergaben sich zusätzlich zu den 16 bestehenden Hubs im Untersuchungsgebiet 93 bisher ungenutzte Flächen, die als Kandidaten für neue Verteilzentren in Frage kommen. Die bisher genutzten und die potentiellen Standorte können der Abbildung 37 entnommen werden.



**Abbildung 37: Bestehende und potentielle Hubstandorte von DHL im reduzierten Untersuchungsgebiet
(Quelle: Eigene Darstellung)**

Analog zu der Methodik in Kapitel 8.3 werden nun sowohl die bestehenden Standorte als auch die potentiellen Logistikstandorte in die Heuristik einbezogen. Mit dieser wird, unter der Voraussetzung, dass die Fixkosten für den Betrieb der Verteilzentren für DHL annähernd gleich bleiben müssen, eine Optimierung der Routenlängen zwischen Hubs und Kunden von DHL geschaffen. Das wird unter der Annahme erreicht, dass im Routingmodell mit optimierten Standorten die gleiche Anzahl an Hubs zur Zustellung genutzt wird, wie dies auch schon im Bestandsmodell der Fall war (16 Standorte).

Deshalb wird für die Heuristik (Beschreibung in Kapitel 8.3) eine Clusteranalyse der 500m-Gitterzellen, welche die zu beliefernden DHL-Kunden repräsentieren, mit 16 Gruppen erstellt. Das Ergebnis dieser Analyse ist in Abbildung 38 dargestellt.

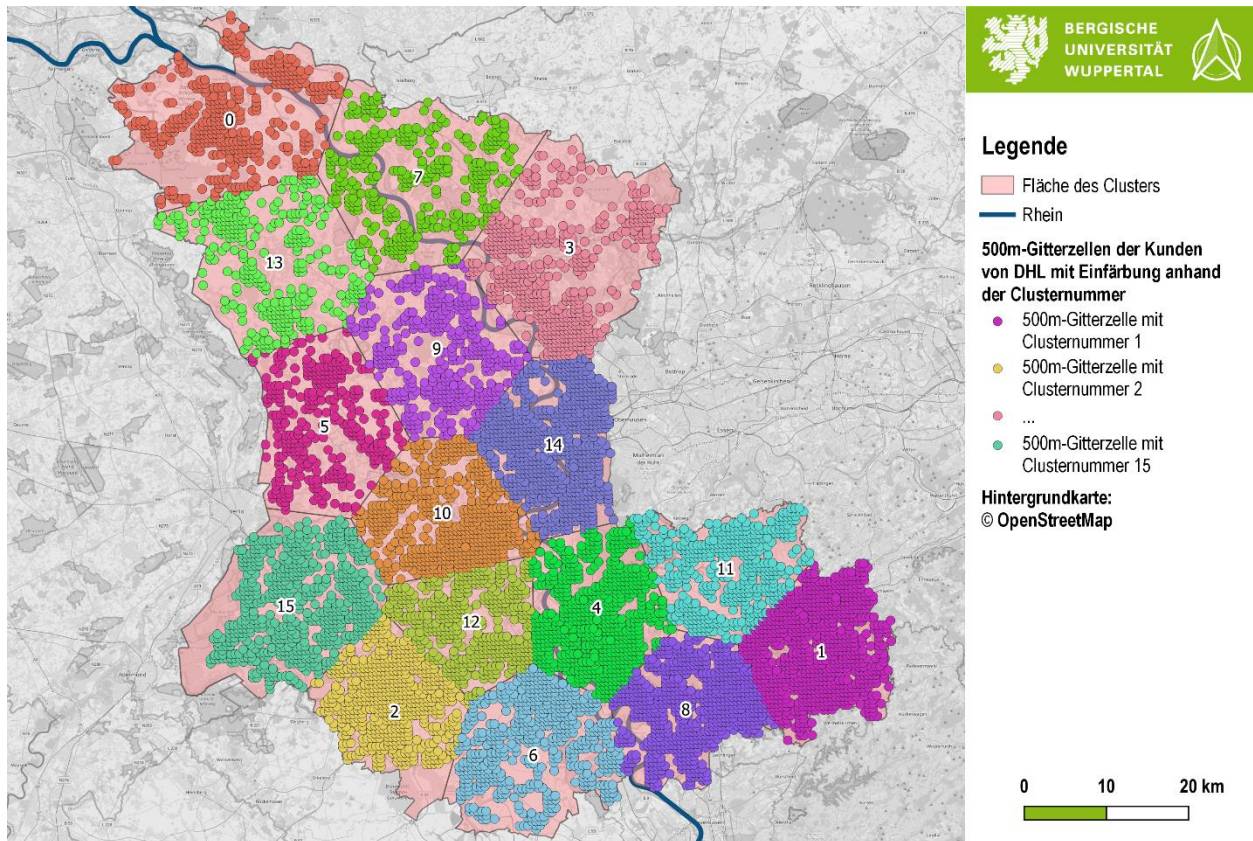
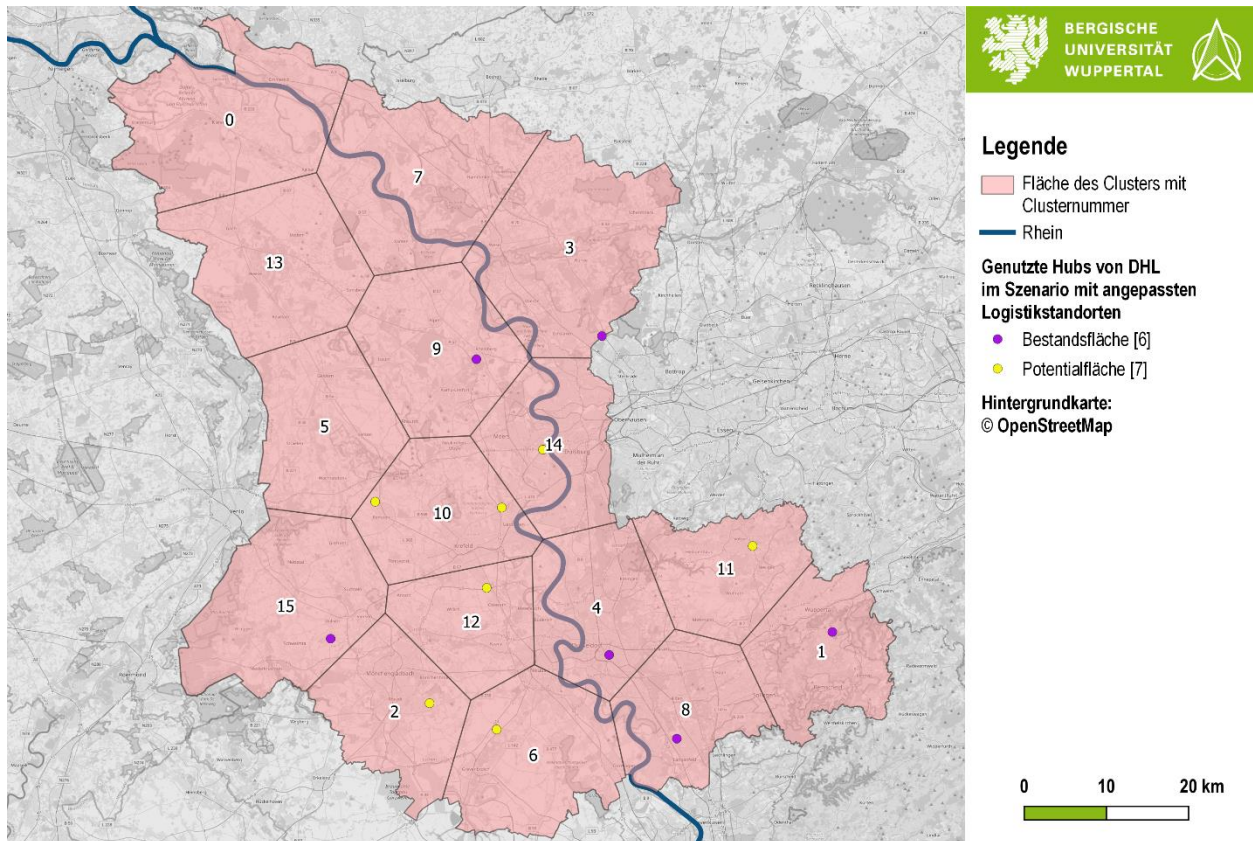


Abbildung 38: Clusteranalyse der Kunden von DHL mit Angabe der Clusternummer
(Quelle: Eigene Darstellung)

Innerhalb von 12 Clusterflächen gab es mindestens einen bereits bestehenden Logistikstandort oder eine Potentialfläche. Der beste Standort zur Belieferung der Kunden ergab sich laut Heuristik über die kleinste Summe der Luftliniendistanzen von einem innerhalb des Clusters befindlichen Logistikzentrum zu allen Kunden desselben Clusters. In den Gebieten mit den Nummern 0, 5, 7 und 13 gab es jedoch keine Logistikfläche. Deshalb wurde hier für jedes Cluster der Standort innerhalb des gesamten Untersuchungsgebiets gewählt, der zu allen Kunden der Gruppe die geringste Luftliniendistanz aufweist. Für die Gebiete 0, 7 und 13 war dies die Fläche, welche auch den besten Standort für das Gebiet 9 darstellt. Für das Gebiet 5 ergab sich eine Fläche innerhalb des Gebietes Nummer 10. Folglich befinden sich nun für das Routing zwei Hubs in Gebiet Nummer 10. Aufgrund der durch die Heuristik bedingten Mehrfachnutzung des Verteilzentrums in Cluster Nummer 9 ergeben sich für das Routing mit optimierten Hubstandorten nur noch 13 Standorte, von denen aus eine Belieferung zu den Kunden von DHL im Untersuchungsgebiet erfolgt. Im Bestandsrouting waren dies 16 Standorte. Die Lage der neuen Flächen der Verteilzentren innerhalb der Clusterflächen des Untersuchungsgebietes können Abbildung 39 entnommen werden.



**Abbildung 39: Genutzte Hubs von DHL im Routingszenario mit angepassten Standorten inklusive Clusterflächen mit Nummern
(Quelle: Eigene Darstellung)**

Von den 13 Standorten sind sechs bereits existierende Hubs. Die anderen sieben ergeben sich aus der Liste der bisher ungenutzten Potentialflächen.

Das Routing der Inputdaten über VROOM ergab bei der Zustellung von den DHL-Hubs zu den Kunden im Untersuchungsgebiet eine tägliche Gesamtstrecke von 45.537 km. Im Bestandsrouting wurden nur 44.223 km zur täglichen Belieferung zurückgelegt, was somit keine Fahrleistungsreduktion, sondern eine -steigerung von knapp drei Prozent darstellt. Die Anzahl der Zustelltouren ist mit 1559 Fahrten dagegen konstant geblieben.

Als Hauptgrund für die Steigerung der Fahrleistungskilometer wird die reduzierte Hubanzahl von 13 im Vergleich zu 16 Standorten im Bestandsmodell aufgeführt. Die verringerte Anzahl hat sich aufgrund der Methode zur Bestimmung der neuen Depots ergeben. Mit einer anderen Methode könnte es möglich sein, die Standortzahl von 16 beizubehalten und dabei ggf. noch Fahrleistungseinsparungen im Vergleich zum Bestandsmodell zu erzielen.

Die geringe Steigerung der Fahrleistungen bei einer gleichzeitigen Verringerung der Hubstandorte spricht für eine bereits effiziente Versorgung des Untersuchungsgebietes im Bestandsmodell. Das Optimierungspotential ist nur noch gering.

Die Belieferungsstrecken von den neu gewählten Hubs für DHL im Untersuchungsgebiet mit der Angabe der Anzahl der täglichen Liefertouren je Standort sind in Abbildung 40 dargestellt.

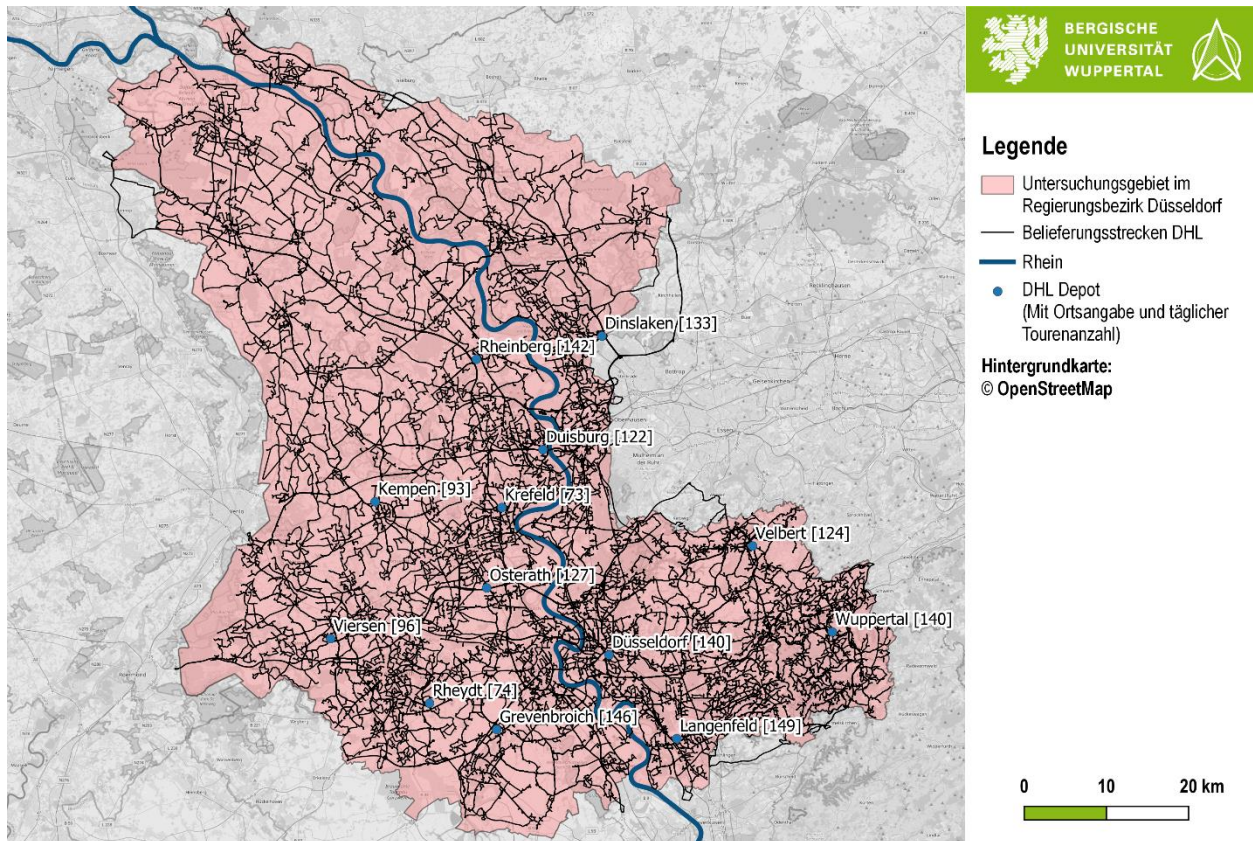


Abbildung 40: Belieferungsstreckennetz des Unternehmens DHL im Routingszenario mit angepassten Depotstandorten und Angabe der täglichen Liefertouren je Hubstandort

(Quelle: Eigene Darstellung)

Im Vergleich zum Bestandsmodell fällt auf, dass die Spannweite zwischen der minimalen und maximalen Tourenanzahl der Depots deutlich geringer ausfällt (15 und 176 im Bestandsmodell ggü. 73 und 149 im Modell mit angepassten Hubstandorten). Des Weiteren liegt das Maxima nicht mehr in Wuppertal, sondern in Langenfeld. Durch die Reduktion von vier auf drei Depots im Einzugsbereich der Stadt Düsseldorf – welche die einwohnerstärkste Stadt im reduzierten Untersuchungsgebiet ist – resultiert eine erhöhte Aktivität bei den verbliebenen Standorten Düsseldorf, Langenfeld und Grevenbroich.

