

# Disaggregation großräumiger Quell/Ziel-Matrizen des Güterverkehrs für die Nutzung in MATSim

## Entwicklung einer Methodik und Anwendung auf den Planungsraum Ruhrgebiet

Patrick Mayregger

Masterarbeit

im Studiengang Verkehrswirtschaftsingenieurwesen

Dezember 2018



Betreuer: Prof. B. Leerkamp, M.Sc. T. Holthaus

Lehr- und Forschungsbereich Güterverkehrsplanung und Transportlogistik

Bergische Universität Wuppertal

# INHALT

---

Erklärungen .....	iii
1.1    Selbstständigkeitserklärung .....	iii
1.2    Einverständniserklärung des Studierenden: Für die Einsichtnahme durch Personen und Institutionen in die Abschlussarbeit.....	iii
Aufgabenstellung.....	iv
Abkürzungsverzeichnis .....	v
1    Einleitung.....	1
1.1    Problembeschreibung und Zielsetzung .....	1
1.2    Einordnung dieser Arbeit in die Erstellung eines Multi-Agenten-basierten Verkehrsmodells	4
1.3    Lösungsansatz.....	7
2    Nomenklaturen und Eingangsdaten.....	10
2.1    Nomenklaturen .....	10
2.1.1    Nomenklaturen für Wirtschaftszweige und Transportgüter.....	10
2.1.2    Klassifikation räumlicher Einheiten .....	14
2.2    Eingangsdaten .....	17
2.2.1    Die Verflechtungsdaten des BVWP für den Wirtschaftsverkehr.....	17
2.2.2    ruhrAGIS .....	19
2.2.3    Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen.....	23
2.2.4    Beschäftigtendaten der Bundesagentur für Arbeit (BA) .....	24
3    Berechnung der Quell- und Zielpotenziale der Betriebsstätten im Untersuchungsgebiet aus den Verflechtungsdaten des BVWP .....	26
4    Disaggregation der Güterverkehrsaufkommen von der Ebene der Verkehrszellen auf die Betriebsstätten .....	29
4.1    Das Transportproblem im Operations-Research.....	30
4.2    Implementiertes Konstruktionsverfahren für ein zulässiges Transportprogramm.....	32
4.3    Alternative Lösungsansätze zur Ermittlung eines Transportprogramms .....	33
4.3.1    Nordwesteckenregel auf Zellenebene .....	34

4.3.2	Nordwesteckenregel auf RVR-Ebene .....	40
4.3.3	Ansatz für eine Berücksichtigung von Unternehmensnetzwerken .....	41
5	Verfahren zur Umrechnung der disaggregierten Güterströme zu Fahrten bzw. Tagesplänen.....	44
6	Zusammenfassung.....	50
7	Ausblick.....	52
8	Literaturverzeichnis.....	53
9	Abbildungsverzeichnis.....	57
10	Tabellenverzeichnis .....	58

# ERKLÄRUNGEN

---

## 1.1 SELBSTSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG

Hiermit erkläre ich, dass ich die von mir eingereichte Abschlussarbeit (Master-Thesis) selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt sowie Stellen der Abschlussarbeit, die anderen Werken dem Wortlaut oder Sinn nach entnommen wurden, in jedem Fall unter Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht habe.

Wuppertal, den \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Patrick Mayregger

## 1.2 EINVERSTÄNDNISERKLÄRUNG DES STUDIERENDEN: FÜR DIE EINSICHTNAHME DURCH PERSONEN UND INSTITUTIONEN IN DIE ABSCHUSSARBEIT

Hiermit erkläre ich mich damit einverstanden, dass meine Abschlussarbeit (Master-Thesis) wissenschaftlich interessierten Personen oder Institutionen und im Rahmen von externen Qualitätssicherungsmaßnahmen des Studiengangs zur Einsichtnahme zur Verfügung gestellt werden kann. Korrektur- oder Bewertungshinweise in meiner Arbeit dürfen nicht zitiert werden.

Wuppertal, den \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Patrick Mayregger

# AUFGABENSTELLUNG

FACHZENTRUM VERKEHR  
LuF GÜTERVERKEHRSPLANUNG UND TRANSPORTLOGISTIK  
UNIV.-PROF. DR.-ING. B. LEERKAMP

14. NOV. 2018



## Master-Abschlussarbeit im Studiengang Verkehrswirtschaftsingenieurwesen

**Thema:** Disaggregation großräumiger Quell/Ziel-Matrizen des Güterverkehrs für die Nutzung in MATSim – Entwicklung einer Methodik und Anwendung auf den Planungsraum Ruhrgebiet

**Bearbeiter:** Patrick Mayregger

**Betreuer:** Prof. B. Leerkamp, M.Sc. Tim Holthaus

**Ausgabe:**

**Abgabe:**

### Aufgabenstellung

Die Multi-Agenten-basierte Verkehrsmodellsoftware MATSim bietet keine Verkehrserzeugungsrechnung für den Straßengüterverkehr. Daher soll in dieser Masterthesis ein Verfahren entwickelt werden, mit dem die großräumigen Güterstrommatrizen der BWWP von der NUTS3-Ebene auf die Größe von Verkehrszellen für die stadtregionale Verkehrsplanung heruntergebrochen werden können. Als Planungsraum ist das Gebiet des Regionalverbandes Ruhr zu verwenden, für das mit der Flächennutzungsdatenbank ruhrGIS eine sehr kleinräumige Information über gewerbliche Flächennutzungen vorliegt. Die Güterströme sollen den gewerblichen Bauflächen unter Nutzung der Informationen aus den Input/Output-Matrizen der VGR zugeteilt werden. Dabei sind die entstehenden Unschärfen infolge von Mittelwertbildungen und der Umrechnung der VGR mittels Wertdichten darzustellen (z.B. über Sensitivitätsbetrachtungen). Die Erkenntnisse aus dem am Lehrstuhl laufenden Forschungsvorhaben „Kleinräumige Standortuntersuchung beim Güterverkehr für eine verbesserte integrierte Netzplanung“ (BBSR, FE-Nr. 10.05.06-17,9) zur Clusterung von Wirtschaftszweigen sollen berücksichtigt werden.

Im Ergebnis wird ein Datenbank-gestütztes Tool (Excel, Access o.ä.) erwartet, mit dem unterschiedliche Zelleinteilungen auf der Eingangsseite (BWWP-Matrix) und auf der Ausgangsseite (kleinräumiges Verkehrsmodell) verarbeitet werden können.

In weiteren Schritten sollen Verfahren aufgezeigt und soweit wie möglich ausgearbeitet werden, mit denen (1) die kleinräumig und nach den NST 2007-Gütergruppen disaggregierten Güterströme im Segment des Straßengüterverkehrs in Lkw-Fahrten umgerechnet werden können. Dabei sind unterschiedliche Fahrzeugtypen zu unterscheiden. Die Quell-Ziel-Beziehungen sollen so aufbereitet werden, dass sie von dem in MATSim bereits integrierten Tourenplanungs-Tool JSprnt weiter verwendet werden können (Ergebnis: zu Touren zusammengefasste Fahrten). Außerdem soll (2) grundsätzlich untersucht werden, wie die in der BWWP-Matrix als Zellbinnenverkehr aggregierten Ströme berücksichtigt werden können (denkbar wäre z.B. eine Modellierung des kleinräumigen Lkw-Verkehrs mit fahrzeugbezogenen Verkehrserzeugungskennziffern der KID bzw. mit dem Modell KWM).

Mehrfache Rücksprache mit dem Betreuer ist erwünscht. Die Masterarbeit ist in dreifacher Ausfertigung spätestens am Tag der Abgabe beim Prüfungsamt einzureichen. Zusätzlich ist eine digitale Version inkl. etwaiger Modelle etc. am Lehr- und Forschungsgebiet Güterverkehrsplanung und Transportlogistik einzureichen. Im Übrigen wird auf den Leitfaden zur Anfertigung studentischer Arbeiten des Lehr- und Forschungsgebietes 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 verwendet werden.

Wuppertal, den 13.11.2018

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bert Leerkamp

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

---

BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
BMR	Business Metropole Ruhr
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BVWP	Bundesverkehrswegeplan
CPA	Statistical classification of products by activity
CSV	Comma-separated values
EU	Europäische Union
Eurostat	Statistisches Amt der Europäischen Union
FNP	Flächennutzungsplan
FTL	full truck load
GG	Gütergruppe
ISIC	International Standard Industrial Classification
KV	kombinierter Verkehr
LAU	Local Administrative Units
LTL	less than full truck load
MATSim	Multi Agent Transport Simulation
NACE	Nomenclature statistique des activités économiques dans la Communauté européenne
NST	Nomenclature uniforme des marchandises pour les statistiques de transport
NUTS	Nomenclature des unités territoriales statistiques
Rev.	Revision
RoLa	Rollende Landstraße
RVR	Regionalverband Ruhr
TSP	Traveling Salesman Problem
VGR	Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung
VRP	Vehicle Routing Problem
WFS	Web Feature Service
WZ	Wirtschaftszweige
XML	Extendable Markup Language

# 1 EINLEITUNG

---

## 1.1 PROBLEMBESCHREIBUNG UND ZIELSETZUNG

Die Fragen, die heute an die Güterverkehrsplanung gerichtet werden, sind vielfältig und gehen weit über die reine Bemessung von Straßenabschnitten und die Anbindungen von Gewerbe- und Industriegebieten hinaus. Die Bestrebung zur Einhaltung der Klimaschutzziele und die Diskussionen um Fahrverbote in vielen Städten wirken als Katalysator für vielfältige Anforderungen, die an den Güterverkehr gerichtet werden. Insbesondere für die Bedarfe der City-Logistik entsteht dadurch eine gesteigerte Aufmerksamkeit in der öffentlichen Debatte und der Handlungsdruck steigt. Ein verändertes Konsumverhalten führt gleichzeitig zu einem massiven Wachstum im Bereich der Kurier-, Express- und Paketdienstleistungen (KEP) und die Rufe nach einer Steuerung dieses Prozesses werden lauter<sup>1</sup>.

Diese gewachsenen Anforderungen an die Verkehrsplanung erfordern neue Ansätze für die Verkehrsmodellierung. Klassische Verkehrsmodelle behandeln das Transportaufkommen als aggregierte Güterströme zwischen Verkehrszellen. Ein solcher Modellansatz kann jedoch keine Antworten auf Fragen nach logistischen Verhaltensmustern und Auswirkungen ihres Wandels geben, da das Verhalten einzelner Unternehmen kein Modellbestandteil ist. Gleiches gilt für tageszeitliche Verteilungen des Güterverkehrs. Sollen beispielsweise Auswirkungen von Lieferzeitbeschränkungen in Innenstädten geprüft werden, stoßen klassische Verkehrsmodelle schnell an ihre Grenzen.

Fragen wie die oben angerissenen können grundsätzlich mit einem Multi-Agenten- bzw. Aktivitäten-basierten Verkehrsmodell beantwortet werden. Die Grundannahme dieser Modelle ist die Entstehung von Verkehr durch menschliche Aktivität<sup>2</sup>, im Falle des Güterverkehrs in der Regel durch ökonomische Aktivität<sup>3</sup>. Die handelnden Personen oder wirtschaftlichen Einheiten werden dabei als Agenten bezeichnet. Für den Aufbau solcher Multi-Agenten-basierter Verkehrsmodelle müssen jedoch einige Hürden genommen werden, die insbesondere die Datenanforderungen betreffen. Viele der benötigten Daten liegen nur bezogen auf größere statistische Aggregate vor. Darin sind die Probleme, die mit dem Aufbau

---

<sup>1</sup> Dieser Anspruch wird u.a. im aktuellen Koalitionsvertrag auf Bundesebene deutlich (CDU; CSU; SPD, 2018).

<sup>2</sup> (Meister, et al., 2009)

<sup>3</sup> Auch der private Güterverkehr ist häufig mit ökonomischer Aktivität, wie dem Kauf von Konsumgütern verbunden.

eines Multi-Agenten-basierten Verkehrsmodell verbunden sind, denen für den Aufbau kleinräumiger Verkehrsmodelle ähnlich<sup>4</sup>.

Für klassische Verkehrsmodelle im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland liefert der Bundesverkehrswegeplan (BVWP) mit seinen Verflechtungsdaten eine wichtige Datengrundlage. Diese stellen für das Analysejahr 2010 und das Prognosejahr 2030 die Verflechtungen zwischen Verkehrszellen differenziert nach Gütergruppen dar. Für eine Multi-Agenten-basierte Verkehrsmodellierung sind diese Verflechtungsdaten jedoch nicht unmittelbar nutzbar, da sie die Verflechtungen auf Ebene der Verkehrszellen, statt auf der Ebene der Betriebsstätten darstellen.

Ziel dieser Arbeit ist es, ein Verfahren zu entwickeln, mit dessen Hilfe großräumige Quell/Ziel-Matrizen für eine Multi-Agenten-basierte Verkehrsmodellierung nutzbar gemacht werden. Obwohl die Verflechtungsdaten des BVWP nicht in Matrixform vorliegen (mehr dazu in Kapitel 2.2.1), stellen sie eine solche großräumige Quell/Ziel-Matrix dar. Um sie nutzbar zu machen, sollen die Transportaufkommen die in der BVWP-Verflechtung zwischen zwei Verkehrszellen auftreten, den Unternehmen bzw. den von ihnen genutzten Betriebsflächen innerhalb dieser Verkehrszellen zugeordnet werden.

Dabei wird davon ausgegangen, dass das Modell für, welches die Disaggregation vorgenommen wird, den straßengebundenen Wirtschaftsgüterverkehr abbildet (vgl. Abbildung 1). Für den privaten Güterverkehr wird angenommen, dass dieser in Abhängigkeit vom Aufkommen des Personenverkehrs durch einen prozentualen Aufschlag abgebildet werden kann. Die Verkehrsträger Schiene und Wasserstraße finden in dieser Arbeit nur zu dem jeweils für den Straßenverkehr relevanten Teil einer Transportkette Berücksichtigung.

---

<sup>4</sup> Diese wurden beispielsweise in (Leerkamp, Dahmen, Vollmer, & Janßen, 2013) dargestellt.



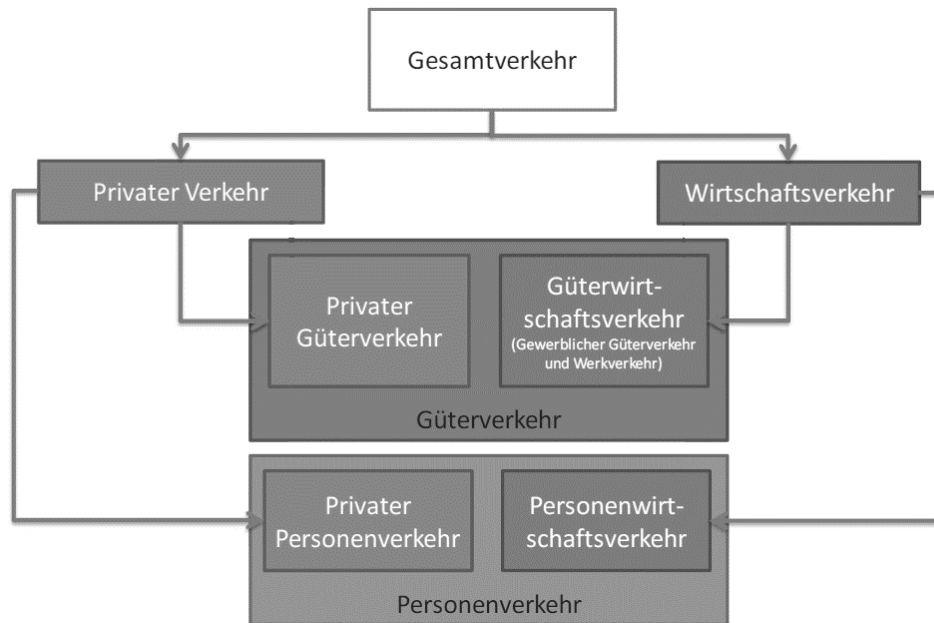


Abbildung 1: Abgrenzung des Wirtschaftsverkehrs, Darstellung übernommen aus: (Leerkamp, Dahmen, Vollmer, & Janßen, 2013)

Zur automatischen Durchführung dieser Disaggregation wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Tool entwickelt, welches die teilweise händisch vorbereiteten Eingangsdaten auswertet und so die großräumigen Güterverflechtungen auf die Ebene der Betriebsstätten herunterbricht. Als Untersuchungsgebiet des Verkehrsmodells, für welches die Nachfragedaten disaggregiert werden, wird in dieser Arbeit das Gebiet des Regionalverband Ruhr (RVR)<sup>5</sup> angenommen.

Dabei müssen geeignete Merkmale gefunden werden, anhand derer die Disaggregation durchgeführt werden kann. Diese müssen kleinräumig vorliegen. In vielen Regionen der Bundesrepublik würden schon dadurch größere Probleme auftauchen. Für das Ruhrgebiet liegt mit dem ruhrAGIS hingegen eine sehr umfangreiche und detaillierte Realnutzungskartierung der Industrie- und Gewerbeflächen im Ruhrgebiet vor<sup>6</sup>. Das ruhrAGIS wird von der Business Metropole Ruhr verwaltet und dient neben Planungszwecken auch als Datenbank für den Vertrieb, die gegen Entgelt auch Dritte nutzen können. Für diesen Zweck wurde ein webbasiertes Tool entwickelt.

<sup>5</sup> Gelegentlich wird in dieser Arbeit auch der Begriff „Ruhrgebiet“ genutzt. Dies dient der Vereinfachung, wird hier aber synonym zum Gebiet der dem RVR angehörigen Kommunen verwendet.

<sup>6</sup> (Beckord & Iwer, 2012)

## 1.2 EINORDNUNG DIESER ARBEIT IN DIE ERSTELLUNG EINES MULTI-AGENTEN-BASIERTEN VERKEHRSMODELLS

Um die Nutzbarkeit disaggregierter Daten für das Modell „Multi Agent Transport Simulation“ (MATSim) sicherzustellen, ist dieses Projekt genauer zu betrachten. MATSim ist ein Java-basiertes Open-Source-Projekt, das von Kai Nagel (TU Berlin, zuvor ETH Zürich) gestartet wurde. Dabei handelt es sich um ein Tool, welches ein erweiterbares, agentenbasiertes Verkehrsmodell umsetzt<sup>7</sup>.

MATSim stellt in einem iterativen Verfahren die Rückkopplung zwischen den Entscheidungen der Agenten und deren Wirkungen auf das Verkehrsnetz dar. Dabei ist die Zahl der Iterationsschritte wählbar. In jedem Iterationsschritt wird nach dem in Abbildung 2 dargestellten „MATSim loop“ verfahren. Dabei wird von einer ursprünglichen Verkehrsnachfrage ausgegangen, die sich aus anfänglichen Tagesplänen der Agenten ergibt. Für einen bestimmten Anteil der Agenten werden dabei in jedem Iterationsschritt neue Tagespläne erzeugt. Diese werden aus Sicht der jeweiligen Agenten bewertet und gegebenenfalls gegenüber den bisherigen Plänen bevorzugt. So entsteht in jedem Schritt eine neue Menge an Tagesplänen und ein neuer, daraus entstehender Verkehrsfluss, der nach jedem Iterationsschritt analysiert werden kann<sup>8</sup>.

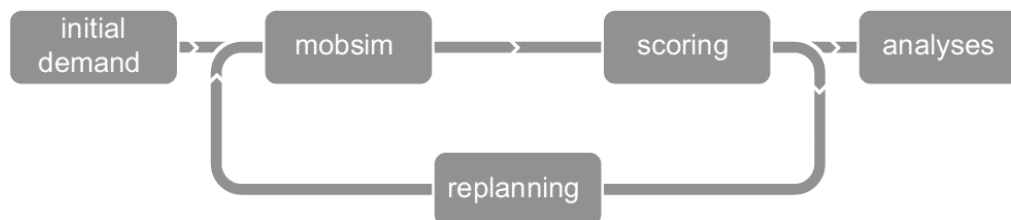


Abbildung 2: Der "MATSim loop" aus (Horni, Nagel, & Axhausen, 2016)

Ein in der Spieltheorie stark rezipierter Satz von Beckmann und McGuire<sup>9</sup> lautet, dass unter der Bedingung der festen Sendungsaufkommen zwischen Quellen und Zielen, sowie belastungsabhängigen Fahrzeitenfunktionen der Kanten des Transportnetzwerkes, ein Nash-Gleichgewicht existiert, das durch die genutzten Routen für die Zustellung der jeweiligen Sendungen beschrieben wird. Darüber hinaus wird dabei gezeigt, dass alle weiteren Nash-Gleichgewichte bezogen auf die Summe der individuellen Zielfunktionen gleichwertig sind<sup>10</sup>.

<sup>7</sup> (Horni, Nagel, & Axhausen, 2016)

<sup>8</sup> Ebenda

<sup>9</sup> (Beckmann & McGuire, 1956)

<sup>10</sup> Ebenda

Auf diesem Satz beruht die Grundidee des iterativen Vorgehens von MATSim – das Verfahren soll eine Rückkopplung zwischen Entscheidungen der Agenten und der Belastung des Verkehrsnetzes darstellen, liefert jedoch erst durch die Konvergenz des Verfahrens gegen ein Gleichgewicht nutzbare Informationen. So stellen Horni, Nagel und Axhausen<sup>11</sup> dar, dass die Iteration so lange durchgeführt werden sollte, bis sich die Bewertung des Ergebnisses „stabilisiert“<sup>12</sup>. Sie verdeutlichen dies mittels der Abbildung 3. Der von ihnen genutzte Begriff des „Stabilisierens“ entspricht der Cauchy-Eigenschaft der Folge der Iterationsschritt-ergebnisse bezogen auf ihre Bewertung mittels der Zielfunktion. Da sich die Zielfunktion des Gesamtmarktes hier als Summe der einzelnen Zielfunktionen der Agenten ergibt, entspricht auch der Zielraum dieser Funktion den reellen Zahlen, wodurch die Cauchy-Eigenschaft der betrachteten Folge wiederum ihrer Konvergenz entspricht<sup>13</sup>.

