

# Integration der Logistik in die Güterverkehrsmodellierung

---

Verkehrsmodellierung im UVEK



## **IMPRESSUM**

---

### **Herausgeber**

Bundesamt für Raumentwicklung (ARE)

### **Auftraggeber**

Bundesamt für Raumentwicklung (ARE)

Bundesamt für Strassen (ASTRA)

Bundesamt für Verkehr (BAV)

### **Autoren**

Wolfgang Röhling (SSP Consult, Waldkirch)

Stefan Schrempf (SSP Consult, Waldkirch)

Klaus Nökel (PTV AG, Karlsruhe)

Norbert Schick (PTV AG, Karlsruhe)

### **Projektbegleitung**

Helmut Honermann (ARE)

Andreas Justen (ARE)

### **Produktion**

Rudolf Menzi, Leiter Kommunikation ARE

### **Zitierweise**

ARE (2017), Verkehrsmodellierung im UVEK – Integration der Logistik in die Güterverkehrsmodellierung, Bundesamt für Raumentwicklung, Bern

### **Bezugsquelle**

[www.aren.admin.ch](http://www.aren.admin.ch)

# Inhaltsverzeichnis

<b>I. Zusammenfassung.....</b>	<b>I</b>
<b>II. Résumé.....</b>	<b>VII</b>
<b>III. Riassunto .....</b>	<b>XIII</b>
<b>1 <u>EINLEITUNG.....</u></b>	<b>1</b>
1.1 AUFGABENSTELLUNG .....	1
1.2 VORGEHEN .....	3
<b>2 <u>ANFORDERUNGEN AN EIN GÜTERVERKEHRSMODELL FÜR DIE SCHWEIZ.....</u></b>	<b>4</b>
2.1 VERKEHRSPERSPEKTIVEN FÜR DIE SCHWEIZ - ANSATZPUNKTE FÜR DIE GÜTERVERKEHRSMODELLIERUNG .....	4
2.2 ABGRENZUNG DES GÜTERVERKEHRSMODELLS ZU NACHBARBEREICHEN.....	7
2.3 GENERELLE QUALITÄTSANFORDERUNGEN AN GÜTERVERKEHRSMODELLE.....	9
2.4 ANFORDERUNGEN DER NUTZER .....	10
2.5 FAZIT ANFORDERUNGEN AN DAS GÜTERVERKEHRSMODELL DER SCHWEIZ .....	15
<b>3 <u>ANALYSERAHMEN FÜR DIE KONZEPTENTWICKLUNG.....</u></b>	<b>16</b>
3.1 ANALYSERAHMEN FÜR DAS TRANSPORTSYSTEM.....	16
3.2 INTEGRATION VERSCHIEDENER ARTEN VON PARAMETERN .....	18
3.3 STRUKTUR EINES GÜTERVERKEHRSMODELLS FÜR DIE DREI TEILMÄRKTE.....	21
3.3.1 SONDERBEREICHE FÜR DIE GÜTERVERKEHRSMODELLIERUNG .....	22
3.3.1.1 Einfluss von Logistik und regionalen Besonderheiten .....	22
3.3.1.2 Wertdichten bei Zeitreihenanalysen.....	25
3.3.1.3 Verkehrsarten.....	26
3.3.1.4 Direkte Prognose oder Fortschreibung .....	26
<b>4 <u>CHARAKTERISIERUNG VON AMG UND NGVM –DEFIZITANALYSE, BEWERTUNG .....</u></b>	<b>27</b>
4.1 DEFIZITANALYSE.....	27
4.2 FAZIT ZUR BETRACHTUNG DER EXISTIERENDEN GÜTERVERKEHRSMODELLE DER SCHWEIZ .....	29

<b>5</b>	<b><u>DATENGRUNDLAGEN FÜR EIN GÜTERVERKEHRSMODELL</u></b> .....	<b>30</b>
<b>6</b>	<b><u>VERBESSERUNG DER AMG OHNE EXPLIZITE BERÜCKSICHTIGUNG DER LOGISTIK (VARIANTE I)</u></b> . 31	
6.1	SEGMENTIERUNG .....	33
6.2	DATENMODELL FÜR DEN NACHFRAGEMARKT .....	34
6.3	DATENMODELL FÜR EINE BEZIRKS-BASISMATRIX FÜR DEN TRANSPORTMARKT .....	39
6.4	PROGNOSEN DER GÜTERVERKEHRSAUFGOMMEN .....	43
6.4.1	WERTDICHTEN .....	43
6.4.2	FORTSCHREIBUNG ODER DIREKTE PROGNOSE.....	44
6.5	MODELLE FÜR DEN TRANSPORTMARKT .....	45
6.5.1	VERTEILUNGSMODELL.....	45
6.5.2	MODAL-SPLIT .....	47
6.6	FAHRZEUGMODELL FÜR DEN LW-VERKEHR.....	49
6.7	FAHRZEUGMODELL SCHIENENGÜTERVERKEHR .....	53
6.8	LIEFERWAGENVERKEHRE .....	54
6.9	DISAGGREGATION DER LW-MATRIX AUF FEINZONEN DES NPVM .....	56
6.10	HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN VARIANTE I: AUSWEITUNG DER FUNKTIONALITÄT DER AMG .....	58
<b>7</b>	<b><u>MÖGLICHKEITEN DER BERÜCKSICHTIGUNG DER LOGISTIK IM GÜTERVERKEHRSMODELL</u></b>	
	<b><u>(VARIANTE II)</u></b> .....	<b>62</b>
7.1	LOGISTISCHE PROZESSE IN VORHANDENEN MODELLEN .....	62
7.1.1	CHARAKTERISIERUNG LOGISTISCHER PROZESSE.....	62
7.1.2	BEISPIELE FÜR MODELLE ZUR BERÜCKSICHTIGUNG DER LOGISTIK .....	63
7.1.3	FAZIT ZU WEITEREN MODELLEN IM BEREICH LOGISTIK.....	66
7.2	VARIANTE II: ERWEITERTE BERÜCKSICHTIGUNG DER TRANSPORTLOGISTIK IN DER GÜTERVERKEHRSMODELLIERUNG FÜR DIE SCHWEIZ.....	68
7.2.1	BERÜCKSICHTIGUNG DER INTERMODALITÄT .....	68
7.2.2	GERMAN APPROACH .....	70
7.2.3	VERFEINERUNG DES LW-FAHRZEUGMODELLS: AKQUISITION VON LADUNG IM START- UND ZIELGEBIET.....	72
7.2.4	VERKNÜPFUNG ZWISCHEN LOGISTIK UND DER AMG.....	74
7.3	HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR VARIANTE II: INTEGRATION DER LOGISTIK IN DIE GÜTERVERKEHRSMODELLIERUNG.....	76

<b>8</b>	<b>ANALYSE EMPIRISCHER DATEN DES GÜTERVERKEHRSMARKTES (VARIANTE III)</b>	<b>78</b>
<b>8.1</b>	<b>INTENSIVERE AUSWERTUNGEN DER GÜTERVERKEHRSTATISTIK DER SCHWEIZ</b>	<b>78</b>
<b>8.2</b>	<b>VORBEREITUNG DER MODELLIERUNG INTERMODALER VERKEHRE</b>	<b>81</b>
8.2.1	ERGEBNISSE DES FORSCHUNGSVORHABENS: INNOVATIONEN IM INTERMODALEN VERKEHR	81
8.2.2	MÖGLICHKEITEN DER AUSWERTUNG VON GÜTERVERKEHRSDATEN FÜR INTERMODALE VERKEHRE	83
<b>8.3</b>	<b>BEDEUTENDE WARENGRUPPEN FÜR DIE ABBILDUNG LOGISTISCHER PROZESSE</b>	<b>83</b>
<b>8.4</b>	<b>NUTZUNG DER VORHANDENEN AMG ZUR WEITEREN DATENANALYSE</b>	<b>84</b>
<b>8.5</b>	<b>HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN ZUR NUTZUNG EMPIRISCHER DATEN</b>	<b>86</b>
<b>9</b>	<b>STRATEGIE ZUR WEITERENTWICKLUNG DER GÜTERVERKEHRSMODELLIERUNG IN DER SCHWEIZ</b>	<b>88</b>
<b>10</b>	<b>LITERATUR</b>	<b>92</b>
<b>11</b>	<b>ANHÄNGE</b>	<b>93</b>
<b>11.1</b>	<b>GRUNDSTRUKTUR DER MODELLE FÜR DIE DREI TEILMÄRKTE DES TRANSPORTSYSTEMS</b>	<b>93</b>
11.1.1	MODELLSTRUKTUR FÜR DEN NACHFRAGEMARKT	94
11.1.2	MODELLSTRUKTUREN FÜR DEN TRANSPORTMARKT	95
11.1.3	MODELLE FÜR DEN VERKEHRSMARKT	99
<b>11.2</b>	<b>UMSETZUNG DER DREI TEILMÄRKTE IN DER AMG UND IM NGVM</b>	<b>101</b>
11.2.1	UMSETZUNG DER TEILMÄRKTE IN DER AMG	101
11.2.2	UMSETZUNG DER TEILMÄRKTE IM NGVM	108
<b>11.3</b>	<b>CHARAKTERISIERUNG DER EINZELNEN DATENQUELLEN</b>	<b>112</b>
<b>11.4</b>	<b>BERÜCKSICHTIGUNG DER INTERMODALITÄT IN DER VERKEHRSMITTELWAHL</b>	<b>122</b>
11.4.1	ALTERNATIVE MODELLANSÄTZE FÜR DIE INTERMODALE ROUTENWAHL	122
11.4.2	VERKEHRSMITTELFOLGENWAHL IM MODELL TRIMODE	129
<b>11.5</b>	<b>SEGMENTIERUNG</b>	<b>136</b>
11.5.1	GÜTERGRUPPEN (NST2007)	136
11.5.2	VERKEHRSZELLEN, ZONIERUNG	139
11.5.2.1	Rahmenbedingungen für die Zonierung	139
11.5.2.2	Repräsentativität der Stichprobendaten für schwere LW	141
11.5.3	VORSCHLAG FÜR EIN ZONIERUNGSSYSTEM	142
11.5.4	VERKEHRSTRÄGER UND FAHRZEUGSEGMENTE	145

**TABELLENVERZEICHNIS**

Tabelle 3-3-1: Parameterarten in Güterverkehrsmodellen	20
Tabelle 6-1: Auslastungsgrade und Entfernungsverteilungen LW	52
Tabelle 11-1: Charakterisierung Gütertransporterhebung	113
Tabelle 11-2: Charakterisierung der Erhebung grenzüberschreitender Güterverkehre	114
Tabelle 11-3: Charakterisierung der Erhebung zum alpenquerenden Verkehr	115
Tabelle 11-4: Charakterisierung der Erhebung Wagenverlaufsdatei	116
Tabelle 11-5: Charakterisierung der LSVA	116
Tabelle 11-6: Charakterisierung der Erhebung zu Lieferwagenverkehren	117
Tabelle 11-7: Charakterisierung der BFS-Statistik	117
Tabelle 11-8: Charakterisierung der Güterverkehre der Nachbarländer	118
Tabelle 11-9: Charakterisierung der Statistik der Binnenschifffahrt	119
Tabelle 11-10: Charakterisierung Aussenhandelsstatistik	119
Tabelle 11-11: Charakterisierung der Arealstatistik	120
Tabelle 11-12: Charakterisierung der Unternehmensstatistik	121
Tabelle 11-13: Charakterisierung der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung	122
Tabelle 11-14: NST2007 Güterbereiche, Zuordnung zu Logistikklassen	137

**ABBILDUNGSVERZEICHNIS**

Abbildung 2-1:	Grundanforderung an ein nationales Güterverkehrsmodell	6
Abbildung 2-2:	Abgrenzung der GV-Modellierung zu Nachbarmodellen	8
Abbildung 2-3:	Nutzeranforderungen an die Güterverkehrsmodellierung	11
Abbildung 3-1:	Teilmärkte des Güterverkehrssystems	16
Abbildung 3-2:	Struktur des Güterverkehrsmodells	21
Abbildung 3-3:	Häufigkeitsverteilung von $q = \text{reg. Aufkommen zu reg. BWS}$ Landwirtschaftliche Produkte	24
Abbildung 6-1:	Güterverflechtungsmatrix	32
Abbildung 6-2:	Vorschlag für die Segmentierung des Güterverkehrsmodells	34
Abbildung 6-3:	Datenmodell Nachfragemarkt	36
Abbildung 6-4:	Struktur des Aufkommensmodells aus der BVWP2030	38
Abbildung 6-5:	Datenmodell für die Aufbereitung einer Arbeitsmatrix	39
Abbildung 6-6:	Verflechtungsmatrix der Güterströme	41
Abbildung 6-7:	EVA-Funktion ( $E=1, F=5, G=1,5$ )	46
Abbildung 6-8:	Hierarchisches Modell	48
Abbildung 6-9:	Abhängigkeit der Leerfahrtenwahrscheinlichkeit von der Asymmetrie der Ladung auf einer Relation	51
Abbildung 6-10:	Lieferwagenmodell © SSP	55
Abbildung 6-11:	Eine Gewichtungsfunktion für die Feinverteilung	57
Abbildung 6-12:	Hierarchie der Arbeitsschritte in Variante I	59
Abbildung 7-1:	Erweitertes LW-Modell	74
Abbildung 7-2:	Module zur Einbeziehung der Logistik	77
Abbildung 9-1:	Hierarchie für die Umsetzung von Variante I	90
Abbildung 11-1:	Struktur des Güterverkehrsmodells	93
Abbildung 11-2:	Empirisch-inkrementeller Ansatz	123
Abbildung 11-3:	Empirisch-inkrementeller Ansatz mit manuellem Eingriff	124

---

Abbildung 11-4: Synthetischer Ansatz	125
Abbildung 11-5: Hybrider Ansatz – Analysefall	128
Abbildung 11-6: Hybrider Ansatz – Prognosefall	129
Abbildung 11-7: TRIMODE: Verkehrsmodell	130
Abbildung 11-8: TRIMODE: Verkehrsmittel im Güterverkehr	131
Abbildung 11-9: TRIMODE: Zwei-Ebenen-Verfahren	131
Abbildung 11-10: TRIMODE: Suchgraph für Mehrweg-Suche in der Verkehrsmittelfolgen Wahl	133
Abbildung 11-11: TRIMODE: Zwei Alternativen für die Gesamt-Relation 1-11	134
Abbildung 11-12: TRIMODE: Verkehrsmittelfolgen für eine ausgewählte Gesamt-Relation	135
Abbildung 11-13: Besetzung Stichprobenelemente	142
Abbildung 11-14: Grenzen der MS-Regionen (blau) und der Kantone (rot)	143
Abbildung 11-15: Zonierung im Aussenraum	145

# I. Zusammenfassung

Für die Modellierung des Güterverkehrs in der Schweiz liegen zwei Güterverkehrsmodelle vor. Das Nationale Güterverkehrsmodell – NGVM bildet sehr detailliert und feinräumig die Güterverkehrsprozesse und Logistik in der Schweiz ab. Um die Analyse der Entstehung der Güterverkehrsnachfrage sowie logistischer Prozesse zu ermöglichen, wurde das NGVM als „synthetisches Modell“ ausgestaltet. Ein direkter Bezug der Modellergebnisse des NGVM zu der amtlichen Güterverkehrsstatistik ist nicht gegeben. Für die Anwendung im Rahmen der Schweizerischen Verkehrsperspektiven 2040, die auf den statistischen Erhebungen zum Güterverkehr aufbauen, wurde die „Aggregierte Methode Güterverkehr“ – AMG – in Form von zwei Teilmodellen (TM) entwickelt. Die Ergebnisse der AMG sind kompatibel mit der amtlichen Güterverkehrsstatistik, wobei das Teilmodell 1 (AMG-TM1) Zeitreihen für nationale Eckwerte des Güterverkehrs liefert, das Teilmodell 2 (AMG-TM2) eine Aufteilung dieser Eckwerte auf feinräumigere Güterverkehrsströme leistet. Die AMG-TM2 bildet allerdings den Güterverkehr nicht in der Detailliertheit des NGVM ab und logistische Abläufe werden nur indirekt und sehr allgemein abgebildet.

Die Zielsetzung der vorliegenden Studie ist es, ein Konzept für die Weiterentwicklung der Güterverkehrsmodellierung für die Schweiz aufzuzeigen. Ausgangspunkt dazu bildeten die Modellstrukturen der AMG; eine methodische Weiterentwicklung des NGVM wurde in der Studie nicht berücksichtigt. Dabei sollen in der AMG vereinfacht umgesetzte Modellansätze verbessert werden, die Ergebnisse kompatibel zur Verkehrsstatistik bleiben und Methoden aufgezeigt werden, mit Hilfe derer ausgewählte logistische Fragestellungen beantwortet werden können. Für die Konzeptarbeiten liegt es nahe, neben AMG-spezifischen Verbesserungen die für die AMG verwertbaren methodischen Stärken des NGVM zu berücksichtigen.

In einem Workshop und zwei Arbeitssitzungen wurden mit Akteuren des Güterverkehrs und möglichen Modellnutzern die Anforderungen an ein nationales Güterverkehrsmodell diskutiert. Als wesentliche Anforderungen wurden genannt:

- Die Abbildung der Güterverkehrsnachfrage sollte kompatibel sein zur Güterverkehrsstatistik.
- Eine feinräumigere Schätzung der Güterverkehrsnachfrage zur Unterstützung der Standortplanung von Umschlagsterminals sollte möglich sein.
- Alle Verkehrsträger sind zu berücksichtigen.
- Die Modellergebnisse sollten massnahmensensitiv sein.

- Das Modell sollte prognosefähig sein.
- Die intermodalen Verkehre und die Verkehrsarten (Binnenverkehr, Import, Export, Transit) sollten als eigenständige Segmente im Modell enthalten sein.
- Die Abbildung logistischer Prozesse ist erwünscht.

Der Abgleich mit den modellspezifischen Eigenschaften von AMG und NGVM zeigt, dass die beiden Modelle jeweils unterschiedliche Zielsetzungen verfolgen und daher unterschiedliche Elemente der genannten Anforderungen erfüllen. Als wichtige Defizite und damit auch Potenziale zur Verbesserung der AMG werden erkannt:

- Nicht alle zur Güterverkehrsmodellierung verfügbaren Daten werden genutzt.
- Die Feinaufteilung der aggregierten Güterverkehrsströme auf Feinzonen erfolgt zu mechanistisch, wodurch die Abbildungsgüte beeinträchtigt wird.
- Für die Verkehrsmittelwahl werden aktuell nur durchschnittliche Elastizitäten statt eines Verkehrsmittelwahlmodells angewendet.
- Es findet keine Rückkopplung zwischen Güterverkehrsnachfrage und Kenngrössen der Umlegung statt.
- Logistische Prozesse werden nur sehr vereinfacht abgebildet.

Vor dem Hintergrund von Anforderungen und Defiziten / Potenzialen werden **drei Varianten** der Weiterentwicklung der Güterverkehrsmodellierung für die Schweiz entwickelt.

Die **Variante I hat die Verbesserung und Vervollständigung der bestehenden AMG** zum Gegenstand. Es werden folgende Schritte vorgeschlagen:

- Zunächst ist die Datenbasis zu aktualisieren und an die Anforderungen anzupassen. Die Eignung der gewählten Zonierung sowie der Einteilung der Güterverkehre neu gemäss europäischer NST2007-Systematik ist zu prüfen.
- Es sollte ein eigenständiges Nachfragemodell mit Hilfe der im AMG-TM2 vorhandenen Querschnittsdaten entwickelt werden, um die Disaggregation der Eckwerte aus der AMG-TM1 zu verbessern. Hinsichtlich der Zonierung wird eine Referenz zu den Kantonen und/oder MS-Regionen empfohlen.
- Die aktuellen Gütertransporterhebungen (GTE) und Grenzquerenden Erhebungen (GQGV) sollten in die Basismatrix integriert und die Kennzahlen der Güterverkehrsnachfrage (Aufkommen, Fahrtlängen, Auslastungen der Fahrzeuge usw.) aus der GTE intensiver herausgearbeitet werden. Es ist zu prüfen, inwieweit bei regionaler Unterbesetzung der Stichprobenerhebung eine Ergänzung der Matrix durch Modellschätzungen sinnvoll und notwendig ist.

- Die Methodik zur Feinaufteilung der Fahrzeugmatrix im Strassengüterverkehr ist zu verbessern.
- Es ist zu prüfen, ob die gesonderte Berücksichtigung einzelner Gutarten mit spezieller Logistik (z.B. Rohöl) zu einer Verbesserung der Abbildungsgüte des Güterverkehrsmodells führt.
- Ein Verteilungs- und Verkehrsmittelwahlmodell sollte ergänzt werden.
- Es ist zu prüfen, inwieweit die Informationen aus der bei der SBB vorliegenden Wagenverlaufsdatei für die Modellierung besser genutzt werden können.
- Es wird vorgeschlagen, die Lieferwagenverkehre, die zur Zeit exogen erzeugt werden, als tourenbasiertes Modell in die AMG-TM2 zu integrieren.

Es ist zu erwarten, dass durch die Umsetzung der Variante I eine deutlich höhere Ergebnisqualität und Erfüllung der Anforderungen an die Güterverkehrsmodellierung in der Schweiz erreicht wird. Variante I bewegt sich dabei im Rahmen vorhandener Datenquellen und Modellgrundlagen, bedarf jedoch bei Realisierung aller genannten Aspekte substantieller Arbeiten zur Modellerweiterung sowie zur Validierung und Kalibration des Modells. Der Einbezug der Logistik wird in Variante I noch nicht betrachtet.

In der **Variante II** werden Möglichkeiten diskutiert, **logistische Prozesse** in die Güterverkehrsmodellierung zu integrieren. Es zeigt sich, dass dies auf Basis der vorhandenen empirischen Datengrundlagen schwierig ist und schnell die Anwendung synthetischer Modelle erfordert. Es werden aber für Variante II drei Ansatzpunkte herausgearbeitet, die weiter verfolgt werden sollten:

- Da der Strassengüterverkehr ein wichtiges Segment der Güterverkehrsnachfrage bleibt, wird eine Verbesserung der Modellabbildung an der Schnittstelle zwischen Güterströmen und Fahrzeugmodellen vorgeschlagen, indem die logistischen Abläufe der Strassengütertransporte (Bündelung von Ladung im Start- und Zielgebiet) realistischer im Modell umgesetzt werden. Damit liesse sich die durch den Strassengüterverkehr hervorgerufene Infrastrukturbelastung besser abbilden.
- Ein weiteres wichtiges Segment stellen die intermodalen Transporte in Kombination mit dem German Approach dar. Es wird vorgeschlagen, aus den Netzgrundlagen, wie sie für das NPVM 2016 etabliert werden, intermodale Netzmodelle zu entwickeln, die für eine intermodale Umlegung der Güterverkehrsströme und Bildung von Transportketten geeignet sind. Dies würde einen wesentlichen Schritt zur Abbildung von Teilen der Transportlogistik des kombinierten Verkehrs auf der Schiene mit den Vor- und Nachläufen auf der Strasse leisten. Damit wird ein Teil der politischen Fragestellungen,

z. B. die Beurteilung der Auswirkungen von neuen Terminalstandorten oder die Verlagerungspolitik, abgedeckt.

- Schliesslich wird vorgeschlagen, aktuelle Entwicklungen in der Modellierung logistischer Prozesse im Rahmen eines Forschungsprojektes auf die Eignung für ein nationales Güterverkehrsmodell zu prüfen. Als vielversprechend wird die sogenannte ADA-Methode<sup>1</sup> eingeschätzt. Bei dieser Methode werden empirische Ansätze, die auf der Güterverkehrsstatistik basieren, und synthetische Modellansätze im Sinne des NGVM kombiniert. Diese Methode würde eine tiefere Abbildung logistischer Prozesse aller Transportmittel in Güterverkehrsmodellen gestatten.

In **Variante III** steht nicht die Modellierung, sondern die eigenständige **deskriptive Analyse vorhandener Daten** im Vordergrund. Dazu werden u.a. folgende Auswertungsschritte vorgeschlagen:

- Zentral sind die Auswertungsmöglichkeiten der statistischen Erhebungen des Güterverkehrs in der Schweiz, die GTE und die GQGV. Beispielsweise sind die enthaltenen Informationen hinsichtlich der Fahrtenlängen und Transportmittel, der dominierenden Gütergruppen, den Verlagerungspotenzialen von Transporten auf die Bahn oder die Umlegung der empirisch erfassten Fahrzeugströme auf Netzmodelle bisher nicht umfassend ausgewertet worden.
- Die genauere Analyse der in der Wagenverlaufsdatei enthaltenen Informationen sollte durchgeführt werden. Hier stehen insbesondere die Transportvorgänge (Aufkommen, Fahrtlängen und dominierende Gutarten) des kombinierten und Wagenladungsverkehrs im Vordergrund.
- In Deutschland wurde der „German Approach“ entwickelt. Hiermit werden intermodale Verkehre durch geeignete Verknüpfung von Stichprobenerhebungen zum Güterverkehr abgebildet. Es ist zu prüfen, ob ähnliche Datenverknüpfungen auch aus der GTE und GQGV in Verknüpfung mit der Wagenverlaufsdatei abgeleitet werden können, um die intermodalen Verkehre in der Schweiz abzubilden. Die Daten müssen inhaltlich und räumlich (gepoolt oder Einzeljahre) so aufbereitet werden, dass Sie für die Güterverkehrsmodellierung genutzt werden können. Dieser Arbeitsschritt sollte mit den Arbeiten des Bundesamtes für Statistik (BFS) zu diesem Thema abgestimmt werden.
- Eine grundsätzliche Aufbereitung von Inputdaten und Validierungsgrundlagen für die Aktualisierung und Ergänzung der bestehenden AMG-TM2 wird empfohlen.

---

<sup>1</sup> ADA: aggregate, disaggregate, aggregate Modell

Im Hinblick auf die zeitliche Umsetzung der erarbeiteten Varianten I, II und III sollten diese nicht als Alternativen angesehen werden. Vielmehr können einzelne Module der Varianten umgesetzt werden und die Arbeiten der anderen Variante ergänzen. So unterstützt z.B. die Datenanalyse in Variante III die Verbesserung der AMG in Variante I. Oder Datenanalysen können für die Abbildung intermodaler Verkehre in Variante II die notwendigen Informationen bereitstellen.

Aus der Darstellung der Varianten lässt sich eine **Hierarchie für die Realisierung** ableiten. **Als kurzfristige Massnahmen** zur Verbesserung der Güterverkehrsmodellierung lassen sich alle deskriptiven Auswertungen der Variante III zügig umsetzen. Kurz- bis **Mittelfristig** wäre die Umsetzung von Elementen der Variante I zur Verbesserung der AMG-TM2 zu empfehlen. Hierfür könnten die Analysen aus Variante III unterstützend genutzt werden. **Längerfristig** sollte die Umsetzung der Variante II ins Auge gefasst werden, die zum Ziel hat, spezifische Elemente der Transportlogistik in die Güterverkehrsmodellierung zu integrieren. Die Arbeiten der Variante II erfordern größere Eingriffe in die vorhandene AMG. Die Frage, inwieweit detailliertere Logistikprozesse in Modellen abbildbar sind, sollte zunächst im Rahmen eines Forschungsprojektes geklärt werden.



## II. Résumé

Deux modèles de transport de marchandises sont disponibles pour modéliser le fret en Suisse. Le Modèle national de transport de marchandises (MNTM) représente de manière très détaillée et très fine sur le plan spatial les processus de logistique et de transport de marchandises en Suisse. Le MNTM a été conçu comme un «modèle synthétique» afin de pouvoir analyser la formation de la demande de transport de marchandises et les processus logistiques. Il n'y a pas de lien direct entre les résultats du modèle MNTM et les statistiques officielles en matière de transport de marchandises. Pour permettre une application dans le cadre des Perspectives suisses de transport 2040, qui s'appuient sur les enquêtes statistiques liées au transport de marchandises, la Méthode agrégée pour le trafic marchandises (MAM) a été développée sous la forme de deux modèles partiels (MP). Les résultats de la MAM sont compatibles avec les statistiques officielles en matière de transport de marchandises, le modèle partiel 1 (MP1 MAM) livrant des séries temporelles pour les valeurs nationales en matière de transport de marchandises tandis que le modèle partiel 2 (MP2 MAM) fournit une ventilation fine sur le plan spatial de ces valeurs sur les flux de transport de marchandises. Le MP2 MAM ne reflète toutefois pas les transports de marchandises avec le même degré de précision que le MNTM, et les procédures logistiques ne sont représentées que de manière très générale et indirecte.

L'objectif de la présente étude est de concevoir le développement futur de la modélisation du transport de marchandises en Suisse. Pour ce faire, ce sont les structures des modèles de la MAM qui ont été prises pour base; la présente étude ne vise pas un développement méthodologique du MNTM. Il s'agit donc en substance d'améliorer les modèles mis en œuvre de manière simplifiée dans la MAM, tout en garantissant la compatibilité des résultats avec les statistiques en matière de transports, et de dégager des méthodes permettant de répondre à certaines questions logistiques. Pour la conception, il semble logique, au-delà des améliorations spécifiques à la MAM, de mettre à profit les atouts méthodologiques du MNTM transposables à la MAM.

Un atelier et deux séances de travail ont permis de discuter des exigences liées à un modèle national de transport de marchandises avec les acteurs de la branche et avec de possibles utilisateurs du modèle. Les exigences suivantes ont été formulées:

- La représentation de la demande de transport de marchandises doit être compatible avec les statistiques en matière de transports de marchandises.

- Il doit être possible de procéder à une évaluation plus fine sur le plan spatial de la demande de transport de marchandises dans le but de faciliter la planification de sites destinés à des terminaux de transbordement.
- Tous les modes de transport doivent être pris en considération.
- Les résultats des modèles doivent être sensibles aux mesures prises.
- Le modèle doit permettre de faire des prévisions.
- Les transports intermodaux et les types de transport (transport intérieur, d'importation, d'exportation, de transit) doivent être intégrés au modèle sous la forme de segments autonomes.
- Il est souhaitable que les processus logistiques soient représentés.

La comparaison avec les caractéristiques propres à la MAM et au MNTM montre que les deux modèles poursuivent des objectifs différents et qu'ils répondent différemment aux exigences susmentionnées. Les points suivants ont été considérés comme des lacunes importantes et, partant, comme autant de potentiels d'amélioration de la MAM:

- Toutes les données disponibles pour une modélisation des transports de marchandises ne sont pas utilisées.
- La ventilation fine des flux agrégés de transports de marchandises sur des zones de petite taille se fait de manière trop mécanique, ce qui nuit à la qualité de la représentation.
- S'agissant du choix des moyens de transport, il n'est actuellement fait recours qu'à des élasticités moyennes en lieu et place d'un modèle de choix des modes de transport.
- Aucune rétroaction n'est opérée entre la demande de transport de marchandises et les valeurs de l'affectation.
- Les processus logistiques ne sont représentés que de manière extrêmement simplifiée.

Au vu des exigences et des déficits/potentiels détectés, **trois variantes** de développement de la modélisation des transports de marchandises en Suisse ont été explorées.

La **variante I porte sur l'amélioration et sur la finalisation de la MAM**. Les étapes suivantes sont proposées:

- Commencer par actualiser la base de données et l'adapter aux exigences. Vérifier l'adéquation du zonage choisi avec la nouvelle classification des trafics de marchandises selon la nomenclature européenne NST 2007.
- Développer un modèle autonome de représentation de la demande sur la base des données transversales contenues dans le MP2 MAM afin d'améliorer la désagrégation

des valeurs provenant du MP1 MAM. Conseil concernant le zonage: adopter une référence aux cantons et/ou aux régions MS.

- Intégrer dans la matrice de base les enquêtes sur le transport de marchandises (ETM) et celles sur le trafic transfrontalier de marchandises par la route (GQGV), et exploiter de manière plus intensive les chiffres clé de la demande de transport de marchandises (volumes, longueur des courses, chargement des véhicules etc.) tirés des ETM. Examiner dans quelle mesure il peut s'avérer utile et nécessaire de compléter la matrice par des évaluations issues du modèle en cas de taille d'échantillon insuffisante de l'enquête au niveau régional.
- Améliorer la méthodologie de ventilation fine de la matrice des véhicules en matière de transport routier de marchandises.
- Examiner si le fait de distinguer certains types de marchandises nécessitant une logistique particulière (pétrole brut par exemple) permet d'améliorer la qualité de représentation du modèle de transport de marchandises.
- Compléter le modèle de ventilation et de choix des modes de transport.
- Voir comment mieux utiliser pour la modélisation les informations en provenance des données des CFF sur la circulation de wagons.
- Proposition: intégrer le trafic par véhicules de livraison (actuellement généré de manière exogène) dans le MP2 MAM en tant que modèle reposant sur les tournées.

Il y a tout lieu de s'attendre à ce que la mise en œuvre de la variante I renforce sensiblement la qualité des résultats et le respect des exigences posées à l'égard de la modélisation du transport de marchandises en Suisse. En la matière, la variante I se satisfait des sources de données et des bases de modélisation disponibles, mais elle nécessite, en cas de réalisation de tous les aspects mentionnés, des travaux d'importance visant à étendre la modélisation et à valider et calibrer le modèle. La logistique n'est pour le moment pas prise en compte par la variante I.

La **variante II** envisage des possibilités d'intégration des **processus logistiques** dans la modélisation du transport de marchandises. L'expérience montre que cela est difficile en se basant sur les données empiriques de base disponibles et que cela nécessite rapidement le recours à des modèles synthétiques. Trois points de départ susceptibles d'être poursuivis ont toutefois été identifiés pour la variante II:

- Le transport routier constituant un segment important de la demande de transport de marchandises, une amélioration de la représentation du modèle est proposée au niveau des interfaces entre les flux de marchandises et les modèles de véhicules via une mise en œuvre dans le modèle plus réaliste des processus logistiques afférents au transport routier de marchandises (regroupement du chargement dans la zone de

départ et de destination). Cela permet de mieux représenter l'utilisation des infrastructures causée par le transport routier de marchandises.

- Les transports intermodaux liés à la *German Approach* constituent un autre pan d'importance. En partant des bases de réseau établies pour le MNTM 2016, il est proposé de développer des modèles de réseau intermodaux adaptés à un report modal des flux de transport de marchandises et à la représentation de chaînes de transport. Cela constituerait une étape importante en vue de la représentation de parties de la logistique des transports combinés sur le rail ayant des composantes par la route (en amont et en aval). Cela permettrait en outre de couvrir certaines questions d'ordre politique relatives à l'évaluation des effets des nouveaux sites destinés aux terminaux ou de la nouvelle politique de transports.
- Pour finir, nous suggérons d'examiner dans le cadre d'un projet de recherche si les évolutions actuelles sur le front de la modélisation des processus logistiques se prêtent à un modèle national de transport de marchandises. La méthode ADA<sup>2</sup> est jugée très prometteuse. Dans le cadre de cette méthode, des approches empiriques reposant sur les statistiques afférentes au transport de marchandises sont combinées aux approches modélisées au sens du MNTM. Cette méthode autoriserait une représentation plus profonde des processus logistiques de tous les modes de transport en matière de fret.

La **variante III** met l'accent non pas sur la modélisation, mais sur l'**analyse descriptive** et autonome **des données disponibles**. A cette fin, les étapes d'évaluation suivantes sont entre autres proposées:

- L'élément central est constitué par les possibilités d'évaluation des enquêtes statistiques sur le transport de marchandises en Suisse, l'ETM et la GQGV. Jusqu'ici, les informations obtenues à propos de la longueur des courses, des moyens de transport, des groupes de marchandises dominants, des potentiels de report modal des transports en direction du rail ou encore la transposition aux modèles de réseau des flux de véhicules déterminés de manière empirique n'ont ainsi pas été évaluées avec exhaustivité.
- Il conviendrait d'analyser plus précisément les informations obtenues grâce aux données relatives aux wagons en circulation. L'accent doit alors être mis sur les opérations de transport (volumes, longueur des courses et types de marchandises dominants) du transport combiné ou du trafic par wagons complets.
- L'Allemagne a développé la *German Approach*, qui permet de refléter les transports intermodaux en croisant les résultats d'enquêtes par sondage portant sur le transport de

---

<sup>2</sup> ADA: modèle agrégé, désagrégé, agrégé

marchandises. Il convient de vérifier s'il est possible de procéder à de tels croisements entre l'ETM et la GQGV et les données relatives aux wagons en circulation afin d'obtenir une représentation des transports intermodaux en Suisse. Les données doivent être préparées en termes de contenu et de territoire (par groupe d'années ou par années individuelles) de manière à permettre leur utilisation pour modéliser le transport de marchandises. Cette étape est à coordonner avec les travaux menés sur ce thème par l'Office fédéral de la statistique (OFS).

- Il est conseillé de préparer minutieusement les données et les bases de validation nécessaires à l'actualisation et au complément du MP2 MAM existant.

S'agissant de la mise en œuvre temporelle des variantes I, II et III, celles-ci ne doivent pas être considérées comme des alternatives. Il convient plutôt de mettre en œuvre certains modules individuels des variantes et de compléter les travaux portant sur les autres variantes. Par exemple, une analyse des données de la variante III autorise une amélioration de la MAM dans la variante I. Ou encore il est possible d'obtenir les informations nécessaires à une représentation des transports intermodaux dans la variante II grâce à une analyse des données.

La représentation des variantes permet également de déduire une **hiérarchie en matière de réalisation**. A titre de **mesure immédiate** visant à l'amélioration de la modélisation du transport de marchandises, il est possible de mettre en œuvre sans délai toutes les évaluations tirées de la variante III. De court à **moyen terme**, il est envisageable de conseiller une mise en œuvre des éléments de la variante I afin d'améliorer le MP2 MAM. Les analyses faites sur la base de la variante III peuvent servir d'aide à cette fin. **A long terme**, la mise en œuvre de la variante II mérite d'être envisagée dans la mesure où elle vise à intégrer des éléments spécifiques de la logistique dans la modélisation du transport de marchandises. Les travaux relatifs à la variante II nécessitent d'importantes interventions au niveau de la MAM existante. La question de savoir jusqu'à quel point il est possible de représenter des processus logistiques plus détaillés dans les modèles devrait être abordée à l'occasion d'un prochain projet de recherche.



### III. Riassunto

In Svizzera disponiamo di due modelli per la modellizzazione del traffico merci. Il «modello del traffico merci a livello nazionale (MTMN)» riporta in maniera precisa e dettagliata i processi di traffico merci e i sistemi logistici della Svizzera. Al fine di permettere l'analisi della formazione della domanda del traffico merci e dei processi logistici, il MTMN è stato pensato come «modello sintetico». I risultati del modello MTMN non contengono riferimenti alle statistiche ufficiali relative al traffico merci. Il «metodo aggregato traffico merci (MATM)» è stato concepito per essere utilizzato nell'ambito delle «Prospettive di traffico 2040», che si basano sulle rilevazioni statistiche relative al traffico merci e si articola in due modelli parziali. I risultati del MATM sono compatibili con i dati statistici ufficiali relativi al traffico merci: il modello parziale 1 fornisce serie temporali per i parametri nazionali del traffico merci, mentre il modello parziale 2 distribuisce tali valori tra i diversi flussi di traffico merci. Tuttavia, il modello parziale 2 non rappresenta il traffico merci con la stessa minuzia di particolari del MTMN e i processi logistici sono rappresentati soltanto in maniera indiretta e molto generale.

Il presente studio si propone di illustrare un programma per migliorare la modellizzazione del traffico merci in Svizzera, utilizzando come punto di partenza le strutture modello del MATM. Lo studio non si è occupato di perfezionare la metodologia del MTMN. Nel MATM saranno migliorati gli approcci modello attuati finora in modo semplificato, i risultati continueranno a essere compatibili con le statistiche dei trasporti e si mostrerà come gestire determinate questioni logistiche. È ovvio che, per quanto riguarda il programma, oltre ai perfezionamenti specifici del MATM, ci si occuperà anche dei punti di forza metodologici del MTMN applicabili all'altro modello.

Durante un workshop e due riunioni di lavoro con attori del settore del traffico merci e con possibili utenti del modello si sono discussi i requisiti di un modello di traffico merci nazionale. I requisiti fondamentali sono i seguenti:

- La rappresentazione della domanda di traffico merci dovrebbe essere compatibile con i dati statistici ufficiali del traffico merci.
- Si dovrebbe poter effettuare una stima dettagliata della domanda di traffico merci per sostenere la pianificazione dei siti per i terminali intermodali.
- Vanno presi in considerazione tutti i vettori di trasporto.
- I risultati del modello dovrebbero essere reattivi alle misure.
- Il modello dovrebbe essere in grado di effettuare simulazioni.

- Nel modello i trasporti intermodali e i diversi tipi di trasporto (traffico interno, import, export, transito) dovrebbero essere indicati come segmenti indipendenti.
- Si consiglia di fornire una rappresentazione dei processi logistici.

Da un confronto tra le caratteristiche specifiche dei due modelli (MTMN e MATM) risulta che essi perseguono obiettivi diversi e che quindi rispondono a punti diversi dei suddetti requisiti. I maggiori punti deboli – e quindi suscettibili di miglioramento – del modello MATM sono i seguenti:

- Non si utilizzano tutti i dati disponibili per la modellizzazione del traffico merci.
- La ripartizione dei flussi di traffico merci aggregati in zone definite avviene in maniera troppo meccanica, pregiudicando la qualità della rappresentazione.
- Attualmente nella scelta del mezzo di trasporto vengono utilizzate solamente elasticità medie, al posto di un modello di scelta del mezzo di trasporto.
- Non viene dato un *feedback* tra la domanda del traffico merci e gli indicatori relativi alla ripartizione.
- Viene illustrata solamente una versione estremamente semplificata dei processi logistici.

Alla luce dei requisiti, dei punti deboli e del potenziale di miglioramento, sono state proposte tre varianti per migliorare la modellizzazione del traffico merci in Svizzera.

La **variante I si occupa di migliorare e ultimare il modello MATM attuale**. Si propongono i seguenti passaggi:

- Innanzitutto è necessario aggiornare la base di dati e conformarla ai requisiti. Occorre nuovamente verificare che la suddivisione in zone prescelta e la ripartizione del traffico merci siano in accordo con lo standard europeo NST 2007.
- Per migliorare la disaggregazione dei valori del modello parziale 1 (MATM), andrebbe sviluppato un modello di domanda indipendente supportato dai dati trasversali disponibili nel modello parziale 2. Per quanto riguarda la suddivisione in zone, si consiglia di fare riferimento ai Cantoni e/o alle regioni MS.
- Le attuali rilevazioni RTM e GQGV dovrebbero essere integrate nella matrice di base e i dati relativi alla domanda di traffico merci della RTM (volume, lunghezza delle tratte, carico dei veicoli, ecc.) dovrebbero essere analizzati più approfonditamente. Occorre inoltre verificare in che misura sia ragionevole e necessario, in caso di un basso numero di casi campione a livello regionale, procedere a un completamento della matrice con stime modello.

- La metodica per la ripartizione dettagliata della matrice dei veicoli nel traffico merci stradale necessita di essere migliorata.
- È necessario verificare se considerare separatamente alcuni tipi di merci con sistemi logistici particolari (p. es. petrolio greggio) migliorerebbe la qualità di rappresentazione del modello di traffico merci.
- Andrebbe elaborato un modello di ripartizione e di scelta del mezzo di trasporto.
- Occorre verificare in che misura è possibile fare un migliore uso delle informazioni relative alle tratte dei vagoni delle FFS.
- Si consiglia di integrare il traffico con furgoni, che non rientra nell'attuale modello, nel modello parziale 2 del MATM come modello basato sui giri di consegne.

Ci si aspetta che l'attuazione della variante I porterà a un notevole miglioramento della qualità dei risultati e dell'adempimento ai requisiti della modellizzazione del traffico merci in Svizzera. Nel caso della variante I ci si muove nell'ambito delle fonti disponibili e dei fondamenti modello; tuttavia, nella realizzazione di tutti gli aspetti sottolineati, essa necessita di lavori sostanziali per l'ampliamento, la convalida e la calibrazione del modello. La variante I non prende in considerazione il ruolo della logistica.

Nella **variante II** si discutono le possibilità di integrazione dei **processi logistici** nella modellizzazione del traffico merci; una misura che, sulla base dei dati empirici disponibili, si rivela complicata e che richiede un rapido impiego dei modelli sintetici. Per la variante II sono stati comunque formulati tre punti fondamentali che dovrebbero essere perseguiti.

- Dal momento che un segmento importante della domanda di traffico merci continua a essere quello su strada, si propone di migliorare la rappresentazione del modello in termini di flussi di traffico merci e di modelli di veicoli che permetta di attuare nel modello i processi logistici del traffico merci su strada (raggruppamento del carico nella regione di partenza e di arrivo) in modo più realistico. Ciò permetterebbe di rappresentare in modo più dettagliato il carico sull'infrastruttura causato dal suddetto segmento.
- Un altro segmento importante è costituito dai trasporti intermodali combinati con il «*German Approach*». Si consiglia di sviluppare dei modelli di rete intermodali a partire dai fondamenti di rete stabiliti per il MTVN 2016 che siano adatti per una ripartizione intermodale dei flussi di traffico merci e per la creazione di catene di trasporto. Ciò rappresenterebbe un notevole passo in avanti nella rappresentazione di parti della logistica del trasporto combinato su rotaia con i trasporti su strada a monte e a valle. In questo modo si troverebbe una risposta ad alcune questioni politiche, come la valutazione dell'impatto di nuove ubicazioni dei terminali o la politica di trasferimento del traffico.

- Si consiglia infine di valutare gli attuali progressi della modellizzazione dei processi logistici nell'ambito di un progetto di ricerca per la formulazione di un modello nazionale di traffico merci. Particolarmente promettente è il metodo ADA<sup>3</sup>, che combina approcci empirici basati sulle statistiche relative al traffico merci con approcci sintetici conformi al MTVN e permetterebbe una rappresentazione particolareggiata dei processi logistici di tutti i mezzi di trasporto nei modelli di traffico merci.

La **Variante III** non si occupa tanto della modellizzazione, quanto piuttosto dell'**analisi descrittiva dei dati disponibili**. Si consigliano i seguenti passaggi di valutazione:

- Un ruolo centrale è ricoperto dalle possibilità di valutazione offerte dalle rilevazioni statistiche del traffico merci svizzero, la rilevazione del trasporto merci (RTM) e la rilevazione del trasporto internazionale di merci su strada (GQGV). Ad esempio, finora non sono state valutate in maniera completa le informazioni relative alle lunghezze delle tratte e ai mezzi di trasporto, alle principali categorie di merci, al potenziale di trasferimento su rotaia dei trasporti o alla ripartizione dei flussi di veicoli registrati in modo empirico su modelli di rete.
- Andrebbe condotta un'analisi più accurata delle informazioni relative alle tratte dei vagoni. L'attenzione è dunque rivolta soprattutto alle procedure di trasporto (volume, lunghezza delle tratte e principali tipi di merci) del trasporto combinato e del traffico a carri completi.
- In Germania è stato sviluppato il cosiddetto «*German Approach*», che permette di rappresentare il trasporto intermodale insieme alle rilevazioni campionarie relative al traffico merci. Occorre verificare la possibilità di effettuare simili collegamenti di dati tra il RTM e il GQGV e i dati relativi alle tratte dei vagoni per la rappresentazione del trasporto intermodale svizzero. I dati devono essere organizzati, sia in termini di contenuto che temporali (uno o più anni), in modo da poter essere utilizzati per la modellizzazione del traffico merci. Questa fase dovrebbe avvenire in contemporanea ai lavori dell'Ufficio federale di statistica (UST) relativi allo stesso tema.
- Si raccomanda di disporre di dati completi e dei presupposti di convalida per l'aggiornamento e l'ultimazione dell'attuale modello parziale 2 del MATM.

Per quanto riguarda l'attuazione temporale delle varianti I, II e III, queste ultime non andrebbero considerate come alternative. Quanti più moduli di determinate varianti vengono attuati, tanto più velocemente progrediscono i lavori relativi alle altre. Ad esempio, l'analisi dei dati della variante III permette il miglioramento del MATM della variante I, oppure, le analisi dei

---

<sup>3</sup> ADA: aggregate, disaggregate, aggregate Modell

dati possono fornire le informazioni necessarie per la rappresentazione del trasporto intermodale della variante II.

La rappresentazione delle varianti permette di desumere una **gerarchia di attuazione**. Tra le **misure a breve termine** per il miglioramento della modellizzazione del traffico merci figurano le valutazioni descrittive della variante III. A breve e **medio termine** si consiglia di procedere all'attuazione di elementi della Variante I per il miglioramento del modello parziale 2 del MATM, per il quale potrebbero essere impiegate le analisi della variante III. **A lungo termine** bisognerebbe attuare la variante II, che mira a integrare elementi specifici della logistica dei trasporti nella modellizzazione del traffico merci. I lavori della variante II richiedono modifiche importanti dell'attuale MATM. Nell'ambito di un futuro progetto di ricerca andrebbe chiarito in che misura i modelli possono rappresentare in modo dettagliato i processi logistici.



# 1 Einleitung

## 1.1 Aufgabenstellung

Für die Modellierung des Güterverkehrs in der Schweiz liegen zwei Güterverkehrsmodelle (GV-Modelle) vor. Das Nationale Güterverkehrsmodell – NGVM, welches sehr detailliert und feinräumig die Güterverkehrsprozesse und Logistik in der Schweiz abbildet. Für die Anwendung im Rahmen der Schweizerischen Verkehrsperspektiven 2040 wurde für den Güterverkehr die „Aggregierte Methode Güterverkehr“ – AMG – in Form von zwei Teilmodellen (TM) entwickelt. Dieses Modell ist kompatibel mit der amtlichen Güterverkehrsstatistik. Logistische Abläufe werden im AMG-TM2 nur indirekt und sehr allgemein abgebildet.

Die primäre Zielsetzung der Projektarbeiten ist es, die Möglichkeiten für ein Güterverkehrsmodell für die Schweiz aufzuzeigen, das neben der Abbildung der Güterverkehre auch logistische Fragestellungen beantworten kann. Im Fokus der Arbeiten steht dabei die geeignete Verknüpfung der beiden Güterverkehrsmodelle der Schweiz, NGVM und AMG-TM2. Verknüpfung kann dabei bedeuten, dass geeignete Schnittstellen zwischen den Modellen geschaffen werden oder dass Ideen oder Ansätze aus beiden Modellen geeignet in ein „Upgrade-Modell“ übernommen werden. Die konzeptionelle Arbeit soll aber auch dafür offen sein, weitere „pragmatische“ Elemente oder Aspekte in ein konsolidiertes GV-Modell für die Schweiz einzubringen. Dies können geeignete Aggregationen von Gutarten sein, pragmatische Abbildungen von Transportketten, geeignete Bildung von Fahrzeugbewegungen aus den Güterströmen bis hin zu einer vertiefenden Auswertung der vorhandenen Güterverkehrsstatistik. Welche Kombinationen von Modellierungsansätzen und Datenaufbereitungen sinnvoll sind, wird im Projekt herausgearbeitet.

Eine umfassende Evaluierung des NGVM sowie Vorschläge, wie die Güterverkehrsmodellierung in der Schweiz vorangetrieben werden soll, sind in dem Evaluierungsbericht „Bundesamt für Raumentwicklung (2014): Verkehrsmodellierung im UVEK: Evaluierung der nationalen Güterverkehrsmodellierung“ eingehend behandelt worden. Auf dieser Basisuntersuchung bauen die konzeptionellen Arbeiten auf und ergänzen diese.

Neben den methodischen Aspekten der Modellierung wird auch die **Datenverfügbarkeit** sowie **die Anforderungen an das Modell** beachtet. Beide Aspekte wurden in dem Evaluierungsbericht erörtert und werden im Rahmen der Projektarbeiten aktualisiert und konkretisiert. Die Zielsetzung „Einbindung und Abbildung logistischer Prozesse“ ist sehr vielschichtig und muss präzisiert werden.

Ansätze hierfür sind z.B.:

- Nutzung verfeinerter Modellansätze, wodurch die logistischen Prozesse besser abgebildet werden können - z.B. durch Einbeziehung einer disaggregierten Abbildungsebene, auf der logistische Prozesse transparent werden,
- Nutzung verfeinerter Daten zur Güterverkehrsnachfrage und Kombination dieser Daten mit der amtlichen Güterverkehrsstatistik oder
- Intensivere Auswertung vorhandener Daten und Integration in ein Güterverkehrsmodell.

Weitere wesentliche Zielsetzungen, die mit der Konzeption für ein Schweizer Güterverkehrsmodell erreicht werden sollen, sind:

- Es sind Vorschläge zu erarbeiten, wie die Verlagerungspotenziale von der Strasse auf die Schiene abgebildet, quantifiziert und prognostiziert werden können.
- Die Bündelung von Güterströmen infolge von Standortkonzentrationen bzw. Logistikkonzepten soll erfasst werden.
- Generell soll das Konzept für das GV-Modell prüfen, wie die Auswirkungen von Logistikstandorten auf die regionalen Güterverkehrsstrukturen analysiert werden können.
- Schliesslich sollen die Vor- und Nachläufe im kombinierten Verkehr bei Importen und Exporten Berücksichtigung finden.

Weiterhin werden konzeptionelle Vorschläge erarbeitet, inwieweit das GV-Modell flexibel als strategisches Instrument ausgestaltet werden kann, mit dem relativ schnell Aussagen zu den oben genannten Fragestellungen produziert werden können. Im Rahmen der AMG-Anwendung für die Verkehrsperspektiven hat es sich als sinnvoll erwiesen, dafür zwei Stufen einzubauen: eine aggregierte Ebene mit Fokus Schweiz, mit der sehr schnell Ergebnisse für viele Szenarien und Varianten erzielt und darstellerisch gut aufbereitet werden können und eine disaggregierte Ebene, die eine Auswahl von Szenarien und Varianten feinkörnig umsetzen kann.

Das hiermit vorgelegte Konzept für ein Güterverkehrsmodell für die Schweiz enthält verschiedene Anregungen und Ansätze für die Güterverkehrsmodellierung, die von den Autoren zum Teil schon in verschiedenen Modellen umgesetzt wurden. Es werden aber auch neue Ansätze beschrieben. Das Konzept ist somit als Anleitung für die Weiterentwicklung eines Güterverkehrsmodells zu verstehen. Bei der Umsetzung dieses Konzeptes in ein Modell ist die Wirksamkeit der Ansätze anhand konkreter Daten zu prüfen und eventuell pragmatische Anpassungen vorzunehmen, um ein in sich konsistentes Gesamtmodell zu entwickeln.

## 1.2 Vorgehen

Zur Erarbeitung des Konzepts für die Güterverkehrsmodellierung in der Schweiz wird folgendes Vorgehen gewählt.

- In Kapitel 2 wird aufgezeigt, vor welchen Herausforderungen und Fragestellungen sich die Güterverkehrsmodellierung in der Schweiz sieht. Die Nutzeranforderungen wurden in einem Workshop und zwei Arbeitssitzungen diskutiert und zusammengestellt.
- Für die systematische Erarbeitung des Konzepts wird ein spezieller Analyserahmen gewählt und erläutert (Kapitel 3). Zudem wird in diesem Zusammenhang auf Besonderheiten der Güterverkehrsmodellierung eingegangen.
- In Kapitel 4 werden die beiden existierenden Güterverkehrsmodelle der Schweiz – NGVM und AMG – betrachtet und es werden deren Eigenschaften charakterisiert. In einer Defizitanalyse wird aufgezeigt, welche Anforderungen durch die existierenden Modelle erfüllt werden und wo Verbesserungspotenzial besteht.
- In Kapitel 5 wird auf die für die GV-Modellierung verfügbaren Datengrundlagen eingegangen.
- Es werden drei Varianten für die Güterverkehrsmodellierung in der Schweiz vorgeschlagen. Die bisher grundsätzlich positiven Erfahrungen mit der AMG legen es nahe, in einer Variante I die punktuelle Verbesserung der AMG in Betracht zu ziehen. Welche Modellkomponenten verbessert werden können und wie die AMG sinnvoll ergänzt werden kann, wird in Kapitel 6 dargestellt. Logistische Fragestellungen werden hier noch nicht explizit erörtert.
- In einer Variante II steht der Logistikaspekt und die Abbildung der Logistik in Güterverkehrsmodellen im Fokus. Dieses Thema wird in Kapitel 7 behandelt.
- Schließlich wird in einer Variante III in Kapitel 8 aufgezeigt, wie die existierenden Datengrundlagen genutzt werden können, um deskriptive Analysen durchzuführen und damit zusätzliche und bisher noch nicht verfügbare Informationen über die Struktur der Güterverkehrsnachfrage zu bekommen.
- Schließlich wird im Kapitel 9 das Konzept im Zusammenhang betrachtet und es wird eine Strategie für die weiteren Aktivitäten für die Güterverkehrsmodellierung in der Schweiz aufgezeigt.

Jedes der Hauptkapitel sowie die vorgeschlagenen Varianten schließt mit einem Unterkapitel ab, in dem ein Fazit der Ergebnisse bzw. Handlungsempfehlungen für die Umsetzung der Variante gegeben werden.

Das in diesem Bericht behandelte Thema ist komplex und erfordert viele Detailbetrachtungen. Es wurde versucht, in den Hauptkapiteln die Argumentation möglichst stringent und

zielführend durchzuführen. Der Leser, der zu einzelnen Kapiteln vertiefende Erläuterungen nachlesen möchte, sei auf den umfangreichen Anhang (Kapitel 11) verwiesen. Zudem wird in der Literaturliste (Kapitel 10) auf weiterführende und vertiefende Literatur verwiesen.

## **2 Anforderungen an ein Güterverkehrsmodell für die Schweiz**

### **2.1 Verkehrsperspektiven für die Schweiz - Ansatzpunkte für die Güterverkehrsmodellierung**

In den jüngst erschienenen „Perspektiven des Schweizerischen Personen- und Güterverkehrs bis 2040“<sup>4</sup> werden die Erwartungen für die Personen- und Güterverkehrsnachfrage in der Schweiz dargestellt. Danach dürfte die Personenverkehrsleistung bis zum Jahre 2040 um

25 %, die Güterverkehrsleistung um 37 % gegenüber 2010 wachsen. Diese Zuwächse werden zum einen durch das erwartete Bevölkerungswachstum, zum anderen durch einen deutlichen Zuwachs der Wirtschaftsaktivitäten hervorgerufen. Die modale Teilung hinsichtlich der Verkehrsleistung, die im Güterverkehr in Tonnenkilometern (Tkm) gemessen wird, wird sich etwas zugunsten der Schienengüterverkehre entwickeln, da für dieses Marktsegment eine Zunahme bis zum Jahr 2040 von 45 % geschätzt wird, bei der Strasse „lediglich“ ein Zuwachs

von 33 %. Gemessen in absoluten Werten wird im Strassengüterverkehr von einem Transportaufkommenszuwachs von rd. 140 Mio. Tonnen auf rd. 490 Mio. Tonnen / Jahr, für die Schiene von plus 10 Mio. Tonnen auf rd. 85 Mio. Tonnen pro Jahr ausgegangen. Im Strassengüterverkehr wird also mit sehr hohen Mengenzuwächsen gerechnet.