Gleichzeitig nimmt die Anzahl der täglichen Zustellfahrten an den bisher sehr stark frequentierten Hubs in Rheinberg und Dinslaken etwas ab. Ein Grund hierfür ist, dass das neu zu errichtende Depot in Kempen einen wesentlichen Teil der Sendungen für den westlichen Niederrhein übernehmen kann, wodurch sich die Zustellbereiche der beiden erst genannten auf deren direktes Umfeld und den nördlichen Niederrhein reduziert.

Ein direkter Vergleich zwischen den Tourenkilometern je Depot des Bestand- und des angepassten Modells (siehe Abbildung 41) lässt sich nur schwer ziehen, da nur ungefähr die Hälfte der Standorte identisch ist und sich deren Anzahl bei beiden Modellen unterscheidet. Trotzdem lässt sich festhalten, dass sowohl die maximale Tourenlänge (140 km im Bestandsmodell, 143 km im angepassten Modell) als auch der Median der zurückgelegten Kilometer je Tour (23 km im Bestandsmodell, 24 km im angepassten Modell) leicht zunehmen.

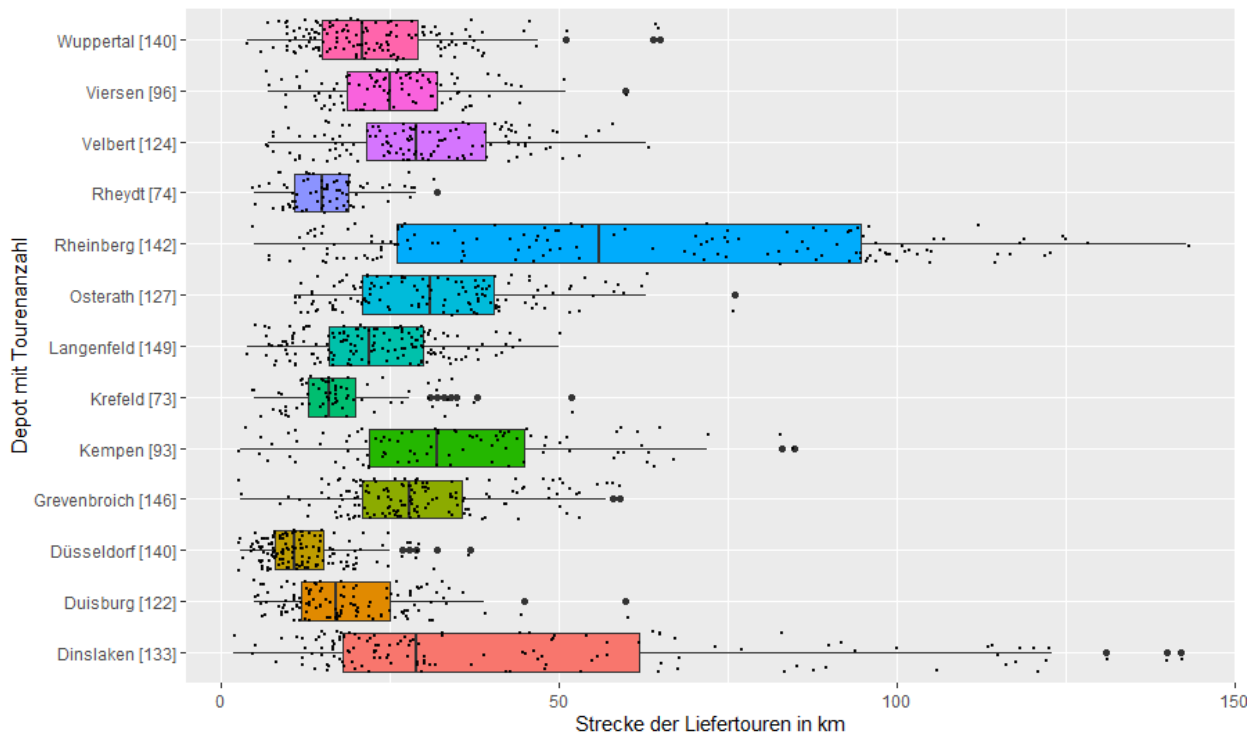


Abbildung 41: Verteilung der Tourenkilometer je Depot von DHL im Routingmodell mit angepassten Hubstandorten

(Quelle: Eigene Darstellung)

Ähnlich wie im Bestandsmodell zeigen sich die größten Spannweiten bei den gefahrenen Kilometern je Tour wieder bei den beiden Depots in Rheinberg und Dinslaken. Von den anderen Standorten kommt das neue Hub in Kempen diesen beiden örtlich am nächsten, da auch von hier eine Belieferung der ländlichen Gebiete am Niederrhein erfolgt. Strecken über 100 km Entfernung werden in Kempen aber nicht erreicht.

Trotz einer deutlich höheren Anzahl an täglichen Fahrten liegt sowohl das Maximum der gefahrenen Kilometer als auch der zugehörige Median am Hub in Düsseldorf noch unter dem der Standorte Rheydt und Krefeld, welche mit 73 bzw. 74 Fahrten am Tag den geringsten Fahrzeugeinsatz innerhalb des Untersuchungsgebietes haben.

Die Verteilung der Tourendauer ist weitgehend unabhängig von den zurückgelegten Kilometern einer Zustellfahrt (siehe Abbildung 42). Mit Ausnahme des Hubs in Düsseldorf unterliegen die Tourendauern aller Standorte einer ähnlichen Verteilung. Dabei wird wie im Bestandsmodell regelmäßig das im Modell vorgegebene Zeitlimit von acht Stunden für eine Tour erreicht.

Jeder Standort hat aber auch einige Ausreißer, bei denen eine Zustellfahrt nur bis zu sieben Stunden benötigt. Diese Ausreißer sind durch die größeren schwarzen Punkte in der Graphik hervorgehoben. Die kürzeste Tour am Depot in Düsseldorf benötigt nur 256 Minuten.

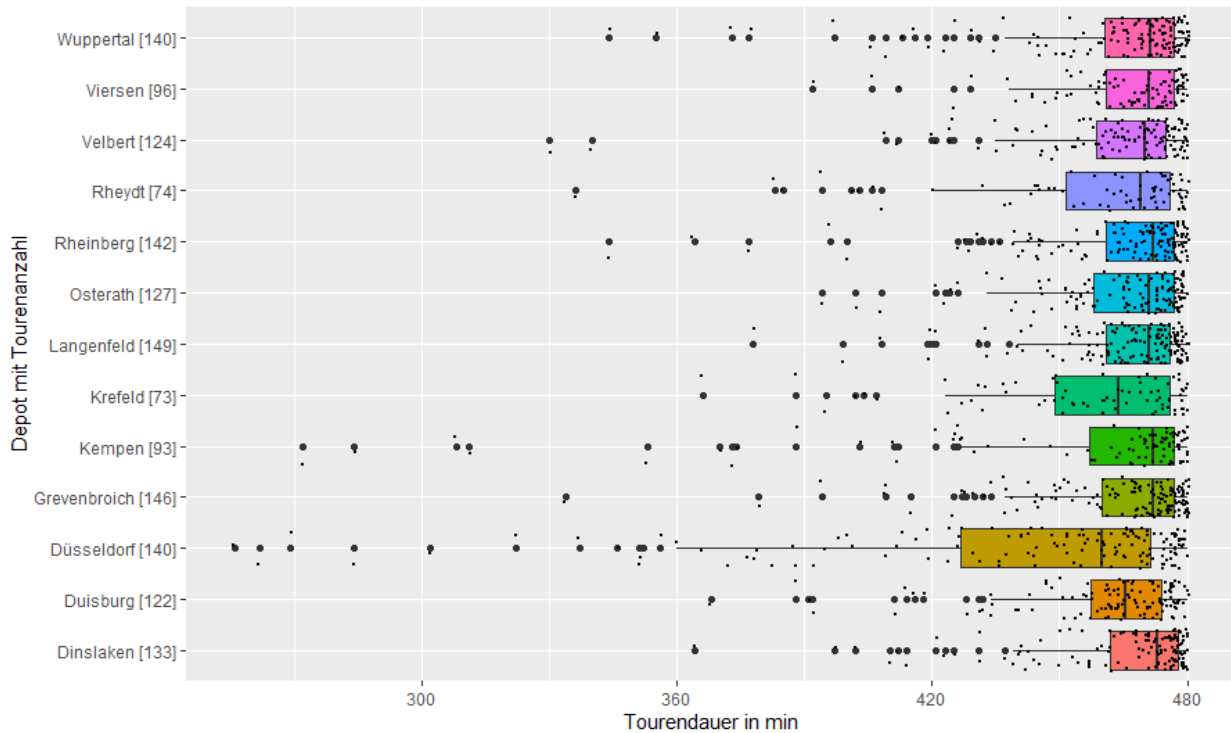


Abbildung 42: Verteilung der Tourendauer je Depot von DHL im Routingmodell mit angepassten Hubstandorten

(Quelle: Eigene Darstellung)

Die Abbildung 43 verdeutlicht, dass ein direkter linearer Zusammenhang zwischen Tourenlänge und -dauer des KEP-Dienstleisters DHL nicht festgestellt werden kann. Ähnlich wie im Bestandsmodell reizen auch hier die längsten Touren die maximale Zustellzeit von acht Stunden aus. Es gibt aber auch zahlreiche Fahrten unter 25 km, welche bis zu acht Stunden dauern. Der Grund sind solche Fahrten, bei welchen besonders viele Sendungen innerhalb eines beschränkten Gebietes an viele Kunden geliefert werden, wie dies zum Beispiel in Ballungsräumen der Fall ist.

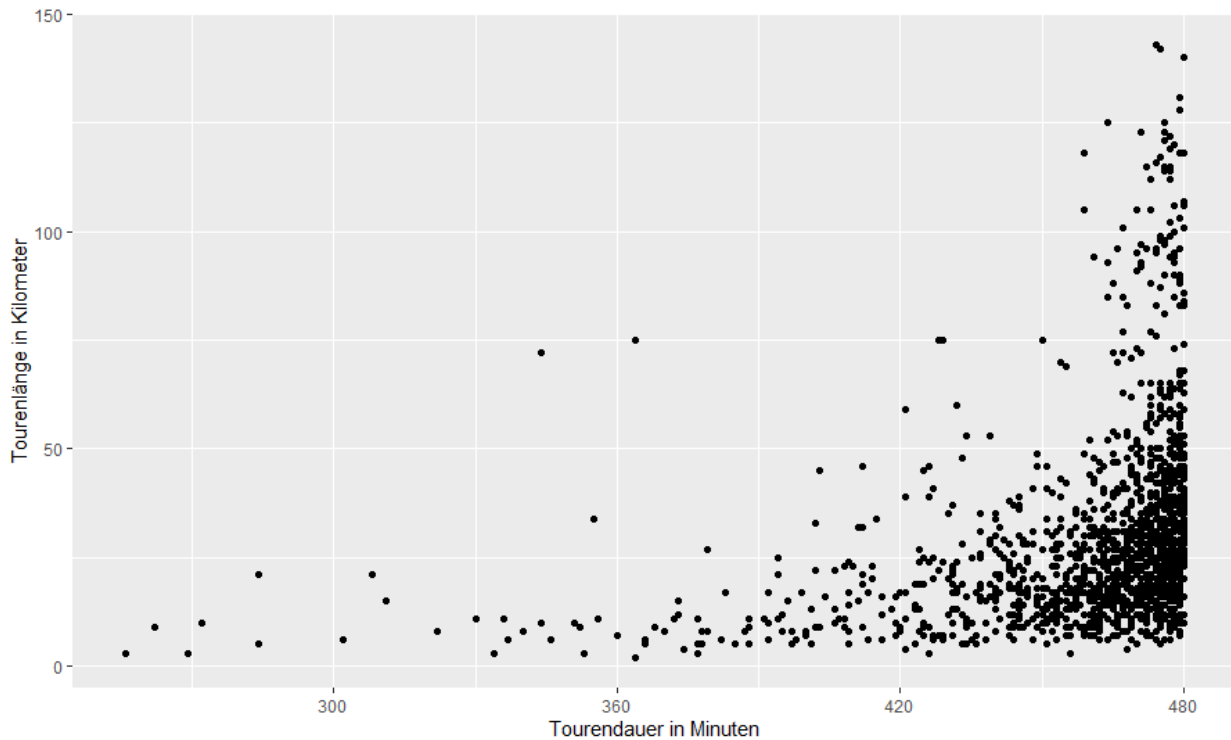


Abbildung 43: Korrelation zwischen Tourendauer und -länge im Routingmodell der Zustellfahrten von DHL mit angepassten Hubstandorten (n = 1559)

(Quelle: Eigene Darstellung)

Die Verteilung der auszuliefernden Sendungen ist ebenfalls über alle Standorte sehr ähnlich verteilt (siehe Abbildung 44). Zwar gibt es bei einigen Depots Ausreißer nach unten und oben, der Großteil aller Touren führt aber zu Beginn der Fahrt zwischen 80 und 120 Pakete mit sich. Im Vergleich zum Bestandsmodell gibt es nicht mehr so große Abweichungen nach unten. In diesem Szenario liegt das Minimum bei 59 Paketen auf einer Tour. Im Bestandsmodell gab es dagegen sogar zwei Touren, auf denen nur 35 Pakete ausgeliefert wurden.