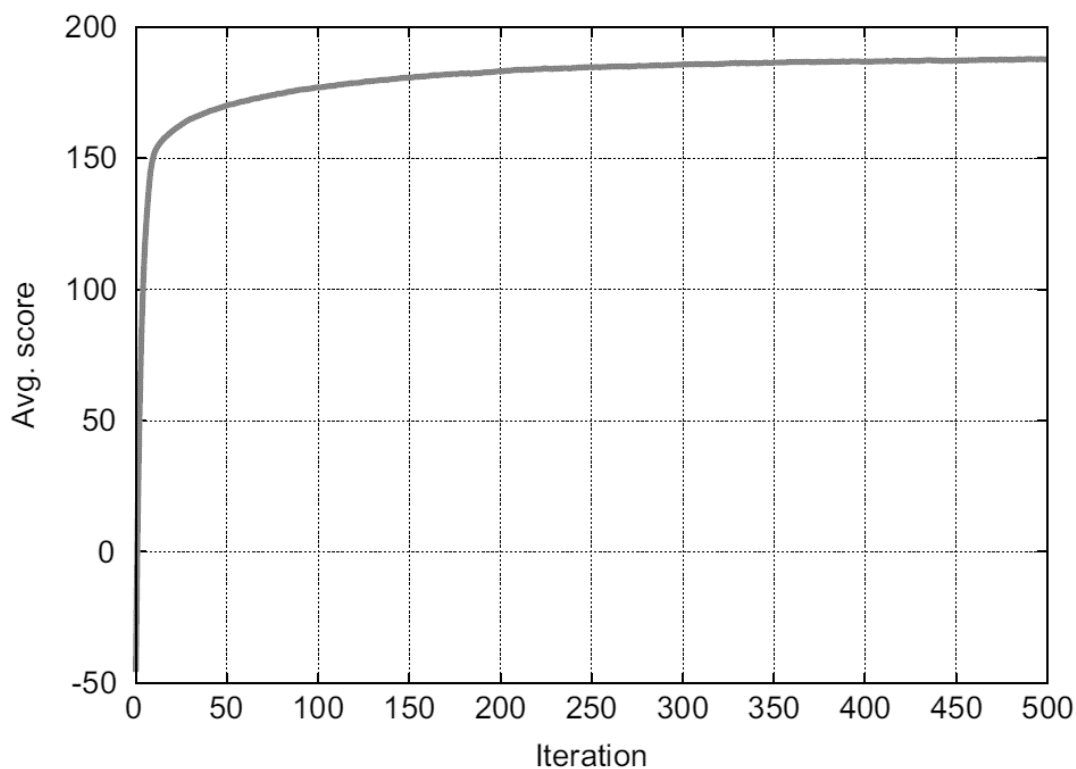


Abbildung 3: Typischer Verlauf des scores über die Iterationsschritte, Abbildung übernommen aus (Horni, Scott, Balmer, & Axhausen, 2009)

<sup>11</sup> (Horni, Nagel, & Axhausen, 2016)

<sup>12</sup> Ebenda

<sup>13</sup> (Forster, 2016)

Um den iterativen Optimierungsprozess zu beginnen, werden für MATSim mindestens folgende drei Dateien im Format der Extensible Markup Language (XML) benötigt<sup>14</sup>:

- Eine Konfigurationsdatei, in der wichtige Parameter für den Modelldurchlauf gesetzt werden und auf weitere Dateien verwiesen wird.
- Eine Netzwerkdatei, die das Verkehrsnetz näher bestimmt.
- Eine Verkehrsnachfragedatei<sup>15</sup>, die eine Liste der Agenten und ihrer ursprünglichen Tagespläne beinhaltet.

Diese Arbeit konzentriert sich auf die Aufbereitung existierender Daten zu einer durch MATSim nutzbaren Verkehrsnachfragedatei. Die Eigenschaften der weiteren Eingangsdateien (auch über die Netzwerk- und Konfigurationsdatei hinaus) bleiben Aufgaben für die weitere Entwicklung eines auf MATSim basierten Verkehrsmodells für das Ruhrgebiet.

Nachdem MATSim zuerst als Modell für den Personenverkehr entwickelt wurde, gab es verschiedene Ansätze für die Modellierung des Güterverkehrs mit MATSim<sup>16</sup>. Auf eine Darstellung der unterschiedlichen Ansätze wird hier verzichtet. Sie ist bei Zilske und Joubert kurz dargestellt<sup>17</sup>. Hier wird lediglich der von ihnen als „am durchdachtesten“<sup>18</sup> bezeichneten Modellansatz behandelt, der von Schröder, Zilske, Liedtke und Nagel vorgestellt wurde und in welchem die Spediteure<sup>19</sup> die Agenten des Modells darstellen<sup>20</sup>. Im Gegensatz zu Modellansätzen, welche die sendenden Unternehmen als Agenten abbilden, können so auch logistische Entscheidungen modelliert werden, die über ein reines Vehicle Routing Problem (VRP) hinausgehen. Beispielsweise können auch Bündelungspotenziale realisiert werden, die durch die Lösung eines mit Kapazitäten beschränkten Traveling Salesman Problem (TSP) entstehen.

Das Optimierungsproblem, das in jedem Iterationsschritt für jede Spedition gelöst werden muss, weicht in diesem Modell also insoweit von dem eigentlich in MATSim implementierten Optimierungsprozess ab, dass für jeden Agenten nicht nur ein einzelnes VRP, sondern eine Vielzahl von ihnen gelöst werden muss. Die Planungsalgorithmen hierfür sind in dem von

---

<sup>14</sup> Die gesamte Auflistung wurde übernommen aus: (Rieser, Horni, & Nagel, 2016)

<sup>15</sup> In (Rieser, Horni, & Nagel, 2016) wird diese Datei „population.xml“ genannt. Der Begriff orientiert sich an Überlegungen, die den Personenverkehr betreffen. Um Verwirrungen zu vermeiden wird hier von Beginn an eine Bezeichnung gewählt, die sowohl für den Personen- als auch für den Güterverkehr geeignet ist.

<sup>16</sup> (Zilske & Joubert, 2016)

<sup>17</sup> Ebenda

<sup>18</sup> Im Original: „most sophisticated“, Zitat: (Zilske & Joubert, 2016)

<sup>19</sup> Im Original: „carrier“

<sup>20</sup> (Schröder, Zilske, Liedtke, & Nagel, 2012)

MATSim unabhängigen Projekt jsprit<sup>21</sup> realisiert, das mit jedem Iterationsschritt in MATSim erneut aufgerufen wird<sup>22</sup>.

### 1.3 LÖSUNGSANSATZ

Multi-Agenten-basierte Verkehrsmodelle begreifen Verkehr als Resultat der Summe der Einzelentscheidungen der Agenten. Während für die Personenverkehrsmodellierung sehr naheliegend ist, dass die einzelnen Individuen diese Agenten sind, stellt sich für den Güterverkehr die Frage, wer die relevanten Entscheidungen trifft. Oft greifen hier die Entscheidungen verschiedener Agierender<sup>23</sup> ineinander, die zusätzlich mehrstufig stattfinden. Unterschiedliche Agierende, die die Quellen und Senken darstellen (diese sind i.d.R. Unternehmen) entscheiden in einem Verhandlungsprozess gemeinsam sowohl über die qualitative, als auch die quantitative Ausprägung der Sendungen zwischen ihren Unternehmensstandorten (Betriebsstätten) und beauftragen entweder eine Spedition mit der Lieferung, oder eine der involvierten Parteien führt den Transport selbst durch. Die mit dem Transportvorgang betraute Organisation optimiert Transport, Umschlag und Lagerung (TUL) unter Berücksichtigung sämtlicher Lieferaufträge in ihrem Zuständigkeitsbereich. Für den Umschlag steht ihr dabei eine Menge an Depots zur Verfügung. Die Zuordnung der Lieferaufträge zu Speditionen oder anderen Agenten ist deshalb entscheidend für die Ergebnisse der Modellierung. Gegebenenfalls finden alle diese Entscheidungsprozesse aber auch im Sinne des Supply Chain Management (SCM) simultan und zentral gesteuert statt. In jedem Fall ist festzustellen, dass die unvollständige Diffusion (im Sinne der Ausbreitung einer Innovation auf dem Markt) des SCM dazu führt, dass logistisches Verhalten selbst bei ähnlichen Strukturmerkmalen stark variiert. Dies betrifft aber nicht nur den Inhalt der Entscheidungen selbst, sondern auch die Strukturen, in denen sie getroffen werden<sup>24</sup>.

Um eine spätere Anpassung einzelner Disaggregationsschritte zu ermöglichen, wird hier ein modulares Vorgehen gewählt, das sich an einzelnen Schritten der Disaggregation orientiert. Der Verfahrensablauf und insbesondere die Abgrenzung der drei Module wird dabei in Abbildung 4 skizziert.

---

<sup>21</sup> Mehr Informationen dazu unter: <https://jsprit.github.io/>

<sup>22</sup> (Zilske & Joubert, 2016)

<sup>23</sup> Hier wird von Agierenden und nicht von Agenten gesprochen, um zu verdeutlichen, dass die realen Entscheidungstragenden und nicht die Agenten des Verkehrsmodells gemeint sind. I.d.R. wird es mehr Agierende als Agenten geben, da einige von ihnen im Rahmen der Vereinfachung durch das Modell keine Berücksichtigung finden.

<sup>24</sup> (Voß, 2014)

Modul 1 ordnet den einzelnen Betriebsstätten Quell- und Zielpotenziale für die einzelnen Gütergruppen zu. Diese Quell- und Zielpotenziale sind auf die Verkehrszellen gerichtet. Sie sind also auf einer Seite durch eine Betriebsstätte, auf der anderen durch eine Verkehrszelle, durch eine Gütergruppe und ein Potenzial in Tonnen pro Jahr beschrieben.

Modul 2 leitet aus diesen Quell- und Zielpotenzialen die Lieferbeziehungen zwischen den Betriebsstätten her. Sie sind also Betriebsstätten auf beiden Seiten der Transportbeziehung, sowie durch eine Gütergruppe und ein Transportaufkommen in Tonnen pro Jahr bestimmt. Dabei kann eine der beiden Betriebsstätten auch eine künstliche Betriebsstätte sein, die als Masterbetriebsstätte für eine Verkehrszelle außerhalb des Untersuchungsgebiets auftritt. Sie repräsentiert die Summe des Verhaltens der in der Verkehrszelle ansässigen Betriebe.

Im Modul 3 werden schließlich logistische Entscheidungen modelliert. Dafür werden logistische Strukturen und logistische Verhaltensparameter betrachtet, um anhand dieser die Lieferbeziehungen zwischen den Betriebsstätten zu Tagesplänen einzelner Fahrzeuge umzurechnen. Diese Tagespläne fungieren dann wiederum als Eingangsdaten für MATSim und das Modul jsprit.

Mit dem entwickelten Tool werden gangbare Verfahren zur Erfüllung der Zielsetzungen des Modul 1 und 2 implementiert. Diese Arbeit wird darüber hinaus alternative Ansätze zum Lösen der Probleme des Modul 2 darstellen (Kapitel 4.3), erste Überlegungen für Modul 3 zusammenfassen und offene Fragen aufzeigen (Kapitel 5).

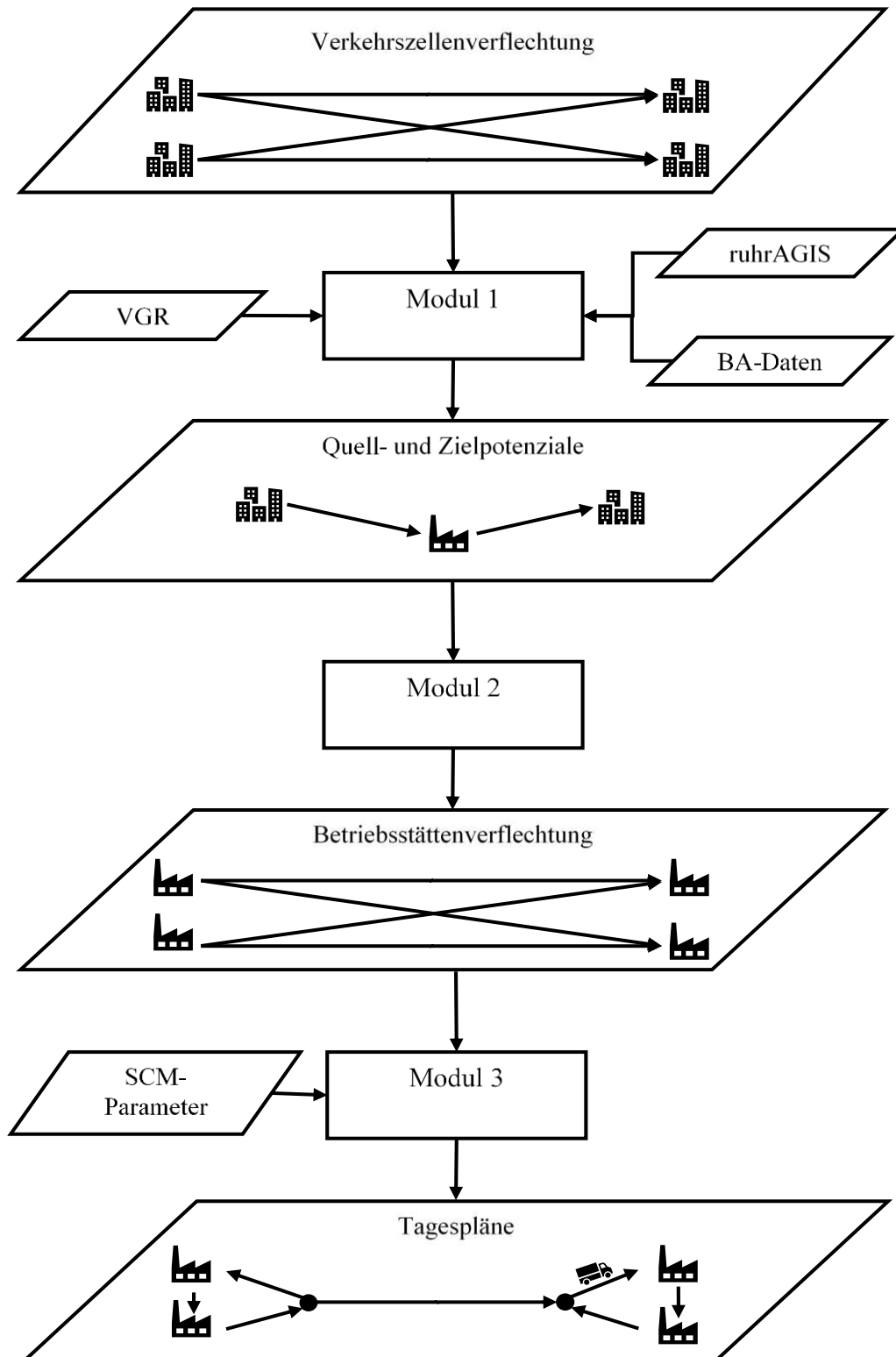


Abbildung 4: Ablauf und Modularisierung der Disaggregation, eigene Darstellung

## 2 NOMENKLATUREN UND EINGANGSDATEN

### 2.1 NOMENKLATUREN

#### 2.1.1 Nomenklaturen für Wirtschaftszweige und Transportgüter

Um Informationen über Eigenschaften und Agieren von Unternehmen übersichtlich zur Verfügung zu stellen, bedarf es Mitteln der Statistik, insbesondere der Gruppierung von Unternehmen zu Wirtschaftszweigen, in denen Unternehmen mit bestimmten Gemeinsamkeiten zusammengefasst werden. Um die Vergleichbarkeit verschiedener Statistiken zu gewährleisten, gibt es Bestrebungen die Klassifikation dieser Wirtschaftszweige weitgehend zu vereinheitlichen<sup>25</sup>. Das daraus entstandene System der Wirtschaftsklassifikation ist in Abbildung 5 dargestellt<sup>26</sup>.

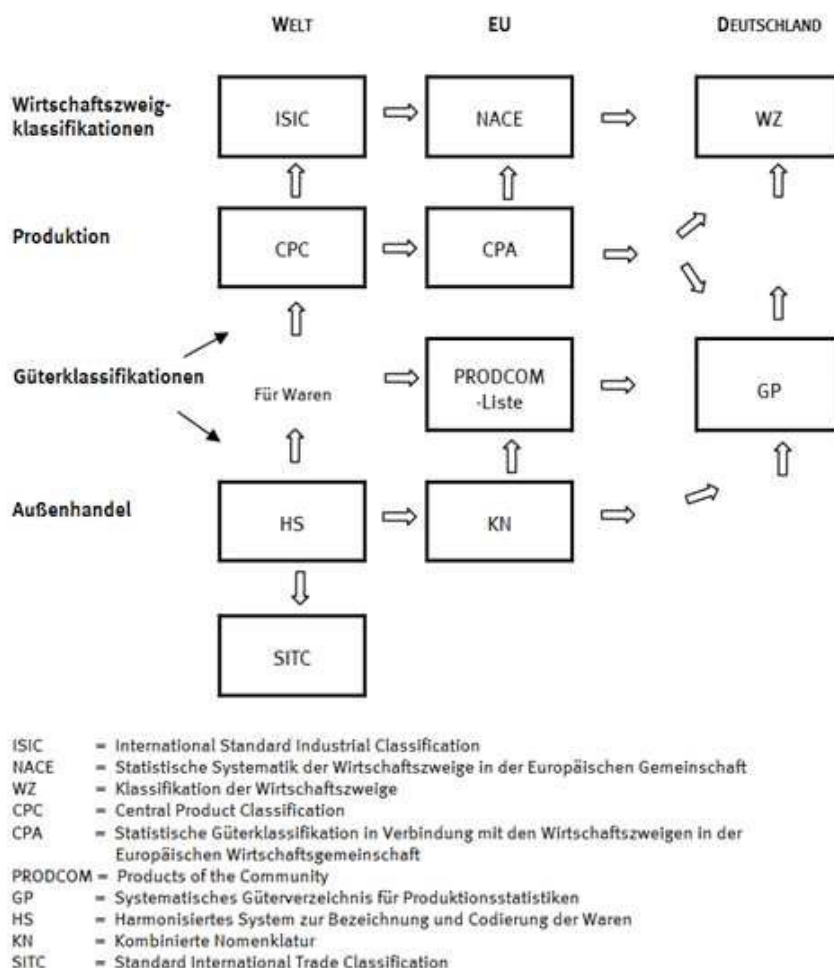


Abbildung 5: Internationales System der Wirtschaftsklassifikation, aus (Statistisches Bundesamt, 2008b)

<sup>25</sup> Diese Bestrebungen werden u.a. in (Statistisches Bundesamt, 2008b, S. 7ff) dargestellt.

<sup>26</sup> (Statistisches Bundesamt, 2008b)



### **2.1.1.1 Klassifikation der Wirtschaftszweige – WZ 2008**

Die WZ 2008 dient dem Statistischen Bundesamt zur Klassifikation wirtschaftlicher Tätigkeit in Wirtschaftszweige. Mit ihr werden die für EU-Staaten verbindliche 2. Revision (Rev.) der statistischen Systematik der Wirtschaftszweige in der europäischen Gemeinschaft (französisch: Nomenclature statistique des activités économiques dans la Communauté européenne, kurz: NACE) und die begleitenden Beschlüsse des zuständigen Ausschusses beim statistischen Amt der Europäischen Union (Eurostat) umgesetzt. Die NACE beruht wiederum auf der International Standard Industrial Classification (ISIC) Rev. 4<sup>27</sup>.

Das System der Klassifikation der WZ setzt bei den Produkten und Dienstleistungen an, die durch das Erbringen einer wirtschaftlichen Aktivität produziert bzw. erbracht werden<sup>28</sup>. Grundsätzlich wären auch andere Ansätze denkbar. Beispielsweise kann eine Klassifikation wirtschaftlicher Tätigkeiten auch auf der Ebene des Individuums vorgenommen werden und anhand der Eigentumsverhältnisse der genutzten Produktionsmittel erfolgen<sup>29</sup>. Die Klassifikation über die erzeugten Produkte und erbrachten Dienstleistungen, und damit eine Nutzung der WZ 2008, hat auch für die Zielsetzung dieser Arbeit zwei entscheidende Vorteile. Erstens ist dies die Datenverfügbarkeit, da viele Statistiken auf dem internationalen System von ISIC, NACE und WZ beruhen. Zweitens ist für die Verkehrsmodellierung gerade die Beschaffenheit von versendeten und empfangenen Gütern entscheidend. Eine Klassifikation, wie von der WZ 2008 vorgenommen, ist also im Wesentlichen für die hier behandelte Fragestellung nicht nur aus rein pragmatischen Gründen der Datenverfügbarkeit zu bevorzugen, sondern auch sachgerecht.

Die Klassifikation erfolgt in der WZ 2008 auf fünf verschiedenen Ebenen: Abschnitte, Abteilungen, Gruppen, Klassen und Unterklassen. Jeder WZ-Abschnitt untergliedert sich in Abteilungen, die jeweils Teilmengen der übergeordneten Abschnitte darstellen. Gleiches gilt für das Verhältnis von Abteilungen zu Gruppen, von Gruppen zu Klassen, sowie von Klassen zu Unterklassen. Lediglich mit der Einführung der Unterklassen unterscheidet sich die WZ 2008 von der NACE Rev. 2. Die Anzahl der Elemente einer Gliederungselemente ist ein Indikator für den Grad der Differenzierung einer Nomenklatur. In Tabelle 1 ist dies für ICIC Rev. 4, NACE Rev. 2 und WZ 2008 dargestellt<sup>30</sup>.

---

<sup>27</sup> (Statistisches Bundesamt, 2008b)

<sup>28</sup> Ebenda

<sup>29</sup> Vgl. hierzu (Marx, 1867)

<sup>30</sup> (Statistisches Bundesamt, 2008b, S. 17f)

Gliederungsebene	ISIC Rev. 4	NACE Rev. 2	WZ 2008	Kode
Abschnitte	21	21	21	A-U
Abteilungen	88	88	88	01-99
Gruppen	238	272	272	01.1-99.0
Klassen	419	615	615	01.11-99.00
Unterklassen	–	–	839	01.11.0-99.00.0

Tabelle 1: Aufbau der ISIC Rev. 4, NACE Rev. 2 und WZ 2008, sowie Kodierung der WZ-Gliederungselemente, Darstellung übernommen aus: (Statistisches Bundesamt, 2008b, S. 18)

### **2.1.1.2 Statistische Güterklassifikation in Verbindung mit den Wirtschaftszweigen in der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft – CPA**

Die Classification of products by activity (CPA) 2008 definiert Güter über die wirtschaftliche Aktivität, aus welcher sie hervorgegangen sind und umfasst dabei den Output des produzierenden Gewerbes, und auch Dienstleistungen. Mit der Anknüpfung der CPA-Definitionen an wirtschaftliche Aktivitäten bedient sich die CPA 2008 der Systematik der NACE 2008. Die Orientierung an wirtschaftlichen Aktivitäten führt dazu, dass Güter unterschiedlicher physikalischer Eigenschaften zusammengefasst werden, was Aussagen für das Transportwesen erschwert, da jene für diesen Bereich von besonderer Relevanz sind<sup>31</sup>.