Neben den absoluten Werten sind die Komponenten der Struktur der Güterverkehrsnachfrage hinsichtlich der Aufteilung auf Gutarten, Verkehrsarten (Binnenverkehr, Import, Export, Transit), Entfernungsverteilung und Verkehrsmittelwahl wichtige Informationen für die Verkehrsplanung. So ist z.B. zu erwarten, dass der Bereich „Sammel- und Stückgut“ bei kleiner werdenden Sendungsgrößen zunehmend die Struktur der Güterverkehre bestimmen wird. Während im Schienengüterverkehr in diesem Segment vorwiegend Transitverkehre durch die Schweiz durchgeführt werden, finden ein überwiegender Teil der Strassengüterverkehre mit diesen in der Regel hochwertigen Gütern im Binnenverkehr der Schweiz statt. Zum Transport der Sammelgüter werden industrialisierte Logistiknetzwerke eingesetzt, in denen die Güter zwischen Depotstandorten transportiert, in den Standorten konsolidiert und zu neuen zielreinen Sendungen zusammengestellt werden. Anfang und Ende der Transportketten sind durch feinträumige Sammel- bzw. Verteilverkehre gekennzeichnet, die ausschliess-

---

<sup>4</sup> In elektronischer Form auf [www.are.admin.ch](http://www.are.admin.ch) erhältlich

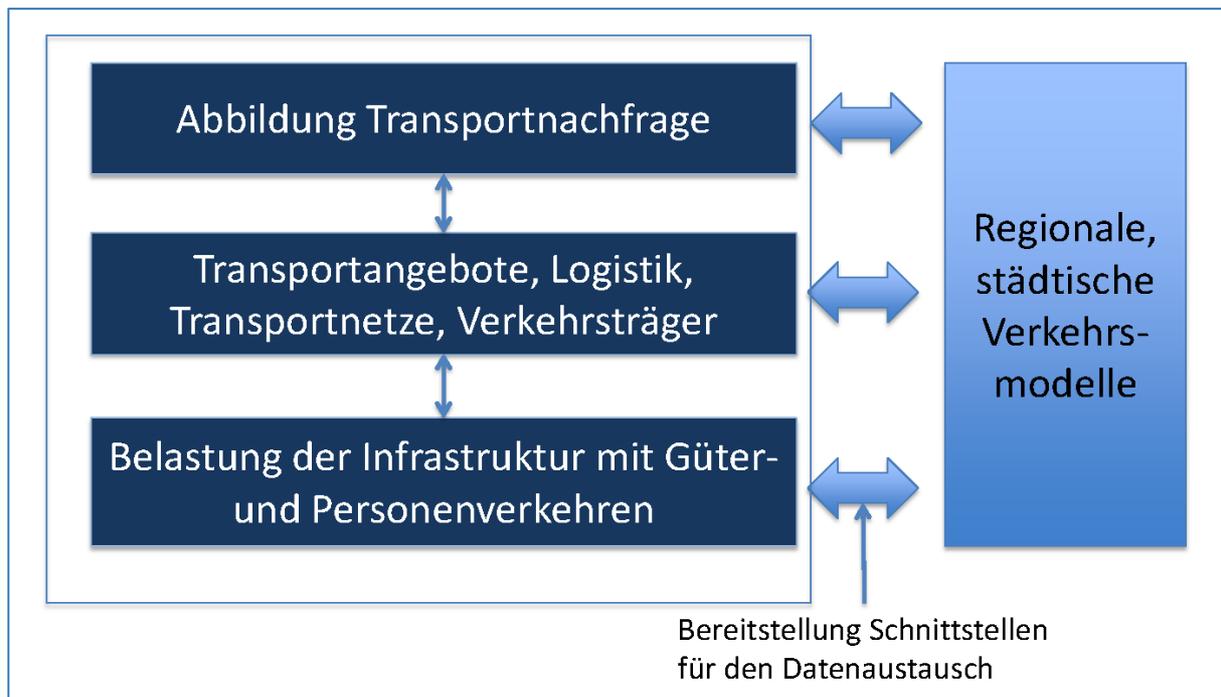
lich mit Lastwagen (LW) durchgeführt werden, während die Fernverkehre in diesen Netzwerken im Strassen- und Schienengüterverkehr oder in einer geeigneten Kombination durchgeführt werden.

Dieser kurze Abriss über die zu erwartenden Verkehrszuwächse in der Schweiz und die Skizzierung der dahinterliegenden Logistik soll zunächst sehr grob die Motivation und die ersten Eckpunkte aufzeigen, die für ein nationales Güterverkehrsmodell für die Schweiz bedeutsam sind. Diese Eckpunkte sind:

- Die erwarteten Zuwächse der Verkehrsnachfrage in der Schweiz sind beträchtlich. Um eine umweltgerechte und an gesellschaftliche und wirtschaftliche Bedürfnisse orientierte **Planung und Organisation der Verkehrsnachfrage** zu ermöglichen, sind angemessene und effiziente Instrumente für eine Analyse, Prognose der Verkehrsnachfrage und die Simulation von Massnahmenwirkungen zu schaffen. Dies gilt für den Personenverkehr in gleicher Weise wie für den Güterverkehr.
- Der Güterverkehr ist ein wesentlicher Bestandteil der gesamten Verkehrsnachfrage und beeinflusst zunehmend die Leistungsfähigkeit der Verkehrsinfrastruktur. Insofern ist ein geeignetes Instrument zur **Infrastrukturplanung** für den Güterverkehr erforderlich.
- In den Verkehrsperspektiven werden mehrere Ebenen des Transportsystems betrachtet: Zunächst wird der **Transportbedarf für Güter** bestimmt. Die **Transportangebote** der Verkehrsträger Strasse, Schiene, Binnenschifffahrt entscheiden, wie diese Güter vom Versender zum Empfänger gelangen und auf der **Verkehrsinfrastruktur** wird die Gesamtheit der Transporte abgewickelt. Die in den Verkehrsperspektiven skizzierte Güterverkehrsentwicklung stellt die Bedeutung **logistischer Netzwerken** und überhaupt der Logistik heraus. Insofern sind solche logistischen Elemente – dort wo es möglich ist - in die Güterverkehrsmodellierung zu integrieren, um die Auswirkungen der Logistik für heute und für einen Prognosezeitraum transparent zu machen.
- Diese verschiedenen Ebenen und Transportalternativen sind bei der Güterverkehrsmodellierung in Form eines **Marktmodells des Transportsystems** (siehe Anhang Kapitel 11.1) zu berücksichtigen, damit die Güterverkehrsnachfrage zutreffend abgebildet, prognostiziert und Massnahmenwirkungen simuliert werden können.
- In den Verkehrsperspektiven wird gezeigt, dass Güterverkehrswachstum auf **allen geographischen Ebenen** stattfindet. Es müssen somit neben dem Binnenverkehr in der Schweiz internationale Verkehre und Transitverkehre durch die Schweiz einbezogen werden. Weiterhin spielen die regionalen und städtischen Güter- und Lieferverkehre eine wichtige Rolle. Besonders in Städten gewinnen die Sammel- und Lie-

ferverkehre an Bedeutung. Somit sollten **Schnittstellen** zu eigenständig entwickelten regionalen und städtischen Verkehrsmodellen vorgehalten werden, so dass eine konsistente Betrachtung der Güterverkehre auf allen Ebenen möglich wird.

Insgesamt lassen sich somit die ersten Anforderungen an ein nationales Güterverkehrsmodell wie in der folgenden Abbildung gezeigt darstellen.



**Abbildung 2-1: Grundanforderung an ein nationales Güterverkehrsmodell**

Eine zutreffende Abbildung der Transportnachfrage, räumlich und eventuell auch zeitlich disaggregiert, ist die erste Grundvoraussetzung, die ein Güterverkehrsmodell erfüllen muss. „Zutreffend“ bedeutet dabei, dass das Modell empirische Daten, also basierend auf einer Güterverkehrserhebung, wiedergibt. In dem Modell müssen dann entsprechende Angebote und logistische Abläufe spezifiziert werden können, die zur Bewältigung der Transportnachfrage eingesetzt werden können. Auch hierbei ist auf eine weitgehende Realitätsnähe zu achten. Schliesslich muss als wichtiges Ergebnis die Infrastrukturbelastung darstellbar sein, die sich durch die Realisierung der Transportnachfrage bei einer bestimmten Angebotsgestaltung ergibt. Werden die Angebote und die Logistik verändert, hat das Auswirkungen auf die Infrastrukturbelastung, eventuell auch auf die Struktur der Transportnachfrage.<sup>5</sup> Schliess-

<sup>5</sup> So hat z.B. erst die industrialisierte Logistik und Vernetzung von Nachfragern, Anbietern und Transportunternehmen den Online-Handel ermöglicht.

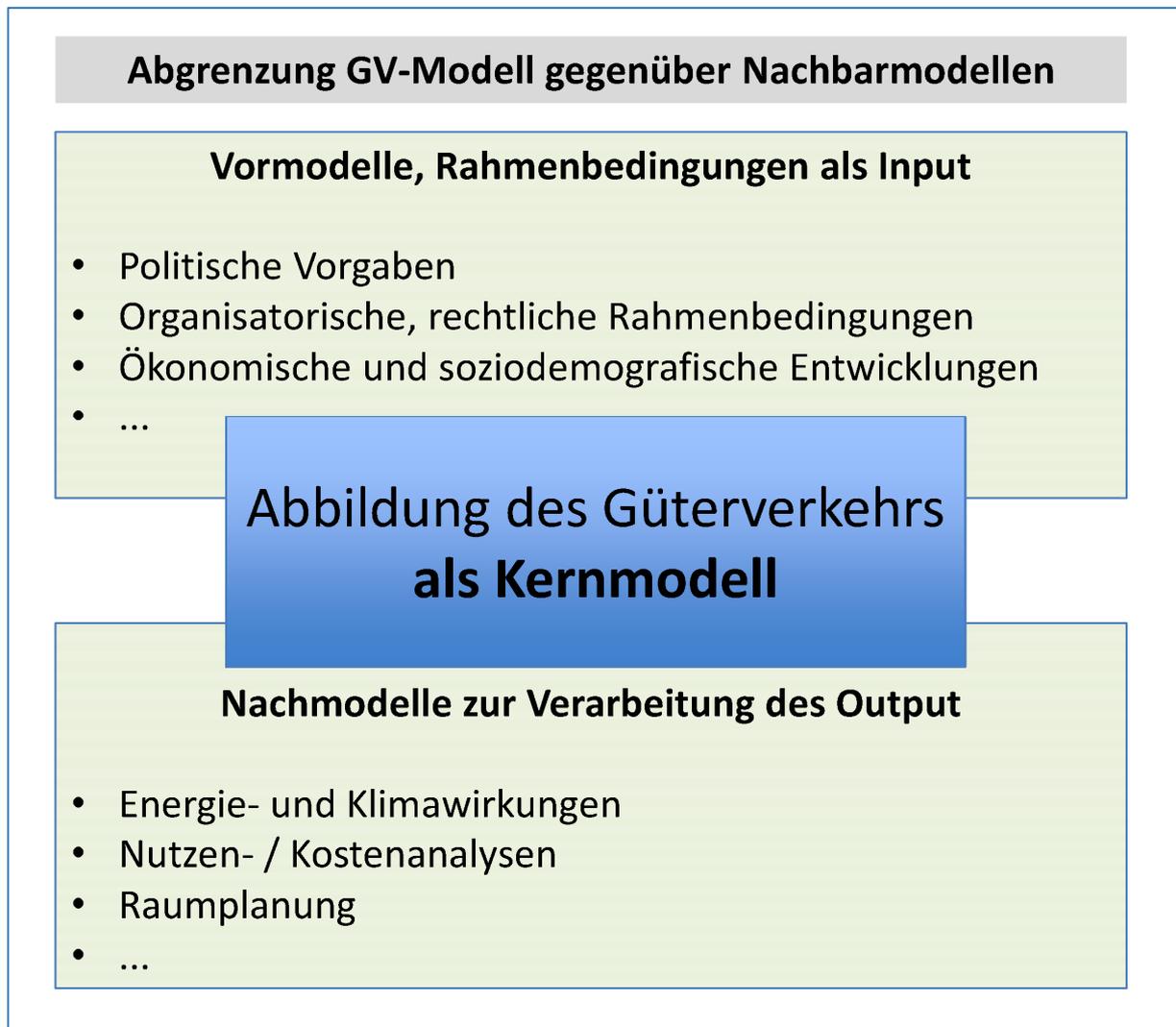
lich sind die Datenschnittstellen vorzusehen, um Daten zwischen verschiedenen Modellstufen austauschen zu können.

Dieser letztgenannte Aspekt ist nicht unerheblich, wenn an die Akzeptanz von Ergebnissen von Verkehrsmodellen gedacht wird. Städtische Verkehrsmodelle beschreiben eine Verkehrsnachfrage, die sich zum einen aus der Verkehrsnachfrage auf nationaler und internationaler Ebene und zum anderen aus eigenständigen Transportabläufen in einer Stadt zusammensetzen. Eine eindeutige Trennung ist nicht möglich. Diesem Tatbestand sollte insofern Rechnung getragen werden, als dass konsistente Ergebnisse zwischen nationaler und städtischer Planung angestrebt werden.

## 2.2 Abgrenzung des Güterverkehrsmodells zu Nachbarbereichen

In einem Güterverkehrsmodell soll möglichst umfassend die Struktur der Güterverkehrsnachfrage analysiert und erklärt werden und es sollten Prognosen des Güterverkehrs und Simulationen von Massnahmenwirkungen möglich sein. Die **Güterverkehrsnachfrage** und alle im Modell betrachteten Segmente sind dann **endogene Grössen**, d.h. sie werden innerhalb des Modells bestimmt.

Weiterhin konzentriert sich das Güterverkehrsmodell auf einen bestimmten Ausschnitt des Wirtschafts- und Gesellschaftssystems. Damit ist es in andere Systeme eingebunden, die als Rahmenbedingungen die Güterverkehrsstruktur beeinflussen. Diese **Rahmenbedingungen** sind aus der Sicht des Güterverkehrsmodells **exogene Grössen**. Schliesslich sind auch die Grenzen der Aussagefähigkeit und der Wirkungsanalysen eines Güterverkehrsmodells zu sehen. Im Kern des Modells wird die Struktur der Güterverkehrsnachfrage betrachtet und es werden alle möglichen Parameter, wie z.B. regionale Aufkommen, Hauptverkehrsbeziehungen, Transportleistung, Fahrtweiten generiert. Diese stellt dann die Inputgrösse für weitere, darüber hinausgehende Betrachtungen bereit. In der folgenden Abbildung sind die Grenzen eines Güterverkehrsmodells dargestellt.



**Abbildung 2-2: Abgrenzung der GV-Modellierung zu Nachbarmodellen**

Rahmenbedingungen und Vormodelle beziehen sich auf politische Vorgaben und die Analyse und Prognose von regionalisierten Strukturdaten (Bevölkerungsentwicklung, Beschäftigte, Wirtschaftsaktivität nach Industriezweigen). Für die Bereitstellung der Strukturdaten werden in der Regel ökonometrische Modelle genutzt, die auch die entsprechenden Zeitreihen für Entwicklungen bis zu einem Prognosezeitpunkt bereitstellen. Weiterhin sind rechtliche und organisatorische Rahmenbedingungen zu betrachten, die wie die anderen Angaben als exogene Größen in das Güterverkehrsmodell eingehen. Für einen Prognosezeitpunkt werden in der Regel alle relevanten exogenen Einflussgrößen für den Güterverkehr in Form von Szenarien bereitgestellt. Diese werden durch Setzungen, Abstimmungen, durch Diskussionen in Expertenkreisen unter Zuhilfenahme von ökonometrischen Modellen erarbeitet. Auch hier muss das Güterverkehrsmodell eine wichtige Voraussetzung erfüllen: es müssen entspre-

chende Schnittstellen zu den exogenen Grössen vorhanden sein und das Modell muss sensibel auf diese Eingaben reagieren können.

Auf der anderen Seite stehen die „Nachmodelle“, die die Ergebnisse des Güterverkehrsmodells, die Struktur der Güterverkehrsnachfrage zu einem bestimmten Zeitpunkt, weiter verarbeiten. Hier sind Bereiche wie Raumplanung, Energie- und Klimaauswirkungen der Verkehrsnachfrage, Nutzen-Kosten-Analysen von Infrastrukturmassnahmen zu nennen.

Insgesamt konzentriert sich somit das hier vorgelegte Konzept auf den Kern eines nationalen Güterverkehrsmodells, im Sinne einer geeignet differenzierten Abbildung von Güterverkehrsströmen in Transport- und Logistiknetzen. Rahmenbedingungen (z.B. BIP, Bevölkerungsentwicklung etc.) werden als exogene Einflussfaktoren vorgegeben und nicht durch das GV-Modell erklärt. Schnittstellen zu anderen Modellstufen (z.B. regionale/städtische Modelle) sind zu berücksichtigen. Nachgelagerte Analysen, basierend auf Modellergebnissen, müssen für verschiedene Ansprüche (Umwelt, Energie etc.) möglich sein.

### 2.3 Generelle Qualitätsanforderungen an Güterverkehrsmodelle

Aus der Abhandlung zu Qualitätsanforderungen an Verkehrsmodelle „QUALIMOD“<sup>6</sup> lassen sich folgende allgemeine Qualitätskriterien für Verkehrsmodelle entnehmen:

- **Vollständigkeit:** Es sollten – sofern möglich – alle Daten und Informationen in dem Modell und als Modellergebnis vorhanden sein, die für die Einsatzzwecke des Modells erforderlich sind. Hier sind die Anforderungen der Nutzer angesprochen.
- **Genauigkeit:** Durch geeignete Kalibrierungs- und Prüfverfahren sollten die Modellergebnisse Genauigkeitskriterien erfüllen, z.B. festgelegte Abweichungen zwischen Umlegungswerten und Querschnittszählungen an Strassen nicht übermässig überschreiten.
- **Zuverlässigkeit:** Die Zuverlässigkeit bezieht sich eher auf die Prognose der Verkehrsnachfragestrukturen. Es sollten durch das Modell keine nicht erklärbaren Prognoseergebnisse produziert werden.
- **Vergleichbarkeit:** Werden verschiedene Teilräume mit dem Modell betrachtet, so sollten hier vergleichbare Ergebnisse durch das Modell produziert werden.
- **Verständlichkeit:** Letztlich müssen die Ergebnisse einer Modellrechnung nachvollziehbar sein und die exogenen Rahmenbedingungen, die das Modellergebnis steuern, ausreichend dokumentiert sein.

---

<sup>6</sup> Leerkamp, Bert u.a.: QUALIMOD – Qualitätsanforderungen und –standards für Verkehrsmodellrechnungen, Bochum 2010, S. 11 ff

- **Aktualität:** Die Daten und Parameter des Modells sollten aktuelle Daten und Statistiken enthalten. Bei diesem Kriterium spielt auch die Frage eine Rolle, wie die Aktualität des Modells längerfristig gepflegt werden kann.
- **Prognosefähigkeit:** Die Forderung, zukünftige Entwicklungen und Massnahmenwirkungen abschätzen zu können, ist eine wesentliche Anforderung an das Modell.
- Schliesslich sollte das Modell **transparent**, die Ergebnisse **nachvollziehbar** und **handhabbar in der Anwendung** sein.

Diese genannten Anforderungen sollten generell auch von Güterverkehrsmodellen erfüllt werden und sind entsprechend bei der Modellkonzeption zu berücksichtigen.

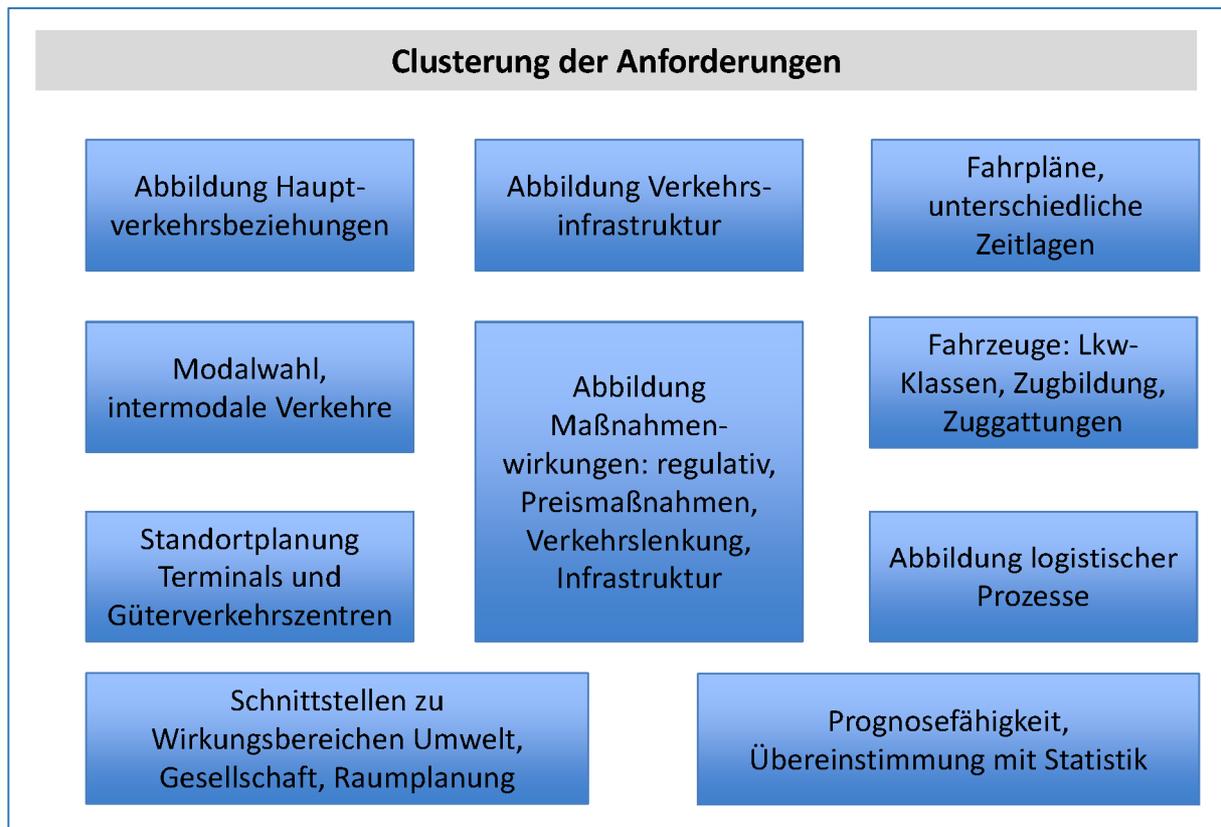
## 2.4 Anforderungen der Nutzer

Das Güterverkehrsmodell der Schweiz soll so weit wie möglich die Anforderungen der Nutzer erfüllen. In der Evaluierungsstudie zum NGVM<sup>7</sup> sind in einer Befragung die Anforderungen der Nutzer an das Güterverkehrsmodell abgefragt worden. Im Rahmen der hier vorgestellten Arbeiten wurde ein Workshop mit den potenziellen Nutzern durchgeführt, in dem diese Anforderungen aktualisiert und ergänzt wurden. Ziel des Workshops war weiterhin, die Sicht der Gutachter, die das Modellkonzept erarbeiten und die der Nutzer abzugleichen. In einer darauffolgenden Arbeitssitzung mit Vertretern des ARE wurden die Ergebnisse des Workshops diskutiert und vertieft.

In der folgenden Abbildung sind die Anforderungen an eine Güterverkehrsmodellierung zu Gruppen zusammengefasst.

---

<sup>7</sup> Siehe Bundesamt für Raumentwicklung (2014): Verkehrsmodell im UVEK: Evaluierung der nationalen Güterverkehrsmodellierung, S. 10



**Abbildung 2-3: Nutzeranforderungen an die Güterverkehrsmodellierung**

Im Einzelnen sind folgende Schwerpunkte benannt worden, die bei den Konzeptarbeiten zu berücksichtigen sind:

- **Abbildung der Verkehrsarten (Binnenverkehr, Import, Export, Transit):** Da ein wesentlicher Teil der Güterverkehre in der Schweiz externe Verkehre (Importe, Exporte oder Transitverkehre) sind, ist für eine Güterverkehrsplanung die Unterscheidung der Verkehrsarten unerlässlich. Hierbei ist allerdings die Datenlage für die exogenen Grössen, die letztlich als Treiber für die Entwicklung der Verkehrsarten in Frage kommen, zu berücksichtigen. Es wird keine eigenständigen Import- / Exportprognosen für die Schweiz geben, so dass zur Schätzung und Kalibrierung des Modells auf externe Informationen zurückgegriffen werden muss. Hier bieten sich Arbeiten der Europäischen Kommission und der Weltbank an, die regelmässig Aussenhandelsprognosen erstellt.
- **Modalwahl:** Im Hinblick auf Verlagerungsziele stellt die massnahmen- und angebotsabhängige Modellierung und Abbildung der Modalwahl eine wichtige Anforderung dar. Hierzu werden entsprechende Konzepte betrachtet. Es wurde diskutiert, inwieweit die Verkehrsmittelwahl in Abhängigkeit von den zeitlichen Anforderungen der

Kunden und der Zeitlagen der Transportangebote abgebildet werden kann. Dazu müssten z.B. Fahrpläne des Schienengüterverkehrs oder das Nachtfahrverbot auf der Strasse in einem Modell integriert werden. Hierbei werden Grenzen für ein nationales Verkehrsmodell erreicht, da bei einem aggregierten Ansatz die Transportvorgänge nicht in der erforderlichen Feinheit aufgelöst werden können.

- **Intermodale Verkehre:** Bei einem multimodalen Umlegungsverfahren wird als Verkehrsmittelalternative auch der intermodale Verkehr berücksichtigt, der einen relevanten Teilaspekt der Verkehrsmittelwahl im Güterverkehr darstellt. Transportketten könnten mit dieser Methode abgebildet werden. Als empirische Methode zur Kalibrierung modellierter Ergebnisse kann der „German Approach“ sowie eine kürzlich veröffentlichte Studie im Auftrag des Bundesamtes für Strassen herangezogen werden.<sup>8</sup> Seitens der Vertreter der SBB wurde angemerkt, dass der kombinierte Verkehr (KV) nicht als eine einheitliche Produktionsform gesehen wird. Der KV kann sowohl als Ganzzug wie auch im Wagenladungsverkehr abgewickelt werden. Intramodale Transportketten, also z.B. der Umschlag Strasse-Strasse, kann nur begrenzt abgebildet werden, da hierfür die empirischen Grundlagen fehlen. Die Möglichkeit zur Abbildung der Intermodalität wird im Kapitel 8.2 behandelt.
- **Standortplanung von Terminals des KV und Güterverkehrszentren:** Für die Beurteilung von Anfragen zur Förderung von KV-Umschlagsanlagen benötigt das Bundesamt für Verkehr (BAV) eine Methode, um Planungskonzepte für Terminals und Planungsgrößen, Annahmen über Kapazitäten und Wirkungen auf die Verkehrsnachfragestruktur abschätzen zu können. Ein Muster für Terminalplanungen und die dazugehörigen Detailinformationen wurden durch das BAV zur Verfügung gestellt. Es ist denkbar, dass eine pauschale Analyse, Prognose und Wirkungsabschätzung im Rahmen der Modellanwendung erfolgt und dann die Detailplanung von Terminals mit Hilfe eines darauf aufbauenden feinräumigen Modells durchgeführt wird.
- **Schnittstellen zu Wirkungsbereichen Gesellschaft, Umwelt, Raumplanung:** Die Bereitstellung dieser Schnittstellen sind inzwischen eine Standardanforderung an Verkehrsmodelle. In der Regel sind die Umlegungsergebnisse auf den verkehrsträgerspezifischen Netzmodellen die Informationen, die für weitere Wirkungsbereiche benötigt werden. Insofern sollte eine empirisch abgesicherte **Umlegungsmethode** Bestandteil des Güterverkehrsmodells sein. Die weitere Beurteilung der Wirkungen ist nachgelagerten Modellen vorbehalten.
- **Abbildung der Infrastruktur:** Es wurde mehrfach erwähnt, dass die Umlegungsergebnisse auf verkehrsträgerspezifischen Netzmodellen, die über Schnittstellen (bi- und trimodale Terminals, Rangierbahnhöfe) miteinander verbunden sind, wichtige In-

<sup>8</sup> Bundesamt für Strassen (2017): Innovationen im intermodalen Verkehr

formationen für die Verkehrsplanungen bereithalten können. Insofern sollten verkehrsträgerübergreifende **Netzmodelle** Bestandteil des Güterverkehrsmodells sein.

- **Abbildung von Massnahmenwirkungen:** Diese Anforderung an ein Güterverkehrsmodell wurde verschiedentlich angesprochen. Um Massnahmen operationalisieren zu können, müssen strukturelle, technische und ökonomische Parameter in die Modellformulierung integriert sein. Ein weiterer wichtiger Bereich sind die Verhaltensparameter in Verhaltensmodellen (z.B. Gewichtungparameter in Entfernungsverteilungen, Reaktionsparameter in Modal-Split-Modellen). Alle Parameter zusammen sind letztlich die Steuerungsgrößen, welche die Struktur der Güterverkehrsnachfrage beeinflussen. Somit sind diese Parameter in geeigneter Form in das Güterverkehrsmodell zu integrieren oder alternativ durch exogene Vorgaben (oder Modelle) zu berücksichtigen.
- **Fahrpläne, unterschiedliche Zeitlagen:** Es wurde im Workshop diskutiert, ob Fahrpläne für den Schienengüterverkehr und verschiedene Zeitlagen für den Versand und Empfang von Sendungen berücksichtigt werden können und sollen. Tatsächlich spielen die Zeitlagen als Nachfrage- und Angebotsfaktoren eine nicht unerhebliche Rolle bei der Verkehrsmittelwahl. Finden sich für fest getaktete Produktionsprozesse (Just In Time) keine in der Zeitlage geeigneten Angebote im Schienengüterverkehr, so wird für den Warentransport in der Regel der flexible LW genutzt. Um das zu vermeiden, müssten die Fahrpläne im Schienengüterverkehr an individuelle Produktionsprozesse angepasst werden. Das ist aber nur in wenigen Fällen möglich, da hierfür durch die Verzahnung mit den Fahrplänen im Schienenpersonenverkehr nur enge Spielräume gegeben sind. Es bestehen Zweifel darüber, dass in einem nationalen Modell mit vielen pauschalisierten Annahmen auf der Nachfrageseite eine sachgerechte Abbildung möglich ist. Auf der Angebotsseite müsste eine zeitabhängige Modellierung des Zugbetriebs möglich sein. Das ist aber ebenfalls nicht in einem nationalen Güterverkehrsmodell zu leisten, sondern müsste durch ein fahrplanbasiertes Zugbildungssystem simuliert werden. Zudem setzt die Verwendung eines Fahrplans voraus, dass für Prognoserechnungen zukünftige Fahrplanversionen für den Güterverkehr vorhanden sind. Es wird übereinstimmend festgestellt, dass diese Analysegenauigkeit derzeit nicht umgesetzt werden soll. Damit werden Zeitlagen im Konzept nicht ausführlich behandelt.
- **Fahrzeugmodelle:** Zunächst werden mit Hilfe des Güterverkehrsmodells Güterverkehrsströme zwischen Verkehrszellen als Ergebnis ausgewiesen. Für die Umlegung der Ströme auf ein Netzmodell sind diese Ströme in Fahrzeugbewegungen umzuformen: Lastkraftwagen nach Fahrzeugkategorien, Güterzüge nach Zuggattungen. Für diese Umformung sind Fahrzeugmodelle erforderlich. Im AMG-TM2 ist für die Stras-

sengüterverkehre ein Fahrzeugmodell integriert, bei dem in Anlehnung an die Statistik in die Fahrzeugkategorien Sattelzüge und Lastwagen unterschieden wird. Für den Schienengüterverkehr werden im AMG-TM2 Wagenverlaufsdateien genutzt und für die Prognose fortgeschrieben. Ein geeignetes Fahrzeugmodell für den Schienengüterverkehr wäre ein fahrplanbasiertes Zugbildungssystem. Es wurde übereinstimmend beschlossen, dass eine Zugbildung nicht in das Güterverkehrsmodell für die Schweiz integriert wird, sondern allenfalls als Spezialapplikation für spezifische Aufgaben über eine Schnittstelle mit dem Güterverkehrssystem verbunden werden kann.

- **Abbildung logistischer Prozesse:** Auf der Ebene der Logistik wird entschieden, wie die Transporte organisiert und abgewickelt werden. Insofern ist es wünschenswert, die Abbildung logistischer Prozesse in dem Güterverkehrsmodell zu ermöglichen. Diskutiert wird zum einen die Abbildung der Verkehrsmittelwahl mit Hilfe multimodaler Umlegungsverfahren. Weiterhin wird angeregt, für spezielle Güterbereiche, für die die Transportlogistik weitgehend festgelegt ist – wie z.B. Mineralöltransporte, eine eigenständige Modellierung dieser Verkehre in das Modell zu integrieren. Auf das Thema „Modellierung logistischer Prozesse“ wird im Kapitel 7 näher eingegangen.
- **Prognosefähigkeit, Übereinstimmung mit der Statistik:** Schliesslich wird als weitere Anforderung formuliert, dass das Modell prognosefähig sein soll, was auch bedeutet, dass Analysen und Simulationen von Massnahmenwirkungen möglich sein müssen. Weiterhin wird eine Übereinstimmung mit der amtlichen Güterverkehrsstatistik gefordert. Diese beiden Punkte hängen eng zusammen. Prognosefähigkeit bedeutet, dass das Modell die Wirkungen von Szenarienvorgaben, Strukturdatenänderungen und Steuerungsmassnahmen abbilden kann. Die Ergebnisse hinsichtlich der endogenen Modellvariablen (Transportaufkommen) sollten aber idealerweise nachweisbar im Rahmen von empirisch gemessenen Erfahrungswerten bzgl. der Massnahmenreaktionen liegen. Insofern muss schon für einen aktuellen Basiszeitpunkt vorausgesetzt werden, dass die Modellergebnisse vorhandene statistische Werte der Güterstatistik zufriedenstellend treffen. Werden nun die Prognosen und Simulationen auf diesen Werten aufgebaut und z.B. mit Hilfe eines Fortschreibungsverfahrens erzeugt, ist auch für einen Prognosezeitpunkt zunächst eine „Nähe“ an den statistischen Daten gewährleistet.

## 2.5 Fazit Anforderungen an das Güterverkehrsmodell der Schweiz

Als Fazit lassen sich die Anforderungen an das Güterverkehrsmodell für die Schweiz wie folgt zusammenfassen:

- Die **generellen Qualitätskriterien** sind zu erfüllen.
- Alle **Verkehrsarten** (Binnenverkehr, Import, Export, Transit) sollten abgebildet werden.
- Die **massnahmensensitive** Abbildung der Verkehrsnachfrage, der Verkehrsmittelwahl und der Umlageungsrechnung auf **Netzmodelle** sollte möglich sein.
- Es sind **intermodale Verkehre** und deren Wechselwirkung zu anderen Verkehrsmitteln zu berücksichtigen.
- Die Auswirkungen von **Standortplanungen für Terminals** sollten möglichst integriert sein.
- Für Bewertungsrechnungen ist die Analyse der Auswirkungen der Modellergebnisse auf die **Bereiche Umwelt, Gesellschaft, Wirtschaft** zu ermöglichen.
- Die Abbildung und Integration der **Verkehrsinfrastruktur** muss möglich sein.
- Für **Umlageungsrechnungen** und Engpassanalysen in Netzen sind aus den Güterströmen Fahrzeugmodelle zu integrieren.
- Die Auswirkung **logistischer Prozesse**, technischer Neuerungen sowie die **Anforderungen von Verladern** an die Transportprozesse sollten integriert sein.
- Das Modell soll **prognosefähig** sein.
- Die Modellergebnisse im Ist-Zustand müssen **kompatibel zur amtlichen Statistik** sein.

Die Anforderungen sind somit vielfältig. Andererseits werden auch einige dieser Anforderungen von den existierenden Güterverkehrsmodellen bereits erfüllt. Im Konzept soll herausgearbeitet werden, wo die Modelle verbesserungsfähig sind oder Teilbereiche kombiniert werden können, um die Anforderungen – insbesondere die Integration logistischer Prozesse und die Abbildung intermodaler Verkehre – besser zu erfüllen. Um diese Aufgabe zu erfüllen, ist zunächst ein entsprechender Analyserahmen aufzubauen.

### 3 Analyserahmen für die Konzeptentwicklung

#### 3.1 Analyserahmen für das Transportsystem

Der Güterverkehrsmarkt kann in drei Teilmärkte untergliedert werden, der Nachfragemarkt, der Transportmarkt und der Verkehrsmarkt. Die Zusammenhänge auf das Transportsystem zeigt Abbildung 3.1.

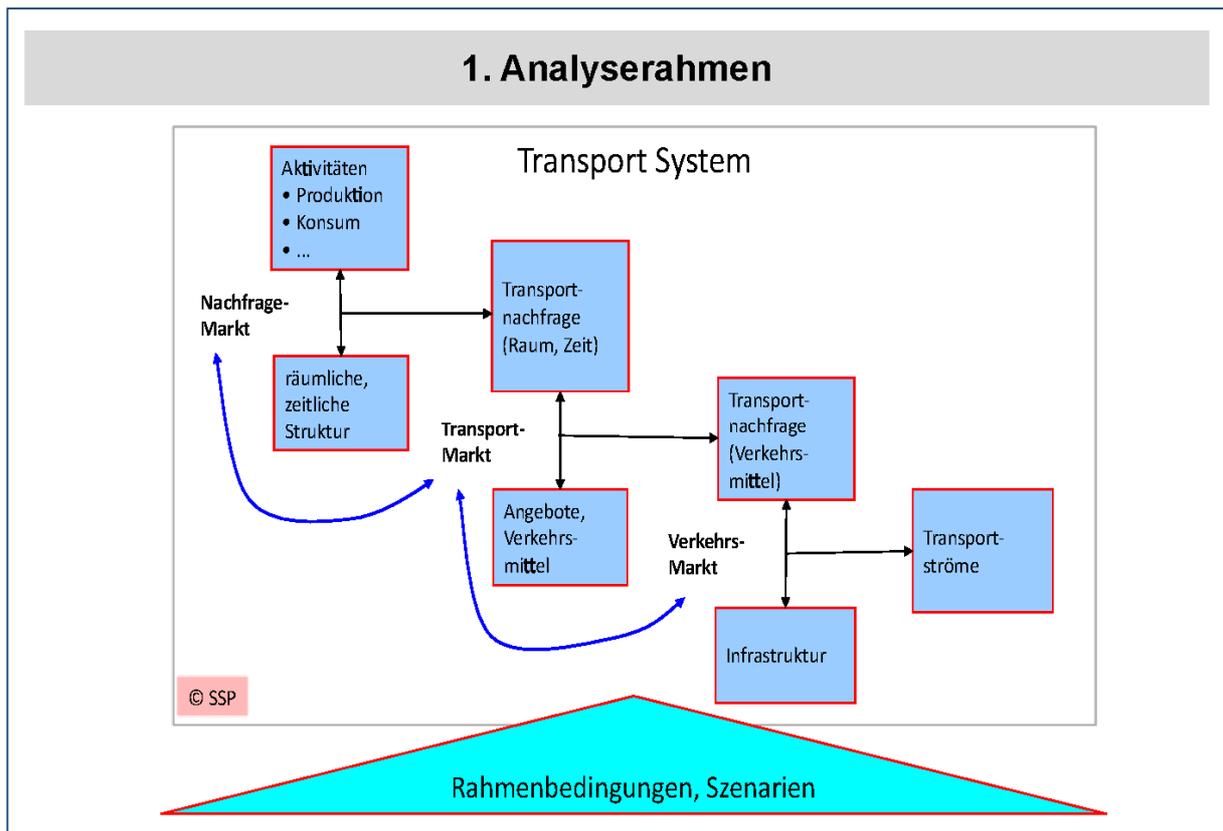


Abbildung 3-1: Teilmärkte des Güterverkehrssystems

#### Der (Transport-) Nachfragemarkt<sup>9</sup>

Auf dem Nachfragemarkt entsteht der Transport- und Mobilitätsbedarf für Güter. Dort findet insbesondere die arbeitsteilige **Produktion** von Gütern und deren **Konsum** statt. Für die Produktion werden Materialien und Vorprodukte benötigt und müssen zu den Produktions-

<sup>9</sup> Der Begriff „Nachfragemarkt“ ist vielleicht etwas ungewöhnlich. Aus diesem Grunde ist auch die Ergänzung „Transport“ in der Überschrift vorangestellt worden. Tatsächlich kann in dem Zusammenhang von einem Markt gesprochen werden, da hier die Gesamtheit der nachgefragten Transportleistungen entstehen. Im weiteren Text wird somit der Begriff „Nachfragemarkt“ verwendet.

stätten gelangen. Die Fertigprodukte müssen über Lieferketten bis zum Endverbraucher gebracht und Abfälle rückgeführt werden, damit das Wirtschaftssystem funktioniert.

### **Der Transportmarkt**

Auf dem Transportmarkt werden die vom Nachfragemarkt geforderten **Transportleistungen** unter Nutzung der verschiedenen Verkehrsträger angeboten. Diese Angebote berücksichtigen die Eigenschaften der verschiedenen Verkehrsträger wie z.B. Transportkosten, Haus-zu-Haus-Fahrzeiten, notwendige Umschlagvorgänge, Anforderungen an Ladungsträger, Risiken der Beschädigung, Strukturen von Transportketten, die Kombinierbarkeit mit logistischen Mehrwertleistungen, die Verknüpfung und Vernetzung mit anderen Verkehrsträgern oder die Transportsicherheit. Je nach Anforderungen der Nachfrager wird aufgrund dieser Angebote die Verkehrsträgerwahl getroffen. Im Ergebnis resultieren hieraus Transportangebote zwischen Raumeinheiten (Verkehrszellen wie z.B. Städten, Regionen, usw.), aufgeteilt nach Verkehrsträgern, mit einer bestimmten zeitlichen und organisatorischen Struktur sowie den zugehörigen Nutzerkosten.

### **Der Verkehrsmarkt**

Die Transporte selbst finden auf dem Verkehrsmarkt statt und nutzen die zur Verfügung stehende Verkehrsinfrastruktur (Strassen, Schienen, Wasserstrassen, KV-Terminals usw.). Die Leistungsfähigkeit des Verkehrsmarktes entscheidet letztlich, ob die auf dem Transportmarkt definierten Transportangebote zur Abwicklung der Nachfrage auch realisiert werden können. Der Verkehrsmarkt ist nicht alleine dem Güterverkehr vorbehalten, da hier Güter- und Personenverkehr aufeinandertreffen. Lassen sich die Transportangebote auf dem Verkehrsmarkt nicht realisieren – z.B. aufgrund von Kapazitätsengpässen, kann es in der Rückkopplung zu einer Änderung der Verkehrsmittelwahl, aber auch zu Umstrukturierung auf dem Nachfragemarkt kommen. Genauso denkbar sind aber auch Preisreaktionen, die zu Änderungen und Anpassungen der Angebote auf dem Transportmarkt führen.

### **Rahmenbedingungen und Szenarien**

Die drei Teilmärkte des Güterverkehrsmarktes werden durch exogene Rahmenbedingungen gesteuert. Wichtige derartige Rahmenbedingungen sind insbesondere die Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung. Weiterhin bestimmen aber auch technische Entwicklungen und Neuentwicklungen die Effizienz der Verkehrsträger. Schliesslich haben Vorgaben und Ziele aus dem politischen Raum (z.B. in Form ordnungs- und fiskalpolitischer Massnahmen) ebenfalls exogenen Charakter und zählen zu den Rahmenbedingungen.

Für perspektivische Betrachtungen im Rahmen von Verkehrsprognosen werden verschiedene, für realistisch gehaltene, zukünftige Ausprägungen dieser exogenen Einflüsse in der Regel über Szenarien abgebildet. Sie geben Auskunft darüber, wie sich v.a. der Transport- und der Verkehrsmarkt bei Änderung der Rahmenbedingungen entwickeln könnten.

Diese Struktur des Transportsystems liegt als **Analyserahmen** dem Konzept für ein Güterverkehrsmodell zugrunde. Die Teilmärkte werden in Form von Teilmodulen im Modell abgebildet und über Schnittstellen werden die Interaktionen der Teilmärkte sowie die Steuerung des Transportsystems durch exogene Größen approximiert.

### 3.2 Integration verschiedener Arten von Parametern

Um die Funktionsweise eines Güterverkehrsmodells zu verstehen und letztlich die Anforderungen an ein Modell umsetzen zu können, ist die Betrachtung verschiedener Modellparameter erforderlich. Bei den Modellparametern lassen sich prinzipiell **Struktur- und Verhaltensparameter** sowie **technische/ökonomische Parameter** unterscheiden. Diese Parameter sind jeweils relevant für alle dargestellten Teilmärkte und erfüllen auf jedem Teilmarkt spezifische Funktionen. Letztlich geben die Parameter an, wie sensibel das Modell auf Änderungen der Rahmenbedingungen reagiert (Struktur- und technische/ökonomische Parameter) und wie elastisch das Verhalten der Akteure auf Änderungen der Angebote reagiert (Verhaltensparameter). Im Rahmen der „Verkehrsperspektiven für die Schweiz“ sind die verschiedenen Modellparameter im Detail dargestellt<sup>10</sup>, so dass hier nur kurz eine zusammenfassende Charakterisierung erfolgt.

Zu den **Strukturparametern** zählt einmal die **geographische Aufteilung** des Untersuchungsraumes in Verkehrszellen, für die die Verkehrsnachfrage und zwischen denen die Güterverkehrsströme bestimmt werden sollen. Die geographische Einteilung der Schweiz und des Umlandes sind in Kapitel 11.5.3 im Anhang genauer beschrieben.

In gleicher Weise sind **technische Parameter** zunächst exogen vorgegeben. Technische Parameter sind z.B. Kapazitäten der Strassen- und Schieneninfrastruktur, Umschlagsleistungen der Suprastruktur in Terminals, Blocklänge beim Zugverkehr, erreichbare Durchschnittsgeschwindigkeiten, durchschnittliche Verbrauchsdaten von Motoren usw. Aber auch technische Bedingungen, die sich aus Produktionsprozessen und deren Organisation ergeben, sind für die Güterverkehrsnachfrage und die Angebotsformulierung bis hin zu den Netzbelastungen wichtig. Weitere wichtige technische Parameter sind Auslastungsgrade von beladenen Lastkraftfahrzeugen und Bahnwaggonen. Damit werden die Güterverkehrsströme in

<sup>10</sup> siehe dazu

<https://www.are.admin.ch/are/de/home/verkehr-und-infrastruktur/grundlagen-und-daten/verkehrsperspektiven.html>

Fahrzeugströme umgeformt. Demgegenüber sind Leerfahrtenanteile endogene Größen, da sie sich aus den Güterverkehrsströmen und den durchschnittlichen Auslastungsgraden ergeben.

Als **ökonomische Parameter** werden hier alle exogenen Kostengrößen genannt, die neben den technischen Parametern die Angebote bestimmen. Hierbei sind Nutzerkosten für die Verkehrsmittel, Mautgebühren, Kosten für Kraftstoffe und Elektroenergie, Umschlagskosten usw. gemeint. Auch diese Parameter sind in der Regel exogen vorgegeben. In der Prognose werden die Parameter in Szenarien vorgegeben.

Zentral für ein Güterverkehrsmodell sind weiterhin die **Verhaltensparameter**. Diese sind zunächst unbekannt und werden in der Regel mit Hilfe von statistischen Schätzmethoden aus statistischen Daten bestimmt. Diese Parameter beschreiben das „Verhalten“ der Akteure am Transportmarkt und ergeben zusammen mit Strukturdaten, die das Verhalten der Akteure beeinflussen, ein Verhaltensmodell. Die Verhaltensparameter, die z.B. aus speziellen Erhebungen von Transportvorgängen abgeleitet werden, bestimmen dabei die Reaktion der Akteure auf Änderungen der Einflussvariablen. Wie die Reaktion abläuft, wird im Modell durch spezifische Funktionsvorgaben bestimmt. Liegen keine Erhebungsdaten vor und sollen diese auch nicht durchgeführt werden, so gibt es vereinfachte und approximative Verfahren zur Integration des Verhaltens der Akteure in das Güterverkehrsmodell. Beim Modal-Split können beispielsweise **Elastizitätswerte** genutzt werden, die aus verschiedenen Untersuchungen für die Schweiz vorliegen.

Eine spezielle Form der Verhaltensparameter findet sich im NGVM. Dort werden die Aufkommensgewichte spezifischer Produktionsgüter quasi als „Mobilitätsparameter“ festgelegt. Hintergrund dabei sind Materialflüsse.

Die verschiedenen Arten von Parametern spielen somit eine wichtige Rolle bei der Ausgestaltung eines Güterverkehrsmodells. Insbesondere ist zu berücksichtigen, dass Strukturparameter, technisch/ökonomische Parameter und Verhaltensparameter geeignet integriert sind, damit das Güterverkehrsmodell auf entsprechende Änderungen der Rahmenbedingungen oder Vorgaben in Szenarien reagieren kann. In der folgenden Tabelle sind die zu betrachtenden Parameter zusammen gestellt.

Parameterart	Beispiel	Quelle
<b>Strukturparameter</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produktionsanteile der Wirtschaftsbranchen</li> <li>• Zonierung des Untersuchungsraums</li> <li>• Regionale Anteile eines Untersuchungsraums</li> </ul>	Strukturdaten für Analyse und Prognose
<b>technische Parameter</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auslastungsgrade von Fahrzeugen</li> <li>• Energieverbrauch</li> <li>• Kapazitäten der Infra- und Suprastruktur</li> <li>• Realisierbare Geschwindigkeiten</li> </ul>	Technische Vorgaben, Vorgaben in Szenarien, Netzmodelle
<b>Ökonomische Parameter</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transportpreise</li> <li>• Energiepreise</li> <li>• Umschlagskosten</li> </ul>	Informationen vom Transportmarkt, Vorgaben in Szenarien
<b>Verhaltensparameter</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufkommengewichte je Branche</li> <li>• Verbrauchs- und Aufkommensraten von Verbrauchern, Unternehmen, Beschäftigten in der Produktion, Produktionsmitteln etc.</li> <li>• Reaktionen auf Verkehrsmittelangebote</li> <li>• Elastizitäten zur Approximation der Reaktion auf Angebotsveränderungen</li> <li>• Produktionsintensitäten</li> </ul>	Schätzung aus empirischen Daten und Erhebungen, spezifische Untersuchungen zum Verhalten, verfügbare Untersuchungen zum Verhalten und Projektreports

**Tabelle 3-3-1: Parameterarten in Güterverkehrsmodellen**

### 3.3 Struktur eines Güterverkehrsmodells für die drei Teilmärkte

Die oben genannten drei Teilmärkte werden im Güterverkehrsmodell durch entsprechende Teilmodelle abgebildet und repräsentiert. Diesen Zusammenhang zeigt die folgende Abbildung. Dabei symbolisieren die Kästchen der ersten Spalte die Datenebene, die der zweiten Spalte die Modellebene und die der dritten Spalte Zwischen- und Endergebnisse. Die hellgrau hinterlegten Bereiche kennzeichnen die Daten, Modelle und Ergebnisse der drei Marktsegmente Nachfrage-, Transport- und Verkehrsmarkt. Verknüpft sind die Daten und Modelle durch funktionale Zusammenhänge und Modellparameter sowie die Teilmodelle der drei Märkte durch entsprechende Datenschnittstellen.

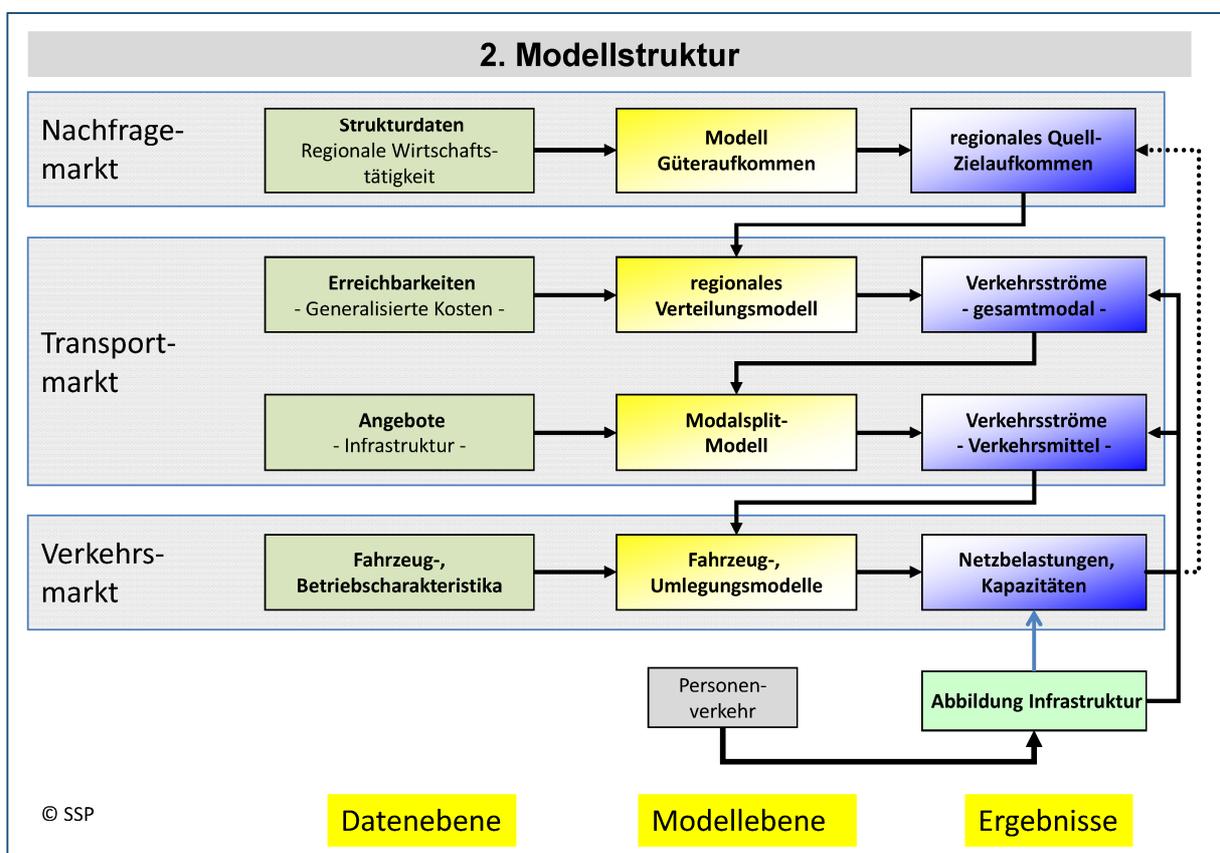


Abbildung 3-2: Struktur des Güterverkehrsmodells

Diese Struktur eines Güterverkehrsmodells findet sich bei jedem Modelltyp: Bei Makro- und Mikromodellen, bei Strom-, Fahrzeug- oder Tourenmodellen. Letztlich weisen auch agentenbasierte Modelle diese generelle Modellstruktur auf. Allerdings sind die einzelnen Module je nach Modelltyp anders ausgestaltet oder etwas anders verknüpft. Insofern ist es für die Konzeptentwicklung sinnvoll, die grundlegenden Module und Bausteine von Güterverkehrsmodellen darzustellen. Diese Module und Bausteine werden später genutzt, um daraus ein ge-

eignetes Konzept für ein Güterverkehrsmodell für die Schweiz zu entwickeln. Folgende Aufgaben sind dabei u.a. zu bearbeiten:

- Es sind hier zunächst die **Datenstrukturen** festzulegen: Unterscheidung nach Gutarten, Einteilung der Verkehrszellen und welche Strukturdaten können genutzt werden.
- Für die Abbildung des Nachfragemarktes werden ökonomische Grössen (Bruttoinlandsprodukt, Bruttowertschöpfung, Konsumausgaben, ...) mit Transportaufkommen verknüpft. Bei Prognoserechnungen sind die Entwicklungen von **Wertdichten**, d.h. die zeitliche Veränderung des Verhältnisses der Transportaufkommen zu einer Geldgrösse zu berücksichtigen (siehe auch nächstes Kapitel).
- Für die Transportnachfragestruktur müssen geeignete **Nachfragesegmente** im Sinne von homogenen Nachfragegruppen gebildet werden.
- Es ist zu entscheiden, ob das Modell direkte Prognosen bereitstellt, oder ob eine **Fortschreibungstechnik**<sup>11</sup> genutzt wird, wobei für Güterverkehrsmodelle eindeutig eine Fortschreibung empfohlen wird.
- Für **Verhaltensmodelle** des Transportmarktes – Verteilung, Modal-Split – sind geeignete Funktionsansätze zu bestimmen und mit Hilfe empirischer Daten die Modellschätzungen durchzuführen.
- Für den Verkehrsmarkt sind die Verkehrsströme (bis zu dieser Modellstufe gemessen in der Einheit Tonnen / Jahr) mit Hilfe von **Fahrzeugmodellen** in Fahrzeugbewegungen umzuformen. Diese können dann auf geeignete **Netzmodelle** umgelegt werden, um die Netzbelastungen simulieren und analysieren zu können.

Damit ist grob zusammengefasst, welche Module und Festlegungen für ein Güterverkehrsmodell erforderlich sind. Eine ausführlichere Beschreibung dieser Festlegungen ist im Anhang in Kapitel 11.1 dargestellt.

### 3.3.1 Sonderbereiche für die Güterverkehrsmodellierung

#### 3.3.1.1 Einfluss von Logistik und regionalen Besonderheiten

Die Abbildung des Güterverkehrs wird komplizierter, wenn ein Güterverkehrsmodell die Logistik abbilden soll. Befindet sich z.B. in einer Verkehrszelle ein Güterverkehrszentrum, das einen Knoten in einem Stückgutnetzwerk darstellt, so weist die Statistik in der Regel für diese Region hohe Transportaufkommen<sup>12</sup> aus, ohne dass dort entsprechende Produktionsstätten oder eine hohe Zahl von Verbrauchern ansässig sind. Eine Erklärung der Transportauf-

<sup>11</sup> bei der Fortschreibung wird auf einem Basisfall aufgesetzt und dieser mit Veränderungen der endogenen Variablen beaufschlagt. Dadurch bleibt eine empirische Grundstruktur erhalten.

<sup>12</sup> Da wir im Modell von Güterstrommatrizen ausgehen und Quell- und Zielverkehre unterscheiden, sind Doppelzählungen durch Umschlagstätigkeiten in logistischen Knoten nicht gegeben.

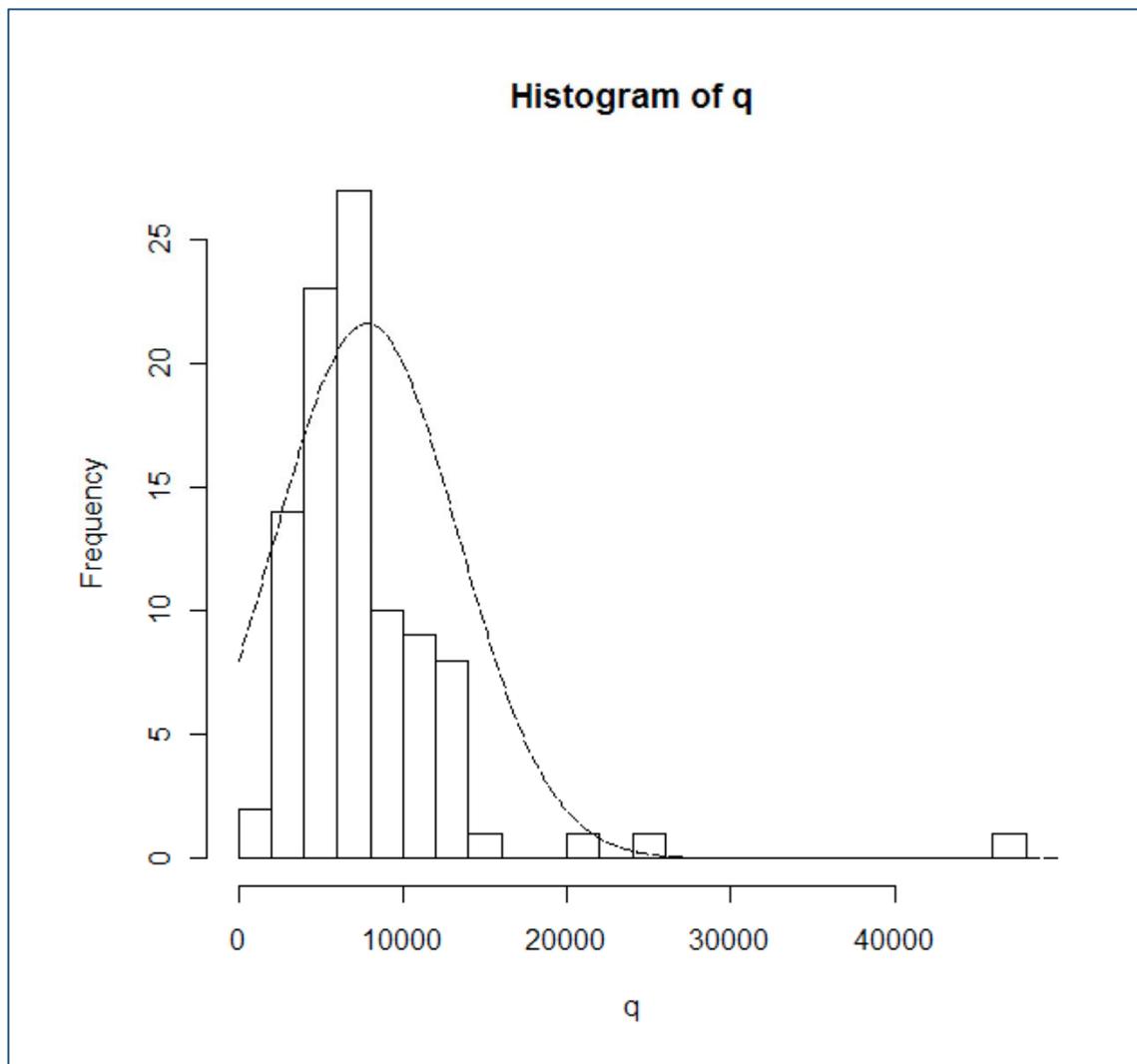
kommen aus Strukturdaten ist in so einem Fall nicht immer möglich. In diesem Fall kann eine sogenannte Dummy-Variable „Dummy-Güterverkehrszentrum“ herangezogen werden. Diese geben der Verkehrszelle mit dem Güterverkehrszentrum ein eigenes Gewicht, so dass die Verkehrsaufkommen besser geschätzt werden können. In der AMG ist dazu eine spezielle Funktionalität vorgesehen, mit deren Hilfe sogenannte „**singuläre Verkehrserzeuger**“ und deren Aufkommen für Analyse und Prognose sowie die Verteilung auf Verkehrsträger *gesetzt* werden können. Eine endogene Schätzung und Prognose dieser regionalen Aufkommen ist somit nur in Ansätzen möglich.