Eine leichte Abweichung von der überwiegenden Verteilung der auszuliefernden Pakete je Tour zeigt sich nur bei den beiden Hubs in Rheinberg und Dinslaken, die im Vergleich zu den anderen Standorten - ohne Einbezug von Ausreißern - die größte Varianz aufweisen. Hier sieht man die große Bandbreite der Touren an diesen beiden Standorten; von Lieferungen im direkten Umfeld der Hubs bis zu weiten Fahrten in den weiter entfernten, dünn besiedelten Raum.

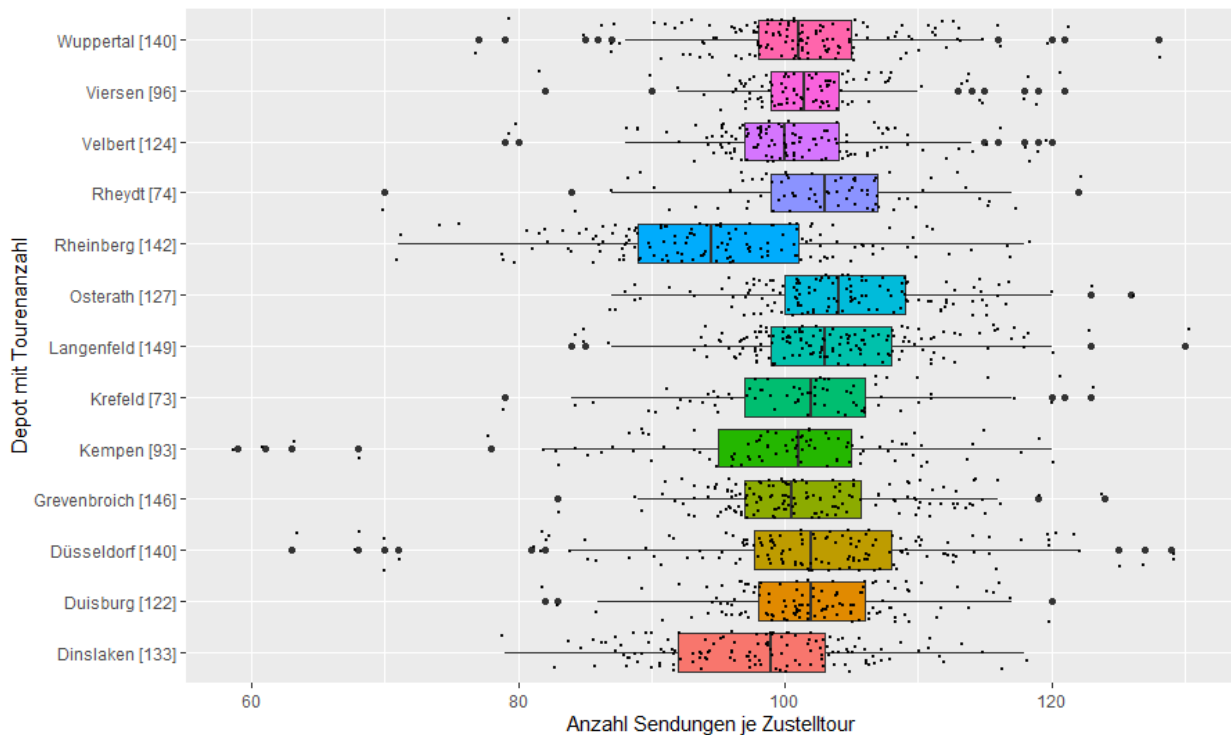


Abbildung 44: Verteilung der Sendungsanzahl je Depot von DHL im Routingmodell mit angepassten Hubstandorten

(Quelle: Eigene Darstellung)

Auch wenn im Vergleich zum Bestandsmodell mit den neuen, angepassten Hubstandorten keine Fahrleistungseinsparungen erzielt werden konnten, so könnte mit diesem Modell eine betriebswirtschaftliche Verbesserung für das Unternehmen DHL erreicht werden, da durch die Reduktion von 16 auf 13 Standorte Standortkosten eingespart werden. Dem stehen nur gering gestiegene Fahrleistungen von drei Prozent gegenüber.

Bei einer Anpassung der Heuristik zur Ermittlung der Standorte ließen sich unter der Voraussetzung, dass die Anzahl der Hubstandorte identisch bleiben müsste, die täglichen Fahrkilometer – im Vergleich zum Bestand – noch etwas reduzieren. Es hat sich gezeigt, dass vor allem die Hubs, von denen die Belieferung des nördlichen Niederrheins erfolgt, einen hohen Anteil an den täglichen Gesamtfahrleistungen haben. Mit den gewählten Filterkriterien fielen sämtliche Potentialstandorte, welche in der Güterverkehrsstudie (Leerkamp, et al., 2021) am nördlichen Niederrhein ermittelt worden waren, aus der Liste der möglichen Hubs heraus. Über eine Aufweichung der hier genutzten Kriterien könnte es möglich sein, Depots am Niederrhein in die Analyse mit einzubeziehen, die dann Fahrleistungseinsparungen im Vergleich zum Bestandsmodell lieferten.

Es lässt sich festhalten, dass aufgrund der schon bestehenden breitflächigen Standortverteilung keine größeren Einsparungspotentiale in Bezug auf die täglichen Fahrleistungen beim Unternehmen DHL im Untersuchungsgebiet mehr vorhanden sind.

8.5 Einbezug von lokal emissionsfreien Fahrzeugen in die Touren des Lebensmitteleinzelhandels

Für die Modellierung der Bestandsrouten und der Routen mit angepassten Regionallagerstandorten gab es zwar Beschränkungen hinsichtlich der Dauer einer Tour und der maximal zu beliefernden Ziele im Lebensmitteleinzelhandel. Ein Limit hinsichtlich der zu fahrenden Kilometer gab es jedoch nicht. Mit den derzeit überwiegend eingesetzten Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren stellen auch die maximal ermittelten Fahrtstrecken von über 350 km kein Problem dar. Anders sieht es aus, wenn zur Verringerung der Emissionen lokal emissionsfreie Fahrzeuge zum Einsatz kommen.

Im Lebensmitteleinzelhandel hat Edeka seit einigen Jahren einen rein elektrisch angetriebenen LKW für die Belieferung seiner Filialen erprobt. Das getestete Fahrzeug hat eine im Praxisbetrieb realistische Reichweite von etwa 200 km. Zusätzlich zu einer Minderung der lokalen Emissionen bieten solche Fahrzeuge für die Unternehmen den Vorteil, dass sie von Dieselfahrverboten in Innenstädten unabhängig sind. Dies würde die Belieferung von Filialen im Einzugsbereich solcher Zonen erleichtern. Ebenfalls vereinfachen die deutlich geringeren Lärmemissionen dieser Fahrzeuge die nächtliche Belieferung von Filialen in Wohnortnähe. Bei einer entsprechenden Ausrüstung der Filiallager wäre es somit möglich, deutlich mehr Geschäfte nachts – unabhängig von den täglichen Verkehrseinschränkungen – beliefern zu lassen (Bath, 2018).

Um das Potential der Filialbelieferung durch reine E-Fahrzeuge zu ermitteln, wurden die Ergebnisse des Routings mit optimierten Regionallagerstandorten des Lebensmitteleinzelhandels auf die Touren gefiltert, welche eine Länge von bis zu 200 km haben. Hier kann laut den Erkenntnissen aus dem Edeka-Test davon ausgegangen werden, dass diese Fahrten durch rein elektrisch betriebene Fahrzeuge abgewickelt werden könnten. Das Einsatzpotential solcher Fahrzeuge je Unternehmen im Untersuchungsgebiet kann der folgenden Tabelle 12 entnommen werden.

Tabelle 12: Potential zur Nutzung von E-Fahrzeugen bei der täglichen Belieferung der Filialen im Lebensmitteleinzelhandel je Unternehmen

Unternehmen	∑ Belieferungs- touren	Gesamt- kilometer	∑ Elektro- touren	∑ Elektro- tourenkilometer	E-Anteil an Gesamtkilometern [%]
Aldi Nord	42	2.349	42	2.349	100
Aldi Süd	352	18.331	352	18.331	100
Edeka + Marktkauf	231	13.878	231	13.878	100
Kaufland	46	5.613	43	4.865	87
Lidl	243	13.160	243	13.160	100
Netto	345	24.067	344	23.861	99
Penny	138	12.425	138	12.425	100
Rewe + Akzenta + Nahkauf	341	22.892	341	22.892	100

(Quelle: Eigene Darstellung)

Mit Ausnahme der Unternehmen Kaufland und Netto haben die Touren der anderen untersuchten Unternehmen im Routing mit den angepassten Regionallagerstandorten höchstens eine Länge von 200 km, was eine problemlose Substitution der Verbrennerfahrzeuge durch E-LKWs ermöglicht. Bei Netto gibt es dagegen eine einzelne Tour, welche eine Länge von mehr als 200 km hat. Bei Kaufland trifft dies auf drei tägliche Fahrten zu. Somit ließen sich 87 % (bei

Kaufland) bzw. 99 % (bei Netto) der gesamt gefahrenen täglichen Kilometer im Lebensmitteleinzelhandel mit lokal emissionsfreien Fahrzeugen durchführen.

Die Fahrten von Kaufland und Netto mit einer Länge von mehr als 200 km gehen ausschließlich in den dünn besiedelten Bereich des Niederrheins zu den dort liegenden Filialen (siehe Abbildung 45).

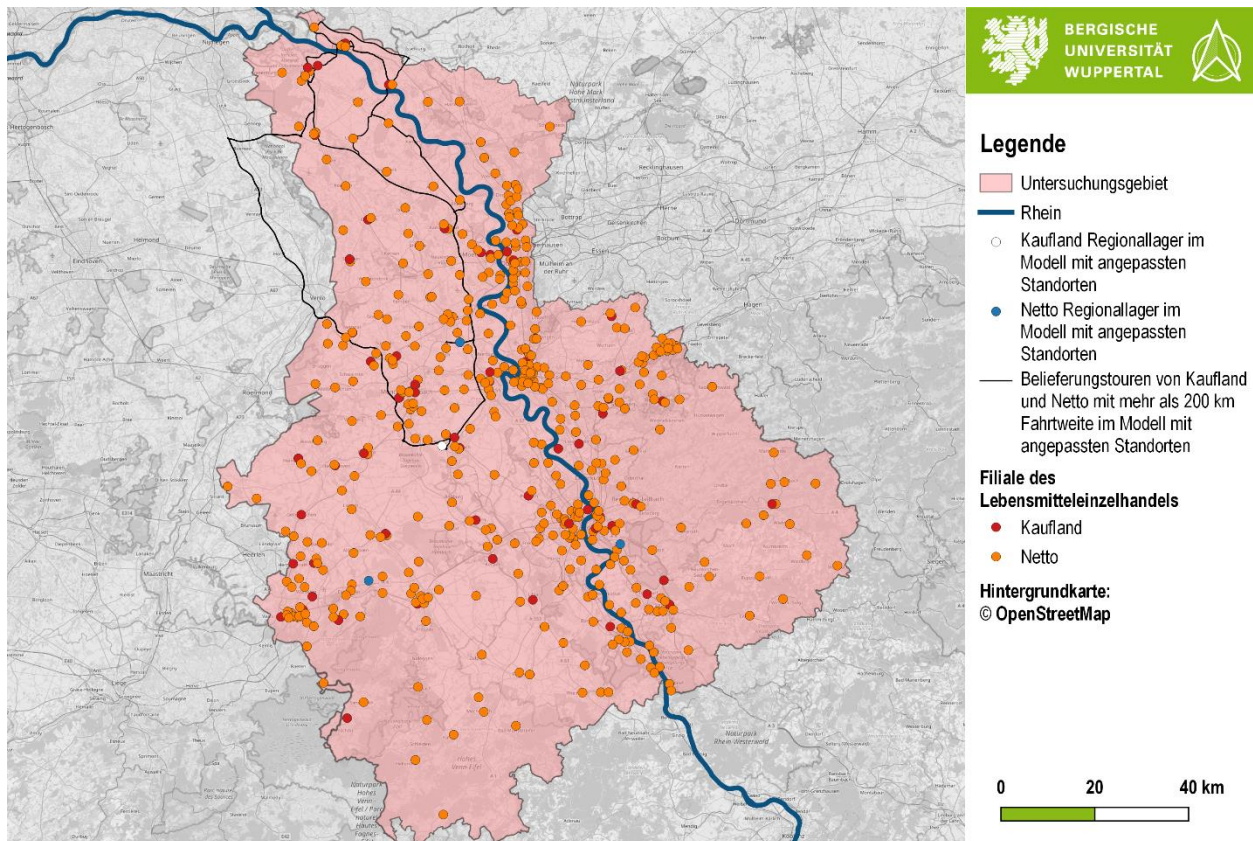


Abbildung 45: Belieferungstouren der Unternehmen Kaufland und Netto mit mehr als 200 km Fahrtweite im Modell mit angepassten Regionallagerstandorten

(Quelle: Eigene Darstellung)

8.6 Einbezug von lokal emissionsfreien Fahrzeugen in die Touren der KEP-Dienstleister

Auch für die Modellierung der KEP-Touren von DHL in beiden Szenarien wurde hinsichtlich der maximalen Fahrtweiten keine Beschränkung festgelegt. Die Touren durften einzig die Tourdauer von acht Stunden und das Ladelimit von 180 Paketen pro Tour nicht überschreiten. Die ermittelten maximalen Fahrtweiten von 140 (Bestandsmodell) und 143 km (Modell mit angepassten Hubstandorten) stellen für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren keine Einschränkung dar. Für batterieelektrisch betriebene Fahrzeuge können solche Strecken aber durchaus an die Grenze dessen stoßen, was sie mit einer vollständig aufgeladenen Batterie bewältigen können.