### **2.1.1.3 Einheitliches Güterverzeichnis für die Verkehrsstatistik – NST 2007**

Das Einheitliche Güterverzeichnis für die Verkehrsstatistik (französisch: Nomenclature uniforme des marchandises pour les statistiques de transport, kurz: NST) 2007 wurde auf EU-Ebene entwickelt und ist für die Mitgliedsstaaten der EU für Lieferungen an Eurostat auf Ebene der Güterabteilungen verbindlich. Sie basiert auf der CPA und enthält 20 Güterabteilungen. Sie wurde im 7. November 2007 durch die Verordnung (EG) Nr.1304/2007 der Kommission eingeführt. Mit ihr wurde die NST/R<sup>32</sup> von 1969 weiterentwickelt und an die CPA angepasst. In dieser musste zuvor eine Zwischenebene eingeführt werden, um der Anforderung, die die CPA vorgab, zu genügen. Die Anzahl der jeweiligen Gliederungselemente in NST/R und NST2007 kann Tabelle 2 entnommen werden. Die Klassifikation nach NST 2007 gliedert sich in Güterabteilungen als erste Ebene und Gütergruppen als zweite Ebene<sup>33</sup>. Die Bezeichnungen der Abteilungen sind in Tabelle 3 des folgenden Kapitels 2.1.1.4 aufgeführt.

<sup>31</sup> (Eurostat, 2017, S. B-6f)

<sup>32</sup> R steht hier für revised

<sup>33</sup> (Statistisches Bundesamt, 2008a, S. 3ff)

	NST/R	NST-2007
1. Ebene	10	20
(Zwischenebene für Lieferungen an Eurostat)	24	x
2. Ebene	52	81
3. Ebene	175	-

*Tabelle 2: Anzahl der Gliederungselemente der NST/R und NST 2007, übernommen aus (Statistisches Bundesamt, 2008a)*

#### **2.1.1.4 Gütergruppen nach BVWP**

Für die Erstellung des BVWP wird eine Gütergruppendifferenzierung verwendet, deren Einteilung sich an den Güterabteilungen der NST2007 orientiert. An einigen Stellen sind die Gütergruppen (GG) des BVWP jedoch detaillierter als die Güterabteilungen der NST2007. Dies gilt für die Güterabteilungen „Kohle, rohes Erdöl und Erdgas“, „Erze, Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse; Torf; Uran und Thoriumerze“, sowie „Kokereierzeugnisse und Mineralölerzeugnisse“. Die aus der Kurzbeschreibung der Verflechtungsprognose des BVWP übernommene Tabelle 3 führt alle GG auf und ordnet sie den jeweiligen Güterabteilungen und -gruppen der NST2007 zu.

Gütergruppe	Gütergruppen-Bezeichnung	NST2007 Güterabteilung	Bezeichnung der NST200 Güterabteilung	NST2007 Gütergruppe
10	Erzeugnisse der Landwirtschaft, Jagd und Forstwirtschaft; Fische und Fischereierzeugnisse	01	Erzeugnisse der Landwirtschaft, Jagd und Forstwirtschaft; Fische und Fischereierzeugnisse	01.1 - 01.B
21	Steinkohle	02	Kohle; rohes Erdöl und Erdgas	Teil von 02.1
22	Braunkohle			Teil von 02.1
23	Erdöl und Erdgas			02.2 - 02.3
31	Erze	03	Erze, Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse; Torf; Uran- und Thoriumerze	03.1 - 03.2
32	Düngemittel			03.3 - 03.4
33	Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse			03.5 - 03.6
40	Nahrungs- und Genussmittel	04	Nahrungs- und Genussmittel	04.1 - 04.9
50	Textilien und Bekleidung; Leder und Lederwaren	05	Textilien und Bekleidung; Leder und Lederwaren	05.1 - 05.3
60	Holz sowie Holz-, Kork- und Flechtwaren (ohne Rohholz und Möbel); Papier, Pappe und Waren daraus; Verlags- und Druckerzeugnisse, bespielte Ton-, Bild- und Datenträger	06	Holz sowie Holz-, Kork- und Flechtwaren (ohne Rohholz und Möbel); Papier, Pappe und Waren daraus; Verlags- und Druckerzeugnisse, bespielte Ton-, Bild- und Datenträger	06.1 - 06.3
71	Koks	07	Kokereierzeugnisse und Mineralölerzeugnisse	07.1
72	Mineralölerzeugnisse			07.2 - 07.4
80	Chemische Erzeugnisse und Chemiefasern; Gummi- und Kunststoffwaren; Spalt- und Brutstoffe	08	Chemische Erzeugnisse und Chemiefasern; Gummi- und Kunststoffwaren; Spalt- und Brutstoffe	08.1 - 08.7
90	Sonstige Mineralerzeugnisse	09	Sonstige Mineralerzeugnisse	09.1 - 09.3
100	Metalle und Halbzeug daraus; Metallerzeugnisse, ohne Maschinen und Geräte	10	Metalle und Halbzeug daraus; Metallerzeugnisse, ohne Maschinen und Geräte	10.1 - 10.5
110	Maschinen und Ausrüstungen; Büromaschinen, Datenverarbeitungsgeräte und -einrichtungen; Geräte der Elektrizitätserzeugung und -verteilung u. Ä.; Nachrichtentechnik, Rundfunk- und Fernsehgeräte sowie elektronische Bauelemente; Medizin-, Mess-, steuerungs- und regelungstechnische Erzeugnisse; optische Erzeugnisse; Uhren	11	Maschinen und Ausrüstungen; Büromaschinen, Datenverarbeitungsgeräte und -einrichtungen; Geräte der Elektrizitätserzeugung und -verteilung u. Ä.; Nachrichtentechnik, Rundfunk- und Fernsehgeräte sowie elektronische Bauelemente; Medizin-, Mess-, steuerungs- und regelungstechnische Erzeugnisse; optische Erzeugnisse; Uhren	11.1 - 11.8
120	Fahrzeuge	12	Fahrzeuge	12.1 - 12.2
130	Möbel, Schmuck, Musikinstrumente, Sportgeräte, Spielwaren und sonstige Erzeugnisse	13	Möbel, Schmuck, Musikinstrumente, Sportgeräte, Spielwaren und sonstige Erzeugnisse	13.1 - 13.2
140	Sekundärrohstoffe; kommunale Abfälle und sonstige Abfälle	14	Sekundärrohstoffe; kommunale Abfälle und sonstige Abfälle	14.1 - 14.2
150	Post, Pakete	15	Post, Pakete	15.1 - 15.2
160	Geräte und Material für die Güterbeförderung	16	Geräte und Material für die Güterbeförderung	16.1 - 16.2
170	Im Rahmen von privaten und gewerblichen Umzügen beförderte Güter; von den Fahrgästen getrennt befördertes Gepäck; zum Zwecke der Reparatur bewegte Fahrzeuge; sonstige nichtmarktbestimmte Güter	17	Im Rahmen von privaten und gewerblichen Umzügen beförderte Güter; von den Fahrgästen getrennt befördertes Gepäck; zum Zwecke der Reparatur bewegte Fahrzeuge; sonstige nichtmarktbestimmte Güter	17.1 - 17.5
180	Sammelgut: eine Mischung verschiedener Arten von Gütern, die zusammen befördert werden	18	Sammelgut: eine Mischung verschiedener Arten von Gütern, die zusammen befördert werden	18.0
190	Nicht identifizierbare Güter: Güter, die sich aus irgendeinem Grund nicht genau bestimmen lassen und daher nicht den Gruppen 01-16 zugeordnet werden können	19	Nicht identifizierbare Güter: Güter, die sich aus irgendeinem Grund nicht genau bestimmen lassen und daher nicht den Gruppen 01-16 zugeordnet werden können	19.1 - 19.2
200	Sonstige Güter	20	Sonstige Güter	20.0

Tabelle 3: Zusammenhang Gütergruppen des BVWP und NST2007

### 2.1.2 Klassifikation räumlicher Einheiten

Um statistische Aussagen über Größen mit räumlichem Bezug treffen zu können und eine Vergleichbarkeit verschiedener Statistiken zu gewährleisten, bedarf es einer möglichst einheitlichen Zusammenfassung von geografischen Räumen als statistische Einheiten. Hierbei ist eine Orientierung an administrativen Einheiten des jeweiligen Staates sinnvoll, um eine weitgehende Datenverfügbarkeit zu gewährleisten, da die Gebietskörperschaften in der

Regel Statistiken auf ihr eigenes Gebiet beziehen. Diese Ansprüche sollen auf europäischer Ebene durch die Nomenclature des unités territoriales statistiques (NUTS) und die Local Administrative Units (LAU) realisiert werden. Beide definieren unterschiedliche Gliederungsebenen, die jeweils einen hohen oder niedrigen Aggregationsgrad widerspiegeln. Die LAU unterteilt die am wenigsten aggregierte NUTS-Ebene (NUTS3) weiter. Auf Grund der Unterschiede der administrativen Struktur der EU-Mitgliedsstaaten und der Gliedstaaten in föderalen Systemen, entsprechen die verschiedenen Ebenen dieser Nomenklaturen in verschiedenen Regionen Europas unterschiedlichen administrativen Einheiten. In Nordrhein-Westfalen (NRW) gilt die in Tabelle 4 dargelegte Zuordnung. Dabei entsprechen in NRW die LAU1 und LAU2-Ebene einander, da keine Verwaltungsgemeinschaft unterhalb der Kreisebene besteht, welche ansonsten die LAU1-Ebene bilden würde<sup>34</sup>. Die Zuordnung der LAU1-Elemente im Ruhrgebiet zu den NUTS3-Elementen, sowie die jeweiligen Codierungen und die Verkehrszellennummer im BVWP-Verkehrsmodell ist in Tabelle 5 dargestellt.

NUTS/LAU-Ebene	Administrative Einheit
NUTS 0	Staat (Bundesrepublik Deutschland)
NUTS 1	Bundesland (NRW)
NUTS 2	Regierungsbezirk
NUTS 3	Landkreise und kreisfreie Städte
LAU 1	Gemeinden (da in NRW keine Verwaltungsgemeinschaften unterhalb der Kreisebene existieren)
LAU 2	Gemeinden

*Tabelle 4: Zuordnung der LAU und NUTS-Ebenen zu administrativen Einheiten für NRW*

<sup>34</sup> (Eurostat, 2018)

Zellnr	Zellname	NUTS3-Code	LAU1-Code	Kommune
5112	Duisburg Kreisfreie Stadt	DEA12	5112000	Duisburg, Stadt
5113	Essen Kreisfreie Stadt	DEA13	5113000	Essen, Stadt
5117	Mülheim an der Ruhr Kreisfreie Stadt	DEA16	5117000	Mülheim an der Ruhr, Stadt
5119	Oberhausen Kreisfreie Stadt	DEA17	5119000	Oberhausen, Stadt
5170	Wesel Kreis	DEA1F	5170004	Alpen
5170	Wesel Kreis	DEA1F	5170008	Dinslaken, Stadt
5170	Wesel Kreis	DEA1F	5170012	Haminkeln, Stadt
5170	Wesel Kreis	DEA1F	5170016	Hünxe
5170	Wesel Kreis	DEA1F	5170020	Kamp-Lintfort, Stadt
5170	Wesel Kreis	DEA1F	5170024	Moers, Stadt
5170	Wesel Kreis	DEA1F	5170028	Neukirchen-Vluyn, Stadt
5170	Wesel Kreis	DEA1F	5170032	Rheinberg, Stadt
5170	Wesel Kreis	DEA1F	5170036	Schermbek
5170	Wesel Kreis	DEA1F	5170040	Sonsbeck
5170	Wesel Kreis	DEA1F	5170044	Voerde (Niederrhein), Stadt
5170	Wesel Kreis	DEA1F	5170048	Wesel, Stadt
5170	Wesel Kreis	DEA1F	5170052	Xanten, Stadt
5512	Bottrop Kreisfreie Stadt	DEA31	5512000	Bottrop, Stadt
5513	Gelsenkirchen Kreisfreie Stadt	DEA32	5513000	Gelsenkirchen, Stadt
5562	Recklinghausen Kreis	DEA36	5562004	Castrop-Rauxel, Stadt
5562	Recklinghausen Kreis	DEA36	5562008	Datteln, Stadt
5562	Recklinghausen Kreis	DEA36	5562012	Dorsten, Stadt
5562	Recklinghausen Kreis	DEA36	5562014	Gladbeck, Stadt
5562	Recklinghausen Kreis	DEA36	5562016	Haltern am See, Stadt
5562	Recklinghausen Kreis	DEA36	5562020	Herten, Stadt
5562	Recklinghausen Kreis	DEA36	5562024	Marl, Stadt
5562	Recklinghausen Kreis	DEA36	5562028	Oer-Erkenschwick, Stadt
5562	Recklinghausen Kreis	DEA36	5562032	Recklinghausen, Stadt
5562	Recklinghausen Kreis	DEA36	5562036	Waltrup, Stadt
5911	Bochum Kreisfreie Stadt	DEA51	5911000	Bochum, Stadt
5913	Dortmund Kreisfreie Stadt	DEA52	5913000	Dortmund, Stadt
5914	Hagen Kreisfreie Stadt	DEA53	5914000	Hagen, Stadt
5915	Hamm Kreisfreie Stadt	DEA54	5915000	Hamm, Stadt
5916	Herne Kreisfreie Stadt	DEA55	5916000	Herne, Stadt
5954	Ennepe-Ruhr-Kreis	DEA56	5954004	Breckerfeld, Stadt
5954	Ennepe-Ruhr-Kreis	DEA56	5954008	Ennepetal, Stadt
5954	Ennepe-Ruhr-Kreis	DEA56	5954012	Gevelsberg, Stadt
5954	Ennepe-Ruhr-Kreis	DEA56	5954016	Hattingen, Stadt
5954	Ennepe-Ruhr-Kreis	DEA56	5954020	Herdecke, Stadt
5954	Ennepe-Ruhr-Kreis	DEA56	5954024	Schwelm, Stadt
5954	Ennepe-Ruhr-Kreis	DEA56	5954028	Sprockhövel, Stadt
5954	Ennepe-Ruhr-Kreis	DEA56	5954032	Wetter (Ruhr), Stadt
5954	Ennepe-Ruhr-Kreis	DEA56	5954036	Witten, Stadt
5978	Unna Kreis	DEA5C	5978004	Bergkamen, Stadt
5978	Unna Kreis	DEA5C	5978008	Bönen
5978	Unna Kreis	DEA5C	5978012	Fröndenberg/Ruhr, Stadt
5978	Unna Kreis	DEA5C	5978016	Holzwickede
5978	Unna Kreis	DEA5C	5978020	Kamen, Stadt
5978	Unna Kreis	DEA5C	5978024	Lünen, Stadt
5978	Unna Kreis	DEA5C	5978028	Schwerte, Stadt
5978	Unna Kreis	DEA5C	5978032	Selm, Stadt
5978	Unna Kreis	DEA5C	5978036	Unna, Stadt
5978	Unna Kreis	DEA5C	5978040	Werne, Stadt

Tabelle 5: Zuordnung LAU1 zu NUTS3 für das Ruhrgebiet, inkl. Zellnummer. der NUTS3-Elemente im BVWP-Verkehrsmodell

## 2.2 EINGANGSDATEN

### 2.2.1 Die Verflechtungsdaten des BVWP für den Wirtschaftsverkehr

Die in dieser Arbeit genutzten Verkehrsverflechtungsdaten sind im Rahmen der Aufstellung des BVWP 2030 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und Digitale Infrastruktur (BMVI) in dem Projekt „Verkehrsverflechtungsprognose 2030, Los 3: Erstellung der Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen unter Berücksichtigung des Luftverkehrs“ mit der FE-Nr. 96.0981/2011 erarbeitet worden. Die Verflechtungsdaten liegen getrennt für den Analysezustand, der sich auf das Jahr 2010 bezieht, und als Prognoseverflechtung, die sich auf das Jahr 2030 bezieht, vor<sup>35</sup>. Die Daten liegen als semikolon-getrennte CSV-Dateien vor. Die Spaltenköpfe, eine kurze Beschreibung und die Merkmalsausprägung sind der Tabelle 6 zu entnehmen.

Die Werte der Spalten eins bis 15 dienen hier als Schlüssel des jeweiligen Datensatzes. In ihrer jeweiligen Kombination sind sie also eindeutig und beschreiben eine Gruppe von Transportvorgängen. Diese Gruppen von Transportvorgängen, die den Datensätzen der Tabelle entsprechen, werden in dieser Arbeit als Transportketten bezeichnet.

Die Spalten Quellzelle und Zielzelle, sowie QuellzelleHL und ZielzelleHL greifen auf eine Verkehrszelleneinteilung zurück, die darauf beruht, dass das Untersuchungsgebiet des BVWP 2030 das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland ist. Innerhalb des Untersuchungsgebiets entsprechen die Verkehrszellen den NUTS3-Regionen. Außerhalb Deutschlands ist die Größe der Verkehrszellen abhängig von der Entfernung zum Untersuchungsgebiet des BVWP. Dabei sind die Verkehrszellen bei einer höheren Entfernung zum Untersuchungsgebiet stärker aggregiert. Die für die Entwicklung des BVWP relevanten Seehäfen werden abweichend davon als eigene Verkehrszellen begriffen<sup>36</sup>. Die Kennziffern der Verkehrszellen entsprechen dabei der jeweiligen Kennung zugehörigen NUTS-Region.

In den Spalten 13 bis 15 werden die Verkehrsarten „konventioneller Verkehr“ und „KV/RoLa“<sup>37</sup> für den Vor-, Haupt- und Nachlauf unterschieden. Auch eine Nichtbesetzung der jeweiligen Spalte ist hier zulässig<sup>38</sup>.

Einige Transportketten bilden Transportbeziehungen ab, welche einen oder gar zwei Umschläge umfassen. Dieser Umschlag zwischen Vor- und Hauptlauf bzw. Haupt- und Nach-

---

<sup>35</sup> (BVU, Intraplan Consult, Ingenieurgruppe IVV, Planco Consulting, 2014)

<sup>36</sup> (BVU, Intraplan Consult, Ingenieurgruppe IVV, Planco Consulting, 2014, S. 4)

<sup>37</sup> Anmerkung: Kombiniertes Verkehr/ „rollende Landstraße“

<sup>38</sup> Ebenda

lauf findet an insgesamt 273 Terminals statt. An welchen Terminals ein Umschlag stattfindet ist in den Spalten Quellterminal und Zielterminal hinterlegt. Die Spalten sieben bis neun geben die jeweiligen Modi von Vor-, Haupt- und Nachlauf wieder<sup>39</sup>.

Spalte	Spaltenkopf	Beschreibung	Merkmalsausprägung
1	Quellzelle	Quellzelle der Verkehrsrelation	siehe verkehrszellen.csv
2	Zielzelle	Zielzelle der Verkehrsrelation	siehe verkehrszellen.csv
3	QuellzelleHL	Quellzelle eines Hauptlaufes per Bahn oder Binnenschiff im Rahmen einer intermodalen Kette (i.d.R. Zelle des Terminalstandortes; kann wenn Terminal in Seehafenzelle abweichen)	siehe verkehrszellen.csv
4	ZielzelleHL	Zielzelle eines Hauptlaufes per Bahn oder Binnenschiff im Rahmen einer intermodalen Kette (i.d.R. Zelle des Terminalstandortes; kann wenn Terminal in Seehafenzelle abweichen)	siehe verkehrszellen.csv
5	Quellterminal	Quellterminalnummer im KV/Container und RoLa Verkehr	siehe terminalliste.csv
6	Zielterminal	Quellterminalnummer im KV/Container und RoLa Verkehr	siehe terminalliste.csv
7	ModeVL	Verkehrsträger im Rahmen eines intermodalen Vorlaufs	0=nicht besetzt; 1=Schiene; 2=Straße; 3=Binnenschiff
8	ModeHL	Verkehrsträger im Rahmen eines Hauptlaufes (Verkehre ohne Vor- und Nachlauf sind immer Hauptlaufverkehre)	1=Schiene; 2=Straße; 3=Binnenschiff
9	ModeNL	Verkehrsträger im Rahmen eines intermodalen Nachlaufs	0=nicht besetzt; 1=Schiene; 2=Straße; 3=Binnenschiff
10	GütergruppeVL	Gütergruppe im Rahmen eines intermodalen Vorlaufs	0=nicht besetzt; sonst siehe nst2007.csv
11	GütergruppeHL	Gütergruppe im Hauptlauf	0=nicht besetzt; sonst siehe nst2007.csv
12	GütergruppeNL	Gütergruppe im Rahmen eines intermodalen Nachlaufs	0=nicht besetzt; sonst siehe nst2007.csv
13	VerkArtVL	Verkehrsart im Rahmen eines intermodalen Vorlaufs	0=nicht besetzt; 1=konventioneller Verkehr; 2=KV/Container/RoLa
14	VerkArtHL	Verkehrsart im Hauptlauf	1=konventioneller Verkehr; 2=KV/Container/RoLa
15	VerkArtNL	Verkehrsart im Rahmen eines intermodalen Nachlaufs	0=nicht besetzt; 1=konventioneller Verkehr; 2=KV/Container/RoLa
16	TonnenVL	beförderte Tonnen im Vorlauf	tonnen
17	TonnenHL	beförderte Tonnen im Hauptlauf	tonnen
18	TonnenNL	beförderte Tonnen im Nachlauf	tonnen
19	TkmVL	inländische Transportleistung im Vorlauf in tkm	Tonnenkilometer
20	TkmHL	inländische Transportleistung im Hauptlauf in tkm	Tonnenkilometer
21	TkmNL	inländische Transportleistung im Nachlauf in tkm	Tonnenkilometer

Tabelle 6: Spalteninformationen der Daten der Verflechtungsprognose der BVWP, Darstellung übernommen aus (BVU, Intraplan Consult, Ingenieurgruppe IVV, Planco Consulting, 2014)

Für die hier vorgenommene Betrachtung ist besonders die Angabe des jeweiligen Güterverkehrsaufkommens in Tonnen von Bedeutung. Auch diese Angabe wird in den Spalten 16 bis 18 getrennt für den Vor-, Haupt- und Nachlauf angegeben. Eine einfache Excel-Auswertung der Daten ergibt, dass lediglich für 1.536 der 237.365 Transportketten, deren Quell- oder Zielzelle innerhalb des Gebiets des RVR liegen, die Beträge der jeweiligen Güterverkehrsaufkommen im Vor- oder Nachlauf von denen des Hauptlaufes abweichen, solange jene nicht gleich Null sind. Das entspricht einem Anteil von rund 0,6% der Transportketten

<sup>39</sup> Ebenda



mit direktem Bezug zum Ruhrgebiet. Alle davon betreffenden Transportketten sind im Hauptlauf der GG 190 (nicht identifizierbare Güter) zuzuordnen.