Es gibt keinen eindeutigen Schwellenwert für das Aufkommen, ab dem die Einführung eines singulären Verkehrserzeugers sinnvoll ist. Die Festlegung sollte eher anhand der Schätzwerte für die endogenen Größen erfolgen. Zeigt sich hier eine grössere Abweichung zwischen Schätzwert und Aufkommenswert, oder zeigen sich in den Umlegungsergebnissen Belastungslücken, so kann das ein Hinweis darauf sein, dass in der Region bzw. in der Verkehrszelle ein singulärer Verkehrserzeuger definiert werden sollte. Werden feinträumige Fahrzeugmodelle genutzt oder eine Umlegung der Güterzüge durchgeführt, so ergeben sich die singulären Verkehrserzeuger durch operative Vorgaben (z.B. Rangierbahnhöfe) oder Umlegungsrechnungen in logistisch geprägten Netzen. Hier wäre dann eine Festlegung anhand der Aufkommenswerte nicht angemessen. Die Definition singulärer Verkehrserzeuger ist somit eher ein iterativer Prozess bei der Modellerstellung und soll die Modellungenauigkeiten ausgleichen. Eindeutige singuläre Verkehrserzeuger sind z.B. See- oder Binnenhäfen. Hier wird ein Aufkommen generiert, das nicht aus operativen Abläufen entsteht und das nur indirekt z.B. aus dem Aussenhandel bestimmt werden kann. Hier sind dann Setzungen der Aufkommen oder deren endogene Schätzung mit Hilfe gesonderter Seehafenprognosen vorzunehmen.

Im NGVM werden Güterverkehrszentren als Umschlagsknoten behandelt. In diesen findet ein Verkehrsmittelwechsel statt. Hierbei wird zwischen LW-Vor und –Nachlauf und LW-Hauptlauf sowie anderen Alternativen für den Hauptlauf unterschieden. Die Umschlagspunkte werden durch die Umlegung der Güterströme im Netz sichtbar.

Bei der Schätzung der Güterverkehrsaufkommen sind weitere Unregelmässigkeiten zu beachten, die nicht immer ursächlich erfasst werden können. Das soll an einem Beispiel aus der deutschen Güterverkehrsstatistik verdeutlicht werden. In der folgenden Abbildung ist das Verhältnis der Güterverkehrsaufkommen zur Bruttowertschöpfung (BWS) für Landwirtschaftliche Produkte dargestellt. Approximiert wird hier eine Normalverteilung für  $q = \text{Transportmenge/Einheit Bruttowertschöpfung (BWS)}$  mit dem Mittelwert über alle Regionen von 7 kg landwirtschaftliche Produkte pro € Bruttowertschöpfung. Allerdings gibt es deutliche Ausreisser. So ist in Münster Westfalen der  $q$ -Wert bei 2 kg/€, in Magdeburg bei 12 kg/€ und Bre-

men bei 47 kg/€. Die Unterschiede sind auf regionale Besonderheiten zurückzuführen: In Münster ist eine wertintensive Viehproduktion zu vermuten, in Magdeburg wird der weniger werthaltige Weizenanbau eine Rolle spielen und in Bremen spielt der Umschlag des Seehafens mit landwirtschaftlichen Produkten eine Rolle. Solche Besonderheiten sind nicht unbedingt der Statistik zu entnehmen, sondern müssen aus Ortskenntnissen und zusätzlichen Recherchen ermittelt werden. Das ist aber nicht immer möglich, was dann zu entsprechenden Fehlschätzungen führen kann, die sich letztlich in einer unzutreffenden Netzbelastung mit Güterverkehren äussern. Mit Querschnittszählungen im Strassennetz hat man zumindest einen Indikator für Fehlschätzungen, die dann entsprechend nachgebessert werden können.



**Abbildung 3-3: Häufigkeitsverteilung von  $q$  = reg. Aufkommen zu reg. BWS Landwirtschaftliche Produkte**

Im AMG können solche Effekte mit Hilfe von Dummy-Variablen spezifiziert werden, die die Varianzen in den regionalen Werten abfangen. Dabei muss nicht einmal eine Erklärung für diese Ausreisser vorliegen. Sie werden entdeckt anhand der Abweichung zwischen regionaler Schätzung und den statistischen Güteraufkommen. Prognosewerte müssen hier entweder gesetzt werden oder über ein geeignetes Sub-Modell (wie oben bei den Seehäfen beschrieben) endogen bestimmt werden. Im NGVM lassen sich diese Varianzen im Aufkommen grundsätzlich besser handhaben. Hier könnten die Erzeugungsraten (Verbrauchs- und Aufkommensraten) für die einzelnen Verkehrszellen den individuellen Gegebenheiten angepasst werden. Ein grosser Aufwand beim NGVM besteht allerdings darin, die über 100 Warengruppen geeignet zu segmentieren.

### 3.3.1.2 Wertdichten bei Zeitreihenanalysen

Soll das Güterverkehrsmodell für Prognosen eingesetzt werden, so spielen Zeitreihenanalysen von **Wertdichten** eine entscheidende Rolle. Werden diese Entwicklungen nicht beachtet, hat das gravierende Auswirkungen auf Güterverkehrsprognosen. Wird z.B. die Bruttowertschöpfung der Elektronikbranche genutzt, um die produzierten Gütermengen – gemessen in Tonnen pro Jahr - in dieser Branche zu prognostizieren, so würden mit einem Modellansatz aus dem Jahr 1950 gigantische Mengen für den Transport von Gütern prognostiziert. Die Materialverdichtung bei einer Einheit Bruttowertschöpfung muss beachtet werden. Transporte, die früher die Gewichtsgrenzen der Transportgefässe erreicht haben, erreichen heute die Volumenkapazität, nicht aber die Gewichtsgrenzen. Sobald also nicht gleich auf Fahrzeugebene, sondern zunächst auf Mengenebene die Transporte die Güterverkehrsprognosen erstellt werden, sind die Wertdichteveränderungen unbedingt zu beachten. Als empirische Quelle für die Bestimmung der Wertdichten kann die Aussenhandelsstatistik herangezogen werden. In dieser Statistik werden sehr differenziert die Gutarten in Wert und Menge ausgewiesen und die Statistik liegt als (ex-post) Zeitreihe vor. Wichtig bei der Anwendung ist die Nutzung realer Grössen, d.h. die Werte müssen inflationsbereinigt vorliegen<sup>13</sup>.

---

<sup>13</sup> Zur Struktur und der Preisbasis (cif oder fob) sowie den Mengenangaben siehe den Internetauftritt der Eidgenössischen Zollverwaltung, z.B. die Seite <https://www.ezv.admin.ch/ezv/de/home/themen/schweizerische-aussenhandelsstatistik/erlaeuterungen-zur-statistikmethode/definitionen-und-auswertungsmerkmale.html>

### 3.3.1.3 Verkehrsarten

Auf der Ebene des Aufkommensmodells sollte auch die Unterscheidung nach Verkehrsarten – Binnenverkehr, Import, Export, Transit – vorgenommen werden. Für den Binnenverkehr liegen in der Regel aus der Statistik Strukturdaten und Erzeugungsraten vor. Für die nachfolgende Verteilungsrechnung lassen sich Transportwiderstände aus Netzmodellen ermitteln.

Dabei sind aber für die Verkehrsarten unterschiedliche methodische Ansätze in der Verteilungsrechnung zu wählen (siehe dazu Kapitel 6.5.1). Wichtig ist aber, hier darauf hinzuweisen, dass schon bei den Aufkommensmodellen eine Trennung nach Hauptverkehrsbeziehungen vorzunehmen ist und es sind entsprechend unterschiedliche Schätzansätze zu wählen.

### 3.3.1.4 Direkte Prognose oder Fortschreibung

Werden die Aufkommensmodelle zur Schätzung und Prognose der Güterverkehrsnachfrage, also der endogenen Größen genutzt, so lassen sich dafür zwei Techniken anwenden: Die direkte Prognose oder die Fortschreibung.

Bei der direkten Prognose werden die geschätzten endogenen Größen der regionalen Güterverkehrsaufkommen direkt als Ergebnis verwendet und in die weiteren Modellarbeiten eingegeben. Bei der Fortschreibungstechnik werden die Schätzwerte der Modelle nicht direkt verwendet, sondern zur Fortschreibung einer statistischen, vorgegebenen Güterverkehrsstruktur genutzt. In diesem Fall ist das Ergebnis für einen Basiszeitpunkt die Statistik, für einen Prognosezeitpunkt die auf dieser Statistik mit Hilfe der vom Modell errechneten Veränderungsraten vorgenommene Fortschreibung der Struktur. Der Vorteil der Fortschreibung liegt darin, dass die Modellergebnisse auf einer beobachtbaren Nachfragestruktur aufsetzt und unvermeidbare Modellfehler nicht vollständig in das Ergebnis für die Prognosewerte übertragen werden. Bei der direkten Prognose wird demgegenüber die Güternachfragestruktur durch das Modell erzeugt.

Beide Ansätze werden verwendet. So ist die AMG ein Fortschreibungsmodell, das NGVM erzeugt direkte Prognosen. Die Erfahrungen zeigen, dass die Aufkommensmodelle eine Approximation der Realität darstellen, die auch Fehlschätzungen produzieren. Zum Teil ist das verursacht durch mangelnde Informationen über logistische Prozesse (siehe oben). Hier empfiehlt sich die Fortschreibungstechnik. Bei sehr feinräumigen Modellen, bei denen Detailinformationen für die Verkehrszellen vorliegen, ist eine direkte Schätzung der Aufkommen angebracht. Allerdings geht bei der direkten feinräumigen Prognose der Bezug zur Statistik für die Güterverkehrsnachfrage teilweise verloren. Die Statistik dient dann primär dazu, das Modell zu validieren.

Für exogene Größen werden andere Vorgehensweisen genutzt: Strukturdaten werden in der Regel über einen Zeitreihenansatz oder durch Szenarienvorgaben prognostiziert, in Netzmodelle werden Infrastrukturplanungen eingearbeitet, die verschiedenen Modellparameter werden mit Hilfe von Szenarien festgelegt.

## **4 Charakterisierung von AMG und NGVM –Defizitanalyse, Bewertung**

Die „Aggregierte Methode Güterverkehr“ (AMG) und das „Nationale Güterverkehrsmodell“ (NGVM) sind die beiden existierenden Güterverkehrsmodelle für die Schweiz. Das NGVM stellt eine synthetische Beschreibung des Güterverkehrs in Form von Warenflussmodellen dar und ist sehr detailliert bezüglich der Segmentierung. Die statistischen Erhebungen zum Güterverkehr werden nur im Eckwert annähernd reproduziert. Die AMG reproduziert dagegen die Güterverkehrsstatistik der Schweiz auch auf regional disaggregierter Ebene und orientiert sich eher am klassischen Modellansatz. Im NGVM werden logistische Abläufe abgebildet, während in der AMG die Logistik nur im Ansatz vorhanden ist. Die Modelle sind im Anhang in Kapitel 11.2 genauer skizziert. Hier sollen lediglich die Ergebnisse der Betrachtung zusammengefasst werden.

### **4.1 Defizitanalyse**

Bei der Defizitanalyse werden die beiden Modelle den oben genannten Anforderungen gegenüber gestellt. Für die AMG zeigen sich folgende Ergebnisse:

- Es werden nicht alle verfügbaren Datenquellen genutzt. Insbesondere die grenzüberschreitenden Verkehrsströme der Nachfragematrix könnten angereichert werden. Ergänzende Datenquellen sind z.B. die Bundesverkehrswegeplanung 2030 für Deutschland, die Gesamtverkehrsplanung für Österreich oder europaweite Daten aus EUROSTAT.
- Für die Verkehrszelleneinteilung wurde auf MS-Regionen zurückgegriffen. Es ist zu prüfen, ob eine weitere Differenzierung der Zonierung – eventuell auch nur für einzelne Regionen – Verbesserungspotenziale für die Darstellung der Güterverkehre beinhaltet.
- Die Verkehrsaufkommen werden in der AMG-TM1 bereitgestellt und die Aufkommensmodelle werden in AMG-TM2 übernommen. Die Integration eines eigenständigen Aufkommensmodells in das Teilmodell 2 könnte eine weitere Differenzierung der Güterverkehrsabbildung ermöglichen. Teilmodell 1 würde dann weiterhin den „Deckel“ für

die Verkehrsaufkommen bereitstellen, die aber dann im Teilmodell 2 gezielter verarbeitet werden können.

- Die Verteilung der Verkehrsaufkommen auf Verkehrszellen und Güterströme wird mechanistisch mit Hilfe von Aufteilungsfaktoren bestimmt. Hier könnte ein eigenständiges Verteilungsmodell Verbesserungen bringen.
- Die Verkehrsmittelwahl wird mit Hilfe durchschnittlicher Elastizitäten gerechnet. Hier könnte ein eigenständiges Verkehrsmittelwahlmodell Verbesserungen in der Abbildungsqualität der Güterverkehre bringen.
- Mit der Frage der geeigneten Zonierung ist auch die Aufteilung der Fahrzeugströme auf Feinzellen (des NPVM) zu prüfen. Auch dieser Rechenschritt erfolgt im Moment mechanistisch.
- Es werden 10 aggregierte Gutarten in der AMG unterschieden. Die gängige Einteilung in 20 NST2007 Gütergruppen ist zu diskutieren.
- Die Rückkopplung zwischen Umlegungsergebnissen und den Ergebnissen des Güterverkehrsmodells sollte intensiviert werden, um hiermit die feinräumigen empirischen Daten in Form von Streckenbelastungen zur Modellkalibrierung zu nutzen.

Insgesamt zeigen sich also diverse Ansatzpunkte, um die bestehende AMG mit überschaubarem Aufwand zu verbessern. Dies wird auch Gegenstand einer Vorschlagsvariante für die Weiterentwicklung des Güterverkehrsmodells in der Schweiz sein (siehe Kapitel 6). Inwiefern die ursprüngliche Zielsetzung, logistische Prozesse in die Güterverkehrsmodellierung einzu-beziehen, damit erreicht wird, ist zu diskutieren.

In der Defizitanalyse des NGVM sind folgende Punkte hervorzuheben:

- Das NGVM wurde im Jahr 2008 fertig gestellt. Eine Datenaktualisierung ist somit erforderlich. Aufgrund der Komplexität des Modells ist diese aber sehr aufwändig.
- Auch in der Evaluierung des NGVM wurde angemerkt, dass die grenzüberschreitenden Verkehre nicht vollständig dargestellt und in die Modellsystematik integriert sind.
- Da das NGVM mit aktors- bzw. unternehmensbezogenen Erzeugungsraten arbeitet und die Materialströme – auch zwischen Logistikeinheiten – betrachtet, sind logistische Prozesse mit dem NGVM abbildbar.
- Die Verkehrsmittelwahl wird aus der Verkehrsmittelaffinität einzelner Gutarten abgeleitet. Angebotsänderungen bei den Verkehrsträgern ändern diese Zuordnung nicht, was eine Simulation und Prognose von Angebotswirkungen erschwert.
- Prognosen sind mit dem NGVM nur schwer und aufwändig durchführbar. Dazu sind sehr viele Parameter anzupassen und neu zu schätzen, was letztlich die Übersichtlichkeit und Nachvollziehbarkeit von Wirkungszusammenhängen erschwert.

- Die Akzeptanz von synthetischen Güterverkehrsmodellen ist im Moment bei den Nutzern noch nicht vorhanden, da die modellmässige Abbildung logistischer Prozesse mit Skepsis begegnet wird.

Ziel des NGVM ist es, die Ursachen für Transportvorgänge zu erfassen und die daraus folgenden logistischen Transportketten abzubilden. Durch die feinräumige Abbildung der Ursachen für die Transportaufkommen, die Vielzahl der genutzten Aufkommens- und Verbrauchsparemeter und die weite Spreizung der Gutarten und der logistischen Transportalternativen ist das auch im Prinzip gelungen. Die Handhabung des NGVM ist allerdings sehr komplex und erfordert eine intensive Einarbeitung. Die Prognosefähigkeit ist aufgrund der Vielzahl der benötigten Strukturdateninformationen und Parameterwerte aufwendig.

#### **4.2 Fazit zur Betrachtung der existierenden Güterverkehrsmodelle der Schweiz**

Die Betrachtung der beiden vorhandenen Güterverkehrsmodelle für die Schweiz zeigt, dass aufgrund der verschiedenen Schwerpunkte der Modelle die Anforderungen an die Güterverkehrsmodellierung unterschiedlich erfüllt sind. Die AMG erfüllt einige Anforderungen und bildet auch die Güterverkehrsstatistik der Schweiz ab. Allerdings sind logistische Prozesse, die für den Güterverkehrsmarkt eine bedeutende Rolle spielen, in der AMG nicht ausreichend abgebildet. Im NGVM liegt der Schwerpunkt auf der Abbildung der Materialflüsse. Damit können logistische Abläufe modelliert und gesetzt werden. Da es sich beim NGVM um ein synthetisches Modell handelt, lässt sich die Güterverkehrsstatistik allenfalls im Eckwert, nicht aber im Detail approximieren. Da AMG und NGVM unterschiedliche Stärken aufweisen und damit unterschiedliche Zwecke verfolgen, ist eine Beurteilung bzw. Vergleich der beiden Modelle nur bedingt möglich und sinnvoll. Die AMG ist durch die Nutzung bei der Erarbeitung der Schweizerischen Verkehrsperspektiven ein anerkanntes Planungsinstrument, da die Abbildung logistischer Prozesse dabei nicht im Vordergrund steht.

Die oben aufgezeigten Defizitbereiche der AMG lassen darauf schliessen, dass Potenziale für deutliche Verbesserungen des Modells vorhanden sind, so dass die AMG den Güterverkehrsmarkt in der Schweiz zutreffend beschreiben kann und für Prognosen und Planungen der Nachfragestrukturen im Güterverkehr eingesetzt werden kann. Welche Verbesserungsmöglichkeiten es für die AMG ohne explizite Berücksichtigung der Logistik gibt, wird im Kapitel 6 dargestellt. Auf die Möglichkeiten der Abbildung logistischer Prozesse wird dann im Kapitel 7 eingegangen. Dabei ist auch zu vertiefen, ob, trotz unterschiedlicher Modellstrukturen von AMG und NGVM, Synergien genutzt werden können.

## 5 Datengrundlagen für ein Güterverkehrsmodell

Die Datengrundlagen für die Güterverkehrsmodellierung sind in einschlägigen Gutachten beschrieben. Dabei standen jedoch nicht die Möglichkeiten der Abbildung logistischer Prozesse im Vordergrund. Diese Gutachten sowie eine kurze Charakterisierung der Daten ist im Anhang in Kapitel 11.3 genauer aufgeführt. An dieser Stelle soll auf besondere Aspekte der Daten bzw. ergänzende Daten eingegangen werden.

Die Erhebungen in Form der **GTE** und **GQGV** liegen als Zeitreihen vor. Insbesondere für die GTE stehen jährliche Daten seit 2008 zur Verfügung. Im AMG-TM2 wird ein „Pooling“ der Daten durchgeführt, indem alle Erhebungsjahre gemeinsam genutzt werden. Damit soll erreicht werden, dass die Güterverflechtungsmatrix dichter besetzt wird.

In Güterverkehrsmodellen soll die Transportlogistik möglichst zutreffend dargestellt werden. Das ist aufgrund der vorhandenen empirischen Daten zur Transportnachfrage nicht direkt möglich, da in der Regel einzelne Güterströme ausgewiesen werden. Allerdings lassen sich aus den Angaben in der GTE und GQGV Transportketten zusammensetzen, indem aufeinanderfolgende Fahrten eines Fahrzeugs verknüpft werden. Zudem könnten sich aus den Quell- und Zielangaben sowie der dokumentierten Transportentfernung der Fahrten Vor- und Nachläufe zu Güterbahnhöfen und Terminals des kombinierten Verkehrs ableiten lassen. Das ist im Einzelnen zu prüfen. Im „German Approach“ (siehe Kapitel 8.2.2) werden solche Informationen genutzt und anhand von statistischen Angaben der einzelnen Verkehrsträger die gesamte Transportkette rekonstruiert. Die Aufgabe besteht darin, diesen analytischen Ansatz auch in einem Prognosemodell für den Güterverkehr anhand der vorhandenen Daten abzubilden. Dazu wird in diesem Konzept ein Lösungsvorschlag skizziert.

Allerdings sind die Daten bisher nicht weiter ausgewertet worden. So wäre eine Umlegung der Daten auf das Strassennetzmodell des NPVM ein erster Schritt, um die Qualität der Daten für die Güterverkehrsmodellierung zu beurteilen. Auf weitere Analysemöglichkeiten der Daten, z.B. durch Auswertung der Fahrzeugarten, der Entfernungsverteilungen oder der Tourenbildung, die eventuell für die Güterverkehrsmodellierung genutzt werden können, wird in Kapitel 8 genauer eingegangen.

Aus der Bundesverkehrswegeplanung in Deutschland (BVWP 2030) liegen diverse Informationen in Form von Strukturdaten und Verkehrsströmen vor. Bis auf die Strassengüterverkehre basieren die Daten zum Analysefall weitgehend auf statistischen Werten. Die Strukturdaten sind aber zum Teil auf eine feinere Zonierung (Kreisebene) herunter gebrochen. Die Matrix für die Strassengüterverkehre basiert auf einer Stichprobenerhebung und den EUROSTAT-Daten und sind mit Hilfe von Modellrechnungen und Plausibilitätsprüfungen zu

einer Güterverflechtungsmatrix zwischen Kreisregionen in Deutschland und zum Teil aggregierten Verkehrszellen im Ausland aufgebaut worden. Diese Informationen können als Ergänzung für die grenzüberschreitenden Güterverkehre der Schweiz genutzt werden. Weiterhin können die BVWP-Daten zur feinräumigeren Aufteilung dieser Schweizerischen Strassengüterverkehre im Ausland genutzt werden.

Die Daten des **BAV zur Terminalplanung** stellen detaillierte Planungsunterlagen dar, die auch die Kapazitätsplanung und damit die erwarteten Güteraufkommen in den Terminals einbeziehen. Es werden detaillierte Angaben Suprastruktur der Terminals bereitgestellt und die Anbindung an die Güterverkehrsnetze – Strasse, Bahn, Binnenschiff – wird beschrieben. Diese Plandaten lassen sich zur Feinspezifizierung von Terminalstandorten im Güterverkehrsmodell nutzen. Ein Abgleich mit den Ergebnissen der Intermodalen Umlegung der Güterströme (siehe Kapitel 11.4 im Anhang), die ja anhand der umgelegten Güterströme die zu erwartenden Umschlagsaktivitäten eines Terminals simulieren soll, können die Terminalplanungen geprüft und gegebenenfalls angepasst werden.

Eher qualitative Informationen stellt das **Forschungspaket des UVEK/ASTRA** zur „Strategie zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz“ dar<sup>14</sup>. Dort werden u.a. die güterverkehrsintensiven Branchen in der Schweiz und branchenspezifische Logistikkonzepte betrachtet. Diese qualitativen Informationen können in Bezug auf Logistikkonzepte für einzelne Gutarten herangezogen werden indem die Erkenntnisse aus den Untersuchungen (hier insbesondere Teilprojekt B2) zu „Branchenspezifische intermodale Transportketten“ im Modell nachgebildet werden. Die Verbindung von qualitativen Informationen und Befragungsergebnissen mit der Güterverkehrsmodellierung wird als ein vielversprechender Ansatz gesehen. Die in den statistischen Daten fehlenden Informationen z.B. über Transportketten können durch Untersuchungen wie die vom UVEK/ASTRA ergänzt werden.

## 6 Verbesserung der AMG ohne explizite Berücksichtigung der Logistik (Variante I)

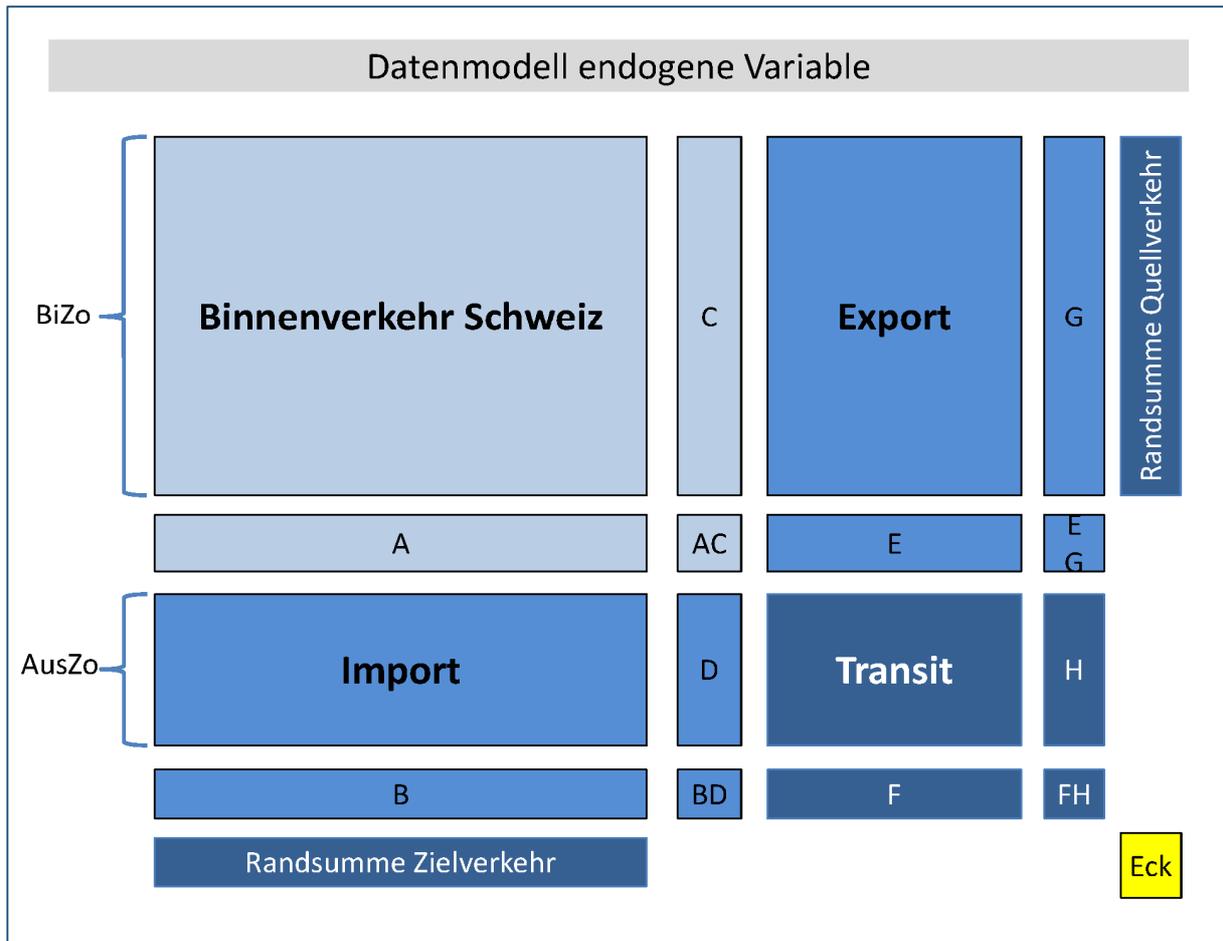
Es sollen Ansatzpunkte für mögliche Verbesserungen am bestehenden AMG-TM2 aufgezeigt werden. Dabei soll die Logistik bewusst nicht berücksichtigt werden. Ausgangspunkt ist die Formulierung eines ersten Datenmodells. Der Begriff *Datenmodell* wird gewählt, da die zu erstellende Datenbasis eine konsistente Zusammenstellung aus empirischen Daten und

---

<sup>14</sup> zu beziehen unter <http://www.mobilityplatform.ch>

Schätzwerten darstellt. Das Datenmodell Variante I baut dabei auf der „klassischen“ Güterverkehrsmodellierung auf und enthält einige Elemente des AMG-TM2. Die bisherigen Analysen sollen ermöglichen, über die bisherige Ausgestaltung des AMG-TM2 hinauszugehen und die im Kapitel 4.1 identifizierten Verbesserungsmöglichkeiten zu integrieren. Auch hier wird entlang der drei Teilmärkte des Güterverkehrssystems argumentiert.

Basis für das Datenmodell ist die Grundstruktur einer Güterverflechtungsmatrix:



**Abbildung 6-1: Güterverflechtungsmatrix**

Hier werden die Bereiche *Binnenverkehr*, *Export*, *Import*, *Transit* und die entsprechenden Binnenzonen (BiZo) und Auslandszonen (AusZo) unterschieden. Dabei muss nicht jedes Feld besetzt sein: denn es wird, in Abhängigkeit von der Zonenstruktur, mehr oder weniger viele Relationen geben, zwischen denen keine Güterverflechtungen vorhanden sind. Für jeden Bereich lassen sich eigene Randsummen bilden. Dadurch ergeben sich Teilmatrizen, für die folgende Bezeichnungen der Randsummen gewählt wurden (siehe Abbildung 6-1):

C: Quell-Binnenverkehr der Verkehrszellen in der Schweiz

A: Ziel-Binnenverkehr der Verkehrszellen in der Schweiz

AC: Eckwert Binnenverkehr

G: Exporte in das Ausland aus den Verkehrszellen in der Schweiz

B: Importe aus dem Ausland in die Verkehrszellen der Schweiz

E: Zielverkehr der Schweizer Exporte in die ausländischen Verkehrszellen

EG: Eckwert Exporte

D: Quellverkehr für die Schweizer Importe aus den ausländischen Verkehrszellen

BD: Eckwert Importe

H,F: Quell- und Zielverkehr der ausländischen Verkehrszellen im Transitverkehr

FH: Eckwert Transitverkehre.

Aufgabe des Datenmodells ist es, diese Matrix möglichst weitgehend mit Daten zu Verkehrsströmen zu füllen, die konsistent zu empirischen Erhebungen sind.

## 6.1 Segmentierung

Für das nationale Güterverkehrsmodell der Schweiz wird folgende Segmentierung vorgeschlagen. Weitere Einzelheiten zur Herleitung der Segmentierung kann dem Anhang 11.5 entnommen werden:

### **Güterbereiche:**

- Basis ist die Einteilung in 20 NST2007 Gutarten
- Weitere Aufteilung, die zu prüfen ist, z.B.
  - Gesonderte Betrachtung von Erdöltransporte
  - Gesonderte Betrachtung der Transporte von Schrott und Metallabfällen

### **Zonierung für die Verflechtungsmatrix:**

- Güteraufkommen nach annähernd 26 aus MS-Regionen aggregierten Verkehrszellen zur Schätzung des Aufkommensmodells
- Für die Verkehrsplanung
  - 106 Verkehrszellen in der Schweiz
  - Dabei Aufteilung von Verkehrszellen mit hohem Verkehrsaufkommen
  - singuläre Verkehrserzeuger werden als Knoten im Netz dargestellt
  - Rd. 165+ Verkehrszellen für die Nachbarländer und Europa, wobei im grenznahen Gebieten eine Zoneneinteilung gewählt werden sollte, die der Zonierung für den Binnenverkehr entspricht.
- Feinzonierung
  - Orientierung an den Vorgaben des neuen NPVM
  - Feinzonierung ist Grundlage für Lieferwagenverkehre

<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Die Feinzonierung ist Basis für die Umlegungen der Güterverkehre</li> <li>• Verkehrsarten <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Endogene Abbildung der Binnenverkehre der Schweiz durch ein eigenes Aufkommensmodell</li> <li>○ Nutzung externer Daten für die Abbildung grenzüberschreitender Verkehre; einfacher Prognoseansatz für Import, Export und Transit</li> </ul> </li> </ul>
<p><b>Verkehrsträger:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bahn <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Wagenladungsverkehr</li> <li>○ Unbegleiteter Kombiniertes Ladungsverkehr</li> <li>○ Rollende Landstrasse</li> </ul> </li> <li>• Strassengüterverkehr <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lastwagen</li> <li>▪ Last-/ Sattelzüge</li> <li>▪ Lieferwagen</li> </ul> </li> <li>• Binnenschiff</li> </ul>
<p><b>Fahrzeuge:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bahn <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Ganzzüge</li> <li>○ Einzelwagenlauf</li> </ul> </li> <li>• LW <ul style="list-style-type: none"> <li>○ LW bis zum zulässigen Gesamtgewicht (zGG) von 3,5 Tonnen – das umfasst den Lieferwagenverkehr</li> <li>○ Lastwagen mit einem zGG zwischen &gt; 3,5 Tonnen und 12 Tonnen</li> <li>○ Last- / Sattelzüge mit einem zGG zwischen &gt; 3,5 Tonnen und 12 Tonnen</li> <li>○ Lastwagen mit einem zGG ab 12 Tonnen</li> <li>○ Last- / Sattelzüge mit einem zGG ab 12 Tonnen</li> </ul> </li> </ul>

**Abbildung 6-2: Vorschlag für die Segmentierung des Güterverkehrsmodells**

## 6.2 Datenmodell für den Nachfragemarkt

In Kapitel 3.1 wurde dargestellt, dass der Nachfragemarkt durch ein Strukturdatenmodell beschreibbar ist: Die wirtschaftlichen Aktivitäten der Akteure – Produzenten, Konsumenten, Händler – bestimmen die Transportnachfrage. Üblicherweise werden als Strukturdaten – je nach Gutart – branchenspezifische und regionale Bruttowertschöpfungen, die Arbeitsplätze oder die regionale Bevölkerungszahl als Leitdaten für das Transportaufkommen gewählt. Im

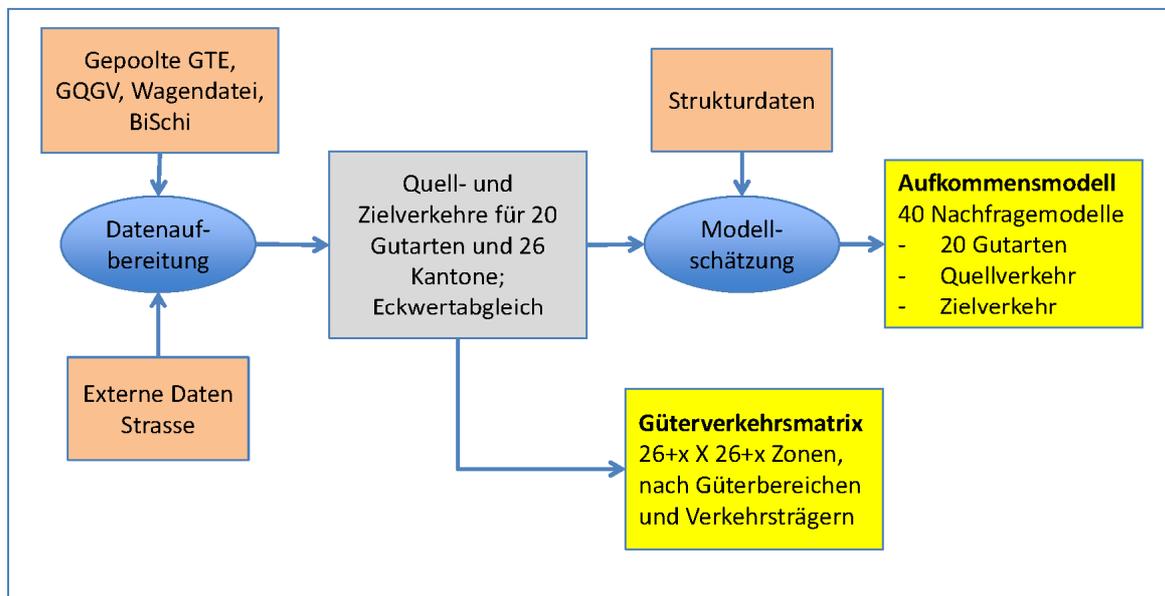
AMG-TM1 ist so vorgegangen worden, wobei hier Zeitreiheninformationen für 10 Güterbereichsaggregate gewählt wurden.

Diese Modelle des TM1 werden direkt in das AMG-TM2 übernommen, um die regionale Güterverkehrsnachfrage abzuschätzen, wobei im TM1, da es auf Eckwerten aufbaut, nicht zwischen Quell- und Zielverkehren unterschieden wird. Für ein weiterentwickeltes GV-Modell für die Schweiz wird nun vorgeschlagen:

- Ein eigenes regionalisiertes Nachfragemodell zu schätzen,
- dieses Modell nach 20 NST2007 Güterbereichen zu unterteilen,
- empirische Querschnittsdaten auf Basis der z. B. der 26 Kantone oder einer vergleichbaren Einteilung in der Schweiz zu nutzen und
- eine Unterscheidung nach Quell- und Zielverkehren vorzunehmen.

Durch diese Vorgehensweise wird der grundsätzliche inhaltliche Zusammenhang zwischen TM1 und TM2 der AMG nicht verändert. TM1 ist weiterhin der Makroansatz und liefert die globalen Eckwerte für die Verkehrsentwicklung. Durch ein zwischengeschaltetes Modul wird dann aus dem TM1-Dateninput die Segmentierung für das TM2 erzeugt und mit dieser dann weitergearbeitet. Dieses Vorgehen soll die Qualität der TM2-Ergebnisse verbessern, um den hohen Anforderungen für die Detailanalysen (Disaggregation auf 8000 Verkehrszellen) besser gerecht zu werden. Durch entsprechende Aggregations- und Disaggregationsmodule bleibt die Kompatibilität zwischen TM1 und TM2 erhalten. Es ist allerdings auch die Option gegeben, ohne TM1 Güterverkehrsprognosen direkt mit dem TM2 durchzuführen.

Das Datenmodell für den Nachfragemarkt lässt sich wie folgt darstellen:



**Abbildung 6-3: Datenmodell Nachfragemarkt**

- Zunächst sind die gepoolten GTE und GQGV-Daten aufzubereiten zu den in Abbildung 11 dargestellten *Randsummen Quellverkehr* (i) für 20 Gutarten(k)  $Q(i,k)$  und *Randsummen Zielverkehr*  $Z(i,k)$ . Das ergibt somit 2 x 20 Datenvektoren für jeden der 26 Kantone. Dabei werden für die GTE und GQGV die hochgerechneten Werte genutzt. Sollte der Umfang der Stichprobe nicht ausreichen, um die Datenvektoren vollständig zu füllen, könnte eine aggregierte Zonierung oder eine Datenschätzung Abhilfe schaffen.
- Hinzugefügt werden die Verkehrsströme der Binnenschifffahrt und die Güterströme der Bahn aus der Wagenverlaufsddatei.
- Die Datenvektoren werden auf einen Eckwert *Eck* für ein aktuelles Basisjahr genormt.
- Die GQGV liegt zurzeit für 2008 und 2014 vor. Die ausreichende Besetzung der Matrix und damit auch der Randsummen ist zu prüfen. Bei Bedarf können externe Daten für den grenzüberschreitenden Strassengüterverkehr aus der österreichischen und der deutschen Bundesverkehrswegeplanung, aus EUROSTAT-Daten oder Güterverkehrsdaten von Italien und Frankreich ergänzt werden, um die Datenbasis weiter mit Daten zu füllen. Es ist dabei aber zu berücksichtigen, dass Matrizen zum Strassengüterverkehr in der Regel modellierte Werte aus aggregierten statistischen Werten darstellen. Für Bahn und Binnenschiff sind auch die grenzüberschreitenden Güterströme vollständig vorhanden.

- In einem nächsten Schritt sind Strukturdaten – Bruttowertschöpfung nach Branchen, Bevölkerung und Arbeitnehmer – auf Kantonebene für ein aktuelles Jahr vorzubereiten.
- Es sind bei Bedarf geeignete Dummy-Variablen für singuläre Verkehrserzeuger zu definieren (siehe dazu die Anmerkungen in Kapitel 3.3.1.1).
- Mit Hilfe eines Schätzalgorithmus werden dann die 40 Aufkommensgleichungen geschätzt, getrennt nach Quell- und Zielverkehren. Hierbei ist eine geeignete Funktionsform zu wählen. Das kann mit Hilfe eines linearen oder multiplikativen Regressionsmodells oder mit einem anderen Verfahren durchgeführt werden.

Es wird also ein Modell der Form

$$Q(i, k, t) = f(\text{Strukturdaten}(i, l_Q, t), \hat{\beta}(k, l_Q))$$

$$Z(i, k, t) = f(\text{Strukturdaten}(i, l_Z, t), \hat{\beta}(k, l_Z))$$

festgelegt. Dabei muss immer geprüft werden, ob die für den Schätzzeitpunkt (gemeint ist das Analysejahr, für das ein vollständiger empirischer Strukturdatensatz vorliegt) gefundene Zusammenhänge auch für einen Prognosezeitpunkt gültig sind. Die unbekannt Parameter  $\hat{\beta}$  werden dabei aus den empirischen Daten für Q und Z sowie den Strukturdaten I, die für einen aktuellen Zeitpunkt t vorliegen, geschätzt und bilden die ökonometrische Struktur des Aufkommensmodells. Diese Parameter sind über die Zeit feste Werte. In der Regel werden für Quell- und Zielverkehre unterschiedliche Strukturdaten (siehe als Beispiel Abbildung 6-4) als exogene Erklärungsgrößen genutzt.

Ergebnis der Modellschätzung ist ein **Güteraufkommensmodell für die Schweiz** auf der Ebene von Kantonen. Das Modell ermöglicht die Aufkommensschätzung in Abhängigkeit von regionalen Strukturdaten. Eine Änderung in den regionalen Strukturdaten bewirkt eine Änderung des regionalen Aufkommens. Werden für die Strukturdaten Prognosewerte eingesetzt, lassen sich mit Hilfe des Modells die Quell- und Zielverkehre der Kantone prognostizieren.

Beispielhaft und zur Orientierung für eine Modellspezifikation sei auf die aktuelle deutsche Bundesverkehrswegeplanung verwiesen. Die Struktur des dort verwendeten Aufkommensmodells ist in Abbildung 6-4 dargestellt.

Hier sind die oben genannten Erweiterungen der Gutarten Kohle, Erze, Düngemittel und Koks enthalten. Für einzelne Güterbereiche sind die oben beschriebenen Dummy-Variablen eingeführt, um die Besonderheiten von Singulären Verkehrserzeugern zu erfassen. Diese haben den Wert 1 für alle Kantone, in denen ein spezieller Verkehrserzeuger vorhanden ist. Die verwendeten exogenen Strukturdaten machen deutlich, dass auch für diese eine angemessene Tiefe in der Brancheneinteilung vorhanden sein muss.

Gütergruppe		Quellaufkommen (verkehrserzeugend)	Zielaufkommen (verkehrsanziehend)
010	Land- und forstwirtschaftliche Erzeugnisse	BIP Landwirtschaft	BIP Nahrungs- und Genussmittel, BIP Landwirtschaft
021	Steinkohle	BIP Kohle, Steinkohleabbau	Dummy Steinkohlekraftwerk BIP Energie / Wasserversorgung
022	Braunkohle	Braunkohleabbau, BIP Kohle	Dummy Braunkohlekraftwerk, Bevölkerung
023	Erdöl und Erdgas	BIP Energie / Wasserversorgung, Dummy Raffinerie	Bevölkerung, Dummy Raffinerie
031	Erze	BIP Metalle	Binnenhafen, Dummy Stahlwerk
032	Düngemittel	BIP Landwirtschaft, BIP Erdöl / Erdgas	BIP Landwirtschaft
033	Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse	BIP Bau, BIP Steine / Erden	BIP Bau, BIP Steine / Erden
040	Nahrungs- und Genussmittel	BIP Nahrungs- und Genussmittel	Bevölkerung, BIP Nahrungs- und Genussmittel
050	Textilien, Bekleidung, Leder, Lederwaren	BIP Produzierendes Gewerbe	BIP Gesamt, BIP Textilien
060	Holz und Kork, Papier, Pappe, Druckerzeugnisse	BIP Holzwaren	BIP Holzwaren, Bevölkerung
071	Koks	BIP Kohle	BIP Kohle, BIP Kokerei / Mineralöl
072	Mineralerzeugnisse	BIP Kokerei / Mineralöl, Dummy Raffinerie	Bevölkerung
080	Chemische Erzeugnisse	BIP Chemie	Bevölkerung, BIP Chemie
090	Sonstige Mineralerzeugnisse	BIP Bau, BIP Glas / Keramik	BIP Bau
100	Metalle und Halbzeug	BIP Metalle	BIP Metalle
110	Maschinen und Geräte, optische Erzeugnisse, Uhren	BIP Produzierendes Gewerbe	BIP Produzierendes Gewerbe
120	Fahrzeuge	BIP Produzierendes Gewerbe Dummy Fahrzeugproduktion	BIP Produzierendes Gewerbe
130	Möbel, Schmuck, Musikindustrie, Sport, Spiel	BIP Produzierendes Gewerbe	BIP Produzierendes Gewerbe
140	Sekundärrohstoffe, Abfälle	Bevölkerung, BIP Recycling	Bevölkerung, BIP Recycling
150	Post, Pakete	BIP Verkehr	BIP Verkehr
160	Geräte und Material für Güterbeförderung	Abhängig vom KV-Aufkommen	Abhängig vom KV-Aufkommen
170	Umzugsgut, sonstige nichtmarktbestimmte Güter	BIP Gesamt	BIP Gesamt
180	Sammelgut	BIP Gesamt	BIP Gesamt
190	Gutart unbekannt	BIP Gesamt	BIP Gesamt
200	Sonstige Güter a. n. g.	kein Modell; da kein Aufkommen	kein Modell; da kein Aufkommen

Abbildung 6-4: Struktur des Aufkommensmodells aus der BVWP2030

Ein weiteres Ergebnis dieses Arbeitsschrittes ist die **Bereitstellung der empirischen Ist-Matrix auf Ebene der 26 Kantone**, unterteilt nach den oben genannten Segmenten

- 20 Gutarten<sup>15</sup>
- Unterscheidung der Verkehrsträger Bahn, Strasse, Binnenschifffahrt sowie
- Bereitstellung der genannten Fahrzeugsegmente.

Diese Matrix ist die Basis-Güterverkehrsmatrix, auf der die weiteren Berechnungen aufbauen.

### 6.3 Datenmodell für eine Bezirks-Basismatrix für den Transportmarkt

Das Datenmodell für den Transportmarkt hat für die Aufbereitung einer Güterstrommatrix folgende Struktur.

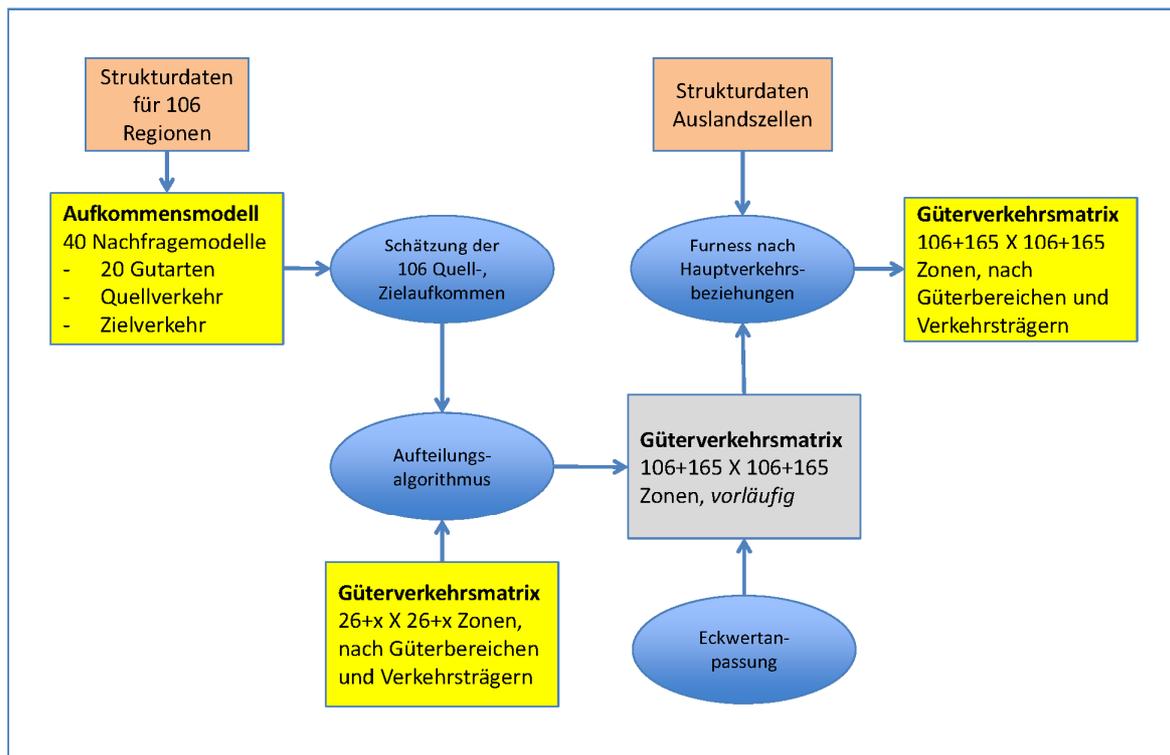


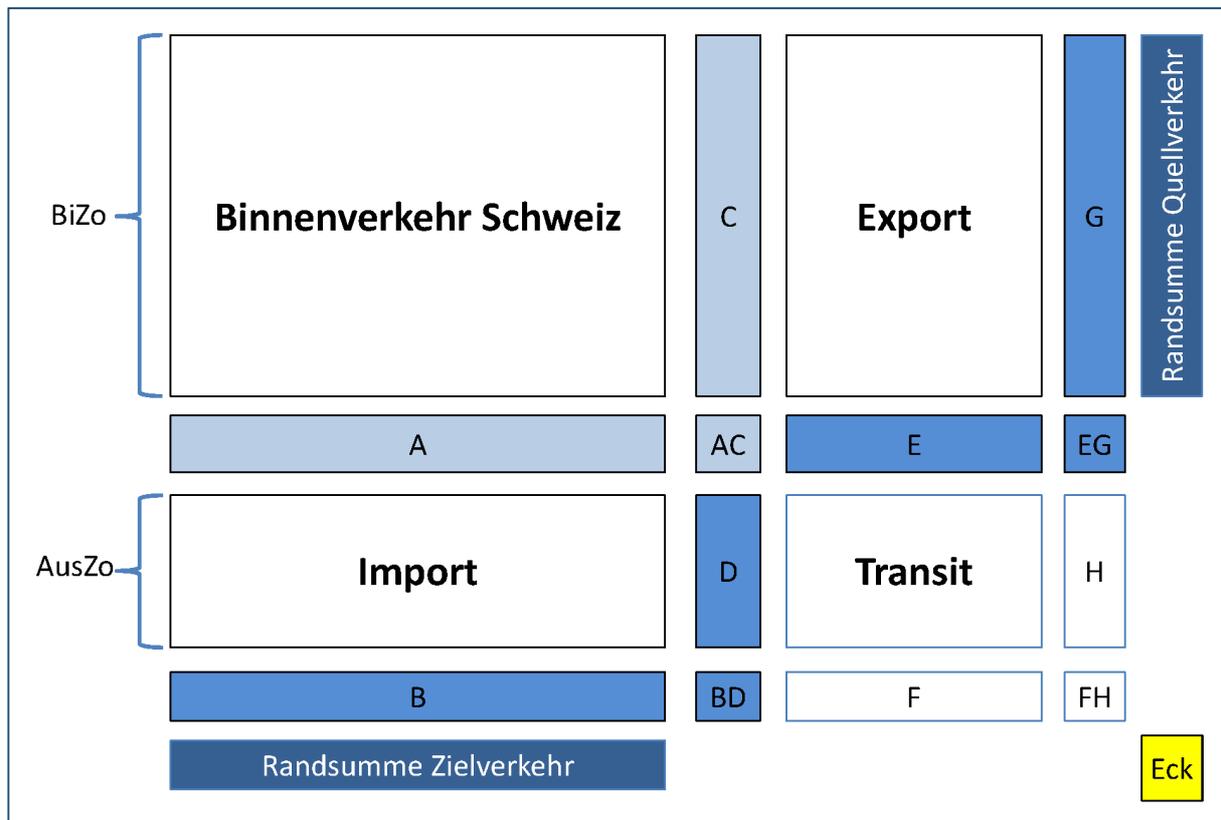
Abbildung 6-5: Datenmodell für die Aufbereitung einer Arbeitsmatrix

<sup>15</sup> Werden einzelne Gutarten gesondert betrachtet (Schrott, Rohöl), sind diese aus den Daten vorab herauszufiltern.

Als „Arbeitsmatrix“ wird hierbei die mittlere Disaggregationsebene, also für rd. 106 MS-Regionen in der Schweiz und 165 Auslandzonen bezeichnet. Ziel ist es, aus der aggregierten empirischen Basismatrix auf Ebene der 26 Kantone unter Nutzung zusätzlicher Informationen eine feinräumigere Matrix auf Ebene der 106 MS Regionen zu generieren. Diese muss die Eckwerte und die Struktur der empirischen Basismatrix widerspiegeln. Die Arbeitsmatrix wird in folgenden Schritten aufgebaut:

- Zunächst einmal werden die Strukturdaten für die 106 MS-Regionen in der Schweiz in der gleichen Gliederung benötigt wie auf der Ebene der Kantone.
- Mit Hilfe des Aufkommensmodells werden für die 106 Regionen die Quell- und Zielauftreten bestimmt. Diese bilden die Gewichte für die Aufteilung der aggregierten Basismatrix auf die **MS-Matrix**. Damit gehen die bezirksspezifischen Strukturdaten in die Matrix ein. Bei diesem Arbeitsschritt ist darauf zu achten, dass die Struktur der feinräumig vorliegenden Wagenverlaufsdatei für den Schienengüterverkehr erhalten bleibt. Für die Analyse bedeutet das, dass die zonalen Aufkommen der Wagenverlaufsdatei direkt übernommen werden. In der Prognose wird diese Struktur entsprechend fortgeschrieben. Gegebenenfalls sind Vor- und Nachläufe im Strassenverkehr für die Güterbahnhöfe in der Matrix zu ergänzen.

An dieser Stelle sei kurz an die zugrundeliegende Matrixstruktur erinnert- siehe folgende Abbildung.



**Abbildung 6-6: Verflechtungsmatrix der Güterströme**

Im Moment interessieren die eingefärbten Randsummen der Matrix. Es wird deutlich, dass das Aufkommensmodell die *Randsummen Quellverkehr* und *Randsummen Zielverkehr* für die Bezirksmatrix bereitstellt. Diese Randsummen sollen als Gewichte für die Aufteilung auf feinere Binnenzonen (26 Kantone → 106 MS-Regionen) und feinere Auslandszonen (NUTS2, NUTS3 – 165 Auslandszonen des NPVM) dienen. Wird diese Aufteilung durchgeführt, ist die Konsistenz der aufgeteilten Matrix mit der empirischen Matrix nicht mehr ohne weiteres gegeben. Denn der Binnenverkehr und Exporte und Importe werden mit den gleichen Gewichten aufgeteilt.

Somit sind folgende weitere Arbeitsschritte zu leisten:

- Zunächst werden die Strukturdaten in der Segmentierung des Aufkommensmodells für die 106 MS-Regionen der Schweiz bereitgestellt und mit Hilfe des Aufkommensmodells die Quell- und Zielaufkommen für alle Bezirke bestimmt.

- Diese segmentspezifischen Aufkommen dienen als Gewichte, um die Quell- und Zielaufkommen der Kantone auf Quell- und Zielaufkommen der zu den Kantonen gehörenden Bezirke aufzuteilen.
- Es ist eine Aufteilung der Randsummen in Quell-Binnenverkehr (C) und Exporte (G) sowie Ziel-Binnenverkehr (A) und Importe (B) erforderlich. Dazu kann die empirische Basismatrix genommen werden. Sind hieraus feinere Informationen, also feiner als für die 26 Kantone und NUTS2 Auslandszonen verfügbar, können diese eingearbeitet werden.
- Es kann dann die Binnenverkehrsmatrix anhand der auf Bezirksebene geschätzten Randsummen aufgeteilt werden.
- Für die Aufteilung auf Feinzonen im Ausland werden zusätzliche Strukturdaten benötigt, die als Gewichte für die Aufteilung dienen. Hierzu sind entsprechende Strukturdaten – z.B. Bruttowertschöpfung nach Branchen – aus der EUROSTAT Datenbank aufzubereiten<sup>16</sup>.
- Mit den feinen Randsummen für Exporte und Importe sowie den Auslands-Strukturdaten werden dann die Teilmatrizen für Exporte und Importe auf die feinere Zonierung gebracht. Dies gilt insbesondere für die Strassengüterverkehre, da diese ja aus einer Stichprobe stammen, während die Schienengüterverkehre auch im Ausland bahnhofsscharf verortet werden können.
- Ergebnis ist eine vorläufige Güterverkehrsmatrix nach Verkehrsträgern auf Bezirksebene und 165 Auslandszonen.
- Um hier eine Konsistenz mit den empirischen Werten einzuhalten, wird eine Eckwertanpassung durchgeführt und auf die jeweiligen Randsummen verteilt. Mit Hilfe eines Matrix-Ausgleichsverfahrens (Furness) für die einzelnen Teilmatrizen wird wieder eine konsistente Matrix erzeugt. Für Bahn und Binnenschiff liegen die Feinmatrizen fest, so dass diese direkt genutzt werden können. Die gesamtmodale Matrix besteht somit aus der Summe der Bahn- und Binnenschiffsmatrix und der hochgerechneten Ströme für den Strassengüterverkehr.
- In gleicher Weise und unter Nutzung der Auslands-Strukturdaten wird mit der Transitmatrix verfahren.
- Zum Abschluss müssen alle Matrixteile zu einer konsistenten Gesamtmatrix zusammengefügt werden, so dass auch die oben dargestellten Teilmatrizen kompatibel zueinander sind. Dazu wird für jede Teilmatrix ein Matrix-Ausgleichsverfahren (Furness) genutzt, welches die Teil-Randsummen und die Innenverteilung der Teilmatrizen aufeinander anpasst.