Mit dem Einsatz von rein elektrischen Fahrzeugen im täglichen Geschäft von KEP-Dienstleistern auf der letzten Meile hat sich eine weitere Forschungsarbeit der Frankfurt University of Applied Sciences auseinandergesetzt. Die Forscher haben die Herstellerangaben bezüglich der maximalen Reichweiten von verschiedenen Herstellern und deren Fahrzeugen, welche einen

Einsatz im Zustelldienst der KEP-Branche ermöglichen, analysiert. Hierbei schwankten die Angaben zwischen 115 und 200 km, die mit einer vollständigen Batterieladung möglich sind. Auch wurde im Rahmen der Forschungsarbeit festgestellt, dass das Ladevolumen für Pakete aufgrund des zusätzlichen Platzbedarfes der Batterie im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren etwas geringer ist (Schäfer, Altinsoy, Freyer, & Gilbert, 2021, S. 16 f).

Da aber bei keiner Tour der maximale Auslastungsgrad von 180 Paketen je Fahrzeug erreicht wurde, stellt die etwas geringere Kapazität bei den Elektrofahrzeugen für die Zustellfahrten im Untersuchungsgebiet kein Hindernis dar. Anders verhält es sich bei den Fahrtweiten. Aufgrund der häufig sehr optimistischen Reichweitenangaben der Fahrzeughersteller wird hier unter Rücksichtnahme von Sicherheitsreserven (geringere Reichweite der Batterien im Winter) als praktikabel durchführbare Reichweite der geringste Wert der Herstellerangaben von 115 km angenommen. Die Touren des Bestandsmodells und des Modells mit angepassten Hubstandorten des KEP-Dienstleisters DHL wurden dann hinsichtlich einer Streckenlänge von bis zu 115 km gefiltert. Bei allen darunter fallenden Fahrten kann davon ausgegangen werden, dass diese problemlos im Falle des Aufbaus einer entsprechenden Ladeinfrastruktur am Depot durch rein elektrisch betriebene Fahrzeuge substituiert werden könnten (siehe Tabelle 13).

Tabelle 13: Potential zur Nutzung von E-Fahrzeugen bei der täglichen Paketzustellung durch DHL

Modell	Σ Belieferungstouren	Gesamtkilometer	Σ Elektrotouren	Σ Elektrotourenkilometer	E-Anteil an Gesamtkilometern [%]
Bestandsmodell	1559	44.223	1537	41.495	94
Angepasstes Modell	1559	45.537	1539	43.051	95

(Quelle: Eigene Darstellung)

Obwohl die Gesamtfahrleistungen im Modell mit angepassten Hubstandorten höher als im Bestandsmodell sind, kann hier prozentual an den insgesamt zurück gelegten Kilometern ein höherer Anteil an Fahrleistungen durch rein elektrisch betriebene Fahrzeuge erbracht werden. Im Bestandsmodell würden für 2.728 km der täglichen Fahrten weiterhin Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren benötigt werden, wohingegen es im Modell mit den angepassten Hubstandorten nur 2.486 km sind.

Sowohl im Modell mit den angepassten Hubstandorten (siehe Abbildung 46) als auch im Bestandsmodell gehen alle Touren mit einer Länge von mehr als 115 km von den beiden bestehenden Standorten in Dinslaken und Rheinberg aus.

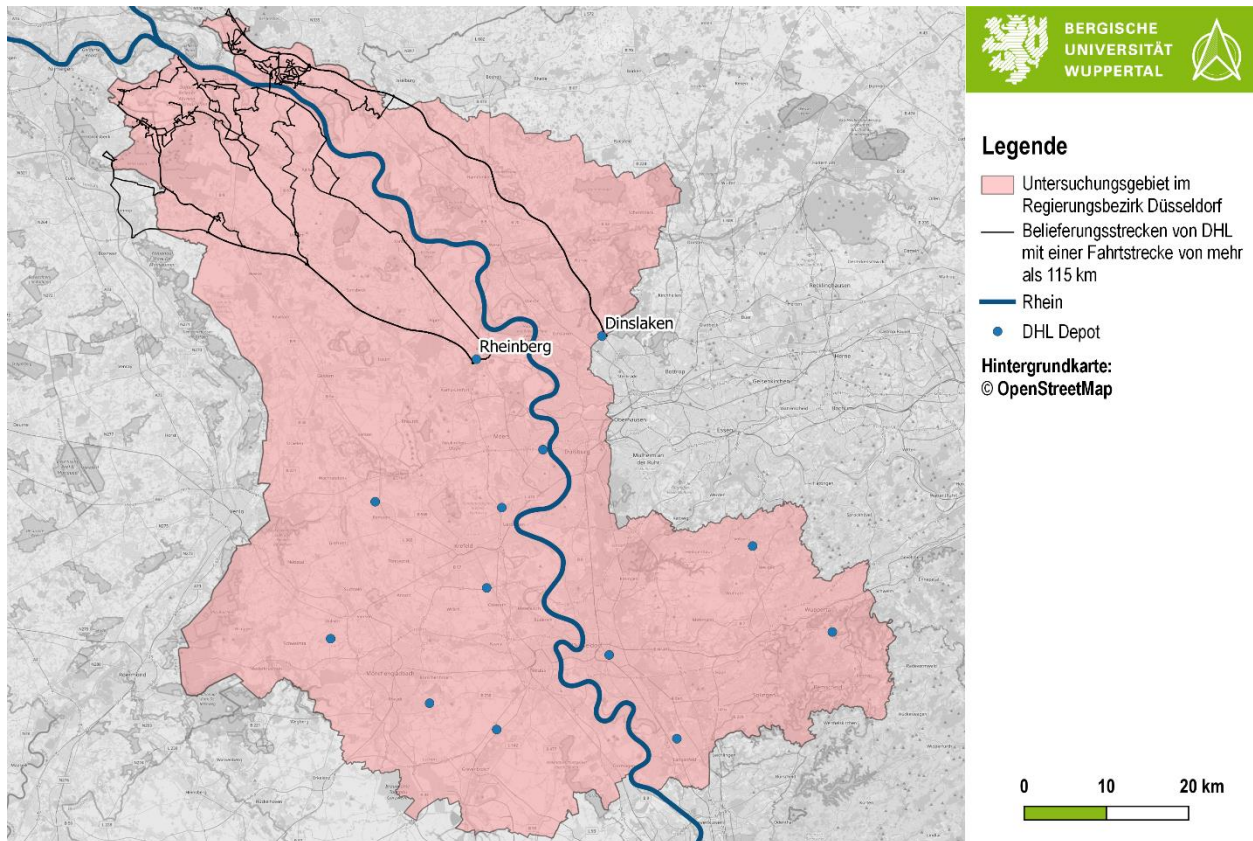


Abbildung 46: Belieferungstrecken von DHL mit mehr als 115 km Fahrtweite im Modell mit angepassten Hubstandorten

(Quelle: Eigene Darstellung)

Sollte nun der überwiegende Teil der Zustelltouren im Untersuchungsgebiet mit batterieelektrischen Fahrzeugen durchgeführt werden, müssten alle Depots mit entsprechenden Lademöglichkeiten für die dort operierende Flotte ausgerüstet werden. Für die beiden Hubs in Rheinberg und Dinslaken beträfe das nur den Teil der Flotte, welcher nicht mit konventionellen Kraftstoffen betrieben wird. Der elektrische Anteil der Fahrzeuge würde aber auch an diesen beiden Standorten die deutliche Mehrheit des Fuhrparks stellen.

9 Vergleich der Szenarien mit Emissionsermittlung

Um nun für die erstellten Szenarien einen Überblick zu bekommen, welchen Beitrag die angepassten Logistikstandorte zur Emissionsminderung leisten können, werden für jedes Modell die durch die täglichen Fahrten verursachten jährlichen CO₂-Emissionen berechnet. Jedes Modell bekommt einen spezifischen Fahrzeugtyp zugewiesen, der für alle Touren im betrachteten Szenario zum Einsatz kommt.

Für den Bereich des Lebensmitteleinzelhandels sind dies Lastzüge mit einer ungefähren Nutzlast von 24 t. Aus den Praxiserfahrungen des Autors ist bekannt, dass kaum LKWs mit einer Nutzlast von 40 t für die Belieferung der Filialen eingesetzt werden. Daher werden die etwas kleineren Nutzfahrzeuge hierfür in Betracht gezogen. Laut (Webfleet Solutions, 2020) verbraucht ein Lastzug mit 23 t Nutzlast durchschnittliche 38 l Diesel auf 100 km. Es ist nach (Spritrechner.biz, 2022) möglich, anhand des Dieselverbrauches des jeweiligen Fahrzeuges die CO₂-Emissionen zu berechnen. Hierzu wird der Verbrauch in Liter auf 100 km mit 26,5 multipliziert, wodurch man die CO₂-Emissionen in Gramm pro Kilometer erhält.

Wenn die Fahrzeuge mit Dieselmotoren nun größtenteils – wie in Kapitel 8.5 angenommen – durch elektrisch betriebene Fahrzeuge ersetzt werden sollen, werden Daten zu deren Stromverbrauch benötigt. Herr Prof. Boris Zimmermann hat für einen Vortrag zur Elektromobilität im Schwerlastverkehr diverse Forschungsarbeiten und Herstellerangaben ausgewertet. Je nach Einsatzgebiet kommt ein 26 t E-LKW auf einen Verbrauch zwischen 1,45 und 1,9 kWh je Kilometer (Zimmermann, 2019, S. 29). Da der innerstädtische Anteil der berechneten Touren nicht zu vernachlässigen und aus energetischer Sicht nicht das optimale Einsatzgebiet von schweren LKWs ist, wird im Folgenden der obere Durchschnittswert von 1,9 kWh/km für die Lieferfahrzeuge des Lebensmitteleinzelhandels angenommen. Deren verursachte Treibhausgase ergeben sich aus dem CO₂-Emissionsfaktor für den Strommix in Deutschland für das Jahr 2020, welcher bei 366 Gramm pro Kilowattstunde lag (Statista, 2022).

Die Zustellfahrzeuge der KEP-Dienstleister auf der letzten Meile von den Hubs zu den Kunden sind überwiegend Transporter mit einem zulässigem Gesamtgewicht von 3,5 t. Aufgrund der vielen verschiedenen Fahrzeugtypen und Einsatzbereiche kann der Spritverbrauch bei diesen enorm schwanken. Als grober Mittelwert dient hier die Angabe von (Webfleet Solutions, 2020) mit 11 Litern Diesel auf 100 Kilometern. Die spezifischen CO₂-Emissionen in Gramm pro Kilometer lassen sich hier wieder über die oben beschriebene Multiplikation bestimmen. Die recherchierten Verbrauchswerte der betrachteten Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren konnten von einem Spediteur bestätigt werden (Stahl, 2022).

Für den Fall der Substitution der Zustellfahrzeuge von DHL durch batterieelektrisch angetriebene Fahrzeuge wird hier stellvertretend der Verbrauchswert der Elektrovariante des Sprinters von Mercedes-Benz angenommen. In einem Praxistest konnte dieser mit 33,2 Kilowattstunden pro 100 Kilometer beziffert werden (Reichel, 2021).

Anhand dieser Werte konnten die jährlichen CO₂-Emissionen der Belieferungsfahrten für den Lebensmitteleinzelhandel und den KEP-Dienstleister DHL im jeweiligen Untersuchungsgebiet unter der Annahme einer 6-Tage-Woche mit jährlich 280 Arbeitstagen berechnet werden (siehe Tabelle 14).

Tabelle 14: Vergleich der untersuchten Szenarien hinsichtlich der CO₂-Emissionen

Szenario	Täglich zurückgelegte Kilometer	Energiequelle	Verbrauch auf 100 km	CO ₂ -Ausstoß pro 100 km [g]	Tägl. CO ₂ -Ausstoß [t]	Jährl. CO ₂ -Ausstoß [t] (280 Arbeitstage)	CO ₂ -Ersparnis ggü. Bestand
Lebensmitteleinzelhandel							
Bestandsrouting	140.897	Diesel	38,0 L	100.700	142	39.727	
Routing m. angep. Depots	112.715	Diesel	38,0 L	100.700	114	31.781	20%
Routing m. angep. Depots + Einsatz von E-Fahrzeugen	954	Diesel	38,0 L	100.700	1	269	45%
	111.761	Batterie	190,0 kWh	69.540	78	21.761	
KEP-Dienstleister							
Bestandsrouting	44.223	Diesel	11,0 L	29.150	13	3.609	
Routing m. angep. Depots	45.537	Diesel	11,0 L	29.150	13	3.717	-3%
Bestandsrouting + Einsatz von E-Fahrzeugen	2.728	Diesel	11,0 L	29.150	1	223	55%
	41.495	Batterie	33,2 kWh	12.151	5	1.412	
Routing m. angep. Depots + Einsatz von E-Fahrzeugen	2.486	Diesel	11,0 L	29.150	1	203	54%
	43.051	Batterie	33,2 kWh	12.151	5	1.465	

(Quelle: Eigene Darstellung)

Für die Liefertouren des Lebensmitteleinzelhandels lassen sich durch die Optimierung der Standorte der Regionallager die jährlichen Emissionen um 20 % senken. Wenn alle täglichen Liefertouren, welche eine maximale Fahrtweite von 200 km haben, durch elektrisch angetriebene LKW durchgeführt würden, könnten im Vergleich zum Bestand sogar bis zu 45 % der CO₂-Emissionen reduziert werden. Hierbei würden die LKWs mit Verbrennungsmotoren weiterhin für 269 t der jährlichen Emissionen verantwortlich sein, wohingegen der überwiegende Teil der Fahrleistungen mit Elektrofahrzeugen erbracht wird. Deren jährliche Emissionen liegen bei 21.761 t CO₂.