### **2.2.2 ruhrAGIS**

Die Business Metropole Ruhr (BMR) bezeichnet ihre Datenbank ruhrAGIS als „digitalen Gewerbeflächenatlas des Ruhrgebiets“<sup>40</sup>. Sie ordnet den gewerblichen und industriellen Flächen des Flächennutzungsplans (FNP) unter anderem ihre WZ-Kennung nach der WZ 2008 zu<sup>41</sup>. Die Daten umfassen auch Namen und Adressen der Unternehmen, bilden Leerstand und Brachflächen ab<sup>42</sup> und liegen auf Ebene der Betriebsstätten vor<sup>43</sup>. Der Datenbestand wird dabei fortlaufend aktualisiert<sup>44</sup>. Für spätere Analysen muss deshalb ein neuer Datenstand genutzt werden.

Die Daten des ruhrAGIS wurden seitens des RVR und der BMR für diese Arbeit testweise als Vektordatei über Web Feature Service (WFS) bereitgestellt. Die Daten liegen in vier Shape Dateien vor. Relevanz für diese Arbeit hat die Betriebsstätten-Datei. Sie beinhaltet die bereits erwähnte Zuordnung der Betriebsstätten im RVR-Gebiet zu den verschiedenen Elementen der WZ 2008 bis zu einer Unterteilung auf Ebene der WZ-Klassen.

Die Auflistung der Attribute der Datei erfolgt in Tabelle 7.

---

<sup>40</sup> (Business Metropole Ruhr , 2012-2018)

<sup>41</sup> (Beckord & Iwer, 2012, S. 5)

<sup>42</sup> Ebenda

<sup>43</sup> (Business Metropole Ruhr, 2017)

<sup>44</sup> (Business Metropole Ruhr , 2012-2018)

Tabelle 7: Attribute der ruhrAGIS-Datei „Betriebsflächen“.

id	bp_text
bf_prim	n_id
bf_name	n_name
bf_strasse	n_beschr
bf_plz	n_strasse
bf_ort	n_plz
gemeinde_i	n_ort
bf_kom	n_web
bf_flaeche	wz_code
bf_wiflae	wz_name
vf	wz_anteil
vf_zeit	wz_flaeche
vf_flaeche	aggr1a
vf_unbe_qm	aggr1a_t
vf_hall_qm	aggr2
vf_buro_qm	aggr2_t
vf_sons_qm	aggr3
bf_aufbb	aggr3_t
bf_auf_kom	aggr4
bf_ersbb	aggr4_t
bf_ers_kom	haupt_wz
vf_mkg	
vf_mkg_kom	
bf_eir	
bf_restkat	
n_komment	
bp_status	
bplan_ge	
bplan_gi	
bplan_mi	
bplan_so	
bplan_sons	

Da nur wenige dieser Attribute in dieser Arbeit genutzt werden, wird darauf verzichtet, alle Attribute im Detail zu beschreiben. Vielmehr werden hier die für die Arbeit relevanten Attribute kurz definiert.

Das Attribut „gemeinde\_i“ liefert die Information darüber in welcher Gemeinde die Betriebsstätte liegt, die durch einen Datensatz beschrieben wird. Dabei werden die Gemeinden durch einen Integer codiert. Die Codierung folgt nicht der Systematik der LAU.

Das Attribut „bf\_flaeche“ stellt die Referenz zu der ruhrAGIS-Datei Betriebsflächen dar. Betriebsstätten, die auf derselben Betriebsfläche liegen stimmen deshalb in diesem Attribut überein.

Das Attribut „wz\_anteil“ soll den Flächenanteil der Betriebsstätte mit der jeweiligen WZ an der gesamten Fläche der Betriebsfläche angeben. Dabei taucht jedoch ein Problem auf, auf das im Folgenden noch eingegangen wird.

Die Attribute, deren Bezeichnungen mit „aggr“ beginnen, geben die Einordnung der jeweiligen Betriebsstätte in die Systematik der WZ 2008 an. Während die Attribute, die auf „\_t“ enden, die Bezeichnung des jeweiligen Gliederungselements als Text angeben, wird für die übrigen auf die Codierung nach WZ 2008 zurückgegriffen. Von Bedeutung für diese Arbeit ist besonders das Attribut „aggr2“, durch welches die Einordnung in die WZ-Abteilungen vorgenommen wird.

Für die Verwendung der Daten in dem hier entwickelten Verfahren bedarf es einer vorherigen geringen Bearbeitung der Daten und eine Umwandlung in das Format Comma-separated values (CSV). Jede Anwendung des Verfahrens dieser Arbeit setzt deshalb voraus, dass die Nutzungsdaten für einen bestimmten Stichtag festgeschrieben werden und mit diesen verfahren wird. In dieser Arbeit wurden die Betriebsflächennutzungen mit Stand vom 3. November 2018 genutzt.

Die vorgelagerte Bearbeitung der ruhrAGIS-Daten erfolgte mittels QGIS<sup>45</sup> und PostgreSQL. Die Daten wurden im Koordinatenbezugssystem EPSG:3857 bearbeitet. Im ersten Schritt wurde den Elementen des Betriebsflächen-Layers die jeweilige Fläche in der Einheit m<sup>2</sup> mittels des \$area-Befehls ermittelt und als neues Attribut „m2“ hinterlegt. Da keines der vorhandenen Attribute die Datensätze eindeutig voneinander abgrenzt, ist die Einführung eines weiteren Attributs „id2“ notwendig, welches die Datensätze eindeutig identifiziert.

Eine Betrachtung der Daten mittels PostgreSQL zeigt anschließend ein Problem: Wenn mehrere Betriebsstätten auf einer Betriebsfläche angesiedelt sind, sind diese in separaten Datensätzen dargestellt und über das Attribut „bf\_flaechen“ mit dem Layer Betriebsflächen verbunden. Für mehrere Betriebsstätten auf derselben Betriebsfläche entsprechen diese Attribute „bf\_flaechen“ deshalb einander. In diesem Fall soll das Attribut „wz\_anteil“ den Anteil von der jeweiligen

---

<sup>45</sup> Quantum-GIS: [qgis.org](http://qgis.org)

Betriebsstätte genutzten Fläche an der gesamten Betriebsfläche angeben. Für viele Betriebsflächen ergeben diese Anteile in Summe allerdings nicht 100%. Die Ursache dafür ist unklar. Möglich ist, dass es sich um Fehler in den Daten handelt. Die Häufigkeitsverteilung der Summen der Attribute „wz\_anteil“ der jeweils auf einer Betriebsfläche befindlichen Betriebsstätten ist einzeln und akkumuliert in Abbildung 6 dargestellt.

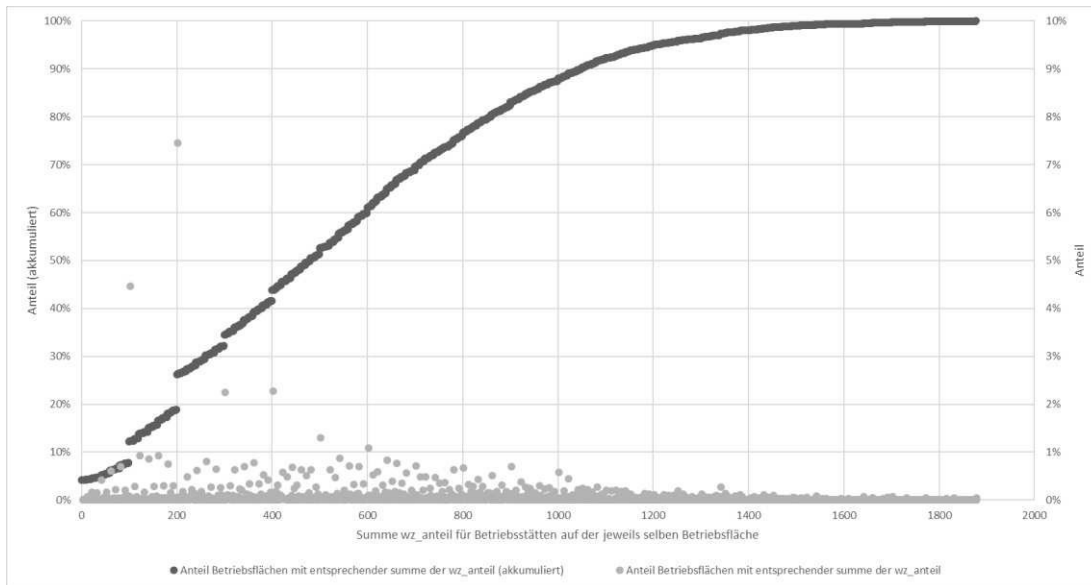


Abbildung 6: relative Häufigkeitsverteilung der Summen der „wz\_anteil“ für die jeweiligen Betriebsflächen, eigene Darstellung

Um die Summe des Attributs „wz\_anteil“ für jede Betriebsfläche auf 100% zu normieren, muss ein neues Attribut erzeugt werden, welches durch die Division des Attributs „wz\_anteil“ durch die entsprechende Summe aller Attribute „wz\_anteil“ der Betriebsstätten auf der entsprechenden Betriebsfläche berechnet wird. In der Datenbankstruktur, mit der in PostgreSQL gearbeitet wird, entspricht dieses neue Attribut einer neu zu erzeugenden Spalte. Über zwei Zwischenschritte, in denen jeweils Views erzeugt werden, wird die erweiterte Tabelle als neue Tabelle mittels folgender Befehle erzeugt:

```
CREATE VIEW betriebsflaechen_wzsumme AS SELECT *, sum(wz_anteil)
OVER(PARTITION BY bf_flaeche) AS wz_anteil_summe FROM
"ruhragis_Betriebsflächen";
```

```
CREATE VIEW betriebsflaechen_neu AS SELECT *, wz_anteil/wz_anteil_summe AS
flaechenanteil FROM betriebsflaechen_wzsumme;
```

```
CREATE TABLE betriebsflaechenneu AS SELECT *, flaechenanteil*m2 AS wzm2
FROM betriebsflaechen_neu;
```

Das neue Attribut „wzm2“ entspricht der Größe jenes Anteils der gesamten Betriebsfläche, welcher von der jeweiligen Betriebsstätte für die Ausübung der jeweiligen wirtschaftlichen Tätigkeit in Anspruch genommen wird. Diese Größe wird eine zentrale Rolle in dem hier vorgestellten Verfahren spielen, da anhand dieser Größe die Disaggregation stattfinden wird.

### 2.2.3 Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen

Die volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen (VGR) sind ein regelmäßiges Berichtswerk des statistischen Bundesamtes (Fachserie 18). Es existieren ähnliche Berichtswesen in anderen Staaten. Diese sind über das europäische System volkswirtschaftlicher Gesamtrechnungen vereinheitlicht<sup>46</sup>.

Teil der VGR ist die Input-Output-Rechnung, welche als Reihe 2 der VGR erscheint und den verschiedenen WZ-Abteilungen einen Güterwert des In- und Output zuordnet und diesen in Gütergruppen nach der CPA aufschlüsselt. Diese Rechnung ist wesentlich für das hier betrachtete Verfahren. Ihr Ergebnis gibt Auskunft über den Anteil einer jeweiligen WZ-Abteilung an dem insgesamt innerhalb einer räumlichen Einheit empfangenen und gesendetem Güterverkehrsaufkommen der jeweiligen Gütergruppen. Dieser Anteil ist die zentrale Verteilgröße bei der angestrebten Disaggregation. Auch dafür müssen die Daten noch weiterbearbeitet werden, um sie abschließend in einer neuen CSV-Datei abzulegen, welche von dem entwickelten Tool verarbeitet werden kann.

Die Aufkommens- und Verwendungstabellen der Input-Output-Rechnung der VGR werden in dieser Arbeit dafür verwendet, um die Transportaufkommen der jeweiligen Gütergruppen zwischen den Verkehrszellen anteilig den verschiedenen sendenden und empfangenden Wirtschaftszweigen zuzuordnen. Da die Klassifikation der Gütergruppen in der VGR nach der CPA erfolgt, ist es notwendig das Aufkommen und die Verwendung der verschiedenen CPA-Elemente so zu aggregieren, dass Aussagen über das Aufkommen und die Verwendung der BVWP-GG durch die unterschiedlichen WZ-Abteilungen abgelesen werden können. Da die GG des BVWP nah an den Abteilungen der NST 2007 orientiert sind (vgl. Tabelle 3 in Kapitel 2.1.1.4), kann hierfür auf die Korrespondenztabelle zwischen CPA und NST 2007<sup>47</sup> in Verbindung mit der in Tabelle 3 dargestellten Korrespondenz zurückgegriffen werden. In dieser Arbeit konnte für diesen Arbeitsschritt auf eine bereits erfolgte Bearbeitung der VGR-Daten des Lehr- und Forschungsbereichs zurückgegriffen werden<sup>48</sup>.

Das Aufkommen und die Verwendung sind in der VGR in Euro und nicht in Tonnen angegeben. Da innerhalb der verschiedenen CPA-Elemente und Gütergruppen jedoch die Homogenität der betrachteten Güter angenommen wird, spielt das keine Rolle. Die Anteile der WZ an den dem Aufkommen und der Nutzung der verschiedenen CPA-Elemente in Tonnen entsprechen damit denen in Euro. Deshalb können anhand dieser einheitslosen Anteile auch Größen disaggregiert werden, die in Tonnen angegeben sind.

---

<sup>46</sup> (Statistisches Bundesamt, 2018)

<sup>47</sup> Diese ist über (Eurostat, 2018) abrufbar

<sup>48</sup> Die übernommenen Daten sind in elektronischen Anhang zu dieser Arbeit als Microsoft-Excel-Datei hinterlegt.

## 2.2.4 Beschäftigtendaten der Bundesagentur für Arbeit (BA)

Dem Lehr- und Forschungsbereichs liegt eine Datenlieferung der BA vor, die auch für diese Arbeit genutzt wurde. Die Datenlieferung schlüsselt die Beschäftigtendaten der Bundesrepublik Deutschland nach Verbandsgemeinden (LAU1) und zusammengefassten Wirtschaftszweigen (WZ 2008) auf. Eine Clusterung der Gliederungseinheiten der WZ 2008 war dabei aus Gründen des Datenschutzes notwendig, da Daten dort anonymisiert wurden, wo sonst Rückschlüsse auf Unternehmen oder natürliche Personen nicht ausgeschlossen werden können. Eine zu kleinteilige Anforderung der Beschäftigtendaten würde zu einem vermehrten Aufkommen von Anonymisierungen führen. Deshalb liegen die Beschäftigtenzahlen mit der in Tabelle 8 dargestellten Clusterung vor.

Trotz der Clusterung sind weiterhin eine relevante Anzahl an Anonymisierungen vorgenommen worden. Die Anzahl der Anonymisierungen je Cluster und deren Anteile an allen Verbandsgemeinden im Bundesgebiet ist in Tabelle 9 aufgelistet. Besonders auffallend sind dabei die hohen Anteile von anonymisierten Werten für die Cluster Rohstoffgewinnung, Logistik und Grundversorgung. Die Anwendbarkeit dieser Daten ist dadurch für die betreffenden WZ-Cluster erheblich eingeschränkt.

Produktion	Rohstoffgewinnung	Logistik	Grundversorgung	Konsum	Sonstige
10 - 33	01 - 03, 05 – 09	49.2, 49.4, 49.5, 50.2, 50.4, 51.2, 52, 53	35 - 39	45 - 47, 55, 56	41 - 43, 58 - 99

Tabelle 8: Clusterung der Wirtschaftszweige (Kennung gemäß WZ 2008) für die Beschäftigtenzahlen auf LAU1-Ebene. Übernommen aus dem laufenden Forschungsprojekt "kleiräumige Standortuntersuchung beim Güterverkehr für eine verbesserte integrierte Netzplanung"

	Produktion	Rohstoffgewinnung	Logistik	Grundversorgung	Konsum	Sonstige
Anzahl Anonym	219	2405	1697	2708	86	8
Anteil Anonym	5%	54%	38%	61%	2%	0%

Tabelle 9: Anzahl der anonymisierten Einträge nach WZ-Cluster und Anteil an allen Verbandsgemeinden in Deutschland, eigene Darstellung

Eine genauere Betrachtung für das Ruhrgebiet belegt, dass ähnliches auch für das Untersuchungsgebiet dieser Arbeit gilt. Die entsprechenden Anzahlen und Anteile der anonymisierten Werte können Tabelle 10 entnommen werden. Insbesondere kann festgestellt werden, dass für das Cluster Konsum keine Anonymisierung innerhalb des RVR-Gebietes vorliegt. Abweichend vom gesamten Bundesgebiet ist der Anteil der Gemeinden mit Anonymisierungen im Bereich Logistik für das Ruhrgebiet sehr gering. Lediglich die Beschäftigtendaten der Gemeinde Breckerfeld im Ennepe-Ruhr-Kreis wurde hier anonymisiert.

Die vorliegenden Beschäftigendaten werden hier primär dafür genutzt, das entwickelte Tool auf seine Funktionsfähigkeit zu prüfen. Die Frage, ob für eine endgültige Nutzung der Daten für den Aufbau eines regionalen Verkehrsmodells für das Ruhrgebiet eine erneute Datenanfrage bei der BA notwendig wird, bleibt Gegenstand einer noch ausstehenden Bewertung. Im Falle einer neuen Datenbestellung könnte die Clusterung dahingehend weiter angeglichen werden, dass Wirtschaftszweige, die maßgeblich außerhalb von Gewerbe- und Industriegebieten angesiedelt sind und deshalb nicht im ruhrAGIS abgebildet werden, anhand der Abfrage besser abgebildet werden können.

	<b>Produktion</b>	<b>Rohstoffgewinnung</b>	<b>Logistik</b>	<b>Grundversorgung</b>	<b>Konsum</b>	<b>Sonstige</b>
Anzahl Anonym	0	47	1	23	0	0
Anteil Anonym	0%	89%	2%	43%	0%	0%

*Tabelle 10: Anzahl der anonymisierten Einträge unter den Kommunen im Ruhrgebiet nach WZ-Cluster und Anteil an allen Kommunen im Ruhrgebiet, eigene Darstellung*

### 3 BERECHNUNG DER QUELL- UND ZIELPOTENZIALE DER BETRIEBSSTÄTTEN IM UNTERSUCHUNGSGEBIET AUS DEN VERFLECHTUNGSDATEN DES BVWP

Ziel dieses Kapitels ist es, das Vorgehen für die Implementierung des Modul 1 (Abbildung 4) herzuleiten und kritisch zu betrachten. Hier wird also ein Verfahren zur Bestimmung der auf die Verkehrszellen gerichteten Quell- und Zielpotenziale der Betriebsstätten im Ruhrgebiet entwickelt. Dabei wird für jede Verkehrszelle des Untersuchungsgebiets und jede Gütergruppe nacheinander jeweils ein Quell- und Zielaufkommen ermittelt. Die einzelnen Potenziale werden hier unabhängig von den Potenzialen für andere Gütergruppen oder Betriebsstätten in anderen Verkehrszellen ermittelt. In diesem Kapitel genügt es deshalb vereinfachend das Vorgehen für eine beliebige, aber fest gewählte, Gütergruppe, sowie Verkehrszelle zu beschreiben. Dieses Vorgehen ist in Abbildung 7 dargestellt.

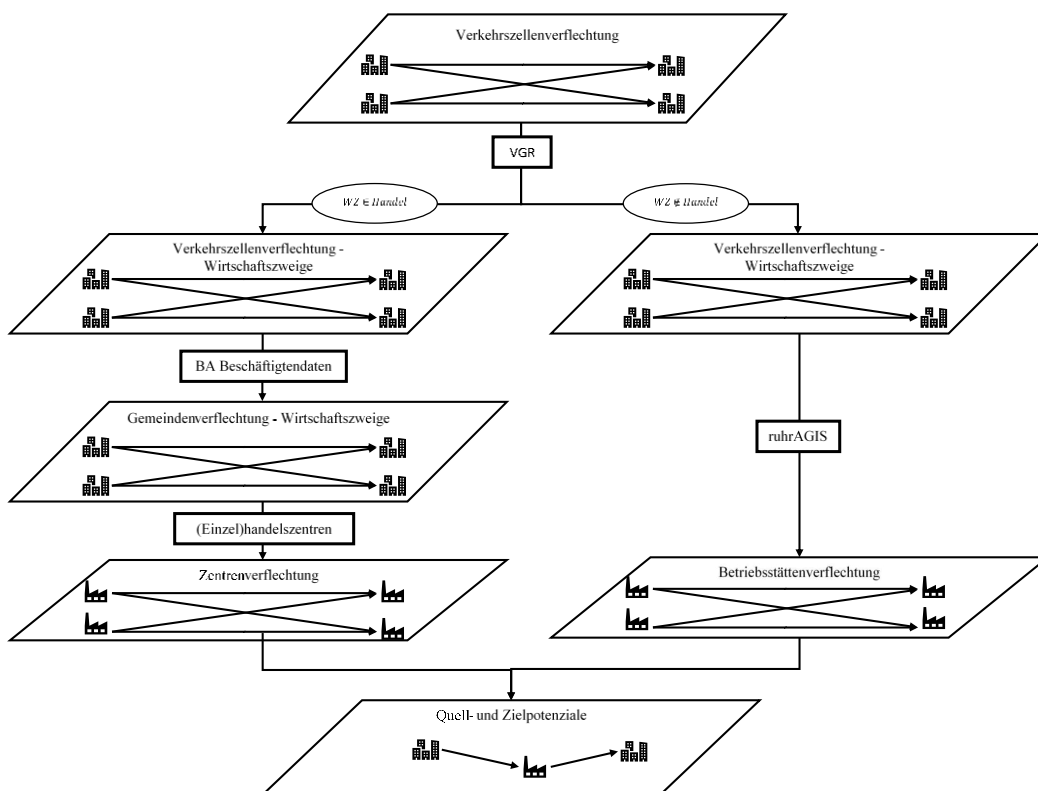


Abbildung 7: Verfahren zur Ermittlung der Quell- und Zielpotenziale (Modul 1)

Wie bereits dargestellt, kann die Input-Output-Rechnung mittelbar dafür verwendet werden, die Transportaufkommen aus der BVWP-Verflechtung auf die jeweiligen WZ-Abteilungen zu verteilen. Hierbei wird davon ausgegangen, dass die Verhaltensweisen der Unternehmen einer WZ-Abteilung soweit homogen sind, dass ihr In- und Output der einzelnen Gütergruppen im Mittel über alle



Unternehmen der WZ-Abteilung auf der Verkehrszellenebene den Werten der Input-Output-Rechnung der VGR entspricht.