---

<sup>16</sup> Z.B. kann die Bruttowertschöpfung, aufgeteilt nach Wirtschaftsaggregaten (Landwirtschaft, verarbeitende Industrie, Handel, Dienstleistung) in der NUTS3 Regionseinteilung genutzt werden. Für die deutschen Auslandszellen können die Strukturdaten der BVWP2030 herangezogen werden.

Mit Hilfe dieser Vorgehensweise wird eine aus empirischen Daten und Zusatzinformationen erzeugte feinere Güterverkehrsmatrix als Arbeitsmatrix für einen Basiszeitpunkt erarbeitet. Diese wird für die weiteren Arbeiten als Grundlage gewählt. Nach der Aufteilung der Matrix sind die Entfernungsverteilungen für die Matrix des Strassengüterverkehrs zu prüfen. Bei Bedarf sind Anpassungen im Verfahren vorzunehmen. Es ist somit ein iteratives Vorgehen zu wählen, bei dem bei Bedarf alle Arbeitsschritte nochmals durchlaufen werden müssen.

## 6.4 Prognosen der Güterverkehrsaufkommen

### 6.4.1 Wertdichten

Das Aufkommensmodell ermöglicht mit Hilfe von Prognosewerten für die Strukturdaten die Prognose von Güterverkehrsaufkommen. In Kapitel 3.3.1.2 wurde dargestellt, dass hierbei Änderungen in den **Wertdichten** der Güter berücksichtigt werden müssen. Die Wertdichten sind Zeitreihen von Korrekturfaktoren für die einzelnen Güterbereiche, die angeben, wie sich im Laufe der Zeit die Umsetzung der exogenen Grössen in Transportaufkommen verändert. Um diese Faktoren zu bestimmen, sind zwei Verfahren denkbar:

- Beim ersten Verfahrensvorschlag wird direkt das Aufkommensmodell genutzt. Es werden mit Hilfe des Modells und mit Strukturdaten (bei Geldgrössen in realen, also deflationierten Werten) für einen Vergangenheitszeitraum die Aufkommenswerte geschätzt. Die Schätzwerte werden dann den empirischen Werten der Verkehrsaufkommen aus der GTE/GQGV für den gleichen Vergangenheitszeitraum gegenübergestellt. Aus der Differenz zwischen Modellergebnissen und empirischen Ergebnissen werden dann Zeitreihen für Korrekturfaktoren je Gutart bestimmt. Dieses Vorgehen kann auch aggregiert über die Kantone, also für die Gesamtschweiz, durchgeführt werden.

Das Verfahren hat gewisse Risiken. Zunächst wird davon ausgegangen, dass die Aufkommensmodelle das Verkehrsaufkommen in der Vergangenheit zuverlässig schätzen. Zum anderen wurde oben gezeigt, dass für einzelne Jahre die GTE/GQGV nicht alle für die Segmentierung erforderlichen Felder ausreichend besetzt. Es könnte somit der Fall eintreten, dass einzelne Felder in der Stichprobe unterrepräsentiert sind und damit „Ausreisser“ und valide Werte in der Zeitreihe verglichen werden. Diese Risiken muss man sich bei der Anwendung der Methode, die an sich im Rahmen der Modellanwendung konsistent ist, bewusst machen.

- Bei dem zweiten Verfahrensvorschlag wird auf die Aussenhandelsstatistik zurückgegriffen. Diese liegt für einen längeren Vergangenheitszeitraum vor, ist tief in der Wareneinteilung gegliedert und die Warenströme liegen in den Angaben Mengen und

Wert in CHF vor. Damit lässt sich unmittelbar eine Zeitreihe für die Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung der Wertdichten ableiten.

Aber auch hierbei gibt es Risiken. Zum einen werden die Werte nicht als reale Grössen ausgewiesen. Wenn es hohe Schwankungen in den Wechselkursen oder Inflationsraten der handeltreibenden Länder gibt, so kann das zu entsprechenden Schwankungen im Warenwert führen, der aber nicht auf Wertdichteänderungen zurückzuführen ist. Eine andere Ungenauigkeit liegt in der Art, wie der Warenwert für die beteiligten Länder ermittelt wird: Sind fob-Werte (free on board) oder cif-Werte (cost, insurance, freight) angesetzt und wird dieser Kostenansatz über die gesamte betrachtete Zeitreihe konstant gehalten? Hier müssen genaue Analysen der Metadaten für die Aussenhandelsstatistik erfolgen, um Klarheit für die Aussagen der Werte zu bekommen.

Es wird vorgeschlagen, trotz der genannten Unsicherheiten den zweiten Verfahrensvorschlag zur Ermittlung der Wertdichteänderungen im Zeitverlauf zu wählen. Hierbei wird direkt auf der offiziellen Statistik aufgebaut, was die Nachvollziehbarkeit und Akzeptanz der Ergebnisse verbessert. Mit einer genauen Analyse der Metainformationen zur Aussenhandelsstatistik lassen sich die Risiken kontrollieren. Für einen Prognosezeitraum wird der Trend, der sich aus der Vergangenheitsanalyse für die Wertdichteänderung je Gutart ergibt, für den Prognosezeitraum fortgesetzt.

#### **6.4.2 Fortschreibung oder direkte Prognose**

Zu diesem Punkt wurden im Kapitel 3.3.1.4 schon die Grundsätze dargelegt. Der Fortschreibungsmethode wird eindeutig der Vorzug gegeben. Damit wird auf den empirischen Strukturen der Basis-Güterverkehrsmatrix aufgebaut und diese werden – unter Beachtung der sich aus einer im Prognosezeitraum veränderten Güterverkehrsnachfrage – als Information für die Prognosematrix ausgenutzt.

Weiterhin wird der Modellfehler, der notwendigerweise mit den Ergebnissen des Aufkommensmodells produziert wird, ausgeschaltet: denn der Fehler ist in den Aufkommensschätzungen der Analyse und der Prognose gleichermassen vorhanden. Wird aber nur die Veränderung der Werte in der Prognose betrachtet und setzen diese auf der Ursprungsmatrix auf, so bleiben die Ergebnisse in der Regel in einem plausiblen Rahmen und lassen sich weiterhin mit der offiziellen Güterverkehrsstatistik vergleichen.

## 6.5 Modelle für den Transportmarkt

### 6.5.1 Verteilungsmodell

Die Verteilung für die Basis-Regionenmatrix ist unter Nutzung der vorliegenden empirischen Daten konstruiert worden. Für die Simulation von Massnahmenwirkungen und Prognosen wird ein prognosefähiges Verteilungsverfahren benötigt. Hierfür wird in der Regel ein **Gravitationsansatz** gewählt. Das Verfahren ist wie folgt aufgebaut:

$$T(i, j, t) = \frac{\alpha_i \beta_j Q(i, t) Z(j, t) e^{\theta C(i, j, t)}}{\sum_i Z(i, t)}$$

mit

$T(i, j, t)$  = Güterstrom zwischen Zone i und j, für einen Zeitpunkt t

$e^{\theta C(i, j, t)}$  = Gewichtungsterm für den Transportwiderstand zwischen den Zonen i und j

$C(i, j, t)$  = generalisierte Kosten für den Transport zwischen i und j zum Zeitpunkt t

$Q(i, t)$  = Quellaufkommen der Zone i zum Zeitpunkt t

$Z(j, t)$  = Zielaufkommen der Zone j zum Zeitpunkt t

$\alpha_i$  und  $\beta_j$  sind Konsistenzparameter, durch die der Gesamteckwert der Quell- und Zielaufkommen eingehalten wird.

Bei den generalisierten Kosten  $C(i, j, t)$  gehen mehrere Eigenschaften (z.B. Kosten und Zeiten) der auf der Relation (i,j) konkurrierenden Verkehrsträger ein. Die Eigenschaften werden mit Gewichten versehen, die sich z.B. aus einem vorhandenen Verkehrsmittelwahlmodell ableiten lassen. Der Parameter  $\theta$  ist dabei ein unbekannter Parameter oder eine Funktion, die wiederum die  $C(i, j, t)$  gewichtet. In der Regel werden hohe Werte von  $C(i, j, t)$  geringer gewichtet als kleinere Werte.  $C(i, j, t)$  ist zudem von t abhängig, d.h. z.B. durch Infrastrukturmassnahmen, die zu einem bestimmten Zeitpunkt eingeführt werden, verändern sich die generalisierten Kosten und damit die Verteilung.

Liegen keine Netzmodelle vor oder lassen sich die generalisierten Kosten nicht mit der erforderlichen Genauigkeit bestimmen, so kann als Hilfsgrösse die Entfernung zwischen den Zonen i und j gewählt werden. Diese können mit einer sogenannten EVA-Funktion<sup>17</sup> gewichtet werden. Diese Gewichtungsfunktion wird dann für den Ausdruck  $e^{\theta C(i, j, t)}$  eingesetzt.

Mit d als Kennzeichnung der generalisierten Kosten zwischen zwei Verkehrszellen ist die EVA Funktion f(d) als

<sup>17</sup> D. Lohse: Ermittlung von Verkehrsströmen mit n-linearen Gleichungssystemen unter Beachtung von Nebenbedingungen einschliesslich Parameterschätzungen, Dresden 1977, S. 115 ff

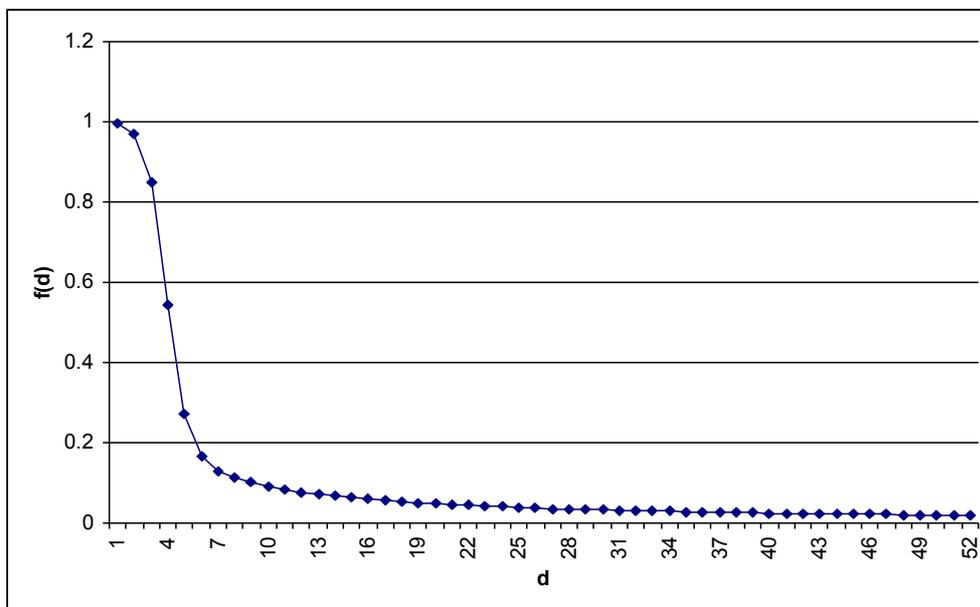
$$f(d) = \frac{1}{(1+d)^{z(d)}} \text{ definiert,}$$

wobei  $z(d)$  eine Funktion der Form

$$z(d) = \frac{E}{1 + e^{F-G \cdot d}}$$

ist. Es bestimmen also mehrere Parameter die Funktionsform. Auch hier ist ein iteratives Verfahren angebracht, bei dem durch Testen verschiedener Parameterkombinationen eine möglichst gute Approximation der empirischen Verteilung erreicht wird<sup>18</sup>.

Ein typischer Verlauf für eine Gewichtungsfunktion der Entfernung ist in der folgenden Abbildung dargestellt.



**Abbildung 6-7: EVA-Funktion (E=1, F=5, G=1,5)**

Veränderungen in den generalisierten Kosten bzw. den gewichteten Entfernungen wirken sich auf die Zielwahl aus. Dabei stellen die generalisierten Kosten ein gewichtetes Mittel aus den Transporteigenschaften für alle Verkehrsträger dar.

Bei der Verteilungsrechnung ist zwischen Binnenverkehr der Schweiz und den grenzüberschreitenden Verkehren zu unterscheiden. Sowohl für den Export von Gütern als auch für den Import ist zumindest die eine Seite des Verkehrsstroms nicht voll durch Strukturdaten

<sup>18</sup> eine genaue Übereinstimmung zwischen empirischer Verteilung und simulierter Verteilung der generalisierten Kosten ist nicht zu erreichen, da die empirischen Werte auf Stichproben beruhen und damit immer mehr oder weniger stark von einer vorgegebenen Funktionsform abweichen.

abgedeckt. Denn die Strukturdaten der Auslands-Verkehrszellen, die einen Exportstrom aus der Schweiz als Import empfangen, geben ja nur zum Teil die Ursache für diesen Export wieder. Die Verkehrszelle im Ausland wird in der Regel auch noch aus anderen Ländern Importe empfangen, für die das entsprechende Strukturdatum ebenfalls eine Leitvariable darstellt. Noch deutlicher wird das bei Transitverkehren. Diese lassen sich nicht ursprünglich aus den regionalen Wirtschaftsaktivitäten im Untersuchungsraum ableiten, belasten aber die Infrastruktur für den Güterfernverkehr. Insofern muss die Aufteilung für die internationalen Verkehre mit externen Informationen – z.B. BIP-Wachstumsraten der Auslandszonen - erfolgen.

Auch für die Verteilung wird das **Fortschreibungsverfahren** empfohlen, das auf der Struktur der Basismatrix aufsetzt. Eine direkte Prognose ergibt erfahrungsgemäss deutliche Verzerrungen der Ergebnisse.

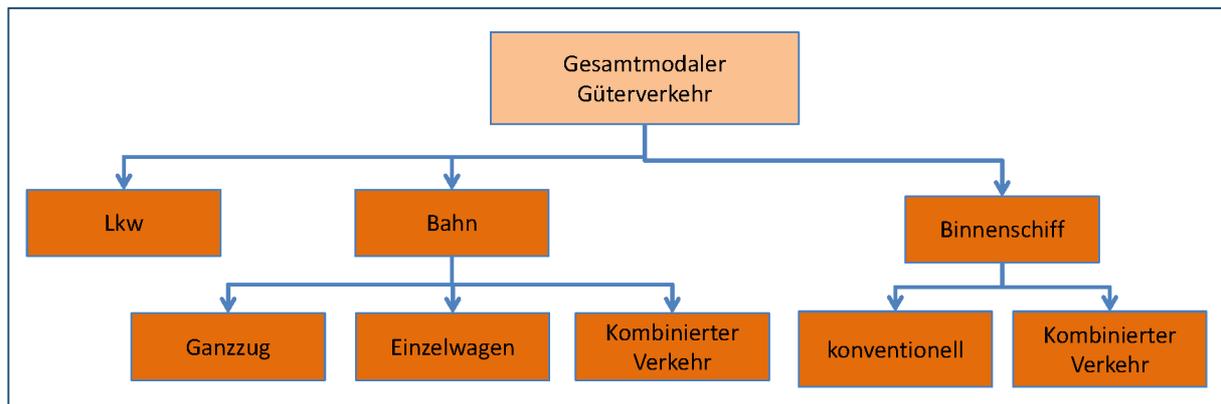
Für alle so neu errechneten Teilmatrizen wird wiederum ein Furness zum Ausgleich der Randsummen gerechnet.

Es wird hier allerdings oft argumentiert, dass die aus Netzmodellen berechneten Transportwiderstände, die als wichtige Komponenten Transportkosten und Transportzeiten enthalten, nicht ausreichen, um eine Verteilungsrechnung durchzuführen. Das ist so nicht zutreffend. Zunächst einmal sind Kosten und Zeiten eine wesentliche Entscheidungsgrundlage. Die zugrundeliegenden Kosten- und Zeitmodelle sind inzwischen sehr differenziert ausgestaltet, so dass diverse Einzelkomponenten berücksichtigt werden - fixe und variable Kosten, Fahrzeiten, Kosten aus Ruhezeiten, Umschlagszeiten und -kosten usw. Es wird teilweise versucht, weitere Entscheidungskomponenten für die Zielwahl – wie z.B. die Zuverlässigkeit – zu berücksichtigen. Diese Versuche sind noch in den Anfängen. Weiterhin trägt die empfohlene Fortschreibungstechnik dazu bei, dass empirische Strukturen auch in der Verteilungsrechnung erhalten bleiben. Insofern ist der herkömmliche Ansatz, die Verteilung der Güterverkehre z.B. mit Hilfe des Gravitationsansatzes zu berechnen, weiterhin zu empfehlen.

### 6.5.2 Modal-Split

Für die Berechnung des Modal-Splits wird die Verwendung eines Nested-Logit-Modells vorgeschlagen. Es wird empfohlen, den Modal-Split auch mit Hilfe der Fortschreibungsmethode zu berechnen, um Modellfehler zu minimieren.

Ein Nested-Logit Modell ist immer dann angebracht, wenn zusammengesetzte Verkehrsmittelalternativen betrachtet werden. Im Falle des Schweizer Güterverkehrsmodells stellt sich das wie folgt dar.



**Abbildung 6-8: Hierarchisches Modell**

Die Verkehrsmitelegenschaften für die Verkehrsträger lassen sich aus den zur Verfügung stehenden Netzmodellen ableiten. Das Logit-Modell hat die Form

$$P_i = \frac{\exp(U_i)}{\sum_j \exp(U_j)}$$

und gibt die Wahrscheinlichkeit  $P_i$  (probability) für die Auswahl des Verkehrsmittels  $i$  in Abhängigkeit von dem Eigenschaftenvektor des Verkehrsmittels  $i$  und des Eigenschaftenvektors aller alternativen Verkehrsmittel  $1 \dots j$  an.

Bei dem *Nested Logit Modell* müssen die anteiligen Auswahlwahrscheinlichkeiten der Verkehrsmittel, die zu einer Gruppe (Nest) gehören, bestimmt werden. Am Beispiel des Verkehrsträgers Bahn lässt sich das wie folgt formulieren.

$$P(\text{Ganzzug in der Gruppe Bahn}) = P(\text{Bahn}) * P(\text{Ganzzug, wenn Bahn gewählt ist}).$$

Diese bedingte Wahrscheinlichkeit muss bei der Modellschätzung berücksichtigt werden.

Es ist anzumerken, dass das hier vorgeschlagene Modell kein Logit Modell im klassischen Sinne sein kann. Denn dieses setzt voraus, dass als Basis für die Modellschätzung eine Erhebung realer Transportvorgänge bei Verladern durchgeführt wurde. Eine solche Erhebung liegt für das Güterverkehrsmodell der Schweiz so nicht vor. Insofern ist hier ein approximativer Ansatz zu wählen, der direkt auf den empirischen Anteilen der Verkehrsmittelalternativen aufsetzt.

Ein vereinfachtes, aber wirkungsvolles Modell ist im Folgenden dargestellt. Hierbei werden die generalisierten Kosten in Bezug auf ein Verkehrsmittel für Prognose und Basis ins Verhältnis gesetzt. Auch dieses Modell wird fortgeschrieben angewandt, d.h. die Änderung der Verkehrsmittelanteile wird aus der Änderung der Nutzen, die den negativen generalisierten Kosten entsprechen, errechnet.

$$\bar{p}_{P m ij} = p_{B m ij} \cdot \frac{e^{-C_{P m ij}}}{e^{-C_{B m ij}}}$$

mit

- $p_{B m ij}$  Anteil des Verkehrsmittels m im Basisfall zwischen Zonen i und j
- $C_{B m ij}$  generalisierte Kosten des Verkehrsmittels m im Basisfall zwischen Zonen i und j
- $C_{P m ij}$  generalisierte Kosten des Verkehrsmittels m im Prognosefall zwischen Zonen i und j
- $\bar{p}_{P m ij}$  Anteil des Verkehrsmittels m im Prognosefall zwischen Zonen i und j, als Zwischenergebnis

Dies ist zunächst ein Zwischenergebnis, da die Verkehrsmittelanteile sich zu 1 summieren müssen. Das endgültige Ergebnis ergibt sich durch Normierung.

$$p_{P m i,j} = \bar{p}_{P m i,j} / \sum_{\eta} \bar{p}_{P \eta i,j}$$

Die Güterverkehrsströme je Verkehrsmittel errechnen sich dann aus

$$T_{P m ij} = p_{P m ij} \cdot T_{P m ij}$$

und liegen pro Güterbereich vor. Mit diesem Vorgehen wird erreicht, dass Änderungen der Eigenschaften der Verkehrsmittel – z.B. durch Infrastrukturausbau - berücksichtigt werden und dass alle Verkehrsträger im Zusammenhang betrachtet werden. Eine Erhebung von Transportvorgängen und Befragung von Verladern ist dann nicht erforderlich. Es wird empfohlen, diesen Ansatz für das Güterverkehrsmodell der Schweiz zu nutzen.

## 6.6 Fahrzeugmodell für den LW-Verkehr

Die bisherigen Betrachtungen haben sich auf die Güterströme der Verkehrsträger bezogen, gemessen in transportierte Tonnen pro Jahr. Für die weiteren Betrachtungen, insbesondere für die Umlegungsrechnung, müsse diese Ströme in Fahrzeugströme pro Tag umgeformt werden. Dafür werden Fahrzeugmodelle eingesetzt. Im AMG-TM2 ist ein Fahrzeugmodell für den LW-Verkehr enthalten.

Die Modellbildung soll anhand einer Relation demonstriert werden. Zwischen den Zonen i und j wird die Menge  $T_{ij}$  in Richtung i -> j und  $T_{ji}$  in Rückrichtung transportiert. Ein wesentli-

cher Parameter ist die mittlere Auslastung  $a$  der beladenen Fahrzeuge. Damit ergibt sich die Zahl der beladenen Fahrzeuge zu  $F_{ij} = T_{ij} / a$  und entsprechendes für die Rückrichtung.

Nun differenziert man die Fahrzeuge noch entsprechend ihrem Heimatstandort  $i$  und  $j$ .

$$F_{ij} = F_{ij}^i + F_{ij}^j$$

wobei der obere Index den Heimatstandort beschreibt.

Mit der Annahme, dass die Fahrzeuge in  $i$  beladen und starten, ist die Bedingung für den Umlauf der Fahrzeuge von  $i$ :

$$F_{ij}^i = F_{ji}^i + L_{ji}^i$$

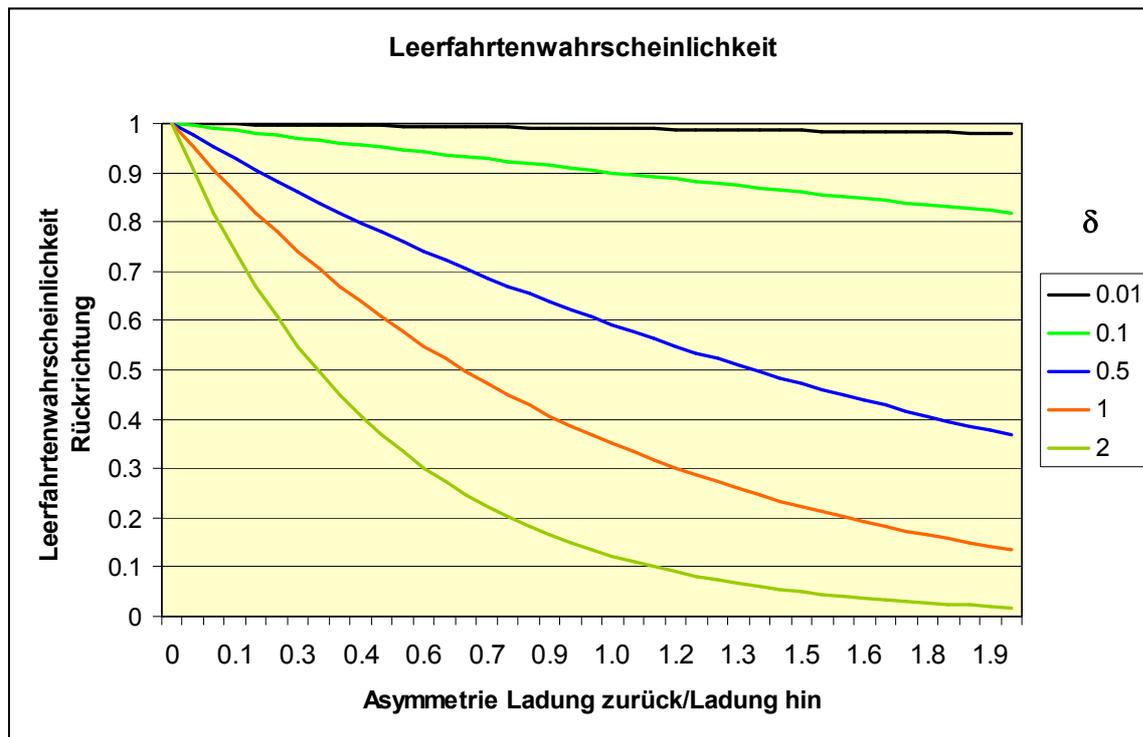
mit  $L_{ji}^i$  Fahrzeuge aus  $i$ , die leer von  $j$  nach  $i$  zurückfahren.

Für die Leerfahrten in Rückrichtung wird der Ansatz der Proportionalität zur Zahl der Fahrzeuge in Richtung  $i$  gewählt:

$$L_{ji}^i = p_i \cdot F_{ij}^i$$

wobei  $p_i$  die Leerfahrtenwahrscheinlichkeit ist, für die eine funktionale Abhängigkeit zur Asymmetrie der Tonnenströme angesetzt wird mit

$p_i = e^{-\delta \cdot (T_{ji} / T_{ij})}$  mit  $\delta$  als Parameter für die Leerfahrtenwahrscheinlichkeit. Dieser Parameter lässt sich aus GTE-Erhebung schätzen. In der folgenden Abbildung sind typische Verläufe der Leerfahrtenwahrscheinlichkeit bei unterschiedlichen  $\delta$  Werten und in Abhängigkeit von der Asymmetrie der Ladung dargestellt.



**Abbildung 6-9: Abhängigkeit der Leerfahrtenwahrscheinlichkeit von der Asymmetrie der Ladung auf einer Relation**

Es wird vorgeschlagen, das im aktuellen TM2 der AMG implementierte und oben in den Grundzügen dargestellte Fahrzeugmodell für die Berechnung der LW-Verkehre zu nutzen.

Bei der Umrechnung der Transportströme von Jahres- in Tageswerte werden die durchschnittlichen Werktagsverkehre (DWV) zugrunde gelegt. Dazu muss die Zahl der Werktage festgelegt werden, die einschliesslich der Samstage bei rd. 300 Tagen liegen dürfte. Die Güterströme werden somit pauschal durch den Faktor 300 geteilt. Wird bei der Umlegungsrechnung festgestellt, dass die Netzstrecken systematisch unterlastet sind, so ist der Faktor entsprechend anzupassen. Das kann auch getrennt nach LW-Segmenten erfolgen.

Als LW-Auslastungen lassen sich zunächst folgende Werte aus dem AMG-TM2 nutzen, die noch nach 10 Entfernungsklassen unterschieden sind.

In der Tabelle sind auch zu den Entfernungsklassen Vorschläge für die Delta-Werte zur Steuerung der Leerfahrtenwahrscheinlichkeit aufgeführt. Die Auslastungsgrade werden dabei nicht für jeden der 20 betrachteten Güterbereiche angegeben, sondern für 4 „Logistikklassen“:

1 = Speditionsgüter, 2 = Massengut, 3 = Mineralöltransporte und 4 = Chemietransporte.

Die Parameter und die Auslastungswerte sind anhand der neuesten GTE zu aktualisieren. Hierbei ist auch denkbar, dass eine Unterscheidung zwischen Lastwagen und Sattelzügen vorgenommen wird.

Frachtart	Entfernungskl.	Auslastung t/Fahrzeug					
1	1	6,00					
1	2	7,00					
1	3	9,00					
1	4	12,14					
1	5	14,21					
1	6	14,27					
1	7	16,31					
1	8	16,39					
1	9	18,56					
1	10	18,56					
2	1	12,59					
2	2	13,89					
2	3	16,81					
2	4	18,69					
2	5	19,49					
2	6	19,40					
2	7	18,80					
2	8	18,73					
2	9	18,93					
2	10	18,53					
3	1	10,01					
3	2	11,92					
3	3	14,95					
3	4	17,74					
3	5	19,55					
3	6	19,97					
3	7	18,44					
3	8	19,79					
3	9	19,46					
3	10	15,70					
4	1	11,56					
4	2	12,15					
4	3	12,79					
4	4	12,36					
4	5	11,88					
4	6	13,27					
4	7	16,14					
4	8	17,67					
4	9	17,96					
4	10	18,02					
			Klasse	von km	bis > km	Delta	
			Distanz-	1	0	10	0,8
			klasse	2	10	20	1
				3	20	50	1,2
				4	50	75	1,4
				5	75	100	1,6
				6	100	250	1,8
				7	250	500	2
				8	500	700	2
				9	700	900	2,4
				10	900	20000	2,4

**Tabelle 6-1: Auslastungsgrade und Entfernungsverteilungen LW**

## 6.7 Fahrzeugmodell Schienengüterverkehr

In gleicher Weise wie für den Strassengüterverkehr liegen auch die Schienengüterverkehre zunächst als Tonnenströme pro Jahr vor. Für den Basiszeitpunkt kann die Wagenverlaufsdatei genutzt werden. Eine Umformung in Zugbewegungen für Güterzüge wird in der Regel mit Hilfe eines Simulationsprogramms „Zugbildung“ durchgeführt. Dabei werden die betrieblichen Abläufe im Schienengüterverkehr – Rangieren, Bündeln von Wagen aus Anschlussgleisen, Zusammenstellen von Zügen in Rangierbahnhöfen, Bestimmung von Leitwegen, Umstellen von Wagen in neue Züge – abgebildet.

Ergebnis der Diskussionen ist, dass ein eigenes Zugbildungstool nicht Bestandteil des nationalen Güterverkehrsmodells sein soll. Bei der SBB wird das Simulationssystem NEMO genutzt, aus dem Ergebnisse zu betrieblichen Abläufen des Güterzugbetriebs abgeleitet werden können. Zurzeit lassen sich mit dem Programmteil, das SBB zur Verfügung steht, Zugbelastungen darstellen. Kapazitätsbetrachtungen im Schienennetz sind zur Zeit nicht möglich, da die Belastungen mit Personenzügen nicht im Netzmodell codiert sind. Als Schnittstelle müssen Angaben zur Transportmenge in der Dimension Tonnen pro Jahr zwischen Bahnhöfen, getrennt nach Einzelwagenlauf und Ganzzug, in NEMO eingegeben werden. Dabei sind Quellen und Ziele der Relationen anhand der UIC-Bahnhofsnummerierung zu codieren. Ergeben sich aus den Nachfragedaten – z.B. bei Einführung neuer Terminals – neue Relationen, die bisher nicht bedient werden, muss ein Leitweg für die Relation angegeben werden. Dies kann mit Unterstützung von SBB-Infrastruktur erfolgen. Zugstartzeiten werden in dem vorliegenden NEMO-Programm nicht mitgeführt.

Prinzipiell kann diese Schnittstelle in einem erweiterten AMG-TM2 bereitgestellt werden. Im TM2 wird heute schon die Wagenverlaufsdatei verwendet. Diese wäre auch die Inputdatei für NEMO. Durch die Fortschreibungstechnik lassen sich die Nachfragewerte entsprechend in die Grundstruktur der vorhandenen Wagenverlaufsdatei einbringen. Neue Zugläufe müssen dann gesondert eingegeben werden.

Es ist nicht unwichtig, die Zeitlagen von Güterzügen zu kennen, wenn über Verlagerungen von der Strasse auf die Schiene gesprochen wird. Dies wurde auch im Expertenworkshop deutlich. Der LW-Verkehr ist zeitlich sehr flexibel und kann sich an die Anforderungen von Verladern anpassen. Das gilt bei Güterzügen nicht ohne weiteres. Die Angebote im Güterzugverkehr müssen sich in bestehende nationale Fahrpläne des Personen- und Güterverkehrs einpassen. Hinzu kommen die internationalen Zugverkehre, die ebenfalls die knappen Schienenkapazitäten nutzen. Insofern ist nur bei Kenntnis – oder Simulation – des Zugbetriebs zu entscheiden, ob eine Verlagerung von Gütertransporten von der Strasse auf die Schiene auch den Anforderungen der Verloader entspricht.

Im Rahmen des nationalen Güterverkehrsmodells lassen sich somit durchaus Zugbelastungen darstellen. Eine entsprechende Schnittstelle zu dem Programm NEMO muss dazu in einem erweiterten AMG-TM2 bereitgestellt werden. Zeitlagen der Züge werden nicht dargestellt. Insofern muss bei der Simulation von Verlagerungen vom Strassengüterverkehr auf die Bahn davon ausgegangen werden, dass die entsprechenden Angebote seitens SBB auch zur Verfügung gestellt werden. Für die Ermittlung der Angebotseigenschaften können als Approximation der Fahrplandaten z.B. durchschnittliche Wartezeiten in Terminals angegeben werden. Wichtig ist aber die Feststellung, dass es für ein nationales Güterverkehrsmodell die Möglichkeit gibt, Zugbelastungen im Netz darzustellen und Fahrpläne über entsprechende Zeitaufschläge zu approximieren. Für diese Aufgabenstellung ist **eine Zugbildung somit nicht unbedingt erforderlich**.

## 6.8 Lieferwagenverkehre

Im Rahmen der Arbeiten zum TM 2 wird eine Matrix des Lieferwagenverkehrs auf Feinzonebene des NPVM als Basismatrix erzeugt. Die Erstellung der Basismatrix der Lieferwagenverkehre erfolgte ausserhalb der AMG und sollte bei einem Neuaufbau des Güterverkehrsmodells integriert werden, denn zunehmend spielt der Lieferwagenverkehr mit Fahrzeugen  $\leq 3,5$  Tonnen zulässigem Gesamtgewicht eine wichtige Rolle. Der methodische Ansatz ist im Folgenden grundsätzlich beschrieben.

Für die Abbildung, Parametrisierung und Ermittlung von Kenngrössen des Lieferwagenverkehrs in der Schweiz kann auf die aktuelle Erhebung zum Lieferwagenverkehr „Erhebung leichter Nutzfahrzeuge“ in der Schweiz (LWE 2013) zurückgegriffen werden. Neben dem Lieferwagenverkehr sollte auch der Personenwirtschaftsverkehr mit der Fahrzeugklasse PW/Kombi im Modell betrachtet werden. Die Lieferwagenverkehre werden auf Basis von Strukturdaten und Kenngrössen generiert. Ein wichtiger Parameter sind die fahraktiven Beschäftigten in einzelnen Branchen, die aus der Lieferwagenerhebung zusammen mit feinträumigen Strukturdaten abgeleitet werden können. Es lassen sich aus den Strukturdaten – Beschäftigte und Vollzeitäquivalente auf Basis STATENT, Bevölkerung auf Basis STATPOP – die regional Beschäftigten in folgender Brancheneinteilung ableiten:

- Produktionssektor ohne Bau,
- Bau,
- Handel,
- Verkehr und Lagerei,
- Sonstiges.

Die oben genannten Wirtschaftsklassen bilden eine Segmentstufe für die Schätzung des Wirtschaftsverkehrs und werden jeweils den unten genannten Fahrtzwecken zugeordnet, um entsprechende Verhaltensparameter aus der Stichprobenerhebung zum Lieferwagenverkehr ableiten zu können.

Charakteristisch für den städtischen Wirtschaftsverkehr sind Touren, die aus einzelnen Fahrten zusammengesetzt sind. Diese Zusammenhänge sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

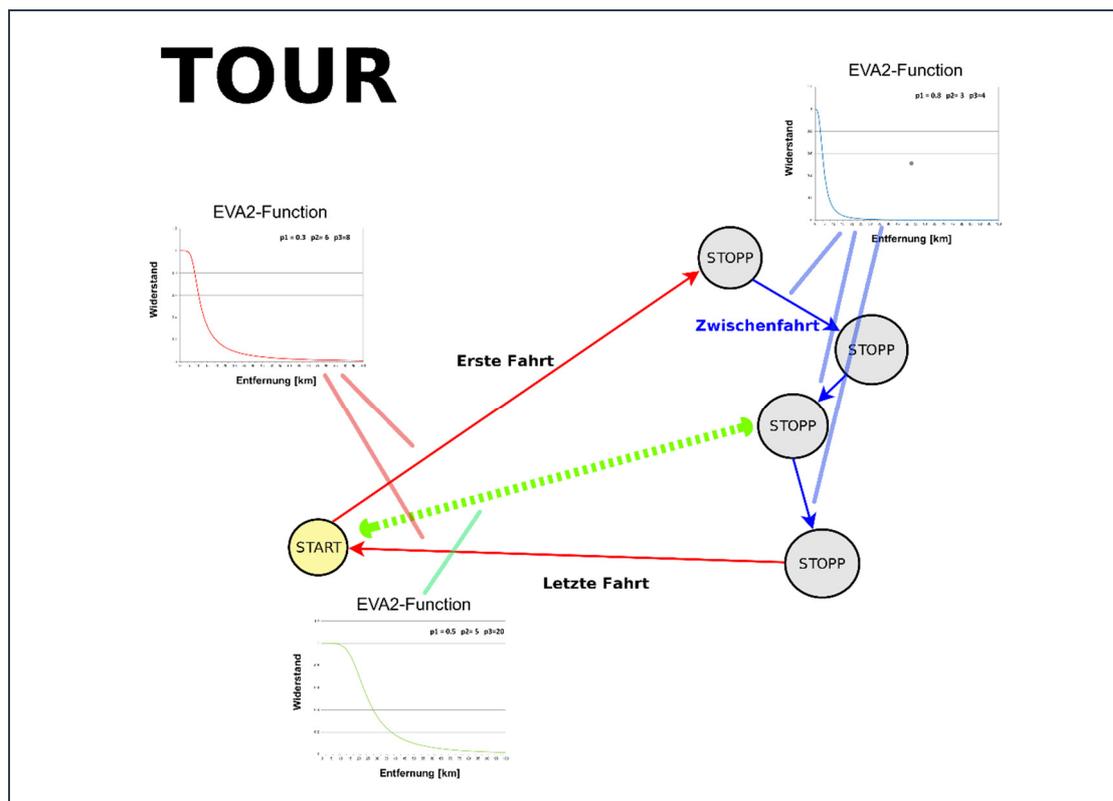


Abbildung 6-10: Lieferwagenmodell © SSP

Der Begriff Tour orientiert sich am Bild von typischen Sammel- bzw. Verteilfahrten im Lieferwagenverkehr. Von einem bestimmten Ort, im Idealfall dem eigenen Betrieb, startet das Fahrzeug die Tour, die durch die Rückkehr zum Startort beendet wird. Die Abschnitte zwischen den einzelnen Stopps einer Tour sind gemäss der vorherigen Definition „Fahrten“.

Im Modell wird zwischen der ersten und letzten Fahrt einer Tour und den Fahrten zwischen zwei Stopps unterschieden. Für beide Fahrttypen werden unterschiedliche Entfernungsverteilungen angenommen. Damit kann z.B. für KEP-Fahrzeuge (KEP= Kurier, Express, Paket) abgebildet werden, dass die Fahrzeuge eine längere Strecke von ihren Logistikzentren bis zu ihren Auslieferungsräumen zurücklegen, wo sie dann nur noch sehr kurze Fahrten durchführen.

Aus der Stichprobenerhebung LWE 2013 können als wichtige Steuerparameter

- Anzahl der Tourenstarts pro Tag je Segment,
- Mittlere Anzahl Stopps je Tour

abgeleitet werden. Mit Hilfe dieser Parameter sowie der spezifischen aus der Erhebung ableitbaren Fahrtzwecke lässt sich die Lieferwagenmatrix auf Feinzonenebene (Zonenebene des aktuellen NPVM mit 2949 und des zukünftigen NPVM mit ca. 8000 Binnenzonen) schätzen. Diese Matrix bildet dann ein eigenes Segment, das auch getrennt umgelegt wird.

### 6.9 Disaggregation der LW-Matrix auf Feinzone des NPVM

In der AMG wird die LW-Matrix für Lastwagen und Last-/ Sattelzüge auf Feinzellen des NPVM (zukünftiges NPVM mit ca. 8000 Binnenzonen) aufgeteilt. Dazu wird ein einfacher Ansatz gewählt, bei dem feinräumige Strukturdaten als Gewichtungsfaktoren für die Feinaufteilung genutzt werden. Dieser Ansatz hat den Nachteil, dass alle Entfernungen einer Grob-Relation gleich behandelt werden. Es wird deshalb vorgeschlagen, hierfür einen anderen Ansatz zu wählen.

Für eine erste Basismatrix wird eine direkte Aufteilung der LW Grobmatrix durchgeführt. Dazu wird mit einer hinterlegten Entfernungsmatrix, die mit einem Feinnetz erzeugt wird, eine Gewichtungszeile und –spalte mit der Funktion

$$gzs_{IJ} = p5 \cdot \frac{e^{p1 \cdot (l_{IJ} / p4 + p2)}}{e^{p1 \cdot (l_{IJ} / p4 + p2) + p3}} \text{ mit}$$

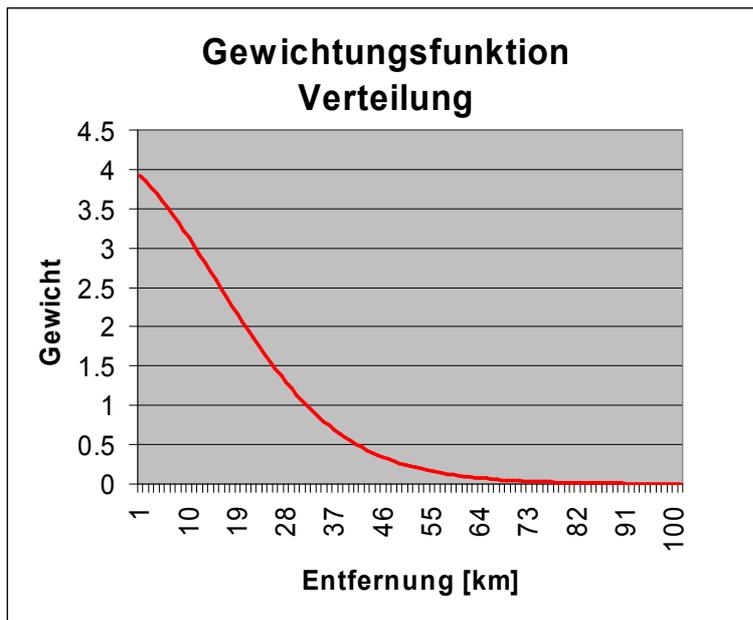
$l_{IJ}$  Entfernung zwischen I und J

$p_{1...5}$  sind die Parameter der Entfernungsverteilung (EVA-Funktion)

$gzs_{s, IJ}$  ist der Gewichtungswert zwischen I und J für das LW-Segment

errechnet.

Mit Hilfe unterschiedlicher Parametersätze lassen sich andere Entfernungsverteilungen für die verschiedenen LW-Segmente festlegen. Ein Parametersatz ergibt dann die folgende für die LW unter 7,5 t zGG abgebildete Funktion, mit einer mittleren Entfernung von ~15 km. Für Last- und Sattelzüge kann eine Funktion mit einer mittleren Entfernung von ~80 km eingestellt werden. Damit werden die kleinen LW, die vorwiegend für Verteilverkehre eingesetzt werden, in einem engeren Kilometerradius auf die Feinzone verteilt.



**Abbildung 6-11: Eine Gewichtungsfunktion für die Feinverteilung**

Der nächste Schritt ist dann die Disaggregation der Grob-LW-Matrix mit Hilfe der Gewichtungsmatrix  $gzs$ . D.h. ein LW-Strom auf Grobzonenbasis wird proportional zu den Werten in der Gewichtungsmatrix aufgeteilt.

$$FLKW_{IJ}^s = GLKW_{ij}^s \cdot gzs_{IJ}^s / \sum_{K \in i, L \in j} gzs_{KL}^s \text{ mit}$$

$i, j$  indizieren Grobzonen

$I, J$  indizieren feinen Verkehrszellen, dabei liegt I in Grobzone i und J in Grobzone j

$GLKW_{ij}^s$  LW-Fahrten des LW Segments s zwischen Grobzone i und j

$FLKW_{IJ}^s$  LW-Fahrten des LW Segments zwischen Verkehrszelle I und J.

Diese Matrizen sind das vorläufige Endergebnis der Feinaufteilung der LW-Matrix. Durch Umlegung der Matrix auf das Feinnetz und Bewertung der Abweichungen zwischen simulierter Belastung und Streckenzählungen können dann in mehreren Iterationsschleifen die Parameter des Gesamtmodells – also vom Aufkommen bis zur Feinverteilung - kalibriert werden.

Im Prognosefall lässt sich dann eine Fortschreibung der Basismatrix durchführen, wobei Strukturdateninformationen genutzt werden. Die einzelnen Gewichte einer Zone werden im Basis und Prognosefall summiert.

$$G_{F_s}^T = G_{F_s}^G + G_{F_s}^M + G_{F_s}^S$$

mit

$F$  indiziert ob Basis oder Prognose

$G_{F_s}^T$  die Gesamtgewichtung (T für Total) einer Verkehrszelle.

Die Gesamtgewichte setzen sich dabei zusammen aus einem Gewicht  $G_{F_s}^S$ , einem Gewicht  $G_{F_s}^M$  für grosse Einkaufszentren und Märkte sowie einem Gewicht  $G_{F_s}^G$  für Gewerbezentren.

Mit den Quotienten

$$Q_s = G_{P_s}^T / G_{B_s}^T$$

werden die Zeilen und Spalten der vorhandenen LW-Basismatrix auf Feinzellenebene multipliziert. Die Gewichtungsmatrix für die Feinzellenaufteilung ergibt sich damit als

$$gzs_{sIJ} = L_{sIJ}^B \cdot Q_{sI} \cdot Q_{sJ} \text{ mit}$$

$I, J$  indizieren die Quellverkehrszelle I bzw. Zielverkehrszelle J

$L_{sIJ}^B$  LW des Segments s pro Tag im Basisjahre zwischen I und J

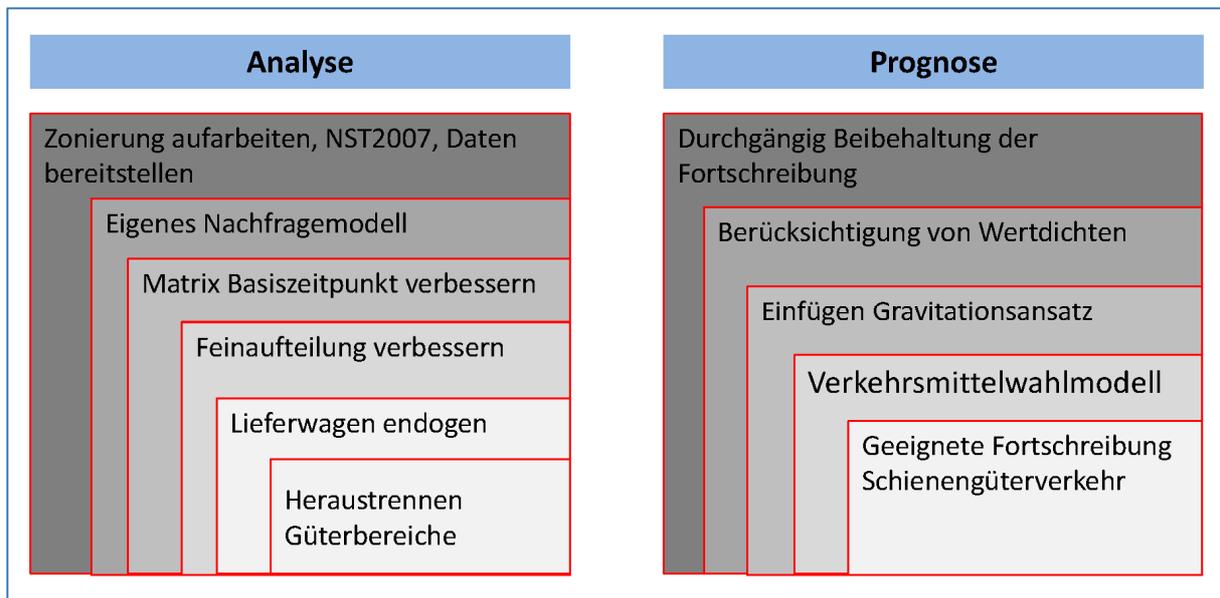
$gzs_{sIJ}$  ist der Gewichtungswert zwischen I und J für das LW-Segment s.

Mit Hilfe dieser Vorgehensweise erhält man für einen Basiszeitpunkt und einen Prognosezeitpunkt eine LW-Feinmatrix, unterteilt nach LW-Segmenten, die direkt für Umlegungsrechnungen geeignet ist. Wie oben erwähnt, wird die Kalibrierung an Zählraten in einem iterativen Prozess durchgeführt. In einem zweiten Schritt sind dann weitere händische Anpassungen der Matrix an die verfügbaren Zählraten notwendig.

## 6.10 Handlungsempfehlungen Variante I: Ausweitung der Funktionalität der AMG

Die AMG ist modular aufgebaut und arbeitet auf MS-Excel-Basis. Somit ist es möglich, einzelne Module aus der AMG herauszulösen und durch neue Module, Methoden und Datenverfeinerungen zu ersetzen. Insofern ist kein vollständiger Ersatz der AMG erforderlich, sondern es kann gezielt ergänzt und verfeinert werden.

Für die dargestellten Verbesserungen der AMG wird – getrennt nach Analyse und Prognose – folgende Hierarchie vorgeschlagen.



**Abbildung 6-12: Hierarchie der Arbeitsschritte in Variante I**

### Analyse

- Zunächst sollte die Zonierung geprüft werden, die NST2007 Einteilung der Güterbereiche eingeführt werden und die entsprechende Datenbasis in der vorgeschlagenen Segmentierung aufgebaut werden.
- In einem nächsten Schritt ist ein Nachfragemodell zur Abbildung des Nachfragemarktes zu integrieren, das auf die neue Güterbereichseinteilung abgestimmt ist und Quell- und Zielverkehre unterscheidet. Das TM1 wird dabei weiter als Makromodell zur Erzeugung von Eckwerten der Güterverkehrsnachfrage genutzt und über Aggregations- / Disaggregationsmodule mit dem TM2 verknüpft. Damit ist weiterhin der Vorteil für eine Zeitreihenbetrachtung und der Bereitstellung von Makrogrößen gegeben.
- Ein wichtiger Punkt ist die Verbesserung der Basismatrix. Es liegen inzwischen neue Erhebungen zur GTE vor (2014, 2015, 2016), die noch nicht in der AMG verarbeitet sind, die aber zu einer weiteren Verbesserung der Ergebnisse beitragen können. Die Auswertung der Besetzung der Matrix zeigt aber, dass trotzdem nachzuarbeiten ist. Dies könnte mit Hilfe des Aufkommensmodells sowie weiteren externen Daten erfolgen.
- Die Feinaufteilung der LW-Matrix kann verbessert werden. Dies ist ein wichtiger Input für die Umlegungsrechnungen in Netzmodellen – und schliesslich für die Überprüfung

der Qualität der Modellergebnisse anhand von Querschnittszählungen im Netz. Es wird empfohlen, die Umlegungsergebnisse zu nutzen, um in einem iterativen Prozess die Modellparameter auf allen Stufen anzupassen, um das Gesamtergebnis zu verbessern.

- Die Lieferwagenverkehre werden zur Zeit exogen erzeugt und den Daten zugespült. Unbefriedigend ist insbesondere, dass aus Konsistenzgründen die feinträumige Matrix auf die AMG-Zonierung aggregiert wird, um sie dann wieder mit Hilfe des AMG-Verfahrens zu disaggregieren. Es wird somit vorgeschlagen, ein tourenbasiertes Lieferwagenmodell (LW bis 3,5 Tonnen) in die AMG zu integrieren (siehe Kapitel 6.8). Wie bisher auch, stellt der Lieferwagenverkehr ein eigenständiges Segment dar, ist aber über gemeinsamen Strukturdaten mit dem übrigen Güterverkehrsmodell verbunden.
- Schliesslich könnte als weitere Verbesserung ein Heraustrennen einzelner Güterbereiche mit spezieller Logistik überlegt werden. Das hätte den Vorteil, dass bekannte und aufgrund einer bestimmten Logistik festgelegte Transportwege – z.B. von Rohöl oder Stahl-Vorprodukten – direkt im Modell festgelegt werden können. Hierfür bietet das NGVM Detailinformationen zu Unternehmensstandorten und den zugehörigen Warenflüssen. Weiterhin bieten die Ergebnisse des Forschungsprojekts vom UVEK/ASTRA zur „Strategie zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz“ Detailinformationen für die Festlegung von Transportketten einzelner Güterbereiche.

### **Prognose**

- Zunächst sollte bei allen Prognosen die Fortschreibungsmethodik genutzt werden. Das minimiert die Modellfehler und nutzt die Datenstruktur der Basismatrix. Im AMG-TM2 wird diese Methode durchgehend angewendet und sollte auch bei der Neueinführung von Modulen genutzt werden.
- Die Berücksichtigung von Wertdichten bei den Prognosearbeiten ist wichtig. Diese bilden einen nicht zu unterschätzenden Hebel, der das Prognoseergebnis gravierend beeinflussen kann. Insofern sollte die Festlegung der Wertdichten mit grosser Sorgfalt erfolgen.
- Die Verteilungsrechnung ist im aktuellen TM2 verbesserungswürdig. Es wird zur Zeit die Verteilung der Güterverkehrsströme an regionale Strukturdatenveränderungen angepasst. In diesem Punkt sollte mit Hilfe eines empirischen Verteilungsmodells eine Verbesserung bei Prognosen und Massnahmensimulationen erreicht werden.
- Auch die Verkehrsmittelwahl ist rudimentär mit Hilfe eines Elastizitätsansatzes implementiert. Es wird hier vorgeschlagen, einen einfachen Modalsplit-Ansatz, der ohne eine umfangreiche Befragung bei Verladern auskommt, zu nutzen.

- Schliesslich kann durch eine Verbindung zwischen fortgeschriebener Wagenverlaufsdatei und dem bei SBB-Infrastruktur vorliegenden Simulationsmodell NEMO eine Zugbildung zumindest angenähert werden. Insbesondere vor dem Hintergrund der schweizerischen Verlagerungspolitik wäre hier die Schaffung eines geeigneten Ansatzes – so wie in Kapitel 6.7 vorgeschlagen - denkbar. Eine komplette Zugbildungssimulation soll nicht in das nationale Güterverkehrsmodell integriert werden, sondern auf bestehende Lösungen zurückgegriffen werden. Dazu wäre der vorgeschlagene Ansatz geeignet.

## 7 Möglichkeiten der Berücksichtigung der Logistik im Güterverkehrsmodell (Variante II)

### 7.1 Logistische Prozesse in vorhandenen Modellen

#### 7.1.1 Charakterisierung logistischer Prozesse

Fragestellungen zur Logistik ergeben sich an der **Schnittstelle zwischen Nachfrage- und Transportmarkt**. Hierbei ist zwischen Standortentscheidungen, Distributionslogistik und Transportlogistik zu unterscheiden. Dabei ergeben sich Entscheidungshierarchien, und es ist die Frage, ob und wie diese bei der Güterverkehrsmodellierung zu berücksichtigen sind.

Bei der **Standortlogistik** geht es um die Frage nach geeigneten Standorten für logistische Knoten (Gewerbe- und Logistikzentren) und die Betrachtung von mehreren Logistikknoten zu logistischen Netzwerken.

In der **Distributionslogistik** werden die primären Transportwege der Güter in Abhängigkeit von Qualitätskriterien – Kosten, Transportzeiten, Zuverlässigkeit und Sicherheit – bestimmt. Es ist z.B. zu entscheiden, ob die Güter zwischen den logistischen Knoten in industrialisierten komplexen Netzwerken über Zwischen-, Sammel- und Verteillager transportiert werden oder ob ein Punkt-zu-Punkt Direktverkehr die Qualitätskriterien besser erfüllt.

Der Distributionslogistik nachgeordnet ist die **Transportlogistik**: Hier ist für jeden Distributionszweig zu entscheiden, welche Transportmittel oder Verknüpfungen von Transportmitteln sinnvoll einzusetzen sind: Sollen die Transporte unimodal verlaufen oder in intermodalen Transportketten abgewickelt werden und wie sehen bei gegebener Distributionslogistik die Form der Touren für Sammel- und Verteilfahrten aus.

Während für die Modellierung der Transportlogistik mit den Erhebungen der jeweiligen Verkehrsträger (GTE und GQGV für die Strasse, Wagenverlaufsdatei für die Schiene und den Hafentatistiken der Rheinhäfen Basel für das Binnenschiff) eine Teilinformation für die Transportlogistik vorliegt, ist das für die Distributionslogistik nicht gegeben. Denn aus den Angaben in der GTE lassen sich zwar Nah- und Fernverkehre unterscheiden, nicht aber Distributionsnetze. Im Eisenbahngüterverkehr ist bekannt, dass jeder Güterstrom über mindestens zwei Güterbahnhöfe läuft. Aber eine Distributionskette ist daraus nicht abzuleiten, da nicht ersichtlich ist, ob die Bahn als Teil einer Transportkette eingebunden ist.

### 7.1.2 Beispiele für Modelle zur Berücksichtigung der Logistik

Es gibt verschiedene Modellansätze für Güterverkehre, in denen logistische Elemente enthalten sind.<sup>19</sup> Eine Auswahl von Modellen soll hier kurz vorgestellt werden.

#### **BVWP2030**

Im Rahmen der BVWP2030 wurde ein Modellinstrumentarium entwickelt, welches die feinkörnige (auf Kreisebene in Deutschland und teilweise NUTS3 Zonen in Europa) und segmentierte (alle Landverkehrsträger, NST2007 Gutarten) Analyse und Prognose der auf Deutschland bezogenen Güterverkehre gestattet. Die Prognoseergebnisse werden – zum Teil auf Feinzonen disaggregiert – auf Netzmodelle umgelegt, mit dem Ziel, geplante Infrastrukturmassnahmen in den Netzmodellen zu bewerten.

Ein wichtiger Entwicklungsschritt zur Abbildung der Logistik wurde durch die Einführung intermodaler Ketten geleistet. Die Güterverkehrsmatrix bildet nicht nur die Hauptläufe der Transporte auf den jeweiligen Verkehrsträgern ab, sondern stellt auch bei den intermodalen Verkehren die Vor- und Nachläufe mit dem LW zu und von den Bahn-Verladestellen oder den Binnenhäfen bereit. Die Transportketten in den Basismatrizen werden dabei aus der vorhandenen Güterverkehrsstatistik abgeleitet. Grundlage dafür ist die Auswertung der Statistik nach dem „German Approach“ (siehe Kapitel 8.2.2). Die intermodalen Verkehre werden dann in einem intermodalen Verkehrsnetz umgelegt, in dem die Terminalpunkte die Verbindungspunkte zwischen den individuellen Verkehrsträgernetzen darstellen.

Weiterhin ist die Behandlung der Seehafen-Hinterlandverkehre verfeinert worden. Die Seehäfen bilden eigene Verkehrszellen und die Verkehrsströme zu und von den anderen Verkehrszellen werden gesondert betrachtet. Die Seehafen-Hinterlandverkehre werden in einem gesonderten Prognosemodul behandelt.

#### **ADA-Modellansatz<sup>20</sup>**

Der ADA (aggregate – disaggregate – aggregate) Modellansatz wurde z.B. für das nationale Güterverkehrsmodell in Schweden und Norwegen eingesetzt. Logistische Entscheidungen werden bei diesem Modellansatz zum Teil berücksichtigt. Die Einschränkung „zum Teil“ ist berechtigt, da aufgrund der unvollständigen Datenlage doch viele Schätzungen und Annahmen in den Ansatz eingehen.