Die Einsparpotentiale bei den Zustellturen der KEP-Dienstleister können unter gewissen Bedingungen sogar noch größer als im Lebensmitteleinzelhandel sein. Dies bedingt aber den Einsatz von elektrischen Zustellfahrzeugen. Mit der angewandten Methodik zur Ermittlung verbesserter Logistikstandorte war es nicht möglich, Fahrleistungseinsparungen bei den täglichen Touren zu erzielen. Die gefahrenen Kilometer stiegen um drei Prozent, was bei Beibehaltung von Dieselfahrzeugen in der Zustellung zu einer Erhöhung der CO₂-Emissionen in eben gleicher Höhe führen würde.

Wenn aber im Bestandsmodell für alle Touren mit einer Länge von bis zu 115 km batterieelektrische Fahrzeuge eingesetzt würden, könnten deren jährliche Emissionen (1.412 t) und die der verbleibenden Touren, welche mit Dieselfahrzeugen durchgeführt würden (223 t), zusammen um 55 % niedriger sein, als wenn nur Dieselfahrzeuge zum Einsatz kämen. Ähnliches gilt auch für die Touren mit angepassten Hubstandorten. Da der Anteil der Touren mit einer Länge von mehr als 115 km geringer als im Bestandsmodell ist, ist auch der Anteil der jährlichen Emissionen durch die dort fahrenden Verbrennerfahrzeuge geringer (203 t). Dafür ist aber die Restdistanz, welche mit batterieelektrischen Fahrzeugen zurückgelegt wird (1.465 t), höher als im Bestandsmodell, was zusammen genommen zu höheren CO₂-Emissionen führt (1.668 t), als wenn im Bestandsmodell auch Elektrofahrzeuge zum Einsatz kämen (1.635 t). Der Unterschied ist mit einem Prozent bei den einzusparenden Emissionen aber nur sehr gering.

10 Zusammenfassung und Ausblick

Die Berechnungen haben gezeigt, dass es insbesondere im Bereich des Lebensmitteleinzelhandels durch eine optimierte Standortwahl der Regionallager möglich ist, Fahrleistungseinsparungen bei den Lieferungen von den Depots zu den Kunden in der Metropolregion Rheinland zu erzielen. Das Optimierungspotential variiert, je nachdem wie viele Regionallager das jeweils zu betrachtende Unternehmen im Lebensmitteleinzelhandel betreibt. Es konnte festgestellt werden, dass vor allem Unternehmen mit nur wenigen Regionallagern ein deutlich höheres Optimierungspotential hinsichtlich der täglich gefahrenen Kilometer im Zulieferbereich haben. Es ist hier aber noch hinzuzufügen, dass es durchaus der Fall sein kann, dass bestehende Regionallager in den Randbereichen des Untersuchungsgebietes in größerem Maße für die Versorgung von Filialen außerhalb der Metropolregion Rheinland zuständig sind. Wenn nun zentralere Standorte für die Regionallager im betrachteten Raum gewählt werden, ist es möglich, dass die Fahrleistungen zu den Filialen außerhalb des Untersuchungsgebietes wieder ansteigen. Diese Auswirkung wurde nicht untersucht.

Für Logistikstandorte mit Netzwerkfunktion, wie dies hier am Beispiel des KEP-Dienstleisters DHL untersucht wurde, sind die Einsparpotentiale durch optimierte Hubstandorte deutlich geringer. Mit der gewählten Heuristik, die auch zur Ermittlung der potentiellen neuen Regionallagerstandorte des Lebensmitteleinzelhandels genutzt wurde, war es nicht möglich, Fahrleistungseinsparungen bei den täglichen Liefertouren des Unternehmens DHL im verkleinerten Untersuchungsgebiet zu erzielen. Dieser Heuristik lag eine Clusteranalyse der Lieferziele mit der Voraussetzung zugrunde, dass die Anzahl der genutzten Hubs zur Belieferung der Kunden im Vergleich zum Bestandsszenario höchstens der ursprünglichen Anzahl entsprechen durfte. Hier hat sich aber die Anzahl der Hubs von 16 auf 13 im Untersuchungsgebiet reduziert, was zu einem leichten Anstieg der täglich gefahrenen Kilometer der Lieferfahrzeuge führte. Auf der anderen Seite würde dies aber die gesamten Standortkosten des Unternehmens DHL reduzieren. Eine andere Heuristik mit der Bedingung, dass die Standortzahl identisch zu der des Bestandes bleiben muss, könnte ggf. Fahrleistungseinsparungen ermitteln.

Für beide Logistikbereiche der Regionalversorgung und der Netzwerkfunktion wurde auch eine stark vereinfachende Annahme zum Einsatz von batterieelektrischen Fahrzeugen für die Belieferung der Ziele vorgenommen. Unter der Voraussetzung, dass Touren mit einer Gesamtlänge von 200 km (Lebensmitteleinzelhandel) bzw. 115 km (KEP-Dienstleister) von lokal emissionsfreien Fahrzeugen übernommen werden könnten, zeigten sich für beide Bereiche deutliche Potentiale zur Verminderung des Kohlendioxidausstoßes. Diese Fahrzeuge könnten teils über 50 % der derzeit emittierten Gase im Vergleich zum Bestand einsparen. Das setzt aber eine entsprechende Umrüstung der Flotten der jeweiligen Unternehmen voraus. Des Weiteren müssen die bereits bestehenden bzw. die neu zu errichtenden Logistikstandorte mit Lademöglichkeiten ausgestattet werden. Insbesondere im Lebensmitteleinzelhandel könnte dies aber dazu führen, dass die Unternehmen mehr Fahrzeuge betreiben müssten, als sie es derzeit tun. Der Grund hierfür ist, dass an einem Tag von einem Fahrzeug derzeit mehrere Touren gefahren werden können, da die einzelnen Touren meist nicht länger als vier Stunden dauern. Durch die Kombination von mehreren Touren ist es aber durchaus möglich, auf eine Gesamtfahrleistung von mehr als 200 km täglich pro Fahrzeug zu kommen, was bei elektrischen Fahrzeugen nur zu leisten wäre, wenn es leistungsfähige Schnellladestationen an den Regionallagern gäbe.

Durch das Routing wurde ersichtlich, dass vor allem die Belieferung zu Zielen im suburbanen und ländlichen Raum für einen großen Teil der täglich gefahrenen Kilometer verantwortlich ist. Eine Optimierung der Logistikzentren im ländlichen Räume kann somit in der Gesamtbetrachtung eine größere Einsparung bei den Fahrleistungen erbringen, als wenn nur Standorte mit einer größeren Nähe zu den Innenstädten gesucht würden. Vor allem im peripheren Raum des Niederrheins gab es mit den gewählten Suchkriterien kaum potentielle Flächen, die für die Einrichtung eines Logistikzentrums zur Verfügung stünden. Insbesondere die Restriktion, dass Flächen für Regionallager des Lebensmitteleinzelhandels eine Mindestfläche von 120.000 m² haben müssten, führte zu einer deutlichen Begrenzung der in Frage kommenden Logistikflächen. Wenn die Suchkriterien im ländlichen Raum aufgeweicht würden, so dass zum Beispiel auch etwas längere Fahrzeiten zum nächsten Zugang des höherrangigen Netzes in Kauf genommen würden, könnte sich die Standortauswahl deutlich verbessern. Das könnte zu nochmals höheren Fahrleistungseinsparungen führen.

Inwiefern sich die Optimierungspotentiale im KEP-Bereich auch auf die anderen großen Dienstleister am Markt übertragen lassen, ist schwer einzuschätzen. Wenn aber die Ergebnisse des Lebensmitteleinzelhandels herangezogen werden, könnten die Einsparpotentiale bei den anderen großen KEP-Unternehmen am Markt deutlich höher als bei DHL sein. Die größten Einsparpotentiale im Lebensmitteleinzelhandel wurden schließlich bei den Unternehmen festgestellt, welche im Untersuchungsraum eher wenige Logistikzentren betreiben. Im Vergleich mit Hermes, UPS, DPD, GLS und FedEx betreibt DHL deutlich mehr Hubs im Untersuchungsgebiet.

Aufgrund der beschränkten Serverkapazitäten zur Berechnung der Routingmodelle musste der Untersuchungsraum für die Touren von DHL reduziert und die Kunden zu größeren Gruppen zusammengefasst werden. Darüber hinaus hat die Berechnung verhältnismäßig lange gedauert. Deshalb war es nicht mehr möglich, für beide Logistiktypen Regionallager und Netzwerkstandort Szenarien zu modellieren, in denen ausschließlich Potentialstandorte als Logistikzentren benutzt werden. Ebenso konnte deshalb keine Tourenmodellierung vollzogen werden, bei der ausschließlich batterieelektrische Fahrzeuge mit eingeschränkten Fahrtweiten zur Anwendung kommen. Dies wäre eine Aufgabe für künftige Forschungsarbeiten zu diesem Thema.

In dieser Arbeit wurde keine Veränderungen der Fahrleistungen zwischen den Zentral- und Regionallagern der jeweiligen Unternehmen untersucht. Es hat sich herausgestellt, dass die Ermittlung der Zentrallager mit einer Zuordnung zu den Regionallagern sehr schwierig ist. Eine Veränderung der Regionallagerstandorte würde aber auch eine Veränderung der Fahrtweiten zu den vorgelagerten Zentrallagern verursachen. Inwiefern die neu gewählten Potentialstandorte auch Fahrleistungseinsparungen in der kompletten Lieferkette vom Produzent oder Absender zum Kunden ermöglichen, müsste in weiteren Arbeiten untersucht werden.

Das Potential zur Minderung der CO₂-Emissionen durch eine verbesserte Standortwahl in der Metropolregion Rheinland ist für die beiden untersuchten Logistiksparten durchaus gegeben. Die relevanten Potentialflächen müssten nun von den Kommunen, Kreisen oder Städten als Logistikfläche nutzbar gemacht und von den Unternehmen als Alternative zu bisher eher ungünstig gelegenen Standorten wahrgenommen werden.

Literaturverzeichnis

- Aldi Nord. (26. Januar 2022). *Die Unternehmensgruppe Aldi Nord*. Von <https://www.aldi-nord.de/unternehmen/ueber-aldi-nord/die-unternehmensgruppe-aldi-nord.html> abgerufen
- Aldi Süd. (26. Januar 2022). *Aldi Süd Immobilien*. Von <https://immobilien.aldi-sued.de/> abgerufen
- Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland. (19. März 2022). *Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem*. Von <https://www.adv-online.de/AdV-Produkte/Liegenschaftskataster/ALKIS/> abgerufen
- Arbeitsrechte.de. (28. Februar 2022). *Arbeitszeit für Lkw-Fahrer: Was gilt gemäß Arbeitszeitgesetz für Kraftfahrer*. Von <https://www.arbeitsrechte.de/arbeitszeit-lkw-fahrer/> abgerufen
- Bath, D. (24. Oktober 2018). *Edeka testet Elektro-LKW für ein Jahr*. Von <https://www.morgenpost.de/berlin/article215635601/Gemuese-und-Milch-per-E-Laster.html> abgerufen
- Bednarczyk, T. (2012). *Linienverkehrsplanung für KEP-Dienste*. Hamburg.
- Böhl, L. (07. Dezember 2020). *Wie lange liefern DHL, Hermes und Co?* Von <https://www.stuttgarter-nachrichten.de/inhalt.wann-liefert-wer-mhsd.33623f27-f6e3-4948-a10d-d273fe2d9540.html> abgerufen
- Bundesverband Paket & Express Logistik. (2018). Marktanteile der Zustellkonzepte im B2C-Segment. *BIEK-Kompendium*, 1.
- Dablanc, L., & Rakotonarivo, D. (2010). The impacts of logistics sprawl: How does the location of parcel transport terminals affect the energy efficiency of goods' movements in Paris and what can we do about it? In *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 2 (S. 6087-6096).
- Deutscher Bauernverband. (06. Januar 2021). *DBV-Situationsbericht 2020/2021 - Trends und Marktmacht des LEHs in Deutschland*. Von https://www.foodjobs.de/news/article_dbv_situationsbericht_2020_2021_%E2%80%93_trends_und_marktmacht_des_lehs_in_deutschland_20402.html abgerufen
- DHL. (18. Februar 2022). *DHL Packstation*. Von <https://www.dhl.de/de/privatkunden/pakete-empfangen/an-einem-abholort-empfangen/packstation.html> abgerufen
- Edeka-Gruppe. (26. Januar 2022). *Großhandlung & Logistik bei Edeka Rhein-Ruhr*. Von <https://verbund.edeka/rhein-ruhr/%C3%BCber-uns/wer-wir-sind/gro%C3%9Fhandlung-logistik/> abgerufen
- Edeka-Gruppe. (26. Januar 2022). *Märkte und Vertrieb im Edeka-Verbund*. Von <https://verbund.edeka/unternehmen/was-ist-der-edeka-verbund/m%C3%A4rkte-vertrieb/> abgerufen
- FedEx. (5. Februar 2022). *Find FedEx Locations*. Von https://www.fedex.com/locate/index.html?locale=en_DE abgerufen
- GitHub. (19. März 2022). *Vehicle Routing Open-Source Optimization Machine*. Von <https://github.com/VROOM-Project/vroom> abgerufen