Im nächsten Schritt sollen die Quell- und Zielaufkommen der einzelnen WZ-Abteilungen für die jeweiligen Gütergruppen den Betriebsstätten der jeweiligen WZ-Abteilungen zugeordnet werden. Da für die Betriebsstätten des ruhrAGIS jeweils ihre WZ-Klassifizierung bekannt ist, ist dies für jene Betriebsstätten, die im ruhrAGIS abgebildet sind, verhältnismäßig einfach möglich. Gegeben ist dies für all diejenigen Betriebsflächen, welche in Industrie- und Gewerbegebieten angesiedelt sind. Zwar ist davon auszugehen, dass für viele WZ-Abteilungen auch außerhalb dieser Flächen Betriebsstätten angesiedelt sind, besonders wird dies aber den Konsum<sup>49</sup> betreffen, der in einem hohen Maße in der Orts-, Stadtteil- und Stadtzentren angesiedelt ist. Mit den dem Konsum zugehörigen Wirtschaftszweigen wird in diesem Verfahrensschritt deshalb separat verfahren.

Für jene WZ-Abteilungen, die nicht dem Konsum-Cluster angehören, werden die aufbereiteten Informationen zu den Betriebsflächen des ruhrAGIS genutzt. In Kapitel 2.2.2 wurde dargestellt, wie für die Betriebsstätten die Größe der für die jeweilige WZ-Abteilung relevante Fläche ermittelt wurde. Diese Größe wird nun zur Verteilung der Transportaufkommen auf die Betriebsstätten genutzt. Dabei wird angenommen, dass für die nicht dem Konsum-Cluster angehörigen WZ-Abteilungen jene Betriebsstätten, die außerhalb von Industrie- und Gewerbegebieten liegen und somit nicht im ruhrAGIS abgebildet sind, für die Verteilung des Transportaufkommens zu vernachlässigen sein.

An dieser Stelle des Verfahrens werden die Flächen aller Betriebsstätten einer WZ-Abteilung innerhalb der betrachteten Verkehrszelle addiert und anschließend der Anteil der jeweiligen relevanten Flächen der Betriebsstätten an dieser Summe berechnet. Der so erhaltene Anteil soll dann jenem Anteil entsprechen, den eine Betriebsstätte an den gerichteten Quell- und Zielaufkommen hat, die der jeweiligen Verkehrszelle und WZ-Abteilung zuzuordnen sind. Diese Anteile der jeweiligen Betriebsstätten an den Quell- und Zielaufkommen werden dann als deren gerichtete Quell- und Zielpotenziale begriffen und sind somit Ergebnis des Verfahrens des Modul 1.

Anders wird mit den Wirtschaftszweigen des Clusters Konsum verfahren. In einem ersten Schritt werden die betreffenden Quell- und Zielaufkommen anteilig nach der Beschäftigtenzahl im Cluster Konsum auf die Gemeinden innerhalb der Verkehrszelle verteilt. Da im nächsten Schritt innerhalb dieser Gemeinden weiter mit der Fläche gearbeitet werden soll und diese anders als für die anderen WZ-Abteilungen nicht sicher bekannt sind, soll durch die vorgelagerte Verteilung auf die Gemeinden nach Beschäftigten zumindest auf der Gemeindeebene eine verlässliche Größe herangezogen werden,

---

<sup>49</sup> In dieser Arbeit wird Konsum im Sinne der vorgestellten Clusterung der Wirtschaftszweige für die durch die BA gelieferten Beschäftigtendaten begriffen.

um so mögliche Fehler, die bei der Verteilung unter den verschiedenen Zentren einer Gemeinde entstehen, in ihrer Wirkung einzuschränken. Für die kreisfreien Städte ergibt sich durch diesen Schritt keine zusätzliche Erkenntnis, sodass er für die betreffenden Verkehrszellen entfallen kann.

Die Betriebsstätten der Wirtschaftszweige aus dem Cluster Konsum werden nicht dem ruhrAGIS entnommen. Betriebsstätten, die im ruhrAGIS hinterlegt und den betreffenden Wirtschaftszweigen zuzuordnen sind, werden in diesem Verfahren auch an keiner anderen Stelle berücksichtigt. Stattdessen wird für die Orts-, Stadtteil- und Stadtzentren jeweils ein künstlicher Betrieb mittels QGIS erzeugt, der sämtliches Quell- und Zielpotenzial darstellen wird, welches mit dem jeweiligen Zentrum verbunden ist.

Hierbei kann für die Verteilung der Quell- und Zielaufkommen auf die Betriebsstätten nicht auf die Fläche zurückgegriffen werden, da diese nicht bekannt sind. Vielmehr müssen Faktoren berücksichtigt werden, die die Attraktivität der unterschiedlichen Zentren abbilden. Denkbar ist hier ein Rückgriff auf die Zentrenkonzepte der Kommunen und auf Umsatzzahlen, soweit diese gebietsbezogen oder auf Unternehmensebene vorliegen. Auch eine Verteilung über die (nur näherungsweise bestimmbar) Fläche der jeweiligen Zentren kann einen Ansatz darstellen. Dabei entstünde das Problem, dass eine nach einheitlichen Regeln vorgenommene räumliche Abgrenzung viele Fehlerquellen beinhaltet, da lokale Besonderheiten ggf. keine zusätzliche Berücksichtigung finden können. Eine detaillierte Ausarbeitung und Abwägung dieser und ggf. weiterer Ansätze zur Berücksichtigung mehrerer Zentren innerhalb einer Gemeinde bleibt Aufgabe für weitere Arbeiten.

Zur Vereinfachung wird vorerst für jede Gemeinde genau ein Zentrum gesetzt. Um die Reproduzierbarkeit des Verfahrens sicherzustellen, muss für die Lokalisierung dieses Zentrums ein Kriterium gefunden werden, das in allen Gemeinden angewendet werden kann und gleichzeitig sicherstellt, dass die künstlich erzeugten Betriebsstätten in den tatsächlichen Zentren der Gemeinden liegen, um diese abbilden zu können. Eine Möglichkeit stellt es dar, die Adresse der jeweiligen Gemeindeverwaltung gewählt. Alternativ kann ein Punkt anhand der Beschriftung der Gemeinde im OpenStreetMap Projekt gesetzt werden. Diesen Standorten werden die Anteile der jeweiligen Gemeinde an den gerichteten Quell- und Zielaufkommen zugeordnet und dann als Quell- bzw. Zielpotentiale dieser Betriebsstätte begriffen.

## 4 DISAGGREGATION DER GÜTERVERKEHRSAUFKOMMEN VON DER EBENE DER VERKEHRZELLEN AUF DIE BETRIEBSTÄTTEN

In Kapitel 3 wurde ein Verfahren vorgestellt, dass jeder Betriebsstätte im Untersuchungsgebiet jeweils ein Quell- und Zielpotenzial für jede Gütergruppe in Verbindung mit jeder Verkehrszelle zuordnet. Dieses Kapitel behandelt die Disaggregation der Verflechtungsdaten des BVWP mittels dieser Potenziale.

Das Ziel ist dabei, die bisher auf Verkehrszellenbasis vorliegenden Güterverkehrsaufkommen auf die Betriebsstätten-Ebene zu disaggregieren, falls die jeweilige Verkehrszelle innerhalb des Untersuchungsgebiets liegt. Hieraus ergibt sich je nach Lage der Quell- und der Zielzelle entweder kein, ein einseitiger oder ein beidseitiger Disaggregationsbedarf. Dies ist in Tabelle 11 dargestellt.

		Zielzelle im Untersuchungsgebiet?	
		ja	nein
Quellzelle im Untersuchungsgebiet?	ja	beidseitiger Disaggregationsbedarf	einseitiger quellseitiger Disaggregationsbedarf
	nein	einseitiger zieleseitiger Disaggregationsbedarf	keine Berücksichtigung

Tabelle 11: Disaggregationsbedarfe in Abhängigkeit der Lage der Quell- und Zielverkehrszellen innerhalb oder außerhalb des Untersuchungsgebiets

Transportketten ohne Disaggregationsbedarf, bei denen also Quell- und Zielzelle außerhalb des Untersuchungsgebiets liegen, werden in dieser Modellphase nicht berücksichtigt. Transportketten mit einseitigem Disaggregationsbedarf sind solche Transportketten, für die entweder die Quell- oder die Zielzelle, nicht aber beide, im Untersuchungsgebiet liegen. Transportketten, deren Quellzelle im Untersuchungsgebiet liegt, müssen quellseitig auf die Betriebsstätten disaggregiert werden. Jene deren Zielzelle im Untersuchungsgebiet liegen, werden zieleseitig auf die Betriebsstätten disaggregiert. Transportketten mit beidseitigem Disaggregationsbedarf sind jene Transportketten, die den Binnenverkehr des Untersuchungsgebiets beschreiben, für die demnach sowohl die Quell- als auch die Zielzelle innerhalb des Untersuchungsgebiets liegen. Im grundsätzlichen Vorgehen ergibt sich nur ein kleiner Unterschied zwischen den Transportketten des Binnenverkehrs einer Verkehrszelle und den Transportketten, die das Transportaufkommen zwischen zwei verschiedenen Verkehrszellen des

Untersuchungsgebiets darstellt. Der Unterschied der beiden Varianten des beidseitigen Disaggregationsbedarfs ist, dass für den Binnenverkehr innerhalb einer Verkehrszelle ausgeschlossen werden muss, dass Transportketten mit positivem Transportaufkommen entstehen, die als Quell- und Zielbetriebsstätte jeweils dieselbe Betriebsstätte vorweisen.

In diesem Kapitel wird zuerst eine formale Definition des hier betrachteten Problems vorgenommen. Dabei wird auf die Definition des Transportproblems im Operations-Research nach Gohout<sup>50</sup> zurückgegriffen. Da die Unterscheidung zwischen Transportketten mit einem einseitigen und einem zweiseitigen Disaggregationsbedarf, wie noch dargestellt wird, in der vorerst gewählten Implementierung eine wesentliche ist, werden anschließend die implementierten Verfahren separat für beide Fälle dargestellt. Schließlich werden alternative Vorgehensweisen dargestellt und diskutiert. Hierfür wird erneut auf die Methoden des Operations-Research, aber auch auf Überlegungen aus der Netzwerkökonomik, beispielsweise nach Rack<sup>51</sup> zurückgegriffen.

#### 4.1 DAS TRANSPORTPROBLEM IM OPERATIONS-RESEARCH

Wie hier gezeigt wird, kann das betrachtete Disaggregationsproblem als eine spezielle Form des klassischen Transportproblems aufgefasst werden, wie es bereits von Monge im Jahre 1781 für einen allgemeinen Fall mathematisch formuliert wurde<sup>52</sup>. Hierbei muss jedoch darauf geachtet werden, dass im klassischen Transportproblem von einer einzigen entscheidungstreffenden Instanz ausgegangen wird, die die Gesamtkosten minimiert. Auf der volkswirtschaftlichen Ebene ist ein solch optimales Verhalten der Marktteilnehmer keine realistische Annahme, wie unter anderem die nicht realisierten Bündelungspotenziale im Güterverkehr belegen<sup>53</sup>. Die Betrachtung des Transportproblems kann dennoch wertvolle Ansätze zum Umgang mit eigentlichen Disaggregationsproblemen bieten.

Das klassische Transportproblem ist heute eines der Themengebiete des Operations-Research und wird von Gohout wie folgt definiert:

*„Ein homogenes Gut, bei dem also eine Mengeneinheit so gut ist wie jede andere, ist in gewissen, bekannten Mengen  $a_1, \dots, a_m$ , dem sogenannten Angebot, in den Ausgangsorten  $A_1, \dots, A_m$  vorhanden und soll möglichst kostengünstig in die Bestimmungsorte  $B_1, \dots, B_n$  transportiert werden. [...] In den Bestimmungsorten [...]*

---

<sup>50</sup> (Gohout, 2000)

<sup>51</sup> (Rank, 2015)

<sup>52</sup> (Monge, 1781)

<sup>53</sup> (Leerkamp & Bormann, Güterverkehr - Nachfrage ist gestaltbar, 2018)

besteht jeweils ein bestimmter, bekannter Bedarf  $b_1, \dots, b_n$ , der durch die Lösung des Transportproblems, das sogenannte Transportprogramm, gedeckt werden soll.<sup>54</sup>

Hier wird abweichend von dieser Definition jede Matrix  $x_{i,j}$  mit  $i \in \{1, \dots, m\}$  und  $j \in \{1, \dots, n\}$  als Transportprogramm bezeichnet. Ein Transportprogramm wird als zulässig bezeichnet, wenn gilt:

$$\sum_{i=1}^m x_{i,j} = b_j \quad \forall j \in \{1, \dots, n\} \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{i,j} \leq a_i \quad (2)$$

Transportprobleme für die  $\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$  gilt, für die also die Summe des Bedarfs, jener des Angebots entspricht, bezeichnet Gohout als geschlossene Transportprobleme, die Übrigen als offene. Er zeigt auf, dass durch das Einführen eines zusätzlichen Ausgangs- bzw. Bedarfsortes mit einem Angebot, bzw. einem Bedarf, in Höhe der Differenz  $|\sum_{i=1}^m a_i - \sum_{j=1}^n b_j|$  jedes offene Transportproblem in ein geschlossenes Transportproblem überführt werden kann<sup>55</sup>. Für geschlossene Transportprobleme sind Transportprogramme genau dann zulässig, wenn neben (1) auch (2) als Gleichung erfüllt ist.

Unter der Annahme der Homogenität der Gütergruppen kann jede Transportkette, also die Zuordnung der Güterverkehrsaufkommen zu einer Gütergruppe, sowie je einer Quell- und Zielzelle, jeweils als Transportproblem begriffen werden. Hierbei entsprechen die Ausgangsorte den Betriebsstätten in der Quellzelle und Bestimmungsorte jenen Betriebsstätten in der Zielzelle. Liegt eine der Zellen außerhalb des Untersuchungsgebietes entspricht der jeweilige Bestimmungs- oder Ausgangsort dieser Verkehrszelle, die durch eine künstliche Betriebsstätte repräsentiert wird. So wird auf einer sachlichen Ebene innerhalb dieser Verkehrszellen außerhalb des Ruhrgebiets keine Disaggregation vorgenommen. Allerdings wird der für MATSim notwendige Schritt der Umwandlung des Polygons der Verkehrszelle zu einem Punkt, der diese Verkehrszelle darstellen soll, gegangen. Hier werden statt der Begriffe Ausgangs- und Bestimmungsort die Bezeichnungen Quell- und Zielbetriebsstätten genutzt, um eine Einheitlichkeit mit den Bezeichnungen Quell- und Zielzelle zu erreichen. So entsteht eine Vielzahl

---

<sup>54</sup> (Gohout, 2000, S. 85)

<sup>55</sup> Ebenda

von Transportproblemen, für die das Angebot den Quellpotenzialen und der Bedarf den Zielpotenzialen für die jeweilige Gütergruppe und die Kombination von Quell- und Zielzelle entspricht.

Gohout ordnet den Verbindungen zwischen den Quell- und Zielbetriebsstätten jeweils Transporteinheitskosten zu – optimales Transportprogramm sei dann jenes, welches die insgesamt entstehenden Transportkosten minimiere und gleichzeitig alle Bedarfe erfülle. Er weist darauf hin, dass deren Höhe in der Realität im Wesentlichen von der Entfernung von Quell- zu Zielbetriebsstätte abhängt<sup>56</sup>. Da in dem betrachteten Beispiel alle Quellbetriebsstätten und alle Zielbetriebsstätten jeweils innerhalb derselben Verkehrszelle liegen, wird bei der im Rahmen dieser Arbeit realisierten Implementierung die Annahme getroffen, dass die absoluten Distanzunterschiede für verschiedene Quell- und Zielbetriebsstätten so gering sind, dass sie für die Allokation der Güterverkehrsaufkommen unerheblich sind. Deshalb wird vereinfachend davon ausgegangen, dass die Transporteinheitskosten für alle Paare von Quell- und Zielbetriebsstätten identisch sind. Sie können demnach auf eins gesetzt werden.

Durch die Vereinfachung wird in dieser Arbeit davon ausgegangen, dass allen Transportprogrammen volkswirtschaftliche Kosten von  $\sum_{i \in \{1, \dots, m\}} a_i = \sum_{j \in \{1, \dots, n\}} b_j$  zuzuordnen sind und somit jedes zulässige Transportprogramm auch ein optimales Transportprogramm darstellt. Im Folgenden genügt es also, ein Verfahren zu definieren, dass ein reproduzierbares und zulässiges Transportprogramm generiert.

## **4.2 IMPLEMENTIERTES KONSTRUKTIONSVERFAHREN FÜR EIN ZULÄSSIGES TRANSPORTPROGRAMM.**

Bei dem gewählten Verfahren zur Ermittlung eines optimalen Transportprogramms wird, wie bei der Berechnung der Potenziale, davon ausgegangen, dass die Verteilung des zu disaggregierenden Güterverkehrsaufkommens proportional zu der Fläche der Betriebsstätte aufgeteilt wird. Wegen der Transitivität der Proportionalitätseigenschaft gilt:

$$\begin{aligned} \text{Transportmenge} &\sim \text{Betriebsfläche} \sim (\text{Quell} - \text{oder Ziel} -)\text{potenzial} & (3) \\ \Rightarrow \text{Transportmenge} &\sim (\text{Quell} - \text{oder Ziel} -)\text{potenzial} \end{aligned}$$

Im Folgenden bezeichnet  $t$  stets das jeweils zu disaggregierende Güterverkehrsaufkommen. Im Falle eines einseitigen, zweiseitigen Disaggregationsbedarfs ist  $A_1$  die künstliche Quellbetriebsfläche in der Quellzelle. Dann ergibt sich das Transportprogramm durch:

---

<sup>56</sup> Ebenda

$$x_{1,y} = t \frac{b_y}{\sum_{j=1}^n b_j} \quad \forall y \in \{1, \dots, n\} \quad (4)$$

Im Falle eines einseitigen, quellseitigen Disaggregationsbedarfs sei hingegen  $B_1$  die künstliche Zielbetriebsstätte in der Zielzelle. Dann ergibt sich analog folgende Konstruktionsgleichung für das Transportprogramm:

$$x_{z,1} = t \frac{a_z}{\sum_{i=1}^m a_i} \quad \forall z \in \{1, \dots, m\} \quad (5)$$

Wird das Transportproblem für eine Transportkette mit beidseitigem Disaggregationsbedarf gelöst, bei dem Quell- und Zielzelle nicht übereinstimmen, so wird das Transportprogramm mittels folgender Gleichung konstruiert:

$$x_{z,y} = t \frac{a_z}{\sum_{i=1}^m a_i} \frac{b_y}{\sum_{j=1}^n b_j} \quad \forall z \in \{1, \dots, m\}, y \in \{1, \dots, n\} \quad (6)$$

Im Falle einer Transportkette, deren Quell- und Zielzelle identisch ist, gilt für alle  $i \in \{1, \dots, n\}$ :  $a_i = b_i$  und somit die leicht veränderte Konstruktionsgleichung:

$$x_{z,z} = 0 \quad \forall x \in \{1, \dots, n\} \quad (7)$$

$$x_{z,y} = t \frac{a_z a_y}{\sum_{i=1, i \neq z}^n a_i * \sum_{j=1, j \neq y}^n a_j} = \frac{a_z a_y}{((\sum_{i=1}^n a_i) - a_z)((\sum_{i=1}^n a_i) - a_y)} \quad \forall x, y \in \{1, \dots, n\} \text{ mit } x \neq y \quad (8)$$

Diese aufgeteilte Konstruktionsgleichung berücksichtigt die Bedingung, dass Betriebsstätten nicht an sich selbst liefern sollen.

Hierbei ergibt sich das Problem, dass alle potenziellen Transportverbindungen von  $A_i$  nach  $B_j$  tatsächlich mit einer positiven Sendungsmenge realisiert werden. Die Betriebe sind somit unrealistisch stark vernetzt und es ist davon auszugehen, dass einzelne Güterverkehrsaufkommen von unrealistisch kleiner Größenordnung sind. In einer späteren Verkehrsumlegung führt dies wahrscheinlich zu einer zu hohen Zahl an LKW-Fahrten, die teilweise schlecht ausgelastet sein könnten. Es ist davon auszugehen, dass in der Realität ein großer Anteil der potenziellen Transportverbindungen ein Transportaufkommen von null Tonnen aufweist und somit nicht realisiert wird.

### 4.3 ALTERNATIVE LÖSUNGSANSÄTZE ZUR ERMITTLUNG EINES TRANSPORTPROGRAMMS

In Kapitel 4.2 wurden bereits die Schwächen des dort beschriebenen Vorgehens zur Disaggregation genannt. Hier werden nun verschiedene Vorgehensweisen beschrieben, die realistischere Ansätze für

die Disaggregation darstellen könnten. In dem im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Tool kann zu einem späteren Zeitpunkt das bisher implementierte Disaggregationsmodul durch ein neues Modul ersetzt werden, welches beispielsweise einen der hier vorgestellten Ansätze realisiert.

Im Operations-Research werden für die Approximation eines optimalen Transportprogramms in der Regel heuristische Ansätze mit der Unterscheidung zwischen Eröffnungsverfahren und Verbesserungsverfahren verwendet<sup>57</sup>. Während ersteres dafür angelegt ist, ein möglichst gutes Transportprogramm im Sinne der Zielfunktion zu konstruieren, sollen die Verbesserungsverfahren dazu dienen bereits vorliegende Transportprogramme so zu verändern, dass ihr Zielfunktionswert bei wiederholter Anwendung des jeweiligen Verfahrens gegen einen optimalen Zielfunktionswert konvergiert. Für Verbesserungsverfahren wird ein Abbruchkriterium notwendig, da zwar eine Konvergenz gegeben, aber das Optimum nicht zwingend angenommen wird<sup>58</sup>.