<sup>19</sup> Siehe z.B. den Übersichtsartikel

[https://www.infraday.tu-berlin.de/fileadmin/fq280/veranstaltungen/infraday/conference\\_2009/papers\\_presentations/paper---friedrich\\_liedtke.pdf](https://www.infraday.tu-berlin.de/fileadmin/fq280/veranstaltungen/infraday/conference_2009/papers_presentations/paper---friedrich_liedtke.pdf), im Internet zuletzt geladen am 27.4.17

oder das in Kürze erscheinende FGSV-Wissenspapier des Arbeitskreises 1.8.4: Konzeption und Einsatz von Verkehrsnachfragemodellen zur Berechnung des Wirtschaftsverkehr

<sup>20</sup> Moshe Ben-Akiva u.a. (Hrsg.): Recent Developments in Transport Modelling; Lessons for the Freight Sector, 2008, S. 117 ff

Das Modell startet auf einer aggregierten Ebene, auf der aus ökonomischen Variablen (Produktion, Konsum, Handel) Produktions- (P) und Konsumentenzonen (C) festgelegt werden. Die Güterströme zwischen diesen Einheiten repräsentieren die direkten ökonomischen Beziehungen zwischen Marktakteuren. Hier spielen also logistische Fragen, Umschlagsknoten etc. noch keine Rolle. Statistische Grundlage dafür bilden die Produktions- und Konsumstatistik, d.h. Input-Output-Tabellen. Die so gebildeten Ströme werden in Tonnen je Gutart (es wird eine eigene Gutarteinteilung verwendet) angegeben.

Diese PC-Ströme werden in einem Logistik-Modell auf der Ebene einzelner Firmen und Individuen verarbeitet. Dazu wird eine Disaggregation der PC-Ströme auf eine feinere Ebene durchgeführt. Diesen Feinzonen werden Produzenten, Handel und Konsumenten entsprechend zugeordnet. Weiterhin werden rd. 12 Güterbereiche unterschieden. Diese Disaggregation erfolgt im Modell für Schweden auf Basis einer Erhebung bei Unternehmen, in der alle Gütertransporte zwischen Firmen protokolliert wurden. Diese empirischen Strukturen werden für die Disaggregation genutzt. In der Regel muss diese Aufteilung aber synthetisch erfolgen.

Auf dieser Feinebene werden Logistikentscheidungen (Sendungsgrösse, Entscheidung für Konsolidierungspunkte (Terminals, Logistikzentren), Verkehrsmittelwahl und Behälterwahl) simuliert. Die Feinaufteilung beruht auf einer sehr umfangreichen und detaillierten Stichprobe von Unternehmens- und Verbrauchsstandorten. Die logistischen Entscheidungen werden für jede abgebildete Produzenten- und Konsumenteneinheit durch einen Modellansatz generiert, der die jeweiligen Logistik- und Transportkosten minimiert. Da bei der Vielzahl der entstehenden Transportbeziehungen auf der Feinebene Rechenzeitprobleme für eine Simulationsrechnung entstehen, wenn alle Entscheidungen individuell simuliert werden sollen, werden über einen Zufallsprozess einzelne Transportbeziehungen ausgewählt und das Simulationsergebnis mit Hochrechnungsfaktoren auf einen Gesamtwert gebracht.

In einem dritten Schritt werden die Transporte für jeden Güterbereich zwischen den Unternehmen unter Berücksichtigung der logistischen Entscheidungen direkt in eine Fahrzeugmatrix aggregiert, die dann für Umlegungen auf Netzmodelle genutzt werden kann. Durch die Berücksichtigung der logistischen Abläufe auf der disaggregierten (Unternehmens-) Ebene sollen Transportketten und das Routing über Umschlagsknoten besser abgebildet werden. Die Modellergebnisse sind konsistent zur Statistik, da als Input die Statistik ökonomischer Grössen genutzt wird und die Fahrzeugmatrizen an der Güterverkehrsstatistik und Zählwerten in den Verkehrsnetzen kalibriert werden können.

Für die Modellierung der disaggregierten Ebene werden umfangreiche Datenbestände für die individuellen Transporte benötigt: Branche des Senders und Empfängers, Quelle und Ziel, Wert des Gutes, Sendungsgrösse und Sendungshäufigkeit. Für die Kostenermittlung werden

im Wesentlichen Transportzeiten und –kosten, Terminal-, Handling- und Lagekosten benötigt.

## **SMILE**

Auch im Modell SMILE (Strategic Model for Integrative Logistics Evaluation)<sup>21</sup> werden logistische Aspekte betrachtet. SMILE ist für grossräumige, aggregierte Untersuchungen von Distributionszentren angelegt. Es wird versucht, die Güterströme der Einheiten Produktion, Lagerung und Verteilung nachzubilden. Produktketten werden mit Hilfe von Input-Output Informationen analysiert. Eine Veränderung der Endnachfrage (Konsum, Investitionen, Export) setzt entsprechende Anpassungen im Produktionsbereich voraus. Die sich daraus ergebenden Güterströme werden in SMILE simuliert und für Verkehrsplanungen genutzt. Alle Hauptverkehrsbeziehungen werden berücksichtigt. Ähnlich wie beim ADA Modell werden die Güterflüsse aus monetären Produktions- und Verbrauchsstatistiken in Güterströme umgeformt. In einer weiteren Stufe wird die Lagerhaltung modelliert, es werden Distributionszentren und deren Standorte endogen ermittelt. Die entstehenden Teilsegmente an Güterströmen werden dann zu Transportketten zusammengesetzt und auf Netzmodelle umgelegt. Das Problem ist auch bei SMILE die empirische Basis, d.h. die Abbildung der Ebene der Distributionslogistik. In SMILE werden rd. 50 logistische Gütergruppen, 6 Verkehrsmittel (Bahn, Binnenschiff, LW, Pipeliene, Seeschiff, Luftfracht) unterschieden. Es werden 77 Verkehrszellen unterschieden.

## **SYNTRADE<sup>22</sup>**

SYNTRADE ist ein experimentelles Modell zur Simulation von logistischen Strukturen im Lebensmittelhandel. Ausgangspunkt sind Güterströme auf Kreisebene in Deutschland im Lebensmittelhandel. Es werden in Abhängigkeit von der Gütermenge und den Entfernungen Logistikkosten und Palettenkilometer generiert. Anhand der Güterströme und der Logistikkosten wird entschieden, ob eine Direktlieferung, eine Lieferung aus einem Lager oder mit Hilfe eines Logistikdienstleisters erfolgt. In einem Iterationsverfahren werden daraus verschiedene Lösungen für Logistikstandorte in Deutschland für eine optimale Lebensmittel-distribution generiert.

---

<sup>21</sup> Tavasszy, L.A., Smeenk, B., Ruijgrok, C.J. : A DSS for Modelling logistic chains in freight transport systems analysis, in : International Transactions on Operations Research 50(6), 1998, pp 447-459

<sup>22</sup> Friedrich, H.: 'Modelling freight transport demand in food retailing'. University of Karlsruhe, Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung (IWW), Dissertation, (2009).

**WIVER<sup>23</sup>, TCI-GV-CityTrans, VISEVA, KWM<sup>24</sup>**

Schliesslich seien noch die Modelle genannt, die die städtischen und regionalen Wirtschaftsverkehre abbilden. Dies sind in der Regel synthetische Modelle, die aufgrund von Stichprobeninformationen und Strukturdaten feinträumige LW-Ströme erzeugen. Charakteristisch bei diesen Modellen sind die gerade im Nahbereich häufig anzutreffenden Tourenbildungen. Diese spielen eine besondere Rolle bei Paketdienstleistern und im Sammel- und Verteilungsprozess von Gütern. In dem Segment werden oft bei geringer Tonnage eine Vielzahl von Fahrten generiert. Gerade bei feinträumigen Betrachtungen spielen solche logistischen Dienstleitungen für die Verkehrsbelastung eine bedeutende Rolle.

**7.1.3 Fazit zu weiteren Modellen im Bereich Logistik**

Die Beispiele aus der Literatur zeigen, dass es interessante Ansätze für die Güterverkehrsmodellierung gibt, die sich auch in die Verkehrsmodellierung in der Schweiz integrieren lassen. Zunächst einmal ist die explizite Modellierung intermodaler Verkehre ein entscheidender Fortschritt (umgesetzt z.B. in der BVWP 2030). Denn die effiziente Zusammenarbeit der Verkehrsträger ist eine wichtige Planungsaufgabe, und sollte damit in die Güterverkehrsmodellierung einbezogen werden.

Ein weiterer wichtiger Schritt ist die Abbildung des Wirtschaftsverkehrs mit Lieferwagen. Hierfür gibt es inzwischen Modellansätze. Dieses Segment ist schon in der AMG-TM2 berücksichtigt worden, dort aber noch durch ein externes Modell. Der Lieferwagenverkehr zeigt gegenüber dem Schwerlastverkehr, der in der Fahrleistung in den letzten Jahren kaum gestiegen ist, einen deutlichen Zuwachs – rd. 30% seit 2005.<sup>25</sup> Dies ist letztlich auch auf die Logistik zurückzuführen: kleiner werdende Sendungsgrößen, häufige Anlieferungen mit Lieferwagen und der drastisch gestiegene Online-Handel tragen zu dieser Entwicklung bei. Insofern ist dieses Segment der Transportnachfrage ein wichtiger Bestandteil der Güterverkehrsmodellierung.

Es gibt in der Literatur immer wieder Ansätze, die **Distributionslogistik** abzubilden (ADA-Modell, SYNTRADE, SMILE). Die Modellergebnisse sind dabei weitgehend synthetisch und weichen mehr oder weniger von statistischen Daten der Güterverkehrsnachfrage ab. Diese Situation ist auch beim NGVM gegeben. Übereinstimmend ist zwischen Gutachter und Auftraggeber festgelegt worden, dass die Abbildung der Distributionslogistik im Moment nicht Gegenstand des nationalen Güterverkehrsmodells sein soll. Dazu wäre die Modellierung z.B.

<sup>23</sup> Bieling, N., Haupt, Th., Meimbresse, B.: WIVER – Ein Berechnungsmodell für den städtischen und regionalen Wirtschaftsverkehr. Strassenverkehrstechnik 1996, 11

<sup>24</sup> Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen: Kleinräumige Wirtschaftsverkehrsmodelle, Forschungsbericht FE-NR 70.0689/2002

<sup>25</sup> Verkehrsstatistik des BFS: Tabelle je-d-11.05.01.01.xls

von Vertriebsnetzen und Sendungsgrößen erforderlich, die sich für ein nationales Modell als sehr komplex darstellen. Dies bedeutet jedoch auch, dass eine schienen- und insbesondere strassenseitige Abbildung der Logistikprozesse im Nationalen Güterverkehrsmodell nicht umsetzbar ist.

Dieser Ansatz ADA wird aber trotzdem als vielversprechend bewertet. Aus diesem Grunde wird in den Handlungsempfehlungen für die längerfristige Strategie der Güterverkehrsmodellierung vorgeschlagen, diesen Ansatz – und hierbei speziell in Form des ADA-Ansatzes – weiterzuverfolgen.

Weiterhin ist die Entscheidung der **Standortlogistik** wichtig. Diese Fragestellung wird in dem Modell SYNTRADE und SMILE aufgenommen. Für die Standortlogistik kann ein nationales Güterverkehrsmodell aber keine Optimierungsvorgaben bereitstellen. Dazu müssten die langfristigen Distributionsstrategien einzelner grosser Unternehmen oder Kooperationen einfließen. Dazu ist ein nationales Modell ungeeignet, da es nicht die Einzelinteressen eines Unternehmens oder einer Branche vertreten kann. Was allerdings mit Hilfe des nationalen Güterverkehrsmodells möglich sein sollte, ist die Bewertung der Auswirkungen von Standortentscheidungen. Auf dieses Thema wird im Zusammenhang mit der Berücksichtigung intermodaler Transporte eingegangen (siehe Kapitel 7.2.1).

Die Einbeziehung der Logistik in das nationale Güterverkehrsmodell der Schweiz konzentriert sich somit auf Fragen der Transportlogistik sowie die Beurteilung der Auswirkungen von Standortentscheidungen. Dabei stehen schienenaffine Transporte im Vordergrund. Damit wird auch ein Grossteil der politischen Fragestellungen, z. B. Verlagerungspolitik, abgedeckt.

Es wird in der Literatur verschiedentlich der Zusammenhang zwischen Entscheidungen für eine **Losgrösse des Gütertransports** und der Verkehrsmittelwahl dargestellt. Oft werden die Ursachen für kleine Losgrößen in der Minimierung der Lagerhaltung sowie der Just-in-Time Produktion gesehen. Betrachtet man aber die modernen, industriell durchorganisierten Transportketten, so stellt sich die Entscheidung anders dar. Die Transportunternehmen reagieren auf die Anforderungen der Verlagerer nach zunehmend kleineren Sendungsgrößen mit der Einrichtung von Zentrallagern oder Distributionszentren in der Nähe grosser Kunden – z.B. eines Autoproduzenten. Die kleinteiligen Verkehre finden dann mit kleinen LW-Einheiten zwischen dem Distributionszentrum und dem Werk auf kurzen Strecken statt. Auf den Hauptläufen werden aber die Waren zu grösseren Einheiten gebündelt, so dass hier auch eine „normale“ Verkehrsmittelwahl stattfindet – einschliesslich der Berücksichtigung intermodaler Transporte. Insofern sind diese logistischen Anforderungen der Verlagerer durchaus in den bisher vorgeschlagenen Ansätzen für ein Güterverkehrsmodell enthalten. Durch die Einführung entsprechender Logistikzentren lassen sich diese Transportstrukturen abbilden.

## 7.2 Variante II: Erweiterte Berücksichtigung der Transportlogistik in der Güterverkehrsmodellierung für die Schweiz

In Anlehnung an das Vorgehen BVWP 2030 werden die neuen Möglichkeiten zur Umsetzung der Abbildung logistischer Prozesse auf die Schweizer Verhältnisse übertragen und die Möglichkeiten aufgezeigt. Betrachtet werden:

- Berücksichtigung der Intermodalität
- German Approach
- Verfeinerung des LW-Fahrzeugmodells: Akquisition von Ladung im Start- und Zielgebiet

### 7.2.1 Berücksichtigung der Intermodalität

Zunehmend wichtiger wird die Betrachtung intermodaler Verkehre. In diesem Transportsegment waren bisher hohe Wachstumsraten zu verzeichnen. Mit der weiteren Förderung der intermodalen Verkehre soll die Effizienz des Ressourceneinsatzes gesteigert und eine zunehmende Verlagerung der steigenden Transportmengen auf umweltfreundliche Verkehrsträger erreicht werden. Damit ist es erstrebenswert, die Transportlogistik der intermodalen Verkehre in die Güterverkehrsmodellierung zu integrieren.

Die Gutarten unterscheiden sich in ihrer Bindung an bestimmte Verkehrsmittel. Während einige Gutarten ausschliesslich mit dem LW befördert werden, sind andere weniger auf ein einziges Verkehrsmittel festgelegt. Dies gilt besonders für containerisierte Güter. Hier ist die Verkehrsmittelwahl wesentlich durch die unterschiedlichen Transportkosten der Verkehrsmittel getrieben. Wo es durch Bündelung von Strömen wirtschaftlich sinnvoll ist, werden Transporte auch intermodal abgewickelt.

In welchem Umfang der politisch gewünschte Entlastungseffekt durch kombinierten Verkehr realisiert werden kann, hängt nicht zuletzt vom Vorhandensein leistungsfähiger Infrastruktur für den intermodalen Umschlag (z.B. KV-Terminals) ab. Die dort für den Umschlag anfallenden Verlustzeiten und Kosten tragen zu den Kosten und Beförderungszeiten auf dem Gesamtweg bei.

Das vorliegende Projekt zielt u.a. darauf ab, künftig mit dem Schweizer Güterverkehrsmodell Investitionen in die Verkehrsinfrastruktur (z.B. in neue Terminals) daraufhin zu bewerten, in welchem Umfang sie Verlagerungen von Transporten zwischen den Verkehrsmitteln bewirken können. Intermodale Transportketten sind dabei als Alternative ausdrücklich in die Betrachtung eingeschlossen.

Der empirisch-inkrementelle Ansatz, der in der AMG verwendet wird, kann eine solche Bewertung nur begrenzt leisten. Grund dafür ist, dass das Güteraufkommen jeder Verkehrszelle

im Empfang und Versand, und für jedes Verkehrsmittel, auf den im Analysejahr empirisch beobachteten Strömen basiert. Nur diese Ströme werden bei der Prognose skaliert, entsprechend den Veränderungen an den Strukturdaten der Verkehrszelle. Dagegen prognostiziert die AMG die Veränderung nur rudimentär, wenn in der betreffenden Region ein KV-Terminal eingerichtet wird und dadurch bedingt neue Verkehre mit Umschlag über die Verkehrszelle laufen. Das Modell reagiert in einem solchen Fall nur, falls der Modellanwender eingreift und das Aufkommen explizit um das umgeschlagene Volumen erhöht. Damit wird jedoch das gewünschte Modell-Ergebnis (umgeschlagenes Volumen) auf eine Benutzer-Eingabe verlagert.

Der nachfolgend vorgeschlagene alternative Ansatz ist massnahmensensitiv für Änderungen an der intermodalen Infrastruktur. Er übernimmt von der AMG die Verankerung an empirisch beobachteten Quelle-Ziel-Matrizen. Damit trägt er der Kritik am Ansatz des NGVM Rechnung, bei dem die Ergebnisse der synthetischen Zielwahl zu schlecht mit den beobachteten Strömen übereinstimmen. Jedoch beziehen sich im neuen Ansatz die Quell-Ziel-Matrizen stets auf den Gesamtweg und sind verkehrsmittelneutral. Beispiel: im KV wird ein Gut von A per Bahn nach B und von dort per LW weiter nach C transportiert. In der AMG erscheint die Transportmenge in der Bahn-Matrix von A nach B, in der LW-Matrix von B nach C. Im neuen Ansatz ist die Menge nur in der verkehrsmittelneutralen Matrix enthalten, und zwar von A nach C (siehe auch Anhang 11.4.1).

Für jedes Quell-Ziel-Paar der verkehrsmittelneutralen Nachfragematrix liefert ein Mehrweg-Suchverfahren eine Menge von Wegealternativen für den Gesamtweg, die verkehrsmittelrein sind oder mehrere Verkehrsmittel zu einer intermodalen Transportkette mit Umschlag verknüpfen können. Für jede Wegealternative werden die generalisierten Kosten für Transport und ggf. Umschlag ermittelt. Anschliessend wird die Nachfrage des Quell-Ziel-Paars gemäss einem Discrete Choice-Modell<sup>26</sup> entsprechend ihren generalisierten Kosten auf die Wegealternativen verteilt. Der Ansatz weist folgende wichtige Vorteile auf:

- Änderungen der intermodalen Infrastruktur wirken sich ohne besondere Eingriffe des Anwenders in der Wegesuche aus. Wird z.B. in einem weiteren Bezirk D ein KV-Terminal eingerichtet, findet das Verfahren neben der verkehrsmittelreinen Alternative A-LW-C und der intermodalen Alternative A-Bahn-B-LW-C auch neue Alternativen wie A-Bahn-D-LW-C.
- Das in D umgeschlagene Aufkommen wird nicht vom Anwender vorgegeben, sondern ergibt sich durch Anwendung des Discrete Choice-Modells. Das neue Terminal zieht in dem Masse Verkehr auf sich, in dem die generalisierten Kosten über das

---

<sup>26</sup> siehe dazu die Erläuterungen in Kapitel 7.4.1 und 7.4.2

neue Terminal (im Beispiel A-D-C) günstiger sind als die Alternativen (im Beispiel A-B-C und A-C).

Für die Umsetzung des Ansatzes sind zwei Voraussetzungen neu zu schaffen:

- 1) Das verkehrsmittelneutrale Gesamtaufkommen jeder Relation im Analysefall ist zu ermitteln. Dies ist insofern problematisch, als die verfügbaren Statistiken keine berichteten Gesamtwege für KV-Transporte enthalten. Hierzu wird vorgeschlagen, die unter dem Namen German Approach bekannte Methodik (siehe nachfolgendes Kapitel) aus der deutschen Bundesverkehrswegeplanung anzuwenden, mit der die Gesamtwege aus beobachteten Daten möglichst realistisch rekonstruiert werden.
- 2) Für Transport und Umschlag sind verkehrsmittelspezifische Kostensätze bei der SBB und bei Transportunternehmen zu erheben, aus denen die generalisierten Kosten der Wegealternativen geschätzt werden können.

Die detailliertere Beschreibung des alternativen Ansatzes und der darin verwendeten intermodalen Mehrweg-Suche<sup>27</sup> findet sich im Anhang 11.4.

Die Instrumente, die eine Disaggregation der Matrix auf Planungsebene (106 MS-Regionen) auf die Zonierung des (neuen) NPVM erlauben, sind schon beschrieben: Für die Bahnverkehre lässt sich als Zwischenstufe eine Bahnhofsmatrix aus der Wagenverlaufsdatei erzeugen – diese wird auch zur Abbildung der Schienengüterverkehre mit dem Programm NEMO benötigt. Diese Bahnhofszonen werden dann den Feinzonen eindeutig zugeordnet. Die Vor- und Nachläufe mit dem LW werden aus den statistischen Daten konstruiert bzw. erzeugt, wobei eine Aufteilung auf Feinzellen mit Strukturdatengewichten erfolgen kann.

## 7.2.2 German Approach

### Vorgehen in Deutschland

Unter dem German Approach wird die Rückrechnung der verkehrsträgerreinen Transportstatistiken auf Transportketten im intermodalen Verkehr, wie sie vom Statistischen Bundesamt Deutschlands (Destatis) seit dem Jahr 2004 durchgeführt wird, verstanden.

Dieses Verfahren von Destatis wird jährlich angewandt und ist in ähnlicher Weise in der Verkehrsprognose 2030 (VP 2030) innerhalb der Bundesverkehrswegeplanung Deutschlands<sup>28</sup> verwendet worden. Im Verfahren werden Verkehrsdaten des kombinierten Verkehrs auf Bahn und Binnenschiff mit den Transportdaten der Strasse, die den Vor- und Nachlauf abbil-

<sup>27</sup> Grundsätzlich ist dies ein ähnliches Verfahren wie es im 5 Ebenen Modell des NGVM implementiert ist. Durch Softwareanpassungen ist jedoch ein einfacheres Vorgehen möglich.

<sup>28</sup> BVU/Intraplan/IVV: Verkehrsprognose 2030 Schlussbericht (<http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/verkehrsverflechtungsprognose-2030-schlussbericht-los-3.pdf>) sowie Ergänzender Bericht zur Modellierung und zur Qualitätssicherung

den, verknüpft und aus den Daten der unimodalen Transporte, Transportketten synthetisch hergestellt. Der intermodale Verkehr wird so in das Transportmodell integriert.

Tatsächlich handelt es sich in Deutschland bei den Erhebungen von Bahn- und Binnenschiff fast um Vollerhebungen<sup>29</sup>, während die Erhebung der Strassenverkehre eine Stichprobenerhebung ist (etwa die Hälfte aller Fahrzeuge über 3,5 t Nutzlast wird über eine Halbwoche befragt). Diese Daten und Befragungen an Umschlagsstellen verknüpft Destatis dann zu Transportketten<sup>30</sup>. Als regionale Differenzierung wird von Destatis die Einteilung der Verkehrsbezirke (etwa 100 in Deutschland) verwendet. Veröffentlicht werden allerdings nur Eckwerte und spezielle Auswertungen. Die Gesamtheit der Transportkettenströme ist nicht verfügbar.

In der VP 2030 werden die intermodalen Transportketten für NUTS3-Raumeinheiten (rund 400 Einheiten in D) dargestellt. Das Vorgehen der Erstellung ist analog zu dem von Destatis, die Berechnungen wurden aber unabhängig voneinander durchgeführt. Die Transportketten-daten der VP2030 sind im Gegensatz zu den Daten von Destatis verfügbar und können beim Bundesverkehrsministerium bezogen werden.

### **Übertragung auf Schweizer Rahmenbedingungen**

Das BFS plant aktuell eine dem German Approach angelehnte Erzeugung von Transportketten-daten. Bis Ende 2018 sollen die Daten verfügbar sein<sup>31</sup>. Im Synthesebericht wird erwähnt, dass der Ansatz des BFS sich weitgehend am „German Approach“ orientieren wird. Es besteht die Option, dass zusätzliche Erhebungen im KV durchgeführt werden, um die Konstruktion von Transportketten zu erleichtern. Im nachfolgenden Konzept wird davon ausgegangen, dass – wie in der BVWP2030 – ein eigener Ansatz, der sich ebenfalls am „German Approach“ orientiert, implementiert werden muss, um für die GV-Modellierung geeignete Transportketten bereitzustellen. Dabei sind folgende Daten zu verknüpfen:

- Containerumschlag in den Basler-Rheinhäfen.
- Transporte von Containern- und Wechselbehältern auf der Bahn.
- Daten der GTE. Hier ist in einem Attribut die Frachtart „Grosscontainer und andere grosse Behälter“ codiert.

Es ist davon auszugehen, dass die Daten der GTE nicht zwingend zu den Bahn- und Binnenschiffsdaten passen. U.a. aufgrund des Stichprobencharakters werden Relationen im

---

<sup>29</sup> Meldepflichtig sind Eisenbahnunternehmen ab einer Transportleistung von 10 Mio tkm p.a. bzw. 1 Mio tkm p.a. im kombinierten Verkehr.

<sup>30</sup> Walter, C.: Transportketten im intermodalen Güterverkehr 2003 - verfügbar unter [https://www.destatis.de/DE/Publikationen/WirtschaftStatistik/Verkehr/VerkehrTransportkette\\_92005.pdf](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/WirtschaftStatistik/Verkehr/VerkehrTransportkette_92005.pdf) sowie Destatis: Fachserie 8 Reihe 1.3 Kombiniertes Verkehr, 2016 – verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/TransportVerkehr/Querschnitt/KombinierterVerkehr2080130147004.pdf>

<sup>31</sup> siehe dazu auch: Bundesamt für Statistik BFS: Studie Statistik zum Kombinierten Verkehr, Synthesebericht, ohne Datum

Strassenverkehr nicht besetzt sein. Eventuell spielen auch andere Behälter (nicht intermodale oder auch Cargo Domino) eine Rolle. Ob hier ein Filtern der Daten der GTE notwendig ist, muss bei der konkreten Arbeit mit den Daten geklärt werden. Ziel ist es die Entfernungsverteilung der Vor-/Nachlauf-Verkehre zu ermitteln und – über 4000 Datensätze im Transportdatensatz der GTE 2014 besitzen das Attribut „Grosscontainer...“ – ein Verteilungsmodell zu formulieren, welches intermodale Transportketten generiert. Dabei werden die gepoolten Daten der GTE genutzt. Bei fehlenden Stichprobendaten sind geschätzte Daten für Vor- und Nachläufe zu nutzen. Da ein nächster Schritt die Umlegung im intermodalen Netz darstellt, sollte die Aufbereitung der Matrix auf Feinzonenebene erfolgen – wie schon vorher angedeutet: Zuordnung der Bahnhöfe aus der Wagenverlaufsdatei zu Feinzonen und Ergänzung der Vor- und Nachläufe, wobei diese ebenfalls auf die Feinzonen aufgeteilt werden müssen.

Als weitere Grössen für eine Konsistenzprüfung stehen derzeit Kapazitäten von einzelnen Terminals zur Verfügung, zum einen aus einer Datensammlung beim BAV, alternativ aus Daten aus dem Jahr 2012, die in der Untersuchung zur Terminalstruktur in der Schweiz erhoben wurden.<sup>32</sup>

Der German Approach ist ein Datenmodell, welches die Datenlücke „intermodale Transportkette“ der Statistik füllt. Für die Prognoserechnung ist die rückwärtige Rechnung – ausgehend von Quelle und Ziel der Transportkette – relativ einfach möglich. Nicht möglich ist so, die Einarbeitung neuer Terminals. Hier kann das schon erwähnte Verfahren TRIMOD (siehe im Anhang Kapitel 11.4.1) angewandt werden. Erläuterung zur weiteren Datenauswertung empirischer Daten sind auch im Kapitel 8.2.2 zu finden.

In der Schweiz besitzt neben dem kombinierten Verkehr der Wagenladungsverkehr eine besondere Bedeutung. Auch hier wäre es denkbar, in Analogie zum „German Approach“ beim intermodalen Verkehr, aus der Wagenverlaufsdatei die Transporte des Wagenladungsverkehrs herauszufiltern und mit den Vor- und Nachläufen aus der GTE zu ergänzen. Ob ein solches Vorgehen zielführend ist, ist durch Auswertungen der empirischen Daten weiter zu konkretisieren (siehe dazu Kapitel 8.1).

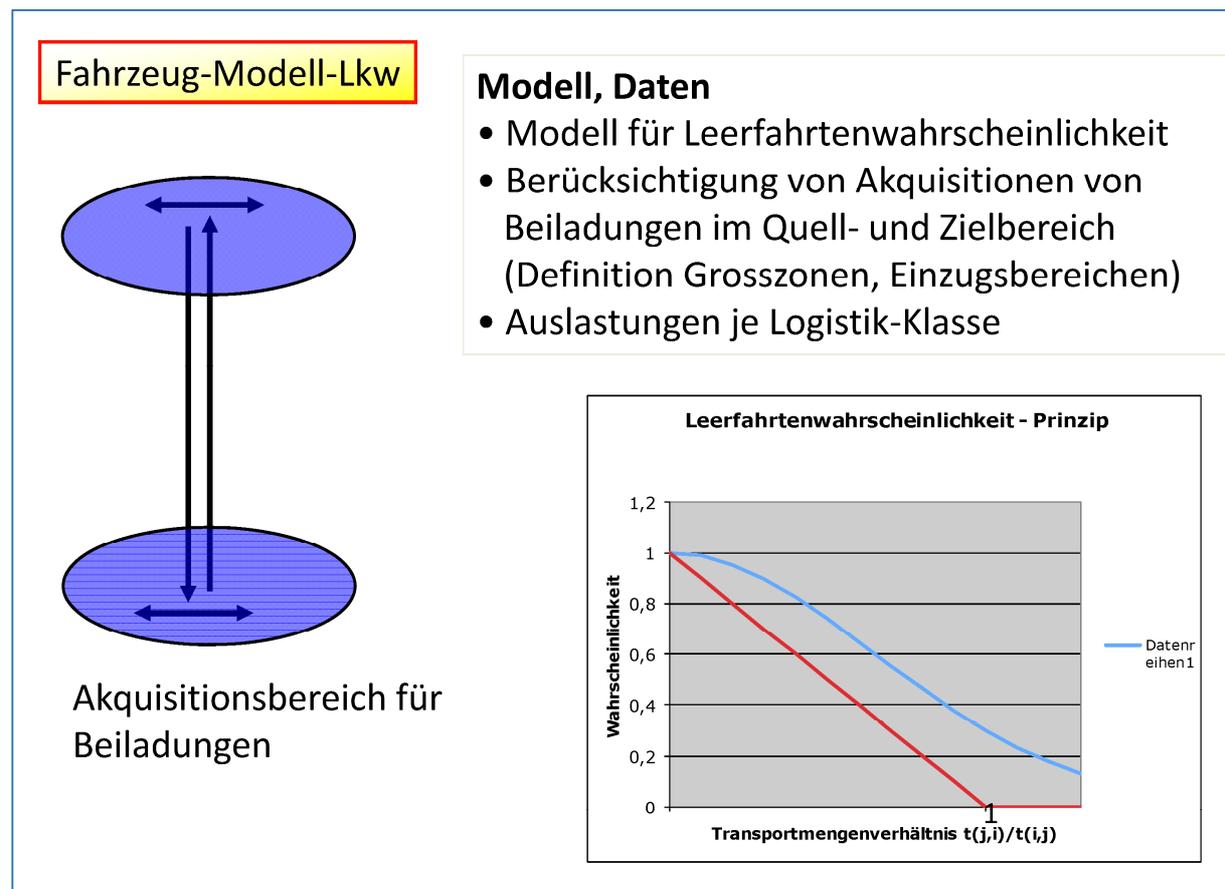
### **7.2.3 Verfeinerung des LW-Fahrzeugmodells: Akquisition von Ladung im Start- und Zielgebiet.**

Im Kapitel 6.6 wird die Methodik des LW-Modells skizziert. Je nachdem, wie die Ausgangsmatrix besetzt ist, kann es hierbei zu vielen kleinen LW-Strömen führen, da bei der Aufteilung der LW-Ströme auf Feinzonen zwischen allen Paaren von Feinzonen Ströme erzeugt

<sup>32</sup> Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz von Verkehrsmitteln im Güterverkehr der Schweiz TP C: Anforderung der Güterlogistik an die Netzinfrastruktur und die langfristige Netzentwicklung in der Schweiz, Sommer 2012, verfügbar unter <http://www.mobilityplatform.ch>

werden. Durch die Definition von Zonenzusammenfassungen zu Grobzonen in den Quell- und Zielgebieten der Transporte werden quasi Akquisitionsräume für Bei- und Rückladungen definiert. D. h. es werden kurzlaufende Verkehre in der Grobzone als Sammel- und Verteilverkehre gebildet. Eine eindeutige Vorschrift für die Definition von Grobzonen gibt es nicht. In Einzelfällen kann eine „händische“ Zusammenfassung sinnvoll sein. Algorithmisch kann folgendermassen vorgegangen werden: Aus der GTE wird eine Entfernungsverteilung für die Strassengüterverkehre abgeleitet. Diese ist Massstab dafür, wie weit das Gebiet einer Grobzone um einen Zentralpunkt gefasst werden muss. Als Zentralpunkte werden dabei alle Zonen mit grossen Güterverkehrsaufkommen gewählt. Der Algorithmus muss nun so funktionieren, dass alle Verkehrszellen einem Zentralpunkt zugeordnet werden.

Bei der Umlegung werden dann die LW-Ströme zwischen Grobzonen im Fernverkehr betrachtet sowie die kurzlaufenden Sammel- und Verteilverkehre in den Grobzonen. Das so erweiterte LW-Modell ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt. Neben der Berücksichtigung der Leerfahrtenwahrscheinlichkeit, die aus der Paarigkeit der Ströme abgeleitet wird, werden zusätzlich noch die Möglichkeiten von Beiladungen in den Quell- und Zielgebieten betrachtet. Dadurch entsteht ein auch in der Realität angestrebter Bündelungseffekt von Güterströmen, der zu einer Verringerung von Leerfahrten führt. Für das Modell hat das den positiven Effekt, dass Güterströme im Nahbereich erzeugt werden, in dem in der Regel die Netzbelastung eher zu gering ist, und dass für den Fernbereich eine Bündelung von Strömen stattfindet, was die Umlegungsrechnung beschleunigt.



**Abbildung 7-1: Erweitertes LW-Modell**

Die Zusammenfassung von Zonen bedeutet im Allgemeinen eine grössere Symmetrie zwischen Hin- und Rückrichtung und damit weniger Fahrten. Bei der Rückrechnung auf die übliche Zonierung, die mit Gewichtungen aus der abtransportierten Menge bei den Quellverkehren und der empfangenen Menge bei den Zielverkehren berechnet wird, wird die Bedingung verletzt, dass in den Zonen die Anzahl abgehender und eingehender LW übereinstimmt. Um konsistente Ströme bereitzustellen, wird dies durch eine Erzeugung von Fahrten innerhalb der Zonenaggregate ausgeglichen. Das Modell bildet somit Zwischenfahrten zur Akquisition von Rückladung ab. Um dies zu erreichen, ist eine Definition von Relationen für die Zonenzusammenfassungen notwendig.

#### 7.2.4 Verknüpfung zwischen Logistik und der AMG

In Variante I zur Güterverkehrsmodellierung für die Schweiz wird aufgezeigt, inwieweit die bestehende AMG durch die Erweiterung von Modulen verbessert werden kann, um die Aussagekraft und Einsatzmöglichkeiten der AMG zu verbessern.

In dieser Variante II werden mögliche Ansätze diskutiert, die eine stärkere Berücksichtigung von logistischen Prozessen in Transportmodellen gestatten. Diese lassen sich sowohl in die bestehende als auch eine erweiterte AMG integrieren.

Für die Abbildung von intermodalen Verkehren ist das geschilderte Umlegungsverfahren sowie die Umsetzung des „German Approach“ mit Hilfe Schweizerischer Daten in die AMG zu integrieren. Dazu wird folgende Vorgehensweise vorgeschlagen.

- Zunächst einmal müssen die vorhandenen **Netzmodelle** für Bahn und Strasse zu intermodalen Netzen gekoppelt werden. Dazu sind die Netze an jedem bi- oder trimodalen Umschlagspunkt zu verknüpfen. Umschlagspunkte sind dabei Güterbahnhöfe, der Hafen Basel/Weil und alle Terminals für den intermodalen Verkehr. Die Verknüpfungen der Netze in den Umschlagspunkten sind als spezielle Netzkanten zu spezifizieren, die mit Eigenschaften wie z.B. Umschlagskosten oder Wartezeiten versehen sind. Damit können diese Übergänge zwischen den verkehrsträgerspezifischen Netzen als Teil der gesamten Transportkette abgebildet werden.
- In einem nächsten Schritt ist die Berechnung der **Transporteigenschaften** für alle sinnvollen Kombinationen von Verkehrsträgern auf einer Relation vorzubereiten. Dazu sind im Wesentlichen die Komponenten, aus denen die generalisierten Kosten einer Relation entstehen, festzulegen. Das sind z.B. Kostensätze für die variablen Kosten und Kostenanteile für Fixkosten – jeweils aufbereitet pro Fahrzeugkilometer, Zeiten, Zuverlässigkeiten, die für jede Netzkante sowie die Netzverknüpfungen vorliegen müssen. Weiterhin sind Komponenten wie z.B. Betriebszeiten von Terminals zu berücksichtigen, welche die generalisierten Kosten einer gesamten Relation beeinflussen können: reicht die Abfahrtszeit eines Transportes nicht aus, um noch innerhalb der Betriebszeiten ein Terminal für intermodale Verkehre zu erreichen, so scheidet entweder die intermodale Alternative aus oder es entstehen Sprungkosten, da bis zur Öffnung des Terminals gewartet werden muss. Da Abfahrtszeiten von Zügen im Modell nicht berücksichtigt werden, können diese Sprungkosten z.B. in Form von durchschnittlichen Wartezeiten oder durch die Spezifizierung von Zusatzkosten berücksichtigt werden.
- Weiterhin müssen aus den **Güterströmen** diejenigen Transporte selektiert werden, die sich für die Nutzung mehrerer Transportmittel eignen. Dazu sind die Güterströme aus den Erhebungen GTE und GQGV zu analysieren. Alle Güter, die in Containern oder kranbaren Wechsellaufbauten transportiert werden, fallen in das Segment „potenzieller intermodaler Transport möglich“. Diese Güterströme sind in einer gesonderten Matrix zu speichern, in Fahrzeuge umzuformen und dann im intermodalen Netz umzulegen.

- Kalibriert werden die Matrix und das Umlegungsverfahren an einer **empirischen Matrix**. Diese wird gemäss des „German Approach“ aus den Erhebungen GTE und GQGV konstruiert.

Mit diesen Verfahrensschritten lässt sich die Entscheidungssituation für die Wahl zwischen Verkehrsmittelkombinationen im Modell endogenisieren. Bei geeigneter Ausgestaltung des Verfahrens lassen sich damit die Verkehrsströme für neue Terminalstandorte simulieren. Die Entscheidung für einen Terminalstandort muss aber vorab extern erfolgen.

Die Ausweitung der Funktionalität des **LW-Fahrzeugmodells** lässt sich relativ leicht implementieren. Dafür sind folgende Schritte durchzuführen:

- Wie oben beschrieben sind die Grosszonen aus dem Verkehrszellensystem zu bilden.
- Der Algorithmus für das Fahrzeugmodell muss nun so erweitert werden, dass zunächst die Ströme, die in der Menge der Ströme zwischen zwei Grosszonen liegen, zusammengefasst werden.
- In einem nächsten Schritt müssen dann innerhalb der Grosszonen zusätzliche Nahverkehre erzeugt werden, die die Sammlung und Verteilung der Güter der in den jeweiligen Grosszonen abbilden.

Insgesamt lassen sich mit diesen beiden Ergänzungen – intermodale Verkehre und Verfeinerung des LW-Fahrzeugmodells – zwei wichtige logistische Komponenten in die Güterverkehrsmodelle integrieren, welche das Modell näher an reale Abläufe bringen und die Einsatzmöglichkeiten der Modelle erweitern.

### **7.3 Handlungsempfehlungen für Variante II: Integration der Logistik in die Güterverkehrsmodellierung**

Es wurden Modellansätze vorgestellt, die es erlauben, die Distributions- oder Standortlogistik auf der Strasse und auf der Schiene abzubilden. Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass dazu Modelle benötigt werden, die die Güterströme auf der Grundlage von synthetischen Modellen erzeugen. Dadurch sind sie in der Lage, logistische Prozesse auf der Schiene und der Strasse modellmässig abzubilden, gleichzeitig entfernen sie sich von den empirischen Grundlagen. Neben dem NGVM wird auf die **ADA-Methode** hingewiesen. Es wird verdeutlicht, dass die Anwendung dieser Methoden für ein nationales Güterverkehrsmodell noch Fragen aufwirft. Allerdings hat die Methode ADA eine gewisse Relevanz, da z.B. Elemente der AMG und des NGVM enthalten sind. Es wird empfohlen, im Rahmen eines Forschungsprojektes diese Methode genauer zu prüfen. Da eine vollständige Abbildung von logistischen Prozes-

sen zum jetzigen Zeitpunkt als nicht zielführend angesehen wird, werden ergänzende Modellkomponenten vorgeschlagen.

Zur Verbesserung der Abbildung des Strassengüterverkehrs wird vorgeschlagen, das Fahrzeugmodell durch **Akquisitions-Grobzonen in den Start- und Zielgebieten** der Transporte zu erweitern. Für diese Methode gibt es Lösungen und die Ergebnisse der Netzumlegung verbessern sich deutlich. Zudem ist damit die Fragestellung zur Losgrösse eingefangen.

Als wichtige Neuerung ist die Berücksichtigung **intermodaler Verkehre** zu nennen. Diese beziehen sich insbesondere auf den Schienengüterverkehr mit den Vor- und Nachläufen auf der Strasse und sind daher für die Verlagerungspolitik von besonderer Bedeutung. Es wird empfohlen, die Methodik „German Approach“ in das nationale Güterverkehrsmodell der Schweiz zu integrieren. Damit ist eine bessere Planung für dieses immer wichtiger werdende Marktsegment der intermodalen Verkehre möglich. Voraussetzung dafür ist der Aufbau intermodaler Netze. Dazu werden detaillierte Netze für Bahn, Strasse und Binnenschiff (bis Basel) benötigt und es müssen Verknüpfungen zwischen den Netzen in Terminalknoten geschaffen werden. Diese, sowie die Netzkanten müssen dann mit detaillierten Eigenschaften versehen werden, um die Transporteigenschaften der Verkehrsmittelalternativen – uni- und multimodal – bestimmen zu können.

Zur Umsetzung der einzelnen Komponenten gibt es – anders als bei Variante I – keine direkte Hierarchie, sondern eher ein Nebeneinander der einzelnen Bausteine.

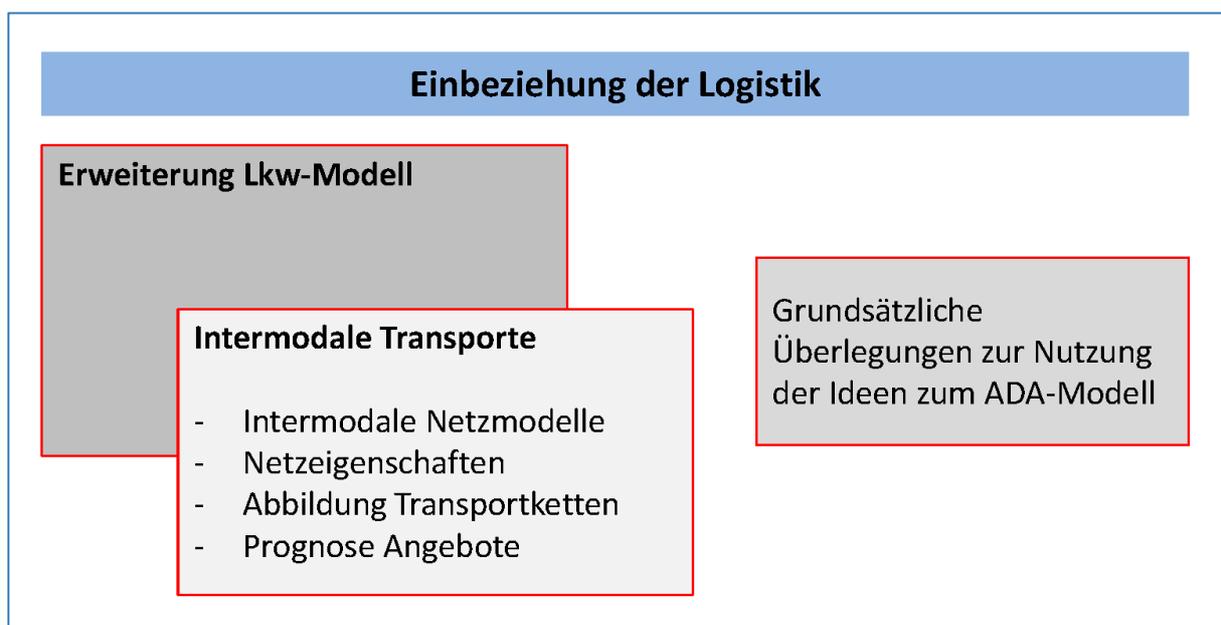


Abbildung 7-2: Module zur Einbeziehung der Logistik

## 8 Analyse empirischer Daten des Güterverkehrsmarktes (Variante III)

Im Rahmen der Einbindung logistischer Aspekte in die Güterverkehrsmodellierung werden Arbeiten genannt, die direkt auf der vorhandenen Transportstatistik aufsetzen. Genannt ist der „German Approach“, der aus vorhandenen statistischen – unimodalen - Angaben intermodale Transportketten konstruiert. Die vom VSS beauftragte Studie „Innovationen im intermodalen Verkehr“ greift ebenfalls direkt auf statistisches Grundlagenmaterial zu, verarbeitete dieses aber weiter, indem Zusatzinformationen durch Fachinterviews erhoben werden, die letztlich mit den statistischen Daten zu einem Ergebnis verbunden werden. Damit geht die VSS-Studie über die reine Auswertung der statistischen Informationen hinaus.

Es werden also zur Vorbereitung oder Ergänzung der Güterverkehrsmodellierung Lösungen gesucht, bei der durch eine Auswertung vorhandener statistischer Daten Erkenntnisse zur Struktur der Güterverkehre bereitgestellt werden, so zeigen schon die beiden Beispiele, dass es hierfür interessante Ansätze gibt. Im Folgenden sollen ergänzend folgende Themenschwerpunkte genauer betrachtet werden:

- Die Erhebungen GTE und GQGV können intensiver ausgewertet werden, um die enthaltenen Informationen direkt zur Beschreibung der Güterverkehre in der Schweiz zu nutzen.
- Es ist zu prüfen, ob mit Hilfe der GTE / GQGV, der Wagenverlaufsdatei zum Schienengüterverkehr und der Umschlagsaktivitäten im Hafen Basel der „German Approach“ zur Bereitstellung einer empirischen Basis für die Modellierung intermodaler Verkehre angewendet werden kann.
- Es soll diskutiert werden, ob Güterbereiche mit bekannter Logistik gesondert betrachtet werden sollen.

### 8.1 Intensivere Auswertungen der Güterverkehrsstatistik der Schweiz

Die GTE und GQGV, die regelmässig erhoben werden, und für mehrere Jahre vorliegen, stellen eine wertvolle empirische Grundlage für die Güterverkehrsmodellierung dar. Unter diesem Aspekt sind die Daten bisher nicht ausgewertet worden. Eine intensive Auswertung der Daten kann sowohl zur Beschreibung der aktuellen Situation im Güterverkehr herangezogen werden, als auch eine Vorbereitung für ein Güterverkehrsmodell darstellen. In gleicher Weise kann die Wagenverlaufsdatei der SBB genutzt werden, wobei diese eine Vollerhebung darstellt. Verschiedene Fragestellungen bzw. Ansätze für Auswertungen sind denkbar.

In der GTE wird neben den Angaben zu Quelle und Ziel (Postleitzahlen bzw. NUTS3-Regionen im Ausland) des Transports das Gewicht und die Gutart in der NST2007 Einteilung bereitgestellt. Dabei lassen sich auch Teilstrecken einer Tour, die das ausgewählte Fahrzeug insgesamt durchführt, identifizieren. Als weitere Informationen lassen sich auswerten:

- Emissionsklasse des Fahrzeugs
- Nutzlast
- Fahrzeugart, Aufbauten
- Vorhandensein von Be- und Entladeequipment (z.B. Ladekran)
- Fahrtlängenverteilungen in Abhängigkeit von der transportierten Gütergruppe

Auch die Wagenverlaufsdatei der SBB enthält Detailinformationen, die über die Relations-, Gewichts- und Güterbereichsangaben hinausgehen. Ein für logistische Aspekte nutzbare Information ist dabei die Waggonart. Zudem lässt sich der Zugverlauf aus den Angaben rekonstruieren, was für die Berechnung der Netzbelastungen mit Güterverkehren herangezogen werden kann.

Mit diesen Detailinformationen aus den Erhebungen zum Güterverkehr lassen sich vertiefende Auswertungen durchführen, z.B.:

- **Pooling:** eine entscheidende Verbesserung für die Besetzung der empirischen Matrix im Strassengüterverkehr wird im Pooling gesehen. Dabei werden die Erhebungen aller verfügbaren Jahre zu einer Verflechtungsmatrix zusammengefasst. Es ist bei der Diskussion der geeigneten Segmentierung gezeigt worden, dass bei tieferer Segmentierung der Stichprobe (nach Güterbereichen, Verkehrszellen, Fahrzeugarten) die Belegung einzelner Zellen der GTE mit empirischen Daten vergleichsweise dünn ist. Um Hinweise dafür zu bekommen, welchen Mehrwert das Pooling hat, könnten die Güterströme der GTE für jedes Jahr getrennt auf das aktuelle NPVM-Strassennetzmodell umgelegt werden. Werden die Abweichung zwischen simulierter und gezählter Belastung für einzelne Strecken analysiert, könnten sich daraus Hinweise auf die Vollständigkeit der Güterverkehrsmatrix ergeben. Wird der Vergleich für jedes Jahr durchgeführt, ergeben sich Hinweise darauf, ob durch die Zusammenführung der Jahreserhebungen die Matrix deutlich angereichert wird, oder ob in jedem Jahr immer ähnliche Transportrelationen erfasst werden. Es kann durch diese jährlichen Umlagungen festgestellt werden, ob die Struktur der Erhebung in Bezug auf die Vollständigkeit der Matrix im Lauf der Jahre ähnlich ist. Liegen solche Ähnlichkeiten vor, kann eventuell auf ein Pooling verzichtet werden oder es werden nur die Jahre gepoolt, die eine deutliche Verbesserung der Matrixbesetzung erzeugen.
- **Logistische Klassen:** Eine andere Fragestellung, die ebenfalls mit Hilfe der Umlagung der aus der GTE/GQGV erzeugten Güterverflechtungsmatrix adressiert werden

kann, ist die Analyse der Vollständigkeit logistischer Abläufe. Dazu bietet sich an, die Güterströme der logistischen Klassen, die laut Zuordnung in Tabelle 11-14 aus den NST2007 Güterbereichen gebildet werden, getrennt umzulegen. Es ist dann zu prüfen, ob die Transportbeziehungen von Logistikregionen oder grösseren Produktionsstätten überhaupt ausreichend abgebildet werden. Ist das nicht der Fall, kann mit einem geeigneten Aufkommensmodell, so wie es in Kapitel 6 beschrieben ist, eine (synthetische) Anreicherung der Matrix erfolgen. Dieses Vorgehen ist bei der Modellerstellung genauer zu prüfen.

- **Logistische Klassen Bahn:** In gleicher Weise kann die Wagenverlaufsdatei getrennt nach Logistikklassen auf ein Bahnnetzmodell umgelegt werden. Werden die Aufkommenswerte der Bahnhofszellen mit den entsprechenden Aufkommen im Strassengüterverkehr verglichen, so gibt das unter Umständen Hinweise auf vorhandene Transportketten.
- **Fahrzeugarten:** Die Auswertung von Aufbauarten für die LW und Wagentypen für die Bahn ergeben eventuell Informationen für Verlagerungspotentiale zwischen Bahn und LW. Oder es wird deutlich, dass Verlagerungen aufgrund von logistischen Anforderungen nicht möglich sind.
- **Nahverkehre, Fernverkehre:** Weiterhin lässt die Form der Daten eine Trennung der Verkehre in Nah- und Fernverkehre zu. Je nach Güterbereich und Relation können daraus Sammel- und Verteilverkehre im Nahbereich oder eigenständige Regional- und Nahverkehre, wie z.B. Baustellenverkehre, identifiziert werden.
- **Touren:** Da für jedes Fahrzeug eine Vollerhebung der mit dem Fahrzeug durchgeführten Transporte für einen Tag durchgeführt wird, sind Informationen über Teilstrecken einer gesamten Tour vorhanden. Mit diesen Informationen können typische Tourenmuster je Güterbereich oder Logistikkategorie ermittelt werden.
- **Modellparameter:** Schliesslich sind die Daten der GTE, GQGV und der Wagenverlaufsdatei geeignet, Modellparameter festzulegen. Das betrifft Grössen wie Auslastungskennziffern der Fahrzeuge bzw. der Güterwaggons, Entfernungsverteilung, Zahl der Touren je Fahrzeug und Zahl der Stopps je Tour usw. Diese Parameter sind unmittelbar brauchbar für die Modellbildung, können aber auch der detaillierten Beschreibung des Güterverkehrsmarktes dienen.

Insgesamt ist zu vermuten, dass bisher ungenutzte Informationen in den Güterverkehrsdaten enthalten sind. Neben den Bahn- und Strassenerhebungen können auch noch die Erhebungen zur Binnenschifffahrt im Hafenstandort Basel/Weil genutzt werden. Auch die verfügbaren Informationen zu Terminals sollten zusammengestellt werden, um intermodale Verkehre besser zuordnen zu können. Hierfür liegen als Ergänzung aus der Bundesverkehrswegeplanung die kompletten Güterströme im Rheinkorridor vor.

## 8.2 Vorbereitung der Modellierung intermodaler Verkehre

Bei der Berücksichtigung der Logistik in Güterverkehrsmodellen wird die Abbildung des intermodalen Verkehrs empfohlen. Als empirische Grundlage wird dazu der „German Approach“ als mögliche Methode genannt. Zusammen mit einem geeigneten Umlegungsverfahren liesse sich diese Verbesserung berücksichtigen. Die Frage ist, ob die GTE für diesen Ansatz die geeignete Datengrundlage darstellt. Dazu wird zunächst auf eine aktuelle Studie eingegangen, die die GTE als Basis für die Frage nach Potenzialen im intermodalen Verkehr nachgeht. Anschliessend wird auf die Inhalte der GTE im Zusammenhang mit der Wagenverlaufsdatei und den Binnenschiffsverkehren im Hafen Basel eingegangen.

### 8.2.1 Ergebnisse des Forschungsvorhabens: Innovationen im intermodalen Verkehr

Aktuell ist eine Studie „Innovationen im intermodalen Verkehr“ im Auftrag des VSS (Schweizerischer Verband der Strassen und -Verkehrsfachleute) in Arbeit, deren Entwurf des Schlussberichts den Gutachtern zur Verfügung gestellt wurde<sup>33</sup>. Die Studie befasst sich mit Verlagerungswirkungen von Strassenverkehren auf den intermodalen Verkehr, vor allem in Hinblick auf Innovationen im kombinierten Verkehr bezüglich verschiedener technischer und betrieblicher Aspekte. Das in der Studie gewählte Vorgehen, lässt sich wie folgt beschreiben:

In der ersten Stufe wird das Marktpotenzial für Verlagerung auf den kombinierten Verkehr ermittelt. Dazu wurden Datensätze aus der GTE 2013 mit Transporten über 100 km auf Kantonebene aggregiert. Dabei bilden die 100 km die von den Autoren festgelegte Grenze, ab der der kombinierte Verkehr zum Strassengüterverkehr konkurrenzfähig ist. In Deutschland werden hier üblicherweise 300 km angenommen. Danach wurden auf Kantonebene die 10 stärksten Ströme für eine weitere Analyse herausgefiltert. Diese Ströme stellen für die Autoren das Potenzial für Verlagerung auf den kombinierten Verkehr dar. Als Ergebnis der Auswertung sind rund 15% des Aufkommens der Verkehre über 100 km Potenziale für den kombinierten Verkehr.

Im zweiten Schritt wurden Interviews bei Verladern und Logistikern durchgeführt. Ziel war die Herausarbeitung der Ursachen, warum diese potentiellen Verkehre nicht den kombinierten Verkehr nutzen. Als entscheidende Gründe ergaben sich:

- Transportkosten und –zeiten,
- Organisationsfragen, da die Transportorganisation mehrere Akteure umfasst,
- spezielle Anforderungen an Zeitlagen.

---

<sup>33</sup> Aktuell ist die Studie auf dem Internetauftritt der VSS noch nicht verfügbar.

In einem weiteren Schritt werden die Verlagerungspotentiale genauer auf ihre Eigenschaften hin untersucht. D.h. die Kosten werden detaillierter für den Vor-/Nachlauf, den Hauptlauf und den Umschlag betreffend aufgeschlüsselt, die Zeiten berechnet und der Vergleich mit dem reinen LW-Transport durchgeführt. Zusammen mit Einschätzungen zu Kostenverbesserungen bei der Implementierung diverser innovativer Massnahmen werden Abschätzungen zu Verlagerungen getätigt.

Hier wird eine typische Fragestellung aufgegriffen, die mit Hilfe von Daten aus einem Güterverkehrsmodell bearbeitet werden kann. Die Informationen zu den Güterströmen sind vergleichbar mit den Informationen, die die AMG derzeit bereitstellt, da mit der GTE dieselbe Datenquelle verwendet wird und keine anderen Informationen (z.B. Zeitlagen) in der Studie verwendet werden.

Das eigentliche angewandte Vorgehen - Aggregation auf Kantonebene und Betrachtung der 10 grössten Ströme - ist aber nicht geeignet, um in einem nationalen Modell Verlagerungseffekte zum kombinierten Verkehr flächendeckend abzubilden. Dazu sind auch folgende Aspekte zu nennen:

- Der gutachterliche Blick auf Einzelrelationen ist ein wesentliches Element der Arbeit. In einem nationalen Modell ist das so nicht durchführbar.
- Die Methode berechnet an sich explizit einen direkten Modalsplit, d.h. keine in Güterverkehrsmodellen übliche marginale Fortschreibung. Allerdings wird in Kapitel 5.1.3 der Studie erläutert, dass die Ergebnisse nur bei bestehenden Zug-Verbindungen valide sind, da eine Wirtschaftlichkeit eines Zuges allein aus den theoretischen Verlagerungspotenzialen nicht abgeleitet werden kann. Neben den Potenzialen müssen auch die Angebotsbedingungen, d.h. die Fahrplanlage der Züge auf die Nachfrage abgestimmt sein.

Die Anwendung der Methode, um die Alternativen LW und kombinierten Verkehr bezüglich der Zeiten und Kosten zu vergleichen und Modalsplitbetrachtungen daran anzuschliessen, erscheint ein zielführender Ansatz. Die vom Gutachter aufgeführten Kostenmodelle können dazu im Modell nachgebildet werden. Mit dem oben skizzierten und im Anhang genauer beschriebenen Verfahren, das im Verkehrsmodell TRIMODE der europäischen Kommission angewendet wird, ist das Verfahren technisch durchführbar. Dazu ist zu überlegen, wie das Zugangebot abgebildet und insbesondere bei der Annahme neuer Terminals das entsprechende Zugangebot konsistent erzeugt werden kann.

### 8.2.2 Möglichkeiten der Auswertung von Güterverkehrsdaten für intermodale Verkehre

In Kapitel 7.2.2 wird empfohlen, für ein Schweizerisches Güterverkehrsmodell einen eigenständigen „German Approach“ zur Erstellung einer empirischen Verflechtungsmatrix für den intermodalen Verkehr zu entwickeln. Diese Matrix wäre dann die Kalibrationsgrundlage für das intermodale Modell.