- Handelsregister. (11. Februar 2022). *Gemeinsames Registerportal der Länder*. Von <https://www.handelsregister.de> abgerufen
- Hankel, C. (17. Februar 2022). Erfahrungen und Anforderungen der Logistikprozesse im Lebensmitteleinzelhandel bei Unternehmen B. (B. Rust, Interviewer)
- Hofer, F. (2009). *Management der Filiallogistik im Lebensmitteleinzelhandel*. St. Gallen: Gabler Edition Wissenschaft.
- Kaufland. (26. Januar 2022). *Kaufland-Standorte*. Von <https://karriere.kaufland.de/kaufland-entdecken/standorte.html> abgerufen
- Landesdatenbank NRW. (24. Februar 2022). *Bevölkerungsstand je Gemeinde und Stichtag*.
- Leerkamp, B. P.-I., Thiernemann, A. M., Groß, F. B., Holthaus, T. M., Janßen, T. P.-I., Stock, S. D.-I., . . . Busch, R. D.-I. (2021). *Güterverkehrsstudie für das Gebiet der Metropolregion Rheinland (Zwischenbericht)*. Wuppertal: Bergische Universität Wuppertal.
- Leerkamp, B., Holthaus, T., Kuchhäuser, T., Thiernemann, A., & Schlott, M. (2021). *Case Study Research on Urban Logistics and Last Mile Delivery Processes in Germany*. Beijing: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH.
- Lidl. (26. Januar 2022). *Verwaltungs- und Logistikzentren von Lidl*. Von <https://unternehmen.lidl.de/newsroom/immobilien/logistikzentren> abgerufen
- Manner-Romberg, H., & Müller-Steinfahrt, U. (2017). *Marktuntersuchung und Entwicklungstrends von Kurier-, Express- und Paketdienstleistungen 2017*. Hamburg: Institut für angewandte Logistik IAL, Hochschule Würzburg-Schweinfurt.
- Meier. (02. Februar 2022). Erfahrungen und Anforderungen der Logistikprozesse im Lebensmitteleinzelhandel bei Unternehmen A. (B. Rust, Interviewer)
- Meitinger, T. (8. Februar 2021). *Studie: Sechs Anbieter dominieren den deutschen Paketmarkt*. Von <https://logistik-heute.de/news/studie-sechs-anbieter-dominieren-den-deutschen-paketmarkt-32737.html> abgerufen
- Open Street Map Foundation. (26. Januar 2022). *Open Street Map*. Von <https://www.openstreetmap.org> abgerufen
- Paket da! (5. Februar 2022). *Alle Paketzentren in Deutschland*. Von <https://www.paketda.de/paketdepot-alle.html> abgerufen
- Reichel, J. (13. Juli 2021). *Vergleichstest: Leichte Strom-Vans schwer im Kommen*. Von <https://logistra.de/news/nfz-fuhrpark-lagerlogistik-intralogistik-vergleichstest-leichte-strom-vans-schwer-im-kommen-73081.html> abgerufen
- Rewe Spedition und Logistik GmbH. (26. Januar 2022). *Logistikstandorte in Deutschland*. Von <https://rewe-spedition.de/standorte> abgerufen
- Rewe-Group. (26. Januar 2022). *Struktur und Vertriebslinien der Rewe-Group*. Von <https://www.rewe-group.com/de/unternehmen/struktur-und-vertriebslinien/> abgerufen
- Schäfer, P., Altinsoy, P., Freyer, L., & Gilbert, A. (2021). *Zustellverkehre kundenorientiert, nachhaltig, flexibel und transparent. Durch Emissionsfreiheit (ZUKUNFT.DE)*. Frankfurt am Main: Frankfurt University of Applied Sciences.

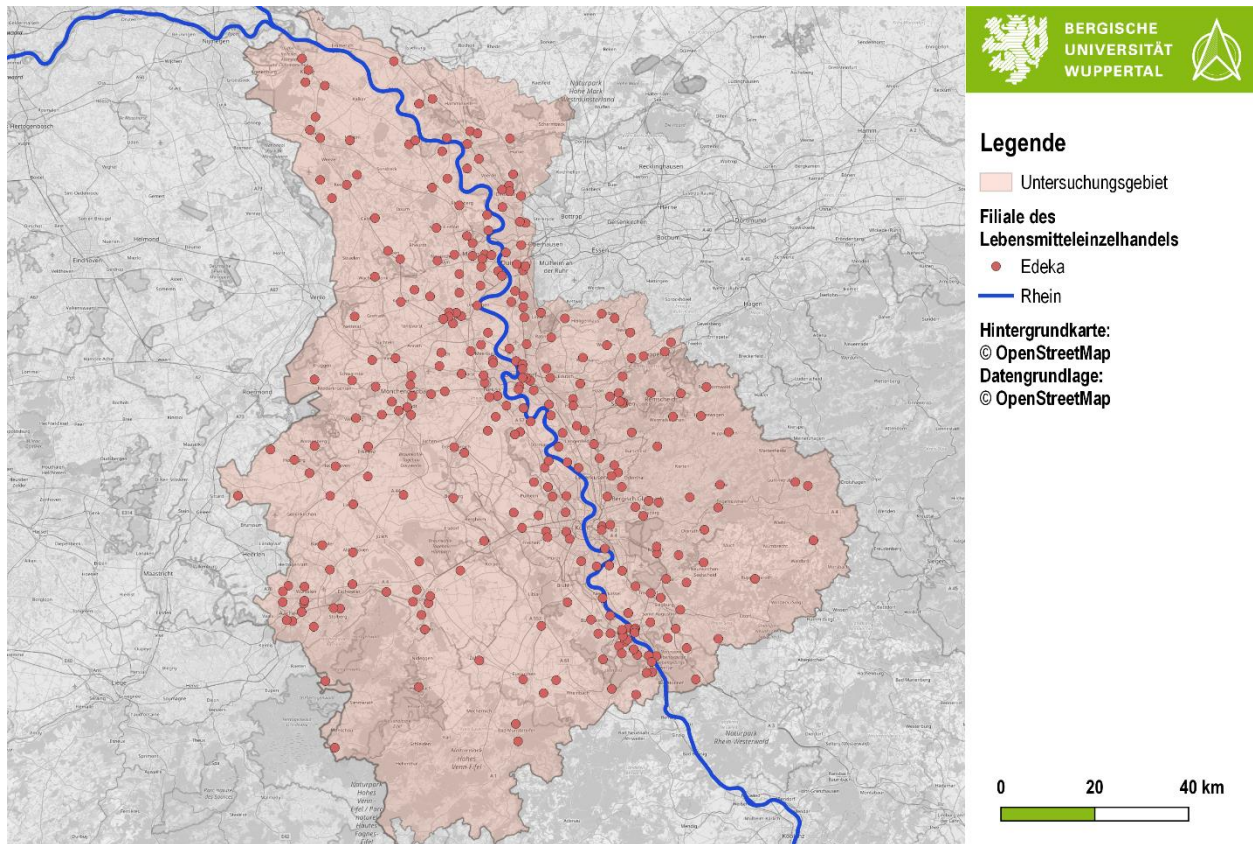
- Schäfer, P., Quitta, A., Blume, S., Schocke, K.-O., Höhl, S., Kämmer, A., & Brandt, J. (2017). *Bericht zum Forschungsvorhaben "Analyse und Empfehlungen für Belieferungsstrategien der KEP-Branche im innerstädtischen Bereich"*. Frankfurt: Frankfurt University of Applied Sciences.
- Schwarz-Gruppe. (26. Januar 2022). *Geschäftsfelder der Schwarz-Gruppe*. Von <https://gruppe.schwarz/geschaeftsfelder> abgerufen
- Spritrechner.biz. (18. Mai 2022). *CO2-Rechner für Autos - Den Kraftstoffverbrauch in CO2-Ausstoß umrechnen*. Von <https://spritrechner.biz/co2-rechner-fuer-autos.html> abgerufen
- Staatskanzlei des Landes Nordrhein-Westfalen. (2013). *Landesentwicklungsplan Nordrhein-Westfalen*. Düsseldorf: Landesplanungsbehörde NRW.
- Stahl, C. (17. Mai 2022). *Spritverbräuche von Nutzfahrzeugen mit Dieselmotoren*. (B. Rust, Interviewer)
- Statista. (01. April 2022). *Entwicklung des CO2-Emissionsfaktors für den Strommix in Deutschland in den Jahren 1990 bis 2020*. Von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/38897/umfrage/co2-emissionsfaktor-fuer-den-strommix-in-deutschland-seit-1990/> abgerufen
- Statista, *Anzahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in den Land- und Stadtkreisen in Nordrhein-Westfalen im Jahr 2020*. (15. Dezember 2021). Von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1111718/umfrage/beschaeftigte-stadt-landkreise-in-nordrhein-westfalen/> abgerufen
- Statista, *Einwohnerzahl der Stadt- und Landkreise in Nordrhein-Westfalen im Jahr 2020*. (15. Dezember 2021). Von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1103832/umfrage/einwohner-landkreise-nrw/> abgerufen
- TNT. (5. Februar 2022). *Ihre Standortsuche*. Von <https://www.tnt-apps.de/content/express/de-de/standortsuche/standort/> abgerufen
- Veres-Homm, U., Wojtech, A., Richter, F. D.-I., Becker, T. D.-I., Lißner, S., Schmidt, W., . . . Grashoff, C. (2019). *Regional konsolidierte Gewerbeflächenentwicklung (RekonGent)*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- Webfleet Solutions. (28. Februar 2020). *So viel Kraftstoff verbrauchen LKW*. Von https://www.webfleet.com/de_de/webfleet/blog/so-viel-kraftstoff-verbrauchen-lkw/ abgerufen
- Zensus 2011. (24. Februar 2022). *Zensus Datenbank Bevölkerung 2011*.
- Zimmermann, B. (07. Mai 2019). *Elektromobilität im Schwerlastverkehr. Analyse und Kritik basierend auf Erfahrungen aus Forschung und Praxis*. Fulda, Hessen, Deutschland.

Anhangsverzeichnis

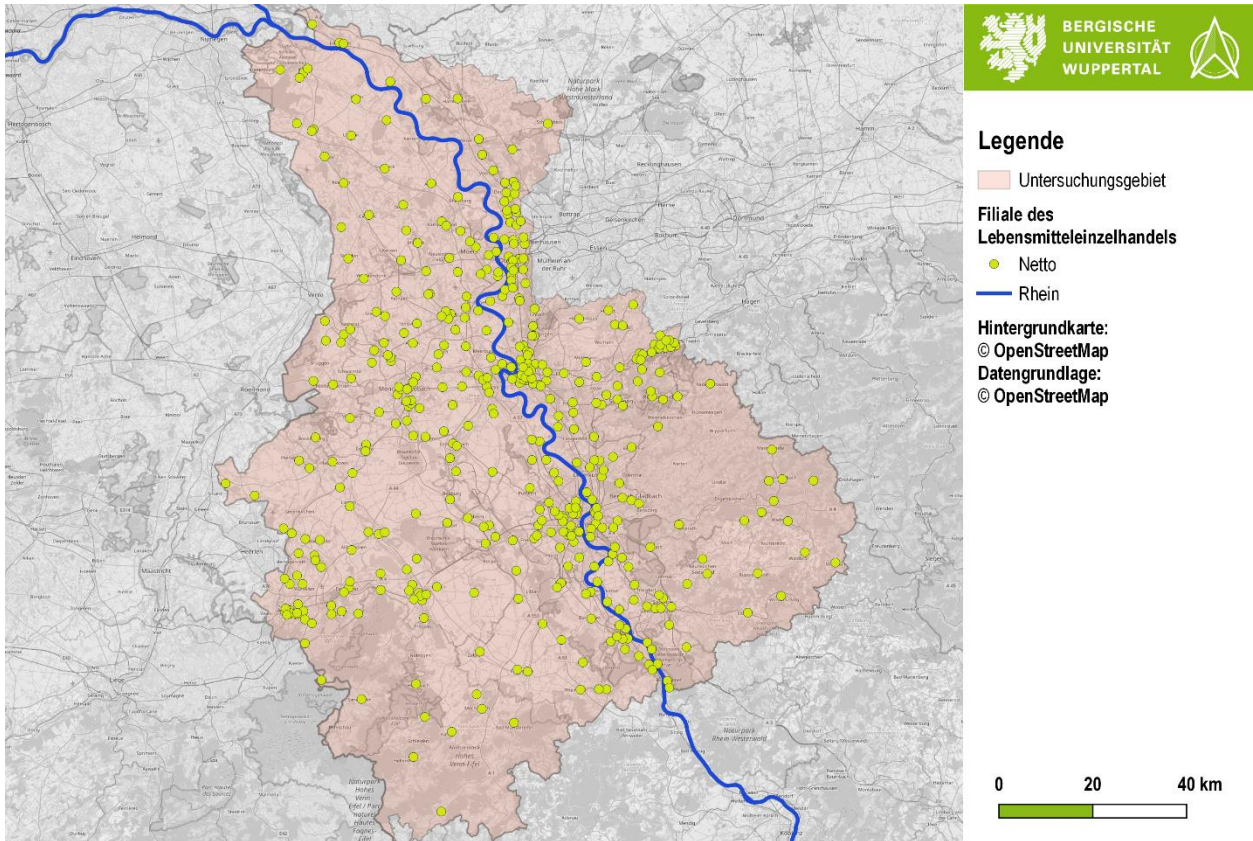
A.1 Filialstandorte der größten Unternehmen im Lebensmitteleinzelhandel im
Untersuchungsgebiet |