Da die Annahme  $c_{i,j} = 1$  dazu führt, dass alle zulässigen Transportprogramme mit demselben Zielfunktionswert zu bewerten sind, erübrigt die Anwendung von Optimierungsverfahren, solange an der Annahme der Transportkostengleichheit festgehalten wird.

Weit verbreitete Eröffnungsverfahren sind:

- 1) Nordwesteckenregel
- 2) Spaltenminimummethode
- 3) Vogelsche Approximationsmethode<sup>59</sup>

Da die Spaltenminimummethode und die Vogelsche Approximationsmethode die Transportstückkosten nutzen, um eine Lösung zu konstruieren, sind auch sie bei einem Festhalten an der Annahme der Transportstückkostengleichheit nicht hilfreich. Im Folgenden werden also verschiedene Ansätze für eine Anwendung der Nordwesteckenregel dargestellt und diskutiert.

#### **4.3.1 Nordwesteckenregel auf Zellenebene**

Die Nordwesteckenregel ist ein heuristisches Eröffnungsverfahren für das klassische Transportproblem. Seinen Namen erhielt das Verfahren dadurch, dass es den Basisvariablen des Transportproblems nacheinander ein Güterverkehrsaufkommen zuordnet, und diese Iteration in der linken oberen Ecke des in Tabelle 12 dargestellten Tableaus (Also der Nordwestecke des Tableaus) beginnt<sup>60</sup>.

---

<sup>57</sup> (Domschke, 1985; Grünert & Irnich, 2005)

<sup>58</sup> (Grünert & Irnich, 2005, S. 187)

<sup>59</sup> Auflistung nach (Domschke, 1985, S. 93)

<sup>60</sup> Ebenda



	$B_1$	$B_2$	...	$B_n$	
$A_1$	$x_{1,1}$	$x_{1,2}$	...	$x_{1,n}$	$a_1$
$A_2$	$x_{2,1}$	$x_{2,2}$	...	$x_{2,n}$	$a_2$
...	...	...		...	...
$A_m$	$x_{m,1}$	$x_{m,2}$	...	$x_{m,n}$	$a_m$
	$b_1$	$b_2$	...	$b_n$	

Tabelle 12: Tableau eines klassischen Transportproblems mit Quellbetriebsstätten  $A$ , Zielbetriebsstätten  $B$ , Angebotsmengen  $a$ , Bedarfen  $b$  und Güterverkehrsaufkommen  $x$ , inhaltlich übernommen aus (Domschke, 1985)

Domschke beschreibt das Vorgehen wie folgt: „ $x_{i,j}$  erhält den Wert ‚Minimum aus noch verfügbarem Anteil von  $a_i$  und noch nicht gedecktem Anteil von  $b_j$ ‘. Erhält man dieses Minimum für die  $i$ -te Zeile, so heißt die nächste Basisvariable  $x_{i+1,j}$ ; ansonsten  $x_{i,j+1}$ “<sup>61</sup>. Dieses Vorgehen ist in Abbildung 14 dargestellt.

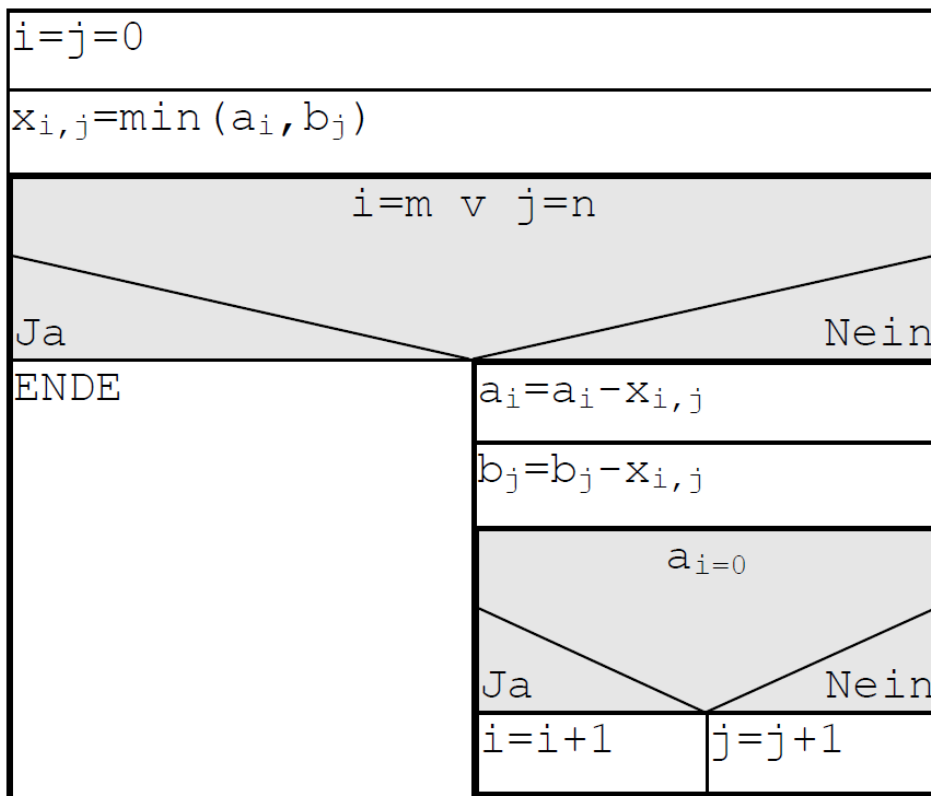


Abbildung 8: Nordwesteckenregel Nassi-Shneiderman-Diagramm, eigene Darstellung des Vorgehens nach (Domschke, 1985)

<sup>61</sup> Ebenda

Da das Ergebnis der Nordwesteckenregel wesentlich von der Indizierung der Quell- und Zielbetriebsstätten abhängt, muss diese klar definiert werden, um die Reproduzierbarkeit des Verfahrens zu garantieren.

Als Größe, anhand derer die Betriebsflächen geordnet und ihnen ein Index zugewiesen werden könnte, bietet sich das Quell- bzw. Zielpotenzial der jeweiligen Betriebsstätte für die jeweilige Gütergruppe an. Alternativ ist auch eine zufällige Zuordnung denkbar, wobei durch eine pseudozufällige Zuordnung auch hier die Reproduzierbarkeit sichergestellt werden kann.

Abhängig davon, ob die Quell- und Zielbetriebsstätten jeweils aufsteigend oder absteigend sortiert werden, ergeben sich unterschiedliche typische Betriebsstätten-Cluster. Diese Cluster werden hier als Gruppe jener Betriebsstätten verstanden, die über ein nennenswert hohes Transportaufkommen miteinander verbunden sind. Um dies zu verdeutlichen, wird ein einfacher Sonderfall analysiert. Es wird davon ausgegangen, dass jeweils 10 Quell- und Zielbetriebsstätten  $A_1, \dots, A_{10}$  und  $B_1, \dots, B_{10}$  existieren. Diesen ist jeweils das Quell- bzw. Zielpotenzial  $a_i = b_i = i$  zugeordnet, wobei  $i$  eine natürliche Zahl kleiner oder gleich 10 ist.

Werden nun sowohl für die Quell- als auch die Zielpotenziale auf die gleiche Weise Indizes gewählt, also entweder beide aufsteigend, oder beide absteigend, so wird durch die Nordwesteckenregel ein Transportprogramm konstruiert, das darin besteht, dass  $x_{i,j} = 0$  wenn  $i \neq j$  und  $x_{i,i} = i$  bzw.  $x_{i,i} = 11 - i$ . Es entsteht also ein Transportprogramm in dem jeder Betrieb genau mit einem anderen Unternehmen im Austausch steht. Dabei werden jene Betriebsstätten mit hohem Quellaufkommen und Zielaufkommen einander zugeordnet und jene mit geringem Quellaufkommen jenen mit geringem Zielaufkommen. In diesem Fall werden lediglich zehn Transportverbindungen realisiert, was gleichzeitig das absolute Minimum für die Menge der zulässigen Transportprogramme darstellt, wenn also alle Bedarfe gedeckt und alle Angebote ausgeschöpft werden. Dieses Ergebnis ist in Tabelle 13 dargestellt.

		B <sub>j</sub>											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
A <sub>i</sub>	1	1										1	
	2		2									2	
	3			3								3	
	4				4							4	
	5					5						5	
	6						6					6	
	7							7				7	
	8								8			8	
	9									9		9	
	10										10	10	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		

		B <sub>j</sub>											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
A <sub>i</sub>	1		10									10	
	2			9								9	
	3				8							8	
	4					7						7	
	5						6					6	
	6							5				5	
	7								4			4	
	8									3		3	
	9										2	2	
	10											1	1
		10	9	8	7	6	5	4	3	2	1		

Tabelle 13: Ergebnisse der Nordwesteckenregel bei gleichgerichteter Indexvergabe (links beide aufsteigen, rechts beide absteigend)

Werden hingegen Quell- und Zielzellen entgegengesetzt sortiert, also eine von beiden Mengen aufsteigend, die andere absteigend, erhält man ein anderes Transportprogramm. Die Ergebnisse sind in Tabelle 14 dargestellt. Wie zu sehen ist, werden so siebzehn Transportverbindungen realisiert und beide Kombinationen von Sortierungen liefern das gleiche Ergebnis. Betriebe mit geringen Quellpotenzial liefern bei einer solchen Sortierung an Betriebe mit hohem Zielpotenzial und solche mit einem geringen Quellpotenzial liefern an jene mit einem hohen Zielpotenzial.

		B <sub>j</sub>													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
A <sub>i</sub>	1	1	2	3	4							10			
	2					5	4					9			
	3						2	6				8			
	4							1	6			7			
	5								2	4		6			
	6										5	5			
	7											4	4		
	8												3	3	
	9													2	2
	10														1
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				

		B <sub>j</sub>													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
A <sub>i</sub>	1	1													1
	2	2													2
	3	3													3
	4	4													4
	5		5												5
	6		4	2											6
	7				6	1									7
	8						6	2							8
	9								4	5					9
	10										4	3	2	1	10
		10	9	8	7	6	5	4	3	2	1				

Tabelle 14: Ergebnisse der Nordwesteckenregel bei entgegengesetzter Indexvergabe (links Quellbetriebsstätten absteigend, Zielbetriebsstätten aufsteigend sortiert, rechts umgekehrt)

Die Eigenschaften der Anwendung der Nordwesteckenregel für die unterschiedlichen Varianten der Indexvergabe sind in Tabelle 15 dargestellt.

		Zielbetriebsstätten sortiert nach Zielpotenzial	
		absteigend	aufsteigend
Quellbetriebsstätten sortiert nach Quellpotenzial	absteigend	Größere Betriebe werden eher mit größeren verbunden. Kleinere Betriebe mit kleineren. Anzahl der realisierten Lieferungen tendenziell kleiner	Kleinere werden mit größeren Betriebsstätten verbunden und umgekehrt. Die Anzahl der realisierten Transportverbindungen ist hier tendenziell höher
	aufsteigend	Kleinere werden mit größeren Betriebsstätten verbunden und umgekehrt. Die Anzahl der realisierten Transportverbindungen ist hier tendenziell höher	Größere Betriebe werden eher mit größeren verbunden. Kleinere Betriebe mit kleineren. Anzahl der realisierten Lieferungen tendenziell kleiner

Tabelle 15: Eigenschaften der Nordwesteckenregel bei Anwendung auf unterschiedlich sortierte Quell- und Zielbetriebsstätten

Beide Verfahren führen im Vergleich zum bisher implementierten proportionalen Verfahren zu einem deutlichen Rückgang der Anzahl der im Transportprogramm realisierten Transportverbindungen. Dabei ist Folgendes zu bemerken:

**Satz:** Sei  $T$  ein optimales Transportprogramm, das durch die Anwendung der Nordwesteckenregel auf eine Menge von Quellbetriebsstätten  $A$  und eine Menge von Zielbetriebsstätten  $B$  konstruiert wurde. Alle Quell- und Zielbetriebsstätten haben ein positives Quell- oder Zielpotenzial. Dann gilt für die Anzahl  $C$  der in  $T$  realisierten Transportverbindungen:

$$\max(|A|, |B|) \leq C \leq |A| + |B| - 1$$

**Beweis:** Es sei  $t_{i,j} := 1$  genau dann, wenn  $x_{i,j} \neq 0$ , sonst  $t_{i,j} := 0$ . Dann gilt  $C = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n t_{i,j}$

Zuerst wird die erste Ungleichheit  $\max(|A|, |B|) \leq C$  gezeigt. Da  $T$  ein zulässiges Transportprogramm ist gilt:

$$b_j = \sum_{i=1}^m x_{i,j} \quad \forall j \in \{1, \dots, n\} \quad \wedge \quad a_i = \sum_{j=1}^n x_{i,j} \quad \forall i \in \{1, \dots, m\} \quad \wedge \quad x_{i,j} \geq 0 \quad \forall (i,j) \in \{1, \dots, m\} \times \{1, \dots, n\}$$

$$\Rightarrow \forall j \in \{1, \dots, n\} \exists i \in \{1, \dots, m\}: x_{i,j} > 0 \quad \wedge \quad \forall i \in \{1, \dots, m\} \exists j \in \{1, \dots, n\}: x_{i,j} > 0$$

$$\Rightarrow C \geq |B| \quad \wedge \quad C \geq |A|$$

$$\Rightarrow \max(|A|, |B|) \leq C$$

Es bleibt zu zeigen, dass  $C \leq |A| + |B| - 1$ .

Hierzu wird betrachtet, wann eine Transportbeziehung realisiert wird. Dies ist bei dem vorliegenden Verfahren dann der Fall, wenn sie in einem der durchlaufenen Iterationsschritte mit einem positiven Wert belegt wurde. Dies kann in jedem Iterationsschritt maximal für eine, nämlich für die jeweils betrachtete Transportbeziehung geschehen, die durch das jeweilige  $x_{i,j}$  repräsentiert wird. Somit ist die Anzahl der realisierten Transportbeziehungen nach oben durch die Anzahl der durchlaufenen Iterationsschritte begrenzt. Nun ist das Wesen der Nordwesteckenregel mit jedem Schritt entweder in jedem Schritt entweder den betrachteten Spalten- oder den betrachteten Zeilenindex um eins zu erhöhen. Darüber hinaus bricht das Verfahren ab, wenn keiner von beiden mehr erhöht werden kann, wenn also zuletzt das Transportaufkommen betrachtet wurde, das durch  $x_{i,j}$  mit  $i = |A|$  und  $j = |B|$  repräsentiert wird. Das Verfahren beginnt mit der Betrachtung der Nordwestecke des Tableaus, bzw. dem Transportaufkommen, welches durch  $x_{1,1}$  repräsentiert wird.

Insgesamt müssen zum Erreichen des Programmendes also ein Iterationsschritt zur Eröffnung und darüber hinaus  $|A| - 1 + |B| - 1$  Iterationsschritte durchlaufen werden. Das sind also

$$1 + |A| - 1 + |B| - 1 = |A| + |B| - 1$$

Iterationsschritte für das gesamte Verfahren. Somit gilt auch, dass  $C \leq |A| + |B| - 1$ .

q.e.d.

Mit der implementierten Lösung werden hingegen stets alle möglichen Transportbeziehungen, also  $|A| * |B|$ , realisiert. Somit werden durch die Nordwesteckenregel stets weniger Transportbeziehungen realisiert als mit dem bisher implementierten Ansatz.

Ein Problem stellt die Anwendung der Nordwesteckenregel auf den Binnenverkehr einer Verkehrszelle dar, da hier verhindert werden muss, dass eine Betriebsstätte an sich selber liefert. In dem Tableau des jeweiligen Transportprogramms muss als zusätzliche Bedingung deshalb gelten, dass  $x_{i,i} = 0 \forall i$ . Ein bloßes Überspringen der betreffenden Zellen des Tableaus stellt dabei keine Lösung dar, weil so einzelne Quell- oder Zielpotenziale ggf. nicht ausgeschöpft werden können. Sollte dieses Verfahren gewählt werden, muss hier ein Behelf beschaffen werden, beispielsweise dadurch, dass für die Lösung dieser Transportprobleme, abweichend von der ursprünglichen Annahme, Transportstückkosten auf der Hauptdiagonale des Tableaus von  $c_{i,i} = \infty \forall i$  angenommen werden und anschließend an die reguläre Anwendung der Nordwesteckenregel ein Verbesserungsverfahren angewendet wird.

#### 4.3.2 Nordwesteckenregel auf RVR-Ebene

Eine weitere mögliche Lösung des Disaggregationsproblems bedingt eine neue Definition des Problems selbst. Dabei bleiben die Quell- und Zielpotenziale der Betriebsstätten unverändert, allerdings wird in einem vorgelagerten Schritt das gesamte RVR-Gebiet als eine Verkehrszelle definiert und die Güterverkehrsaufkommen, die die bisherigen Verkehrszellen innerhalb des RVR betreffen entsprechend aggregiert.

Hierfür sei  $VZ$  die Menge aller Verkehrszellen und  $VZR$  die Menge aller Verkehrszellen im Ruhrgebiet. Dann gilt  $VZR \subset VZ$  und außerdem sei  $U_X \forall X \in VZ$  die Menge aller Betriebsstätten in Verkehrszelle  $X$ . Für  $X \notin VZR$  beträgt die Mächtigkeit  $|U_X|=1$  und das einzige Element in  $U_X$  ist die künstlich erzeugte Betriebsstätte, wie in Kapitel 4.2 erklärt. Außerdem sei  $U = \bigcup_{X \in VZ} U_X$  die Menge aller Betriebsstätten und  $R$  die neue Verkehrszelle, die das gesamte RVR-Gebiet umfasst, für die also gilt:  $R = \bigcup_{X \in VZR} X$ . Außerdem seien die  $t_{x,y}$  mit  $x, y \in VZ$  die jeweiligen Güterverkehrsaufkommen des BVWP mit Quellzelle  $x$  und Zielzelle  $y$ . Dann ergeben sich die aggregierten Güterverkehrsaufkommen der Verkehrszelle  $R$  als

$$t_{R,y} = \sum_{x \in VZR} t_{x,y} \forall y \in VZ \setminus VZR$$

$$t_{x,R} = \sum_{y \in VZR} t_{x,y} \forall x \in VZ \setminus VZR$$

$$t_{R,R} = \sum_{x \in VZR} \sum_{y \in VZR} t_{x,y}$$

Anschließend kann das Transportproblem analog zu dem Vorgehen des vorherigen Kapitels behandelt werden. Auch hier ergibt sich für jede Kombination von Gütergruppe, Quell- und Zielzelle ein separat zu lösendes Transportproblem. Dabei ist allerdings zusätzlich die Randbedingung zu wahren, dass weiterhin die Summen der Sendungsaufkommen zwischen den ursprünglichen Verkehrsaufkommen die ursprüngliche Höhe haben müssen. Da die Quell- und Zielpotenziale, die ursprünglich auf Verkehrszellen innerhalb des Untersuchungsgebiets gerichtet waren, sind nun nur noch auf das Untersuchungsgebiet als solches gerichtet, wird bei Anwendung der Nordwesteckenregel innerhalb des Untersuchungsgebiets ein wesentlicher Rückgang der realisierten Transportbeziehungen bewirkt. (vgl. hierzu den Satz aus Kapitel 4.3.1)

Beim Vergleich beider Ansätze stellt sich das Problem, dass unbekannt ist, was eine realistische Größe für die Anzahl der realisierten Transportbeziehungen ist. Um hier eine endgültige Abwägung vornehmen zu können bedarf es einer Verbesserung der dies betreffenden Empirie. Genauere Überlegungen dazu folgen im nächsten Unterkapitel.

#### **4.3.3 Ansatz für eine Berücksichtigung von Unternehmensnetzwerken**

Die zentrale Frage dieses Modellierungsschrittes ist die, zwischen welchen Betriebsstätten tatsächlich ein Transport stattfindet. Der Multi-Agenten-basierte Modellansatz beruht auf der Annahme, dass diese Transportaufkommen durch das kollektive Handeln der Unternehmen entstehen. Dieses kollektive Handeln kann als Agieren in Netzwerkstrukturen begriffen werden, deren Bildung von den individuellen Anforderungen der Agierenden abhängt. Es folgt aus diesen individuellen Anforderungen, dass kaum Aussagen über standardisierte Strukturen von Unternehmensnetzwerken getroffen werden können<sup>62</sup>. Dies erschwert die Nutzbarkeit für die Frage nach Güterverkehrsverflechtungen zwischen Betriebsstätten.

Teile der Wirtschaftswissenschaften setzen sich im Rahmen der Betrachtungen von Unternehmensnetzwerken dennoch mit der Frage der Kooperation zwischen Unternehmen auseinander<sup>63</sup>. Dabei wird besonders die strategische Dimension der Ausbildung einer verstärkten Zusammenarbeit zwischen Unternehmen thematisiert. Die Klassifizierung von Unternehmensnetzwerken ist für die jeweilige Untersuchung zentral. Die Wahl der Klassifikation hängt stark von der Zielsetzung der jeweiligen Arbeit ab und ist in ihrer Nutzbarkeit für andere Fragestellungen oft sehr eingeschränkt. Nicklas stellt einige dieser Ansätze umfassend dar<sup>64</sup>. Im Folgenden werden zwei Ansätze umrissen, da sie die Probleme bei der Nutzung dieser Klassifikationen für die Disaggregation großräumiger Quell/Ziel-Matrizen verdeutlichen.

---

<sup>62</sup> (Heiserich, Helbig, & Ullmann, 2011)

<sup>63</sup> einige der hier relevanten Untersuchungen sind (Nicklas, 2016), (Sydow, 1992), (Ivanov & Käschel, 2008)

<sup>64</sup> (Nicklas, 2016)

Einen Ansatz zur Definition von Netzwerktypologien liefert Sydow<sup>65</sup>. Er leitet in seiner Arbeit insgesamt 106 Netzwerktypologien ab, die stark individuell beschrieben und nicht alle für die Definition von Unternehmensnetzwerken nutzbar sind<sup>66</sup>. Eine Betrachtung des Ansatzes von Sydow verdeutlicht, dass die stark ausgeprägten individuellen Unterschiede bei der Bildung von Unternehmensnetzwerken eine Nutzung von Sydows Typologien für die Disaggregation vorerst verhindern. In vielen Fällen ist es aber auch nicht sinnvoll diese zu nutzen, da die Bildung der Unternehmensnetzwerke zwar die wechselseitigen Transportaufkommen beeinflussen kann, diese aber nicht zwingend als Merkmal für die Klassifikation von Unternehmensnetzwerken genutzt wird. Die für das in dieser Arbeit betrachtete Disaggregationsproblem relevanten Merkmale werden deshalb unter Umständen nicht abgebildet.