Wie schon aus der Betrachtung in Kapitel 8.1 (intensive Auswertung der empirischen Daten) gezeigt wird, liegen viele Detailinformationen für die einzelnen Verkehrsträger Bahn, Strasse und Wasserstrasse vor. Aus diesen Informationen lässt sich aus Sicht der Gutachter sehr gut eine intermodale Gütermatrix konstruieren. Folgende Verknüpfungen von Informationen müssen durchgeführt werden:

- Die Angaben zum Güterumschlag in der Hafenregion Basel / Weil sind mit den Angaben zum Güteraufkommen aus der Wagenverlaufsdatei sowie den Auswertungen aus der GTE abzugleichen. Werden die so gebildeten Ströme mit den Binnenschiffsverkehren über den Rhein aus der BVWP 2030 ergänzt, kann der intermodale Verkehr des Hafens gut abgebildet werden.
- Dieses gleiche Vorgehen wird für andere Terminalstandorte in der Schweiz für die Verknüpfung von Bahn- und Strassenverkehren genutzt. Dabei werden zunächst die Gateway-Verkehre, die also das Terminal als Knoten zur Umladung in Fern-Fern-Relationen nutzen, erzeugt. Darauf aufbauend wird dann der im Nah- und Regionalverkehr stattfindende Sammel- und Verteilverkehr mit dem LW durchgeführt. Basis dafür sind die Auswertungen aus der GTE. Die Ströme sind dann zum Einhalten von Konsistenzbedingungen durch synthetische Güterströme zu ergänzen.

Insgesamt wird aufgrund der Datenlage eine gute Chance gesehen, dass im Sinne des inzwischen sehr anerkannten „German Approach“ eine für die Schweiz eigenständige Konstruktion einer intermodalen Matrix gelingen wird. Damit wäre dann auch der Weg für die Implementierung eines intermodalen Moduls für das Güterverkehrsmodell möglich.

### 8.3 Bedeutende Warengruppen für die Abbildung logistischer Prozesse

Der Vorschlag, **spezielle Gutarten** – als Beispiel wird in diesem Konzeptbericht Rohöl und Schrott verwendet – aufgrund der nachvollziehbaren Distributions- und Transportlogistik gesondert zu betrachten, sollte weiter verfolgt werden und gegebenenfalls ergänzt werden, z. B. Zuckerrüben für Zuckerfabrik. Der Vorteil dieser Vorgehensweise wird darin gesehen, dass diese speziellen Güterbereiche insbesondere aus den Modellstufen Verteilung und Modal-Wahl herausgenommen und gesondert behandelt werden können. Dadurch kann sich

der Erklärungswert der Modelle für die restlichen Güterbereiche erhöhen, da nicht mehr die relativ fixierten logistischen Abläufe für diese Güter durch Modelle, die ein durchschnittliches Verhalten abbilden, (mit-) erklärt werden müssen. Dies gilt dann, wenn klare Informationen über die Distributions- und Transportlogistik für die Güterbereiche vorliegen. In Kapitel 11.5.3 wird aufgezeigt, dass sich eventuell die Gutarten „Schrott“ und „Rohöl“ eignen könnten, da die Aufkommenspunkte und Verteilwege weitgehend bekannt sind. So wird in der Regel Rohöl über Rohrleitungen zur Raffinerie geleitet. Die dort produzierten Produkte werden dann per Bahn oder LW auf Tanklager im Land verteilt. Aus diesen Tanklagern erfolgt dann die Feinverteilung zu den Verbrauchern. Es ist zu prüfen, ob diese Wege gesondert im Modell abgebildet werden können. Dazu ist auch zu prüfen, ob die Angaben, die dazu im NGVM vorliegen, genutzt werden können.

Für die genauere Identifizierung der Gütergruppen mit fixierten logistischen Abläufen können Zusatzauswertungen der GTE/GQGV und der Wagenverlaufsdatei für die Bahn dienen. Dazu sind Güterbereiche oder auch spezielle Güterströme eines Güterbereichs zu identifizieren, die sich auf bestimmte Relationen konzentrieren und keine breite Streuung aufweisen. Hinweise auf solche fixierten Abläufe gibt das Forschungspaket des UVEK/ASTRA „Strategien zum wesensgerechten Einsatz von Verkehrsmitteln im Güterverkehr der Schweiz“, Teilprojekt 2.

Es wird empfohlen, zu dieser Fragestellung erst einmal entsprechende Auswertungen durchzuführen, bevor entschieden wird, spezifische Güterbereiche im Güterverkehrsmodell gesondert zu behandeln.

#### **8.4 Nutzung der vorhandenen AMG zur weiteren Datenanalyse**

Die Motivation für diesen Vorschlag für eine dritte Variante lässt sich wie folgt beschreiben:

- Es wird in den bisherigen Ausführungen in diesem Bericht verschiedentlich darauf hingewiesen, dass das AMG-TM2 Modell ein brauchbares Instrument zur strategischen Güterverkehrsplanung darstellt.
- Das AMG-TM2 kann somit auch für andere perspektivische Arbeiten genutzt werden. Bei der AMG ist die Bedingung erfüllt, dass es umfassend die vorhandene Transportstatistik des BFS – GTE, GQGV und Lieferwagenerhebung – nutzt. Es ist inzwischen ein Modul integriert worden, welches das Einlesen und die Verwendung der neuen Erhebungen zum Güterverkehr mit schweren LW gestattet. D.h., das AMG-TM2 ermöglicht die Verwendung aktueller und neuer Informationen.
- Weiterhin ist die Wagenverlaufsdatei des SBB in das Tool integriert, so dass auch Aussagen und Prognosen für den Schienengüterverkehr möglich sind.

- Schliesslich ist der Hafen Basel als singulärer Verkehrserzeuger definiert, so dass die von dort ausgehenden oder dort endenden Transporte erfasst werden können.
- Es gibt die Möglichkeit, singuläre Verkehrserzeuger und deren Wirkung auf die Verkehrsinfrastruktur zu untersuchen.

Insgesamt ermöglicht die AMG schon jetzt einen flexiblen Einsatz für diverse Fragestellungen zur aktuellen und zukünftigen Güterverkehrsstruktur. Allerdings wurde schon während der Projektarbeiten zur AMG festgestellt, dass die Aussagekraft der statistischen Erhebungen zum Güterverkehr noch nicht genauer untersucht ist. Damit ist aber auch die Qualität der AMG-Ergebnisse nicht vollständig ermittelt. An dieser Stelle können Analysen und Auswertungen der GTE, GQGV, der Wagenverlaufsdatei und der Lieferwagenverkehre die Einsatzmöglichkeiten des AMG-TM2 verbessern.

Beispielhaft seien einige Auswertungen und Analysen der Statistik genannt.

- Die AMG liefert einige Hilfsmittel zur Analyse der verwendeten Daten. Diese können genutzt werden, um erste Analysen durchzuführen. Als Auswertemöglichkeiten sind zu nennen:
  - Die eingelesene GTE und GQGV werden auf MS-Regionen und Güterbereiche aggregiert und als Tabelle im AMG-Tool für jeden Jahrgang getrennt abgelegt. Hier können für jedes Jahr die Güterstrukturen sowie die Entwicklung der Struktur der Güterverkehre in den verschiedenen Jahren analysiert werden.
  - Es können die auf Kantone aggregierten Randsummen für jedes Verkehrssegment, getrennt nach Hauptverkehrsbeziehungen ausgegeben werden. Diese Auswertung lässt sich auch für jedes Erhebungsjahr getrennt durchführen, so dass damit Struktur- und Zeitreiheninformationen über die Erhebungen vorliegen.
  - Mit „MatrixView“ lassen sich die Güterverkehrsverflechtungen zwischen Kantonen auswerten, getrennt für jeden der 10 aus den NST2007 aggregierten Güterbereiche und die Summe sowie die Hauptverkehrsbeziehungen. Damit ist eine recht umfassende Information über die Güterverflechtungen in der Schweiz gegeben.
  - Alle Güterverflechtungen zwischen den 271 AMG-Regionen, unterteilt nach Güterbereichen, sind als Tabellen abgelegt und können analysiert werden.
  - Die Randsummen für die AMG-Regionen, unterteilt nach Hauptverkehrsbeziehungen, können ausgegeben und analysiert werden.
  - Schliesslich wird beim Einlesen der GTE und GQGV ausgegeben, wie die Feldbesetzung der erzeugten Güterverkehrsmatrix ausfällt. Damit lassen sich Schlüs-

se auf die Repräsentativität der Erhebungsdaten für die Nutzung als Verflechtungsmatrix geben.

Insgesamt bietet somit das AMG-TM2 einige Möglichkeiten, mit den verwendeten Daten weiter zu arbeiten und die Daten zu analysieren. Aber auch bei der Betrachtung der GTE, GQGV, Lieferwagendatei und Wagenladungsdatei als Inputgrößen lassen sich Verbesserungen und eigenständige Analysen durchführen, die das AMG-Ergebnis verbessern können.

### **8.5 Handlungsempfehlungen zur Nutzung empirischer Daten**

Es wird in diesem Kapitel aufgezeigt, dass für die empirischen Daten zum Güterverkehr weitere Auswertemöglichkeiten gesehen werden, um die in den Erhebungen vorhandenen Informationen vollständig zu nutzen. Diese Auswertungen haben einen eigenen Stellenwert, da sie zum besseren Verständnis der Güterverkehrsnachfragestrukturen in der Schweiz beitragen. Gleichzeitig dienen diese ergänzenden Auswertungen aber auch der Vorbereitung, besseren Spezifizierung oder Ergänzung der Güterverkehrsmodellierung für die Schweiz. Mögliche Untersuchungen sind:

- Untersuchung der Daten der Wagenverlaufsdatei und der GTE/GQGV im Hinblick auf spezifische Merkmale des Güterverkehrs und der Logistik: z. B. dominierende Gutarten, deren Quell- und Zielaufkommen, deren Fahrtlängen, verwendete Transportmittel, etc.
- Konkretisierung des „German Approach“ auf der Grundlage der empirischen Daten der Wagenverlaufsdatei und der GTE bzw. der GQGV.
- Detailliertere Untersuchungen der GTE/GQGV zur Identifizierung von möglichen Verlagerungspotenzialen auf die Schiene.
- Aufbereitung von Inputdaten und Validierungsgrundlagen für die Aktualisierung und Ergänzung der bestehenden AMG-TM2.
- Möglichkeiten der besseren Abbildung des Wagenladungsverkehrs.
- Vertiefende Untersuchungen von Warengruppen für die Abbildung logistischer Prozesse.
- Umlegungsrechnungen der Fahrzeugströme der GTE/GQGV auf das bestehende Strassennetz des NPVM und ein Vergleich mit den verfügbaren Zählenden, um dadurch die Qualität der empirischen Daten zu prüfen.

Diese Untersuchungen können sich sowohl auf ein Jahr, oder auf mehrere Jahre von empirischen Daten beziehen, um zum Beispiel zeitliche Veränderungen oder jährliche Schwankungen zu erkennen.

Es erscheint sinnvoll, die Untersuchungen zu den empirischen Daten vor oder parallel zu einer grundlegenden Überarbeitung der AMG durchzuführen, da dadurch weitere Erkenntnisse zu dessen Ausgestaltung erarbeitet werden können.

## 9 Strategie zur Weiterentwicklung der Güterverkehrsmodellierung in der Schweiz

In der vorgelegten Studie wird ein Konzept für die Weiterentwicklung der Güterverkehrsmodellierung in der Schweiz mit besonderer Betrachtung logistischer Prozesse erarbeitet. Dazu wird zunächst genauer eingegrenzt, welche Bereiche Güterverkehrsmodelle abdecken können und sollen und wie sich die Anforderungen an Güterverkehrsmodelle darstellen. Es wird dann ein allgemeiner Analyserahmen formuliert, um das Thema systematisch abhandeln zu können und es werden Besonderheiten aufgezeigt, die bei der Modellierung des Güterverkehrs zu beachten sind. Aufbauend auf diesen Zwischenergebnissen werden dann die beiden existierenden Güterverkehrsmodelle für die Schweiz dargestellt und es wird im Vergleich zu den Anforderungen eine Defizitanalyse durchgeführt. Als wichtiges Zwischenergebnis wird festgestellt, dass das Konzept auf die Abbildung der Transportlogistik fokussiert ist und dabei die Verbesserung der AMG ein Schwerpunkt der weiteren Strategie der Güterverkehrsmodellierung darstellen wird. Es wird vorgeschlagen, das NGVM nicht mehr an aktuelle Daten anzupassen, gleichwohl aber sollten die detaillierten Analysen und Modelldetails des NGVM dort, wo Detailinformationen über Warenflüsse benötigt werden, weiter genutzt werden.

Um ein Konzept für die Weiterentwicklung der Güterverkehrsmodellierung ableiten zu können, werden zunächst die vorhandenen Datengrundlagen betrachtet und eine geeignete Segmentierung der Güterverkehrsnachfrage wird diskutiert. Es werden dann drei Vorschlagsvarianten erarbeitet, die zu einer effizienten Weiterentwicklung der Güterverkehrsmodellierung in der Schweiz beitragen können:

Variante I: Verbesserung der AMG-TM2

Variante II: Integration von logistischen Elementen

Variante III: Tiefergehende Auswertung empirischer Daten.

Diese Varianten sind nicht als Alternativen zu sehen, sondern können sich bei Bedarf sinnvoll ergänzen. So kann die intensivere Auswertung der empirischen Daten als Vorbereitung für die Umsetzung der Varianten I und II gesehen werden. Auch können nur Teile der Varianten umgesetzt werden, um eine Verbesserung zu erreichen oder es können Teile einer Variante ergänzend in einer anderen Variante umgesetzt werden. Das Konzept liefert somit zunächst klare Vorschläge für generelle Varianten und innerhalb der Varianten Beispiele für einzelne Verbesserungen. Diese Module können dann aber in Form eines Baukastensystems flexibel kombiniert werden.

Für die Umsetzung wird folgende Strategie sowie Hierarchie vorgeschlagen:

### **Kurzfristige Massnahmen**

Kurzfristig – d.h. sofort - können die Vorschläge der Variante III angegangen werden, also das intensivere Auswerten der vorhandenen Daten.

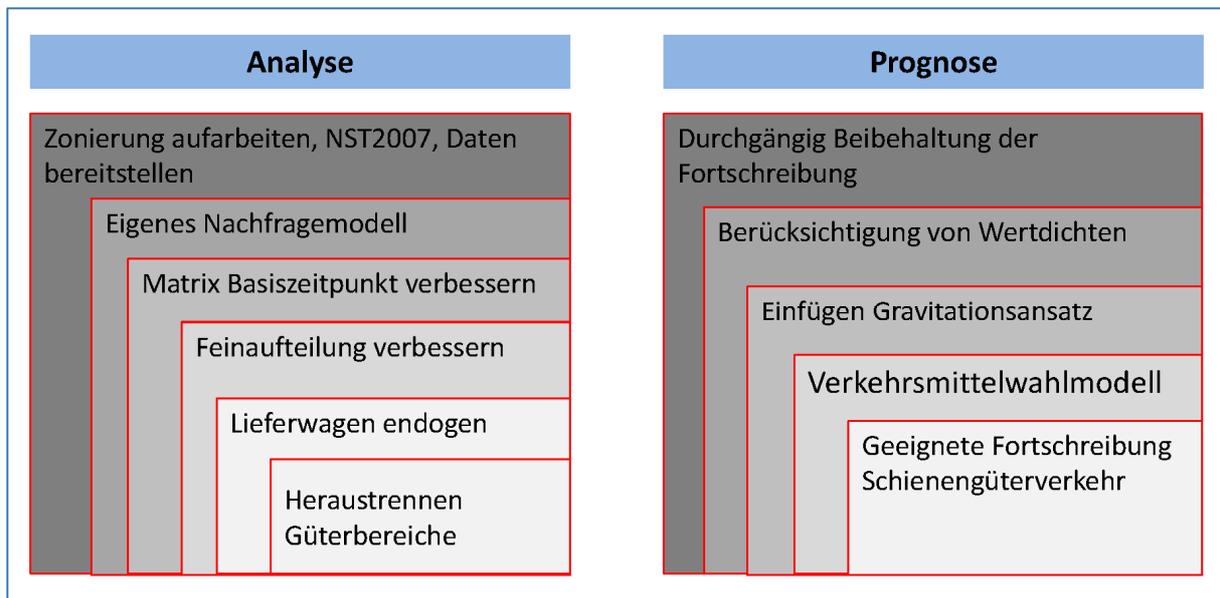
- Sofort kann ohne grossen Kostenaufwand mit der Nutzung der Auswertemöglichkeiten der AMG-TM2 begonnen werden. Hier lassen sich deskriptive Analysen der vorhandenen Daten durchführen.
- In einem nächsten Schritt sind die vorhandenen Daten, so wie in Variante III vorgeschlagen, intensiver zu analysieren. Dabei hat das Pooling der GTE-Daten einen besonderen Stellenwert, da aus den Ergebnissen Entscheidungen für eine Weiterentwicklung der AMG abgeleitet werden können.
- Ein Forschungsvorhaben zur Analyse spezifischer Warengruppen, die im Modell gesondert behandelt werden könnten, könnte sinnvoll sein. Falls sich hierbei gesonderte Warengruppen identifizieren lassen, können diese Erkenntnisse in ein neues Güterverkehrsmodell integriert werden.
- Die in Variante III vorgeschlagene Behandlung intermodaler Transporte über die Anwendung des „German Approach“ wird aufgrund der vergleichsweise höheren Aufwände eher als mittelfristige Massnahme gesehen, um die Berücksichtigung der Logistik bei der Modellierung zu unterstützen.
- Als kurzfristige Massnahme werden auch die Arbeiten zur Festlegung der Segmentierung und der Zonierung gesehen. Dies ist einmal als Vorbereitung für die Weiterentwicklung der Güterverkehrsmodellierung zu sehen, andererseits aber auch als Input für die anstehende Entwicklung des Personenverkehrsmodells. Beide Modelle sollten kompatibel sein. Die neue Segmentierung könnte in die bestehende AMG eingefügt werden, so dass – auch ohne sonstige Weiterentwicklungen – eine Gesamtverkehrsplanung möglich ist – wenn auch mit den aufgelisteten Defiziten in der Güterverkehrsmodellierung.

### **Mittelfristige Massnahmen**

Mittelfristig erscheint die Planung und Vorbereitung für die Umsetzung der Variante I – Verbesserung der AMG – sinnvoll. Dabei müssen nicht alle Verbesserungsvorschläge gleichzeitig angegangen werden. Die Hierarchie für die Umsetzung wurde schon im Kapitel 6 aufgezeigt und ist in der nachfolgenden Abbildung nochmals dargestellt.

Es wird dabei zwischen Massnahmen für die Analyse und Prognose unterschieden. Es sollten dabei zunächst die Massnahmen für die Analyse, also die Bereitstellung des Modells und Kalibrierung an Ist-Werten, durchgeführt werden, bevor die Prognosemassnahmen ange-

gangen werden. Für die Modellaufstellung sollten die unter kurzfristigen Massnahmen genannten Arbeiten zur Segmentierung und Verkehrszelleneinteilung schon fertig gestellt sein.



**Abbildung 9-1: Hierarchie für die Umsetzung von Variante I**

### **Begleitende und ergänzende Massnahmen**

Alle Massnahmen, die zur Berücksichtigung der Logistik in Güterverkehrsmodellen in der Variante II aufgeführt sind, sind als begleitende und ergänzende Massnahmen anzusehen. Das betrifft auch die Berücksichtigung von intermodalen Verkehren. Dieses Verfahren kann in das AMG-TM2 integriert werden, erfordert aber eine grössere Umstrukturierung des Tools. Als Vorbereitung für diese Entscheidung, die intermodalen Verkehre im Modell zu behandeln, ist die Massnahme „Vorbereitung der Modellierung intermodaler Verkehre“ aus Variante III umzusetzen. Denn das Ergebnis dieser Massnahme entscheidet über die Umsetzbarkeit der intermodalen Logistik im Modell.

Demgegenüber kann der Punkt „Verfeinerung LW-Modell“ unabhängig davon angegangen werden und direkt in das AMG-TM2 eingebaut werden.

Schliesslich ist als begleitende Massnahme noch das Forschungsprojekt zur Eignung der ADA-Methode zu nennen. Hierbei werden Elemente der AMG und des NGVM gemeinsam genutzt. Die Umsetzung der ADA-Methode erfordert aber eine grundlegende Umänderung der AMG-TM2, so dass dies in Abhängigkeit vom Ergebnis der Studie eine grundlegende strategische Entscheidung zur Güterverkehrsmodellierung darstellt.

Insgesamt wird somit mit dem hier vorgelegten Konzept für eine Weiterentwicklung der Güterverkehrsmodellierung in der Schweiz eine Vorgehensweise vorgeschlagen, die flexibel und in einzelnen Schritten zu einer Verbesserung der Modellierungsgrundlagen der Verkehrsnachfrage beitragen kann. Es wird eine kurz- und mittelfristige Strategie vorgeschlagen, so dass die Einzelmaßnahmen in laufende Aufgaben der Verkehrsmodellierung eingefügt werden können.

## 10 Literatur

Bundesamt für Raumentwicklung (2014): Verkehrsmodell im UVEK: Evaluierung der nationalen Güterverkehrsmodellierung

Bundesamt für Raumentwicklung (2016): Verkehrsperspektiven des Schweizerischen Personen- und Güterverkehrs bis 2040

Bundesamt für Strassen (2017): Innovationen im intermodalen Verkehr

Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen: Kleinräumige Wirtschaftsverkehrsmodelle, Forschungsbericht FE-NR 70.0689/2002

BVU, ITP, IVV, Planco: Verkehrsverflechtungsprognose 2030 - Ergänzender Bericht zur Methodik, Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 21. November 2014

Eidgenössischen Zollverwaltung, Internetauftritt

Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz von Verkehrsmitteln im Güterverkehr der Schweiz TP A: Konzept zur Erfassung und Analyse der Güterverkehrsdaten, November 2013, verfügbar unter <http://www.mobilityplatform.ch>

Friedrich, H.: 'Modelling freight transport demand in food retailing'. University of Karlsruhe, Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung (IWW), Dissertation, (2009)

Leerkamp, Bert u.a.: QUALIMOD – Qualitätsanforderungen und –standards für Verkehrsmodellrechnungen, Bochum 2010

D. Lohse: Ermittlung von Verkehrsströmen mit n-linearen Gleichungssystemen unter Beachtung von Nebenbedingungen einschliesslich Parameterschätzungen, Dresden 1977

Moshe Ben-Akiva u.a. (Hrsg.): Recent Developments in Transport Modelling; Lessons for the Freight Sector, 2008

Tavasszy, L.A., Smeenk, B., Ruijgrok, C.J. : A DSS for Modelling logistic chains in freight transport systems analysis, in : International Transactions on Operations Research 50(6), 1998, pp 447-459

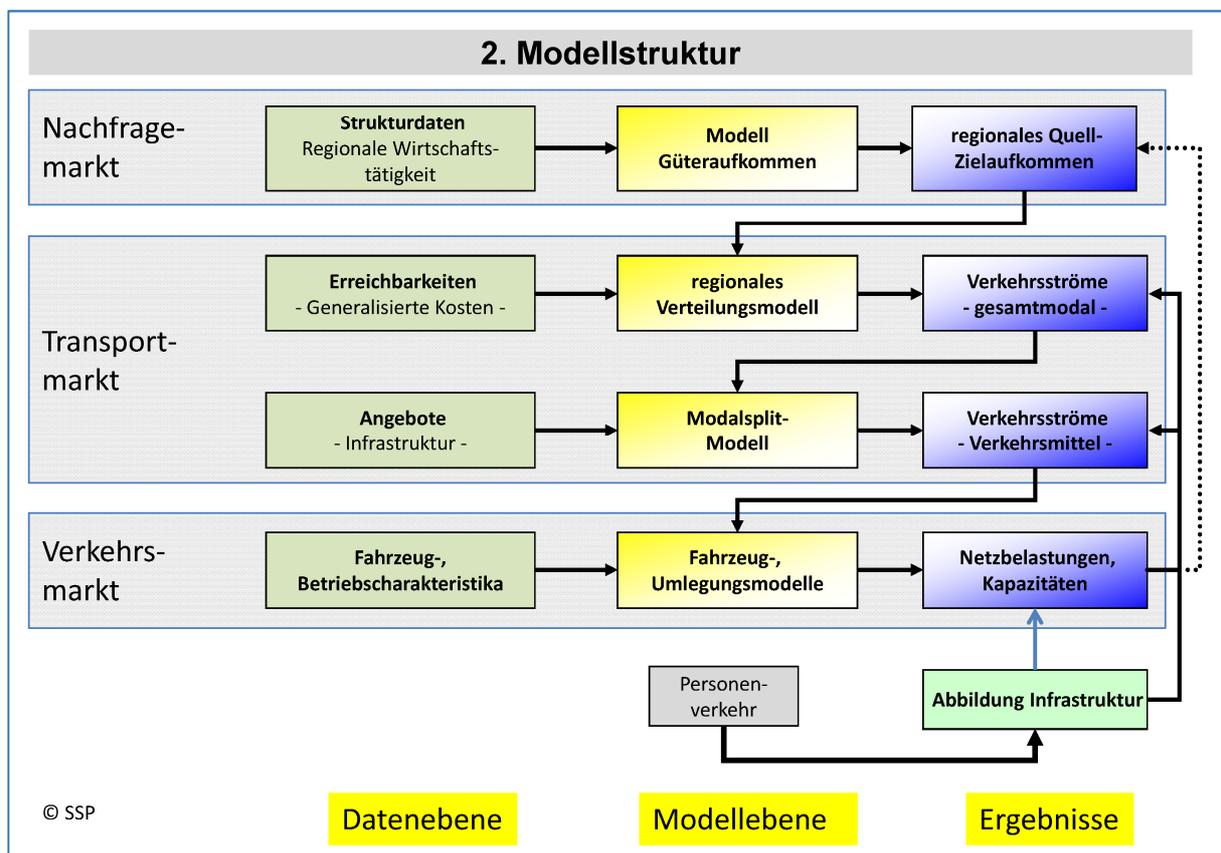
Walter,C.: Transportketten im intermodalen Güterverkehr 2003 - verfügbar unter [https://www.destatis.de/DE/Publikationen/WirtschaftStatistik/Verkehr/VerkehrTransportkette\\_92005.pdf](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/WirtschaftStatistik/Verkehr/VerkehrTransportkette_92005.pdf)

Destatis: Fachserie 8 Reihe 1.3 Kombiniertes Verkehr, 2016 – verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/TransportVerkehr/Querschnitt/KombinierterVerkehr2080130147004.pdf>

# 11 Anhänge:

## 11.1 Grundstruktur der Modelle für die drei Teilmärkte des Transportsystems

Die betrachteten drei Teilmärkte eines Transportsystems werden im Güterverkehrsmodell durch entsprechende Teilmodelle abgebildet und repräsentiert. Diesen Zusammenhang zeigt die folgende Abbildung. Dabei symbolisieren die Kästchen der ersten Spalte die Datenebene, die der zweiten Spalte die Modellebene und die der dritten Spalte Zwischen- und Endergebnisse. Die hellgrau hinterlegten Bereiche kennzeichnen die Daten, Modelle und Ergebnisse der drei Marktsegmente Nachfrage-, Transport- und Verkehrsmarkt. Verknüpft sind die Daten und Modelle durch funktionale Zusammenhänge und Modellparameter sowie die Teilmodelle der drei Märkte durch entsprechende Datenschnittstellen.



**Abbildung 11-1: Struktur des Güterverkehrsmodells**

Diese Struktur eines Güterverkehrsmodells findet sich bei jedem Modelltyp: Bei Makro- und Mikromodellen, bei Strom-, Fahrzeug- oder Tourenmodellen. Letztlich weisen auch agentenbasierte Modelle diese generelle Modellstruktur auf. Allerdings sind die einzelnen Module je

nach Modelltyp anders ausgestaltet oder etwas anders verknüpft. Insofern ist es für die Konzeptentwicklung sinnvoll, die grundlegenden Module und Bausteine von Güterverkehrsmodellen darzustellen. Diese Module und Bausteine werden später genutzt, um daraus ein geeignetes Konzept für ein Güterverkehrsmodell für die Schweiz zu entwickeln.

### 11.1.1 Modellstruktur für den Nachfragemarkt

Steuer- und Inputgrößen für die regionale Güterverkehrsnachfrage sind Strukturdaten, welche die regionale Wirtschaftstätigkeit wiedergeben.<sup>34</sup> Es werden hier regionalisierte Aufkommensmodelle betrachtet, welche die verkehrszellenspezifischen Transportaufkommen für ein zugrundeliegendes Verkehrszellensystem schätzen. Ein Aufkommensmodell zur Schätzung der regionalen Verkehrsnachfrage ist in der Regel segmentiert nach Gutarten und unterscheidet Quell- und Zielverkehre. Eine **Unterscheidung nach Gutarten** ist erforderlich, da je Gutart die Transportvorgänge sehr unterschiedlich sein können. So werden Rohöltransporte über definierte Wege zur Raffinerie transportiert, während hochwertige Konsumgüter in Stückgutnetzwerken und städtischer Feinverteilung den Verbraucher erreichen. Die **Quellverkehre** eines Gutes in einer Region gehen in der Regel aus der regionalen Produktion dieses Gutes hervor, während regionale **Zielverkehre** von den in der Region ansässigen Verbrauchern abhängen. Diese Zusammenhänge sollten in den Aufkommensmodellen annähernd abgebildet werden. Eine Konkretisierung der Modelle erfolgt durch die Festlegung der funktionalen Verknüpfung zwischen exogenen Strukturdaten und den endogenen Transportaufkommen. Mit Hilfe von statistischen Verfahren – z.B. Regression – werden die a priori unbekanntes Aufkommensparameter geschätzt bzw. aufgrund empirischer Strukturdaten berechnet.

Auf dem Nachfragemarkt entstehen die Transportbedürfnisse mit räumlichen und zeitlichen Anforderungen. Um diesen Markt mit Hilfe von Modellen beschreiben zu können, sind folgende Punkte zu berücksichtigen:

- Es muss eine geeignete **Verkehrszelleneinteilung** vorgenommen werden, um Verkehrsströme zwischen diesen Zellen abbilden zu können. Die Festlegung des Verkehrszellensystems hat Einfluss auf alle anderen Daten und Modelle. Die Hauptverkehrsbeziehungen sind zu unterscheiden.
- **Strukturdaten** als wichtige Treiber der Güterverkehrsnachfrage sind exogen vorzugeben.
- Struktur- und Verhaltensparameter sowie technische/ökonomische **Parameter** sind geeignet vorzugeben bzw. aus statistischen Daten zu schätzen, um die Wirtschaftsak-

<sup>34</sup> Bei Mikromodellen sind es im Extremfall Individuen oder einzelne Firmen, die mit entsprechenden Verhaltens- und Aufkommensparametern ausgestattet sind.

tivitäten in Gütertransporte umformen zu können. Die verschiedenen Akteure am Transportmarkt sollten durch spezifische Parametersätze repräsentiert sein durch die Bildung von homogenen Entscheidungsgruppen.

- Eine geeignete **Segmentierung** der Nachfragegrößen ist vorzunehmen. Die Unterscheidung der Nachfrage nach Verkehrsarten (Import, Export, Transit und Binnenverkehr) ist für eine konsistente Modellbildung angebracht.
- Bei Zeitreihenbetrachtungen bzw. Prognosen der Transportaufkommen sind die Veränderungen der **Wertdichten** der einzelnen Güter zwingend erforderlich.
- Es muss eine Entscheidung getroffen werden, ob mit Hilfe des Güterverkehrsmodells eine direkte Schätzung oder eine **Fortschreibung** der Güterverkehrsnachfrage erfolgen soll.

### 11.1.2 Modellstrukturen für den Transportmarkt

Für die Abbildung des Transportmarktes werden zwei Modellstufen benötigt: Modelle zur Verteilung der Transportaufkommen aus der ersten Stufe und Verkehrsmittelwahlmodelle, bei denen die gesamtmodalen Transportströme auf Verkehrsmittelalternativen aufgeteilt werden. Beide Stufen hängen eng zusammen, so dass in manchen Modellansätzen eine gemeinsame Ziel- und Verkehrsmittelwahl modelliert wird. Im NGVM wird als weitere – hier nicht dargestellte – Zwischenebene die Wahl der logistischen Systeme berücksichtigt, indem die Warenarten spezifischen logistischen Systemen zugeordnet werden. Die Zielwahl wird im Güterverkehr oft durch zwingende Lieferbeziehungen bestimmt, z.B. die Anlieferung von Vorprodukten für einen Produktionsprozess. Für viele dieser Lieferbeziehungen gibt es mittel- bis längerfristige Lieferverträge zwischen Produzenten und Nachfragern, was zu relativ stabilen Strukturen der Güterverkehrsnachfrage führt. Aufgrund der Stabilität der Beziehungen eignet sich in der Regel eine **sequentielle Betrachtung**, bei der zunächst die Ziel-, dann die Verkehrsmittelwahl modelliert wird. Eine simultane Berechnung unterstellt eine sich in Abhängigkeit der Erreichbarkeiten stets ändernde Zielwahl beim Güterverkehr, die so in der Realität selten beobachtet wird. Allerdings kann langfristig eine schlechte und teure Erreichbarkeit eines Ziels zu veränderten Lieferbeziehungen führen. Beobachtbar sind Fälle, in denen sich Zulieferbetriebe in der Nähe des Kunden ansiedeln, um die Erreichbarkeit zu verbessern. Es gibt aber auch einen grossen „Spotmarkt“, auf dem kurzfristig anfallende Transportdienstleistungen vereinbart werden. Aber auch hier spielt zunächst das Transportbedürfnis und dann die Erreichbarkeit eine Rolle. Somit kann auch hier angenommen werden, dass die Entscheidung Zielwahl und Verkehrsmittelwahl sequentiell erfolgt.

Diesen Strukturen wird in den Modellen auch Rechnung getragen. Für die Zielwahl werden in der Regel Modelle vom Typ „Gravitationsmodelle“ eingesetzt, in die

- die generelle Erreichbarkeit zwischen Verkehrszellen (generalisierte Kosten);
- die Quell- und Zielaufkommen der Verkehrszellen;
- eine Vorgabe von Widerstandsfunktionen für die verschiedenen Aufwände (Zeit, Kosten etc.) und Entfernungsverteilungen;
- die Verkehrsströme;

eingehen. In den *generalisierten Kosten* sind dabei die einzelnen Angebotseigenschaften der Verkehrsmittel enthalten, die z.B. über ein Verkehrsmittelwahlmodell geeignet zu einem „generalisierten“ Transportwiderstand für jede Relation zusammengefasst werden. Als endogene Quell- und Zielaufkommen je Verkehrszelle gehen für die Parameterschätzung des Modells die Werte aus der amtlichen Statistik ein. Wird das Modell nun als Fortschreibungsmodell eingesetzt, so sind beide Aspekte enthalten: Durch die Fortschreibung bestehender Transportstrukturen bleiben bestehende Lieferbeziehungen erhalten. Längerfristig spielen aber in den einzelnen Verkehrszellen die Veränderungen der Produktions- und Lieferstruktur eine zunehmende Rolle und können „traditionelle“ Lieferverkehre überlagern. Diese neuen Strukturen ergeben sich aus dem Aufkommensmodell, dessen Ergebnisse unmittelbar in die Verteilungsrechnung eingehen. Weiterhin werden die sich ändernden Transportwiderstände im Verteilungsmodell berücksichtigt, die ebenfalls zu einer allmählichen Veränderung der Lieferbeziehungen führen können.

Insgesamt hat die sequentielle Abfolge von Verteilung und Verkehrsmittelwahl durchaus Vorteile für die realistische Schätzung der Güterverkehrsverteilung. Die Fortschreibungstechnik ermöglicht es, den Bezug zu beobachtbaren Transportstrukturen herzustellen. Die konsistente Verbindung zur Verkehrsmittelwahl wird hergestellt, indem die Transportwiderstände (generalisierte Kosten) unmittelbar aus einem Verkehrsmittelwahlmodell, das in der Folgestufe genutzt wird, abgeleitet werden. Schliesslich könnten auch noch Iterationsschleifen vorgesehen werden, indem Verteilung und Verkehrsmittelwahl sequentiell zweimal durchlaufen werden: Die Verteilung erzeugt Güterströme, die die Verkehrsinfrastruktur in bestimmter Weise belasten. Darauf setzt die Verkehrsmittelwahl auf, wodurch neue initiale Widerstände erzeugt werden, die wiederum in einer Rückkopplungsschleife in die Verteilungsrechnung eingehen. Der Prozess wird dabei mit der Fortschreibungsmethode durchgeführt, um den Bezug zu beobachteten Transportstrukturen zu erhalten. Der Vorteil dieser Vorgehensweise ist es, dass auch bei grossen Datensätzen die Schätzungen für einzelne Relationen – zum Beispiel bei der Fehlersuche oder Qualitätskontrolle - nachvollzogen werden können. Die Transparenz der Modellergebnisse verbessert sich.

Wie schon erwähnt wurde, werden in der Regel Logit-Modelle für die Verkehrsmittelwahl eingesetzt. Hierbei werden alle relevanten Verkehrsmittel und ihre Angebotseigenschaften

im Zusammenhang betrachtet. Die Modelle werden für jede Relation eingesetzt, so dass sehr differenzierte Ergebnisse betrachtet werden können. Das setzt aber voraus, dass entsprechende Daten für jede Relation vorliegen. Eine Segmentierung der Verkehrsmittelwahl in möglichst ähnliche Logistikgruppen ist sinnvoll, da z.B. die Einflussgrößen für die Wahl des Verkehrsmittels bei Massengüter anders gewichtet werden (eher kostenelastisch) als bei hochwertigen Gütern (eher zeitelastisch, Zuverlässigkeit). Durch eine entsprechende Segmentierung lassen sich erfahrungsgemäss deutlich bessere Modellergebnisse erzielen. Im NGVM dient die starke Segmentierung der Warengruppen z.B. der Abbildung unterschiedlicher Zeitkostenansätze. In der AMG wird die Segmentierung zur Berücksichtigung von logistischen Klassen für Transportvorgänge vorgenommen.

Für die Modellschätzung werden Beobachtungswerte für Transporte mit allen Eigenschaften für alle auf einer Relation konkurrierenden Verkehrsmittel benötigt. Da ein beobachteter Transport in der Regel nur mit einer Verkehrsmittelkombination durchgeführt wird, müssen die konkurrierenden Transportmöglichkeiten mit allen Eigenschaften durchgespielt und im Datensatz ergänzt werden.<sup>35</sup>

Spezifische Besonderheiten sind bei der Modellierung der Verkehrsmittelwahl im Güterverkehr zu berücksichtigen. Oft gehören Verkehrsmittelalternativen zu einem Marktsegment, obwohl sie sich in der logistischen Abwicklung unterscheiden. Beispiel sind die Betriebsformen der Bahn: Ganzzugverkehr, kombinierter Verkehr (KV) sowie der Einzelwagenlauf mit der Bahn. Alle Betriebsformen werden mit dem Transportmittel „Bahn“ transportiert, haben aber teilweise andere logistische und betriebliche Bedingungen und andere Angebotseigenschaften. Erschwerend kommt hinzu, dass der KV als Einzelwagen oder in Wagengruppen teilweise im Einzelwagenlauf mitläuft. Im Modell lassen sich solche Probleme elegant durch sogenannte „Nested-Logit Modelle“ lösen, indem aus einer einstufigen Entscheidung eine mehrstufige Entscheidung modelliert wird: erst wird die Entscheidung für oder gegen die Bahn als Transportmittel gefällt. Wird die Bahn ausgewählt, erfolgt in der nächsten Entscheidungsstufe die Auswahl der geeigneten Betriebsform. Ein anderer Ansatz besteht darin, dass die Verkehrsmittelwahl direkt aus der Umlegungsrechnung in intermodalen Netzen erzeugt wird. Hierbei sucht sich quasi ein Transport den günstigsten Weg in Netzmodellen, in denen die Eigenschaften der Transportmittelalternativen hinterlegt sind und bei denen die transportträgerspezifischen Netze über spezielle Knotenpunkte - Terminals – miteinander verbunden sind (siehe Kapitel 11.4).

---

<sup>35</sup> Bei Befragungen von Unternehmen wird dabei zunächst der tatsächlich durchgeführte Transport in allen Einzelheiten erfasst. Dann wird gefragt, ob es zur beobachteten Verkehrsmittelkombination auch Alternativen gäbe. Wenn ja, werden die Eigenschaften für die Alternativen möglichst realistisch konstruiert. Damit wird dann ein vollständiger Datensatz zur Schätzung des Verkehrsmittelwahlmodells erzeugt.

Der Transportmarkt, auf dem die Angebotseigenschaften der Verkehrsmittel festgelegt werden, wird durch Modelle zur Verteilung und Verkehrsmittelwahl der Transportaufkommen abgebildet. Dazu sind folgende Punkte zu beachten:

- Es ist im Güterverkehr angebracht, diese Modellstufen sequenziell einzusetzen, wobei durch eine Iterationsschleife eine **Rückkopplung** zwischen Verkehrsmittelwahl und Zielwahl vorgesehen werden kann.
- Zum Einsatz kommen in der Regel so genannte „**Gravitationsmodelle**“, in denen die Zielwahl durch relationsspezifische Transportwiderstände in Form von generalisierten Kosten abgebildet wird. Die generalisierten Kosten lassen sich z.B. aus den Funktionen der Modalsplit-Modelle bestimmen, indem die mit den Reaktionsparametern des Modal-Split Modells gewichteten Eigenschaften (z.B. Transportkosten, -zeiten) addiert werden. Damit wird eine Konsistenz der beiden Modellstufen „Verteilung“ und „Modal-Split“ hergestellt.
- Für die Verkehrsmittelwahl haben sich Logit-Modelle bewährt, wobei die Variante der „**Nested Logit-Modelle**“ zur Differenzierung der Verkehrsmittelwahl Vorteile bietet.
- Für die Aufkommensschätzung und die Verkehrsmittelwahl sollten geeignete Segmentierungen nach homogenen Gütergruppen (im Sinne der logistischen Abwicklung) vorgenommen werden, um die Modellergebnisse realistischer zu gestalten.

Diese Vorgehensweise zur Modellierung des Transportmarktes ist zur Zeit der etablierte Standard, wenn ein Modell statistische Transportdaten reproduzieren soll. Es wird empfohlen, diesen Standard für das GV-Modell der Schweiz so anzuwenden. In Teilbereichen lassen sich dabei durchaus Verbesserungen einführen:

- So kann durch neuere Modal-Split Modelle, die mit neuen Entscheidungsvariablen angereichert sind (z.B. Zuverlässigkeit), die Abbildungsgenauigkeit auch für die Verteilungsrechnung verbessert werden. Voraussetzung dafür ist aber das Vorhandensein einer empirischen Basis.
- Durch differenzierte Kosten- und Zeitmodelle lassen sich diese Entscheidungsvariablen realistisch abschätzen – z.B. durch relationsspezifische Berücksichtigung von Lenk- und Ruhezeiten statt der Verwendung von Durchschnittsgeschwindigkeiten.
- Werden intermodale Netzmodelle genutzt, können auch die Eigenschaften von Kombinationen der Verkehrsmittel abgebildet werden, was zu einer Verbesserung der Abbildungsgenauigkeit führt.
- Weiterhin stellt die Differenziertheit der Verkehrszellen und der Netzmodelle sowie der Anbindungen ein Verbesserungspotenzial dar.

- Schliesslich sind die Verkehrsmodelle zu nennen, die für den kleinräumigen Wirtschaftsverkehr eingesetzt werden und tourenbasiert die Fahrzeugströme bestimmen. Auch diese neue Technik führt dazu, dass die Abbildungsgenauigkeit des Gesamtmodells verbessert wird.

Bei der Modellerstellung ist im Einzelnen zu prüfen, ob die Voraussetzungen für solche Verbesserungen des Modells in Form einer genügenden Datenverfügbarkeit vorhanden sind.

### 11.1.3 Modelle für den Verkehrsmarkt

Auf dem Verkehrsmarkt treffen sich alle realisierten Transportangebote des Güter- wie auch des Personenverkehrs. Ein wichtiges Instrument zur Analyse und Prognose der Situation auf dem Verkehrsmarkt sind Netzmodelle für die Verkehrsträger. Auf diese werden die Verkehrsströme, die sich auf dem Transportmarkt herausgebildet haben, mit Hilfe von Routensuchverfahren umgelegt. Das Ergebnis dieser Umlegungen wird bestimmt durch die geeignete Ausgestaltung der Netzmodelle sowie die Auswahl des Umlegungsverfahrens.

Folgende Punkte sind dabei bei der Modellierung der Netzmodelle zu berücksichtigen:

- Die **Netzmodelle** sind als Knoten-Kanten Modelle zu codieren. Der Auflösungsgrad der Netzmodelle hängt zunächst von den Anforderungen an die Ergebnisse der Umlegungsrechnung ab. Ob die Anforderungen erfüllt werden können, ist wiederum von dem Auflösungsgrad, d.h. der Zonierung der Güterverkehrsmatrizen abhängig. Bei dem Konzept zur Güterverkehrsmodellierung sind somit diese Abhängigkeiten zwischen Zonierung, Netzfeinheit und Anforderungen an die Ergebnisse zu berücksichtigen.
- Die Netzkanten und –knoten sind mit **Eigenschaften** zu versehen – Anzahl Fahrstreifen, Gleisanzahl je Richtung, Länge der Strecken, Knotenwiderstände, zulässige Geschwindigkeit, Mautgebühren, usw. Je realistischer diese Eigenschaften festgelegt werden, umso besser wird das Umlegungsergebnis.
- Zur Kalibrierung und Qualitätsprüfung der Ergebnisse werden **Querschnittszählungen** an den Strecken benötigt. Die Bezeichnung „besser“ im vorhergehenden Punkt bedeutet dann, dass vorher festgelegte Qualitätskriterien in Bezug auf die Abweichung zwischen Modellergebnis und Querschnittszählung besser erfüllt werden als bei ungenügender oder fehlerhafter Eigenschaftencodierung.
- Soll das Netzmodell für die intermodale Umlegung der Ströme geeignet sein, so sind an den **Verbindungspunkten** – bi- und trimodale Terminals – entsprechende Verbindungen zwischen den Knoten der Einzelnetze mit Eigenschaften für den Netzwechsel zu codieren.

- Welches **Umlegungsverfahren** geeignet ist, hängt von mehreren Punkten ab. Bestweg, Sukzessiv-, Gleichgewichtsverfahren sind gängige Methoden. Welche Methode sinnvoll ist, hängt auch davon ab, wie gross das Netzmodell ausgestaltet ist und wie fein die Matrix aufgelöst wird. Mit zunehmender Auflösung und damit mehr Anbindungspunkten von Verkehrszellen an Netzknoten müssen mehr Routenbäume abgearbeitet werden, was die Rechenzeit erheblich beeinflussen kann, insbesondere wenn das Sukzessiv- und Gleichgewichtsverfahren für die Umlegung angewendet wird.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass die Ergebnisse der bisherigen Modellstufen in der Dimension Tonnen / Jahr vorliegen. Für realistische Umlegungen sind dagegen Fahrzeugströme, nicht Tonnenströme, erforderlich. D.h. es müssen die Güterströme in Fahrzeugbewegungen umgeformt werden. Dazu werden **Fahrzeugmodelle** verwendet.

Für den Strassengüterverkehr werden nicht einfach die Lastfahrten mit Hilfe eines Umrechnungsfaktors in LW umgeformt, sondern es wird die Symmetrie der Transportströme einer Relation ausgewertet, um den Leerfahrtenanteil auf ein realistisches Mass zu reduzieren. Weiterhin werden Logistikklassen für die Güterströme gebildet - z.B. Speditionsgüter, Massengüter, Öl – um damit die unterschiedlichen Auslastungsgrade und Leerfahrtenanteile besser bestimmen zu können.

Die Einteilung in LW-Fahrzeugklassen hängt von den vorliegenden statistischen Daten ab. In der GTE / GQGV werden Lastwagen und Sattelzüge unterschieden, wobei hier Fahrzeuge erfasst sind, deren Nutzlast über 3,5 Tonnen je Fahrzeug liegt. Diese Unterscheidung bietet sich daher an.

Ob eine Tourenbildung mit mehreren Stopps abgebildet werden kann und sinnvoll ist, muss geprüft werden. Dazu sind die entsprechenden empirischen Parameter erforderlich. Im Fernverkehr kann auf die Abbildung von Touren eher verzichtet werden als im Regional- und Nahverkehr. In diesem Segment finden die Kurzstreckenverkehre im Sammel- und Verteilverkehr auf der Strasse statt. Diese Verkehre generieren zum Teil erhebliche Fahrtenzahlen bei geringem Transportvolumen und belasten damit die Infrastruktur erheblich. Zu denken ist an Paketdienstleister, die nicht selten über 100 Stopps je Tour aufweisen.

Im Schienengüterverkehr wird in der Regel eine Zugbildung durchgeführt, um aus den Güterströmen Fahrzeug- und Zugbewegungen zu generieren. Zugbildung bedeutet, dass die operativen Abläufe der Güterbahnen im Modell abgebildet werden. Dazu werden die Betriebsarten Ganzzugverkehr und Einzelwagenlauf unterschieden. Ganzzugverkehre sind in der Regel Punkt-Punkt-Verkehre, während der Einzelwagenlauf vom Gleisanschluss über Knotenbahnhöfe und Rangierbahnhöfe mit jeweiligen Wagenumstellungen organisiert wird. Hierfür gibt es Simulationsmodelle, die diese Abläufe abbilden.

## 11.2 Umsetzung der drei Teilmärkte in der AMG und im NGVM

### 11.2.1 Umsetzung der Teilmärkte in der AMG

In der folgenden Tabelle wird in Kurzfassung das AMG-TM2 dargestellt und den oben genannten Anforderungen an die Güterverkehrsmodellierung in der Schweiz gegenübergestellt<sup>36</sup>. Eine Defizitbewertung (Anforderungen zu Modelleigenschaften der AMG) dient dazu, Handlungsempfehlungen für das Konzept abzuleiten.

#### Methode AMG-TM2

Die Aggregierte Methode Güterverkehr wurde für die Analyse und Prognose der Verkehrsperspektiven der Schweiz entwickelt. Die Vorgehensweise sei kurz dargestellt.

Aus dem AMG-TM1 werden Eckwerte in der Segmentierung nach

- Verkehrsarten
  - Binnenverkehr
  - Export
  - Import
  - Transit
- 10 Gutarten, aggregiert aus der NST2007 Systematik
- Verkehrsträger
  - Bahn
    - Wagenladungsverkehr
    - Unbegleiteter Kombiniertes Ladungsverkehr
    - Rollende Landstrasse
  - Strassengüterverkehr
    - Lastwagen
    - Last-/Sattelzüge
    - Lieferwagen
- Verkehrszellen: 108 MS-Regionen für den Binnenverkehr und 214 Regionen für die grenzüberschreitenden Verkehre.

Zur Abbildung des **Nachfragemarktes** werden diese Eckwerte – Analyse und Prognose –im AMG-TM2 mit einem Aufteilungsalgorithmus auf 108 MS-Zonen im Binnenverkehr sowie 214 Auslandszonen für den grenzüberschreitenden Verkehr in Quell- und Zielaufkommen aufgeteilt. Dabei werden die vorgegebene Segmentierung aus der AMG-TM1 sowie die dort berechneten Eckwerte für die Verkehrsaufkommen beibehalten. Die Gewichte zur Aufteilung

<sup>36</sup> Für eine ausführliche Beschreibung siehe den Bericht, verfügbar unter <https://www.are.admin.ch/are/de/home/verkehr-und-infrastruktur/grundlagen-und-daten/verkehrsmodellierung/nationale-gueterverkehrsmodellierung.html>.

werden aus dem Aufkommensmodell aus der AMG-TM1 und mit Hilfe von disaggregierten Strukturdaten für die Binnenzonen durchgeführt. Für die Auslandszonen wird eine Anpassung der Aufkommen auf den Eckwert aus der AMG-TM1 durchgeführt.

Das Modell zur Abbildung des **Transportmarktes** setzt sich aus Verteilung und Modalsplit zusammen. Für die Verteilungsrechnung wird eine Basismatrix zugrunde gelegt, die aus den über die Erhebungsjahre gepoolten Auswertung der Gütertransporterhebung (GTE) und Erhebung zum grenzquerenden Güterverkehr (GQGV) (zu den empirischen Daten siehe Kapitel 11.3 dieses Anhangs) gebildet wird. Diese aus der Erhebung hochgerechneten und an die Eckwerte der AMG-TM1 angepassten Ströme bilden die Güterverkehrsmatrix. Für den Schienengüterverkehr wird eine aktuelle Wagenverlaufsdatei der SBB genutzt und bildet die Basismatrix für den Schienengüterverkehr. Eine Lieferwagenmatrix ist extern vorgegeben und wurde mit Hilfe feineräumiger Strukturdaten mit einem Lieferwagenmodell berechnet.

Die Änderungen der Nachfrage werden auf die Matrix übertragen, indem die aus dem Nachfragemodell errechneten zonalen Aufkommenswerte für die jeweiligen Segmenten auf die Matrix der Güterströme übertragen werden. Es wird bei Prognosen und Szenarienrechnungen eine Fortschreibung der Matrix für den Basiszeitpunkt durchgeführt, um die beobachtete Struktur der Güterverkehre zu erhalten. Es wird also keine „freie“ Prognose gerechnet.

Änderungen des Modalsplits werden über segmentspezifische Elastizitäten für Kosten- und Zeitänderungen berechnet. Die Eigenschaften – Kosten und Zeiten – lassen sich als pauschale Größen oder differenziert nach Relationen angeben.

Zur Standortplanung ist ein spezielles Modul für Singuläre Verkehrserzeuger implementiert. Hiermit lassen sich individuell für Verkehrsträger und Gutarten für einzelne Verkehrszellen die Güteraufkommen entsprechend vorgeben. Diese Werte werden dann in die Quell- und Zielverkehre eingearbeitet.

Der Verkehrsmarkt wird berücksichtigt, indem die Basis- und Prognosematrix für die Strassengüterverkehre mit Hilfe feineräumiger Strukturdaten auf die Zonierung des NPVM (3114 Verkehrszellen) heruntergebrochen werden. Mit Hilfe eines Fahrzeugmodells werden die Güterströme (gemessen in Tonnen pro Jahr) in tägliche Fahrzeugbewegungen umgeformt. Die sich so ergebenden Feinmatrizen für die LW-Ströme – Lastwagen, Sattelzüge, Lieferwagen – werden zur Umlegungsrechnung auf das Feinnetz des NPVM genutzt.

Die AMG ist ein offenes System, in dem alle verwendeten Daten zugänglich sind. Die Struktur- und Verhaltensparameter sowie die technischen/ökonomischen Parameter zur Modelanwendung werden exogen vorgegeben.

Die Abläufe sind nochmals in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

Es werden nun den oben formulierten Anforderungen an die Modellbildung die Eigenschaften der AMG gegenübergestellt und kommentiert. Daraus ergibt sich unmittelbar der Handlungsbedarf in Bezug auf Verbesserungen der AMG.

Anforderungen	Umsetzung der Anforderungen im AMG
<p><b>Generelle Qualitätskriterien</b></p>	<p><b>Vollständigkeit:</b> Für den Einsatzzweck der AMG werden weitgehend alle Daten genutzt, die für das Ergebnis gebraucht werden. Für die weiter unten genannten Anforderungen lassen sich aber weitere Datenquellen nutzen.</p> <p><b>Genauigkeit:</b> Die Modellergebnisse für den Analysezeitpunkt sind mit Hilfe von Umlegungsrechnungen im Feinnetz des NPVM für die LW-Verkehre kalibriert. Für die Bahn gehen die Beobachtungswerte in die Verflechtungsmatrix ein.</p> <p>Es ist allerdings zu prüfen, ob die Verkehrszelleneinteilung die geforderten Aussagen des Güterverkehrsmodells ausreichend unterstützt.</p> <p><b>Zuverlässigkeit:</b> Wird durch die Verwendung von empirischen Werten und der Fortschreibungstechnik, welche auf empirischen Strukturen aufbaut, erreicht.</p> <p><b>Vergleichbarkeit:</b> Da für alle Teilräume dieselbe Methodik angewendet wird, ist eine Vergleichbarkeit von Ergebnissen gegeben.</p> <p><b>Verständlichkeit:</b> Für die AMG existieren eine ausführliche Methodenbeschreibung und ein Nutzerhandbuch.</p> <p><b>Aktualität, Transparenz, Nachvollziehbarkeit:</b> In die Anwendung im Rahmen der Verkehrsperspektiven für die Schweiz sind aktuelle Daten eingegangen. Eine Aktualisierung der Daten ist leicht durchzuführen. Alle Ergebnisse und Eingangsdaten liegen als Excel-Datei vor und können somit eingesehen werden.</p>
<p><b>Verkehrsarten</b></p>	<p>Alle Verkehrsarten werden in der AMG berücksichtigt. Grundlage dafür sind die Erhebungen zur Güterverkehrsstatistik. Dabei ist die Stichprobe für den grenzüberschreitenden Verkehr nicht sehr umfangreich. Hier lassen sich zur Verifizierung ergänzende Datenquellen wie z.B. die Bundesverkehrswegeplanung für Deutschland oder Daten von EUROSTAT heranziehen.</p>

<b>Massnahmen-sensitiv</b>	<p>Durch Strukturdatenänderungen werden auf dem Nachfragemarkt die zonalen Güterverkehrsaufkommen getrennt nach Gutart verändert. Diese Veränderungen werden über einen einfachen Fortschreibungsalgorithmus auf die Verkehrsströme für alle Hauptverkehrsbeziehungen übertragen. Die Verkehrsmittelwahl wird mit Hilfe von segmentspezifischen Elastizitätswerten beeinflusst und bildet damit relationsspezifische Kosten- und Transportzeitveränderungen ab. Diese Änderungen werden in das Fahrzeugmodell für den Strassengüterverkehr übertragen und beeinflussen damit das Umlegungsergebnis im Netzmodell für den Strassengüterverkehr. Hierfür wird eine Feinaufteilung der Aufkommensmatrizen auf Feinzonen vorgenommen. Fahrzeugumlegungen im Schienengüterverkehr sind nicht vorgesehen.</p> <p>Um die Auswirkungen von Änderungen bei Aufkommensschwerpunkten (singuläre Verkehrserzeuger) abbilden zu können, ist ein spezielles Modul in die AMG integriert. Hier können erwartete Aufkommensänderungen für Gutarten und Verkehrsträger exogen festgelegt werden.</p> <p>Es lassen sich somit die Auswirkungen von verschiedenen Massnahmen durch das Modell abbilden. Allerdings ist die Operationalisierung zum Teil sehr approximativ.</p> <p>Verbesserungen sind denkbar für folgende Bereiche:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- das Aufkommensmodell im AMG-TM2 könnte verbessert werden, um Änderungen in den Strukturdaten zutreffender abbilden zu können</li><li>- Die Verteilung, die im Moment ein reiner Aufteilungs- und Fortschreibungsalgorithmus ist, könnte um ein Verteilungsmodell ergänzt werden.</li><li>- Für die Verkehrsmittelwahl wäre an ein eigenständiges Wahlmodell in Kombination mit intermodalen Umlegungen zu denken.</li><li>- Die Aufteilung auf Feinzonen für die Umlegungsrechnungen, die eher mechanistisch abläuft, ist zu verbessern.</li><li>- Rückkopplungen zwischen Umlegungsergebnis, Schätzung und Prognose der Güterströme sollten vorgesehen werden.</li><li>- Grundsätzlich ist die geeignete Einteilung in Verkehrszellen zu überdenken.</li></ul>
----------------------------	---

<b>Intermodale Verkehre</b>	<p>Intermodale Verkehre werden in der AMG im Eckwert prognostiziert. Vor- und Nachläufe zu Terminals des kombinierten Verkehrs sind zwar über die Einbindung der GTE / GQGV enthalten. Es ist aber zu prüfen, ob hierfür der Datensatz aussagefähig ist.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vor dem Hintergrund einer zunehmenden Bedeutung der intermodalen Verkehre ist es angeraten, hier Verbesserungsmöglichkeiten für die AMG-TM2 zu prüfen.</li> <li>- Es sollten Transportketten berücksichtigt werden.</li> </ul>
<b>Standortplanung Terminals</b>	<p>Die Frage der Standortplanung von Terminals für den intermodalen Verkehr hängt mit der Behandlung der intermodalen Verkehre in der AMG unmittelbar zusammen. Eine Standortplanung ist in der AMG im Moment nur über die Setzung der Singulären Verkehrserzeuger möglich.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- auch in diesem Punkt wird Verbesserungsbedarf für die AMG-TM2 gesehen;</li> <li>- Es wäre in diesem Zusammenhang gut, die Rheinhäfen in Basel / Weil stärker in die Betrachtung einzubeziehen.</li> </ul>
<b>Schnittstellen zu anderen Bereichen</b>	<p>Datenschnittstellen zu anderen Bereichen – Umwelt, Wirtschaft, Gesellschaft sind durch die Offenheit des Systems sowie die Möglichkeit der Umlegungsrechnung (als Datenquelle für Bewertungsrechnungen) gegeben. Allerdings gilt dies nur für den Strassengüterverkehr. Es fehlt die Bereitstellung der Umlegungsergebnisse im Schienengüterverkehr. Normalerweise wird hierfür eine Zugbildung benötigt, die in der Regel auf den Ergebnissen des Güterverkehrsmodells aufbaut und ausserhalb läuft.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Es ist zu prüfen, inwieweit eine Fortschreibung der Wagenverlaufsdatei oder eine vereinfachte Zugbildung Veränderung der Netzbelastungen im Schienengüterverkehr - aufgrund von Modal-Split Änderungen oder Umstrukturierungen in der Prognose – approximiert werden können.</li> </ul>
<b>Abbildung Verkehrsinfrastruktur</b>	<p>Diese Anforderung liegt ausserhalb der AMG und hängt von der Verfügbarkeit einer Verkehrsplanungssoftware zur Abbildung von Netzmodellen ab. Die Schnittstellen sind vorhanden.</p>

<b>Möglichkeit der Umlegungsrechnung</b>	<p>Schnittstellen sind für Umlegungsrechnungen im Strassengüterverkehr vorhanden. Für den Bahngüterverkehr fehlt hier ein entsprechender Ansatz.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Es ist die Integration von Bahnumlegungen in die AMG zu prüfen.</li> <li>- Zudem sollte eine Rückkopplung zwischen Umlegungsergebnis und Ergebnissen der AMG vorgesehen werden.</li> </ul>
<b>Abbildung logistischer Prozesse</b>	<p>Logistische Prozesse lassen sich nur indirekt in der AMG darstellen. Es ist einmal das Modul zur Einbeziehung von Singulären Verkehrserzeugern zu nennen. Weiterhin wird über die Einteilung der Gutarten in logistische Klassen eine Differenzierung vorgenommen. Hier wird ein genereller Verbesserungsbedarf gesehen. Eine Frage in diesem Zusammenhang ist die nach der Angemessenheit der Güterbereichseinteilung. In der AMG werden die 20 NST2007 Gutarten aus der amtlichen Statistik, die auch auf EU-Ebene Standard sind, auf 10 Gutarten aggregiert.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Es ist zu fragen, ob hier eine angemessenere Einteilung in Gutarten möglich ist, um damit die Abbildung logistischer Prozesse zu begünstigen.</li> </ul> <p>Was es bedeutet, logistische Prozesse in die Güterverkehrsmodellierung einzubeziehen, und welche Konsequenzen daraus zu ziehen sind, wird in Kapitel 7 dieses Berichts erläutert.</p>
<b>Einbeziehung der Anforderungen der Verlager</b>	<p>Anforderungen der Verlager beziehen sich in der Regel auf die Verzahnung von Produktion und Transport, um hier reibungslose Abläufe zu gewährleisten. Hier ist insbesondere die Möglichkeit, Zeitlagen der Transporte im Modell zu berücksichtigen, angesprochen. Zudem sind Qualitätsanforderungen hinsichtlich der Transportüberwachung (z.B. Kühltransporte), der Transportsicherheit (Diebstahl, Unversehrtheit des Transportgutes) und der Transportabläufe (Transportzeit) massgeblich.</p> <p>Die hier dargestellten Fragestellungen werden ebenfalls bei der Betrachtung logistischer Prozesse behandelt.</p>
<b>Prognosefähigkeit</b>	Ist für die AMG gegeben.
<b>Kompatibel zur amtlichen Statistik</b>	Ist für die AMG gegeben.