Anhang

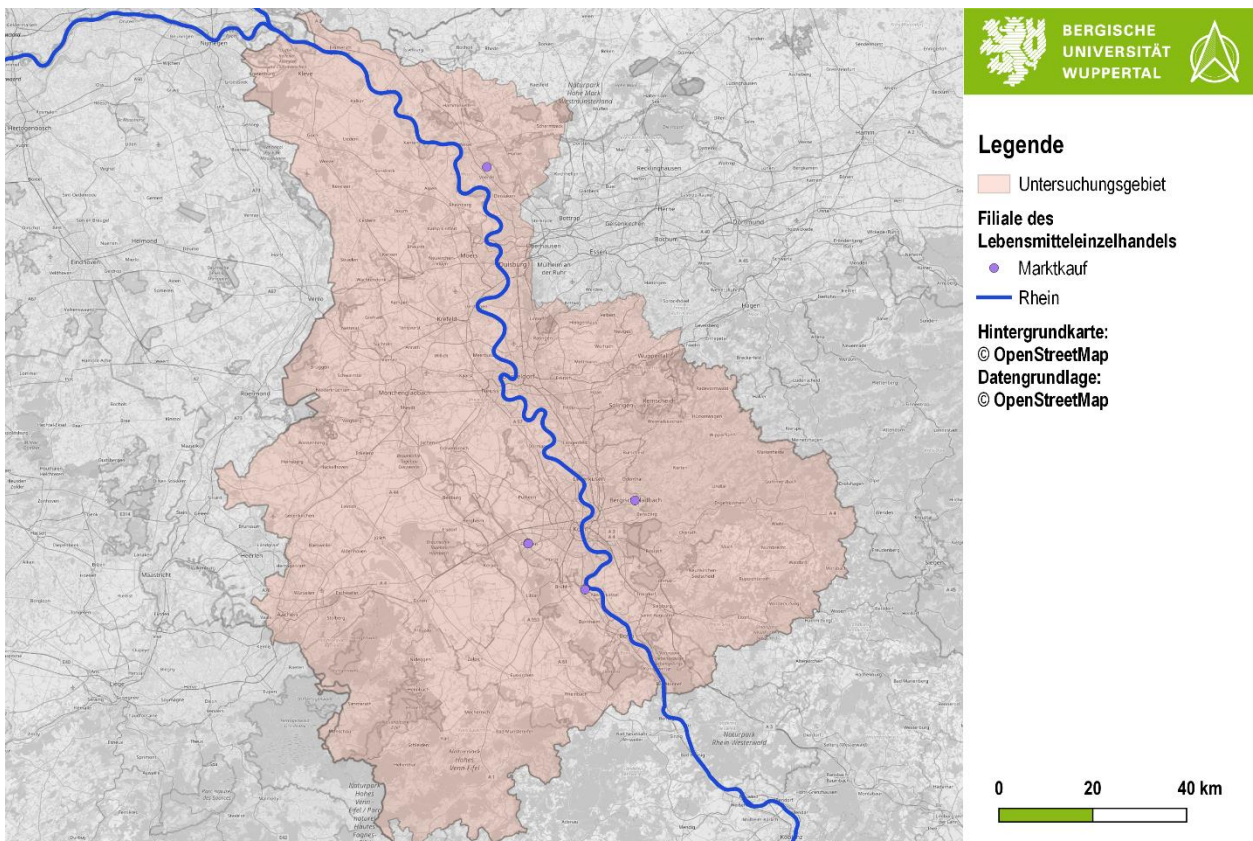
A.1 Filialstandorte der größten Unternehmen im Lebensmitteleinzelhandel im Untersuchungsgebiet



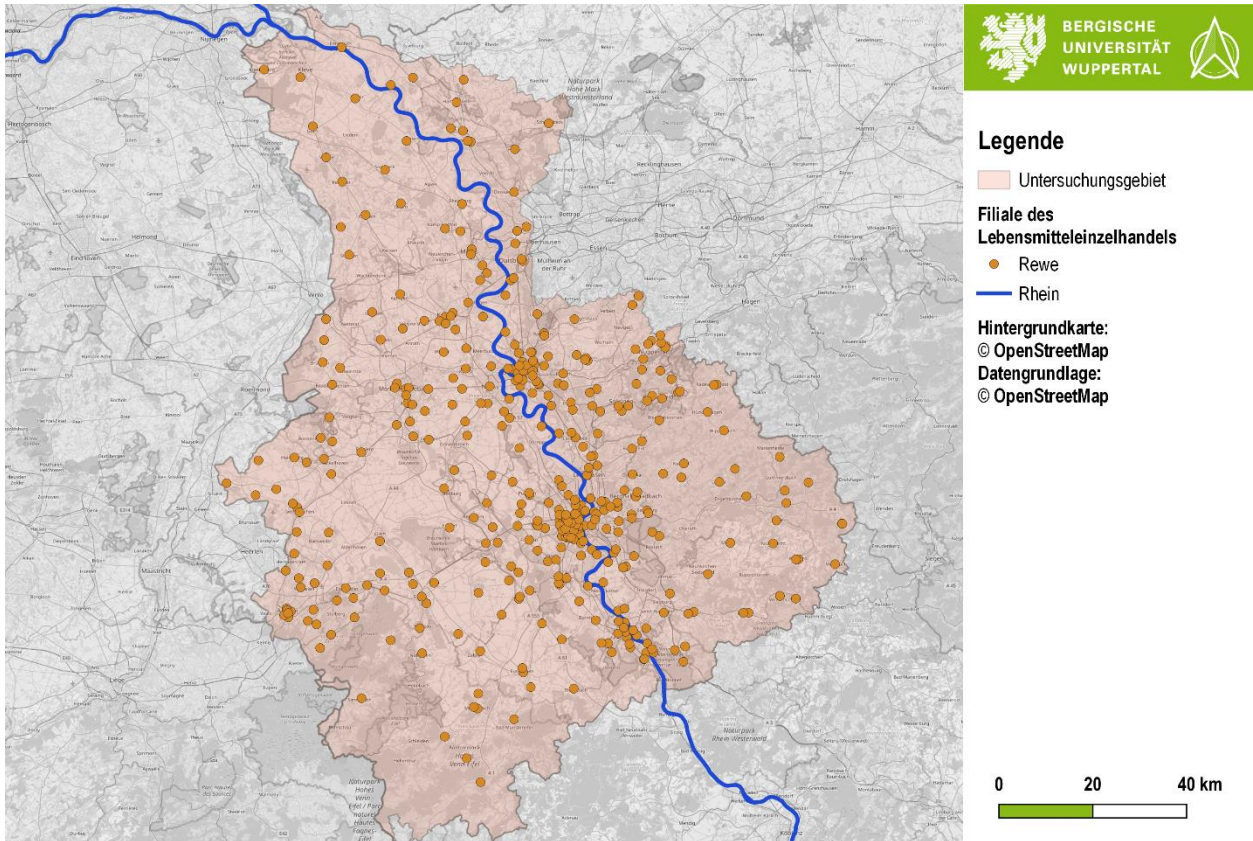
Anhang 1-1: Filialstandorte von Edeka im Untersuchungsgebiet
(Quelle: Eigene Darstellung)



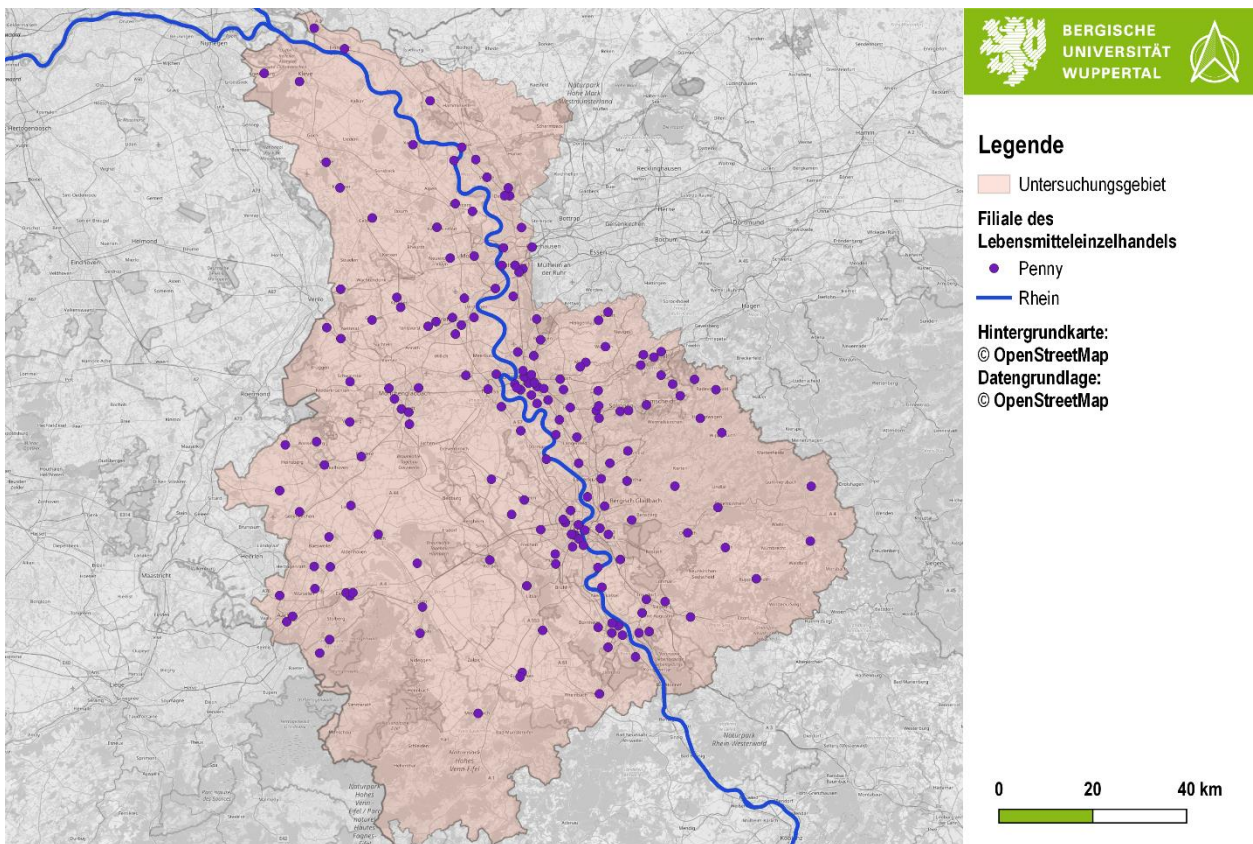
**Anhang 1-2: Filialstandorte von Netto im Untersuchungsgebiet
(Quelle: Eigene Darstellung)**



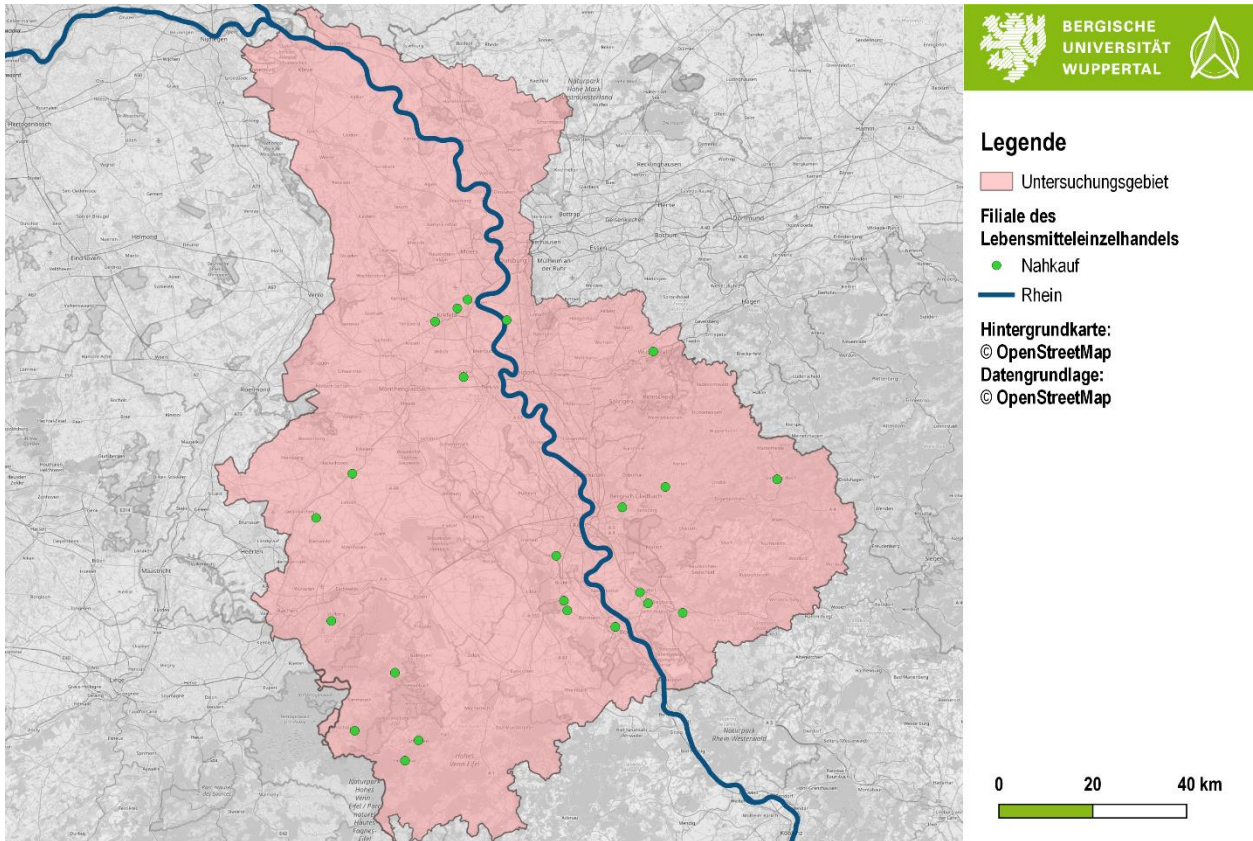
**Anhang 1-3: Filialstandorte von Marktkauf im Untersuchungsgebiet
(Quelle: Eigene Darstellung)**