Ein weiteres Problem wird durch die Betrachtung des Klassifikationsansatzes nach Schlüter deutlich. Sie leitet aus den Netzwerktypologien Sydows sechs so genannte Anspruchsniveaus ab, anhand derer sie die Entstehung von Unternehmensnetzwerken erklärt. Diese sind: Führungsart, Wertschöpfung, Zentriertheit, Bindung, Beweglichkeit und interne Kommunikation<sup>67</sup>. Auch ohne im Detail auf den Einfluss und die Definition dieser Anspruchsniveaus einzugehen, verdeutlicht diese Auflistung, dass die Datenverfügbarkeit das wesentliche Problem bei der Berücksichtigung dieser Art wirtschaftswissenschaftlicher Arbeiten in der Verkehrsmodellierung darstellt. Die aufgelisteten Merkmale betreffen unternehmensinterne Prozesse und Verhältnisse zwischen Unternehmen, die nicht zwingend mit den Strukturmerkmalen der Unternehmen zusammenhängen.

Die hier erwähnten Ansätze können auf der Unternehmensebene genutzt werden, helfen aber nicht bei der Betrachtung von Unternehmensnetzwerken innerhalb eines Untersuchungsgebiets eines Verkehrsmodells. Darüber hinaus tritt das Problem auf, dass Unternehmensnetzwerke nicht räumlich auf das Untersuchungsgebiet beschränkt sind, so dass zur Berücksichtigung von Unternehmensnetzwerken auch eine Betrachtung von Betriebsstätten notwendig wäre, die außerhalb des Untersuchungsgebiets liegen. Schon die Betrachtung der Betriebsstätten als Teil eines Unternehmens würde bedingen, dass Betriebsstätten desselben Unternehmens, die außerhalb des Untersuchungsgebiets liegen, Berücksichtigung finden. Dies widerspricht der Idee eines Verkehrsmodells, welches durch die räumliche Begrenzung auf ein bestimmtes Untersuchungsgebiet eine wesentliche Vereinfachung der Realität vorgenommen wird, um die Modellierung zu vereinfachen und so zu ermöglichen.

Eine wesentliche Verbesserung der hier vorgestellten Verfahren wäre durch Untersuchungen möglich, die über die bisherigen Daten der VGR hinausgehen und beispielsweise Informationen über den Grad

---

<sup>65</sup> (Sydow, 1992)

<sup>66</sup> (Sydow, 1992) (Nicklas, 2016)

<sup>67</sup> (Schlüter, 2013)



der Vernetzung verschiedener Wirtschaftszweige beinhalten. Das könnten z.B. die Anzahl der Lieferanten und Kunden in Abhängigkeit der Strukturgrößen eines Unternehmens sein. Sie könnten zusätzlich zur Validierung des Modells dienen, indem betrachtet wird, ob das im Modul 2 gewählte Verfahren zu einem realistischen Grad der Vernetzung für die verschiedenen Wirtschaftszweige führt.

## 5 VERFAHREN ZUR UMRECHNUNG DER DISAGGREGIERTEN GÜTERSTRÖME ZU FAHRTEN BZW. TAGESPLÄNEN

---

In diesem Kapitel soll der letzte notwendige Schritt hin zu einer Verwendbarkeit der Verflechtungsdaten in einem MATSim-Modell in Kombination mit dem Modul jsprit beschrieben werden. Hierbei wird allerdings ein möglicher Ansatz dargestellt, dessen Implementierung noch aussteht. Einen möglichen Ausgangspunkt dafür stellt die Arbeit von Carlos Olivos am Lehr- und Forschungsgebiet Güterverkehrsplanung und Transportlogistik dar. Diese ist ein potenzielles Bindeglied zwischen dem hier entwickelten Verfahren und der Anwendung in MATSim. Sie beruht zu einem Teil auf der Nutzung von jsprit und ermöglicht grundsätzlich auch die Umrechnung der Sendungsmengen in LKW-Fahrten unter Berücksichtigung des Anteils des Stückgutverkehrs.

Der zentrale hier zu gehende Schritt ist die Zuordnung der zuvor berechneten Sendungsaufkommen (zwischen den einzelnen Betriebsstätten für die unterschiedlichen GG) zu den Spediteuren. Diese werden hier als jene Organisationen begriffen, die die Sendungen durchführen. Grundsätzlich können also auch die sendenden und empfangenden Betriebsstätten als Speditionen in diesem Sinne auftreten. Für Transporte, die einen Umschlag erfordern wird hier davon ausgegangen, dass dieser auf dem Gelände von Logistikunternehmen stattfindet, die dann als Spedition im Sinne dieser Arbeit auftreten.

Für diese Aufteilung ist zuerst eine Recherche der Logistikunternehmen notwendig. Für das Untersuchungsgebiet Ruhrgebiet kann hierfür auf die Daten des ruhrAGIS zurückgegriffen werden. Hier sollte auf die Flächen der WZ-Gruppe 49.4 „Güterbeförderung im Straßenverkehr“, sowie der Abteilungen 52 „Lagerei sowie Erbringung von sonstigen Dienstleistungen für den Verkehr“ und 53 „Post-, Kurier- und Expressdienste“ zurückgegriffen werden. Da nur der Straßenverkehr modelliert wird, sollten die übrigen Klassen der Abteilungen 49 und 50 nicht berücksichtigt werden. Sie erbringen zwar Leistungen der Güterbeförderung, greifen dabei jedoch auf andere Verkehrsmodi zurück. Sollte das Verfahren für andere Untersuchungsgebiete eingesetzt werden und hierfür keine vergleichbaren Daten vorliegen, muss ggf. auf eine Internetrecherche zurückgegriffen werden, um die Logistikflächen im Untersuchungsgebiet zu lokalisieren.

Um die Verteilung der Sendungsaufträge auf die Logistikunternehmen vornehmen zu können, können geografische, ökonomische oder solche Merkmale Berücksichtigung finden, die in der Natur des versendeten Gutes liegen. In der Realität ist davon auszugehen, dass die Entscheidungen auf Grundlage einer Kombination mehrerer dieser Merkmale getroffen werden.

Dabei können geografische Merkmale sowohl jene sein, die sich aus der Lage des Senders als auch des Empfängers, oder solchen Hindernissen, die sich aus dem Verhältnis der beiden Orte zueinander ergeben. Geografische Merkmale ergeben sich aus den in den vorherigen Modellierungsschritten ermittelten Güterverkehrsaufkommen, insbesondere aus der geografischen Lage von Quell- und Zielbetriebsstätte. Ihre Nutzung ist deshalb vergleichsweise einfach möglich.

Ökonomische entscheidungsrelevante Merkmale sind im Wesentlichen die Preise für welche Speditionen anbieten einen Transport zu übernehmen, aber auch die Information, ob der gewünschte Transport von ihnen überhaupt angeboten wird. Ansatzpunkt kann hier die Spezialisierung einzelner Speditionen auf bestimmte Relationen sein. Da aber die Häufigkeit regelmäßig gefahrener Relationen nicht zwingend flächendeckend recherchiert werden kann, ist die Nutzbarkeit dieser Merkmale für die Verkehrsmodellierung sehr eingeschränkt.

Eine weitere Möglichkeit der Aufteilung der Aufträge folgt aus den Überlegungen zur Segmentierung des Logistikmarktes. Dabei sollte versucht werden, sowohl die Speditionen als auch die Gütergruppen der Sendungsaufkommen je nach gewählter Segmentierung einem der Marktsegmente zuzuordnen. Im Anschluss können dann beispielsweise alle Güteraufkommen jener Spedition des entsprechenden Marktsegments zugeordnet werden, die die geringste Luftlinienentfernung zur Quellbetriebsstätte hat. Für jedes Marktsegment ergeben sich die Gebiete, in denen eine Quellbetriebsstätte liegen muss, damit die zugehörigen Transportaufkommen einer Spedition zugeordnet werden, dann als Voronoi-Diagramm<sup>68</sup>.

Die Ansatzpunkte zur Segmentierung des Logistikmarktes sind wiederum selbst vielfältig. Sie sind in Abbildung 9 in Form möglicher Segmentierungsmerkmale dargestellt.

---

<sup>68</sup> Auch bekannt als Dirichlet-Zerlegung oder Thiessen-Polygone

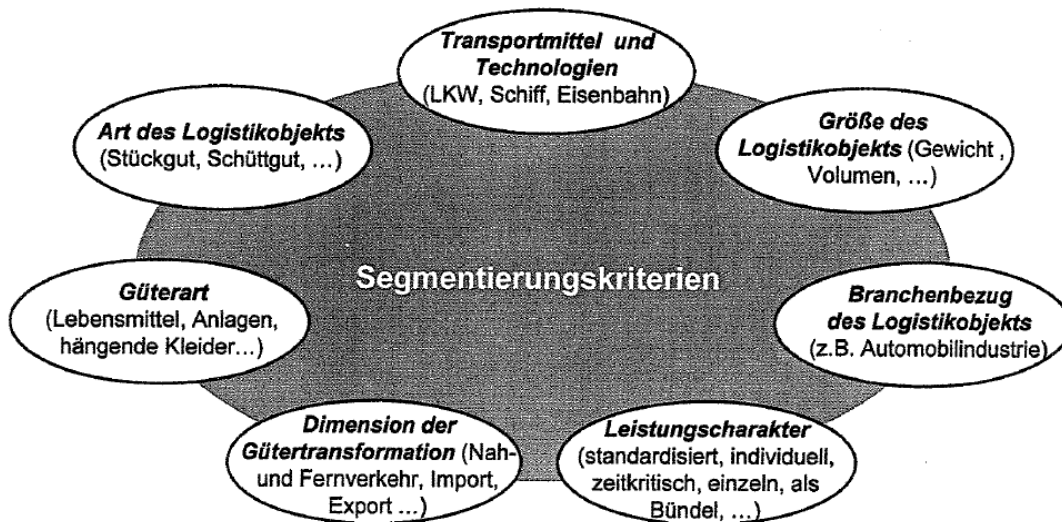


Abbildung 9: Mögliche Merkmale zur Segmentierung von Logistik und Güterverkehrsmärkten, Abbildung übernommen aus: (Hofmann & Wessely, 2009)

Hofmann und Wessley<sup>69</sup> schlagen eine Segmentierung vor, die sich primär an den Eigenschaften des transportierten Gutes (Art und Größe des Logistikobjektes) orientiert und die übrigen Segmentierungsmerkmale erst sekundär nutzt, um eine weitere Differenzierung vorzunehmen. Als Beispiel führen sie eine Segmentierung des Schweizer Logistikmarktes ein, die in Abbildung 10 dargestellt ist<sup>70</sup>. Besondere Schwierigkeiten werden sich hier allerdings bei der Darstellung von KEP-Diensten und des Querschnittsmarktes der Kontraktlogistik ergeben. Die Transportgüter können diesen wesentlich schwieriger als den sonstigen Marktsegmenten über die Zugehörigkeit des Transportgutes zu einer bestimmten Gütergruppe zugeordnet werden.

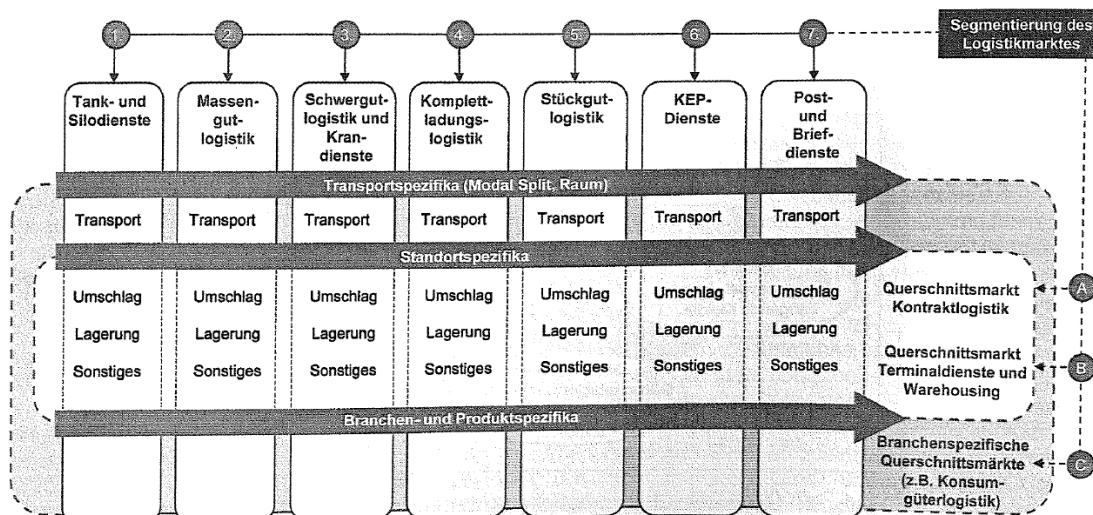


Abbildung 10: Segmentierung des Schweizer Logistikmarktes, Abbildung übernommen aus: (Hofmann & Wessely, 2009)

<sup>69</sup> (Hofmann & Wessely, 2009)

<sup>70</sup> Ebenda

Eine alternative Segmentierung des Logistikmarktes wird beispielsweise von der Fraunhofer Arbeitsgruppe für Supply Chain Services in ihrer Logistikmarktstudie „Top 100 der Logistik“ genutzt. Dabei werden insgesamt 13 Segmente definiert, die wiederum zu drei Logistikwirtschaftsbereichen zusammengefasst werden:

1. „Bulk“ und Direktladungslogistik
2. Handlingsbedürftige Industrie- und Konsumgüterlogistik national
3. Internationale Transporte

Auch hier treten definitorische Unschärfen in Form unklarer Abgrenzung auf. Diese betreffen insbesondere im KEP-Bereich, der dem zweiten Logistikwirtschaftsbereich zugeordnet wird<sup>71</sup>.

Die Segmentierungen haben gemeinsam, dass Segmentgrenzen zwischen jenen Teilmärkten verlaufen, die durch einen direkten Verkehr zwischen Quelle und Ziel gekennzeichnet sind und jenen, die ein Umschlagen, eine Lagerung und/oder Bündelung beinhalten. Betrachten wir also eine Segmentierung des (straßengebundenen) Logistikmarktes, die die zwei Segmente der Komplettladungsverkehre (englisch: full truck load, Abkürzung: FTL) und der Stückgutlogistik (englisch: less than full truck load, Abkürzung: LTL) abbildet.

Während eine Zuordnung der Güterverkehrsaufkommen zu weiter ausdifferenzierten Marktsegmenten auf Grundlage der vorliegenden Informationen sehr schnell zu willkürlichen Annahmen führen müsste, kann über die Aufteilung des Sendungsaufkommens verschiedener Gütergruppen näherungsweise Angaben gemacht werden. Dabei hilft beispielsweise auch die Logistikmarktstudie „TOP 100 der Logistik“ der Fraunhofer Arbeitsgruppe für Supply Chain Services<sup>72</sup>.

Das Verfahren, das im Folgenden dargestellt wird, ist in Abbildung 11 skizziert. Innerhalb realistischer Schranken können die Aufteilungen der Sendungsaufkommen der Gütergruppen auf die Segmente FTL und LTL als Kalibrierungsfaktoren für das gesamte Verfahren wirken, das bis zu diesem Punkt ohne wählbare Variablen ausgekommen ist. Um zu überprüfen, ob die Anteile in einem realistischen Größenbereich gewählt wurden, kann u.a. der Anteil der Leerfahrten unter den resultierenden Fahrten berechnet werden. Für die Aufteilung auf diese beiden Segmente wurde von Carlos Olivos am Lehr- und Forschungsbereich bereits ein Verfahren programmiert, das sowohl auf der Betriebsstätten-Ebene als auch für den gesamten Markt plausible Lösungen liefern kann. Das Verfahren vermeidet, dass Unternehmen mit kleinem Sendungsaufkommen (weniger als eine LKW-Ladung) Waren im FTL

---

<sup>71</sup> (Schwemmer, 2016, S. 46)

<sup>72</sup> (Schwemmer, 2016)

versenden und stellt gleichzeitig sicher, dass für den gesamten Markt der vorher angegebene Anteil der in FTL und LTL versendeten Güter annähernd erreicht wird.

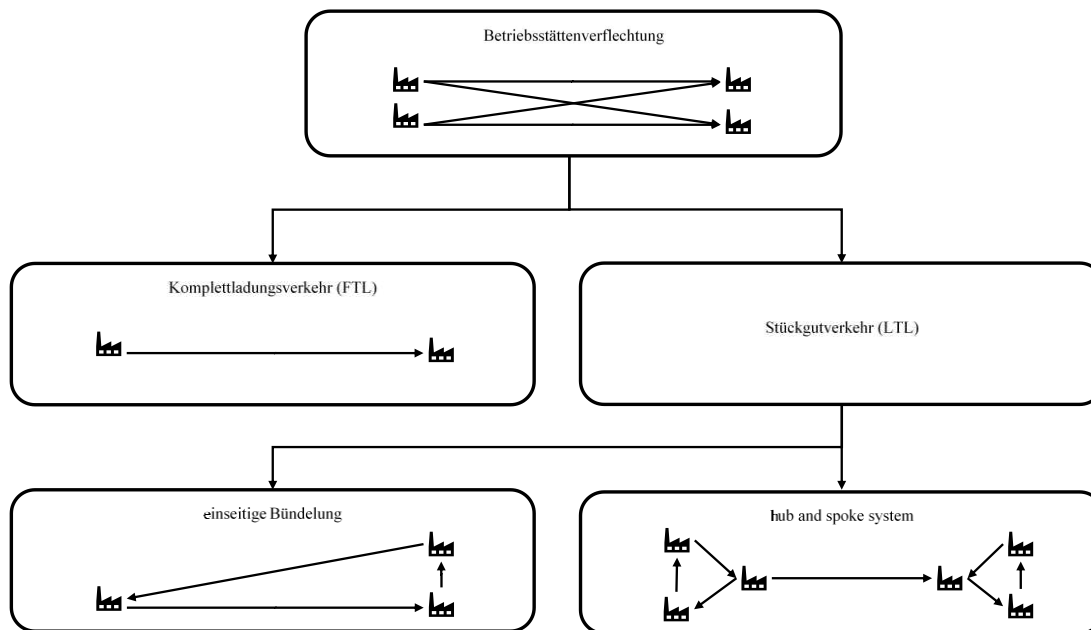


Abbildung 11: Skizze Vorgehensweise Modul 3

Jene Gütertransporte, die dem FTL-Segment zuzuordnen sind, werden dem Sender selbst zugeordnet, der hier als zusätzlicher Spediteur auftritt. Zwar werden auch Lieferungen des FTL-Segments zumindest teilweise von dritten erbracht, da hier aber kein Umschlag stattfinden kann und die Lieferungen unweigerlich ein eigenes Fahrzeug erfordern, kann darauf verzichtet werden, zusätzlichen Aufwand für die Zuweisung zu einer Spedition zu betreiben. Allerdings muss angemerkt sein, dass bei der Umsetzung dieses Ansatzes darauf geachtet werden muss, dass kein unrealistisch hohes Aufkommen an Leerfahrten entsteht.

Im Modul 1 wurden auch Transportaufkommen, die schon in der BVWP-Verflechtung einen Umschlag an einem KV-Terminal beinhalteten so gekürzt, dass lediglich jener Teil der Transportkette berücksichtigt wurde, der zwischen dem KV-Terminal und der jeweiligen Verkehrszelle innerhalb des Untersuchungsgebiets lag. Es sollte davon ausgegangen werden, dass die Transportaufkommen, die auf diese KV-Terminals oder von ihnen in das Untersuchungsgebiet gerichtet sind dem jeweiligen KV-Terminal als Agenten zugeordnet werden. So können kleine Sendungsaufkommen zwar auf ihrem Weg zum KV-Terminal durch Sammelfahrten gebündelt werden. Dabei wird aber vermieden, dass zwischen Betriebsstätte und KV-Terminal ein weiterer Umschlag stattfindet.

Die übrigen Transportaufkommen werden der Stückgutlogistik zugeordnet. Hier erfolgt eine weitere Differenzierung. Diese besteht darin, dass zwischen jenen Transporten unterschieden wird, die nur einmal umgeschlagen werden und jenen, die über ein hub and spoke system versendet werden. Der

Anteil, mit dem die Transportaufkommen diesen beiden Teilsegmenten zugeordnet werden kann als weiterer Kalibrierungsfaktor verstanden und innerhalb eines realistischen Rahmens frei gewählt werden.

Für beide Teilsegmente wird die stark vereinfachte Annahme getroffen, dass die entsprechenden Transporte zuerst auf jenen Logistikflächen umgeschlagen werden, welche die geringste Luftliniendistanz zu der Quellbetriebsstätte aufweist. Diese Zuteilung der Transportaufkommen zu den Agenten bzw. Speditionen entspricht der Definition von Zuständigkeitsbereichen für diese Speditionen mittels eines Voronoi-Diagramms, das aus den Standorten der Speditionen entsteht.

Da beide Teilsegmente der Stückgutlogistik den jeweils nächsten Logistikflächen zugeordnet werden, wird die Aufteilung auf die Teilsegmente erst bei der Erstellung der Tagespläne relevant. Hierfür wird entsprechend dem gewählten Anteil für die resultierende Anzahl der Transporte ein Umschlag auf jener Logistikfläche eingeplant, die der Zielbetriebsstätte am nächsten liegt. Die Tourenplanung, die die einzelnen Agenten vornehmen, erfolgt innerhalb des Moduls jsprit und muss in dieser Arbeit deshalb nicht betrachtet werden.