Zusammenfassend sind aus der Gegenüberstellung von den Anforderungen an die Güterverkehrsmodellierung und die Darstellungsmöglichkeiten der AMG folgende Defizite bzw. Verbesserungsmöglichkeiten zu diskutieren:

- Die Möglichkeiten für die Nutzung weiterer Datenquellen sind zu prüfen.
- Die Angemessenheit der Verkehrszelleneinteilung ist zu prüfen.
- Die Ergänzung der grenzüberschreitenden Verkehre mit externen Daten ist zu prüfen.
- Integration eines eigenständigen Aufkommensmodells
- Integration eines eigenständigen Verteilungsmodells
- Integration eines eigenständigen Verkehrsmittelwahlmodells
- Die Methode zur Verteilung der Güterströme auf Feinzellen ist zu prüfen.
- Eine angemessene Einteilung in Gutarten ist zu diskutieren.
- Einführung einer Rückkopplung zwischen Umlegung und den Ergebnissen des Güterverkehrsmodells
- Die Behandlung der intermodalen Verkehre in der AMG und die Abbildung von Transportketten sind zu prüfen.
- Die stärkere Einbeziehung der Bahngüterverkehre in die Umlegungsrechnungen ist zu prüfen.
- Die Möglichkeit der Einbeziehung logistischer Prozesse ist zu diskutieren.

Diese Fragen werden im Rahmen einer Variantenprüfung diskutiert und Empfehlungen ausgesprochen.

### 11.2.2 Umsetzung der Teilmärkte im NGVM

In der folgenden Tabelle wird in Kurzfassung das NGVM dargestellt und den oben genannten Anforderungen an die Güterverkehrsmodellierung in der Schweiz gegenübergestellt<sup>37</sup>. Eine Defizitbewertung (Anforderungen zu Modelleigenschaften des NGVM) dient dazu, Handlungsempfehlungen für ein Konzept abzuleiten.

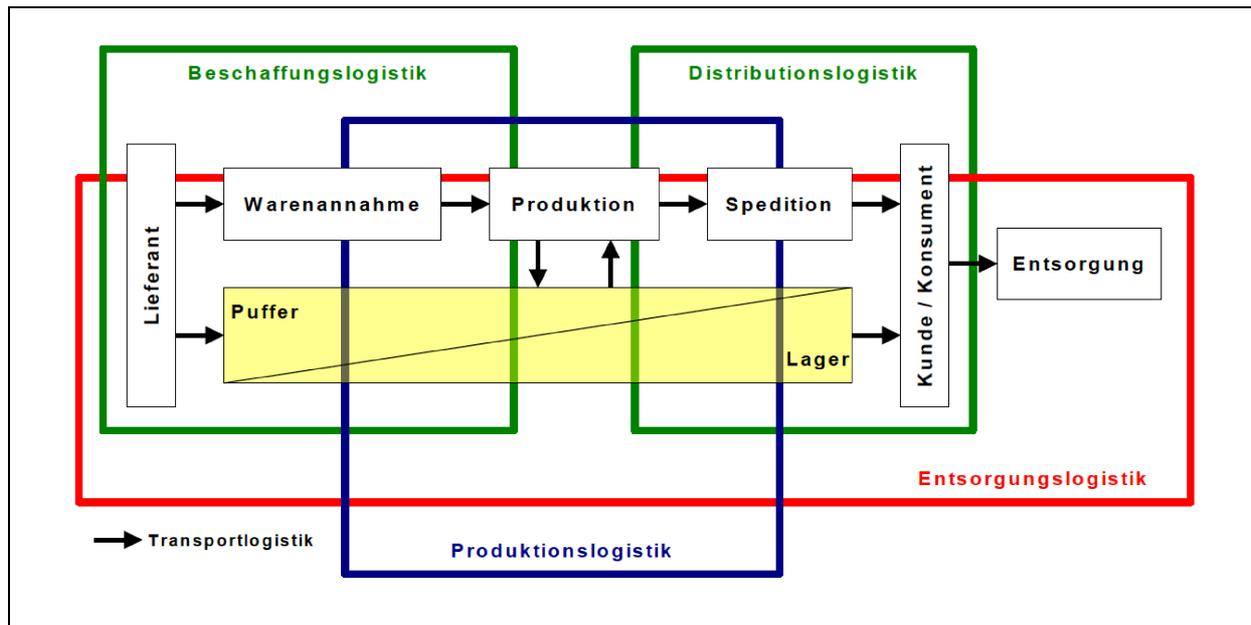
Das NGVM besteht aus drei Ebenen, die aufeinander aufbauen.

#### **Nachfragemarkt: Tonnage-Ebene**

Auf der ersten Ebene wird die Nachfrage für über 100 Gutarten berechnet. Für jede Gutart werden je ein Quell- und ein Zielvektor in der Einheit Tonnen pro Jahr berechnet. Dabei gilt für alle Verkehrsbezirke zusammen: Produktion + Import (Quellaufkommen) = Verbrauch + Export (Zielaufkommen). Die Berechnung der Aufkommenswerte erfolgt über Strukturdaten (Einwohner, Arbeitsplätze nach Branchen, Flächennutzung) mit geschätzten Aufkommensraten und Daten für einzelne Betriebe. Die Verteilungsrechnung erfolgt mit Widerstandsmatrizen, die mit Hilfe eines integrierten VISUM-Netzmodells berechnet werden. Dieses integrierte Netzmodell besteht aus 5 Netzebenen: Eine Netzebene für den LW-Vorlauf auf der Strasse, eine Netzebenen für den LW-Nachlauf auf der Strasse, eine Netzebene für den LW-Hauptlauf auf der Strasse, eine Ebene für den Hauptlauf auf der Bahn und eine Ebene für den Hauptlauf mit dem Binnenschiff (Rhein bis Basel). Die Ebenen sind durch spezielle Verbindungsstrecken, die Terminals repräsentieren, miteinander verbunden. Die Widerstandsmatrizen (Reisezeit, Entfernung) werden in Kostenmatrizen umgerechnet. Hierbei wird die unterschiedliche Zeitempfindlichkeit verschiedener Warengruppen berücksichtigt. Einen höheren Zeitwert haben Waren mit einem hohen spezifischen Wert und einer begrenzten Haltbarkeit. Abschliessend wird eine Nachfragematrix für jede Warengruppe in der Einheit Tonnen pro Jahr berechnet.

Hinter der Konstruktion der Nachfragematrix stehen reale Warenströme, die zwischen Produktions- und Verbrauchseinheiten fließen. Schematisch sind diese Aktionen in der folgenden Darstellung abgebildet. Die Aktionseinheiten Beschaffung, Produktion, Distribution und Entsorgung werden durch feineräumige Daten je Verkehrszelle erfasst und in die entsprechende Transportnachfrage umgeformt.

<sup>37</sup> Für eine ausführliche Beschreibung siehe den Bericht, verfügbar unter <https://www.are.admin.ch/are/de/home/verkehr-und-infrastruktur/grundlagen-und-daten/verkehrsmodellierung/nationale-gueterverkehrsmodellierung.html>.



### Transportmarkt: Ebene der Behälter und logistischen Systeme

Alle Warengruppen werden verschiedenen logistischen Systemen zugeordnet. Logistische Systeme unterscheiden sich primär in der Art der Transportbehälter. Diese sind in Gewicht und Volumen begrenzt. Die erforderliche Zahl von Transportbehältnissen wird somit entweder durch das Gewicht oder durch das Volumen bestimmt.

Die Tonnen-Nachfrage wird in einen Mengenstrom der Behälter der logistischen Systeme umgerechnet. Dieser wird auf dem 5-Ebenen-Netzmodell im Best-Weg-Verfahren umgelegt. Der beste Weg ist immer der kostengünstigste unter Einbeziehung der Zeitkosten der jeweiligen Warengruppe. Nach erfolgter Umlegung werden die Ebenen (3xStrasse, Schiene, Binnenschiff) horizontal in 5 monomodale Teilnetze geschnitten. An Stelle der Terminals entstehen Kordonbezirke. Die Nachfrage der Kordonbezirke wird den „normalen“ Bezirken, in denen die Terminals liegen, zugeordnet. Theoretisch entsteht für jede Kombination aus Warengruppe, logistischem System und Netzebene eine Nachfragematrix in der Einheit Behälter pro Jahr.

### Verkehrsmarkt: Ebene der Fahrzeugfahrten

Die Ergebnisse der vorherigen Ebene werden in Fahrzeugfahrten umgerechnet. Im Strassengüterverkehr wird auch ein Split auf unterschiedliche LW-Typen vorgenommen. Grundlage dazu sind Annahmen über durchschnittliche Fahrzeuggrößen, Auslastungsgrade und die Zahl der relevanten Tage pro Jahr. Zusätzlich berechnet werden die Leerfahrten. Für einige Warengruppen sind die Leerfahrten in der Gegenrichtung zwingend, für andere besteht die Möglichkeit deren Zahl bzw. Länge zu reduzieren, indem sie mit einer anderen vollen Fahrt kombiniert wird.

Die abschliessend berechneten Matrizen sind monomodal. Die Nachfrage im LW-Verkehr wird zusammen mit dem PW-Verkehr umgelegt.

Anforderungen	Erfüllt vom NGVM
<p><b>Generelle Qualitätskriterien</b></p>	<p><b>Vollständigkeit:</b> Für den Einsatzzweck des NGVM werden sehr feinräumige Daten genutzt, die für die Ergebniserstellung benötigt werden. Allerdings ist die erforderliche Information für die Vielzahl der Verkehrszellen in der Regel nicht verfügbar. Die amtliche Güterverkehrsstatistik dient zur Validierung des Modells.</p> <p><b>Genauigkeit:</b> Die Feinheit der Daten und der Zonierung erzeugt zunächst eine hohe Genauigkeit der Daten. Allerdings ist die Prüfung an empirischen Güterverkehrsdaten auf dieser Feinebene nicht machbar und daher nur in aggregierter Form möglich.</p> <p><b>Zuverlässigkeit:</b> Lässt sich nicht bewerten.</p> <p><b>Vergleichbarkeit:</b> Da für alle Teilräume dieselbe Methodik angewendet wird, ist eine Vergleichbarkeit von Ergebnissen gegeben.</p> <p><b>Verständlichkeit:</b> Es existiert eine Modellbeschreibung und ein Nutzerhandbuch. Allerdings ist die Handhabung des Modells sehr komplex, so dass eine intensive Einarbeitung erforderlich ist.</p> <p><b>Aktualität, Transparenz, Nachvollziehbarkeit:</b> Das Modell basiert auf Daten aus dem Jahre 2008. Eine Aktualisierung der Daten ist mit hohem Aufwand verbunden. Die Steuerungsgrössen und Inputdaten liegen in Form von Excel-Dateien vor. Die Ergebnisdaten sind in VISUM-Versionsdateien abgespeichert, die nur mit Hilfe der Verkehrsplanungssoftware VISUM analysiert werden können.</p>
<p><b>Verkehrsarten</b></p>	<p>Es werden die Binnenverkehre der Schweiz abgebildet. Die Ausenverkehre werden aus der GQGV übernommen.</p>
<p><b>Massnahmen</b></p>	<p>Es lassen sich Massnahmen bewerten, die die Transportkosten und Transportzeiten beeinflussen. Weiterhin lassen sich Massnahmen der Raumplanung, Ausweisung von Gewerbegebieten und Logistikzonen abbilden sowie sind Auswirkungen auf logistische Prozesse im Modell nachvollziehbar.</p>

<b>Intermodale Verkehre</b>	Durch die Berücksichtigung von 5 Ebenen, wobei auch Vor- und Nachlaufverkehre zu Terminals betrachtet werden, sind intermodale Verkehre abbildbar.
<b>Standortplanung Terminals</b>	Durch das 5 Ebenen-Modell sind Standortplanungen und die Auswirkungen auf die Transportnachfrage abbildbar.
<b>Schnittstellen zu anderen Bereichen</b>	Die Matrix des Strassengüterverkehrs wird auf ein feinräumiges Strassennetzmodell umgelegt. Damit sind die Inputgrößen zur Wirkungsanalyse auf andere Bereiche aus diesen Umlegungen ableitbar. Für den Schienengüterverkehr sind keine direkten Schnittstellen zu anderen Bereichen vorhanden.
<b>Abbildung Verkehrsinfrastruktur</b>	Die Verkehrsinfrastruktur wird durch ein feinräumiges Strassennetzmodell abgebildet.
<b>Möglichkeit der Umlegungsrechnung</b>	Umlegungen werden für den Strassengüterverkehr durchgeführt.
<b>Abbildung logistischer Prozesse</b>	Es werden Materialströme abgebildet, so dass logistische Prozesse mit dieser Vorgehensweise gut abgebildet werden können.  Gutarten werden logistischen Systemen zugeordnet und bestimmen damit die Verkehrsmittelwahl teilweise mit. Änderungen der Verkehrsmittelleigenschaften beeinflussen diese Zuordnung nicht.
<b>Einbeziehung der Anforderungen der Verlager</b>	Anforderungen der Verlager beziehen sich in der Regel auf die Verzahnung von Produktion und Transport, um hier reibungslose Abläufe zu gewährleisten. Hier ist insbesondere die Möglichkeit, Zeitlagen der Transporte im Modell zu berücksichtigen, angesprochen. Zudem sind Qualitätsanforderungen hinsichtlich der Transportüberwachung (z.B. Kühltransporte), der Transportsicherheit (Diebstahl, Unversehrtheit des Transportgutes) und der Transportabläufe (Transportzeit) massgeblich.  Da dem NGVM ein Warenflussmodell zugrunde liegt, ist die Verzahnung zwischen Produktion und Transport darstellbar. Allerdings werden keine Zeitlagen betrachtet. Da der Warenwert in die Betrachtung eingeht, lassen sich diese mit der Transportzeit und – Zuverlässigkeit verknüpfen.
<b>Prognosefähigkeit</b>	Das NGVM ist nur schwer für Prognosen einsetzbar.
<b>Kompatibel zur amtlichen Statistik</b>	Das NGVM ist nur auf Basis von Eckwerten mit der amtlichen Statistik kompatibel.

Ziel des NGVM ist es, die Ursachen für Transportvorgänge zu erfassen und die daraus folgenden logistischen Transportketten abzubilden. Durch die feinträumige Abbildung der Ursachen für die Transportaufkommen, die Vielzahl der genutzten Aufkommens- und Verbrauchsparameter und die weite Spreizung der Gutarten und der logistischen Transportalternativen ist das auch im Prinzip gelungen. Allerdings hat diese feinträumige Betrachtung auch den Preis, dass viele Parameter und Nachfragegrößen geschätzt werden müssen. Vielfach liegen die Strukturdaten aus der amtlichen Statistik nicht in der erforderlichen Zonierung vor, so dass die feinträumigen Daten über Hilfsgrößen ergänzt werden müssen. Das macht letztlich auch die Schätzung der Nachfragewerte unsicher. Die Abbildung von grenzüberschreitenden Verkehren wird im NGVM nur unvollständig geleistet, so dass hier eine wichtige Grösse für den Schweizer Verkehrsmarkt nicht abgebildet wird. Importe und Exporte dienen lediglich zur Bestimmung der lokalen Güterverkehrsaufkommen.

Die Handhabung des NGVM ist sehr komplex und erfordert eine intensive Einarbeitung. Die Prognosefähigkeit ist aufgrund der Vielzahl der benötigten Strukturdateninformationen und Parameterwerte aufwendig.

### 11.3 Charakterisierung der einzelnen Datenquellen

Die empirischen Grundlagen für die Güterverkehrsmodellierung in der Schweiz sind in verschiedenen Gutachten beschrieben und analysiert worden. Dabei standen jedoch nicht die Möglichkeiten der Abbildung logistischer Prozesse im Vordergrund. Einmal gibt der Evaluierungsbericht der nationalen Güterverkehrsmodellierung<sup>38</sup> einen Überblick über die Daten, die in das Güterverkehrsmodell eingegangen sind. Weiterhin beschäftigt sich der Bericht „Konzept zur effizienten Erfassung und Analyse der Güterverkehrsdaten“<sup>39</sup> sehr ausführlich mit vorhandenen Güterverkehrsdaten. Diese beiden Grundlagen sind als Nachschlagewerke zu dem Thema gut geeignet. In diesem Kapitel werden die Datenquellen kurz charakterisiert. Es wird dabei die Unterscheidung in endogene und exogene Daten vorgenommen: endogene Größen werden durch das Nachfragemodell erklärt und sie dienen beim Modellaufbau und der Parameterschätzung als Kalibrierungsgrößen. Exogene Größen sind Steuergrößen für das Modell: Sie beeinflussen die endogenen Modellgrößen, ohne aber selbst im Modell erklärt zu werden.

<sup>38</sup> Bundesamt für Raumentwicklung (2014): Verkehrsmodell im UVEK: Evaluierung der nationalen Güterverkehrsmodellierung

<sup>39</sup> Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz von Verkehrsmitteln im Güterverkehr der Schweiz TP A: Konzept zur Erfassung und Analyse der Güterverkehrsdaten, November 2013, verfügbar unter <http://www.mobilityplatform.ch>

<b>Datenquelle</b>	<b>Gütertransportstatistik (GTE): endogene Modellgrösse</b>
<b>Erhebungsfrequenz, Art der Erhebung</b>	ab 2008 jährlich und kontinuierlich über 52 Wochen pro Jahr  Stichprobe, ca. 7% des Fahrzeugbestands berichten einzelne durchgeführte Transporte über 7 Tage pro Jahr; Hochrechnung anhand von Fahrzeugbeständen
<b>Inhalte</b>	Strassengüterverkehre der in der Schweiz immatrikulierten schweren LW (über 3,5 Tonnen Gesamtgewicht); ausgewiesen werden <ul style="list-style-type: none"> <li>• Quelle und Ziel der Fahrt</li> <li>• Tonnage, gefahrene Kilometer</li> <li>• Fahrzeugtypen und Kenngrössen (z.B. Nutzlast)</li> <li>• Warenart (kompatibel zu 20 NSTR-Abteilungen)</li> <li>• Frachtarten</li> </ul>
<b>Zonierung</b>	NUTS-3 und Postleitzahlen
<b>Kommentar</b>	Die Daten werden für das Aufkommensmodell entsprechend segmentiert zu Quell- und Zielaufkommen ausgewertet und stellen den kompletten Binnen-Strassengüterverkehr dar.  Zu prüfen ist die Aussagekraft der Daten bei sehr feinräumiger Betrachtung. Es gibt eine nennenswerte Antwortverweigerung sowie im Erhebungszeitraum nicht aktive Fahrzeuge.  Im Konzept zur Analyse der Güterverkehrsdaten wird empfohlen, mit den Daten für 1 Jahr nur auf der regionalen Ebene von Grossregionen Auswertungen durchzuführen. Bei einem Pooling der Daten über mehrere Jahre – so wie es im AMG-TM2 gemacht wird, können höhere Auflösungen gewählt werden.

**Tabelle 11-1: Charakterisierung Gütertransporterhebung**

<b>Datenquelle</b>	<b>Grenzquerende Güterverkehre (GQGV): endogene Modellgrösse</b>
<b>Erhebungsfrequenz, Art der Erhebung</b>	Erhebung alle 5 Jahre Stichprobe der im Ausland immatrikulierten Fahrzeuge; es werden ca. 30.000 (mündliche) Befragungen durchgeführt, was rd. 0,5 % aller grenzüberschreitenden Schwerlastverkehre entspricht
<b>Inhalte</b>	Grenzüberschreitender Strassengüterverkehr der Schweiz mit schweren LW; ausgewiesen werden: endogene Modellgrösse <ul style="list-style-type: none"> <li>• Quelle und Ziel der Fahrt</li> <li>• Tonnage, gefahrene Kilometer</li> <li>• Fahrzeugtypen und Kenngrössen (z.B. Nutzlast)</li> <li>• Warenart (kompatibel zu 20 NSTR-Abteilungen)</li> <li>• Frachtarten</li> </ul>
<b>Zonierung</b>	NUTS-3 im Ausland, NUTS-3 und Postleitzahlen in der Schweiz
<b>Kommentar</b>	Die Daten werden für das Aufkommensmodell entsprechend segmentiert zu Quell- und Zielaufkommen ausgewertet und stellen den grenzüberschreitenden Verkehr dar. Zusammen mit der GTE ist damit der Strassengüterverkehr der Schweiz mit schweren LW – als Stichprobe – erfasst. Zu prüfen ist die Aussagekraft der Daten bei sehr feinträumiger Betrachtung.

**Tabelle 11-2: Charakterisierung der Erhebung grenzüberschreitender Güterverkehre**

<b>Datenquelle</b>	<b>Alpenquerender Güterverkehr (AQGV): endogene Modellgrösse</b>
<b>Erhebungsfrequenz, Art der Erhebung</b>	Erhebung alle 5 Jahre Stichproben bei schweren LW, Vollerhebung für die Schiene; der Umfang orientiert sich an der GQGV; ab 2014 Koordination der Stichprobe mit der GQGV und gemeinsame Koordination durch die Alpenstaaten (CAFT-Daten)
<b>Inhalte</b>	Situation auf den Alpenübergängen für Strassen- und Schienentransporte <ul style="list-style-type: none"> <li>• Quelle und Ziel der Fahrt</li> <li>• Fahrzeugtypen und Kenngrössen</li> <li>• Tonnage</li> <li>• Warenart (kompatibel zu 20 NSTR-Abteilungen)</li> <li>• Frachtarten</li> </ul>
<b>Zonierung</b>	NUTS-3 Code
<b>Kommentar</b>	Die Daten können zur Kalibrierung der Ströme durch die Alpen auf Alpenübergänge genutzt werden; auch zum Abgleich der Daten mit den Nachbarstaaten geeignet.

Tabelle 11-3: Charakterisierung der Erhebung zum alpenquerenden Verkehr

<b>Datenquelle</b>	<b>Wagenverlaufsdatei: endogene Modellgrösse</b>
<b>Erhebungsfrequenz, Art der Erhebung</b>	Fortlaufende Vollerhebung der Schienengüterverkehre auf dem Schweizer Schienennetz; Basis ist Meldung der einzelnen Eisenbahnverkehrsunternehmen
<b>Inhalte</b>	Schienengüterverkehre <ul style="list-style-type: none"> <li>• Quell- und Zielbahnhof im In- und Ausland</li> <li>• Tonnage, gefahrene Kilometer</li> <li>• Produktionsart EWL, UKV, ROLA</li> <li>• Warenart (kompatibel zu 20 NSTR-Abteilungen)</li> <li>• Leitwege</li> </ul>

<b>Zonierung</b>	Fracht-Bahnhöfe, auch im Ausland
<b>Kommentar</b>	Beschreibt sämtliche Schienengüterverkehre der Schweiz; Vor- und Nachläufe zu den Güterbahnhöfen sind nicht enthalten; Belastungen von Strecken mit Güterzügen können aufgrund der Routing-Information abgeleitet werden.

**Tabelle 11-4: Charakterisierung der Erhebung Wagenverlaufsdatei**

<b>Datenquelle</b>	<b>Erhebung zur Leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe (LSVA): endogene Grösse</b>
<b>Erhebungsfrequenz, Art der Erhebung</b>	Fortlaufende Vollerhebung aller mautpflichtigen schweren LW, auch der ausländischen LW
<b>Inhalte</b>	<p>Erfassung der Fahrleistung im Strassengüterverkehr der Schweiz; erfasste Merkmale</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kilometerstand</li> <li>• Fahrzeugkategorie (Lastwagen, Lastzug, Sattelzug)</li> <li>• Zulässiges Gesamtgewicht, Leergewicht</li> <li>• Emissionskategorie</li> <li>• Immatriculation</li> </ul>
<b>Zonierung</b>	Grenzübergangsstellen, Verkehrszonen
<b>Kommentar</b>	Die LSVA-Daten sind für den Datenabgleich geeignet, nicht aber als endogene Grösse für die Modellierung, da nur aggregierte Teilergebnisse herausgegeben und veröffentlicht werden. Es fehlen Angaben zu Quelle und Ziel sowie zu Warenarten.

**Tabelle 11-5: Charakterisierung der LSVA**

<b>Datenquelle</b>	<b>Lieferwagenverkehre mit Fahrzeugen kleiner 3,5 Tonnen zulässigem Gesamtgewicht: endogene Grösse</b>
<b>Erhebungsfrequenz, Art der Erhebung</b>	Ab 2013 alle 10 Jahre geplant; Fragebogenerhebung von rd. 70.000 zufällig ausgewählten leichten Güterfahrzeugen bis 3,5 Tonnen zulässigem Gesamtgewicht
<b>Inhalte</b>	Erhebungsdaten <ul style="list-style-type: none"> <li>• Angaben zum Fahrzeug</li> <li>• Angaben zur Fahrt, Distanz, Zahl der Stopps</li> <li>• Angaben zu den Gütern</li> </ul>
<b>Zonierung</b>	Kodierung der Postleitzahlen
<b>Kommentar</b>	Aus den Daten kann keine feinträumige Matrix erstellt werden. Dazu reicht der Stichprobenumfang nicht aus. Die Erhebung eignet sich aber sehr gut, um Verhaltensparameter und Strukturparameter für ein Modell zur Schätzung des Lieferverkehrs auszuwerten. Dieses Vorgehen wurde im der AMG genutzt.

Tabelle 11-6: Charakterisierung der Erhebung zu Lieferwagenverkehren

<b>Datenquelle</b>	<b>Gütertransportstatistik und Statistik öffentlicher Verkehr vom Bundesamt für Statistik (BFS): endogene Grösse</b>
<b>Erhebungsfrequenz, Art der Erhebung</b>	Keine Erhebung
<b>Inhalte</b>	Auswertung, Zusammenfassung der bisher genannten Güterverkehrsdaten, Bildung von Zeitreihen
<b>Zonierung</b>	Gesamtschweiz, Grossregionen
<b>Kommentar</b>	Die Daten eignen sich zur Plausibilisierung von Modelldaten und für die Zeitreihenanalyse. Durch geeignete Aggregation der Modellergebnisse sollte die Gütertransportstatistik reproduzierbar sein. In dem Sinne handelt es sich um eine endogene Grösse.

Tabelle 11-7: Charakterisierung der BFS-Statistik

<b>Datenquelle</b>	<b>Güterverkehre der Nachbarländer: endogene Grösse</b>
<b>Erhebungsfrequenz, Art der Erhebung</b>	In den Nachbarländern – Deutschland, Frankreich, Italien, Österreich – werden nationale Güterverkehrsmodelle zur Analyse und Prognose der Güterverkehre genutzt.
<b>Inhalte</b>	Die Modelle produzieren Güterverkehrsmatrizen, die auch die grenzüberschreitenden Verkehre mit der Schweiz enthalten. Auch Transitverkehre sind enthalten.  Weiterhin lassen sich Seehafen-Hinterlandverkehre der Nord- und Ostseehäfen sowie der Adria Häfen identifizieren.
<b>Zonierung</b>	Unterschiedlich
<b>Kommentar</b>	Diese externen Daten können zum Abgleich mit den Ergebnissen des Schweizer Güterverkehrsmodells genutzt werden. Fehlende Daten aus der GQGV könnten ergänzt werden. Im Rahmen des Nachfragemodells werden auch diese externen Daten endogen bestimmt in Form von Exporten, Importen und Transitverkehren. Die Erklärungsansätze für diese Verkehrsarten werden aber sehr allgemein und approximativ sein.

Tabelle 11-8: Charakterisierung der Güterverkehre der Nachbarländer

<b>Datenquelle</b>	<b>Statistik der Schweizerischen Rheinhäfen: endogene Grösse</b>
<b>Erhebungsfrequenz, Art der Erhebung</b>	Jährliche und monatliche Erhebung aller für die schweizerischen Rheinhäfen relevanten Transporte
<b>Inhalte</b>	Daten zu <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tonnage, Import, Export</li> <li>• Gutarten</li> <li>• Verkehrsträger</li> </ul>
<b>Zonierung</b>	Hafengebiet
<b>Kommentar</b>	Die Schweizerischen Rheinhäfen sind ein wichtiger Umschlagsplatz für den Schweizerischen Güterverkehr. Insofern sind die Häfen und damit die Binnenschifffahrt in das Modell geeignet einzubeziehen. Die Matrix Binnenschifffahrt hat eine Spalte und eine Zeile, da nur die Hafenregion als Quell- und

	Zielgebiet der Binnenschifffahrt codiert ist. Verknüpft ist diese Zone mit Binnenschifffahrtsströmen über den Rhein sowie mit LW- und Bahnverkehren aus allen anderen Verkehrszellen. Das Binnenschiffsaufkommen ist modell-endogen, d.h. es sollte durch ein geeignetes Submodell erklärt werden.
--	--

**Tabelle 11-9: Charakterisierung der Statistik der Binnenschifffahrt**

<b>Datenquelle</b>	<b>Aussenhandelsstatistik: exogene Grösse</b>
<b>Erhebungsfrequenz, Art der Erhebung</b>	Seit 1988 jährlich, Zwischenwerte monatlich <sup>40</sup>
<b>Inhalte</b>	Es werden ausgewiesen <ul style="list-style-type: none"> <li>• Warenart nach Zolltarif</li> <li>• Warenmenge</li> <li>• Warenwert</li> <li>• Ursprungsland und Erzeugerland (Importe)</li> <li>• Bestimmungsland (Exporte)</li> <li>• Rechnungswährung</li> </ul>
<b>Zonierung</b>	Welt, Land, Schweiz (Kantone, Regionen)
<b>Kommentar</b>	Dient zum Abgleich der Verkehrsströme mit Containern im internationalen Verkehr. Bei diesen Verkehrsströmen ist die Art der transportierten Waren in der Regel unbekannt. Die Aufkommenswerte und die daraus geschätzten Verkehrsströme werden bei der Verkehrsmittelwahl auch in das Segment „unbegleiteten KV“ aufgeteilt. Die Schätzungen liegen in der Dimension in Tonnen pro Jahr und unterteilt nach Gutart vor. Mit der Aussenhandelsstatistik kann hier ein Abgleich mit der offiziellen Verkehrsstatistik durchgeführt werden.  Zudem lassen sich Zeitreihen der Aussenhandelsstatistik zur Bestimmung von Wertdichteentwicklungen nutzen.

**Tabelle 11-10: Charakterisierung Aussenhandelsstatistik**

<sup>40</sup> Steckbrief Aussenhandelsstatistik, Dokument inq-59-ahs-de.pdf auf der BFS-Internetseite <https://www.bfs.admin.ch>

<b>Datenquelle</b>	<b>Arealstatistik: exogene Grösse</b>
<b>Erhebungsfrequenz, Art der Erhebung</b>	Bisher Aktualisierung alle 12 Jahre, soll auf 6 Jahre verkürzt werden
<b>Inhalte</b>	<p>Auf Hektarebene wird die Flächennutzung ausgewiesen. Ausgewiesene Kategorien (mit Untergruppen) sind</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Industrie / Gewerbe</li> <li>• Verkehr</li> <li>• Abbau, Deponie</li> <li>• Landwirtschaft</li> <li>• Bestockung.</li> </ul>
<b>Zonierung</b>	Hektare
<b>Kommentar</b>	Diese Informationen sind gut geeignet, um die Güterverkehrsströme geographisch richtig an das Netzmodell anbinden zu können und die Lage von Singulären Verkehrserzeugern zu orten. Beides ist wichtig, um die Netzbelastungen mit LW richtig zu schätzen.

**Tabelle 11-11: Charakterisierung der Arealstatistik**

<b>Datenquelle</b>	<b>Statistik der Unternehmensstruktur (STATENT)<sup>41</sup>: exogene Grösse</b>
<b>Erhebungsfrequenz, Art der Erhebung</b>	Jährlich verfügbar seit 2011, Quelle sind Daten der Alters- und Hinterlassenenversicherung AHV, Informationen aus dem Unternehmens- und Betriebsregister, ergänzt um Erhebungen bei Unternehmen
<b>Inhalte</b>	<p>Unternehmenskennzahlen mit den Merkmalen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Standort (Adresse)</li> <li>• Wirtschaftliche Tätigkeit (nach NOGA Einteilung)</li> <li>• Anzahl Beschäftigte nach Vollzeitäquivalenten</li> <li>• Grössenklasse</li> <li>• Betriebsart</li> </ul>

<sup>41</sup> Siehe „Steckbrief“ zur Statistik der Unternehmensstruktur, auf der BFS-Internetseite unter <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/industrie-dienstleistungen/erhebungen/statent.html>, zuletzt besucht am 7. April 2017

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Institutionelle Einheit</li> <li>• Rechtsform, wirtschaftliche Ausrichtung</li> </ul>
<b>Zonierung</b>	Angegeben werden Grossregionen, Kantone, Gemeinden, Koordinaten; auflösbar bis auf Hektarebene
<b>Kommentar</b>	<p>Mit diesen Daten lassen sich feinräumig die Wirtschaftsstrukturen in der Schweiz erfassen. Kann zur Erzeugung der Güterverkehrsachfrage sowie der Zielwahl herangezogen werden.</p> <p>Anmerkung zu Spezialstatistiken:</p> <p>Die Unternehmensstatistik ersetzt weitgehend Spezialerhebungen. Sollten aber spezielle Detailinformationen z.B. zur Landwirtschaft benötigt werden, können Spezialstatistiken wie die Betriebszählung im Primärsektor zur Erfassung der angebauten Kulturen und die Anzahl der Nutztiere herangezogen werden. Informationen über Holztransporte liefern die Forststatistik und die Eidgenössische Holzverarbeitungserhebung.</p>

**Tabelle 11-12: Charakterisierung der Unternehmensstatistik**

<b>Datenquelle</b>	<b>Informationen aus der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung, Bevölkerung: exogene Grössen<sup>42</sup></b>
<b>Erhebungsfrequenz, Art der Erhebung</b>	Jährlich in tiefere Gliederung verfügbar, monatlich werden Zwischenwerte erhoben
<b>Inhalte</b>	<p>Hier können verschiedene für ein Nachfragemodell relevanten Grössen als Zeitreihen abgefragt werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nichtfinanzieller Kapitalstock</li> <li>• Arbeitsproduktivität nach Branchen</li> <li>• Wertschöpfungsstatistik: Umsatz, Waren- und Materialaufwand nach Wirtschaftsabteilungen (je-d-06.04.01.xls)</li> <li>• Produktionskonto, unterteilt nach Branchen (je-d-04.02.03.01.xls)</li> <li>• Bruttoinlandsprodukt nach Aktivitätsbereichen</li> </ul>

<sup>42</sup> Die Tabellen zu den jeweiligen Grössen finden sich alle auf der Internetseite des BFS – <https://www.bfs.admin.ch>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bevölkerung nach Altersklassen</li> <li>• Erwerbstätige nach Branchen, Vollzeitäquivalente</li> <li>• Bruttoinlandsprodukt im Ausland, Zeitreihen zu Wachstumsraten</li> <li>• ...</li> </ul>
<b>Zonierung</b>	Schweiz und Kantone, je nach Statistik
<b>Kommentar</b>	<p>Die Grössen aus der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung sind Makrogrössen, die als Treiber für den Güterverkehr in der gesamten Schweiz beschreiben. Eine Regionalisierung muss „künstlich“ mit Hilfe weiterer Daten vorgenommen werden.</p> <p>Für die grenzüberschreitenden Verkehre werden Angaben zu Auslandszonen benötigt.</p>

**Tabelle 11-13: Charakterisierung der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung**

## 11.4 Berücksichtigung der Intermodalität in der Verkehrsmittelwahl

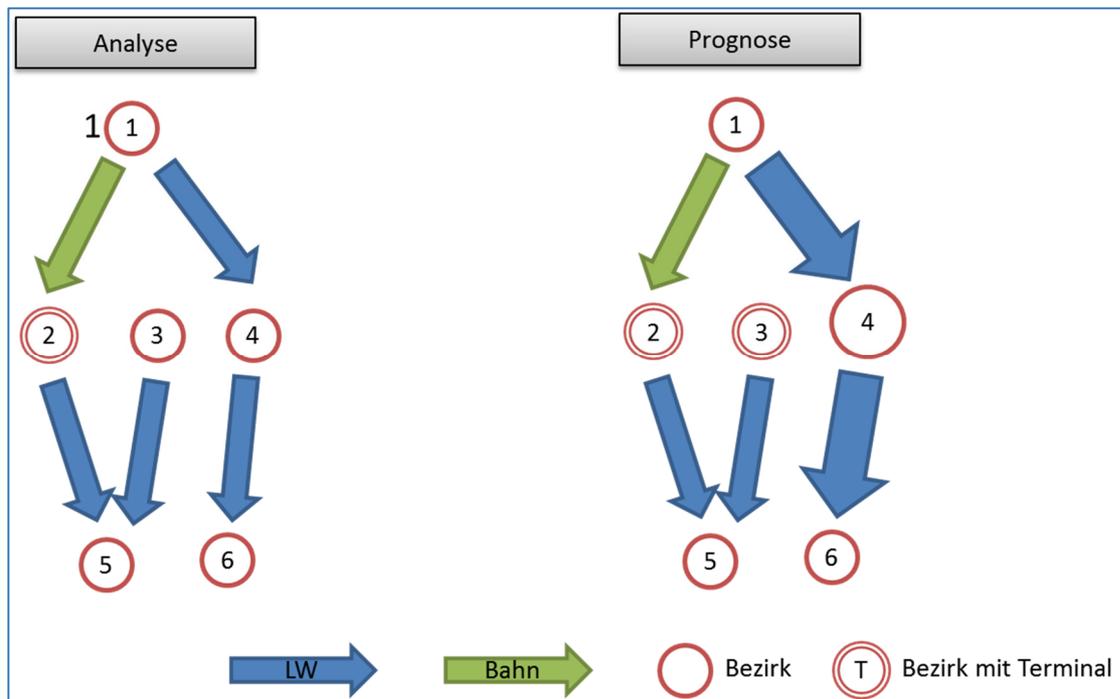
### 11.4.1 Alternative Modellansätze für die intermodale Routenwahl

Güterarten unterscheiden sich in ihrer Bindung an bestimmte Verkehrsmittel. Während einige Güterarten ausschliesslich mit dem LW befördert werden, sind andere weniger auf ein einziges Verkehrsmittel festgelegt. Dies gilt besonders für containerisierte Güter. Hier ist die Verkehrsmittelwahl wesentlich durch die unterschiedlichen Transportkosten der Verkehrsmittel getrieben. Wo es durch Bündelung von Strömen wirtschaftlich sinnvoll ist, werden Transporte auch intermodal abgewickelt, d.h. LW, Bahn sowie ggf. im Import und Export Binnenschiff und Luftfracht werden kombiniert.

In welchem Umfang der politisch gewünschte Entlastungseffekt durch kombinierten Verkehr realisiert werden kann, hängt nicht zuletzt vom Vorhandensein leistungsfähiger Infrastruktur für den intermodalen Umschlag (z.B. Kombiverkehr-Terminals) ab. Die dort für den Umschlag anfallenden Verlustzeiten und Kosten tragen zu den Kosten und Beförderungszeiten auf dem Gesamtweg bei.

Das vorliegende Projekt zielt u.a. darauf ab, künftig mit dem Schweizer Güterverkehrsmodell Investitionen in die Verkehrsinfrastruktur (z.B. in neue Terminals) daraufhin zu bewerten, in welchem Umfang sie Verlagerungen von Transporten zwischen den Verkehrsmitteln bewirken können. Intermodale Transportketten sind dabei als Alternative ausdrücklich in die Betrachtung eingeschlossen.

Wie das nachstehend beschriebene Prinzip-Beispiel verdeutlicht, leistet der empirisch-inkrementelle Ansatz, der in der AMG verwendet wird, eine solche Bewertung nur begrenzt.



**Abbildung 11-2: Empirisch-inkrementeller Ansatz**

Abbildung 11-2 zeigt für den Analysefall exemplarisch die Situation von Güterströmen zwischen sechs Bezirken. Bezirk 2 ist mit einem Terminal für den kombinierten Verkehr ausgestattet. Güterströme sind durch Pfeile repräsentiert, deren Breite proportional zur Stärke ist. Die Fläche des Kreises eines Bezirks ist proportional zu seinem Potenzial für den Güterverkehr, ausgedrückt durch Strukturgrößen.

Wesentliches Merkmal der AMG ist, dass aus statistischen Angaben über den realen Güterverkehr Nachfragematrizen für jedes Verkehrsmittel abgeleitet sind. Die daraus resultierenden Ströme entsprechen sehr gut realen Beobachtungen. Dieser Ansatz macht den empirischen Anteil der AMG aus.

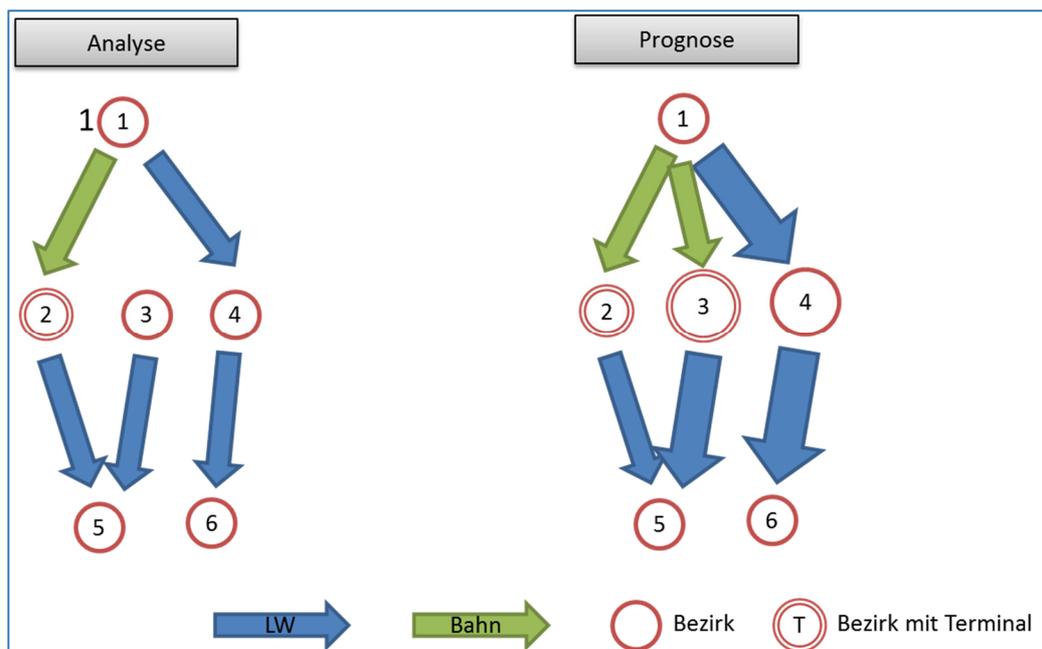
Für den Prognosefall seien zwei Veränderungen angenommen:

- Bezirk 3 wird mit einem Terminal ausgestattet.
- Bezirk 4 weist ein erhöhtes Potenzial für den Güterverkehr auf (symbolisiert durch den vergrößerten Kreis).

In der inkrementellen Prognosemethodik der AMG führt das erhöhte Potenzial an Bezirk 4 zu einer Erhöhung der Mengen in Empfang und Versand. Die erhöhten Eckwerte führen zu erhöhten Güterströmen in den Relationen 1-4 und 4-6. Wiederum ist es ein Vorzug der inkre-

mentellen Methode, dass die prognostizierten Ströme durch nachvollziehbare Skalierung aus den Analyseströmen hervor gehen und keine unplausiblen, sprunghaften Änderungen resultieren. Dagegen ergibt sich keine Reaktion auf die Einrichtung des neuen Terminals. Das liegt daran, dass die Potenziale der beteiligten Bezirke 1, 2, 3, 5 unverändert sind, die Ströme aus den Analysematrizen für Bahn und LW somit unverändert übernommen werden. Aus den Analyse-Matrizen, die sich auf verkehrsmittelreine Teilwege beziehen, ergibt sich nicht, ob und welcher Anteil der Ströme in den Relationen 1-2 und 2-5 tatsächlich in Bezirk 2 von Bahn auf LW umgeschlagen wird und insgesamt in der Relation 1-5 befördert wird.

Im Rahmen des empirisch-inkrementellen Ansatzes kann diese Beschränkung nur durch manuellen Eingriff überwunden werden. Dazu wird – üblicherweise auf Basis von Erfahrungswerten – die Einrichtung des neuen Terminals in ein erhöhtes Potenzial oder direkt in erhöhte Matrixeckwerte für Bezirk 3 (Empfang Bahn, Versand LW) übersetzt.



**Abbildung 11-3: Empirisch-inkrementeller Ansatz mit manuellem Eingriff**

Durch das erhöhte Potenzial werden nun auch Transporte in der Relation 1-5 mit Umschlag in Bezirk 3 prognostiziert (Abbildung 11-3). Die Prognose beruht jedoch auf der willkürlichen Setzung des Potenzials und die Verantwortung für die konsistente Vergabe der Werte liegt allein beim Modellanwender. So ändert sich beispielsweise das Aufkommen der Relationen 1-2 und 2-5 nicht, obwohl das Terminal in Bezirk 3 möglicherweise Verkehre an sich zieht, die zuvor über Bezirk 2 liefen. Dies liesse sich wiederum nur durch manuelle Reduktion des Potenzials von Bezirk 2 berücksichtigen.



komponenten, im Falle eines Logit-Modells der Skalierungsparameter, ggf. Nesting-Struktur) geschätzt werden.

- 2) Die Aufkommen auf der Ebene der Gesamrelation haben keine unmittelbare Beziehung zu in Statistiken berichteten Strömen. Die Kalibrierung ist demgemäss potenziell aufwändig und erfordert ergänzende, mit Unsicherheiten behaftete Annahmen. Entsprechend ist weniger als beim empirisch-inkrementellen Ansatz gesichert, dass vom Modell prognostizierte Ströme gut mit real beobachteten Strömen übereinstimmen.

Nachfolgend wird ein hybrider Ansatz vorgeschlagen, der Nachteil 2) durch Rückgriff auf den empirischen Ansatz vermeidet. Nachteil 1) ist dagegen der Verwendung eines Wahlmodells inhärent und daher unvermeidlich. Nachteil 2) entsteht durch die Verwendung eines synthetischen Erzeugungsmodells für die Aufkommen auf Gesamt-Relationen. Der hybride Ansatz verwendet stattdessen ebenfalls empirisch beobachtete Aufkommensdaten. Dazu ist die Lücke zwischen den beobachtbaren Aufkommen auf Teilwegebene und den erforderlichen, aber nicht beobachtbaren Aufkommen auf Gesamt-Relationen zu schliessen.

Diese Aufgabe stellt sich auch bei der deutschen Bundesverkehrswegeplanung. Hier wird der dabei verwendete Rechenablauf kurz beschrieben. Für Details wird auf den Bericht „Verkehrsverflechtungsprognose 2030 - Ergänzender Bericht zur Methodik“, Abschnitt 4.2.6 „Aufbereitung der intermodalen Transportketten des Jahres 2010“ verwiesen. Wegen der Verwendung in der BVWP hat sich für die Methodik der Name „German Approach“ etabliert.

Die hier beschriebene Methodik wird in der Verflechtungsprognose 2030 auf kombinierte Verkehre mit Containern und Wechselbehältern im Jahr 2010 angewendet. Der Hauptlaufverkehr zwischen den KV-Terminals per Bahn und Binnenschiff ist aus Angaben des Statistischen Bundesamtes bekannt (Menge und Gütergruppe). Dagegen gibt es keine Statistik über die LW-Vor-/Nachläufe von KV-Transporten, weder im Zusammenhang mit dem Hauptlauf noch unabhängig von der Gesamrelation. Deshalb wird für jeden berichteten KV-Hauptlauf der Vor-/Nachlauf modellhaft rekonstruiert. Dazu werden alle KV-Terminal-Standorte in Europa ermittelt und Verkehrszellen des Verkehrsmodells zugeordnet. Wo mehrere KV-Terminals in einem Bezirk existieren, wird eines als massgebliches Terminal ausgewählt. Die Gesamtzahl der erhobenen Terminals beträgt 237. Da statistische Informationen über die Einzugsgebiete der Terminals fehlten, wurden Befragungen an allen deutschen KV-Terminals durchgeführt und daraus Fahrtweitenverteilungen für Vor- und Nachläufe auf der Strasse abgeleitet. Als Grenzen der Entfernungsklassen wurden verwendet: 10, 20, 30, 50, 100 km. Für jedes deutsche KV-Terminal werden die umliegenden Bezirke den Entfernungsklassen vom Terminalstandort aus zugeordnet. Der Entfernungsklasse „> 100 km“ werden Bezirke mit einer max.

Entfernung von 200 km vom Terminal zugeordnet, um unrealistisch lange Vor-/Nachläufe auszuschliessen. Dann werden die Vor- und Nachläufe des Terminals zuerst entsprechend der Fahrtweitenverteilung auf Entfernungsklassen verteilt. Innerhalb jeder Entfernungsklasse werden die Mengen auf die zugeordneten Bezirke in der jeweiligen Entfernungsklasse verteilt. Grundsätzlich wird die beförderte Menge gleichmässig auf alle diejenigen Bezirke der Entfernungsklasse verteilt, die ausserhalb des KV Aufkommen in der gleichen Gütergruppe aufweisen. Um unrealistisch kleine Beförderungsmengen pro Bezirk zu verhindern, wird eine Mindestgrösse von 10 t definiert. Würde die Mindestgrösse unterschritten, weil eine Menge von  $T$  auf mehr als  $T/10$  Bezirke verteilt wird, werden stattdessen  $n = \lfloor T/10 \rfloor$  Bezirke zufällig ausgewählt und jedem die Menge  $T/n$  zugewiesen. Besonders behandelt werden Transporte, bei denen die Angabe der Gütergruppe für den Hauptlauf fehlt. Vor- / Nachläufe zu ausländischen KV-Terminals werden nicht erzeugt.

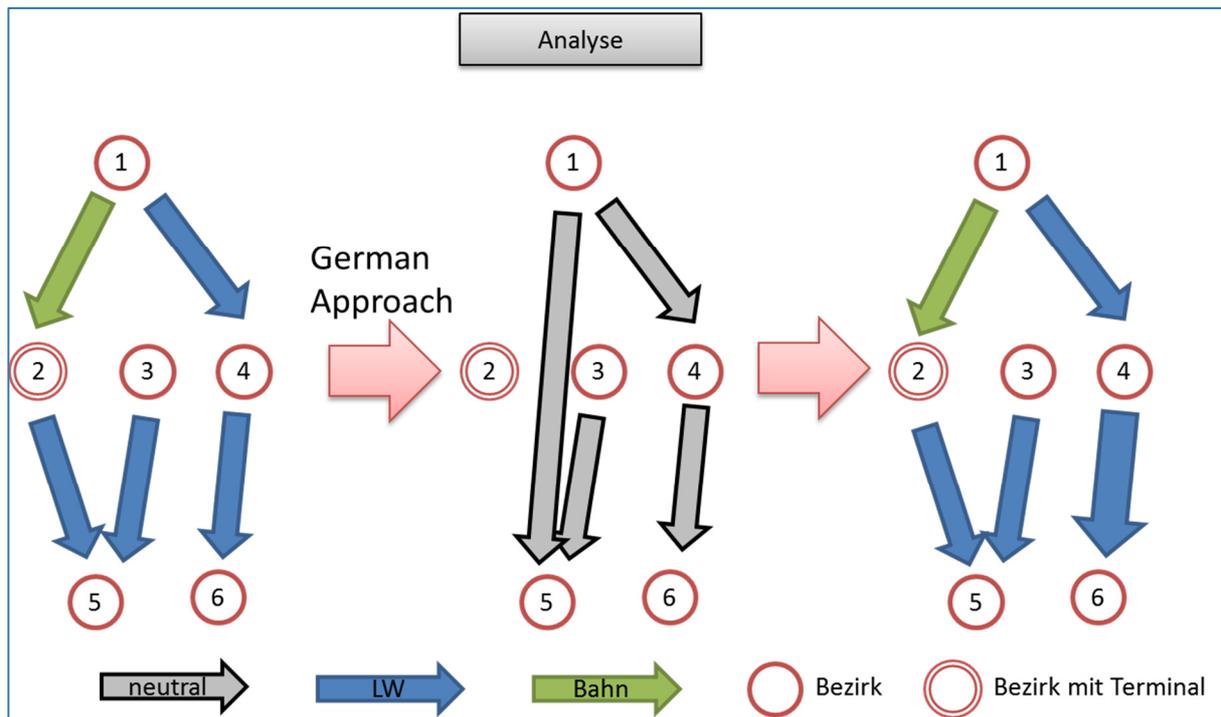
Als Ergebnis der Berechnung stehen die Transportketten für den KV mit den Angaben Quellzone (Vorlaufzone), Quellzone Hauptlauf, Zielzone Hauptlauf, Zielzone (Nachlaufzone), Gütergruppe, Tonnage zur Verfügung. Im hier vorgeschlagenen Modell geht lediglich die Gesamrelation Quellzone (Vorlaufzone) - Zielzone (Nachlaufzone) in die Verkehrsmittel / Wege-Wahl ein. Die Angaben zu Quellzone Hauptlauf und Zielzone Hauptlauf dienen zur Kalibrierung im Analysefall.

Für die Verwendung im Rahmen des Schweizer Güterverkehrsmodells ist festzuhalten, dass die KV-Terminalstandorte nicht nur in der Schweiz, sondern auch im Ausland ermittelt werden müssen. Ebenso wie bei der BVWP würden Vor- und Nachläufe für in der Schweiz liegende Enden des Hauptlaufs erzeugt werden, nicht dagegen für Enden im Ausland.

Die Verteilung des Aufkommens in der Gesamrelation auf Verkehrsmittel/Routen-Alternativen kann mit verschiedenen Methoden erfolgen:

- existierendes 5 Ebenen-Modell aus dem NGVM,
- intermodale Verkehrsmittelfolgenwahl, die bis Sommer 2017 für das europäische Verkehrsmodell Trimode entwickelt und in PTV Visum implementiert wird.

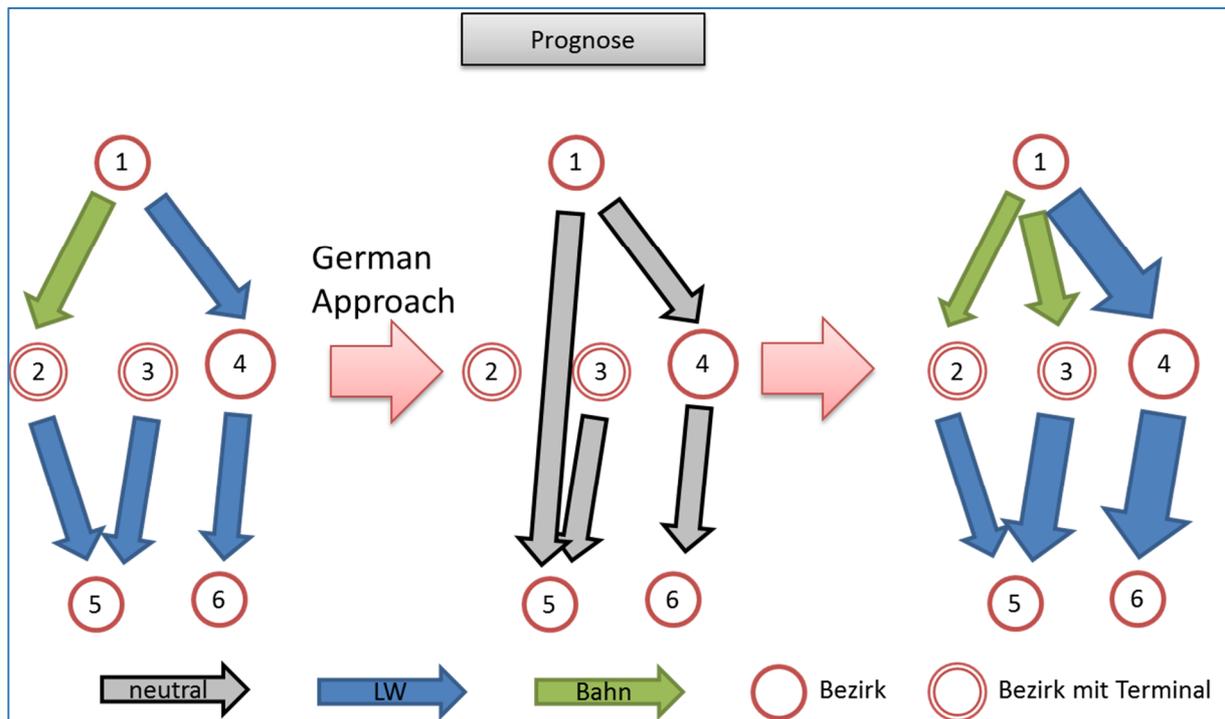
Zum NGVM wird auf die kurzen Erläuterungen in diesem Gutachten verwiesen. Die Verkehrsmittelfolgenwahl für das Trimode-Modell wird im nachfolgenden Abschnitt 11.4.2 beschrieben, um die Beschreibung des hybriden Ansatzes nicht zu unterbrechen.