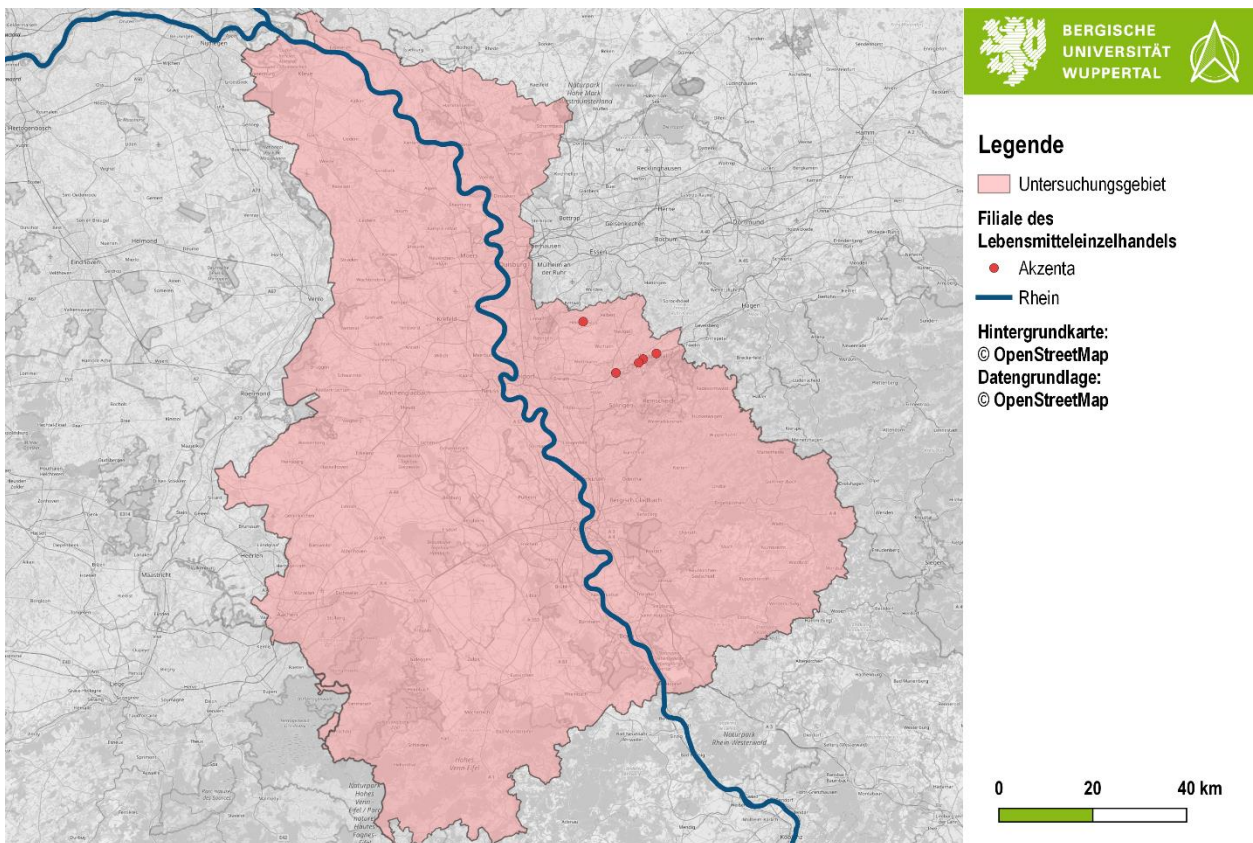
**Anhang 1-4: Filialstandorte von Rewe im Untersuchungsgebiet
(Quelle: Eigene Darstellung)**



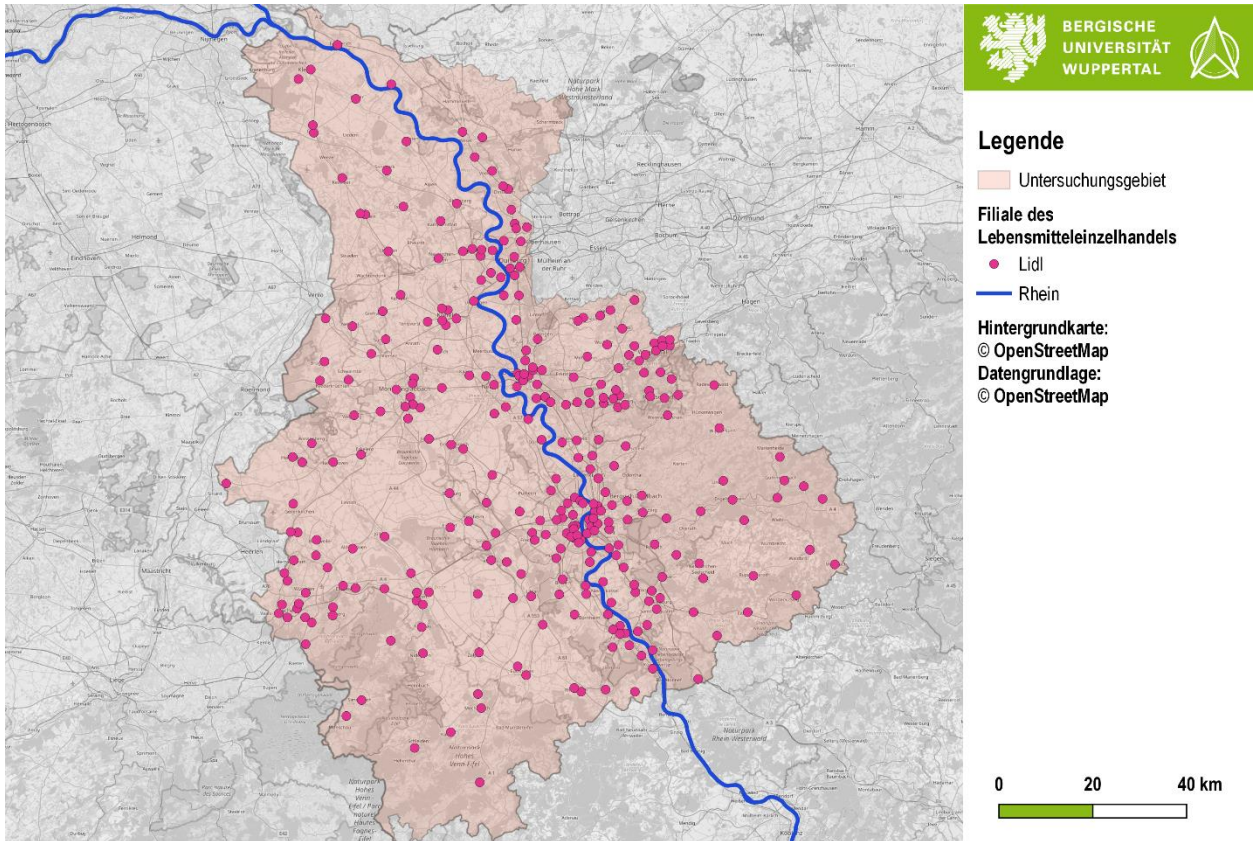
**Anhang 1-5: Filialstandorte von Penny im Untersuchungsgebiet
(Quelle: Eigene Darstellung)**



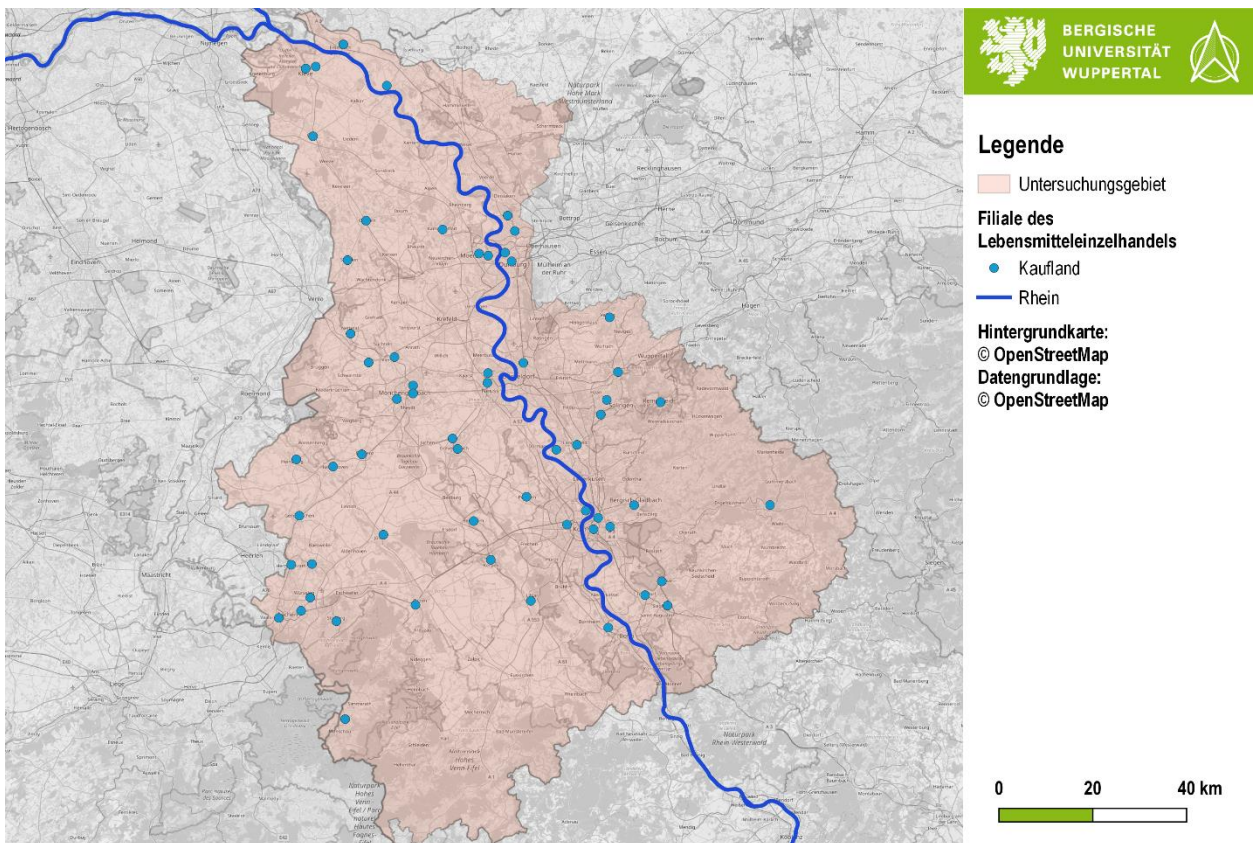
**Anhang 1-6: Filialstandorte von Nahkauf im Untersuchungsgebiet
(Quelle: Eigene Darstellung)**



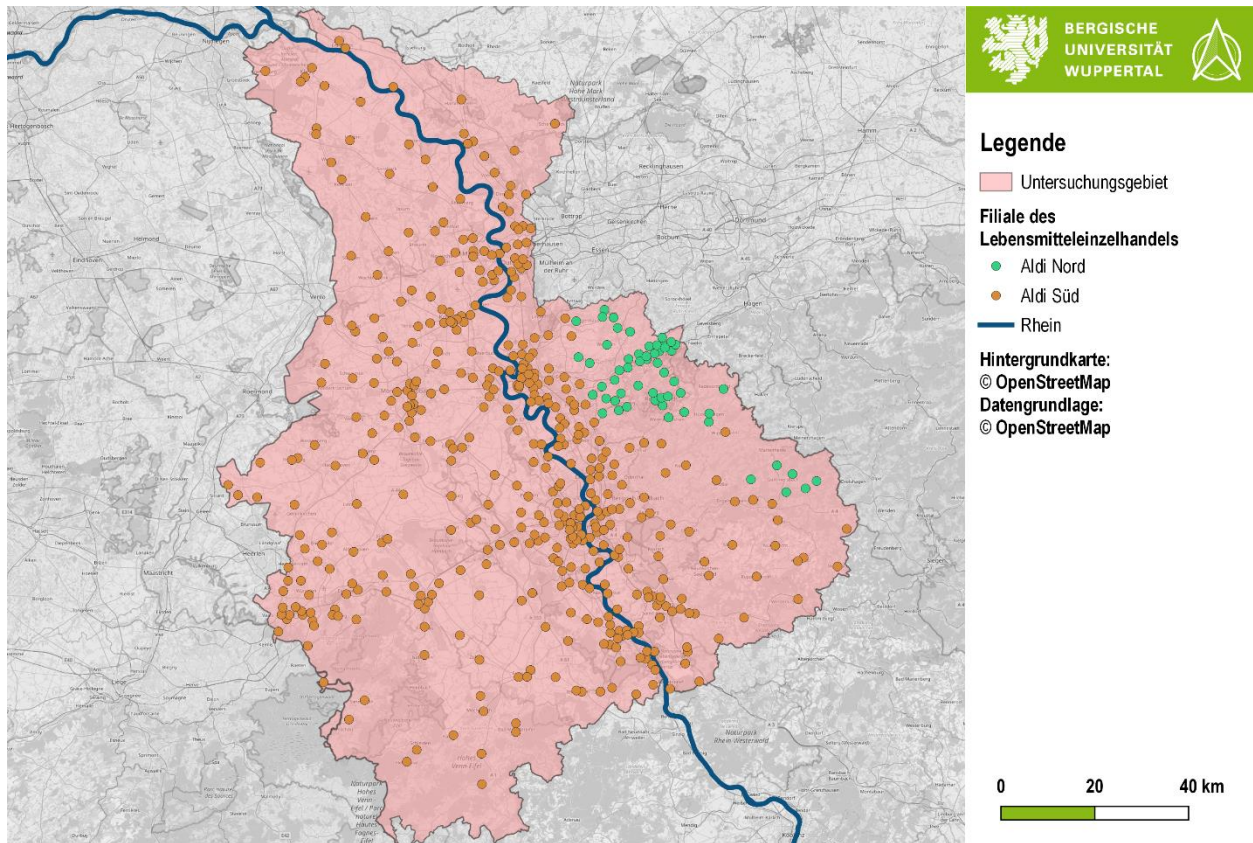
**Anhang 1-7: Filialstandorte von Akzenta im Untersuchungsgebiet
(Quelle: Eigene Darstellung)**



**Anhang 1-8: Filialstandorte von Lidl im Untersuchungsgebiet
(Quelle: Eigene Darstellung)**



**Anhang 1-9: Filialstandorte von Kaufland im Untersuchungsgebiet
(Quelle: Eigene Darstellung)**



**Anhang 1-10: Filialstandorte von Aldi im Untersuchungsgebiet
(Quelle: Eigene Darstellung)**