## 6 ZUSAMMENFASSUNG

---

Mit dieser Arbeit wurde ein Beitrag dazu geleistet, eine Agenten-basierte Modellierung des Güterverkehrs zu ermöglichen, indem ein Verfahren zur Disaggregation großräumiger Quell/Ziel-Matrizen erarbeitet wurde. Das Verfahren ist besonders für Verkehrsmodelle in der Bundesrepublik Deutschland geeignet, da sein Ausgangspunkt die Verflechtungsprognose des BVWP ist. Allerdings kann das Verfahren ggf. auf vergleichbare großräumige Quell/Ziel-Matrizen übertragen werden. Die Disaggregation erfolgt im Wesentlichen auf Basis der genutzten Fläche der Betriebsstätten und ihrer Zugehörigkeit zu einem Wirtschaftszweig.

Für das Untersuchungsgebiet Ruhrgebiet wurde die Datenbasis zur Anwendung des Verfahrens vorgestellt. Außerdem wurden die einzelnen Verfahrensschritte anhand dieser Datenbasis dargestellt und so gezeigt, dass das Verfahren vielversprechend auf dem Weg zum Aufbau eines Agenten-basierten Güterverkehrsmodells mit dem Untersuchungsgebiet Ruhrgebiet ist.

Um spätere Änderungen der Modellstruktur zu vereinfachen, wurde für die Disaggregation ein Vorgehen in drei Modulen vorgeschlagen. Dabei werden abgeschlossene Fragestellungen jeweils innerhalb eines Moduls bearbeitet. Der Output eines Moduls stellt dann den Input des nächsten Moduls dar. So können Teile eines fertigen Programms ersetzt werden, wenn der Bedarf zu einer Anpassung der Modellstruktur besteht, von der nur einzelne Module betroffen sind.

Im ersten Modul werden Quell- und Zielpotenziale der Betriebsstätten innerhalb des Untersuchungsgebiets ermittelt. Diese stellen das potenzielle Aufkommen dar, welches eine Betriebsstätte für eine Gütergruppe empfängt oder sendet. Dabei werden die Potenziale separat für die verschiedenen Quellzellen, aus denen die Betriebsstätte ein potenzielles Aufkommen empfängt, bzw. für die verschiedenen Zielzellen, in welche von der Betriebsstätte aus Güter gesendet werden, angegeben. Zur Ermittlung dieser Potenziale aus den ursprünglichen Verflechtungsdaten des BVWP wurden hier die Input-Output-Rechnung der VGR, sowie die Flächennutzungskartierung des ruhrAGIS genutzt. Das Cluster Konsum wird dabei separat behandelt. Auf Grund der mangelnden Datenverfügbarkeit im ruhrAGIS werden die Transportaufkommen dieser Wirtschaftszweige anhand der Beschäftigtenzahlen im Cluster Konsum auf die Gemeindeebene disaggregiert, um dort an ein Masterunternehmen angebunden zu werden, welches im Gemeindezentrum positioniert wird und sämtliche Transporte des Clusters Konsum in der Gemeinde abwickelt. Terminals für den Güterumschlag werden dabei als eigene Quellen oder Ziele begriffen. Transporte mit Umschlag an einem dieser Terminals werden lediglich zu dem Teil zwischen dem Terminal und der Quelle oder dem Ziel innerhalb des Ruhrgebiets betrachtet, da in der Regel nur diese für den Straßengüterverkehr im Untersuchungsgebiet relevant sind.



Das zweite Modul dient der Umrechnung der Quell- und Zielpotenziale zu einer Verflechtung der Betriebsstätten. Hier werden den Paaren von Quell- und Zielbetriebsstätten Transportaufkommen in Tonnen pro Jahr zugeordnet. Dies erfolgt anhand der Flächenanteile der Betriebsstätten an der Summe der Flächen aller Betriebsstätten in derselben Verkehrszelle, die demselben Wirtschaftszweig zuzuordnen sind. Hier wird also derselbe Verteilungsschlüssel gewählt, der auch im Modul 1 gewählt wurde. Deshalb wird auch hier abweichend für das Cluster Konsum über die Beschäftigtendaten auf die Gemeinden disaggregiert. Dieser Ansatz führt teilweise zu sehr kleinen Jahressendungsaufkommen, die zwischen Betriebsstätten realisiert werden. In dieser Arbeit wurden deshalb auch alternative Ansätze dargestellt.

Mit dem dritten Modul werden innerhalb des Verfahrens wesentliche logistische Entscheidungen dargestellt. Hier werden die Sendungsaufkommen den Speditionen bzw. Agenten zugeordnet. Das Modul bereitet die Ergebnisse des Modul 2 für die Nutzung in jsprit und MATSim vor. Als Angangspunkt für die dieses Modul betreffenden Überlegungen wurde auf Segmentierungen des Logistikmarktes eingegangen. Anschließend wurde vorgeschlagen, in einem ersten Schritt die Transporte auf die Segmente Komplettladungsverkehr und Stückgutverkehr aufzuteilen. Das Aufkommen des Komplettladungsverkehrs können dann separat behandelt werden. Als Agent tritt in diesem Fall die Quellbetriebsstätte auf. Im Segment des Stückgutverkehrs kann anschließend weiter danach differenziert werden, ob eine Lieferung nur quelseitig gebündelt wird oder über ein hub and spoke System versendet wird. Für beide Fälle wird eine Lokalisierung von hubs notwendig. Hierfür wurde empfohlen, auf die Kartierung der logistisch genutzten Flächen aus dem ruhrAGIS zurückzugreifen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Tool entwickelt, welches die Module 1 und 2 des Verfahrens für das Untersuchungsgebiet Ruhrgebiet in der Sprache Python implementiert. Dieses Tool bedarf noch einer programmtechnischen Optimierung, kann jedoch Grundlage für eine neue Implementierung sein, die in Hinsicht auf die Programmlaufzeit, aber vor allem in Hinblick auf den Speicherplatzbedarf des Outputs Verbesserungen gegenüber der bisherigen Implementierung ermöglicht.

## 7 AUSBLICK

---

Das in dieser Arbeit entwickelte Verfahren dient der Erstellung von Tagesplänen der Spediteure. Diese werden als Eingangsdaten für eine MATSim-basierte Güterverkehrsmodellierung benötigt. Sie ist lediglich ein Teil der notwendigen Vorarbeiten für den Aufbau des Güterverkehrsmodells. Insbesondere die Arbeiten zur Anbindung der Betriebsstätten an das Straßenverkehrsnetz und die Darstellung der hier noch nicht berücksichtigten Teile des Straßenverkehrs, sind hier zu erwähnen. Hier kann an bereits bestehende Überlegungen angeknüpft werden, die im Rahmen der bisherigen MATSim-Anwendungen für den Personenverkehr angestellt wurden.

Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Tool bedarf einer programmtechnischen Weiterentwicklung. Die Programmlaufzeit und der benötigte Speicherplatz für den Output haben eine Anwendung des Tools auf alle Betriebsstätten des ruhrAGIS bisher nicht ermöglicht. Stattdessen wurde die Funktionalität des Tools bisher an kleinen Probeinstanzen geprüft. Eine Anwendung des Tools unter Berücksichtigung aller Betriebsstätten steht deshalb noch aus. In einer ersten groben Schätzung anhand der Erfahrungen aus der Anwendung auf die Probeinstanz wird dabei von einer Datengröße des Outputs in einer Größenordnung bis zu vier Terrabyte ausgegangen. Diese kann durch weitere Anpassungen der verwendeten Datenformate und Anpassungen der programmtechnischen Umsetzung voraussichtlich reduziert werden.

Die hier entwickelten Modellansätze stellen, wie jedes Modell, eine Vereinfachung der Realität dar. Das ist nicht zwingend problematisch, sondern bietet die Chance das vorgestellte Verfahren zukünftig in dem Sinne weiterzuentwickeln, dass es die Realität besser abbildet. Hierzu ist in der Regel empirische Forschung notwendig. Es wurden in dieser Arbeit bereits einige offene Fragen genannt, deren Beantwortung eine Anpassung des entwickelten Verfahrens ermöglichen könnte. Hier sei noch einmal auf den Zusammenhang hingewiesen, der zwischen der Bildung von Unternehmensnetzwerken und deren Strukturmerkmalen besteht, sowie auf die ausstehende Ermittlung weitgehend verhaltenshomogener Unternehmensgruppen. Um eine Verbesserung des Modul 2 zu ermöglichen, müssen mehr Informationen über den Grad der Verflechtung von Unternehmen verschiedener Wirtschaftszweige untereinander erlangt werden. Solange diese Erkenntnisse jedoch nicht vorliegen, kann auf die hier entwickelten Methoden zurückgegriffen werden.

## 8 LITERATURVERZEICHNIS

---

- Beckmann, M., & McGuire, C. (1956). *Studies in the Economics of Transportation*. New Haven, Connecticut : Yale University Press.
- Beckord, C., & Iwer, N. (2012). Regionales kooperatives Flächenmonitoring im Ruhrgebiet. *Flächennutzungsmonitoring IV: genauere Daten - informierte Akteure - praktisches Handeln* (S. 3-10). Berlin: Rhombos-Verlag.
- Business Metropole Ruhr . (2012-2018). *Startseite*. Abgerufen am 9. Dezember 2018 von ruhrAGIS online: <http://www.ruhragis-online.de/>
- Business Metropole Ruhr. (September 2017). *Benutzer-Handbuch ruhrAGIS online*. Abgerufen am 20. November 2018 von ruhragis online: [http://www.ruhragis-online.de/benutzerhandbuch\\_ruhragis\\_online\\_kommunal.pdf](http://www.ruhragis-online.de/benutzerhandbuch_ruhragis_online_kommunal.pdf)
- BVU, Intraplan Consult, Ingenieurgruppe IVV, Planco Consulting. (8. Juli 2014). *Verkehrsverflechtungsprognose 2030 - Kurzbeschreibung der Güterverkehrsmatrizen*. Von Clearingstelle Verkehr: <http://daten.clearingstelle-verkehr.de/276/3/Datensatzbeschreibung%20G%C3%BCterverkehr.pdf> abgerufen
- CDU; CSU; SPD;. (2018). *Ein neuer Aufbruch für Europa, Eine neue Dynamik für Deutschland, Ein neuer Zusammenhalt für unser Land. Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD 19.Legislaturperiode*. Von bundesregierung.de: <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975226/847984/5b8bc23590d4cb2892b31c987ad672b7/2018-03-14-koalitionsvertrag-data.pdf?download=1> abgerufen
- Domschke, D. W. (1985). *Logistik: Transport - Grundlagen, lineare Transport- und Umladeprobleme*. München; Wien: R.Oldenbourg Verlag.
- Eurostat. (14. August 2017). *Road freight transport methodology — 2016 edition (Revised edition, August 2017)*. Abgerufen am 8. Dezember 2018 von europa.eu/eurostat: <https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-manuals-and-guidelines/-/KS-GQ-16-105>
- Eurostat. (2018). *RAMON - Reference And Management Of Nomenclatures*. Abgerufen am 30. Oktober 2018 von europa.eu/eurostat: [https://ec.europa.eu/eurostat/ramon/relations/index.cfm?TargetUrl=LST\\_REL&StrLanguageCode=DE&IntCurrentPage=6](https://ec.europa.eu/eurostat/ramon/relations/index.cfm?TargetUrl=LST_REL&StrLanguageCode=DE&IntCurrentPage=6)

- Eurostat. (22. November 2018). *Regions in the European Union - Nomenclature of territorial units for statistics - NUTS 2016/EU-28*. Abgerufen am 8. Dezember 2018 von [ec.europa.eu/eurostat](https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-manuals-and-guidelines/-/KS-GQ-18-007?inheritRedirect=true&redirect=%2Feurostat%2Fpublications%2Fmanuals-and-guidelines): <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-manuals-and-guidelines/-/KS-GQ-18-007?inheritRedirect=true&redirect=%2Feurostat%2Fpublications%2Fmanuals-and-guidelines>
- Forster, O. (2016). *Analysis 1, Grundkurs Mathematik* (12. Ausg.). Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Gohout, P. D. (2000). *Operations Research - Lineare Optimierung, Transportprobleme und Zuordnungsprobleme*. München; Wien: R. Oldenbourg Verlag.
- Grünert, T., & Irnich, S. (2005). *Optimierung im Transport - Band I: Grundlagen*. Aachen: Shaker Verlag.
- Heiserich, P.-E., Helbig, P., & Ullmann, P. (2011). *Logistik - eine praxisorientierte Einführung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Hofmann, E., & Wessely, P. (2009). Wie lassen sich Logistik- und Güterverkehrsmärkte segmentieren? *Internationales Verkehrswesen* (61), 424-429.
- Horni, A., Nagel, K., & Axhausen, K. W. (2016). Introducing MATSim. In A. Horni, K. Nagel, & K. W. Axhausen, *The Multi-Agent Transport Simulation MATSim* (S. 3-8). London: Ubiquity Press. doi:<http://dx.doi.org/10.5334/baw.1>.
- Horni, A., Scott, D., Balmer, M., & Axhausen, K. (2009). Location choice modeling for shopping and leisure activities with MATSim: Combining micro-simulation and time geography. *Transportation Research Record*, 2135, S. 87-95.
- Ivanov, D., & Käschel, J. (2008). DIMA - Entscheidungsunterstützung bei der Planung und Steuerung von Produktions- und Logistiknetzwerken auf einer interdisziplinären methodologischen Basis. In F. Himpel, B. Kaluza, & J. Wittmann (Hrsg.), *Spektrum des Produktions- und Innovationsmanagements. Komplexität und Dynamik im Kontext von Interdependenzen und Kooperation* (S. 289-298). Wiesbaden: Gabler Verlag.
- Leerkamp, B., & Bormann, R. (2018). *Güterverkehr - Nachfrage ist gestaltbar*. Bonn: Friedrich Ebert Stiftung.
- Leerkamp, B., Dahmen, B., Vollmer, R., & Janßen, T. (Mai 2013). *Datenanforderungen an die weiterentwicklung kleinräumiger Verkehrsnachfragemodelle des Wirtschaftsverkehrs - Praxisleitfaden*. Abgerufen am 15. November 2018 von [gut.uni-wuppertal](https://www.gut.uni-wuppertal.de/fileadmin/bauing/leerkamp/Downloads/KWM_70.0851-10_Praxisleitfaden_geschuetzt.pdf): [https://www.gut.uni-wuppertal.de/fileadmin/bauing/leerkamp/Downloads/KWM\\_70.0851-10\\_Praxisleitfaden\\_geschuetzt.pdf](https://www.gut.uni-wuppertal.de/fileadmin/bauing/leerkamp/Downloads/KWM_70.0851-10_Praxisleitfaden_geschuetzt.pdf)

- Marx, K. (1867). *Das Kapital. Kritik der politischen Oekonomie*. Hamburg: Meissner.
- Meister, K., Rieser, M., Ciari, F., Horni, A., Balmer, M., & Axhausen, K. (2009). Anwendung eines agentenbasierten Modells der Verkehrsnachfrage auf die Schweiz. *Straßenverkehrstechnik*, 53(5), S. 269-280. doi:<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005879775>
- Monge, M. (1781). Mémoire sur la théorie des déblais et de remblais. In Académie royale des sciences (Hrsg.), *Histoire de l'académie royale des sciences Année M. DCCLXXXI. Avec les Mémoires de Mathématique & de Physique, pour la même Année* (S. 666-704). Paris.
- Nicklas, J.-P. G. (2016). *Ansatz für ein modellbasiertes Anforderungsmanagement für Unternehmensnetzwerke*. Aachen: Shaker Verlag.
- Rank, O. N. (2015). *Unternehmensnetzwerke - Erfassung, Analyse und erfolgreiche Nutzung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Rieser, M., Horni, A., & Nagel, K. (2016). Let's Get Started. In A. Horni, K. Nagel, & K. Axhausen, *The Multi-Agent Transport Simulation MATSim* (S. 9-22). London: Ubiquity Press. doi:<http://dx.doi.org/10.5334/baw.2>.
- Schlüter, N. (2013). *Entwicklung einer Vorgehensweise zur Implementierung einer forderungsgerechten Kundenzufriedenheitsmessung in Unternehmensnetzwerken*. Aachen: Shaker Verlag.
- Schröder, S., Zilske, M., Liedtke, G., & Nagel, K. (2012). Towards a multi-agent logistics and commercial transport model: The transport service provider's view. *Procedia Social and Behavioral*, 649-663.
- Schwemmer, M. (2016). *TOP 100 der Logistik*. Hamburg: DVV Media Group.
- Statistisches Bundesamt. (31. August 2008a). *NST-2007, Einheitliches Güterverzeichnis für die Verkehrsstatistik - 2007*. Abgerufen am 1. Dezember 2018 von destatis: [https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/TransportVerkehr/Gueterverkehr/Tabellen/NST2007.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/TransportVerkehr/Gueterverkehr/Tabellen/NST2007.pdf?__blob=publicationFile)
- Statistisches Bundesamt. (Dezember 2008b). *Kassifikation der Wirtschaftszweige, mit Erläuterungen*. Abgerufen am 8. Dezember 2018 von destatis: [https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Verzeichnis/KlassifikationWZ08\\_3100100089004.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Verzeichnis/KlassifikationWZ08_3100100089004.pdf?__blob=publicationFile)
- Statistisches Bundesamt. (26. Februar 2018). *Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Input-Output-Rechnung 2014 (Revision 2014, Stand: August 2017)*. Abgerufen am 20. November 2018 von

destatis:

[https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/VolkswirtschaftlicheGesamtrechnungen/InputOutputRechnung/VGRInputOutputRechnung2180200147004.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/VolkswirtschaftlicheGesamtrechnungen/InputOutputRechnung/VGRInputOutputRechnung2180200147004.pdf?__blob=publicationFile)

Sydow, J. (1992). *Strategische Netzwerke. Evolution und Organisation*. Wiesbaden: Gabler Verlag.

Voß, N. (2014). *Diffusion von Supply Chain Management und Entstehung von Supply Chain Networks. Agentenbasierte Modellierung und Analyse*. Marburg: Metropolis-Verlag.

Zilske, M., & Joubert, J. W. (2016). Freight Transport. In A. Horni, K. Nagel, & K. W. Axhausen, *The Multi-Agent Transport Simulation MATSim*. London: Ubiquity Press Ltd.

doi:<http://dx.doi.org/10.5334/baw>

## 9 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

---

Abbildung 1: Abgrenzung des Wirtschaftsverkehrs, Darstellung übernommen aus: (Leerkamp, Dahmen, Vollmer, & Janßen, 2013) .....	3
Abbildung 2: Der "MATSim loop" aus (Horni, Nagel, & Axhausen, 2016).....	4
Abbildung 3: Typischer Verlauf des scores über die Iterationsschritte, Abbildung übernommen aus (Horni, Scott, Balmer, & Axhausen, 2009).....	5
Abbildung 4: Ablauf und Modularisierung der Disaggregation, eigene Darstellung.....	9
Abbildung 5: Internationales System der Wirtschaftsklassifikation, aus (Statistisches Bundesamt, 2008b) .....	10
Abbildung 6: relative Häufigkeitsverteilung der Summen der „wz_anteil“ für die jeweiligen Betriebsflächen, eigene Darstellung .....	22
Abbildung 7: Verfahren zur Ermittlung der Quell- und Zielpotenziale (Modul 1).....	26
Abbildung 14: Nordwesteckenregel Nassi-Shneiderman-Diagramm, eigene Darstellung des Vorgehens nach (Domschke, 1985).....	35
Abbildung 9: Mögliche Merkmale zur Segmentierung von Logistik und Güterverkehrsmärkten, Abbildung übernommen aus: (Hofmann & Wessely, 2009).....	46
Abbildung 10: Segmentierung des Schweizer Logistikmarktes, Abbildung übernommen aus: (Hofmann & Wessely, 2009).....	46
Abbildung 11: Skizze Vorgehensweise Modul 3 .....	48

## 10 TABELLENVERZEICHNIS

---

Tabelle 1: Aufbau der ISIC Rev. 4, NACE Rev. 2 und WZ 2008, sowie Kodierung der WZ-Gliederungselemente, Darstellung übernommen aus: (Statistisches Bundesamt, 2008b, S. 18).....	12
Tabelle 2: Anzahl der Gliederungselemente der NST/R und NST 2007, übernommen aus (Statistisches Bundesamt, 2008a) .....	13
Tabelle 3: Zusammenhang Gütergruppen des BVWP und NST2007.....	14
Tabelle 4: Zuordnung der LAU und NUTS-Ebenen zu administrativen Einheiten für NRW .....	15
Tabelle 5: Zuordnung LAU1 zu NUTS3 für das Ruhrgebiet, inkl. Zellnummer. der NUTS3-Elemente im BVWP-Verkehrsmodell.....	16
Tabelle 6: Spalteninformationen der Daten der Verflechtungsprognose der BVWP, Darstellung übernommen aus (BVU, Intraplan Consult, Ingenieurgruppe IVV, Planco Consulting, 2014) .....	18
Tabelle 7: Attribute der ruhrAGIS-Datei „Betriebsflächen“ .....	20
Tabelle 8: Clusterung der Wirtschaftszweige (Kennung gemäß WZ 2008) für die Beschäftigtenzahlen auf LAU1-Ebene. Übernommen aus dem laufenden Forschungsprojekt "kleiräumige Standortuntersuchung beim Güterverkehr für eine verbesserte integrierte Netzplanung“ .....	24
Tabelle 9: Anzahl der anonymisierten Einträge nach WZ-Cluster und Anteil an allen Verbandsgemeinden in Deutschland, eigene Darstellung .....	24
Tabelle 10: Anzahl der anonymisierten Einträge unter den Kommunen im Ruhrgebiet nach WZ-Cluster und Anteil an allen Kommunen im Ruhrgebiet, eigene Darstellung.....	25
Tabelle 11: Disaggregationsbedarfe in Abhängigkeit der Lage der Quell- und Zielverkehrszellen innerhalb oder außerhalb des Untersuchungsgebiets.....	29
Tabelle 12: Tableau eines klassischen Transportproblems mit Quellbetriebsstätten A, Zielbetriebsstätten B, Angebotsmengen a, Bedarfen b und Güterverkehrsaufkommen x, inhaltlich übernommen aus (Domschke, 1985) .....	35
Tabelle 13: Ergebnisse der Nordwesteckenregel bei gleichgerichteter Indexvergabe (links beide aufsteigen, rechts beide absteigend) .....	37
Tabelle 14: Ergebnisse der Nordwesteckenregel bei entgegengesetzter Indexvergabe (links Quellbetriebsstätten absteigend, Zielbetriebsstätten aufsteigend sortiert, rechts umgekehrt) .....	38
Tabelle 15: Eigenschaften der Nordwesteckenregel bei Anwendung auf unterschiedlich sortierte Quell- und Zielbetriebsstätten .....	38