**Abbildung 11-5: Hybrider Ansatz – Analysefall**

In Abbildung 11-5 entspricht die Anwendung des German Approach dem linken Verfahrensschritt. Als Ergebnis liegen Gesamtrelations-Aufkommen vor und damit die Voraussetzungen für die Anwendung des Verkehrsmittel/Wege-Wahlmodells aus dem synthetischen Ansatz (rechter Verfahrensschritt). Der hybride Ansatz vereint Vorteile des empirisch-inkrementellen und des synthetischen Ansatzes:

- Aufkommen entsprechen mit höherer Wahrscheinlichkeit realen Güterströmen, weil die Rekonstruktion der Gesamtrelations-Aufkommen auf den empirisch abgeleiteten Teilweg-Matrizen beruht.
- Durch Anwendung des Wahlmodells reagiert das Modell auf Veränderungen der Infrastruktur ebenso wie auf Potenzialänderungen (in Abbildung 11-6 rechts).



**Abbildung 11-6: Hybrider Ansatz – Prognosefall**

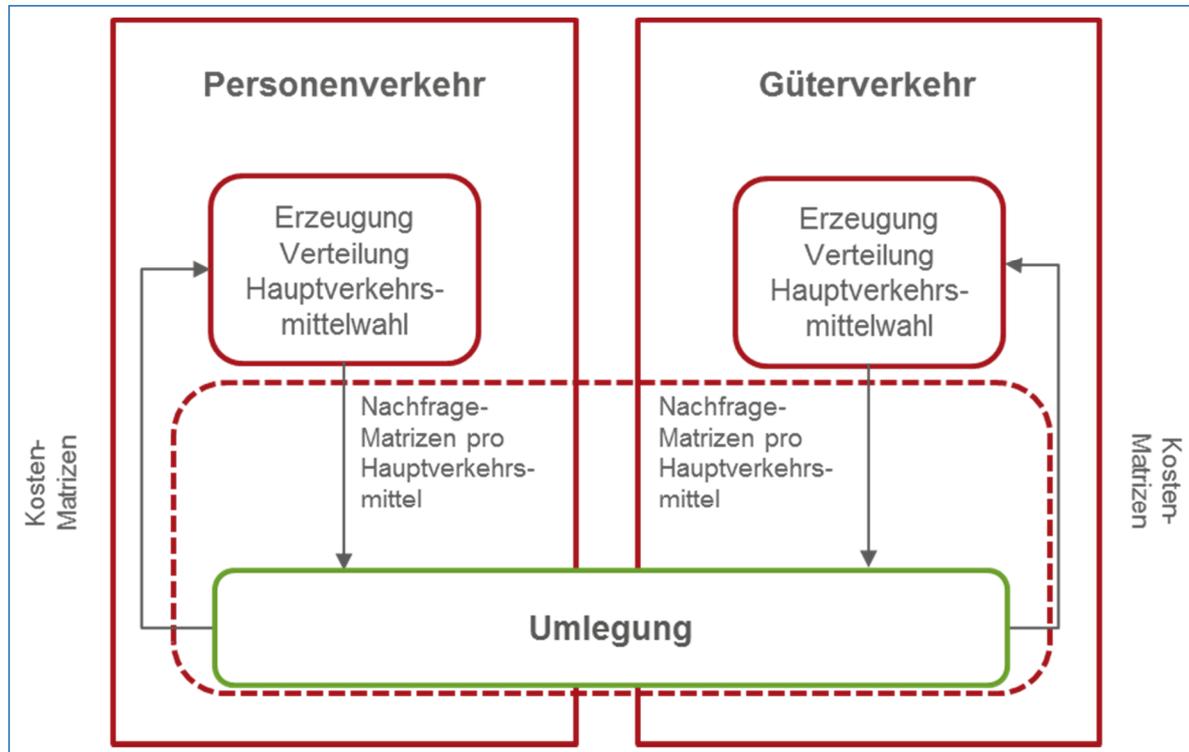
Die Unsicherheiten des synthetischen Erzeugungsmodells entfallen. Dem stehen die Unsicherheiten des German Approach gegenüber. Letztlich bedeutet dies eine Abwägungsfrage. Zumindest im Kontext der Methodenauswahl für die deutsche Bundesverkehrswegeplanung wurde der Methode des German Approach der Vorzug gegeben.

#### 11.4.2 Verkehrsmittelfolgenwahl im Modell TRIMODE

Das von der Europäischen Kommission in Auftrag gegebene Modell TRIMODE vereint ein Verkehrsmodell mit einem Wirtschafts- und einem Energie-Umwelt-Modell. Innerhalb des Verkehrsmodells werden sowohl der Personen- als auch der Güterverkehr mit allen Verkehrsmitteln (Flug, Bahn, Schiff, Strasse (motorisiert), Langsam-Verkehr, Pipeline) modelliert (Abbildung 11-7). Zur sprachlichen Vereinfachung werden nachfolgend jeweils nur die Begriffe aus dem Güterverkehr verwendet.

Aufgrund der weiten Entfernungen werden Gütertransporte in vielen Fällen mit Abfolgen mehrerer verschiedener Verkehrsmittel abgewickelt. Dabei wird das entfernungsmässig dominierende Verkehrsmittel als Hauptverkehrsmittel bezeichnet, die übrigen an einer Transportkette beteiligten Verkehrsmittel als Zubringer.

Die Nachfragemodelle für Personen und Güterverkehr bestehen klassisch aus den Stufen Erzeugung, Verteilung, Verkehrsmittelwahl, wobei sich letztere auf die Wahl des Hauptverkehrsmittels beschränkt.



**Abbildung 11-7: TRIMODE: Verkehrsmodell**

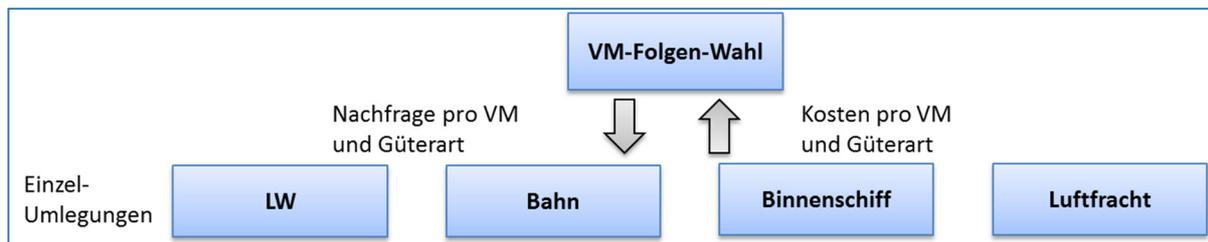
Die Entscheidung über die Nutzung von Zubringern innerhalb des gewählten Hauptverkehrsmittels und die Wahl der Umstiegspunkte werden als Teil der Wegewahl aufgefasst und demzufolge in der Umlegung behandelt.

Abbildung 11-8 zeigt die Hauptverkehrsmittel im Güterverkehr und die ihnen zugeordneten Zubringer.

Hauptlauf-Verkehrsmittel	Zubringer-Hierarchie
Luftfracht	1: LW
Schiff	1: Binnenschiff 2: Bahn 3: LW
Binnenschiff	1: Bahn 2: LW
Bahn	1: LW
LW	-
Pipeline	1: Schiff 2: Bahn 3: LW

**Abbildung 11-8: TRIMODE: Verkehrsmittel im Güterverkehr**

Als modelltechnische Schwierigkeit ergibt sich, dass innerhalb einer einzigen Transportkette Verkehrsmittel kombiniert werden können, die dem öffentlichen Verkehr *und* dem Individualverkehr zuzuordnen sind (Beispiel: LW als Teil des IV, Luftfracht und intermodaler Schienenverkehr als fahrplangebundener ÖV). Routenwahlmodelle in gängigen Verkehrsmodellierungsprogrammen decken dagegen jeweils nur IV oder ÖV ab. Aus diesem Grund wird für TRIMODE ein besonderes Verfahren eingesetzt, das Berechnungen auf zwei Ebenen kombiniert (Abbildung 11-9).



**Abbildung 11-9: TRIMODE: Zwei-Ebenen-Verfahren**

Gegenstand der oberen Ebene ist die Wahl zwischen verschiedenen Verkehrsmittelfolgen sowie die Wahl der Umschlagspunkte. Eingangsdaten der Verkehrsmittelfolgen-Wahl sind:

- Nachfragematrizen pro Hauptverkehrsmittel und Güterart (aus dem Nachfragemodell),
- Matrizen der generalisierten Kosten pro Einzelverkehrsmittel und Güterart (aus der unteren Ebene),
- Verhaltensparameter für das Wahlmodell.

Ausgaben der Verkehrsmittelfolgen-Wahl sind:

- Nachfragematrizen pro Einzelverkehrsmittel und Güterart (diese enthalten die Nachfrage für alle Teilwege, die mit dem Verkehrsmittel zurückgelegt werden)
- Matrizen der generalisierten Kosten pro Hauptverkehrsmittel und Güterart (für das Nachfragemodell).

Gegenstand der unteren Ebene ist die Routenwahl innerhalb jedes Einzelverkehrsmittels. Dazu wird jedes Einzelverkehrsmittel getrennt umgelegt. Insbesondere können IV-Verkehrsmittel mit einer IV-Umlegung umgelegt werden, ÖV-Verkehrsmittel mit einer ÖV-Umlegung. Ebenso ist es möglich die IV-Verkehrsmittel simultan mit IV-Verkehrsmitteln des Personenverkehrs umzulegen (im Schweizer Modell: Umlegung LW gemeinsam mit PW im NPVM).

Jede der einzelnen Umlegungen erhält von der Verkehrsmittelfolgen-Wahl als Eingabe:

- Nachfragematrizen pro Einzelverkehrsmittel und Güterart (diese enthalten die Nachfrage für alle Teilwege, die mit dem Verkehrsmittel zurückgelegt werden).

Als Ausgabe werden an die Verkehrsmittelfolgen-Wahl zurückgegeben:

- Matrizen der generalisierten Kosten pro Einzelverkehrsmittel und Güterart.

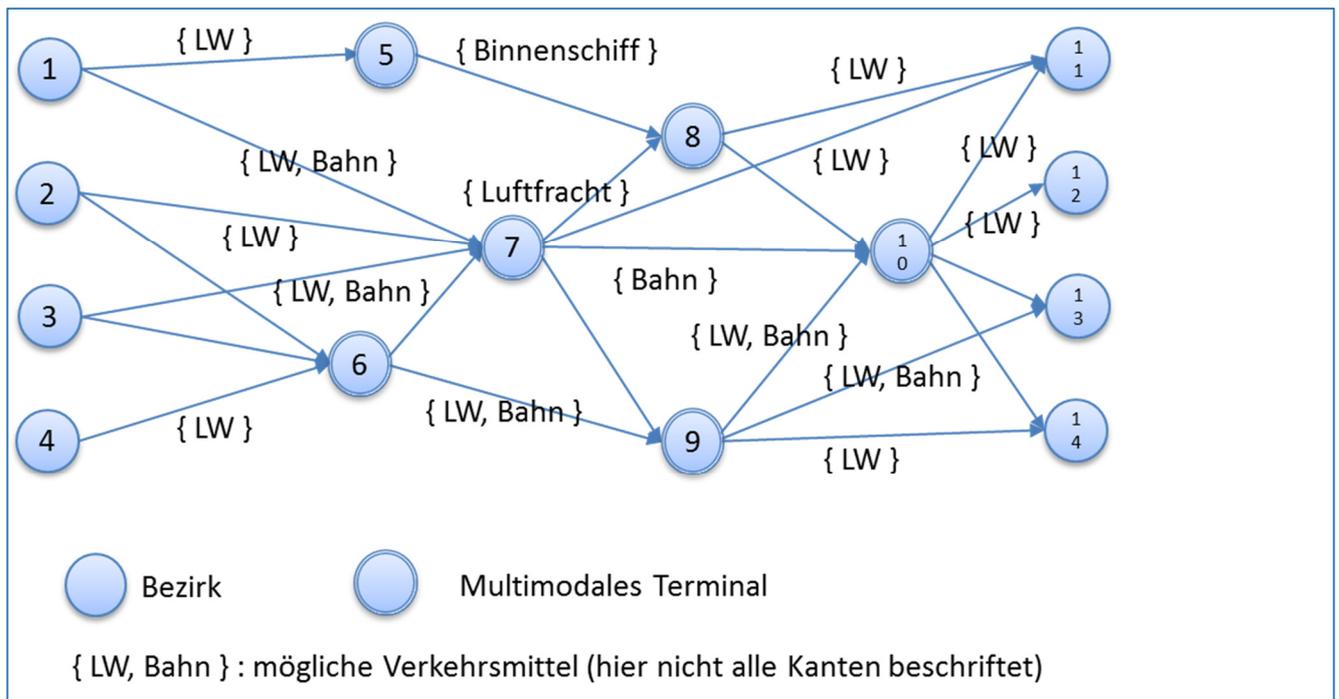
Wie Abbildung 11-10 zeigt, hängt die Verkehrsmittelfolgen-Wahl von Ergebnissen der Einzelumlegungen ab und umgekehrt. Wegen der zirkulären Abhängigkeit werden die beiden Ebenen iterativ ausgeführt, bis die Änderungen der ausgetauschten Matrizen einen vorgegebenen Schwellwert unterschreiten oder eine vorgegebene maximale Anzahl von Iterationen erreicht ist.

Die Verkehrsmittelfolgen-Wahl erfolgt wie viele Umlegungsverfahren in drei Schritten:

- Aufbau der Alternativenmenge durch Mehrweg-Suche,
- Berechnung des Nutzens für jede Alternative,
- Aufteilung der Nachfrage auf die Alternativen.

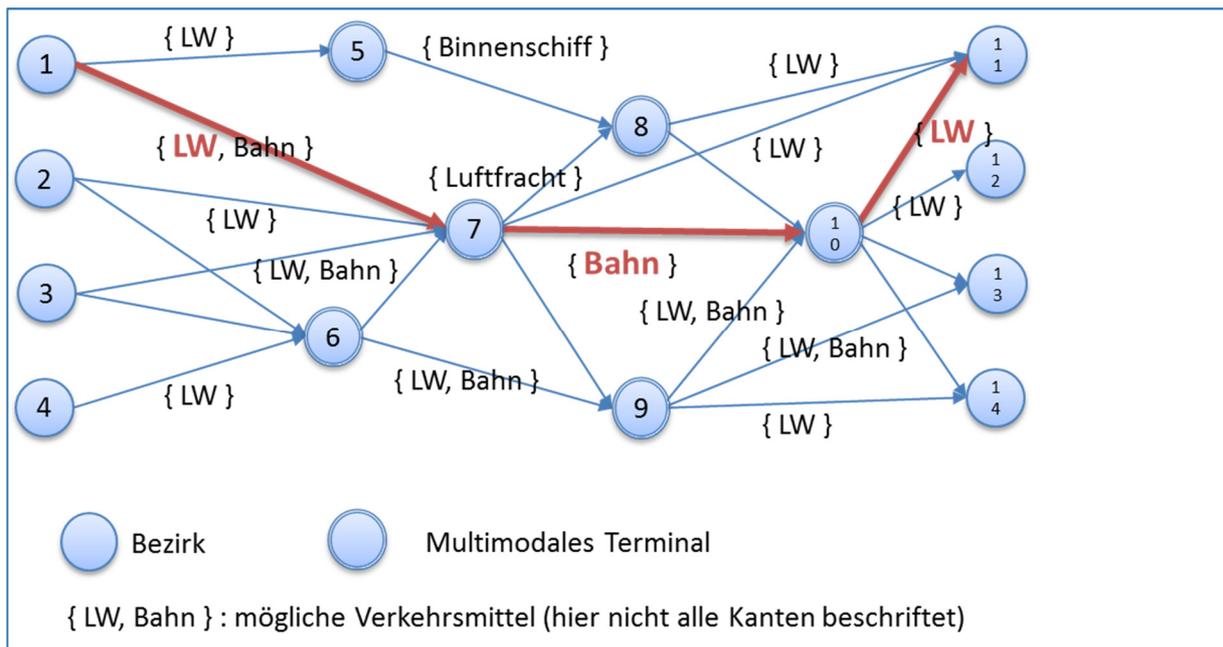
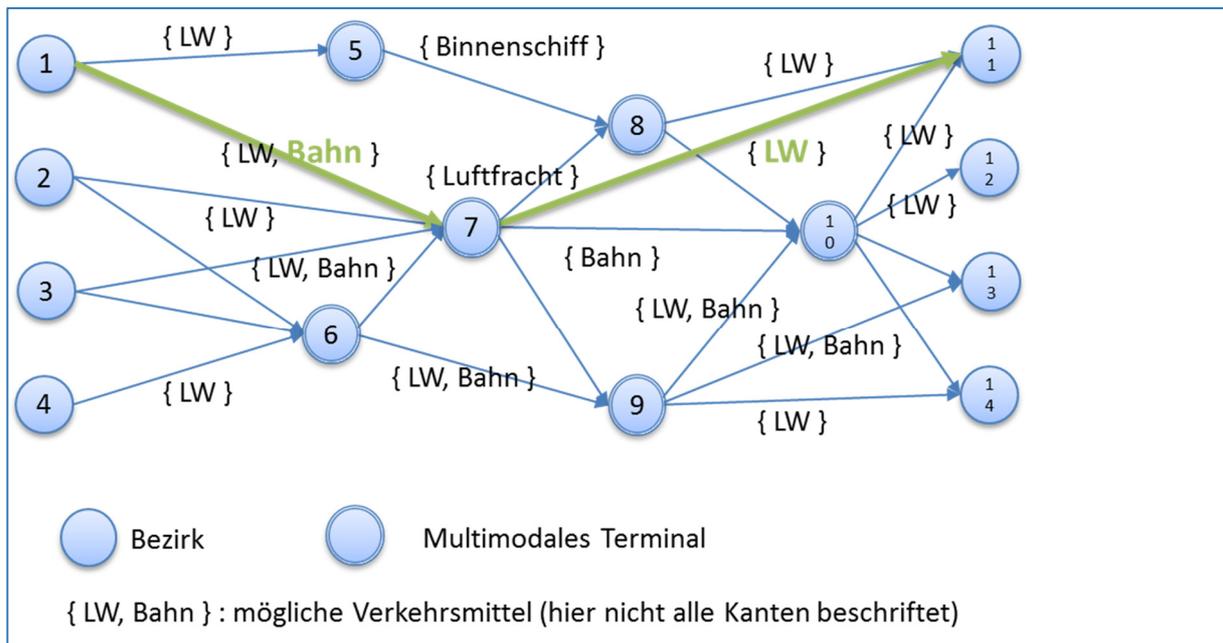
Für die Mehrweg-Suche wird ein stark vereinfachter Suchgraph aufgebaut (Abbildung 11-11). Seine Knoten sind Bezirke. Kanten verbinden direkt Bezirke. Sie sind beschriftet mit den Einzel-Verkehrsmitteln, die das Bezirkspaar verbinden. Von dem tatsächlichen Wegeverlauf zwischen den Bezirken im echten Netz wird abstrahiert.

Die Abbildung zeigt nur eine Auswahl der Kanten, tatsächlich gibt es für jedes Paar von Bezirken eine Kante, weil jedes Bezirkspaar durch LW verbunden ist. Ebenso sind aus Übersichtlichkeitsgründen nicht alle Kanten beschriftet.



**Abbildung 11-10: TRIMODE: Suchgraph für Mehrweg-Suche in der Verkehrsmittelfolgen-Wahl**

Jede alternative Verkehrsmittelfolge entspricht in diesem Suchgraphen einer Kantenfolge vom Quell-Bezirk zum Ziel-Bezirk der Gesamt-Relation, wobei an jeder Kante eines der möglichen Einzel-Verkehrsmittel ausgewählt wird. Abbildung 11-11 zeigt zwei mögliche Verkehrsmittelfolgen von Bezirk 1 nach Bezirk 11. Die erste benutzt Bahn von Bezirk 1 nach Bezirk 7, dann LW von Bezirk 7 nach Bezirk 11. Die zweite benutzt LW von Bezirk 1 nach Bezirk 7, dann Bahn von Bezirk 7 nach Bezirk 10, schliesslich LW von Bezirk 10 nach Bezirk 11.



**Abbildung 11-11: TRIMODE: Zwei Alternativen für die Gesamt-Relation 1-11**

Die Alternativen werden durch Mehrwegsuche auf dem Suchgraph ermittelt. Jede Kante ist mit den generalisierten Kosten der Einzel-Verkehrsmittel beschriftet. Jeder Knoten ist mit den generalisierten Kosten für den Umschlag für jedes Paar von Einzel-Verkehrsmitteln beschriftet. Die Kosten einer Verkehrsmittelfolge sind die Summe der generalisierten Kosten über alle Knoten und Kanten der Kantenfolge. Beispiel: Die Kosten der ersten Verkehrsmittelfolge

in Abbildung 11-11 ergeben sich wie folgt: generalisierte Kosten für Transport per Bahn von Bezirk 1 nach Bezirk 7 + Umschlag Bahn>LW in Bezirk 7 + Transport per LW von Bezirk 7 nach Bezirk 11. Analog zur Verbindungssuche in der fahrplanfeinen Umlegung von PTV Visum wird nicht nur der kostenminimale Weg gefunden. In die Alternativenmenge werden zusätzlich solche Wege aufgenommen, deren Kosten die des kostenminimalen Wegs nur unwesentlich überschreiten. Das Kriterium dafür wird vom Anwender definiert. Wege mit höheren Kosten werden aus der Alternativenmenge ausgeschlossen, weil sie bei der anschließenden Aufteilung der Nachfrage einen verschwindend geringen Anteil erhielten. Um den Suchraum auf realistische Kombinationen von Verkehrsmitteln zu beschränken, werden zudem vom Anwender vorgegebene Reihenfolge-Bedingungen eingehalten (z.B. max. ein Umschlag von LW auf Bahn und ein Umschlag von Bahn auf LW).

Beispiel: Abbildung 11-12 zeigt aus dem Trimode-Modell fünf alternative Verkehrsmittelfolgen für das Hauptverkehrsmittel Rail Intermodal auf der Gesamtrelation Mittelburgenland (A) – Saarpfalz-Kreis (D). Die Spalte Abfolge enthält die Nummer der Abfolge, Index die Nummer des Teilwegs, die nächsten beiden Spalten Quell- und Zielbezirk des Teilwegs und die letzte Spalte das auf dem Teilweg benutzte Einzel-Verkehrsmittel (TTunacc\_UnitisedContainer = LW mit Container, RF\_UnitisedContainer = Container auf Zug). Gut erkennbar sind KV-Verbindungen auf der Schiene zwischen Wien, Wels und Sopron einerseits sowie Mannheim und Ludwigshafen andererseits, jeweils mit Vor- und Nachlauf.

Abfolge	Index	ksbeziehung\VonBezirk\	sbeziehung\NachBezirk\	Nach-NSegCode
1	1	Mittelburgenland	Wien	TTunacc_UnitisedContainer
1	2	Wien	Ludwigshafen am Rhein,	RF_UnitisedContainer
1	3	Ludwigshafen am Rhein,	Saarpfalz-Kreis	TTunacc_UnitisedContainer
1	4			
2	1	Mittelburgenland	Wien	TTunacc_UnitisedContainer
2	2	Wien	Mannheim, Stadtkreis	RF_UnitisedContainer
2	3	Mannheim, Stadtkreis	Saarpfalz-Kreis	TTunacc_UnitisedContainer
2	4			
3	1	Mittelburgenland	Linz-Wels	TTunacc_UnitisedContainer
3	2	Linz-Wels	Ludwigshafen am Rhein,	RF_UnitisedContainer
3	3	Ludwigshafen am Rhein,	Saarpfalz-Kreis	TTunacc_UnitisedContainer
3	4			
4	1	Mittelburgenland	Gyor-Moson-Sopron	TTunacc_UnitisedContainer
4	2	Gyor-Moson-Sopron	Mannheim, Stadtkreis	RF_UnitisedContainer
4	3	Mannheim, Stadtkreis	Saarpfalz-Kreis	TTunacc_UnitisedContainer
4	4			
5	1	Mittelburgenland	Linz-Wels	TTunacc_UnitisedContainer
5	2	Linz-Wels	Mannheim, Stadtkreis	RF_UnitisedContainer
5	3	Mannheim, Stadtkreis	Saarpfalz-Kreis	TTunacc_UnitisedContainer
5	4			

**Abbildung 11-12: TRIMODE: Verkehrsmittelfolgen für eine ausgewählte Gesamt-Relation**

Ein diskretes Wahlmodell verteilt die Nachfrage einer Gesamtrelation auf die alternativen Verkehrsmittelfolgen entsprechend deren generalisierten Kosten. Verschiedene Modellfor-

mulierungen sind möglich (Logit, Kirchhoff, Lohse, BoxCox), wobei die Auswahl entsprechend der Modellschätzung bzw. im Rahmen der Kalibrierung getroffen wird.

Als letzter Schritt werden die Ausgaben der Verkehrsmittelfolgen-Wahl berechnet:

- Die Nachfragematrizen der Einzel-Verkehrsmittel werden zunächst initialisiert. Dann wird die Belastung jeder Verkehrsmittelfolge Teilweg für Teilweg in der Nachfragematrix des jeweils benutzten Einzelverkehrsmittels aufsummiert. Beispiel: die Belastung der ersten Verkehrsmittelfolge in Abbildung 11-12 wird der Nachfragematrix für das Einzel-Verkehrsmittel Bahn in der Relation 1-7 zugeschlagen, ebenso der Nachfragematrix für das Einzel-Verkehrsmittel LW in der Relation 7-11. Im Zuge dieser Operation erfolgt auch die Einheiten-Konvertierung der Mengen: während die Nachfrage auf Ebene von Gesamrelation und Hauptverkehrsmittel in den natürlichen Einheiten der Güterarten (also z.B. Tonnen) gegeben ist, wird die Nachfrage für das Einzelverkehrsmittel LW in Fahrzeuge umgerechnet, wobei ein güterartspezifischer Konvertierungsfaktor angewendet wird.
- Die Kenngrössenmatrizen der generalisierten Kosten pro Haupt-Verkehrsmittel und Güterart werden als gewichtetes Mittel aus den Kosten der Verkehrsmittelfolgen berechnet. Die Kosten werden mit den Belastungen der Verkehrsmittelfolgen gewichtet.

## 11.5 Segmentierung

Ziel der Segmentierung ist es, der Vielfältigkeit auf dem Güterverkehrsmarkt Rechnung zu tragen. Die unterschiedlichen Güterarten haben unterschiedliche Transportanforderungen und operative Abläufe. Auf dem Transportmarkt stehen verschiedene Verkehrsträger mit unterschiedlichen Angebotseigenschaften im Wettbewerb. Auf dem Verkehrsmarkt kommen unterschiedliche Fahrzeuge zum Einsatz. Unter dem Aspekt der Vielfalt ist eine möglichst weitgehende Segmentierung anzustreben. Unter dem Aspekt der Verwendung empirischer Daten ist die Segmentierung nur bis zu dem Masse zu empfehlen, bis zu dem die empirischen Daten ausreichende Genauigkeit garantieren, also repräsentativ sind. Es muss also ein Kompromiss gefunden werden. Die Ergebnisse des Nachfragemodells sollen kompatibel zur amtlichen Güterverkehrsstatistik der Schweiz und der EU sein. Diese Anforderung sollte erfüllt sein, um letztlich auch die Akzeptanz der Modellergebnisse und der mit dem Modell durchgeführten Verkehrsplanung zu gewährleisten.

### 11.5.1 Gütergruppen (NST2007)

Die Einteilung in Gütergruppen betrifft zunächst den Nachfragemarkt, wobei der Transportmarkt und die möglichen logistischen Angebote bei der Gütereinteilung berücksichtigt werden sollten. In der AMG werden 10 Güteraggregate betrachtet, die aus den NST2007 Gütergruppen aggregiert sind. Wird die GTE und die GQGV sowie die Wagenverlaufsdatei und die Statistik der Rheinhäfen als empirische Grundlage für die Güterverkehrsnachfrage gewählt, so kommt die dort vorgenommene Einteilung in 20 NST2007 Gütergruppen in Frage. Durch eine Ausweitung der Gütergruppeneinteilung lässt sich implizit die gütergruppenspezifische Logistik besser abbilden. Es werden folgende Gütergruppen unterschieden:

NST 2007	Bezeichnung	Logistikklassen
10	Land- und forstw. Erzeugnisse	Speditionsgut
20	Kohle, Erdöl, Erdgas	Massengut, Rohöltransporte
30	Erze, Düngemittel, Steine, E. Bergbau	Massengut
40	Nahrungs- und Genussmittel	Speditionsgut
50	Textilien, Bekleidung, Lederwaren	Speditionsgut
60	Holz, Kork, Papier, Pappe, Druckerz.	Speditionsgut
70	Koks, Mineralölerzeugnisse	Massengut
80	Chemische Erzeugnisse	Chemielogistik
90	Sonstige Mineralerzeugnisse	Chemielogistik
100	Metalle und Halbzeug	Speditionsgut
110	Maschinen, Geräte, opt. Erz., Uhren	Speditionsgut
120	Fahrzeuge	Speditionsgut
130	Möbel, Schmuck, Musik, Sport, Spiel	Speditionsgut
140	Sekundärrohstoffe, Abfälle	Massengut
150	Post, Pakete	Speditionsgut, Container
160	Geräte für Güterbeförderung	Speditionsgut, Container
170	Umzugsgut, nichtmarktbest. Güter	Speditionsgut, Container
180	Sammelgut	Speditionsgut, Container
190	Gutart unbekannt	Stückgut, Container
200	Sonstige Güter	Stückgut, Container

**Tabelle 11-14: NST2007 Güterbereiche, Zuordnung zu Logistikklassen**

In Tabelle 11-14 sind den üblichen NST2007 Gütergruppen Logistikklassen zugeordnet, die einen Hinweis auf spezielle Transportanforderungen geben. Diese Zuordnung wird beim LW-Fahrzeugmodell (siehe Kapitel 6.6) genutzt und kennzeichnet letztlich die normalerweise in der Gütergruppe verwendete Aufbauart.

Zum Teil sind die Güterbereiche heterogen und entsprechen damit nicht den angestrebten homogenen Gutarten. Aus diesem Grunde sind in der deutschen Bundesverkehrswegeplanung<sup>44</sup> für die zusammengesetzte Gutart

- 20 – Kohle, Erdöl, Erdgas – die Teilbereiche Kohle und Braunkohle,
- 30 – Erze, Düngemittel, Steine und Erden, Bergbau – die Teilbereiche Erze und Düngemittel sowie
- 70 – Koks, Mineralölerzeugnisse – die Teilbereiche Koks und Mineralölerzeugnisse

separat ausgewiesen worden.

Für ein Schweizer Güterverkehrsmodell wird dies nur für den Bereich „Rohöl“ und „Sekundärrohstoffe“ gesehen. Kohletransporte, die in Deutschland aufgrund der Kohlekraftwerke und der Stahlindustrie als Kohleverbraucher sowie der Braunkohleförderung eine erhebliche Rolle spielen, haben in der Schweiz nur eine untergeordnete Bedeutung. Ebenso spielen Erztransporte in der Schweiz keine Rolle, so dass auch diese Gutart nicht gesondert behandelt werden muss. Swiss Steel in Emmenbrücke bei Luzern und das Stahlwerk in Gerlafingen sind die wichtigen Stahlerzeuger in der Schweiz. Die Stahlproduktion liegt bei rd. 700.000 Tonnen im Jahr<sup>45</sup>. Dort wird kein Erz verarbeitet, sondern Edelschrott, der mit Hilfe von Elektro-Hochöfen eingeschmolzen und verarbeitet wird. Somit könnte für eine genauere Betrachtung der Schrott- und Metallabfälle-Transporte der Güterbereich 140 „Sekundäre Abfälle“ (rd. 11% des Transportaufkommens in der Schweiz) aufgeteilt werden. Ebenso könnte Rohöl aus dem Bereich Energieträger (rd. 4 % des Transportaufkommens werden mit dem LW transportiert) abgespalten werden. Dies würde auch die Möglichkeit erschliessen diese speziellen Güterströme als eigenständigen Logistikbereich abzubilden. Bei der Modellerstellung ist zu prüfen, ob durch die Sonderbehandlung einzelner Gutarten das Modellergebnis verbessert wird – z.B. in Form von besseren Umlegungsergebnissen.

Es wird somit folgende Güterbereichseinteilung vorgeschlagen:

- Einteilung der Gütertransporte nach der EU-weiten NST2007-Systematik, die sich auch in der offiziellen Transportstatistik der Schweiz sowie in denen der Nachbarländer wiederfindet. Hierbei ist zu prüfen, ob durch das Pooling der GTE- / GQGV-Daten eine ausreichende Matrixbesetzung gegeben ist.
- Es ist zu prüfen, ob die Sonderbehandlung einzelner Gutarten – z.B. Rohöl und Schrott- und Metallabfälle – das Modellergebnis verbessern könnte.

<sup>44</sup> BVU/Intraplan/IVV: Verkehrsprognose 2030 Schlussbericht (<http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/verkehrsverflechtungsprognose-2030-schlussbericht-los-3.pdf>), S. 101

<sup>45</sup> siehe auf der Internetseite <http://www.swiss-steel.com>, zuletzt besucht am 17.4.2017

Zum Herauslösen dieser Gutarten und zur Verortung der Quellen und Ziele der Transporte in diesen Gütergruppen könnte folgende Information genutzt werden:

- Detailinformationen über Unternehmensstandorte und Warenströme aus dem NGVM
- Auswertung der Fahrzeugklassen aus der GTE und GQGV
- Nutzung von Informationen über Gutarten und Laufwege aus der Wagenverlaufsdatei der SBB
- Nutzung der Ergebnisse aus dem SVI-Forschungsprojekt zu Logistikstrukturen in der Schweiz<sup>46</sup>

## 11.5.2 Verkehrszellen, Zonierung

### 11.5.2.1 Rahmenbedingungen für die Zonierung

Es wird vorgeschlagen, für die Einteilung des Untersuchungsraumes in Verkehrszellen mehrere Ebenen zu wählen. Dabei orientiert sich jede Ebene an den verfügbaren empirischen Daten. Die beiden für die Schweiz existierenden Verkehrsmodelle haben unterschiedliche Ansätze. Das NGVM setzt auf der feinträumigen Zonierung des NPVM mit 3114 (2949 Binnenzonen und 165 Aussenzonen) Verkehrszellen auf. Aufgrund des gewählten synthetischen Ansatzes, bei dem die Güterverkehre aus feinträumigen zonalen Strukturdaten zu berechnen sind, werden die Binnengüterverkehre in der Schweiz berechnet, während die grenzüberschreitenden Verkehre extern zugespült werden.

Die AMG-TM2 setzt auf der Güterstatistik auf (GTE und GQGV), verwendet 106 MS-Regionen in der Schweiz und 165 Auslands-Verkehrszellen und bildet Binnenverkehre sowie grenzüberschreitende Verkehre ab. Schliesslich werden die Verkehre für Umlegungsrechnungen auf die in der Schweiz betrachteten 2949 Verkehrszellen (Binnenzonen) des NPVM mit Hilfe feinträumiger Strukturdaten disaggregiert. In der AMG wird somit auch schon eine Stufung vorgenommen. Die 165 Aussenzonen entsprechen dagegen denen des NPVM und brauchen nicht mehr disaggregiert werden. Bei Verwendung eines verfeinerten Zellensystems im NPVM, kann dieser Schritt ohne grossen Aufwand den neuen Gegebenheiten angepasst werden.

Aus den Anforderungen an die Modellierung ergibt sich, dass nicht nur die güterbereichsspezifischen Werte der amtlichen Statistik durch das Modell repräsentiert werden sollen, sondern es sind auch die Werte der vier Verkehrsarten für alle Verkehrsträger zu reproduzieren. Durch das Modell sollen die Landverkehrsträger Binnenschiff, Bahn und Strasse erfasst werden. Für alle Verkehrsträger sollte zunächst die gleiche Zonierung gewählt werden, wo-

<sup>46</sup> Forschungspakte UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr in der Schweiz TP B2: Branchenspezifische Logistikkonzepte und Güterverkehrsaufkommen sowie deren Trends, Oktober 2013, zu beziehen aus <http://www.mobilityplatform.ch>

bei das Binnenschiff nur bis zur Verkehrszone Basel reicht. Diese gemeinsame Zonierung ist u.a. notwendig um Verteilungs- und Modalspliteffekte berechnen zu können. Betrachtet man die empirischen Daten für einen Analysezeitpunkt, an dem das Modell geeicht werden soll, so ergeben sich daraus folgende Schlussfolgerungen hinsichtlich der Zonierung:

- **Binnenschiff:** Für das Binnenschiff liegt eine vollständige Erfassung der Verkehrsströme bis nach Basel vor. Als Quelle kann die deutsche Bundesverkehrswegeplanung, die Binnenschiffahrtsstatistik des Statistischen Bundesamtes in Wiesbaden sowie die Statistik der Basler Häfen genutzt werden. Die Güterverkehrseinteilung orientiert sich an der NST2007 Systematik. Die Zonierung im Ausland ist ausreichend fein, so dass die empirischen Daten für das Binnenschiff keine Beschränkung hinsichtlich der Zonierung darstellen.
- **Bahn:** Für die Bahn liegt eine Wagenverlaufsdatei vor. Quellen und Ziele sind Güterbahnhöfe, die auch im Ausland genau codiert sind. Die Güterverkehrseinteilung orientiert sich an der NST2007 Systematik. Die Güterbahnhöfe lassen sich den Verkehrszellen unabhängig vom Feinheitgrad der Zonierung zuordnen. Somit bilden auch die empirischen Daten der Bahn-Güterverkehre keine Einschränkung für die Feinheit der Zonierung.
- **Strassengüterverkehr mit Lieferwagen LI:** Für dieses Segment gibt es eine Stichprobe, die alle 10 Jahre durchgeführt wird und bei der 25 % aller in der Schweiz immatrikulierten leichten Fahrzeuge bis 3,5 Tonnen Gesamtgewicht zufällig ausgewählt werden. Die Befragung erfolgt schriftlich und es werden die Fahrten eines Stichtages protokolliert. Für den Güterverkehr mit LI sollte – wie in der AMG realisiert - ein synthetisches Modell angewendet werden. Damit hängt die Feinheit der Zonierung von der Feinheit der als Input für das Modell verwendeten Strukturdaten ab. Werden hierfür die Arealstatistik sowie die STATENT Daten der Unternehmensstatistik gewählt, so ergeben sich auch für diese Nachfragedaten keine nennenswerten Einschränkungen für die Zonierung.
- **Strassengüterverkehr mit schweren LW:** Die empirische Quelle für dieses Nachfragesegment ist die GTE und GQGV. Beides sind Stichprobenerhebungen, so dass durch die erhobenen Daten keine vollständige Verflechtungsmatrix im Strassengüterverkehr gebildet wird. Die Stichprobenwerte werden mit Hilfe des Fahrzeugregisters auf den Eckwert für die Schweiz hochgerechnet. Die Daten liegen in der NST2007-Systematik für die Gütergruppen vor.

Da die Strassengüterverkehre ein wichtiges Element der Güterverkehrsnachfrage darstellen, soll im folgenden Abschnitt diskutiert werden, bei welcher Zonierung die Stichprobendaten eine Verflechtungsmatrix für den Strassengüterverkehr repräsentativ darstellen.

### 11.5.2.2 Repräsentativität der Stichprobendaten für schwere LW

Das deutsche Kraftfahrtbundesamt (KBA) erhebt die Verkehrsleistungsstatistik für schwere LW. Vom KBA werden nur Strassengüterströme weitergegeben, wenn für eine betrachtete Segmentierung der Verkehrsströme eine Mindestanzahl an Stichprobenelementen für die einzelnen Relationen gegeben ist. Masstab dabei sind die Elemente mit weniger als 10 Stichprobenfällen. Ist deren Anteil grösser ca. 10% wird durch eine Verdichtung der Segmentierung die Fallzahl in den verbleibenden Elementen erhöht, bis eine gewisse Repräsentativität gegeben ist. Exakte feste Massstäbe gibt es allerdings nicht.

Im AMG-Tool werden die verfügbaren Stichproben der GTE und GQGV ab 2008 gemeinsam eingelesen – gepoolt, um die Fallzahl für einzelne Elemente zu erhöhen. Als Kombination von Elementen wird dabei betrachtet:

- 20 NST2007 Gutarten X 3 LW-Typen X Quell-Zonen X Ziel-Zonen.

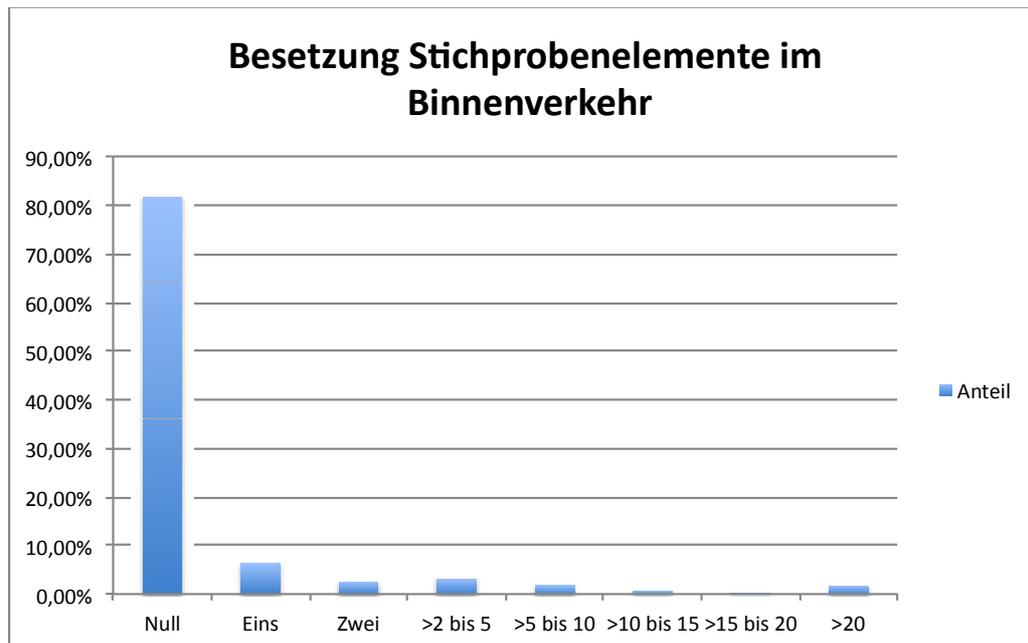
Für den Binnenverkehr der Schweiz werden bei Unterteilung nach 106 MS-Regionen

- 20 NST2007 Gutarten X 3 LW-Typen X 106 Q-Zonen X 106 Z-Zonen

und damit rd. 674.000 Elemente betrachtet. Diese lassen sich bei dieser Segmentierung auch durch eine grosse Stichprobe nur schwer repräsentativ abbilden. Wird eine Verdichtung durchgeführt, indem keine Unterscheidung nach LW-Typen vorgenommen wird, so sind immerhin noch rd. 225.000 Elemente zu unterscheiden.

Im AMG-Tool wird die Besetzungshäufigkeit der gepoolten Stichprobe protokolliert. Für den Binnenverkehr, der hauptsächlich in der GTE vertreten ist, ergeben sich dabei – summiert über alle Güterbereiche und Verkehrsmittel – die in der folgenden Abbildung 11.13 dargestellten Besetzungshäufigkeiten für die 106 X 106 Verkehrszellen.

Rd. 82% der Relationen sind im Binnenverkehr nicht besetzt. Mit einem Stichprobenelement sind immerhin fast 7% der Relationen besetzt, mit mehr als 5 Stichprobenfällen sind rd. 5,4 % der Relationen besetzt. Dieses Ergebnis ergibt sich aus 7 gepoolten Erhebungen. Für die GQGV, in der die grenzüberschreitenden Verkehre mit ausländischen schweren LW erhoben werden, liegen zur Zeit nur zwei Stichprobenzeitpunkte – 2008 und 2014 – vor. Das bedeutet, dass hier die Besetzungshäufigkeit der Stichprobenelemente noch deutlich niedriger liegt. Wird nun noch die Ausweitung auf 20 Güterbereiche vorgenommen, so ist die Verflechtungsmatrix für 20 Gutarten mit je 106 Binnenzellen und 165 Auslandszellen nur noch sehr spärlich mit Stichprobenwerten besetzt. Eine solche empirische Basis ist für eine Abbildung der realen Gegebenheiten im Strassengüterverkehr der Schweiz nicht ausreichend. Es ist zwar damit zu rechnen, dass im Laufe der Jahre durch das Hinzunehmen von weiteren Stichproben das Ergebnis etwas verbessert wird. Trotzdem kann nicht erwartet werden, dass die Elementbesetzung der Matrix sich grundlegend verbessert.



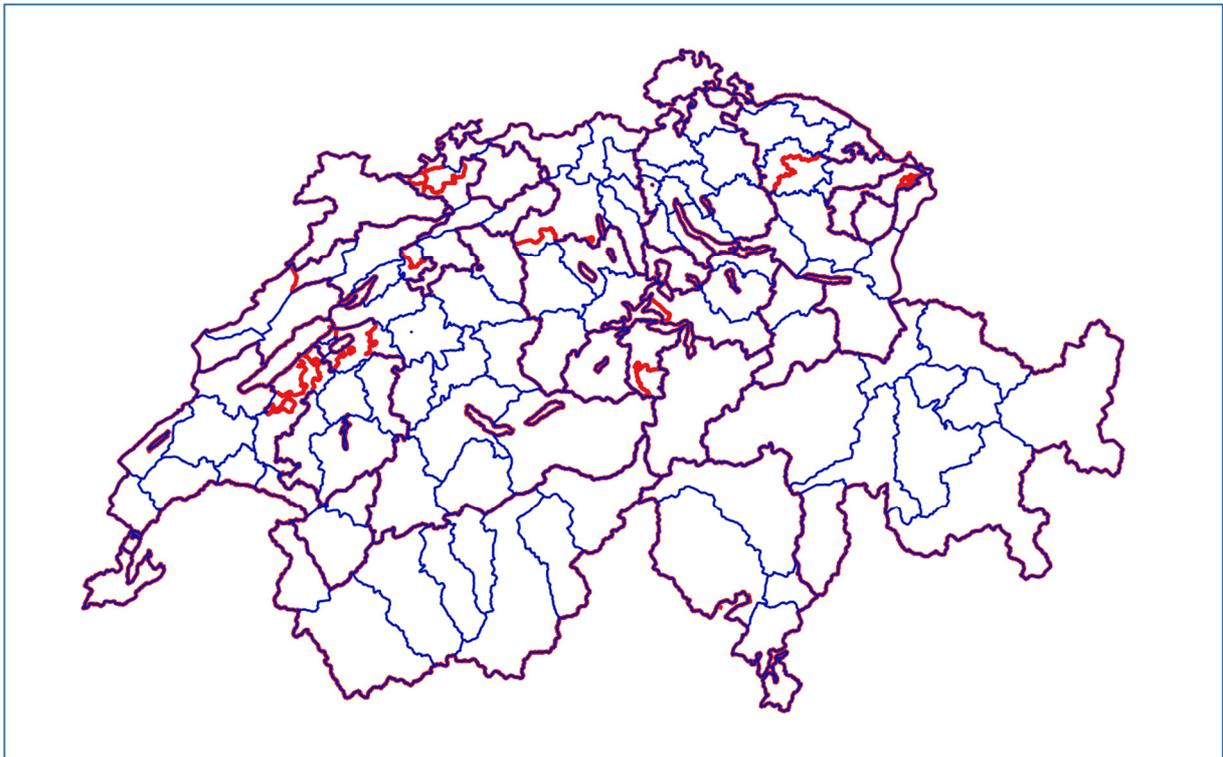
**Abbildung 11-13: Besetzung Stichprobenelemente**

### 11.5.3 Vorschlag für ein Zonierungssystem

Um die wertvolle empirische Datenbasis möglichst weitgehend zu integrieren und die Matrix im Strassengüterverkehr der Schweiz weiter nutzen zu können, wird ein **Zonensystem mit mehreren Stufen** vorgeschlagen:

- Zonierung zur Schätzung des Aufkommensmodells:** Die Stichprobenwerte aus der GTE und GQGV sowie die Werte aus der Wagenverlaufsdatei und die Statistik der Rheinhäfen werden aggregiert. Da die Zuordnung zwischen MS-Region und Kantonen zum Teil eine n zu m, also nichteindeutige Zuordnungen in beide Richtungen aufweist (siehe Abbildung 11-14), erscheint es sinnvoll MS-Regionen derart zu aggregieren, dass die Kantone in etwa angenähert werden (im folgenden Text wird darum weiter von Kantonen gesprochen). Die Güterverkehre werden dabei in der Gliederung nach 20 NST2007 Gutarten ausgewiesen. Die Strukturdaten werden in gleicher Zonierung aufbereitet. Diese Matrix bildet zunächst in der Schweiz die empirische Grundlage für die Schätzung der Verhaltensparameter des Aufkommensmodells. Für die Schätzung – die ja nur die Schweizer Zellen einbezieht – ist die Zoneneinteilung des Auslands nicht relevant. Es ist unter dem Aspekt der Homogenität des Datensatzes empfehlenswert, für die Auslandszonen im Grenzgebiet der Schweiz NUTS3-Zonen zu verwenden, in weiterer Entfernung sind dann grössere Aggregate sinnvoll. So wird es z.B. ausreichen, auf dieser Stufe Nordrhein-Westfalen als eine Verkehrszelle zu betrachten.

- **Zonierung für die Modellanwendung:** In der Schweiz ist für die Modellanwendung – d.h. Aufkommens-, Verteilungs- und Modalsplitrechnung in der Fortschreibungsvariante - eine feinere Zonierung zu wählen. Die in der AMG gewählten 106 MS-Regionen sind für die Belange eines nationalen Güterverkehrsmodells ausreichend (siehe Abbildung 11-14), können aber – wie im nächsten Abschnitt ausgeführt mit singulären Verkehrserzeugern angereichert werden. Die Aufteilung der kantonalen Werte auf die feinere Zonierung wird mit Hilfe des auf Kantonsebene geschätzten Aufkommensmodells und unter Verwendung der feineräumig vorliegenden Areal- und Unternehmensstatistik durchgeführt. Dies ist ein Unterschied zur Vorgehensweise bei der AMG: Dort gehen die Matrizen auf der 106x106er Ebene direkt aus den Stichprobendaten hervor.



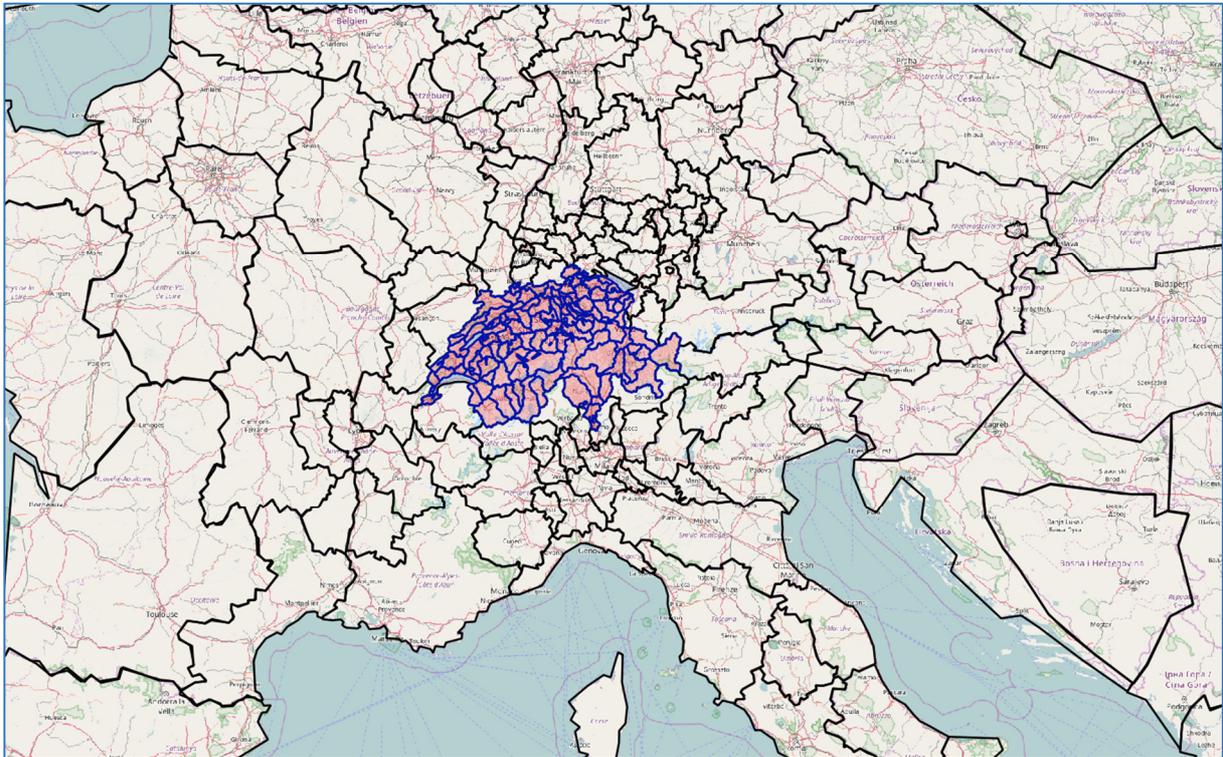
**Abbildung 11-14: Grenzen der MS-Regionen (blau) und der Kantone (rot)**

- **Singuläre Verkehrserzeuger:** Die Aufteilung der Güterströme von der ersten Zonenstufe (Kantone bzw. kantonsähnlich) auf die zweite Zonenstufe (MS Regionen) wird wie beschrieben mit einer mittels Strukturdaten gewichteten Verteilungsrechnung durchgeführt. Durch die in Kapitel 3.3.1.1 eingeführten singulären Verkehrserzeuger, d.h. Standorten deren Verkehrsaufkommen sich deutlich von dem durch die geschätz-

ten Funktionen berechneten Aufkommen unterscheidet, entstehen Fehlverortungen der Aufkommen, die durch die Definition von singulären Verkehrserzeugern verhindert werden. Diese singulären Verkehrserzeuger sind als Point of Interests im Verkehrsmodell auf allen Zonenstufen zu verwenden.

- **Zonierung grenzüberschreitende Verkehre:** Die grenzüberschreitenden Verkehre, die sich aus der GQGV ergeben, werden mit Hilfe von externen Verkehren aus der deutschen BVWP2015, aus der Verkehrswegeplanung in Österreich, Werten aus Italien und Frankreich sowie aus der EU-Datenbank EUROSTAT ergänzt und abgestimmt. Eine geeignete Zonierung für die Auslandszonen bildet die jetzt in der AMG genutzte und auf das NPVM zurückgehende Zonierung von 165 Verkehrszellen (siehe Abbildung 11-15) für die Nachbarländer und Europa. Da die hier genannten Daten auf Güterstromebene keine feinere regionale Information beisteuern, ist eine Verfeinerung der Auslandszonierung aus diesem Grund nicht notwendig. Ein weiterer Grund wäre das Vorhandensein von grenzüberschreitenden Bahnverkehren im Nahbereich, was für eine korrekte Betrachtung im Ausland eine feinere Betrachtung verlangen würde. Da dies im Güterverkehr nicht zu erwarten ist, ist eine Verfeinerung nicht notwendig. Mit zunehmender Entfernung von der Grenze werden dann die Auslandsverkehrszellen grösser. Bei der Modellvariante mit Implementierung des German Approach (s. Kapitel 7.2.2) ist darauf zu achten, dass jedes auslandsseitige Ende eines Hauptlaufes auf der Schiene oder gegebenenfalls des Binnenschiffs durch einen geeigneten Bezirk repräsentiert ist. Es sollte damit möglich sein, aussagekräftige generalisierte Kosten für Schiene, Binnenschiff und LW zu bestimmen. Nur so kann die multimodale Verkehrsmittelfollowwahl realistische Ergebnisse liefern.
- **Empirische Verflechtungsmatrix:** Die so gebildeten Verkehrsströme zwischen den rd. 106 (eventuell plus Ergänzungen durch singulärer Verkehrserzeuger) Verkehrszellen im Binnenverkehr und den 165 Auslandszellen bilden die „empirische“ Verflechtungsmatrix für das nationale Güterverkehrsmodell der Schweiz. **Auf dieser Ebene wird die Verkehrsplanung durchgeführt.** Diese Matrix wird auch für die Fortschreibung der Nachfragestrukturen bei Prognose- und Simulationsrechnungen genutzt.
- **Feinzonierung:** Wie in der AMG ist für Umlegungsrechnungen eine Feinzonierung vorzusehen, die sich an der (neuen) Zonierung des NPVM (ca. 8000 Binnenzonen) orientieren sollte. Auf dieser Ebene werden auch die synthetisch gebildeten Lieferwagenverkehre bereitgestellt. Zur Herstellung der Güterströme auf Feinzonenebene werden entsprechende feinräumige Strukturdaten verwendet. Für die Bahnverkehre können als Aufteilungsgewichte die empirischen Verflechtungen zwischen Güterbahnhöfen genutzt werden. Die Aufteilungsverfahren als auch das Berechnungsver-

fahren der Lieferwagen sind unabhängig von der Zonenzahl des Feinmodells, d.h. grundsätzlich ist die Zonierung des neuen NPVM verwendbar.



**Abbildung 11-15: Zonierung im Aussenraum**

#### 11.5.4 Verkehrsträger und Fahrzeugsegmente

Für die Einteilung in Verkehrsträger und Fahrzeugsegmente wird die in der AMG genutzte Einteilung vorgeschlagen:

- Bahn
  - Wagenladungsverkehr
  - Unbegleiteter Kombierter Ladungsverkehr
  - Rollende Landstrasse
- Strassengüterverkehr
  - Lastwagen
  - Last-/ Sattelzüge
  - Lieferwagen
- Binnenschiff

Für die Fahrzeugsegmente werden folgende Einteilungen vorgeschlagen:

- Bahn
  - Ganzzüge
  - Einzelwagenlauf
- LW
  - LW bis zum zulässigen Gesamtgewicht (zGG) von 3,5 t Tonnen – das umfasst den Lieferwagenverkehr
  - Lastwagen mit einem zGG zwischen > 3,5 Tonnen und 12 Tonnen
  - Last- / Sattelzüge mit einem zGG zwischen > 3,5 Tonnen und 12 Tonnen
  - Lastwagen mit einem zGG ab 12 Tonnen
  - Last- / Sattelzüge mit einem zGG ab 12 Tonnen

Die empirischen Anteile für die verschiedenen Gewichtsklassen lassen sich aus den Fahrzeugangaben in der GTE und GQGV ableiten. Durch die zusätzliche 12 Tonnen Klasse sollen mögliche zukünftige Strategien z.B. zur Staffelung der LSVA oder der Nachtverbote für schwere LW ermöglichen.